# 图解实验观察大全

（修订版）

# 物　理

主　　编　［日］近角聰信　豊田博慈
丛书主译　施　忆　钱晓晴
本册译者　吴明淑　冯　珺
本册译审　窦国兴　赵隆韶　聂富国

人民教育出版社



ISBN 978-7-107-19605-8



定价：193.90 元

**图书在版编目(CIP)数据**

图解实验观察大全·物理/[日]近角聪信等编；施忆等译.
—北京：人民教育出版社，2009
ISBN 978-7-107-19605-8

Ⅰ. 图…

Ⅱ. ①近…②施…

Ⅲ. 物理—实验—图解

Ⅳ. H36

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 060157 号

人民教育出版社出版发行
网址：http://www.pep.com.cn
山东新华印刷厂德州厂印装　全国新华书店经销
2009 年 10 月第 1 版　2009 年 10 月第 1 次印刷
开本：890 毫米×1 240 毫米　1/16　印张：26.25
字数：772 千字　印数：0 001～1 000 册
ISBN 978-7-107-19605-8　定价：193.90 元
G·12655
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与本社出版科联系调换。
（联系地址：北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼　邮编：100081）

# 图解实验观察大全

（修订版）

## 物理

主　　编　［日］近角聰信　豊田博慈
丛书主译　施　忆　钱晓晴
本册译者　吴明淑　冯　珺
本册译审　窦国兴　赵隆韶　聂富国

人民教育出版社
·北京·

**主　　编**　近角　聰信　　豊田　博慈

**修订委员**　武田　一美　　林　郁治郎　　小林　徳夫　　遠藤　純夫　　宮崎　周藏　　犬丸　章門　　宮崎　總一

**执　　笔**　五十嵐 靖則　　石原　一男　　伊藤 昇　　内川 武雄　　江里口 博　　加賀谷 達二郎　　北村 正生
木戸 聰　　久保田 勝弘　　小池 義之　　斎藤 實　　渋沢 栄　　白枝 清　　関根 正
高畠 勇二　　武田 一美　　中西 孝彦　　中村 日出夫　　服部 陽一　　福地 亨　　前田 伸雄
松永 渉　　松山 四郎　　馬目 秀夫　　光田 淳雄　　宮崎 周藏　　八木 一正　　山本 敬一
吉本 裕一　　米倉 功蔵
（按五十音图顺序）

●本书修订过程中得到了以下各位的帮助：
青木 康茂　　生田 恒雄　　石阪 秋彦　　植前 和幸　　植村 佳央　　岡本 一浩　　小沢 詳吾　　金谷 春雄
北沢 星磁　　北本 正明　　北脇 重富　　木村 淳一　　久保 信行　　桑野 素行　　小藪 範雄　　五島 文韶
柴田 展也　　高野 博之　　高橋 宏一　　田中 裕章　　津崎 薫　　友広 節夫　　広岡 章嗣　　西村 英俊
藤井 真正
（按五十音图顺序）

# 译者的话

在科学研究中，观察与实验的价值和意义已经得到人们的公认。从科学发展史可以很清楚地看到，科学是通过大量的观察与实验逐步发展、完善起来的知识体系，没有观察与实验就没有现代科学。

观察与实验是科学教育中重要的学习内容。然而，长期以来中小学科学教育偏重于传授以基本概念、基本原理为主要内容的知识，呈现在学生面前的是一堆从具体情景中抽取出来、过滤掉了大量生动信息的文字与符号，使原本感性、生动、内涵丰富的科学知识变成了一堆抽象的事实性知识，观察与实验成了辅助性的教学内容而不受重视。一些学校和教师采取在黑板上“讲实验”的方式，不让学生观察实物或去实验室动手操作。这样，科学教育便越来越远离实验，远离自然，远离生活；学生学习科学也变得越来越被动，对科学的兴趣呈现出下降的趋势，甚至最终远离科学。

改革课程与教学是科学教育面临的重大课题。在我国基础教育课程改革中，科学教育发生了一系列明显的变革，其中最突出的是重视学生的探究活动，重视实验教学，重视能力培养。现在的中小学科学课程对观察与实验的内容和方式都提出了新的要求，观察与实验的课时比例有所增加，特别是增加了大量在教师指导下以学生主动学习为主要形式的研究性学习内容，充分体现了科学教育以观察和实验为基础的思想。

从观察和实验入手，可以使科学教育丰富多彩。观察与实验具有形象、生动的特点，有利于激发学生解决问题的动机；活动形式多样，则能为学生提供有助于个性发展的学习条件；让学生经历收集信息、进行推理、提出假说、实验验证，进而发现规律和解释自然现象的过程，对于形成良好的科学思维习惯、培养创新精神具有十分重要的意义。随着课程改革的深入推进，教师们越来越深刻地认识到观察与实验教学的价值和意义，但同时也越来越感到他们所面临的巨大挑战，从教育理念、教育方法到具体教学活动的设计和实施，教师们都迫切地需要得到支持和帮助，尤其需要对教学实践有所启发的教育资源和教学参考材料。

“他山之石可以攻玉”。邻国日本在科学教育中重视观察与实验，在实践中积累了丰富的经验，形成了大量的教育资源。由东京书籍出版社出版的《图解实验观察大全》丛书便是一套依据日本中小学物理、化学、生物等课程的教学指导要求，以图解的形式全面呈现观察与实验教学要点的工具书。这套书详尽地介绍了各项观察与实验的设计原理、方法、步骤、实施要点、教学注意事项等，突出了探究性与趣味性，体现了科学与生活的密切联系，尤其是书中流露出的严谨、细致的科学态度，给人留下极为深刻的印象。我们相信本丛书一定能为我国科学教师提供有力的教学支持和有益的启示。

本丛书的翻译工作由施忆、钱晓晴主持。施忆、钱晓晴、董曾珊、卞爱萍、吴明淑、吴宝顺、彭佳、张晖、冯珺等人参加了翻译工作；窦国兴、孙晖、杨悦、李云阁、赵隆韶、叶孟兆、周红、钱周兴、胡绍庆、聂富国、卢毅军等人从学科和教学的角度对译稿进行了审核。物理分册的插图修改工作由人民教育出版社的张傲冰及聚珍公司完成。本册译稿在编辑加工过程中得到了人民教育出版社孙新、杜宝山、付荣兴、张大昌、王晶、冷燕平、乔国才等人的大力支持，在此一并表示衷心感谢！需要说明的是，由于有些日文人名及机构名称没有对应的汉字或标准译法，所以书中所有人名及机构名称均采用原著的写法。

译者

2006 年 5 月于杭州

# 关于本丛书修订版的说明

自本丛书的第一版发行以来，十年已经过去了。在此期间，全国的小学、初中和高中的教师在使用的基础上，对本丛书提出了很多意见。这些意见，有些针对书中的实验和观察内容提出了补充建议，有些介绍了相关的实验方法，还有一些则提到了修订时希望增加的实验或观察内容，体现了广大教师对科学教育和实验操作的极大热情。但在现实中，与这些教师的想法和热情相反，科学实验在学生们的眼里不仅“脏、危险、艰苦”，而且“呆板、乏味”。学生中普遍存在着不喜欢实验课的现象，学生不愿意上实验课的情况越来越严重。同时，一部分教师当中也出现了迎合这些学生的做法，如实施不上实验观察课的科学教育；有的学校也认为上实验、观察课既增加经费又花费时间，所以回避实验课已经成为司空见惯的事情。这对热心科学教育的教师而言是难以接受的事实。

科学教育的目的，不仅在于帮助学生获得自然科学知识，更应注重引导学生通过探索自然的过程，提高思维和判断能力，掌握获取知识的方法，最终获得终身学习的能力。既然如此，教育行政方面和科学教师的教育观念都需要变革。更重要的是，振兴科学教育不仅关系到国家的繁荣与昌盛，而且还是孕育创造人类文化知识原动力的重要组成部分。

这次的修订工作，在学习指导要领方面体现了上述宗旨，尤其是把“进行观察和实验”确定为小学、初中及高中科学教育的重要目标，指出动手做实验具有极为重要的意义。这样做的目的是为了推进以实验、观察为基础的科学教育实践。

本丛书的修订工作是在充分采纳多数热心教师意见的同时，为了实施以实验、观察为基础的科学教育理念，重新进行全面探讨的前提下进行的。在此，衷心祈盼本套修订版的丛书为科学教育的振兴作出贡献，同时向协助本丛书出版的诸位教师表示感谢。

《图解实验观察大全》修订委员会代表

武田一美

1992 年秋

# 序言

物理学是一门旨在发现隐藏在自然现象背后的规律，并利用这些规律解释相关现象的具有广泛意义的学科。在小学、初中和高中开设的科学课程中，与物理学相关的教学内容包括力学、热学、光学、磁学、电学等领域。到了19世纪，这些领域内的各种宏观规律就已经被发现。但是，目光远大的物理学工作者并不满足于这些仅在各个领域内部才能应用的规律。经过不懈的努力，到了19世纪后期，人们已经能够利用原子或分子等微观力学概念解释各种热现象；光作为一种电磁波，其折射和反射现象的规律性也得到了微观理论的证明。

为了探索隐藏在各种宏观现象和规律背后的更加深奥的科学原理，多少年来，物理学工作者们一直在坚持不懈地进行着深入、细致的研究工作。结果，他们不仅在基本粒子和原子核物理以及原有的各种研究领域内取得了突破性的进展，同时还在化学物理、地球物理、生物物理等自然科学研究领域迈出了可喜的步伐。

化学、地理学、生物学等研究领域都有其各自特有的思维方式，而且已经发现了各自特有的规律。尽管如此，物理学工作者们仍然渴望探索隐藏在这些规律背后的秘密，或许这正是他们不能停止对于其他领域进行研究的动机之一。但是，事情并不那么简单，人们不可能轻而易举地揭开关于物质、地球和生命的所有奥秘。

不过，这并不能阻挡物理学向其他领域的发展，物理学的实验方法已经给其他领域的研究带来了飞跃性的进展。

最近，科学家在物理学实验手段方面又取得了令人瞩目的进展，研究出了包括能使人一目了然地观察到物质内部元素分布的装置、通过残留在岩石上的一点磁性便能知道岩石历史的装置，以及过去难以想象的、用于观察生物体结构的高倍电子显微镜等。这些实验手段的发明对于各学科领域的研究和发展都作出了不可估量的贡献。

这本《图解实验观察大全·物理》就是要对取得卓越成就的物理实验的基础作出解释，内容涉及小学、初中及高中的各种物理实验。书中体现出的对自然界奥秘的探索态度可与最先进的物理实验相媲美，对实验内容和要求的解释和说明也非常细致、周到，从器具的使用方法到实验顺序等均提供了如同手把手的具体指导，使得所有读者(包括那些嫌麻烦的人)都能在本书的指导下轻松地做好实验。另外，为了避免实验时发生意外事故，本书对教师在实验时应该注意或关照的事项作了详细而周到的提示，对相当先进的装置以及半导体元器件的正确使用也作了必要的说明，由此使得以往不敢想象的实验也成为可能。

物理学这门学科具有较强的逻辑性，所以许多教师常把教学重点放在学习规律和应用规律解题方面，而把实验与观察放在次要的位置上。这是一个严重的错误。数学是物理学研究和学习的重要手段，但不是物理学的全部。说到底，物理学是一门观察、记录有生气的自然现象并解释这些现象的学科，所以在学习物理学规律时，应该同时在眼前展现相关的物理现象。为此，教学中应该通过实验组织学生认真观察生动的物理现象。

说起物理实验，我们便会联想到大规模的实验装置，其实有些实验并不需要大规模的装置。比如，求一头儿细一头儿粗的筷子的重心时，可以把筷子放在两只手的食指上面，然后使两个食指慢慢靠近，这样手指最终就能接近筷子重心所在的位置。这是一种既简单又充满智慧的实验方法。看似非常复杂的实验装置，实际上其实验思路却很简单。希望读者对于本丛书的使用不是简单地浏览、阅读，而是亲自动手实验。和筷子实验一样，您定会从这些实验中深深地体会到自然界正在向您步步逼近。

本丛书的编写和修订工作得到了很多教师的帮助，这些教师都是物理实验的老手。同时，书上的所有内容都经过专家的审阅，是完全可以信赖的。

最后，对为本丛书的编辑加工工作付出巨大努力的东京书籍及桂树社集团的各位表示深深的感谢。

近角聪信　　豊田博慈

1983年9月

# 本书的构成与使用方法

**• 关于本丛书的分册**

《图解实验观察大全》丛书是由物理、化学、生物、地理等四个分册构成的*。一般来说，丛书的分册方法可以有很多种，本丛书则是以广大教师能够理解的小学、初中、高中的实验观察内容为基础，按照学科领域分成四册的。

**• 关于实验内容的选取**

本丛书对实验与观察内容的选取遵循以下四条原则：

①选取适合小学三年级以上、初中各年级、高中一年级，且操作性较强的实验与观察活动。

②力争把学生应该掌握的实验与观察内容全部安排进去。对于那些更适合作为演示实验或自由研究的内容，也在限制数量的前提下有所侧重地提到。同时，书中还选取了一些物理实验所需电子设备的制作以及需要使用电子计算机的实验。

③在实验标题的确定上尽量做到小而具体。因此，有些实验与观察内容的目标看似相同，但有时也会根据活动材料的不同而被分为几个实验。

④卷首安排一组彩色插图，旨在介绍一些可以作为物理学研究对象的日常生活现象。同时，还要介绍在指导学生学习各项实验观察内容及基本的操作方法时必须用到的器具和方法。

**• 关于各项实验的编写体例**

书中的各项实验内容大致按照以下体例编写：

①在简要描述实验内容的标题下面，以“目标”的形式规定了学生的年级段和该年级段的学生在实验、观察方面所应达到的能力水平。不过，这里的所谓“目标”只是本丛书编写委员会的设想，只能作为一种参考，而不是必须达到的。

另外，在标题的右侧，以“材料与器具”的形式尽可能全面地提示了必要的活动材料与器具。

②每页左侧2/3的空间用来以图解的形式描述实验的顺序和方法，旨在使教师在短时间内直观地把握实验顺序和操作方法。

为了便于研究，同时避免发生因为没有合适的材料和器具而不能做实验的情况，对实验方法、其他方法以及简单器具的制作等方面也尽可能全面地作了介绍。

③在每页右侧1/3的空间，作为左侧内容的必要补充，提示了需要注意的事项、安全问题、实验结果、参考数据、背景资料等，详细内容参见版面的构成说明。

④在版面允许的情况下，书中还安排了一些与实验内容相关的知识专栏。

---

*译者注：地理分册中的内容因与我国实际情况差异较大，没有翻译出版。

**●实验序号**

表示参照实验内容时，使用此序号。

**●对象学段**

**●目标**

表示对象在该学段通过本实验所要达到的行为目标。

**材料与器具**

表示需要准备的实验材料和器具。除了材料和器具的名称，还注明了规格和数量等补充条件。对于那些不需要特定规格的材料和器具，书中省略了这方面的说明。需要说明的是，对于规格的规定并不是绝对的，而是一种大体上的要求。就活动材料和器具的数量而言，为了避免烦琐，不需特殊说明时就省略了。另外，对于那些必须作为一套装置使用的器具及配件，原则上采用下面的方法表示：

煤气炉（或酒精灯）<br>三脚架 ——→ 加热器具<br>石棉网

按照上述方法，书中尽可能详尽地列出了所有必要的材料和器具，但这并不表明在必要材料不能凑齐的条件下不能开始实验，教师可以在充分理解实验内容的基础上，参照书中的提示有选择地准备一些必要的材料和器具，同时利用其他材料替代难以找到的材料。



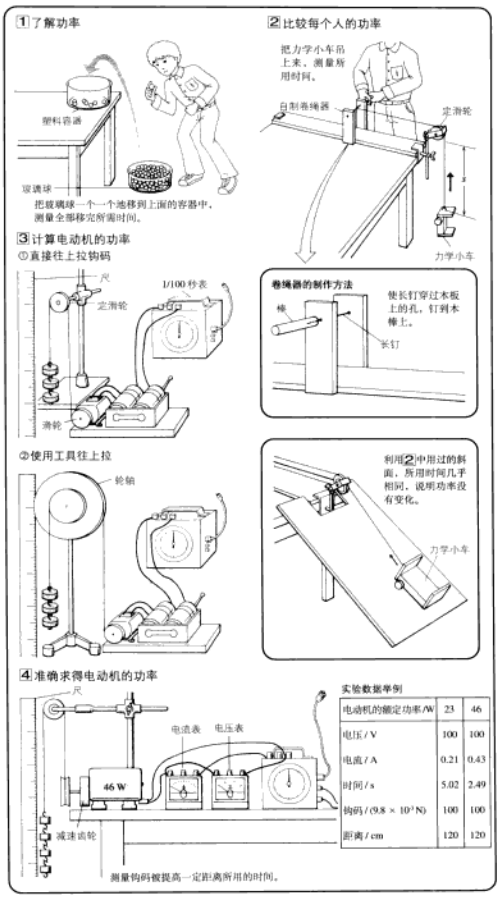
# 58 求功率

目标 初 实际计算功率，通过观察知道，即使利用工具，功率也不会改变。

材料与器具

玻璃球(100个左右)① 塑料容器 秒表 自制卷绳器② 力学小车 定滑轮 尺 铁架台 钩码③ 自制电动机 卷绳器④ 1/100秒表⑤ 交流电流表 交流电压表 实验用带刻度的减速装置 电动机⑥

①也可以利用弹球游戏店出售的球或小石头。②制作方法请参照2。③准备3～4个25 g的。④制作方法请参照3。⑤准备带电子开关的秒表。⑥准备两种。




实验数据举例

| 电动机的额定功率/W | 23 | 46 |
|---|---|---|
| 电压/V | 100 | 100 |
| 电流/A | 0.21 | 0.43 |
| 时间/s | 5.02 | 2.49 |
| 钩码/($9.8\times10^{-2}$ N) | 100 | 100 |
| 距离/cm | 120 | 120 |

1 提示 不是玻璃球也可以，只要互相碰撞时不易碎的就行。两三个人同时实验，把每个人所用的时间记录下来并作比较。

说明 比较每个人所用的时间就能知道，人与人之间有差异，也就是说，每个人的做功效率不同。完成相同功所用的时间不同，说明在单位时间内完成的功不同。单位时间内完成的功叫做功率。

2 提示 事先测出把力学小车拉上来所需要的力$F$，从力学小车上拴绳子的部分到滑轮间的距离也应事先测出。制作的卷绳器要像图中所示的那样尽量简单而牢固。

说明 因为功是$F\cdot s$，所以把它用每个人所用的时间来除就能得到每个人的功率。这里要让学生求出功率。使用力学小车是为了便于与利用斜面时的功率作比较。

3 提示 如图所示，为了更准确地测量，要把钟表的开关和电池开关连起来。

说明 通过把钩码往上拉所需要的力$F$(即一个钩码的重量×钩码的个数)、钩码被抬高的距离$s$以及所用的时间$t$，可以求得功率：

$$\text{功率}\ P=F\cdot s/t$$

在①中多次改变钩码的个数(重量)做实验，得到的功率是一样的。这说明，只要不改变电压，某个电动机的功率就是一个恒定的值。另外，②中也会发现功率恒定不变——等于①中得到的值。这说明，即使使用工具，功率也没有发生变化。

4 提示 可以利用模型电动机。不过，如果电动机旋转过快，测量就会变得比较难，所以使用带有减速装置的实验用电动机比较好。使用与电动机旋转同步的电子1/100秒表。

说明 计算各种电动机的功率。希望学生能够理解电动机的输出功率就是功率。

**记号**

说明——表示操作的顺序、意义、目的及计算式等。

提示——表示顺序、要领、失败的例子，以及为了保证实验成功所要注意的事项等。

注意——提示为了防止事故的发生或器具的损坏而要注意的事项。

危险——特别提醒对人体可能带来危害的时候用此标记，希望学生注意。

结果——表示实验、观察的结果或数据举例。

参考——介绍其他方法或其他相关事项以及补充说明等。

# 目　录

## Ⅰ基础操作


1 长度的测量 …… 35
2 时间的测量 …… 37
3 温度的测量 …… 39
4 质量与重量的测量 …… 43
5 体积的测量 …… 48
6 电流的测量 …… 51
7 电压的测量 …… 53
8 多用电表的使用方法 …… 56
9 气压的测量 …… 57
10 测量值与误差 …… 59
11 图像的画法 …… 61


## Ⅱ力与运动

### 1 力


12 观察接触力和远程力 初 …… 63
13 观察力的作用 初 …… 65
14 测量各种材料在多大力的作用下被拉断 初 …… 66
15 制作利用摩擦力的玩具 初 …… 68
16 观察金属丝的弯曲程度与力的关系 初 …… 69
17 用弹簧测力计测量力的大小 小初 …… 70
18 观察二力平衡 初 …… 72
19 观察三力平衡 初 …… 75
20 观察斜面上力的平衡 初 …… 78
21 制作天平 小 …… 80
22 观察杠杆的平衡 小 …… 85
23 静摩擦力和动摩擦力的测量 初高 …… 89

24 毛细现象实验 初 …… 91
25 做肥皂泡 小 …… 94
26 表面张力实验 初高 …… 95
2 压强
27 压强的表示方法 初 …… 97
28 压强实验 初 …… 98
29 观察水的压强与深度的关系 初 …… 99
30 帕斯卡实验 初 …… 101
31 连通器（水压机）实验 初 …… 102
32 气体压强实验 初 …… 104
33 大气压强实验 初 …… 106
34 观察气体的压强与体积的关系 初 …… 109
35 测量物体在液体中受到的浮力 初 …… 111
36 制作浮标 小初 …… 114
37 测量物体在空气中受到的浮力 初 …… 115
38 观察沸点与大气压的关系 高 …… 117
3 运动
39 观察各种各样的运动 初 …… 118
40 制作用橡皮筋带动的玩具 小初 …… 122
41 运动的记录方法 初 …… 123
42 观察匀速直线运动 初高 …… 127
43 落体运动实验 初高 …… 129
44 观察物体在空气和真空中自由下落的情形 初高 …… 131
45 打靶游戏实验 高 …… 133
46 加速度实验 初高 …… 135
47 物体沿着斜面下滑的运动 初高 …… 137
48 观察加速度与力的关系 初高 …… 138
49 测定重力加速度 $g$ 高 …… 141
50 观察加速度与质量的关系 高 …… 143
51 单摆实验 初高 …… 144
52 傅科摆（科里奥利力）实验 高 …… 145
53 圆周运动实验 高 …… 147
54 惯性实验 初 …… 149
55 用电子计算机分析物体的运动 高 …… 151

# Ⅲ功与能量

## 1 功


56 观察各种各样的功 初 …… 153
57 观察功与工具（简单机械）的关系 小初 …… 155
58 求功率 初 …… 156
59 观察热与功的关系 初 …… 157
60 观察功与光的关系 初 …… 160
61 观察热所做的功 初 …… 161
62 观察电流所做的功 初 …… 163


## 2 机械能


63 势能实验 初高 …… 164
64 研究小车动能的实验 初高 …… 166
65 研究弹簧能量的实验 初高 …… 169
66 观察机械能的转化与守恒规律 高 …… 172
67 用电子计算机分析机械能守恒定律 高 …… 176


# Ⅳ热

## 1 热与温度


68 观察热平衡与热传递现象 小初 …… 178
69 观察物体的颜色与温度的关系 初高 …… 180
70 观察不同温度的水混合时的温度变化 初高 …… 181


## 2 热与物质的特性


71 观察固体的膨胀 小 …… 183
72 观察液体的膨胀 小 …… 185
73 观察气体的膨胀 小初 …… 187
74 观察不同物质受热时温度升高的情况 初 …… 189
75 测定水的沸点 小初 …… 191
76 测定冰的熔点 小初 …… 193
77 测定物质的熔化热 初高 …… 195
78 测定物质的汽化热 初高 …… 197
79 观察水的三态变化 小初 …… 199

80 观察物质的三态变化 初 …… 201
81 辐射热实验 小初 …… 203
82 绝热膨胀和绝热压缩实验 初 …… 205
3 热传递
83 观察金属的热传导 小 …… 207
84 观察不同物质的热传导 小 …… 209
85 对流实验 小 …… 211

# V 光

1 光线
86 研究光在空气中的传播方式 小初 …… 215
87 研究光在水和玻璃中的传播方式 小初 …… 216
88 研究光的传播方式 初 …… 217
89 制作针孔照相机 初 …… 218
90 光的反射实验 小初 …… 221
91 用激光光源装置观察光的反射 初 …… 224
92 研究平面镜的功能及成像方式 初 …… 225
93 光的折射实验 1 初 …… 227
94 光的折射实验 2 初 …… 230
95 求玻璃和水的折射率 初 …… 231
96 利用棱镜观察光的色散 初高 …… 233
97 紫外线和红外线实验 初高 …… 235
98 观察光的颜色与温度的关系 初高 …… 236
99 观察光的颜色 高 …… 237
2 几何光学
100 凸透镜焦距的测定 初 …… 238
101 凹透镜焦距的测定 初 …… 240
102 放大镜倍率的测定 初 …… 242
103 观察凸透镜的成像规律 初 …… 243
104 观察凹透镜的成像规律 初 …… 244
105 观察光通过凸透镜后的传播方向 初 …… 245
106 观察光通过凹透镜后的传播方向 初 …… 246
107 观察凸面镜的反射及成像方式 初 …… 247

108 观察凹面镜的反射及成像方式 初 …… 248

3 光能

109 观察照度与受光面到光源的距离之间的关系 初 …… 249

110 用热辐射计观察光的作用 初高 …… 251

111 观察太阳能电池的应用 初 …… 252

# Ⅵ 声音和波

1 声音

112 观察没有空气声音便无法传播的现象 初 …… 253

113 观察声音的传播方式 初 …… 255

114 观察声音的传播速度 初 …… 257

115 研究声音的反射 小初 …… 259

116 观察声音的强弱与振幅的关系 初 …… 261

117 观察声音的高低与振动频率的关系 初高 …… 264

118 观察音色的不同 初高 …… 267

119 共鸣实验 初 …… 268

120 观察声音与物体的振动的关系 初 …… 270

2 波·振动

121 研究摆的性质 初高 …… 272

122 摆的共振实验 初高 …… 273

123 研究横波与纵波的区别 初高 …… 275

124 研究波的传播方式与反射的情况 初高 …… 276

125 研究波的独立性、波的叠加和驻波 初高 …… 277

126 观察各种驻波 高 …… 278

127 研究弦的固有频率 高 …… 279

128 研究波的传播方式 高 …… 280

129 观察波的反射 高 …… 281

130 观察波的折射 高 …… 282

131 观察波的衍射 高 …… 283

132 观察波的干涉 高 …… 284

# Ⅶ 电和磁

## 1 静电


133 用各种物体互相摩擦产生静电 初高 …… 285
134 研究静电 高 …… 288
135 静电与电流的比较 高 …… 290
136 储存静电 初 …… 293
137 使用静电高压发生装置的实验 高 …… 296


## 2 电路


138 用干电池和小灯泡连接电路 小初 …… 297
139 用小灯泡研究电路 小初 …… 300
140 研究电压与电流的关系 初 …… 301
141 用电子计算机做欧姆定律实验 初 …… 303
142 研究电阻如何随长度而变化 初 …… 304
143 求电路的总电阻 初 …… 306
144 不同金属材料的电阻 初 …… 308
145 观察电阻如何随温度而变化 初高 …… 309
146 观察给水溶液加上电压时电流的变化 初 …… 310
147 观察在灯丝上吹气引起的电阻变化 初高 …… 311


## 3 电流和发热


148 测量电热丝发出的热量 初 …… 312
149 研究发热量与电压的关系 初 …… 313
150 研究发热量与电流的关系 初 …… 314
151 研究发热量与电功的关系 初 …… 316
152 研究金属和碳棒的发热现象 初 …… 317


## 4 电流和磁场


153 研究永久磁铁的性质 小 …… 318
154 观察磁铁周围的磁场 小初 …… 320
155 观察载流直导线周围的磁场 小初 …… 323
156 观察螺线管的磁感线 小初 …… 325
157 制作电磁铁 小 …… 327
158 研究电磁铁的性质 小 …… 328
159 观察磁场对电流的作用 初 …… 330

160 制作电动机 小初 …… 332
161 磁化与去磁实验 小初 …… 334
5 电磁感应
162 用螺线管和磁铁产生电流 初 …… 335
163 研究感应电流的方向 初 …… 338
164 制作发电机 初 …… 339
165 研究感应电流的大小 初高 …… 342
6 直流电和交流电
166 研究直流电与交流电的区别 初 …… 343
167 用示波器观察直流电和交流电的波形 初 …… 346
168 研究变压器的原理 初 …… 347

# Ⅷ 物质的结构

1 电子
169 研究阴极射线的性质 初 …… 350
170 观察真空放电现象 初 …… 354
2 原子和原子核
171 观察用射线使胶片感光的情况 初高 …… 356
172 利用 $\alpha$ - 径迹法确定放射性核的分布及其位置 初高 …… 358
173 观察镭等放射出的射线 高 …… 359
174 用云室观察射线的径迹 初 …… 363

# Ⅸ电子设备的制作

175 主要工具的用法 …… 367
176 金属板的加工方法 …… 369
177 塑料的加工方法 …… 371
178 布线的技巧 …… 373
179 印制电路板的制作方法 …… 375
180 电子元器件及其符号 …… 377
181 整流电路的结构和应用 …… 379
182 太阳能电池的利用 …… 381
183 计时器的制作 …… 383
184 计时器的用法 …… 385
185 定时器的制作 …… 387
186 微小温差探测器的制作 …… 389
187 热电偶的用法 …… 391
188 发光二极管的应用 …… 393
189 照度计的制作 …… 395
190 波形发生装置的制作 …… 397
191 金属探测器的制作 …… 399
192 简单电子乐器的制作 …… 402
193 简单收音机的制作 …… 403
194 闸流晶体管控制电路 …… 405
195 高灵敏度电流表的制作 …… 407
196 电阻计的制作 …… 409
197 稳压电源的制作 …… 410
198 直读式电容计的制作 …… 412

索引 …… 413

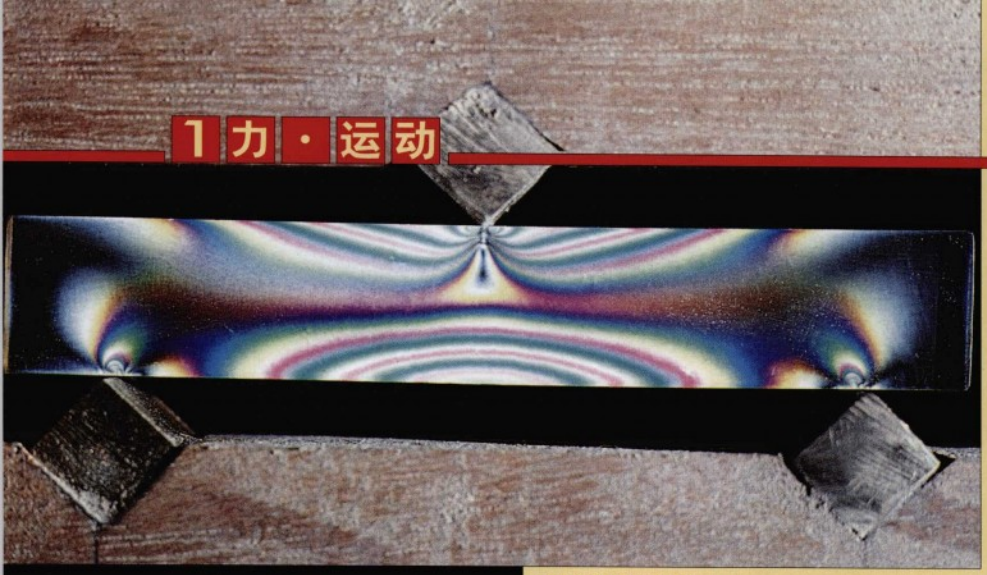
**協助・提供照片**　アクションフォトライブラリー
今畠中 親雄
OPO
内田洋行
N.N.P
海上保安庁
菊池 俊吉
佐藤 夏雄
シップアンドオーシャン財団
清藤 義雄
田村 公生
トヨタ自動車
中込 八郎
日本石油
日本電子
日立マクセル
PPS通信社
富士通
フォート・キシモト
ボンカラー
リモートセンシング技術センター
**協助編輯**　桂樹社グループ
**制　　版**　日本クリエイト
岩井トレース社
**装　　訂**　太田 哲夫

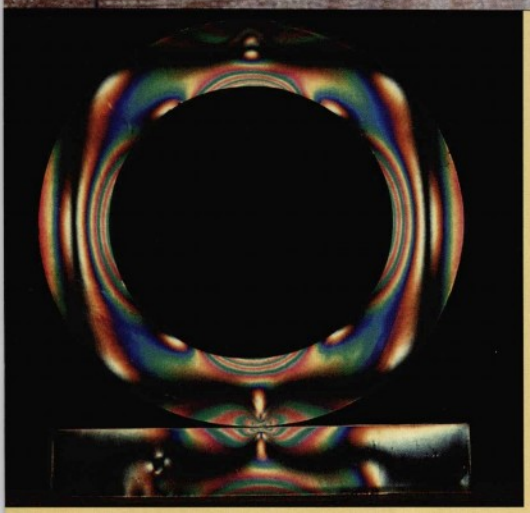
# 物理世界



玻璃破碎的瞬间

# 1 力 · 运动



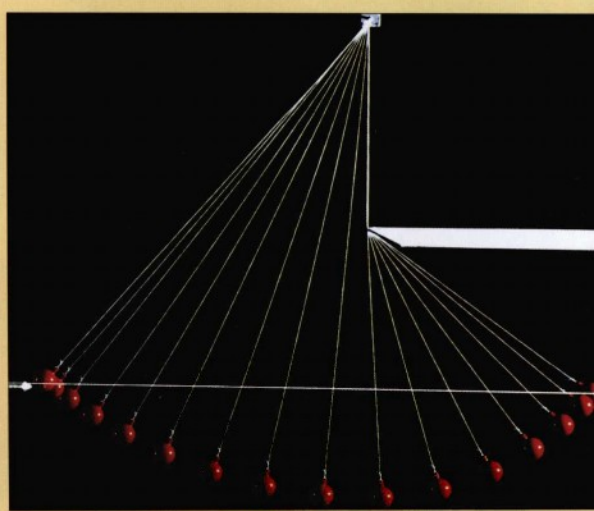


◀ ▲光弹性干涉图样

对塑料板施加力时，会出现扭曲的条纹。上图是对三个点施加力时出现的条纹。左图是两张塑料板之间相互施力（作用力与反作用力）时出现的条纹。



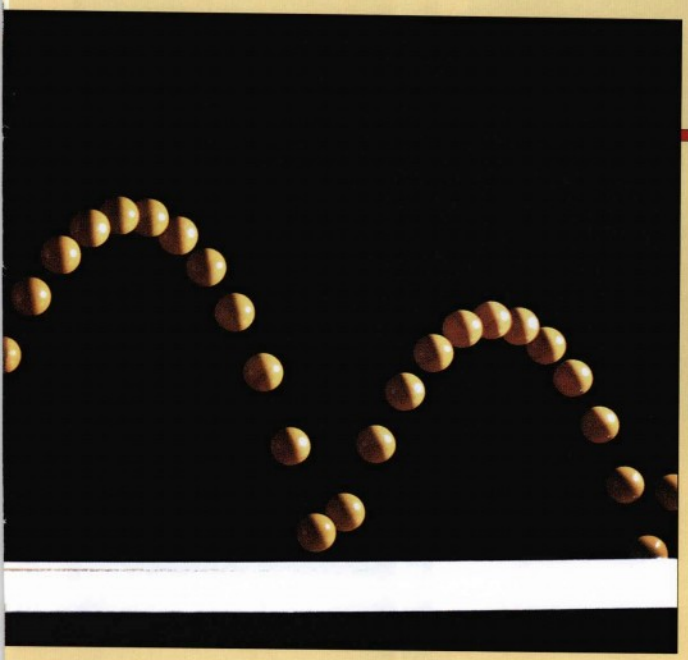
做连续弹跳运动的小球

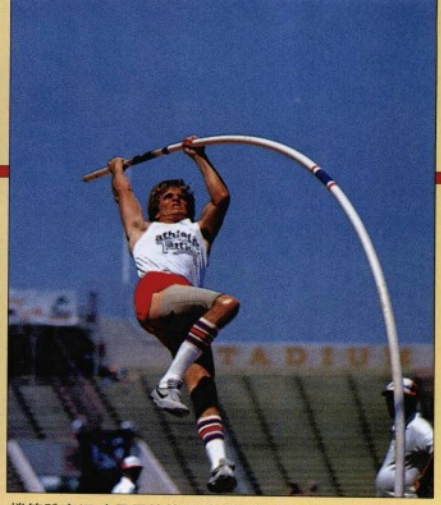


在单摆运动中，摆球的势能与动能相互转化，但两种能量之和（即机械能）守恒。所以，如果在摆球的运动过程中压住摆线，摆球仍会上升到同一高度。



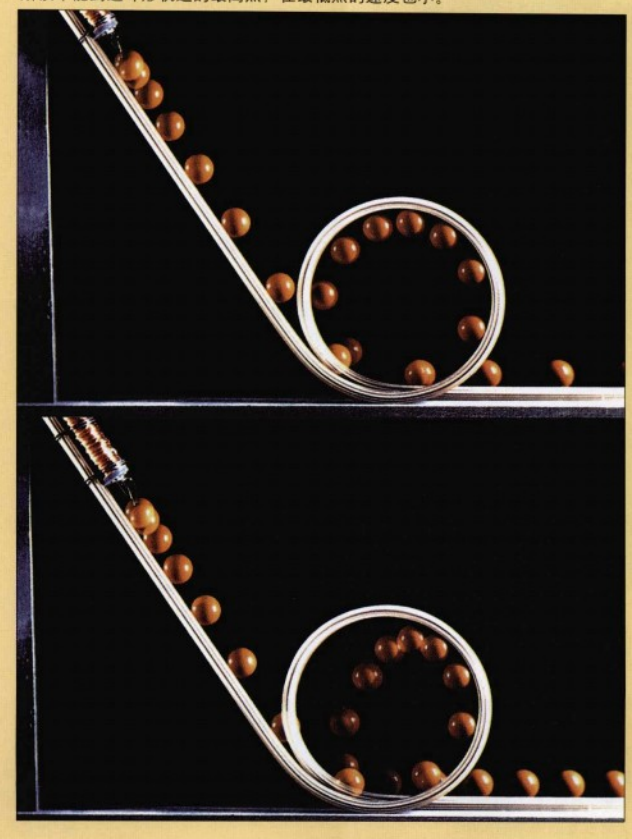
被大气压扁的煤油罐





撑竿跳高运动员用的竿里储存的弹性势能，把运动员的身体抛向空中。

上图：小球在环形轨道上旋转一周，位于最高点时速度最小，位于最低点时速度最大；在这一过程中动能和势能相互转化。下图：由于小球在初始位置的势能小，所以不能到达环形轨道的最高点，在最低点的速度也小。



旋转360° 的翻滚过山车必须把起点设在足够高的地方。





▲空中漫游

## 下落运动

不考虑空气阻力时，物体的下落运动是加速运动中最基本的匀加速运动。人在加速运动的物体（如电梯）中，能感觉到惯性。物体碰撞时，遵循动量守恒定律。和机械能守恒定律一样，动量守恒定律是最重要的守恒定律之一。

竖直下落的小球与水平▶
抛出的小球的碰撞



▼猫与小球的下落运动





55层（静止）



54层



电梯下降到第12层



电梯下降到第4层



2层



1层（停止）

运动中的电梯内，物体的视重会发生变化。比如，电梯做下落运动时，在刚刚开始下落的加速运动过程中，物体的视重会变轻；进入匀速运动状态之后，物体的视重又恢复到静止时的大小。然后，为了使电梯停止运动而产生负向加速度之后，物体的视重变重；等电梯完全停稳之后，物体的视重又会恢复到原来的大小。




▲飞艇



▲48 万吨超级油轮

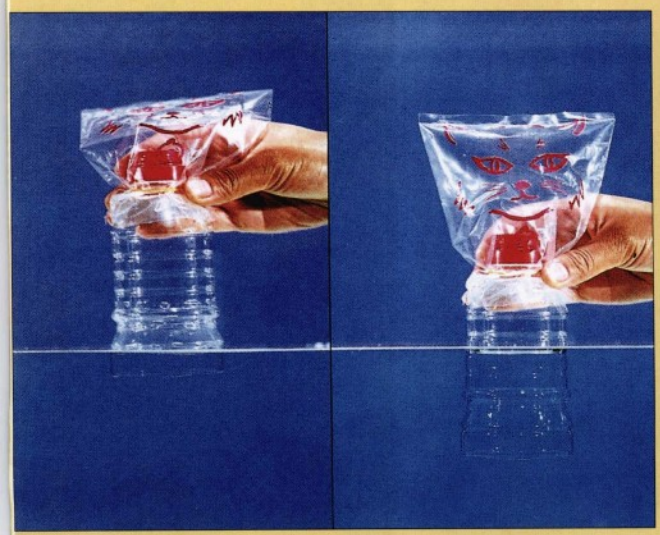
## 浮力

物体在气体或液体中会受到浮力的作用。浮力的产生原因在于重力的存在，所以在没有重力的世界里不存在浮力。对水中的物体起作用的浮力还受大气压的影响，气压越高，浮力越大。比较体积相同的物体会发现，密度小的物体在水中容易浮起来。

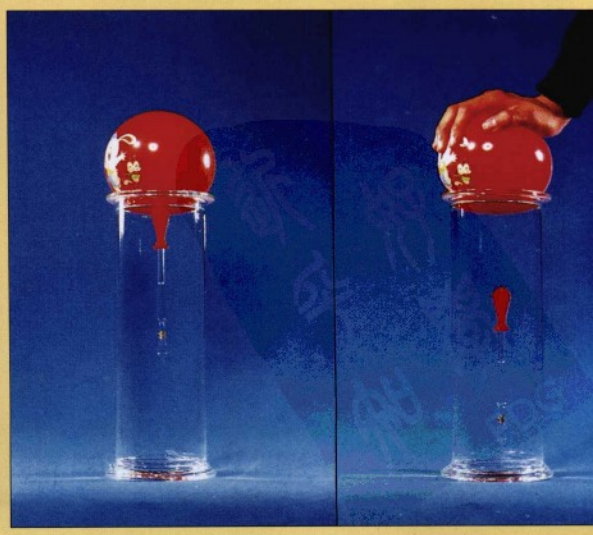
往塑料袋里装入各种物质，然后放入水中。此时，装有密度比水小的物质的塑料袋会浮起来，密度比水大的则会沉入水中。




左图：剪掉酱油瓶的瓶底，瓶口套上塑料袋，然后放在水面上。右图：把它压入水中，塑料袋就会膨胀。



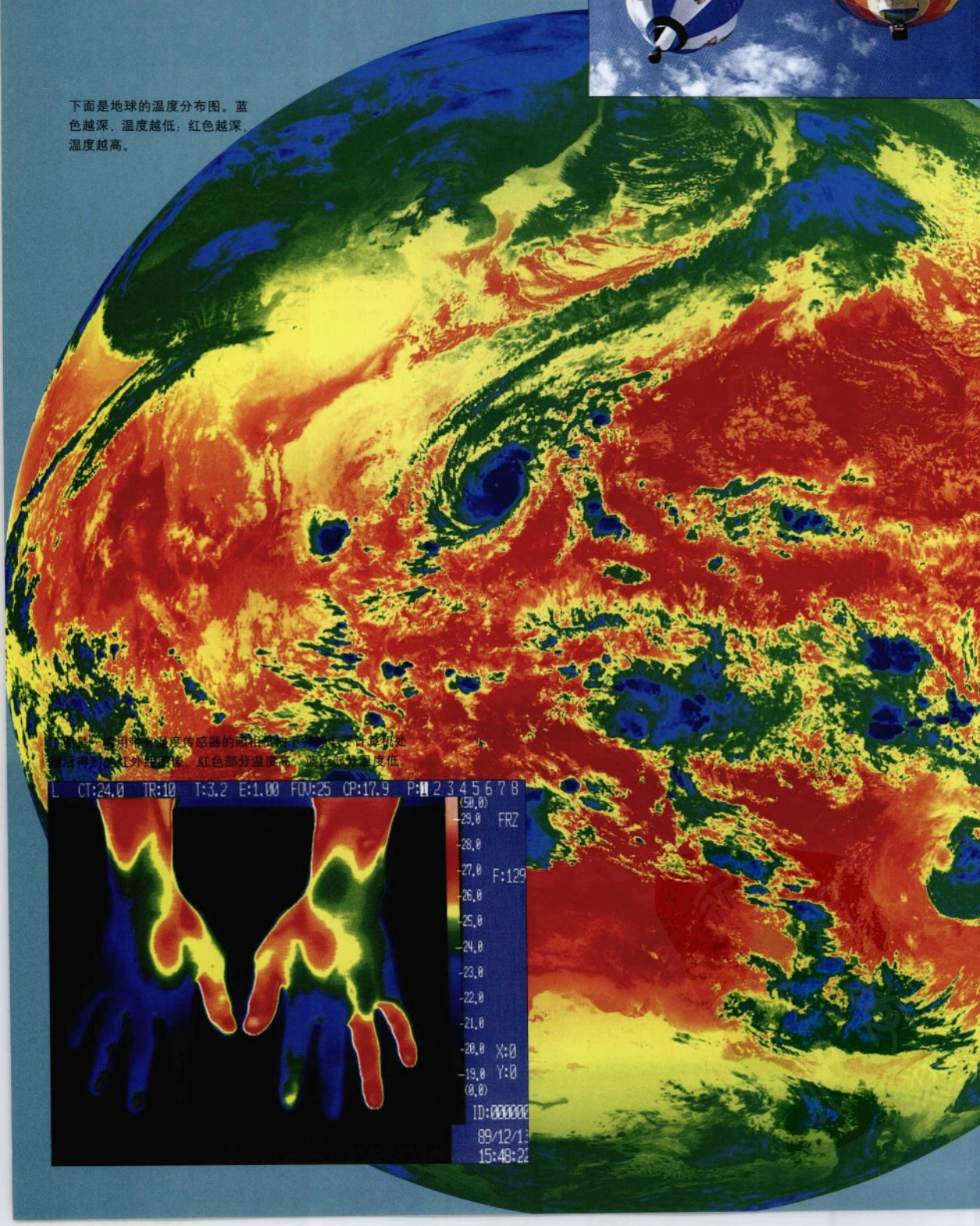
左图：把浮标放入水中，然后用橡皮球给水施加压力。右图：这时，浮标会沉入水中。



# 2 热



下面是地球的温度分布图。蓝色越深，温度越低；红色越深，温度越高。



这张是一台用带温度传感器的照相机拍摄并由计算机处理后得到的红外线图像，红色部分温度高，蓝色部分温度低。

◀ 热气球

气球里面装有因受热而变轻的空气。

饮水鸟 ▶

装在玻璃制的小鸟躯体里面的乙醚，被周围的空气加热而升温、蒸发。其结果是小鸟躯体里面的气压变高，乙醚被推到玻璃管内，从而使重心向上移动，小鸟的头就低下来。待小鸟的身体达到水平状态时，由于管的下端露出液面，乙醚回到原来的状态，小鸟又会抬起头来。此时，因为小鸟的嘴被水浸湿而失去热量，管内的温度便会下降，蒸发的乙醚部分液化，管内的气压比躯体内的气压低，这样乙醚再次被推到管内，小鸟就会再次低下头(下面三幅图)。通过右边的图片可以看出，小鸟头部的温度比较低(蓝色)。







如果应用彩色纹影技术拍摄照片，左边的图像就会变成上面的样子。



# 3 光

◀ 人造地球卫星激光测距

通过测量激光脉冲的往返时间，就能求出测距仪与人造地球卫星间的距离。

▼光导纤维

如果光从光导纤维的一端射入，就会一边反复进行全反射，一边通过弯曲的光导纤维从另一端射出。



◀ 用光导纤维做的装饰品

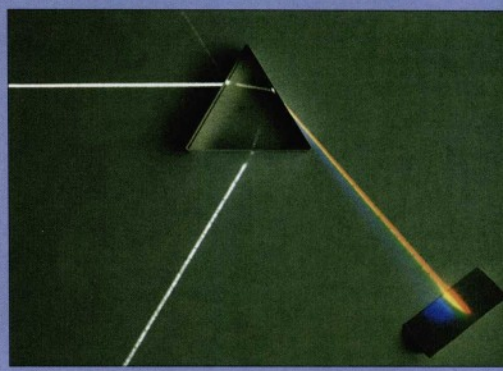


▲ **透镜的组合**

凸透镜使光线往中心偏折，凹透镜使光线往边缘偏折。另外，一般物体对蓝光的折射率大，所以蓝光比红光的偏折情况明显。

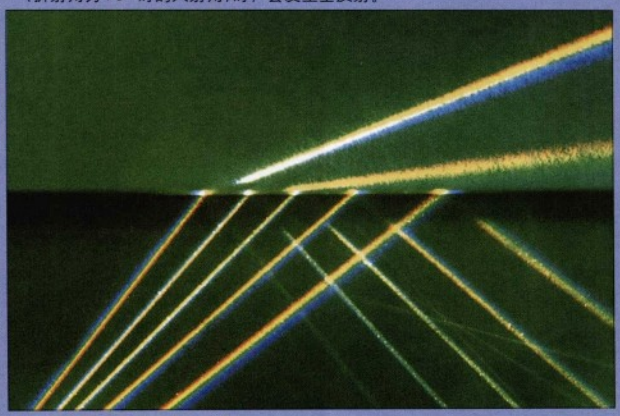
▼ **光线通过棱镜时发生的色散**

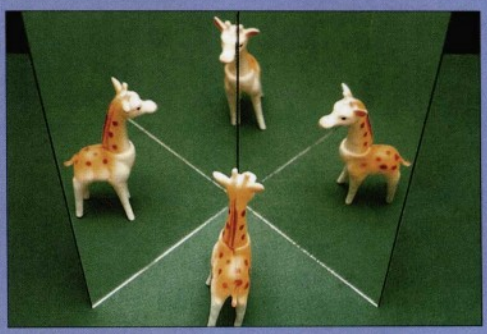
当日光照射到棱镜上时，反射角等于入射角，跟光的颜色无关；折射角却跟光的颜色有关——蓝光的折射角比较大。



▼ **反射和折射**

将光线从水中射向水与空气的界面时，会发生反射和折射。当入射角超过临界角（折射角为 90° 时的入射角）时，会发生全反射。



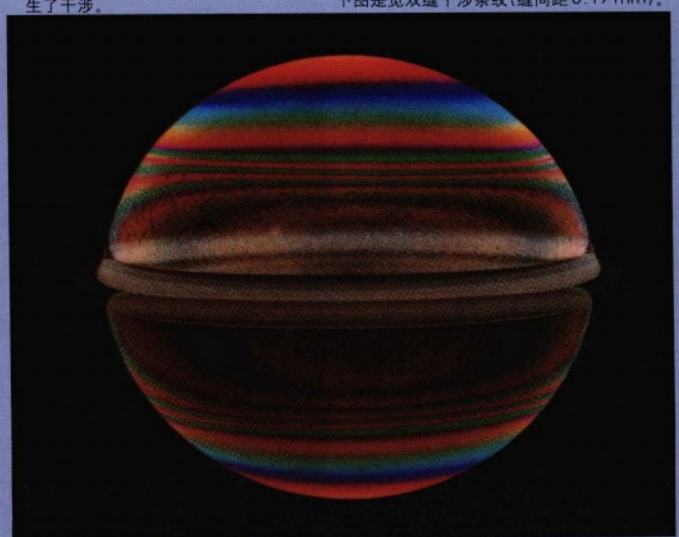


▲ **万花筒的原理**

将平面镜组合起来，就能使一个物体成出多个像。

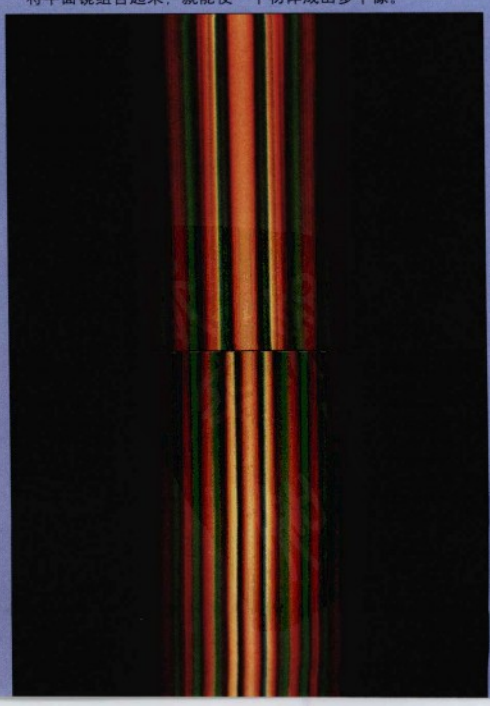
▼ **薄膜的干涉**

肥皂泡上映出各种颜色，是因为光在肥皂泡的薄膜上发生了干涉。



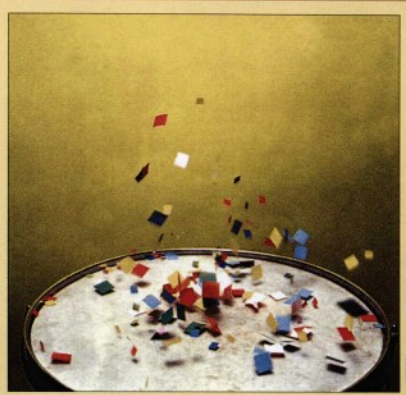
**白光的干涉条纹** ▶

上图是窄双缝干涉条纹（缝间距 0.11 mm），下图是宽双缝干涉条纹（缝间距 0.19 mm）。



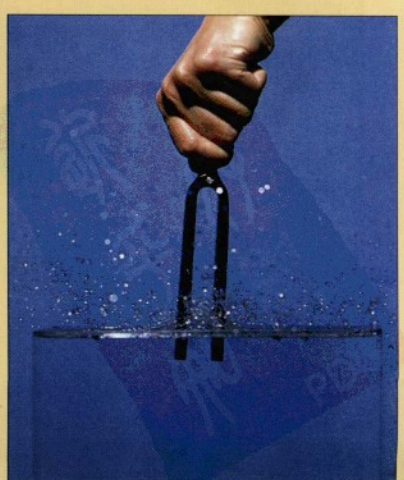
# 4 声和波

▲ 管风琴

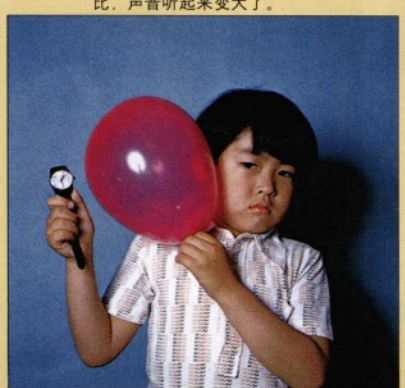


在鼓面上放上碎纸片，敲鼓，可以看到纸片跳动，由此可知鼓面在振动。

敲击音叉，然后将前端放入水中，可以看到水花四溅，由此可知音叉在振动。



将耳朵贴在气球上，听手表的声音。与没将耳朵贴在气球上时相比，声音听起来变大了。

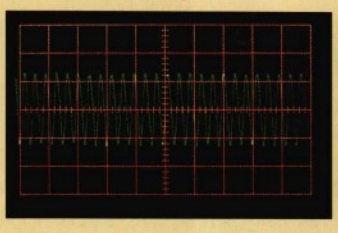


▼ 乐器和音色

每种乐器都有其独特的音色。下列图片是用示波器看到的波形。

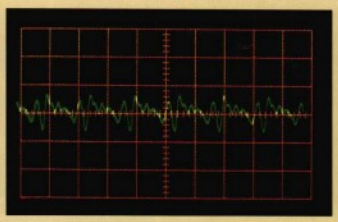
长笛





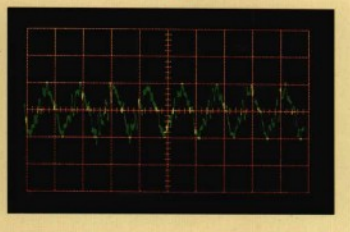
小号
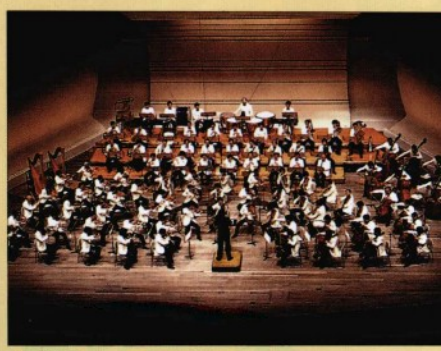




小提琴

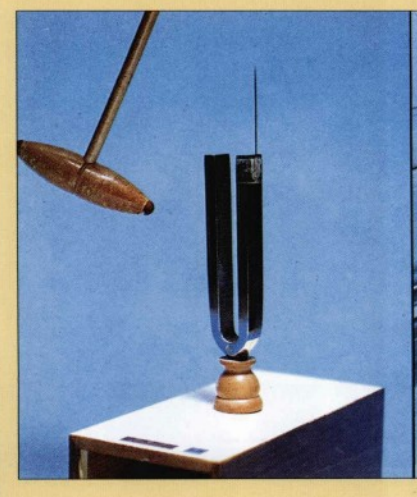


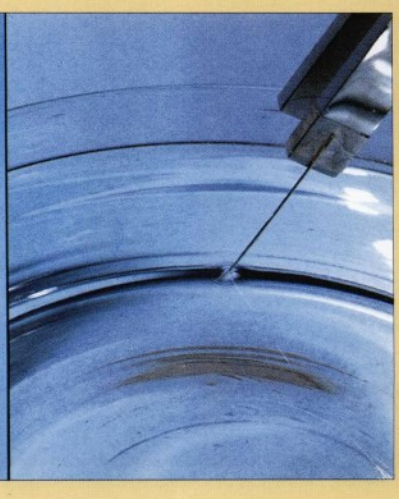


声音，是声波作用于我们的耳朵以后产生的感觉。声波是由声源的振动形成的。即使是看上去没有振动的声源，只要你肯动脑筋也能观察到其振动的样子。



▲ 乐队席





左图：敲击绑有铁丝的音叉。
右图：将铁丝的前端放入水中，可以看到水面有波纹产生。

# 5 电和磁

▲ 闪电



在静电高压发生装置上放上长毛玩具(左图)，使之带上高压电。毛的前端积蓄的同种电荷相互排斥，毛与重力方向相反呈放射状直立(右图)。



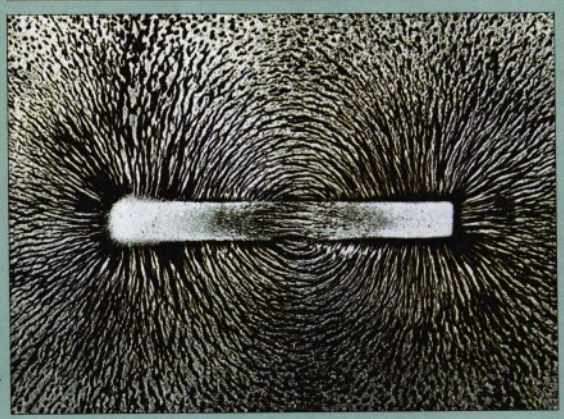




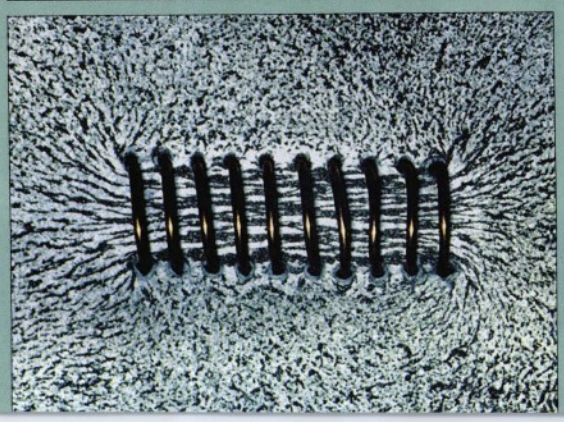
▲ 磁悬浮列车

◀ 使磁铁悬在空中的超导体碟子

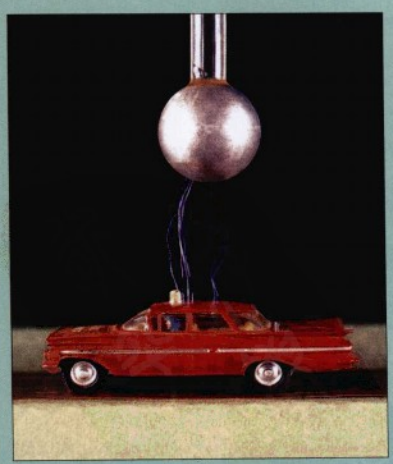
这是现代科学技术在电磁学中的应用成果。自然界中最有代表性的电现象是闪电。电磁学在日常生活中也得到了广泛的应用。将某种金属冷却到极低温时，电阻为零。利用这种现象，可以制作强磁铁。磁悬浮列车就应用了这一原理。



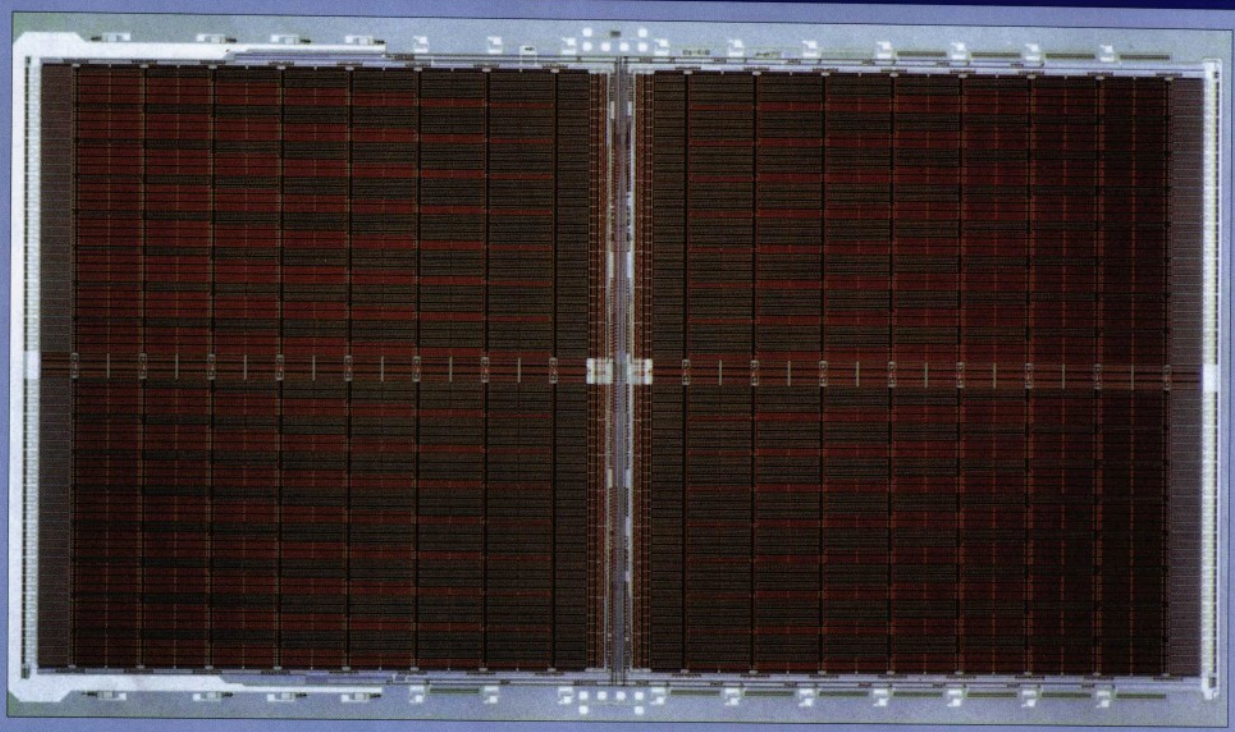
条形磁铁周围的磁场 ▶



通电螺线管周围的磁场 ▶



▲ 人造闪电



▲ 计算机内的超小型集成电路

▼ IC卡

尺寸与磁卡相同，卡内藏有微处理器和信息不易消失的存储器。



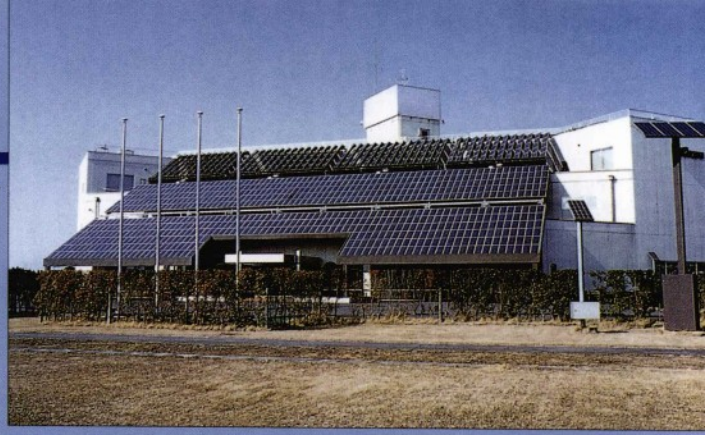


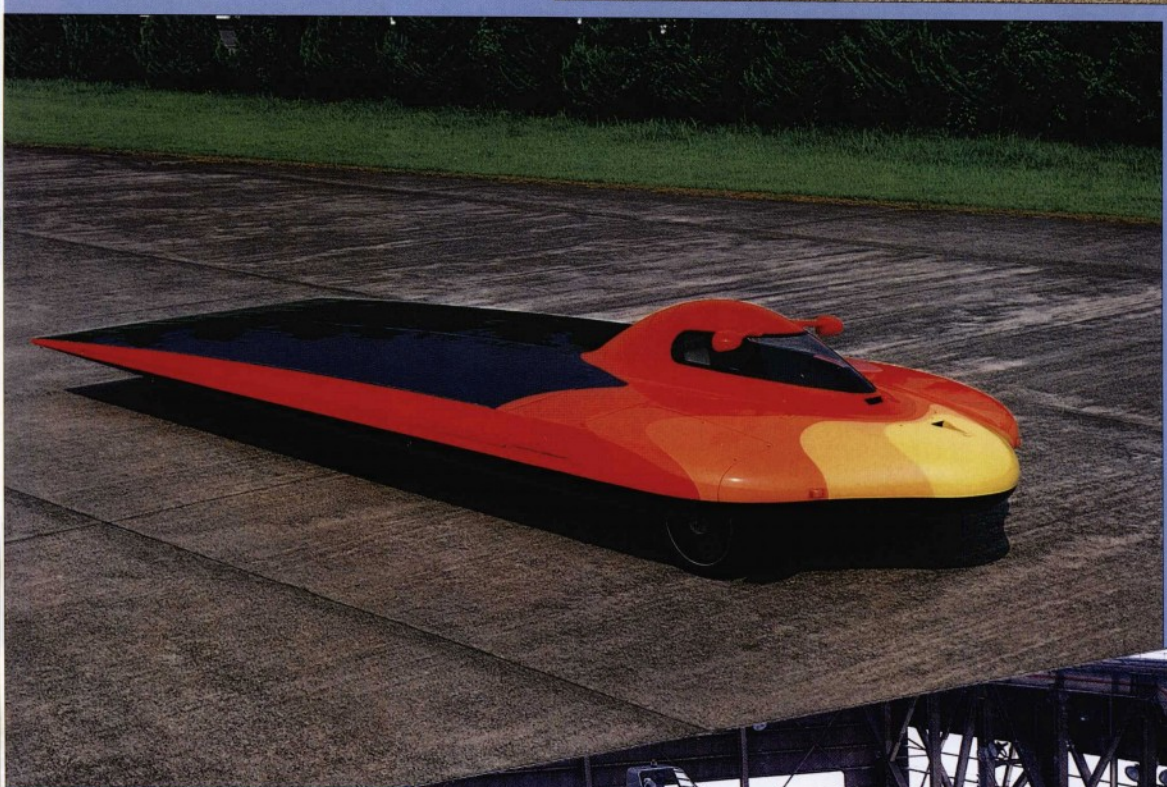


▲ 可重写型光盘

这是记忆容量很大而且能够改写数据的光盘。可用空间为 644 MB。

利用太阳能电池发电 ▶

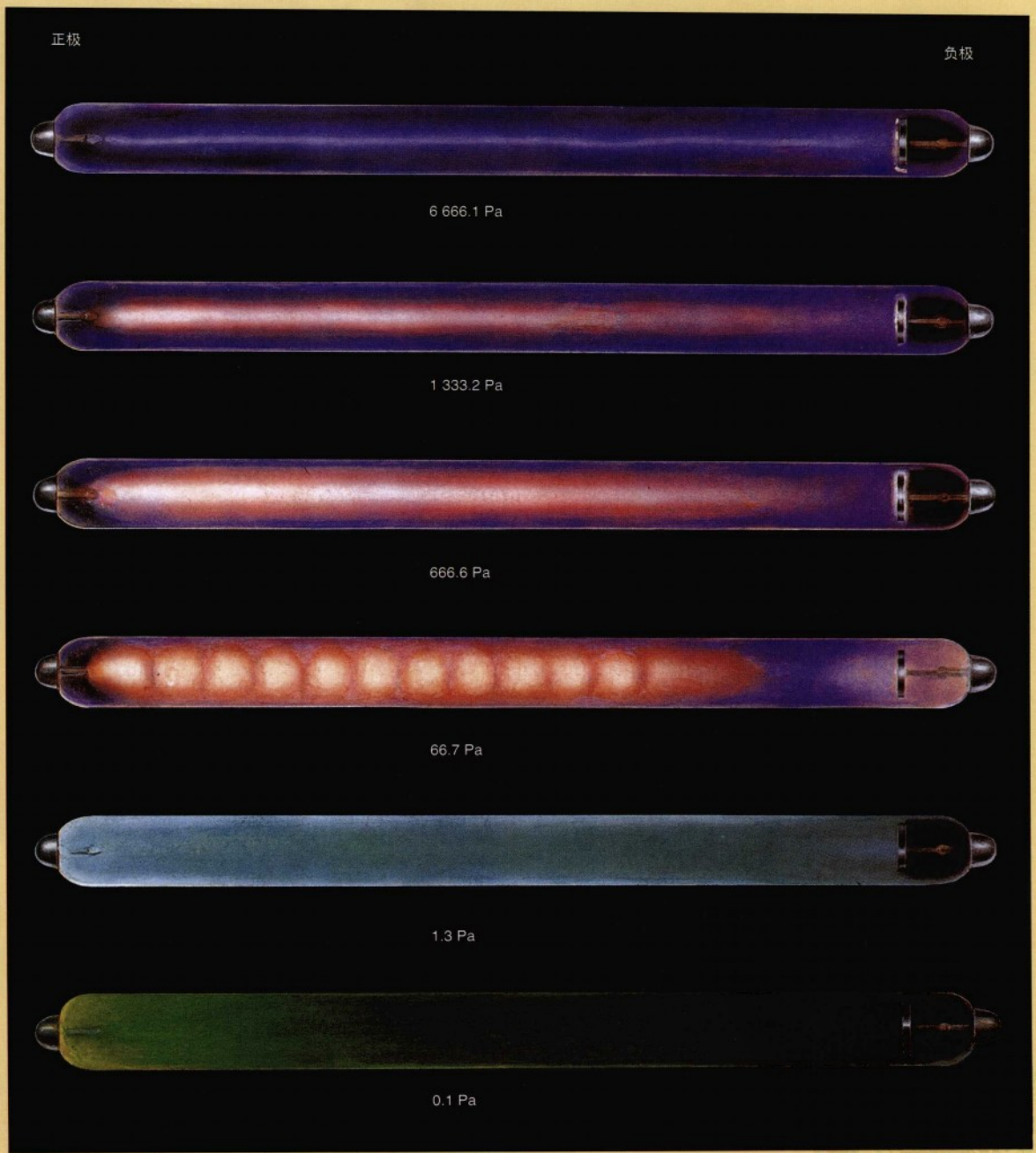




▲ 太阳能汽车



超导电磁推进船 ▶




**▲ 真空放电的情况**　在细长玻璃管的两端，封好电极，加上高压电。随着管内的空气被抽出，电极间产生放电现象。如图所示，这种放电情况会因管内的压强不同而发生变化。

# 图解实验观察大全

（修订版）

物理



# 1 长度的测量

**目标**

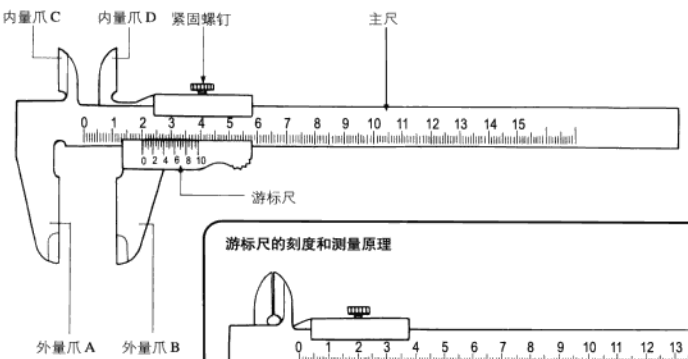
会用游标卡尺测量木板的厚度、圆柱体的外径、内径以及球体的直径等，可以准确到 0.05 mm。
会用螺旋测微器测量钢丝的直径、薄板的厚度等，可以准确到 0.001 mm。

**【A】游标卡尺　各种待测物体①　　【B】螺旋测微器　各种待测物体②**

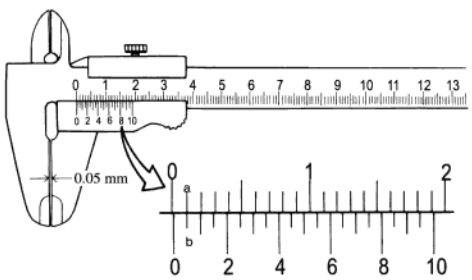
①厚度适当的金属板、金属圆筒、有孔金属板、金属球等。
②粗细不等的钢丝、薄金属板等。

## 【A】用游标卡尺测量

### 1 游标卡尺的结构



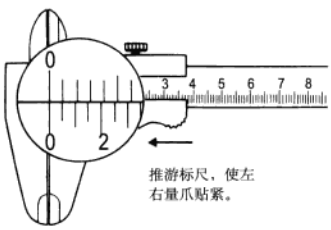

**游标尺的刻度和测量原理**




游标尺上的刻度把 19 mm 分成 20 等份，分度值是0.95 mm。因主尺的分度值是 1 mm，所以二者之差为0.05 mm。如图所示，当把游标尺向右移动 0.05 mm 时，主尺和游标尺的第一条刻度 a、b 就会对齐。此时，量爪 A 与 B 之间的间隔也是0.05 mm。同样，如果把游标尺移动0.1 mm，主尺和游标尺的第二条刻度应对齐，量爪 A 与 B 的间距也是0.1 mm。根据这一原理，在量爪 A、B 之间夹住待测物体并读出与主尺对齐的游标尺示数，就能准确地测量小至 1 mm 的 1/20 (即 0.05 mm)的物体的长度。

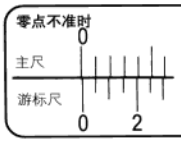
### 2 测量方法

①校准零点



推游标尺，使左右量爪贴紧。

**零点不准时**



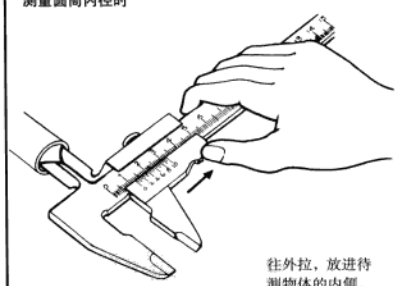

比如像左图的情况，零点修正值为0.05 mm，最后修正测量值。

②用量爪夹住待测物体



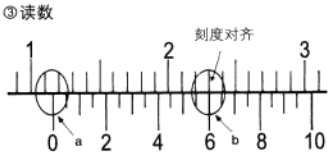
推游标尺，夹住待测物体。

**测量圆筒内径时**



往外拉，放进待测物体的内侧。

③读数




主尺的读数a 11
游标尺的读数b 0.6
测量值 11.6 mm

①中的情况→ 零点误差－0.05
修正值 11.55 mm

① 读取与游标尺的零刻度对应的主尺刻度，求出大概值(左图中 a 的读数在 11 mm～12 mm 之间)。
② 主尺上一个分度值以下的数值通过与主尺上的刻度相对应的游标尺的刻度读取。(左图中 b 的读数是 0.6 mm。)
③ 零点有误差时要修正。

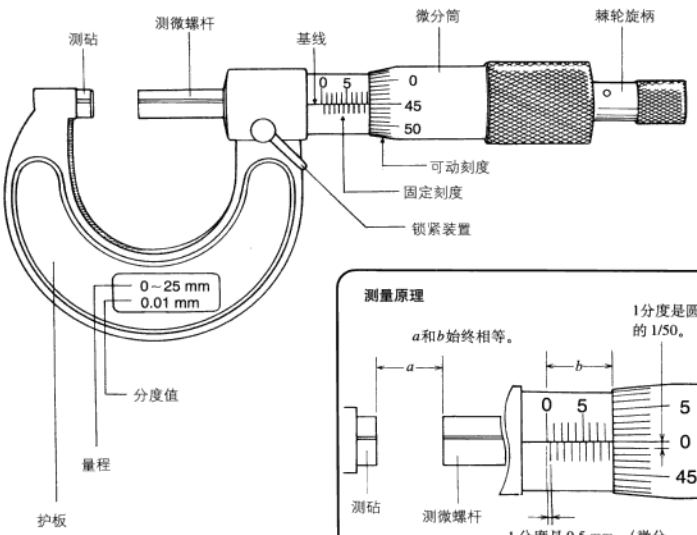
## 【A】用游标卡尺测量

**2** ① 提示 当左右两个量爪贴近而零点刻度不能对齐时，有必要修正测量值。为了避免出现这种误差，建议在量爪的表面经常擦油，以防生锈。

② 说明 测量圆柱体的外径、球的直径、板的厚度等时，要用外量爪A、B将待测物体夹起来进行测量；测量圆筒或孔的内径时，则把内量爪C、D放入圆筒或孔的内侧进行测量。
提示 待测物体被夹的松紧程度不同，测出的数值也会不同。测量时，以待测物体夹在测爪上之后略能活动的程度为准。

## 【B】用螺旋测微器测量

### 1 螺旋测微器的结构




**测量原理**



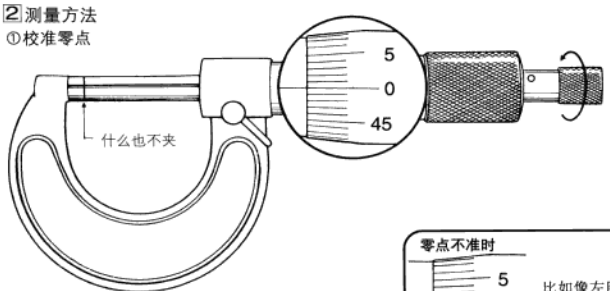

1 分度是 0.5 mm。（微分筒旋转一周，测微螺杆便随之向前移动 1 分度。）

微分筒旋转一周，螺杆就会向前移动 1 螺距。如果在微分筒的圆周上画上刻度，使我们知道微分筒旋转了圆周的几分之一的话，就能知道螺杆向前移动了 1 螺距的几分之一。利用这一原理，测微器就能精确地测量长度。微分筒、测微螺杆以及护板是以 1 螺距为 0.5 mm 的螺钉相连的。所以，当把微分筒旋转 1 分度(圆周的 1/50)时，测微螺杆就向前移动了 0.01 mm。计算公式如下：

$$1\text{ 螺距 }(0.5\text{ mm}) \times \frac{1}{50} = 0.01\text{ mm}$$

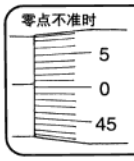
### 2 测量方法

①校准零点



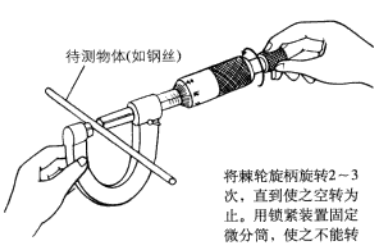

使测砧和测微螺杆紧密接触，将棘轮旋柄旋转2～3次，直到使之空转为止。然后查看可动刻度的零刻度是否与基线对齐。

**零点不准时**



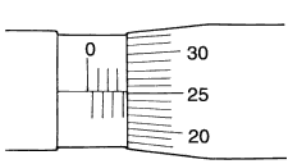

比如像左图，读取修正值 (0.004 mm)，最后修正测量值。

②把待测物体夹在测砧和测微螺杆之间




将棘轮旋柄旋转2～3次，直到使之空转为止。用锁紧装置固定微分筒，使之不能转动。

③读数




ⓐ首先把固定刻度读到微分筒左端 0.5 mm 为止；
ⓑ把可动刻度读到固定刻度中央基线的 0.01 mm 为止；
ⓒ再用估测的方法把可动刻度读到 0.001 mm；
ⓓ当零点不准时，要加上零点修正值。

| 左图中 | | |
|---|---|---|
| | 固定刻度读数为 | 3.5 |
| | 可动刻度读数为 | 0.25 |
| | 估测值为 | 0.002 |
| | 测量值为 | 3.752 mm |
| ①中得到的 | 零点修正值 | －0.004 |
| | 修正后的值 | 3.748 mm |

## 【B】用螺旋测微器测量

**1** 说明 测微器的种类很多。除了螺旋测微器之外，还有读数显微镜和球径计等。这里只讲螺旋测微器的使用。

**2** ① 提示 当测砧和测微螺杆紧密接触而刻度不指零时，有必要用工具校准零点或修正测量值。为了避免出现这种误差，最好经常在测砧接触面上擦油，以防生锈。

② 提示 转动微分筒时，可操作到使测微螺杆和待测物体即将接触为止。然后，再轻轻转动棘轮旋柄，把物体夹住，同时转动锁紧装置。若直接通过旋转微分筒来夹住钢丝的话，会因夹得太紧而使测量值出现误差。当因操作不当而使物体夹得太紧时，应将微分筒稍微回转后改用转动棘轮旋柄的方法把物体夹住。

③ 说明 如果能把微分筒的每一个分度估读到 1/10，就能估测到 0.001 mm。

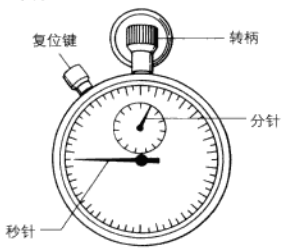
# 2 时间的测量

秒表　电动秒表　打点计时器　暗室秒表　沙漏

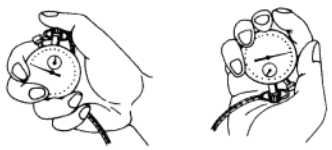
**目标**　了解秒表、电动秒表、打点计时器、暗室秒表、沙漏的结构和使用方法，并能利用这些工具测量时间。

## 1 用秒表测量

①外观



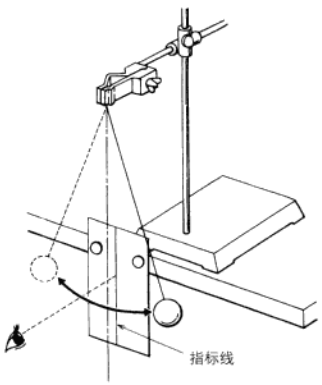

**按转柄的方法**




②测量单摆的周期（使用举例）

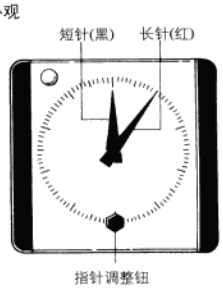


一边数出摆球通过指标线的次数，一边记下摆动几十次所用的时间，求出摆动一次所需的时间。

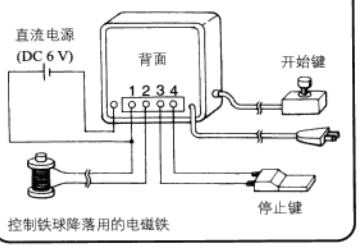



## 2 用电动秒表测量（使用举例）

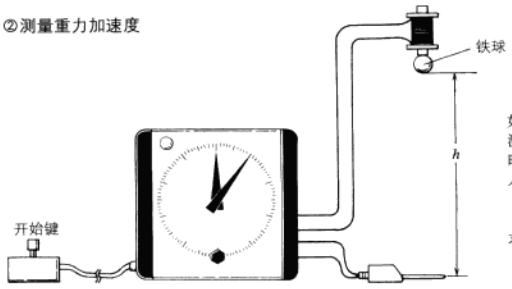
①外观




**各装置的连接方法**




②测量重力加速度




如图所示，将装置连好，测量距离$h$和铁球的下落时间$t$，然后将测量值代入自由落体公式

$$h=\frac{1}{2}gt^2 \quad \left(g=\frac{2h}{t^2}\right)$$

求得重力加速度。

---

1 ① 说明　秒表有15分表(秒针旋转一周为30 s，分度值为$\frac{1}{10}$ s)和30分表(秒针旋转一周为60 s，分度值为$\frac{1}{5}$ s)。

秒表从结构上可以分为两种类型：一种是通过一个转柄进行所有操作的秒表，另一种则设有复位键。只有一个转柄的秒表，每按一次转柄，就重复一次“开始→停止→回到零点→开始”的程序。有复位键的秒表，每按一次转柄，就重复一次“开始→停止→开始”的程序。除了左边图上的模拟计时器以外，最近，像下图所示的数码计时器也多起来了。



数码计时器

提示　为了避免使用时掉在地上，可以用绳子把秒表挂在脖子(或手腕)上进行操作。另外，要把发条上足后使用。使用完毕后，为了让发条恢复到原来的松弛状态，应在表针运动的状态下保管。

2 ① 说明　短针是10 s旋转一周，长针则是1 s旋转一周。电动秒表的表盘大，可测量到0.01 s，适合演示实验使用。

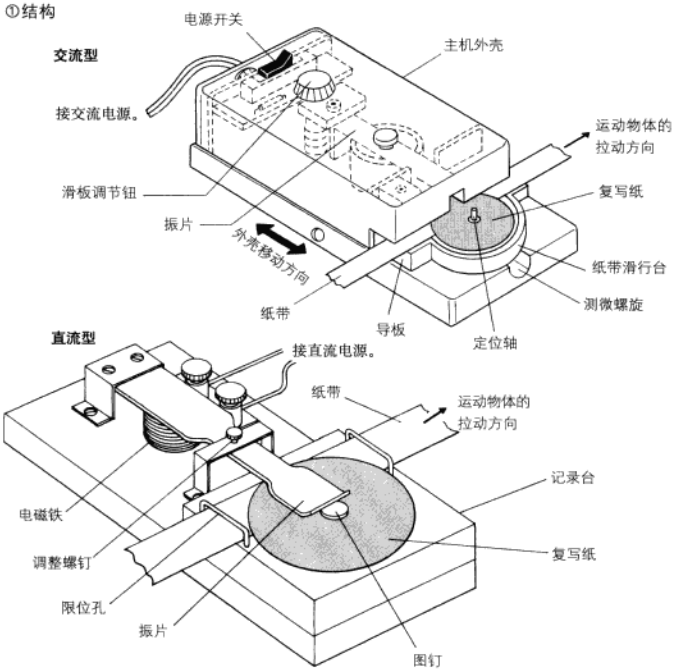
指针调整钮的作用是使指针返回到零点。电动秒表有50 Hz和60 Hz两种，购买时应根据当地的电源频率选择。除了②中的用法以外，在水平面或斜面上测量加速度时也常使用电动秒表。

② 提示　开始键的按法也会产生误差，所以要求按键速度要快，尽量减少测量误差。

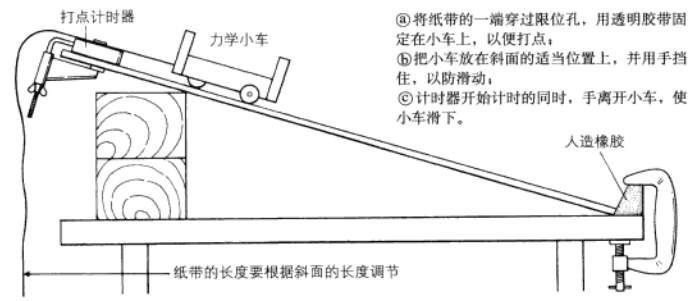
说明　按下开始键切断电磁回路，铁球就开始下落。此时，计时装置开始启动。当铁球碰到计时停止键时切断回路，停止计时。

### 3 用电磁打点计时器测量

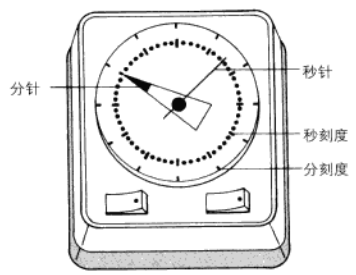
①结构



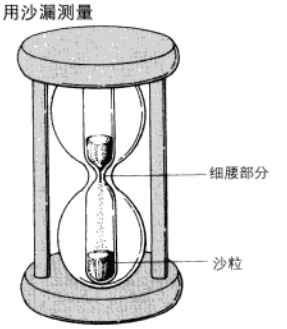

②测试斜面上的加速运动(使用举例)




### 4 用暗室秒表测量




### 5 用沙漏测量




3 ① 说明 电磁打点计时器有交流型和直流型两种，其结构都是利用电磁铁使振片有规律振动的原理，把打点情况记录在纸带上。打点的时间间隔在交流型是 $\frac{1}{50}$ s 或 $\frac{1}{60}$ s (根据使用地区的电源频率而定)，在直流型则是 $\frac{1}{30}$ s～$\frac{1}{35}$ s。一般情况下最好用交流打点计时器，理由有二：一是能直接插在插座上，二是电不会像电池那样易被耗尽，因而能得到稳定的打点间隔。

提示 复写纸的复写面要朝下，用图钉把中心部分轻轻地固定好。在使用过程中复写纸的打点会逐渐变浅，所以每隔一段时间就要更换。纸带最好比限位孔的宽度窄 1 mm 左右，表面光滑的白纸打点记录效果也比较好。

② 提示 用于阻止从斜面上滑下来的小车的挡块，应尽量选择弹性较大的材料 (如人造橡胶)。数据的处理请参照【41】。

4 说明 暗室秒表用于测量一小时以内、以秒为单位的时间。在指针及表盘上涂有荧光剂的秒表可在冲洗照片的暗室里使用。

秒针旋转一周是60 s，分针旋转一周是60 min。分的刻度与分针的旋转方向相反，因此能表示出剩余的时间，从而达到设定时间 (如冲洗照片的时间)的目的。如果按下蜂鸣器，到了时间蜂鸣器就会响，这样不看表也能知道所用的时间。

提示 发条式秒表用完后，为了使发条恢复松弛状态，应在表针运动的状态下保管。

5 说明 沙漏是在细腰玻璃管里装入一定量的沙粒制成的。这些沙粒会在一定的时间内落下来，根据这个时间可以用沙漏做成1分表、3分表、5分表、10分表等。

# 3 温度的测量

目标

用液体温度计测量温度的同时，了解温度计读数的修正方法。
能用热敏电阻温度计和热电偶温度计测量温度。

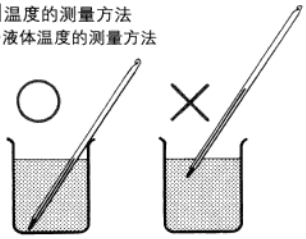
各种温度计① 烧杯 圆底烧瓶 铁架台 加热器具 玻璃棒 大漏斗 胶皮管 弹簧夹 冰块 蒸汽发生装置

①酒精温度计、水银温度计、热敏电阻温度计、热电偶温度计、数字温度计、红外线辐射温度计、便携式辐射温度计等。

## 【A】用液体温度计测量

1 温度的测量方法

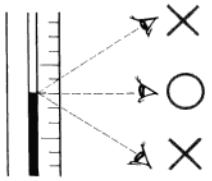
①液体温度的测量方法



液柱部分要放进液体里面。

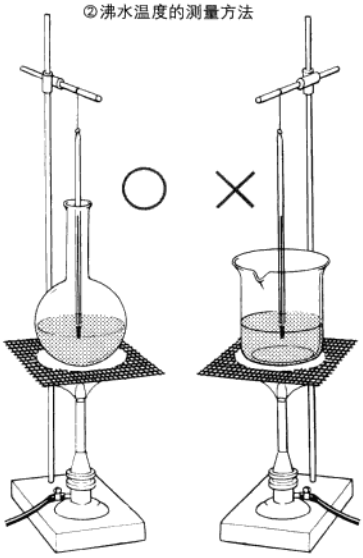
液柱露在外面时，不能准确地测出温度。

读数的方法



为了避免视差，眼睛要与液面处于同一水平线上。

②沸水温度的测量方法



把温度计的液柱部分放进圆底烧瓶的颈部之后，再进行测量。

用烧杯不能准确地测出温度。

2 使用过程中的注意事项

①由于温泡很薄，使用过程中要注意



不能用于搅拌目的。

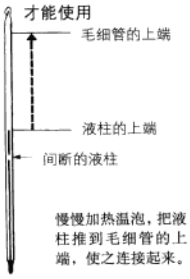
②要注意温度计的量程



不能放进超过量程的高温液体中。

最大值为50℃的温度计

③液柱间断的温度计，需把液柱连接起来以后才能使用



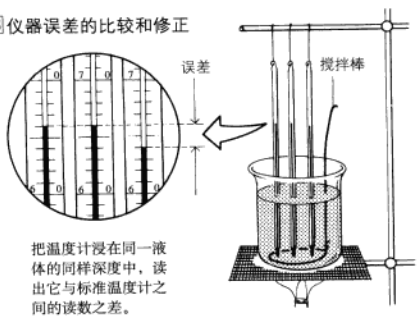
毛细管的上端

液柱的上端

间断的液柱

慢慢加热温泡，把液柱推到毛细管的上端，使之连接起来。

3 仪器误差的比较和修正

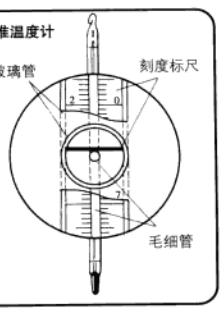


误差

搅拌棒

把温度计浸在同一液体的同样深度中，读出它与标准温度计之间的读数之差。

标准温度计



玻璃管

刻度标尺

毛细管

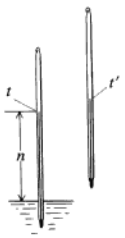
## 【A】用液体温度计测量

说明 液体温度计有酒精温度计和水银温度计两种。被称为酒精温度计的，其内部所注入的也不是酒精，而是被染成红色或蓝色的白煤油。

1 ① 说明 温度计的刻度在温泡和液柱的温度相同时，才能显示正确的温度。因此，在精密的测量中，如果只能把温度计的温泡放入液体，温度计的露出部分有必要用以下方法进行修正。

对于水银温度计来说

$$\triangle t = \frac{n(t-t')}{6\,000}$$



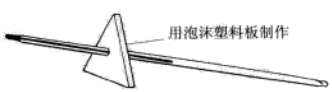

在上式中，$\triangle t$ 是露出部分的修正温度，$n$ 是露出部分的刻度数，$t$ 是温度计显示的温度，$t'$ 是露出部分中间位置对应的气温（用其他温度计测量）。另外，1/6 000 是玻璃和水银的膨胀率之差。

提示 温度计的读数要过一段时间（1 min 左右）后读取，测量气温时也一样。而且，测量气温时还要注意：不要对着温度计呼气或直接用手触摸温泡。

② 说明 用圆底烧瓶时，读数接近 100 ℃；但在使用烧杯时，因为液柱暴露在空气之中，所以读数低于 100 ℃。

2 注意 为了尽快测得温度，温度计的温泡部分做得很薄，所以在使用过程中要特别注意。

参考 为了防止温度计从桌面上滚下来摔碎，可以制作如下图所示的简易用具。

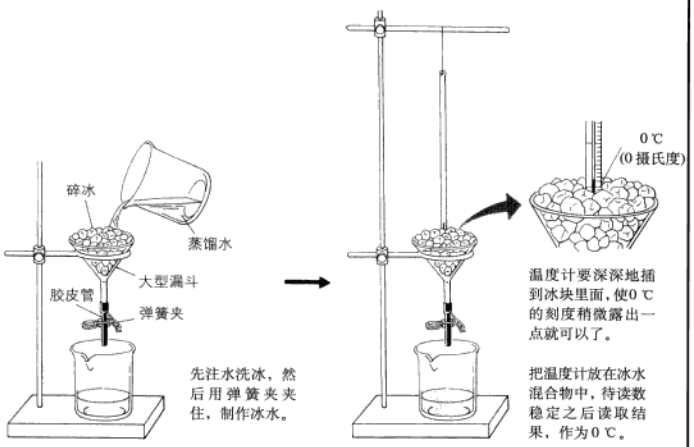


用泡沫塑料板制作

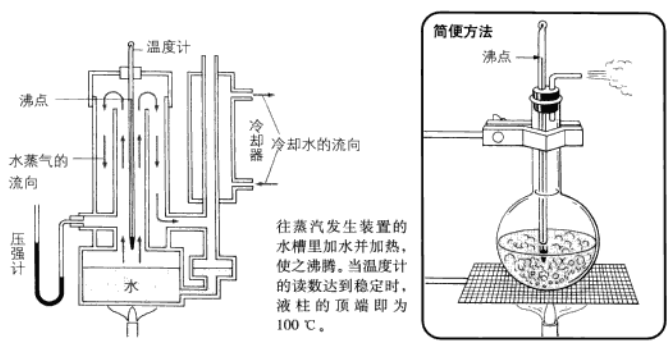
3 说明 由于毛细管内径的微小差异以及随着使用时间而发生的收缩等变化，同一种温度计相互间也会有误差。使用两个以上的温度计时，要像图中所示的那样比较读数，选择读数相同的温度计，并用标准温度计测量温度计读数之间的差，进行修正。标准温度计用于精密的温度测量和一般温度计的修正和检查。标准温度计是双重管结构，

**4** 根据冰点和沸点的测定修正误差的方法

①测定冰点

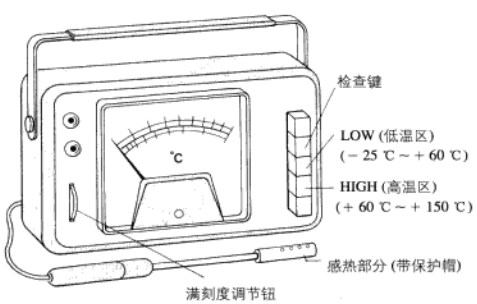



②测定沸点




**【B】用其他温度计测量**

**1** 用热敏电阻温度计测量




ⓐ把感热部分连在主体上；
ⓑ按下检查键，使指针振动；
ⓒ用满刻度调节钮使指针对准满刻度的位置；
ⓓ物体温度低于60 ℃时，按下LOW键；物体温度高于60 ℃时，按下HIGH键；
ⓔ测量温度。

即在透明的玻璃管里封入装有汞的毛细管及刻度标尺，标称用的温度计的量程是0 ℃～100 ℃，分度值是0.1 ℃。

参考 按规定，量程在－5 ℃～＋105 ℃、分度值为1 ℃的温度计的审定公差为±1 ℃，使用公差为±2 ℃。超过这个误差范围的是不合格产品。

**4** 说明 利用需要修正的温度计测定水的凝固点(冰点)和沸点，就能知道温度计在0 ℃和100 ℃时的仪器误差。如果毛细管的内径一样，把这个仪器误差记录下来，下次使用此温度计时就能用它修正读数。

① 提示 把冰从冰箱里取出之后，用洗干净的布包起来，然后用锤子捣碎即可。

② 提示 水的沸点是水在大气压等于101.325 kPa的条件下沸腾时的温度。因此，当装置内部的压强小于101.325 kPa时，有必要用以下方法进行修正。

例如，仪器内的压强为101.991 kPa、温度计的读数为99.7 ℃时，压强每增加0.133 kPa，沸点便随之增加0.037 ℃，由此可得正确的沸点是

$$100\ ℃ + 0.037\ ℃ \times \frac{(101.991 - 101.325)\ kPa}{0.133\ kPa}$$
$$= 100.185\ ℃ \approx 100.2\ ℃$$

温度计的仪器误差是

$$100.2\ ℃ - 99.7\ ℃ = 0.5\ ℃$$

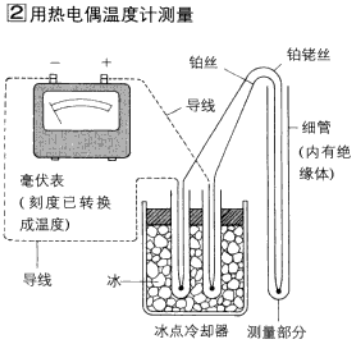
**【B】用其他温度计测量**

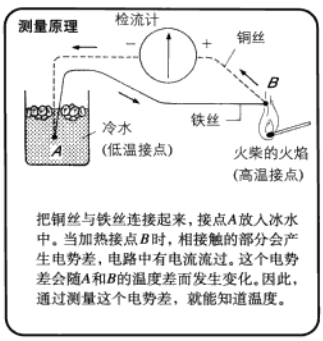
**1** 说明 热敏电阻温度计在液体温度计很难测量的情况下也能测量。除此之外，它还可以测量热容量小的物体及微小物体的温度，并能准确地测量温度的急速变化或很小的温度差异。

提示 旋转满刻度调节钮仍不能使指针指到满度时，要考虑到有可能是内置干电池的电压不足，并换上新的干电池。

注意 不要在温度超过量程时使用。不要急速加热感热部分。

## 2 用热电偶温度计测量

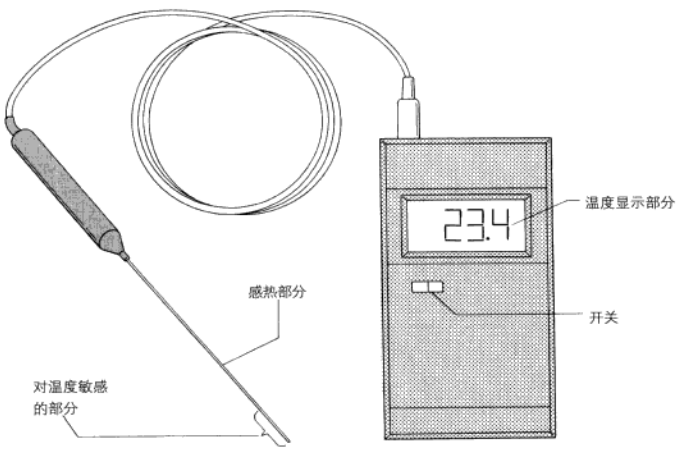


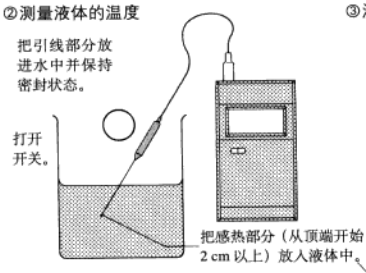

把铜丝与铁丝连接起来，接点*A*放入冰水中。当加热接点*B*时，相接触的部分会产生电势差，电路中有电流流过。这个电势差会随*A*和*B*的温度差而发生变化。因此，通过测量这个电势差，就能知道温度。

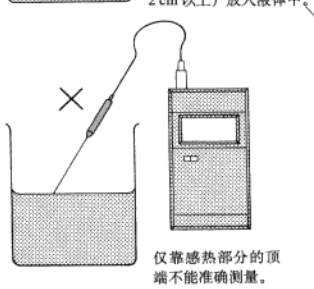
## 3 用数字温度计测量

### ①数字温度计的结构

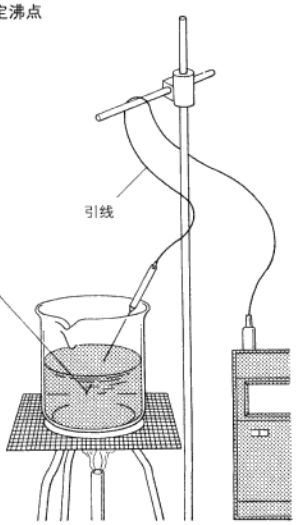



### ②测量液体的温度




### ③测定沸点




**2** 说明 热电偶温度计可以用来测量蜡烛火焰不同部分的温度以及铅的熔点等。

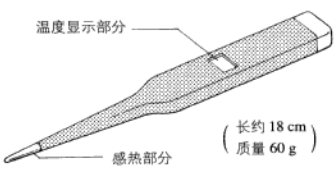
下面是一些典型的热电偶温度计的量程。

| 热电偶的种类 | 量程 |
|---|---|
| 铜镍合金 | −200 ℃～ +300 ℃ |
| 镍铝－镍铬合金 | −200 ℃～+1 200 ℃ |
| 铂－铂铑 | 0 ℃～+1 500 ℃ |

提示 低温接点可以不使用0 ℃，而把热电偶直接连在毫伏表上测量温度。但在这种情况下，室温将成为低温接点，所以有必要进行修正。

**3** ① 说明 数字温度计的种类很多。市场上销售的有像左图所画的，也有外形更小巧的或像下图所画形状的。无论形状如何，数字温度计都有感热部分和温度显示部分。

感热部分的内部有温度传感器(种类很多)，外面有金属保护管保护。虽然保护管和引线被密封，但也不是绝对的。不同种类的温度计，量程有所不同。



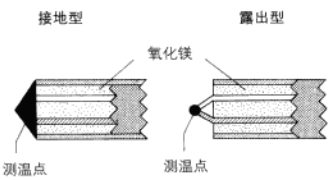

② 提示 测量气温时，把感热部分直接与空气接触就可以。测量液体的温度时，如果只让顶端接触液体，将不能得到正确的结果。应该把感热部分（从顶端开始2 cm以上)放入液体中，待读数稳定之后读取数据。

测量温度的反应速度时，所需时间会因室温和所测温度的差异以及感热部分的粗细而有所不同。但是，一般从室温到100 ℃的变化中，平均值达到90%所需要的时间在感热部分外径为4.8 mm时，为5 s左右。

③ 提示 一边加热液体一边测量温度时，要防止引线被火烧掉。

**温度传感器的结构**

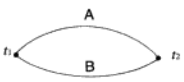
温度传感器有双金属式、膨胀式以及电的等多种。通过测量随温度而变化的电学物理量测量温度的是电温度计。电温度计有利用热电动势的热电偶型温度传感器和利用电阻的测温电阻元件型温度传感器两种。热电偶型温度传感器在顶端的制造上可以分为非接地型、接地型和露出型。保护管的外径根据用途不同

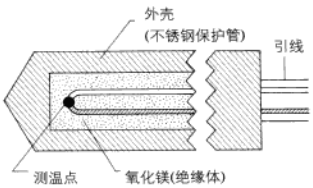



可以有多种规格，一般为3 mm～5 mm。通过温度传感器得到的信号把测到的温度表示为数字的是数字温度计。

热电偶

用两种不同的金属丝A和B连成闭合电路，让两端保持不同的温度$t_1$和$t_2$，就会产生与温度差相对应的电动势，并在回路中形成电流(这种现象称为塞贝克效应)。热电偶传感器的内部有热电偶的测温点，其

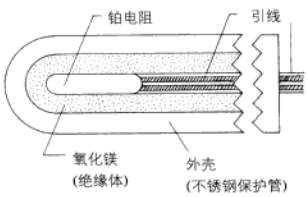



外侧是用不锈钢做的保护管。测温点和保护管之间装满氧化镁绝缘体。

测温电阻元件

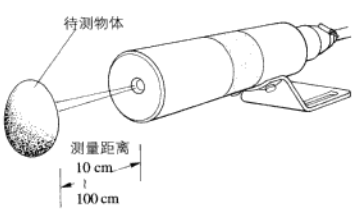
一般金属的电阻会随着温度而变化。利用此原理制作的测温元件叫做测温电阻元件。测温电阻元件的材料有铂、铜、镍等，其中铂




的精确性、稳定性最好。传感器的内部有电阻(如铂)测温元件，用引线(如镍丝)连接在一起。外侧的不锈钢保护管与测温元件之间是氧化镁绝缘体。有些测温电阻元件是用陶瓷半导体制成的。

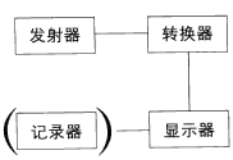
**4** 用非接触式辐射温度计测量

①红外线辐射温度计




中心部分有红外线吸收体，周围由相互连接的热电偶群包围。当有红外线射入时，中心部分的温度上升，与周围形成温度差，使热电偶产生电动势。温度计把这一电动势转换成温度，并通过指针或数字显示部分表示出来。

**红外线辐射温度计的构成**



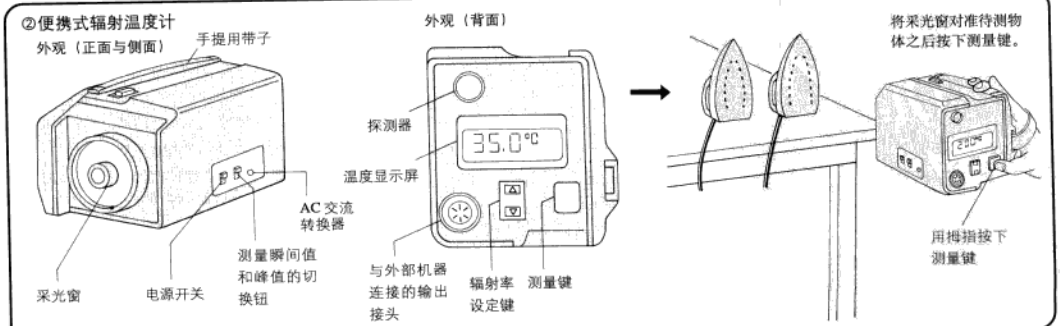

显示器有数字式和指针式两种，另外还有带记录测量结果装置的。

**4** 说明 温度计可以分为接触式和非接触式两种类型。接触式温度计还可以进一步分为棒状温度计、热敏电阻温度计以及利用温度传感器测温的电子温度计。

一般来讲，物体都会辐射出与其温度相应的红外线。辐射温度计就是通过捕捉被测物体辐射出来的红外线测量温度的，因此是非接触式温度计。

辐射温度计在测量旋转物体、小热容量物体、不宜接触的物体(如食品)以及热传导性能差的物体(如橡胶、塑料)的温度时比较方便。这种温度计的反应速度很快，只有0.3 s～0.5 s，几乎是一瞬间的事情。

②便携式辐射温度计



# 4 质量与重量的测量

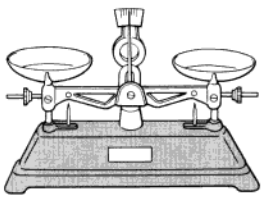
**目标** 会用各种天平和弹簧测力计测量质量和重量。

各种液体和固体　托盘天平　自动盘式天平　物理天平　电子台秤　弹簧测力计　盘秤　烧杯　量筒

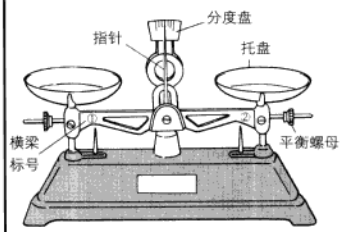
## 【A】质量的测量

1 用托盘天平测量

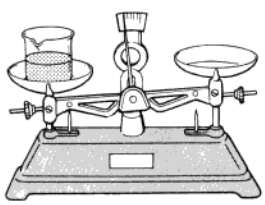
①用平衡螺母调整指针，使之以零点为中心做左右等幅的摆动



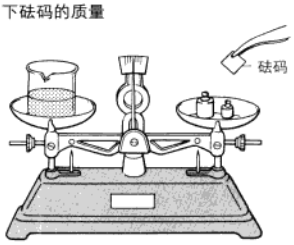
各部分的名称



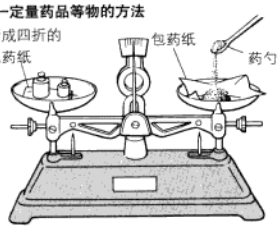

②将待测物体轻轻地放在左侧的托盘上



③放砝码。到指针左右等幅摆动时，记下砝码的质量

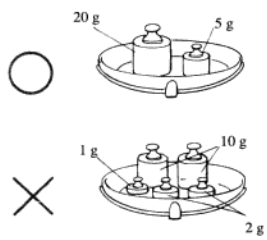



测一定量药品等物的方法



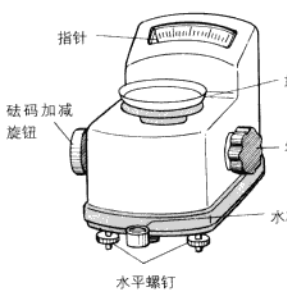

首先在左侧的盘中放入与所要测量的药品质量相同的砝码，然后把药品一点一点地放入右侧的盘中，直到指针指向零刻度为止。

放砝码的方法




应尽量减少砝码的数量。

2 用自动盘式天平测量




ⓐ边看水准仪边调整水平螺钉，直到天平达到水平状态；
ⓑ把砝码加减旋钮调到“0”，然后用零点调节器调节，直到指针指向“0”；
ⓒ将待测物体放入盘中；
ⓓ调节砝码加减旋钮，使指针进入分度盘的指示范围内；
ⓔ读出砝码加减旋钮的读数和指针的读数，最后相加得出测量值。

## 【A】质量的测量

1 ① 提示 天平要放在水平台面上。托盘和横梁的标号要一致。注意不要把左右两侧的托盘放错位置。

调整零点时，可以用左右两侧的任何一个螺母调节。

③ 提示 放砝码应该从质量大的开始放，然后再依次放入小一些的。放回砝码时也应从大的开始取出，一边确认砝码的总质量数，一边将砝码放回箱内原来的位置。

使用完毕后，将两侧的托盘叠放起来保管。这样做是为了不损伤支撑横梁的刀口部分。

说明 放砝码时要从质量大的开始放。同时，为了减少误差，应尽可能减少砝码的个数。下面的表格用实例说明了砝码个数与误差的关系。

| 取法 1 | 取法 2 |
|---|---|
| 20 g (± 6 mg) | 10 g (± 4 mg) |
| 5 g (± 4 mg) | 10 g (± 4 mg) |
| | 2 g (± 2 mg) |
| | 2 g (± 2 mg) |
| | 1 g (± 2 mg) |
| 25 g (± 10 mg) | 25 g (± 14 mg) |

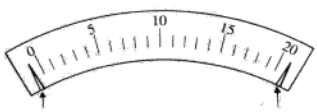
2 说明 比起一般的托盘天平，自动盘式天平具有快速测量的优点。

量程、分度值、砝码的增减间隔、指针的指示范围一般如下表所示：

g

| | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 量　程 | 60 | 120 | 240 |
| 分度值 | 0.05 | 0.1 | 0.2 |
| 砝码增减间隔 | 5 | 10 | 20 |
| 指示范围 | 0～5 | 0～10 | 0～20 |

提示 天平要放在平稳、不受震动影响的水平台面上。砝码的增减要按以下方法进行。

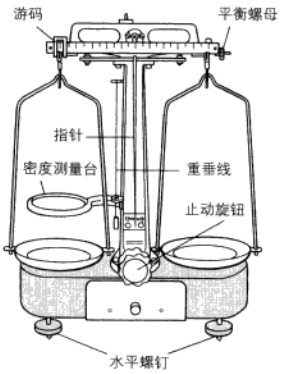



指针在“0”以下时要加砝码

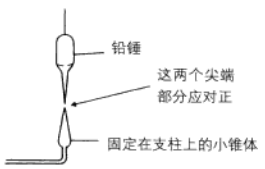
指针超过右侧刻度时要减砝码

### 3 用物理天平测量

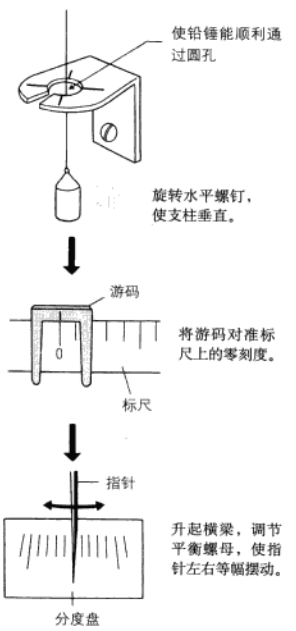
①结构



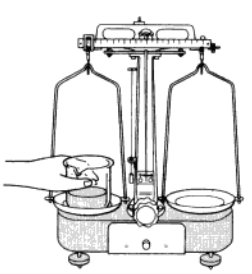

也有如下图所示形状的天平。这种天平当支柱垂直时，铅锤应与向上的小锥体对准。



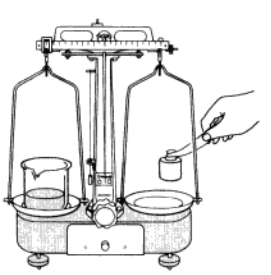

②测量准备



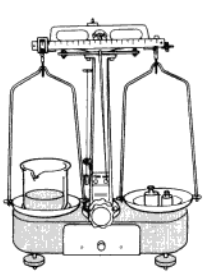

③降下横梁，将待测物体放入左侧的盘中



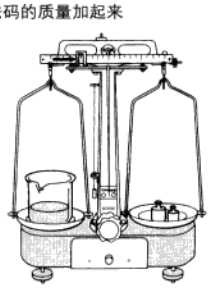
④将砝码放入右侧的盘中



⑤升起横梁，使指针摆动，观察左右的平衡情况



⑥ 10 g 以下的质量需用游码来调节。最终达到平衡时，把游码对应的刻度和砝码的质量加起来

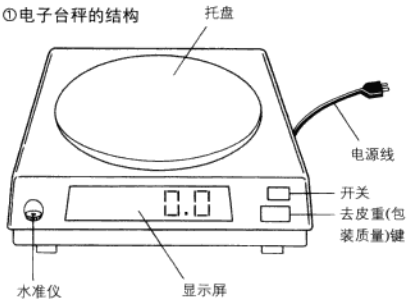


3 ① 提示 天平要放在水平的台面上。天平盘和吊挂天平盘的金属件都有标号，要检查这些标号是否一致。吊挂天平盘的金属件容易脱离刀承，所以在使用前必须检查。长期使用的器具，重垂线易断。如果发现断线情况，寻找同类的重垂线替换即可。

横梁的升降是通过止动旋钮控制的。一般横梁的右端有两个平衡螺母。指针摆动偏右时往右调节，指针偏左时往左调节。

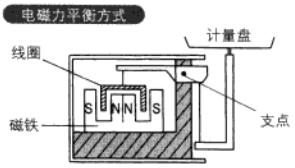
## 4 用电子台秤测量

### ①电子台秤的结构



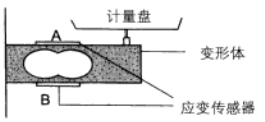

**负荷传感器**　电子台秤的负荷传感器有很多种，主要有电磁力平衡方式和力传感器方式。以下分别说明两种传感器的原理。

**电磁力平衡方式**



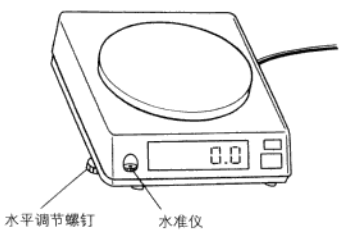

在待测物体的重力作用下，秤杆倾斜变位。此时，与变位量相应的电流流向线圈，使秤杆恢复平衡。通过这一电流值便可求得负荷的质量。

**力传感器方式**

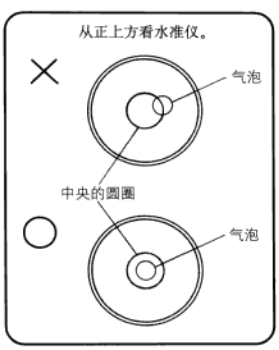



负重时，变形体发生形变。此时，贴在表面的应变传感器A和B当中有一方会伸长，另一方会缩短，因而电阻值会发生变化。通过这一变化便可求得负荷的质量。

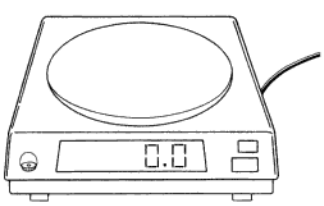
### ②调节电子台秤的水平




应从正上方看水准仪。利用水平调节螺钉使气泡刚好进到中央的圆圈里面。连接电源，打开开关。

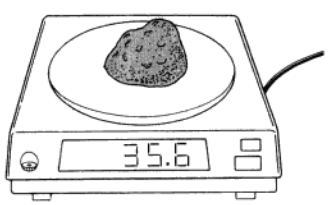



### ③通过调节使屏幕上的数字为0.0



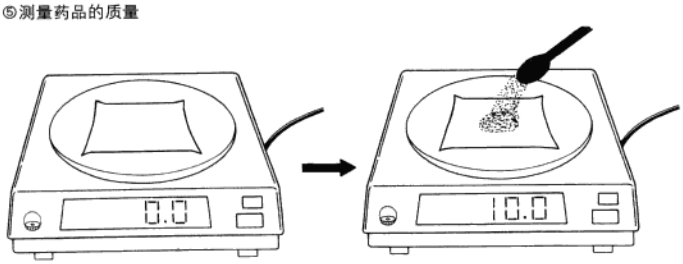

打开开关。若屏幕上的数字不是0.0，按下“复位”或“去皮重”键，就会出现0.0。

### ④测量物体的质量




将待测物体放在托盘上，读出显示屏上的数字。

### ⑤测量药品的质量




先把包药纸放在托盘上，按下“去皮重”键。此时显示屏上的数字是0.0，说明纸的质量已被扣除。

一边用药勺放入药品，一边准确地测得药品的质量。

4 说明　如左图所示，电子台秤的托盘形状有圆形和下一页介绍的方形及盘子形的。这些电子台秤都是由托盘、显示屏、开关、去皮重键、水准仪、水平调节螺钉等组成的。有些灵敏度不高的电子台秤不带水准仪和水平调节螺钉。

通过安装在内部的沉降传感器感应托盘的微小沉降，可以测量物体的质量。如今的产品非常结实，即便是从上面用力砸，托盘也不会损坏。

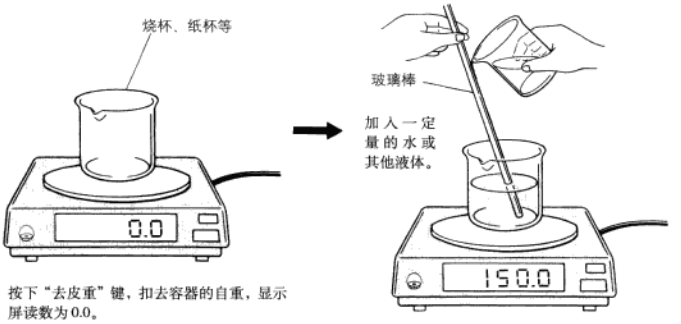
② 提示　应从正上方看水准仪。有些灵敏度不高的电子台秤不带水准仪，是因为摆放电子台秤的位置虽然可能不太平整，但与测量误差相比，电子台秤本身的水平误差可以忽略不计。

④ 提示　测量表面积大的物体的质量时，如果受到风力的影响，尾数会发生跳动，以致不能得出准确的测量结果。因此，必须把电子台秤放在背风的地方。

当把物体放在托盘上时，会立刻显示数字，这样有利于测量化学变化前后的质量变化。

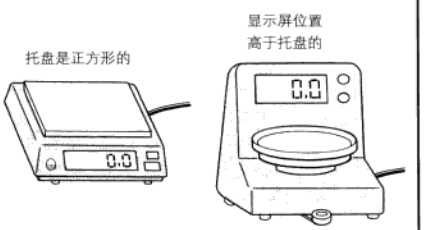
⑤ 提示　测量一定量的药品时，应先把包药纸放在托盘上，按下“去皮重”键扣除纸的质量，然后再用药勺添加药品（此时要注意，不能把药品洒在托盘上）。因为显示屏上会立刻出现数字，所以用电子台秤测量一定量的药品，比用托盘天平更为便利。

⑥量取一定量的液体



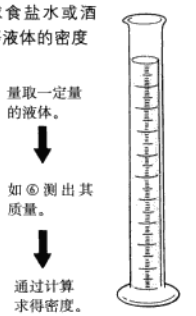

按下“去皮重”键，扣去容器的自重，显示屏读数为0.0。

各种式样的电子台秤




还有很多其他式样。

⑦求食盐水或酒精等液体的密度




⑥ 提示 去掉空杯的质量之后，读取液体的质量时要小心，不要把液体洒在托盘上。由于托盘是金属物，如果在托盘上洒落一些酸性或碱性物质，就会腐蚀托盘。因此，加入液体时应像左图那样，用玻璃棒或移液管操作。

⑦ 说明 利用测量值，按照下面的算式便可求得液体的密度

$$\text{密度}=\frac{\text{质量}}{\text{体积}}$$

提示 测量质量时，可用电子台秤测得相对准确的数据，但用量筒测量体积时，测量结果往往不够准确(很难看准分度值的1/10)，因此要特别细心。

## 标准质量原器和砝码

**标准质量原器** 是用来规定质量单位kg的大小的标准器具。标准质量原器是用铂铱合金制成、高度与直径相等的圆柱体。在大气压为101.3 kPa的情况下，它与1 000 mL 3.945 ℃的纯水(此时水的密度最大)质量相同。

国际标准质量原器保存在位于巴黎的国际度量衡局。人们规定该原器的质量为1 kg。1 g是它的1/1 000。

除了法国，其他国家也都拥有与国际标准质量原器相同的器具。

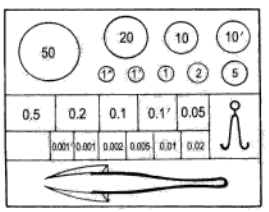
虽然国际标准质量原器是按1 000 mL最大密度纯水的质量制作而成的，但在其后通过精密的测定发现，这种质量原器仍有微小的偏差。现已判明，1 kg最大密度水的体积是1000.028 mL；反过来讲，1 000 mL最大密度水的质量等于0.999 973 kg。因此，严格地讲，1 kg是标准质量原器的质量，而不是1 000 mL最大密度水的质量。

**砝码** 用于质量测量的砝码，是以标准质量原器为标准制作的。虽然根据天平的量程和分度值的不同砝码会有不同的组合，但一般来说，砝码盒是由如下质量的砝码组成的。

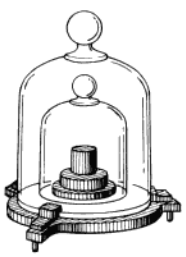
g

| 100 | 50 | 20 | 10 | 5 | 2 | 1 | 0.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.005 | 0.002 | 0.001 |

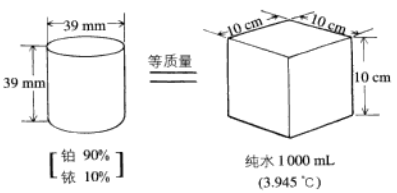
装在砝码盒里的砝码举例(单位：g)




1 g以上的砝码是圆柱形，用镊子就能夹起。0.5 g以下的砝码是正方形的片状，为了便于用镊子夹起，片的一角稍稍卷起。



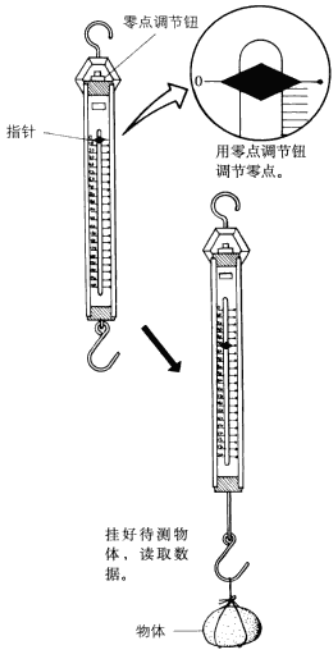
保存在容器中的标准质量原器



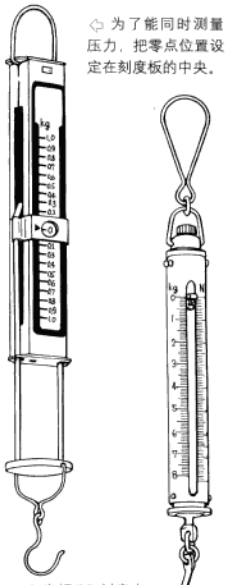

标准质量原器的尺寸

## 【B】重量的测量

### 1 用弹簧测力计测量



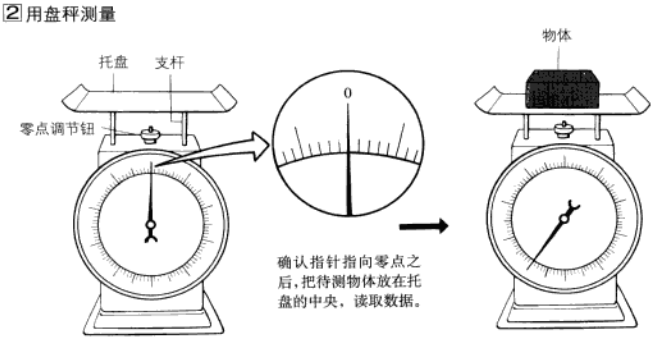

**各种各样的弹簧测力计**



⇦ 为了能同时测量压力，把零点位置设定在刻度板的中央。

⇨ 牛顿(N)刻度也一起标在刻度板上的弹簧测力计

### 2 用盘秤测量




## 【B】重量的测量

1 说明 弹簧测力计是利用弹簧的弹性测量物体重量的器具。通过查看随弹簧的伸长而移动的指针，读取吊挂物的重量（即物体所受重力的大小）。弹簧测力计的刻度板种类繁多，有平面的、圆筒状的、装在透明套里以便使用者了解其内部结构的，还有能测量压力的。

提示 有的弹簧测力计没有零点调节钮。这种情况下，刻度板是可以移动的，通过移动刻度板可以调节零点。

物体的重量不能超过量程。

测量结束后，应立刻把物体取下，不能长时间悬挂在弹簧测力计上。

为了防止零点调节钮和弹簧生锈，保管时应避免存放在酸、碱等挥发性药品的附近或潮湿的地方。

2 提示 要在平稳且无震动的平台上使用。

指针不能指向零点时，要用零点调节钮调节零点。有各式各样测量不同重量的秤。注意不要测量重量超过量程的物体。在吊挂和取下物体时动作要轻。为了使托盘的两个支杆受到的压力大小相等，待测物体必须放在托盘的中央。为了避免视觉误差，要从分度盘的正面读取数据。

# 5 体积的测量

目标　能用各种器具测量固体、液体及气体的体积。

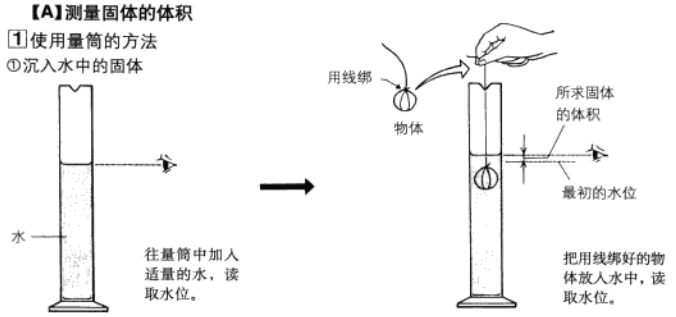
**【A】各种固体①　量筒　线　重物　带嘴圆筒　烧杯　物理天平　温度计　【B】各种液体　量筒　吸量管　滴定管　漏斗　烧杯　锥形瓶　容量瓶　【C】各种气体　量筒　气体量管　气体导管　水槽**

①金属块、蜡块、石块等。

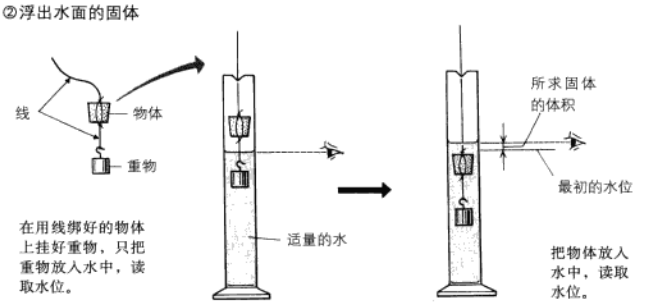
## 【A】测量固体的体积

1 使用量筒的方法

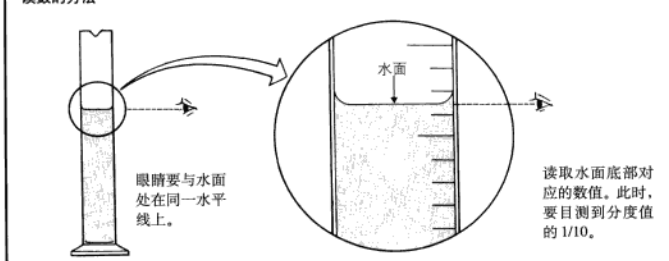
①沉入水中的固体



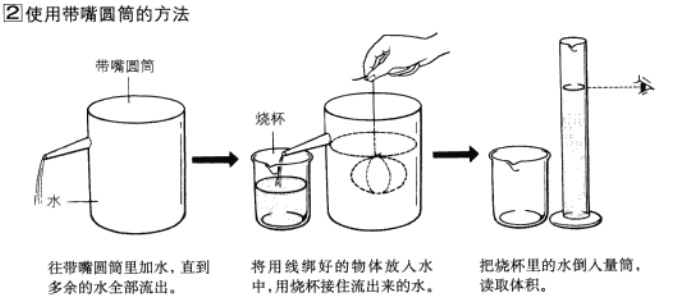

②浮出水面的固体




读数的方法




2 使用带嘴圆筒的方法




### 【A】测量固体的体积

说明　1 至 3 都是测量不规则形状固体体积的方法。对于形状规则的固体，体积是靠量出必要部分的长度，通过计算得到的。另外，图中介绍的方法不能用在可溶于水的物体上。在后一种情况下，有必要选择不会使被测物体溶解的其他液体来代替水。

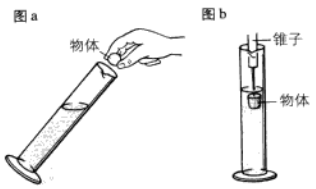
1 说明　这是一种用水的体积取代固体的体积，从而求得固体体积的方法。假设装入量筒的水的体积为 $V_1$，把物体放入水中时水的体积为 $V_2$，则物体的体积 $V$ 就是

$$V = V_2 - V_1$$

浮出水面的固体的体积也能用同样的方法求出。只要把重物放入水中时水的体积视为 $V_1$，把物体和重物同时放入水中时水的体积视为 $V_2$，同样可用上式求得物体的体积。

提示　量筒要放在平稳的台面上。把物体放入水中时动作要轻，注意不要让水溅出来。

参考　如果觉得用线捆绑物体太麻烦，也可用以下方式进行测量：在①中是测出水的体积之后，把量筒倾斜，放进物体并读数(图 a)，但要注意不要碰破量筒的底部。同样，在②中是测出水的体积之后，用锥子等带尖的工具把物体推进水中，再读取体积的数值(图 b)。

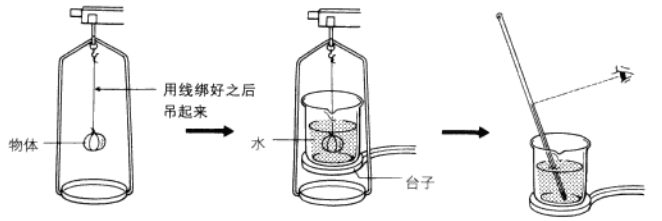



2 说明　这种方法通常用于测量体积大到不能放进量筒的固体的体积，是 1 的一种替代方法。

提示　带嘴圆筒和量筒应放在平稳的台面上。把物体放入水中时动作要轻，注意不要让水溅出来。

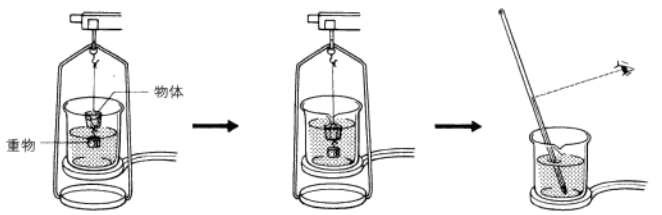
3 使用天平的方法

①沉入水中的固体




用物理天平测量物体在空气中的质量。　在水中测出质量。　测量水温，计算得出体积。

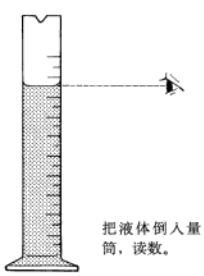
②浮出水面的固体




在用线绑好的物体上挂好重物，只把重物放入水中，测出质量。　把物体同时放入水中，测出质量。　测量水温，计算得出体积。

**【B】测量液体的体积**

1 使用量筒的方法



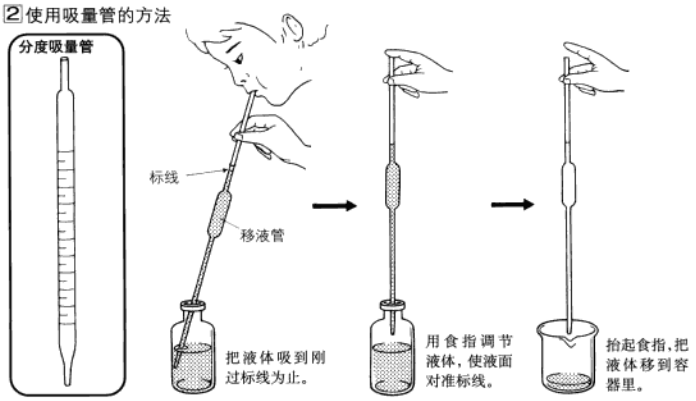
把液体倒入量筒，读数。

其他液体量器




2 使用吸量管的方法

分度吸量管




把液体吸到刚过标线为止。　用食指调节液体，使液面对准标线。　抬起食指，把液体移到容器里。

3 说明 这是利用阿基米德原理求出浮力，进而通过计算求出体积的方法。假设物体在空气中的质量为$m_1$，在水中的质量为$m_2$，温度为$t$时水的密度为$\rho_t$，物体的体积$V$便可通过以下公式求得：

$$V=(m_1-m_2)\times\frac{1}{\rho_t}$$

浮出水面的固体的体积也能用同样的方法求出。设用线绑好的物体上挂好重物，只把重物放入水中时的质量为$m_1$（左图），重物连同物体一起放入水中时的质量为$m_2$，这时同样可以用上式计算物体的体积。

提示 线要细而结实。

应选用带载物台的天平。如果没有载物台，最好制作一个不会碰到挂钩及器皿的烧杯放置台。

把物体放入水中时要小心，不要在物体或线上留下气泡。注意烧杯不要碰到金属挂钩。②中要防止连接物体和砝码的线过长，以免碰到烧杯的底部。

**【B】测量液体的体积**

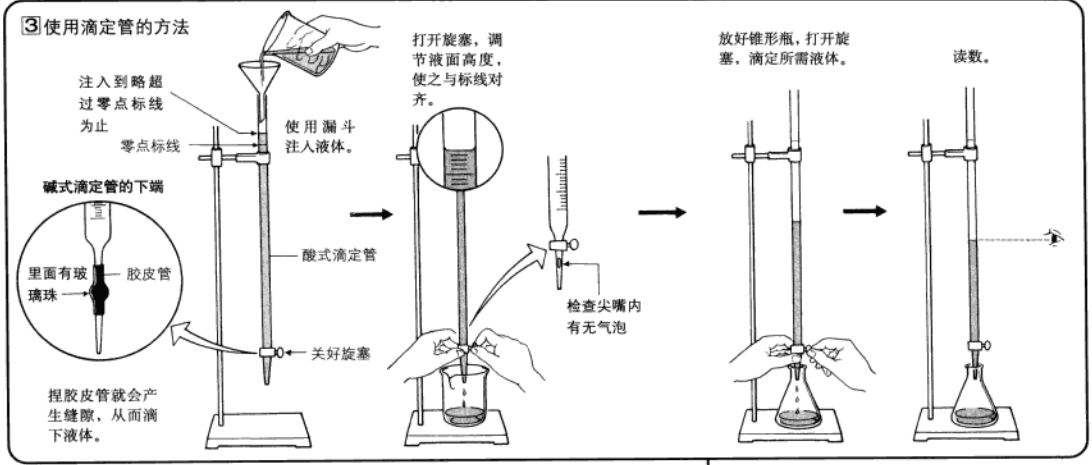
说明 测量液体的体积时，使用下面1至4中的各种液体量器。

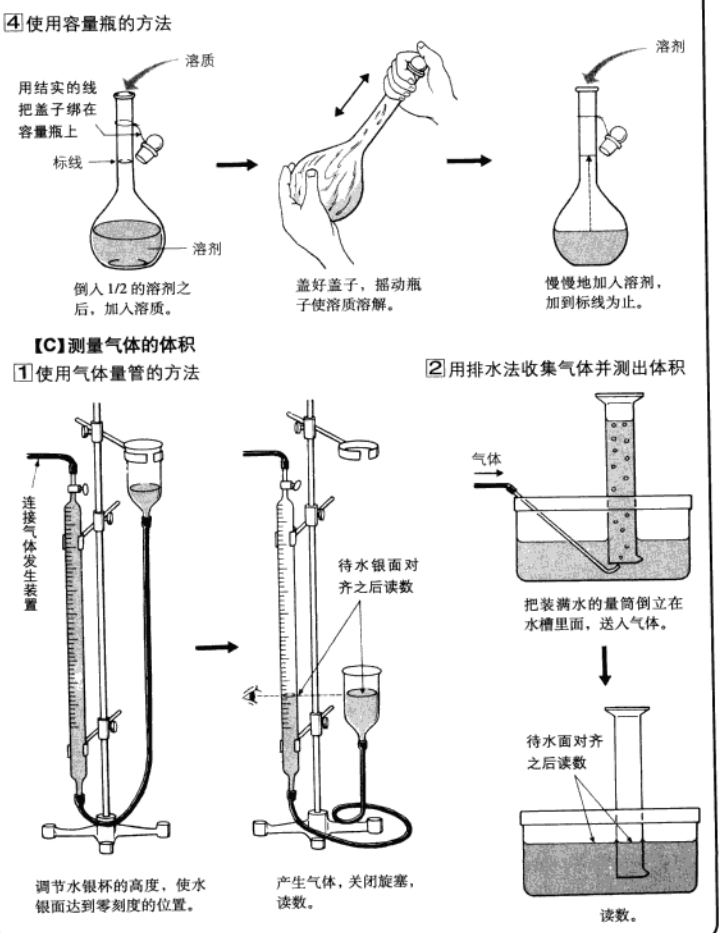
1 提示 量筒有10 mL至1000 mL各种不同的规格。对应不同的规格，测量的精确度也不同。因此，应该选择容积与待测液体的体积差不多的量筒。读数的方法请参照前一页。量杯以及其他液体量器的操作基本上与量筒一样，有把手的量杯应拿在手中读数。

2 说明 吸量管分单标线吸量管（即移液管）和分度吸量管两种。移液管用于精确地取出或加进少量的液体，分度吸量管则用于移取所需体积（通常很小）的液体。两者用法相同。

提示 把液体移入容器之后，用手指按住移液管的上端，同时握住中间膨大的玻璃管，就能挤出最后一滴。

注意 吸取液体时应把吸管的下端放入液体之中。如果吸管的下端露出液体表面，就有把液体吸进口中的危险。




3 说明 滴定管用于准确测量从管中滴出的液体的体积。滴定管分两种：一种是酸式滴定管，一种是碱式滴定管。

除了旋塞部分以外，两者的操作完全一样。

提示 滴定管要竖直地固定于操作台上。数据的读法基本上与刻度量筒一样(参照48页上的图)。测量时要特别注意，不要有温度变化。按照规定，滴定管要在 15 ℃的温度条件下达到所定的容量，所以在 15 ℃左右进行操作时，误差会小一些。

4 说明 容量瓶用于配制一定量的准确浓度的溶液。

**【C】测量气体的体积**

1 说明 气体量管用于准确测量气体的体积。

2 说明 这种方法只能用于像氢气、氧气等几乎不溶于水的气体体积的测量。

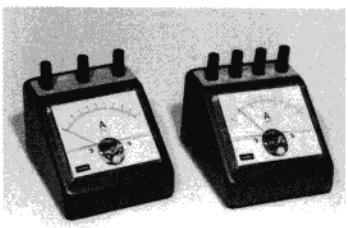
# 6 电流的测量

目标　能正确使用电流表测量电流。

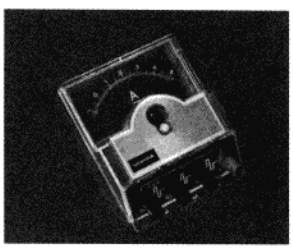
电流表　干电池　开关　小灯泡　导线　白炽灯　灯座

## 【A】电流表基础知识

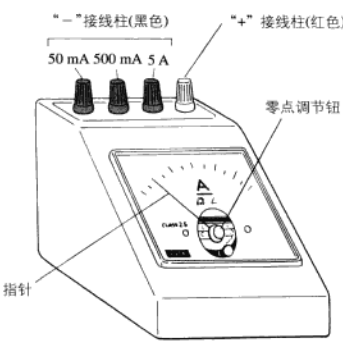
1 电流表的种类和各部分的名称

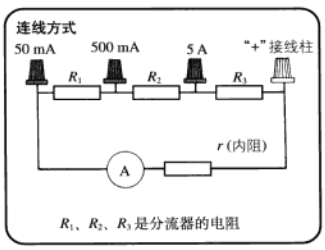


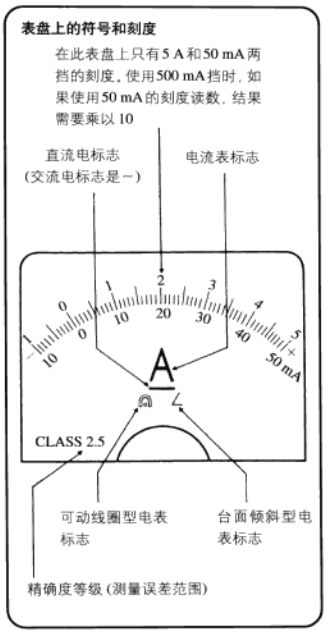
台面倾斜型电流表(左边是交流电流表，右边是直流电流表)



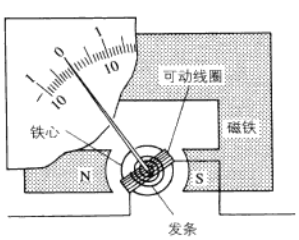
投影型电流表

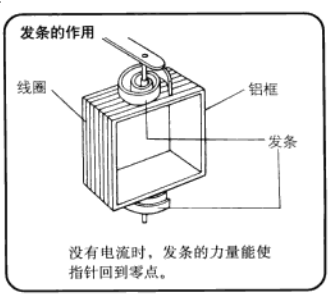



2 直流电流表(可动线圈型)的结构和工作原理




## 【A】电流表基础知识

1 说明 电流表也叫安培计，根据电源的种类可以分为直流电流表和交流电流表两种。电流表的工作方式有可动线圈型和可动铁心型两种，但大部分属于可动线圈型。另外，根据量程不同，电流表还可以分为只能测量一定范围内电流的单一量程型和通过改变接线柱的连接方式切换量程的多量程型。学校里一般使用具有5 A、500 mA、50 mA三挡的多量程型。这里重点介绍学校里使用频率最高的多量程型直流电流表。

在多量程型直流电流表里，各挡接线柱间并联的电阻可以起到分流器的作用。这样，流入接线柱的电流就只有一部分流入表头。一般来讲，当内阻为$r$的电流表的量程扩大$n$倍时，必要的分流器的电阻$R$可用以下公式计算：

$$R = \frac{r}{n-1}$$

表盘上的CLASS表示电流表的精确度等级。CLASS 2.5(标称法的规格)表示其误差为±2.5%。此误差是针对最大量程而言的。使用同一个电流表的不同挡时，其误差也不相同：

- 5 A 挡——± 125 mA
- 500 mA 挡——± 12.5 mA
- 50 mA 挡——± 1.25 mA

另外，使用同一挡时误差不变，与测量值无关。比如，使用500 mA挡时，不管测量值是300 mA还是100 mA，误差都是± 12.5 mA。

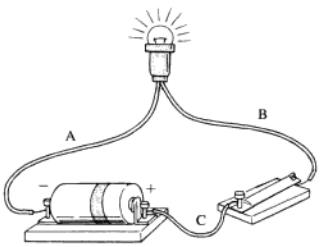
2 说明 可动线圈型直流电流表是在磁场中有一个可动线圈。在可动线圈的轴上装有指针，指示线圈的旋转角度，刻度值是电流。可动线圈的电阻称为电流表的内阻。

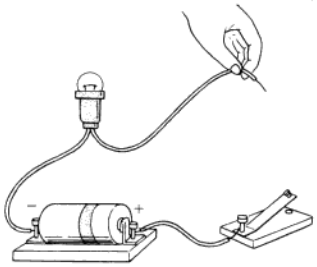
参考 在直流电流表中，线圈上缠有很多细线并带有极细发条的叫做检流计。

**【B】电流表的使用方法**

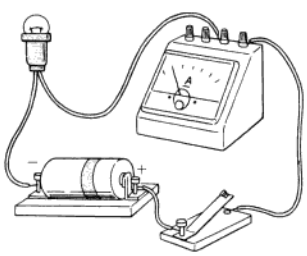
1 测量流过小灯泡的电流(直流电流表的使用举例)

①确认测量电路中哪部分的电流　　②从接线柱上取下将要测量的那部分电路的导线

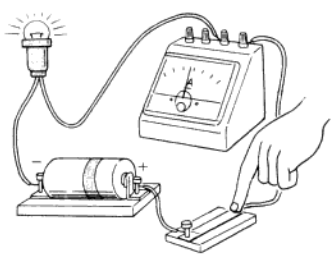



③把电流表接入电路，测量电流

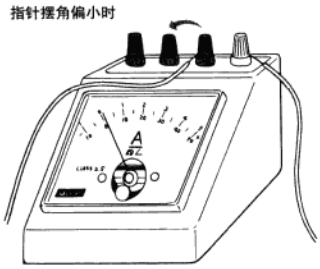



先把“−”接线柱接在5 A挡的接线柱上。




闭合开关，读取数值。

**指针摆角偏小时**

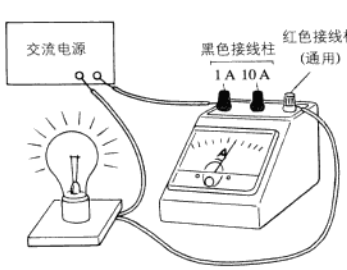



读数小于0.5 A时，把“−”接线柱接在500 mA挡上重新测量。

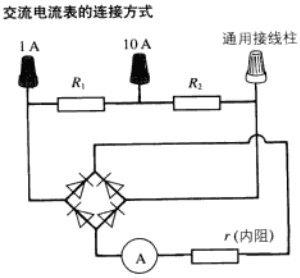



如果读数低于50 mA，再把“−”接线柱接在50 mA挡上重新测量。

2 测量流过白炽灯的电流(交流电流表的使用举例)




**交流电流表的连接方式**



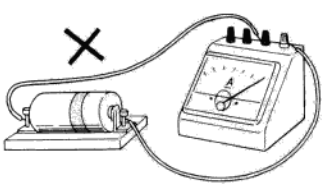

**【B】电流表的使用方法**

1 ① 说明 电流表是测量电路中电流大小的仪表。由于电流表是串联在电路中的，因此，在左面图中A、B、C各部分测量的结果都相同。

③ 提示 连接电流表之前，要注意确认是用直流表还是用交流表，同时还要检查指针是否指向零刻度。接入电流表时，要注意接线柱的“+”“−”。“+”接线柱接在电源的正极上，“−”接线柱接在电源的负极上。连接“−”接线柱的导线时，首先要接在量程大(5 A)的接线柱上，然后再根据指针的摆动，逐渐缩小量程，换到更加精确的接线柱上。测量交变电流时，如果在测量过程中改连其他接线柱，由于电流表内阻发生变化，电路中的电流也会同时发生变化。为了避免发生这种情况，开始测量前要选择量程合适的接线柱。

2 说明 交流电流表的使用方法基本上与直流电流表相同。但是，交流电流表没有正负极的区别，所以连接时没有必要考虑正负极。

注意 由于电流表的内阻非常小，所以不能直接并联到电源上。否则，过大的电流会损坏分流器及表头。




为了防止电流过大而烧坏表头，一些电流表还装有二极管。

材料与器具

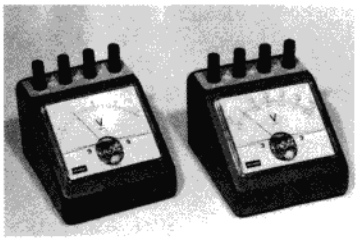
电压表　干电池　小灯泡　导线　电热丝

# 7 电压的测量

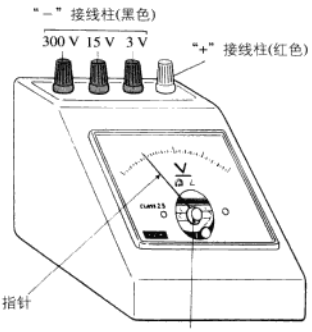
目标　能正确使用电压表测量电压。

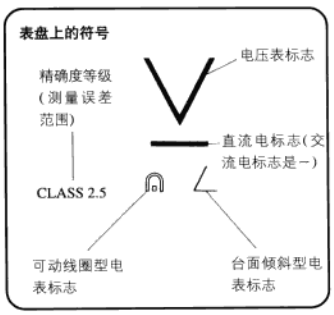
## 【A】电压表基础知识

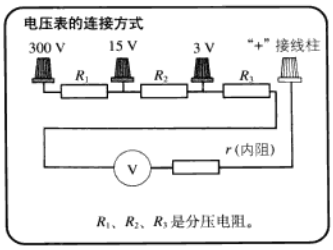
1 电压表的种类和各部分的名称



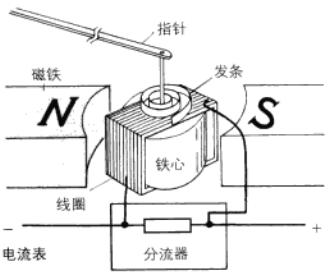
直流电压表

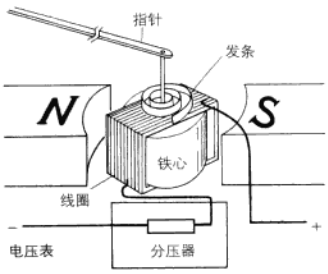



2 电压表和电流表的不同

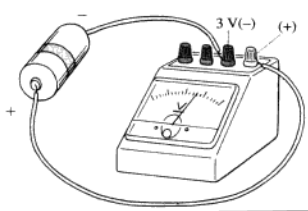


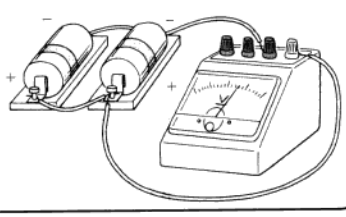




## 【B】电压表的使用方法

1 测量干电池的电动势(直流电压表的使用举例)

①测量一个干电池的电动势　　②测量两个以上并联干电池的电动势




## 【A】电压表基础知识

1 说明 电压表又叫伏特计，根据电源的种类可以分为直流电压表和交流电压表两种。直流电压表一般使用可动线圈型伏特计。根据标准方法制作的电压表具有3 V、15 V、300 V的"－"接线柱，可切换量程，这里主要介绍这种电压表。

这种电压表在各挡接线柱之间串有很大的电阻，起到分压器的作用。因此，即使把电压表并联在电路中，电压表中流过的电流也非常小。精确度等级(CLASS)的含义与电流表中相同(参看【6】)。

2 说明 电压表和电流表在结构上完全一样，所不同的是，在电流表上并联着小电阻(分流器)，电压表上则串联着大电阻(分压器)。由于电压表的内阻非常大，所以即使并联在电路中也几乎不会对电路中的电流产生影响。并且，电压表的内阻越大，测量的结果越准确。

## 【B】电压表的使用方法

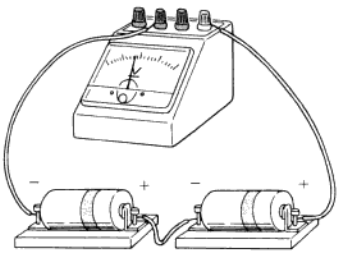
1 ① 提示 在连接电压表之前，要确认是用直流表还是用交流表，同时要检查指针是否指向零刻度。另外，如果误把电流表当做电压表而与干电池并联，可能会损坏表头，所以要注意V标志。

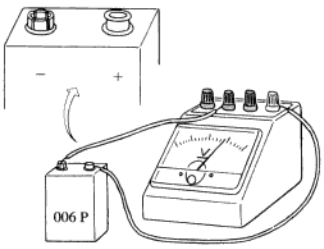
连接导线时要小心，不要把表头的接线柱和电池的正负极接错。应该把干电池的正极接到电压表的"+"接线柱上，电池负极接到电压表的"－"接线柱上。

如图所示的情况下，电压表的"－"接线柱使用3 V的就可以，因为干电池的电动势是1.5 V，所以指针不会超过量程。

② 提示 电压表的"－"接线柱与测量一个干电池时一样，使用3 V接线柱。

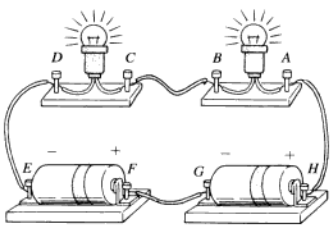
③测量两个以上串联干电池或006 P叠层电池的电动势



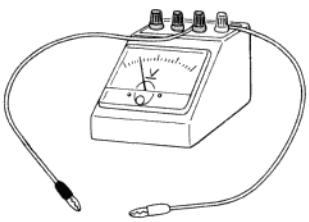



2 测量电路中的电压(直流电压表的使用举例)

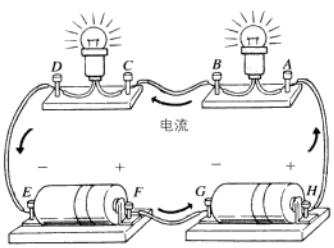
①用干电池和小灯泡连接电路



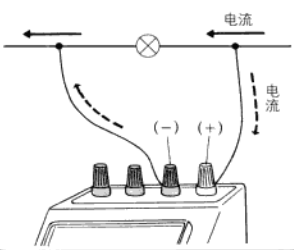

②给电压表连上导线



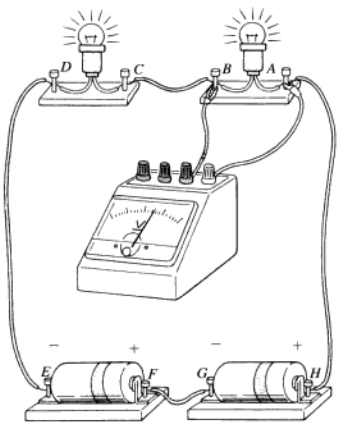
③根据电路中的电流方向，决定电压表的连接方式



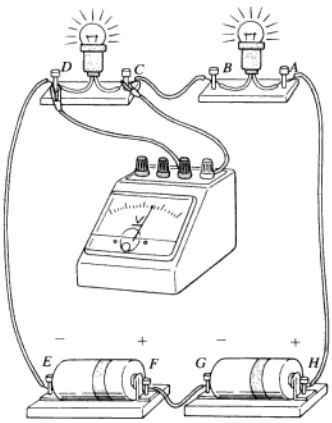

电压表的连接方式




④测量 $AB$ 之间的电压




⑤测量 $CD$ 之间的电压




③ 提示 锰干电池的标称电压是1.5 V。这一电压是当电池外接小灯泡时两极间的电压。如果两极直接连接电压表，就相当于测量电动势。如果是新的干电池，其电压就是1.6 V～1.65 V。所以，当两个以上干电池串联时，应使用15 V挡的“−”接线柱。

参考 电池的正极和负极之间存在电势差，即电动势。因为电池都有内阻，当电流流过时，由于内阻的存在，两极间的电势差就会减少。这个电势差比电动势小。这种两点间的电势差叫做电压。

2 ① 说明 这是把两个干电池和两个小灯泡串联起来的电路。把干电池视为电源装置，小灯泡则可视为电热丝。

② 提示 测量电路的电压时使用带夹子的引线比较方便。由两个干电池组成的电路，“−”接线柱可使用3 V挡。干电池的数量较多或使用电源装置时，应该选择合适的接线柱。

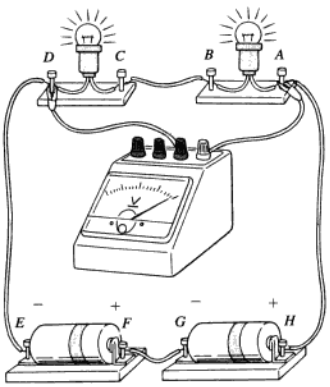
③ 说明 电流从干电池的正极流出，经过小灯泡流到干电池的负极。

提示 决定电压表的连接方式时，应考虑到电压表里流动的电流（尽管这种电流非常微小）。连接时，应让电流从电压表的“+”接线柱流向“−”接线柱。

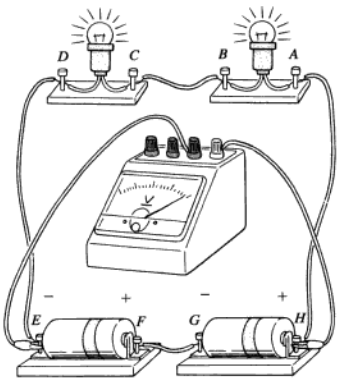
④ 说明 $A$ 和 $B$ 之间的电流是从 $A$ 流向 $B$，这说明 $A$ 是正的，$B$ 是负的。因此，电压表的“+”接线柱与 $A$ 相连，“−”接线柱与 $B$ 相连。

⑤ 说明 $C$ 和 $D$ 之间的电流是从 $C$ 流向 $D$。因此，$C$ 为正，$D$ 为负。

⑥测量 $AD$ 之间的电压




⑦测量 $EH$ 之间的电压



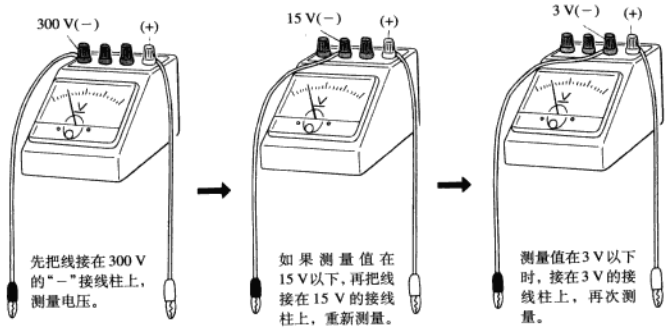

⑥ 说明 $A$ 和 $D$ 之间的电流流向是 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$，所以 $A$ 为正，$D$ 为负。

⑦ 说明 $E$ 和 $H$ 之间的电流流向是 $H \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$，所以 $H$ 为正，$E$ 为负。

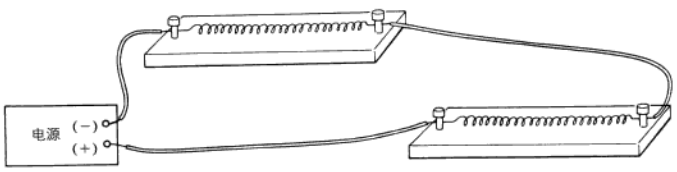
参考 由于 $HA$ 之间以及 $DE$ 之间是通过导线相连，所以两点间的电压很小，如果用电压表测量，读数只能是零。因此，$E$ 和 $H$ 之间的电压与⑥中 $A$ 和 $D$ 之间的电压相等。

但是，严格来讲，导线的两端仍然存在微小的电压，这是因为无论使用什么样的导线，导线本身都存在着微小的电阻。

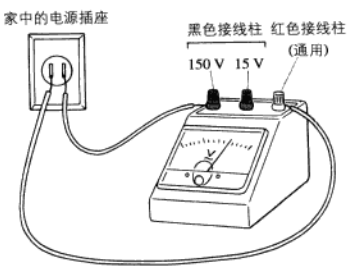
3 无法估计电压(范围)时的测量方法

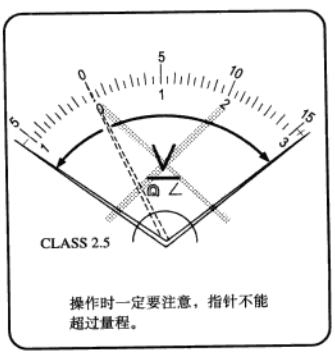



3 说明 一般来讲，路端电压不会比电源的电动势高，所以可以预测电路中的最高电压。对于应该使用的接线柱，一般情况下是可以预测的，但也有因为不知道电源的电动势而无法预测路端电压的情况。在这种时候，应首先连接量程大的接线柱(300 V 接线柱)，查明电压的范围，再根据需要依次缩小量程，切换到更加精确的接线柱上。




4 测量家中电源插座的电压
(交流电压表的使用举例)




4 说明 交流电压表的使用方法基本上与直流电压表相同，但由于交流电压表没有正负极的区别，所以与接线柱相连时没有必要考虑正负极。

提示 测量电压之前，要确认电压表是交流电压表。接线柱应该使用 150 V 挡(中国市电为 220 V，故应使用 300 V 挡的接线柱)。注意不要短路。

注意 不要用手碰到导线或接线柱，以免触电。

提示 连接电压表时要注意指针的摆动。如果指针一会儿超过量程，一会儿指向相反的方向，就应立即切断电路。要养成查找原因的习惯。指针超过量程是因为电压表两端的电压超过了电压表的量程。另外，接线柱的“+”“−”接错时，指针会指向相反的方向。此时，如果电压过高，指针就会超过量程。无论是什么原因，指针超过量程的情况都会使指针变形或损坏电压表，应特别注意。

# 8 多用电表的使用方法

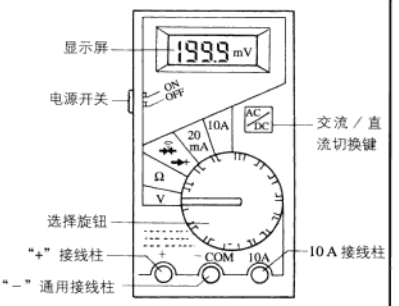
目标　会用多用电表测量电流、电压及电阻。

多用电表　小灯泡　导线　开关　水泥电阻

1 多用电表的结构

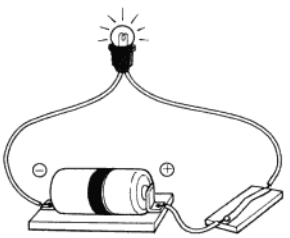


多用电表

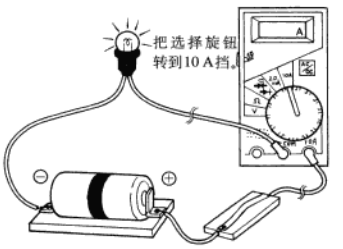



2 测量电流

①连接接入小灯泡的电路

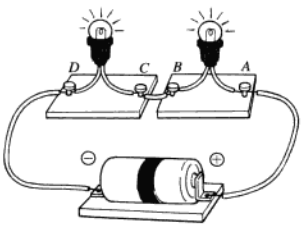


②接入多用电表测量电流

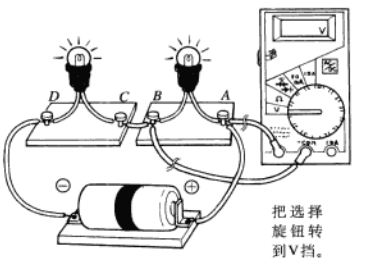



3 测量小灯泡两端（*AB*、*CD* 之间）的电压

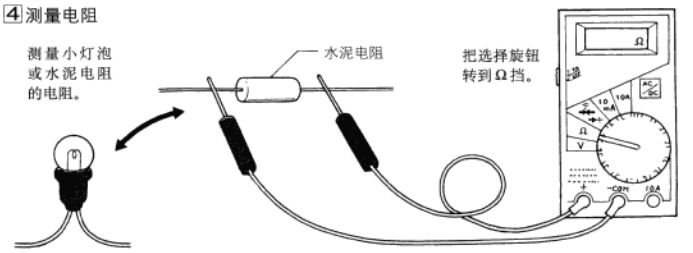
①连接电路，确定电流的方向之后，决定多用电表的连接方式




②接入多用电表，测量电压




4 测量电阻




1 说明　多用电表也称数字多用电表。测量值显示在液晶显示屏上，最大值为1999。除了测量值以外，还能显示小数点、负极性、过载报警、电池消耗等情况。

利用选择旋钮，可以选择V挡测量电压，选择Ω挡测量电阻，选择 ➡◀ ▶+进行导通测试和二极管的测试。测量电流时可选择20 mA挡和10 A挡的量程。AC/DC键是测量电压(V)及电流(20 mA, 10 A)时选择AC(交流)或DC(直流)用的。在AC状态下，如果把电源键放在OFF挡，电表将自动切换到DC状态，但不会显示DC符号。

2 提示　测量电流时，应把电表串联接入电路。连接电表之前把AC/DC键放在DC挡，把功能选择旋钮转到10 A挡，将"+"接线柱接在10 A挡，"－"接线柱接在－ COM挡上。电流方向相反时，显示值是负数。

3 提示　测量电压时，应把电表并联接入电路。连接电表之前把AC/DC键放在DC挡，把选择旋钮转到V挡。"+"接线柱与"+"接线柱相连，"－"接线柱与"－"接线柱相连。用同样的方法测量 *CD* 间的电压。

说明　多用电表的好处包括：

- 操作简单；
- 用一台电表便可测得电流、电压、电阻等多个物理量；
- 因测量值是用数字表示的，所以容易读取；
- 由于小而轻，所以携带方便且不占地方；
- 即使操作失误也不会发生故障。

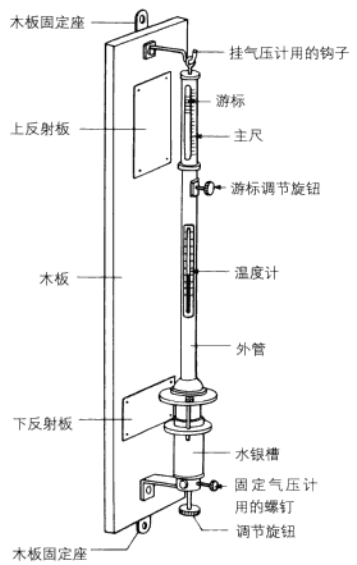
# 9 气压的测量

槽式水银气压计　无液气压计　无液自记气压计

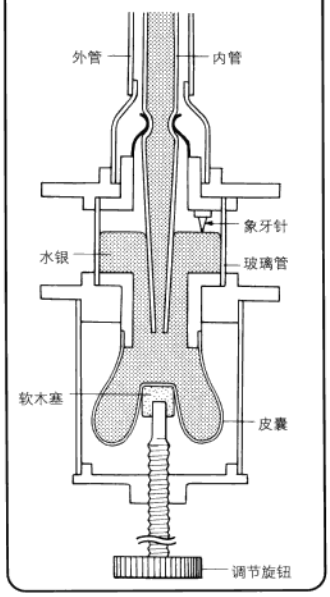
目标　会用水银气压计或无液气压计测量大气压。

## 1 用槽式水银气压计(福丁气压计)测量

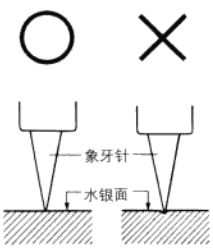
①结构



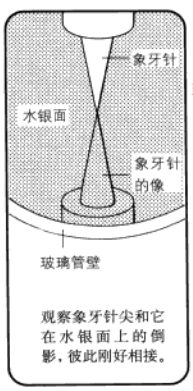

水银槽的结构



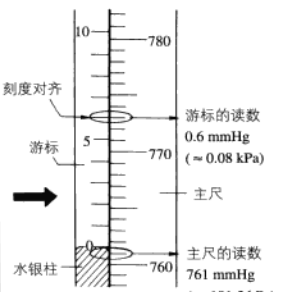

②使用方法




先用管上的温度计测量气温，然后旋转调节旋钮使水银面刚好和槽上的象牙针尖接触。




观察象牙针尖和它在水银面上的倒影，彼此刚好相接。




用游标的调节旋钮使游标和水银柱的顶端达到同一高度之后读取数值。然后，再次测量气温，取平均气温进行温度修正。

**测量举例**

| | |
|---|---|
| 测量前的气温 /℃ | 15.5 |
| 测量后的气温 /℃ | 15.7 |
| 平均气温 $t$ /℃ | 15.6 |
| 水银的体膨胀率 $\alpha$ / K$^{-1}$ | 0.000 182 |
| 黄铜的线膨胀率 $\beta$ / K$^{-1}$ | 0.000 019 |
| 修正前的气压 $H$ | 761.6 mmHg (≈ 101.5 kPa) |
| 温度修正值 $\triangle H$ | − 1.9 mmHg (≈ − 0.2 kPa) |
| 修正后的气压($H+\triangle H$) | 759.7 mmHg (≈ 101.3 kPa) |

注意　测量结束后，一定要让象牙针脱离水银面，以免针尖被水银弄脏。

参考　除了温度修正之外，还有毛细管修正和重力修正。玻璃管(内管)内的水银柱由于毛细现象，比真实的数据略微低一些，修正此数据就是毛细管修正。

1 ①说明　福丁气压计是由法国的福丁(1750—1831)制作的水银气压计，由上端封闭的玻璃管内管和水银槽组成。其特点是水银槽的底部是皮囊状，当气压发生变化时可以很方便地将水银槽内的水银面调到刻度零点——对准象牙针的针尖，以便测量气压。

提示　安装气压计时，要把气压计竖直固定在建筑物的墙或柱子上，并按以下顺序安装气压计：ⓐ把木板竖直固定好；ⓑ使气压计倒立，并用螺钉紧紧地固定在木板上，然后慢慢地使其直立；ⓒ把气压计的下端插入下面固定用的金属片中，然后挂在上面的金属挂钩上；ⓓ拧紧下面的三个螺钉，将其竖直固定。

最好安装在温度变化不大的房间内，避免阳光直射。不要放在温度较高的房间内以及容易受到外部震动影响的地方。

②提示　象牙针与水银的接触面不要过大，否则会使水银面上的针影扭曲。读数时，视线要与水银柱的顶端对齐。

说明　气压由0 ℃条件下水银柱的高度表示。对读到的气压应进行温度修正。如果水银的体膨胀率为$\alpha$，温度为$t$时水银的密度就是0 ℃条件下水银密度的$1/(1+\alpha t)$倍。另外，在制作工艺上已经能够做到使水银柱在0 ℃时准确地显示出mm单位的长度。所以，如果把刻度尺的线膨胀率设为$\beta$，温度为$t$时$H$的准确读数就应该是$H(1+\beta t)$。也就是说，经温度修正后的气压是

$$H_1 \approx H\,[1-(\alpha-\beta)t] \quad (\text{单位：mmHg})$$

因此，温度修正值

$$\triangle H = H_1 - H = -H(\alpha-\beta)t$$

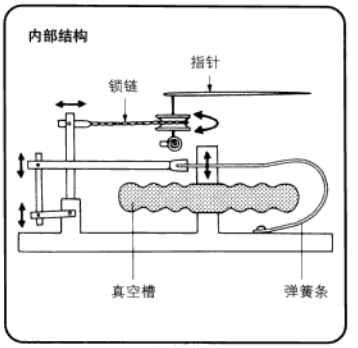
作为参考资料，下面给出了一个测量实例。

由于水银柱的高度与测量地点的重力加速度有关，为了换算成与重力加速度的标准值$g = 980.665\ \text{cm/s}^2$相对应的气压，应进行重力修正。

## 2 用无液气压计测量

①结构

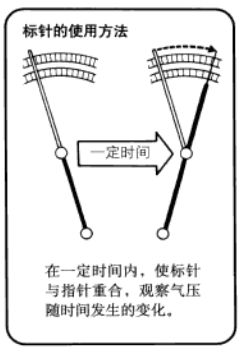



②使用方法

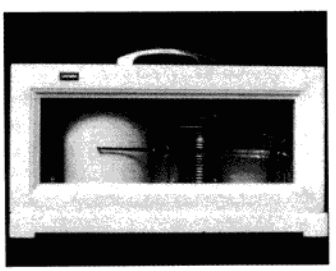
利用悬挂式气压计测量气压时，应把气压计竖直挂在柱子上读数；利用台式气压计测量时，则应把气压计放在水平桌面上读数。

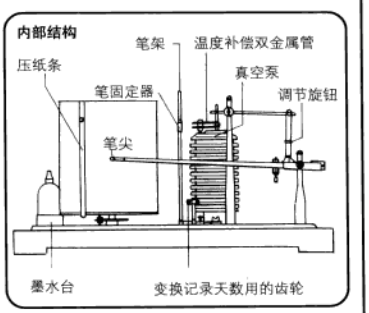




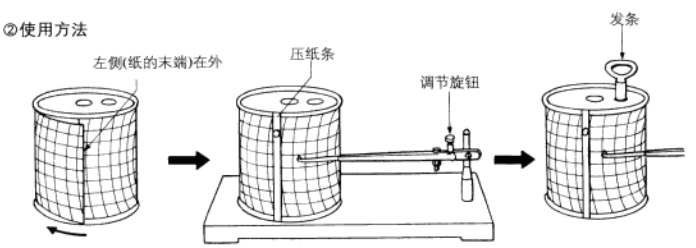

## 3 用无液自记气压计测量

①外观






②使用方法




把记录纸卷在圆筒上，在纸的上端写上日期。

用调节旋钮调整记录笔与纸的接触程度，笔尖的墨水要装到八成左右。

拧紧自动记录表的发条，使记录与测量同步进行。

2 ① 说明 无液气压计是利用金属的弹性制作的，其名称的由来是希腊语里的“没有液体”。它的敏感部分是由两张同心圆状的薄金属片组成的。由于内部是真空状态，受大气压的影响会出现自动向里收缩的力量；但是由于强有力的片状弹簧能与之抗衡，二者会处于平衡状态。因此，当气压高时会收缩，气压低时会膨胀。为了使观察者更容易看出这种变化，气压计里面还装有杠杆，用于放大指针的摆动。这就是无液气压计的工作原理。

提示 在平地上使用时，应选择量程为92 kPa～108 kPa的气压计。

② 提示 安装地点最好选在温度变化不大的地方。应避免在阳光直射、温度较高以及易受外部震动影响的地方安装。使用时应小心，不要给仪器带来冲击。应注意正确使用台式气压计和悬挂式气压计。

3 ① 说明 无液自记气压计是一种可以连续自动记录气压变化的装置，也是无液气压计的一种，其基本原理与2相同。在2的基础上，把一支记录笔安装在指针的顶端，把气压的变化和时间一同记录在旋转的纸筒上。

提示 根据纸筒的旋转速度，记录纸可以分为一天用和七天用两种。学校里一般使用七天用的记录纸。记录纸要用专用纸。每周一的上午9：00～10：00之间更换记录纸。

② 提示 把记录纸卷入纸筒时，要把纸的左端对准压纸条上带孔的右端，纸的末端（左侧）在外面。另外，要尽量使左右两侧的刻度对齐。如果笔尖过分用力地压在记录纸上，气压的变化与记录之间就会产生偏差；如果力度不够，有时又会出现线条间断的现象。每次更换记录纸时，要把自动记录表的旋钮(发条)拧紧。校准时间时，一边把圆筒反向旋转，一边检查笔尖的位置，做到准确无误。

# 10 测量值与误差

目标

通过处理测量时产生的误差，理解测量值的表示方法及有效数字的处理方法，并能掌握有效数字的四则运算规则。

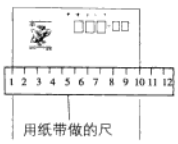
明信片　纸带　刻度尺(分度值为1 mm)　长方形纸

## 1 测量值的表示方法

数据

五个人的测量值

| 人 | 长/cm | 宽/cm |
|---|---|---|
| 1 | 14.7 | 10.1 |
| 2 | 14.8 | 10.0 |
| 3 | 14.9 | 10.1 |
| 4 | 14.7 | 9.9 |
| 5 | 14.8 | 10.0 |




用分度值为1 cm的刻度尺测量明信片的长度和宽度。

①用偏差范围表示的方法

(明信片的长度大于14.7 cm，小于14.9 cm)
14.7 cm < 长度 < 14.9 cm

(明信片的宽度大于9.9 cm，小于10.1 cm)
9.9 cm < 宽度 < 10.1 cm

②用平均值表示的方法

| 长度 | 宽度 |
|---|---|
| 14.7 | 10.1 |
| 14.8 | 10.0 |
| 14.9 | 10.1 |
| 14.7 | 9.9 |
| + 14.8 | + 10.0 |
| 5⟌73.9 | 5⟌50.1 |
| 14.78 | 10.02 |

平均值 = 14.8 cm　　平均值 = 10.0 cm

③用平均值加误差表示的方法

把平均值视为最接近真值的数据，通过测量值的偏差估算误差的大小。对上述例子来说，其误差是 ± 0.1 cm。

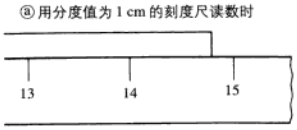
明信片的长度
14.8 cm ± 0.1 cm

明信片的宽度
10.0 cm ± 0.1 cm

## 2 有效数字的表示方法和计算方法

①有效数字的表示方法

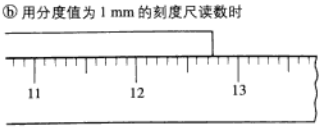
ⓐ用分度值为1 cm的刻度尺读数时




测量值 = 14.8 cm
可靠数字　不可靠数字

有效数字为三位数

ⓑ用分度值为1 mm的刻度尺读数时




测量值 = 12.74 cm
可靠数字　不可靠数字

有效数字为四位数

ⓒ平均值的表示方法

比如，1 ②中明信片长度的平均值不是14.78 cm，而是14.8 cm，理由如下：

14.78
8 ← 没有意义的数

有效数字为三位数

②用$10^n$表示的方法

比如，测量值为280 cm时，只看到此数字就不知道有效数字是两位数还是三位数。这时，如果有效数字是两位数，就可以用以下方法表示：

$2.8 \times 10^2$ cm

如果以km为单位，应是$2.8 \times 10^{-3}$ km。

1 说明 这些是用纸带制作的刻度尺测得的数据。纸带刻度尺的精度为0.1 cm。通常利用分度值为1 mm的刻度尺，可以精确地测量到0.1 mm，但这里为了介绍测量值的处理方法，我们可以用分度值为1 cm的刻度尺测得的数据加以说明。

通过五个人的测量结果可以看出，由于测量者的习惯、器具(如刻度尺)的使用方法以及器具刻度的粗细不同等原因，每个人得到的测量结果会出现程度不同的偏差，因此就会出现测量值与真值不一致的现象。测量值与真值的差叫做绝对误差。

绝对误差 = 测量值 − 真值

为了使测量值尽可能接近真值，减少误差，需反复多次进行测量，求得平均值。

① 说明 这里，长度和宽度不是一个确定的数值，而是以一定的范围来表示的。

② 说明 平均值是以包括误差在内的第一个数字的位数表示的。比如，利用分度值为1 cm的刻度尺读数时，可以估测到0.1 cm。这个用估测方法读取的数值就是包括了误差的位数。

③ 说明 这里所说的误差是绝对误差。除了这种表示方法之外，还有平均值加相对误差的表示方法。比如：

明信片的宽度 = 10.0 × (1 ± 1%) cm

2 ① 说明 有效数字是指可靠数字加上一位含误差在内的不可靠的数字。所以，如果用分度值为1 cm的刻度尺测量物体的长度，所得数据正好是10 cm的话，测量值的正确记录应该是10.0 cm。10 cm的测量值和10.0 cm的测量值在有效数字上相差一位。

② 说明 科研工作中经常使用非常大或非常小的数字。在这种情况下，把有效数字用小数乘以$10^n$的形式来表示，计算或记录时会比较方便。比如，如果把地球的赤道半径表示成$6.37 \times 10^3$ km，那么赤道的长度就可以用下面的方法求出：

$6.37 \times 10^3 \times 2 \times 3.14$ km $= 4.00 \times 10^4$ km

③有效数字的计算方法

ⓐ 加法(减法)

数据　　cm

| | |
|---|---|
| 刻度尺的读数 | 6.2 |
| 刻度尺的读数 | 3.48 |
| 游标卡尺的读数 | 0.162 |

照原数字计算的方法

$$\begin{array}{r} 6.\dot{2} \\ 3.4\dot{8} \\ +\ 0.16\dot{2} \\ \hline 9.8\dot{4}\dot{2} \end{array}$$

有效数字

无效数字(含在误差中)

对齐小数点的方法

$$\begin{array}{r} 6.\dot{2} \\ 3.\dot{5} \\ +\ 0.\dot{2} \\ \hline 9.\dot{9} \end{array}$$

有效数字

ⓑ 乘法(除法)

数据

长方形各边的测量值　　cm

| | |
|---|---|
| 刻度尺的读数 | 2.3 |
| 刻度尺的读数 | 14.75 |

照原数字计算的方法

$$\begin{array}{r} 14.7\dot{5} \\ \times\ \ 2.\dot{3} \\ \hline 4\dot{4}\dot{2}\dot{5} \\ 29\dot{5}\dot{0} \\ \hline 3\dot{3}.9\dot{2}\dot{5} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4 \end{array}$$

有效数字

对齐小数点的方法

$$\begin{array}{r} 1\ 4.\dot{8} \\ \times\ \ 2.\dot{3} \\ \hline \dot{4}\dot{4}\dot{4} \\ 2\ 9\dot{6} \\ \hline 3\dot{4}.\dot{0}\dot{4} \end{array}$$

有效数字

3 测量值的计算方法

数据

4.6 cm ± 0.1 cm

12.4 cm ± 0.1 cm

测量长方形纸的边长 $AB$和$AD$，得到的最大值和最小值如下：

cm

| | 最小值 | 最大值 |
|---|---|---|
| $AB$ | 12.3 | 12.5 |
| $AD$ | 4.5 | 4.7 |

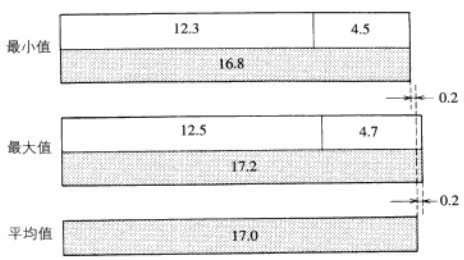
①加法和减法

ⓐ 加法

求两边之和$(AB + AD)$

最小值＝($AB$ 的最小值)＋($AD$ 的最小值)

最大值＝($AB$ 的最大值)＋($AD$ 的最大值)




16.8 cm ＜$(AB + AD)$＜ 17.2 cm

因为$(AB + AD)$的误差是平均值与最大值、最小值之差，也就是 ± 0.2 cm，所以$(AB + AD)$就是：

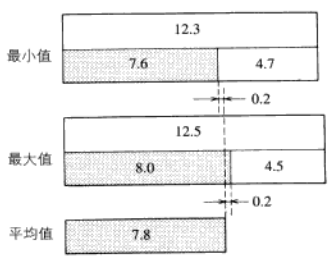
$(AB + AD) = 17.0$ cm ± 0.2 cm

ⓑ 减法

求两边之差$(AB - AD)$

最小值＝($AB$ 的最小值)－($AD$ 的最大值)

最大值＝($AB$ 的最大值)－($AD$ 的最小值)




7.6 cm ＜$(AB - AD)$＜ 8.0 cm

由于和加法一样，$(AB - AD)$的误差是 ± 0.2 cm，所以$(AB - AD)$就是：

$(AB - AD) = 7.8$ cm ± 0.2 cm

②乘(除)法运算

求长方形 $ABCD$ 的面积

最小面积＝($AB$ 的最小值)×($AD$ 的最小值)

最大面积＝($AB$ 的最大值)×($AD$ 的最大值)

最小面积

$$\begin{array}{r} 1\ 2.\dot{3} \\ \times\ \ 4.\dot{5} \\ \hline 6\dot{1}\dot{5} \\ 49\dot{2} \\ \hline 5\dot{5}.3\dot{5} \end{array}$$

最大面积

$$\begin{array}{r} 1\ 2.\dot{5} \\ \times\ \ 4.\dot{7} \\ \hline 8\dot{7}\dot{5} \\ 50\dot{0} \\ \hline 5\dot{8}.\dot{7}\dot{5} \end{array}$$

9

55 cm² ＜$(AB \times AD)$＜ 59 cm²

由于误差是测量值与真值(或平均值 57 cm²)的偏差，所以是 ± 2 cm²。于是长方形 $ABCD$ 的面积可以表示如下：

$(AB \times AD) < (57 \pm 2)$ cm²

此时的相对误差是 $\frac{2}{57} \times 100 = 3\%$，用相对误差表示的面积如下式所示：

$(AB \times AD) < 57\,(1 + 3\%)$ cm²

③ 说明 左边的算式中上面带点的数字是含误差的位数。计算有效数字时测量值的单位要统一。计算不同位数的数字的方法有两种：一种是计算之后把无效数字四舍五入，另一种是先统一位数再进行计算。

左边的乘法计算例子中，虽然测量值的有效数字位数各为两位数和四位数，但其积是两位数。

积(或商)的有效数字位数与在进行乘（或除）法运算之前测量值的有效数字中位数最小者相同。减法和除法运算中的有效数字的处理方法分别与加法和乘法运算中的有效数字的处理方法相同。

3 ① 说明 测量值的和(或差)的误差等于加数(或减数与被减数)的误差之和。所以，在计算数据之和(或差)时，就像这里所举的例子那样，应先求出测量值部分的和(或差)，再求误差部分绝对值的和。

$$\begin{array}{r} 12.4 \pm 0.1 \cdots AB \\ +)\ 4.6 \pm 0.1 \cdots AD \\ \hline 17.0 \pm 0.2 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 12.4 \pm 0.1 \cdots AB \\ -)\ 4.6 \pm 0.1 \cdots AD \\ \hline 7.8 \pm 0.2 \end{array}$$

② 说明 边长 $AB$ 和 $AD$ 的相对误差分别是 1% 和 2%。另外，左边所求的长方形 $ABCD$ 的面积的相对误差是 3%。由此可知，测量值的积(或商)的相对误差是各因数（或除数与被除数）的相对误差之和。

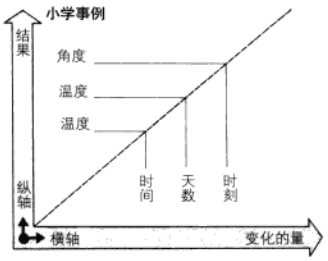
# 11 图像的画法

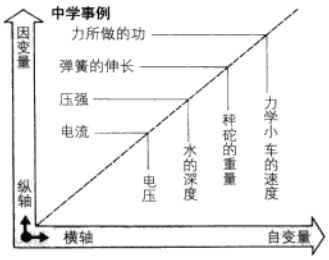
目标　能正确地画出图像并读取坐标。
会观察测量结果。

坐标纸　铅笔　直尺

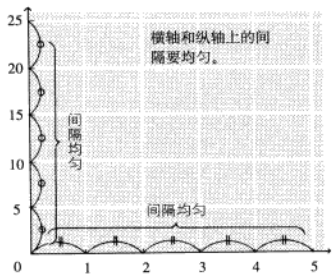
## 1 图像的画法

①确定横轴和纵轴所代表的量

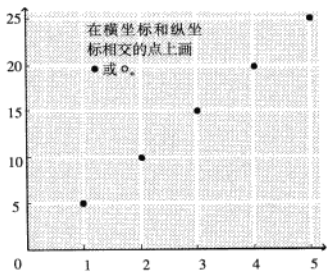


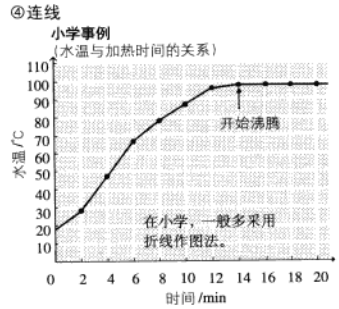

②分格

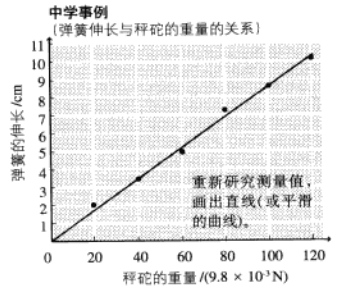



③标出测量值



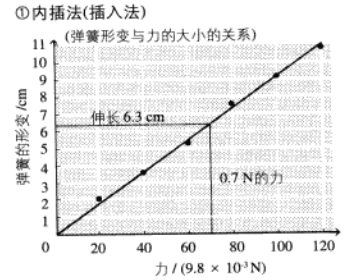

④连线



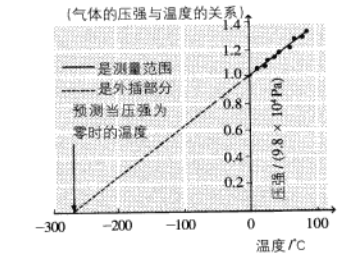




## 2 对图像的解释(I)

①内插法(插入法)




②外插法(外推法)

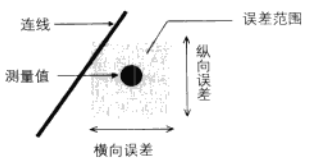



1 ①说明 在小学，我们常把时间、天数、时刻等总在变化的量作为横轴，而把结果(如随时间而上升的水温)作为纵轴来作关系图像。
在中学，我们则用横轴表示自变量的变化，用纵轴表示因变量的变化。

② 提示 分格时要充分考虑测量值的分布范围，避免最大值超出图像范围。

③ 提示 如果画的点太小，一些点就会在连线时被线条遮住而看不清；点太大也不好。所以有必要考虑点的大小。另外，除了○和●，还可以根据需要使用×或△等符号。

④ 说明 对中学生来说，可以要求他们连线时尽量照顾到每一个点，使得连出的线接近直线或比较平滑的曲线。这是因为测量值里肯定会包括如下图所示的误差。

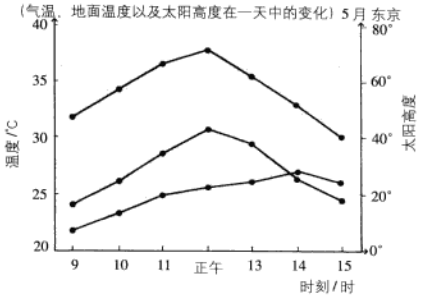



提示 在原点附近连线时，应考虑好是否要通过原点。

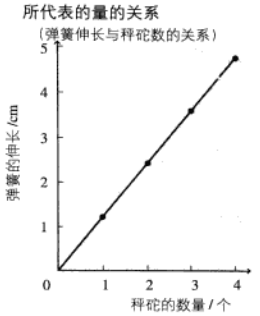
2 说明 在测量值和测量值之间，预测没有数据的那部分值的方法叫做坐标内插，利用内插法求值的方法叫做内插法(或插入法)。延长坐标，预测测量值范围以外的数据的方法叫做外插法，利用外插法求值的方法叫外推法。在测量困难(或无法测量)的情况下，经常使用外推法。左边的“气体的压强与温度的关系图”就是运用外推法的典型例子。

**3** 对图像的解释(II)

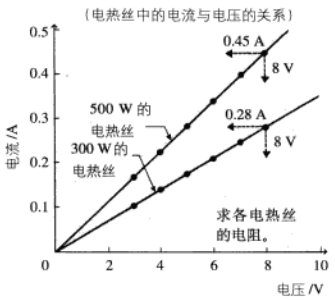
①从汇集各种变化的图像中，确定各曲线所代表的变化

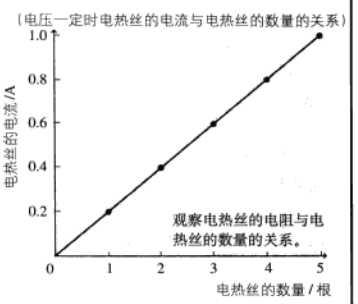



②分析横轴所代表的量与纵轴所代表的量的关系

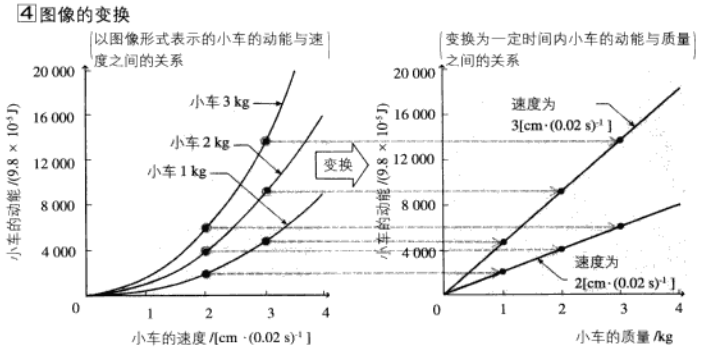



③观察测量结果



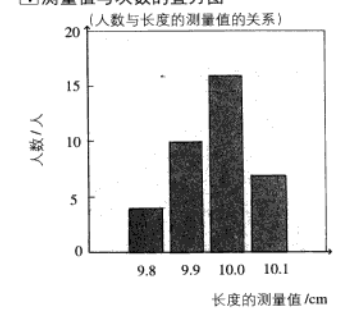




**4** 图像的变换

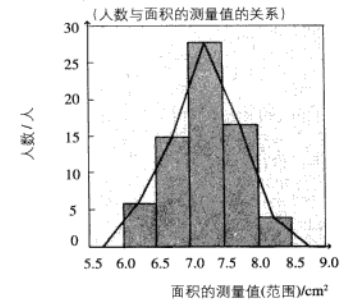



**【参考】用直方图表示的方法**

**1** 测量值与次数的直方图




**2** 区间值与次数的直方图




**3** ①说明 此图像是以小学的学习内容为例画出的。

② 说明 读图，找出其中的规律。此图像是以初中的学习内容为例画出的。这里，图像是通过原点的一条直线，因此可以理解为在两个变量之间存在着比例关系。

③ 说明 通过左边的图像(电热丝中的电流与电压的关系)可以知道以下几点：

当电压为8.0 V时，500 W的电热丝中流有0.45 A的电流，300 W的电热丝中流有0.28 A的电流。这说明300 W的电热丝不易导电，也就是说它的电阻大。通过$U = IR$的关系即可求出各电热丝的电阻。

通过右边的图像(电压一定时电热丝的电流与电热丝的数量的关系)可知，电热丝的电流与电热丝的数量成正比，电热丝的电阻与电热丝的横截面积成反比。

**4** 说明 一般来讲，某一个量$y$随着两个变量$x$和$z$变化时，通过$y$与$x$的关系图像可以求得$y$与第二个变量$z$之间的关系，并进而画出反映$y$与$z$之间的关系图像。通过此图像，可以看出$y$与$x$以及$y$与$z$之间的关系。在左边的例子中，通过变换前的图像可以知道，小车的动能与速度没有正比例关系(与速度的二次方却有正比例关系)。另外，通过变换后的图像可以了解到，小车的动能与质量成正比。

**【参考】用直方图表示的方法**

说明 直方图也叫“次数柱状图”或“柱状图”。比如，全班同学都测量同一物体的长度时，可以利用直方图了解测量值的分布状态。一般用横轴表示测量值或其范围，纵轴表示人数或次数。

横轴表示测量值的范围时，有时也把那些范围的中间值用平滑曲线连起来表示。这种平滑的曲线叫做“次数曲线”。

# 12 观察接触力和远程力

目标 初 观察两种性质的力，即由两个物体直接接触而产生相互作用的接触力和彼此分离的两个物体之间存在的远程力。

【A】木块① 线 铅笔 电扇 纸片 风车② 水车③ 水管 【B】蹄形磁铁2个 圆杆铅笔(多支) 环形磁铁④ 圆棒⑤ 吸管2根 大头针 橡皮 气球2个 线 化纤布

①带钩的木块，5 cm × 10 cm × 15 cm左右的比较合适。②风车可用纸片折叠而成。③水车可以自制。④磁极在两侧。⑤应选择能穿过环形磁铁的圆棒。

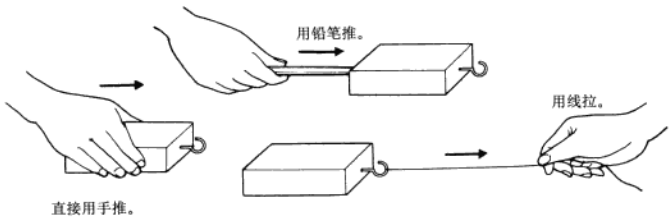
## 【A】观察接触力

1 观察手的力

①考虑如何用手使放在桌子上的木块移动

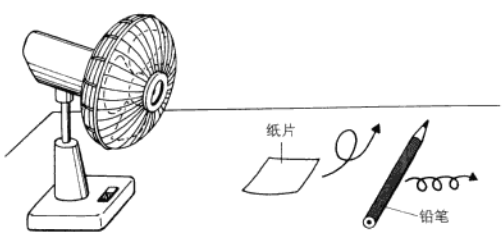



②用各种方法对木块施力

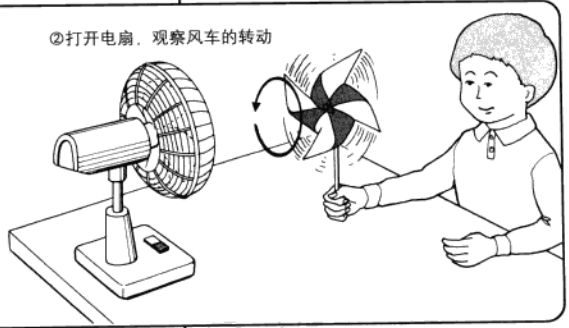



2 观察空气的力

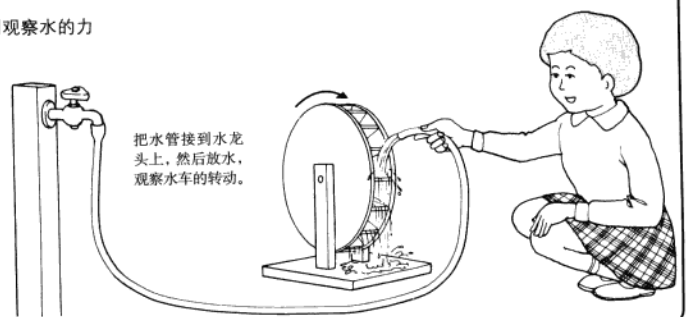
①在桌子上放上铅笔、纸片等物，然后打开电扇，观察结果




②打开电扇，观察风车的转动



3 观察水的力




### 【A】观察接触力

1 ①说明 人们搬动小物体时，一般不会注意到力的存在。所以，通过有意识地观察木块的移动过程就能知道：不加任何外力时，木块不会移动。认识力的存在就是本实验的目的。

②提示 想一想为什么木块会移动。

说明 利用线或铅笔也能使木块移动，这是因为在手的作用下，线或铅笔对木块施加了力。

2 说明 流动的空气能使某些物体移动。此实验的目的就是证实这一现象。

提示 虽然我们用肉眼看不到，但空气也是一种物质。实验前要充分认识这一点。

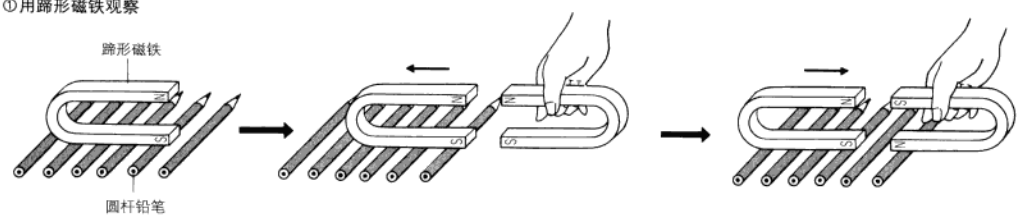
3 说明 水是能用肉眼看到的物质，但对于低年级的学生来说水的知识是很难领会的。所以，低年级学生很难理解水本身的力对其他物体的作用。在本实验中，将观察和认识流动的水所产生的力。

说明 力是两个物体间的相互作用，是使物体变形及运动状态发生变化的原因。当两个物体直接接触时，物体间的相互作用就是接触力。

## 【B】观察远程力

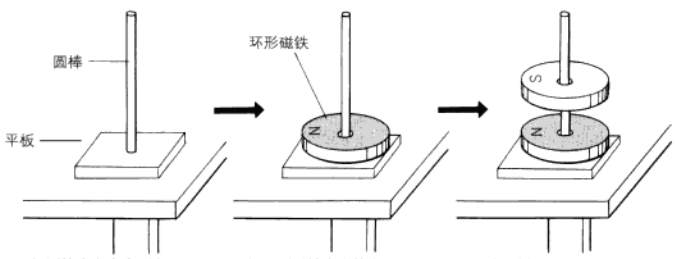
### 1 观察磁铁的力

①用蹄形磁铁观察




把蹄形磁铁放在圆杆铅笔上。　观察两个蹄形磁铁的同名磁极互相靠近时的情况。　观察两个磁铁的异名磁极互相靠近时的情况。

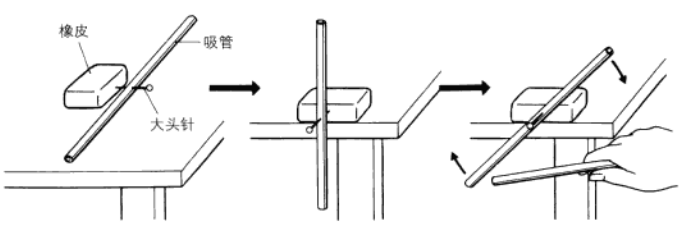
②用环形磁铁观察




把圆棒直立在桌面上。　把环形磁铁套在棒上。　观察同样形状的磁铁同名磁极相对地套上时的情况。

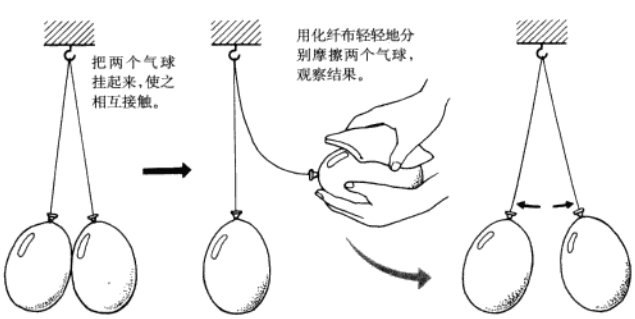
### 2 观察静电的力

①用两根吸管观察




把大头针穿过吸管的中央，插进橡皮中。　用头发轻轻摩擦吸管，然后放在桌子边上。　观察其他用头发摩擦过的吸管靠近时的情况。

②用两个气球观察




**1** ①提示 尽量选用磁性强的蹄形磁铁。圆棒不限于圆杆铅笔，只要是圆棒状物体就行。除了磁铁的下面，磁铁的前后也应该摆放一些圆棒。也可以把两个磁铁都放在圆棒上面，但此时要注意：当两个磁铁互相接近时，为了防止圆棒移动，有必要用手按住两个磁铁，然后使两个磁铁靠近，同时松开按磁铁的手。

② 提示 圆棒的直径应该比磁铁中心的圆孔略小。圆棒太细会使磁铁倾斜，得不到理想的结果。圆棒应固定在平板上。

**2** ① 提示 不断转动穿过吸管的大头针，可以扩大小孔，使得吸管容易转动。

将大头针穿过吸管固定在橡皮上，然后放在桌子边上，使吸管的旋转平面垂直于桌面。如果旋转平面与桌面平行，吸管就会直接接触橡皮而影响旋转。如果想使旋转平面与桌面平行，可以在吸管和橡皮之间放两个有孔的玻璃珠。

② 提示 可以选用吹大时尺寸为30 cm～40 cm的气球。气球挂起来之后尽量不要动。空气的流动会使气球难以静止。

说明 彼此分开的两个物体之间存在的相互作用叫做远程力。重力、电场力、磁场力等都是远程力。

# 13 观察力的作用

目标 初 通过观察知道：对静止的物体施加力时，物体会沿着力的方向移动；对运动的物体施加力时，物体会改变运动的方向或速度；对有弹性的物体施加力时，物体会发生形变。

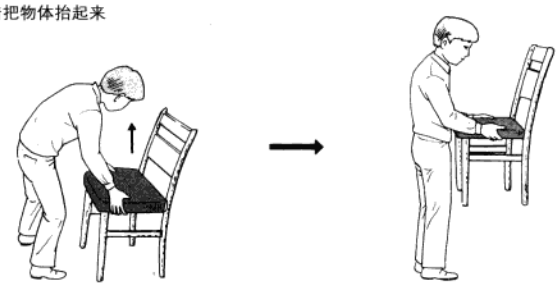
材料与器具

椅子① 塑料直尺 皮球

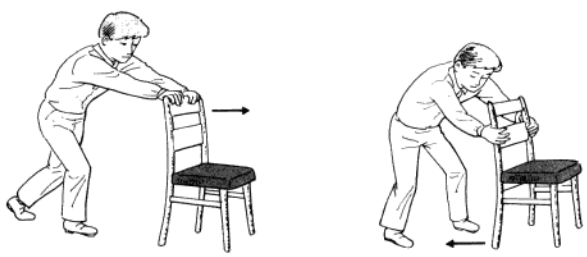
①除了椅子，桌子，装有水的水桶或其他具有适当质量的物体都可以。

1 试着挪动静止的物体

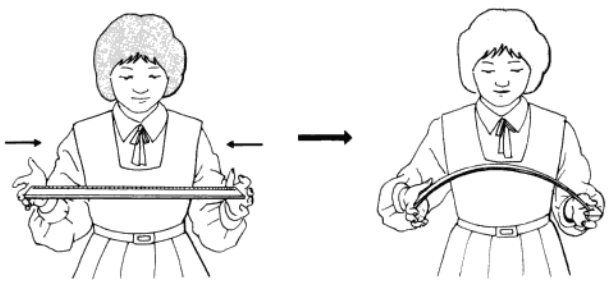
①试着把物体抬起来



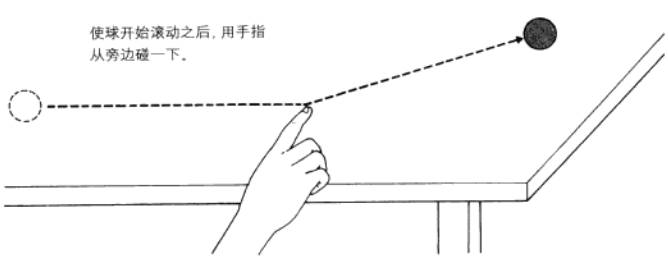
②试着推一推、拉一拉物体



2 试着对直尺施力



3 对正在运动的球施力




1 说明 要想使物体移动，就必须通过抬高物体或牵引物体的方式，沿着希望物体发生移动的方向施力。通过这个实验，要让学生亲身体会和理解这一点。

① 提示 要充分利用椅子、桌子、装有水的水桶等各种物体做实验。要注意选择具有适当质量的物体。如果使用像铅笔、橡皮这类太轻的物体，不用多大力气就能拿起来，就不能使学生清楚地意识到力的存在。

② 提示 应该利用椅子或桌子等各种物体做实验。施力的时候应逐渐加大力度。

2 提示 除了直尺以外，还可以利用网球或其他有弹性的物体做实验。

说明 对具有弹性的物体施力时，该物体会发生形变；撤掉外力时，物体又会恢复到原来的形状。

注意 对直尺施加压力时用力不要过度，以免直尺被折断，因为直尺折断时产生的碎片可能会伤害人体。

3 提示 在桌面或地板上，应尽量让皮球滚动得慢一点。要体会从侧面或后面等各个方向对皮球施力产生的影响。

说明 从侧面对皮球施力时，皮球会改变运动方向；从后面施力时，皮球的速度会发生变化。

参考 可以用力学小车代替皮球，但使用力学小车时，虽然能够观察到速度的变化，却很难观察到运动方向的变化。

# 14 测量各种材料在多大力的作用下被拉断

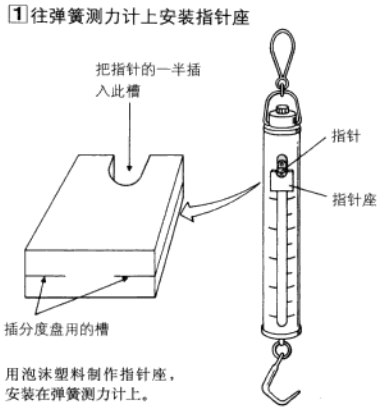
目标 初 用弹簧测力计拉熔丝、牛奶瓶口的包扎绳、纸等物体，测量物体被拉断时力的大小。

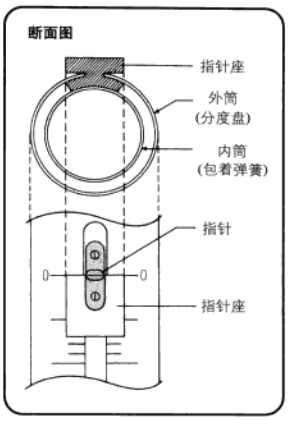
材料与器具

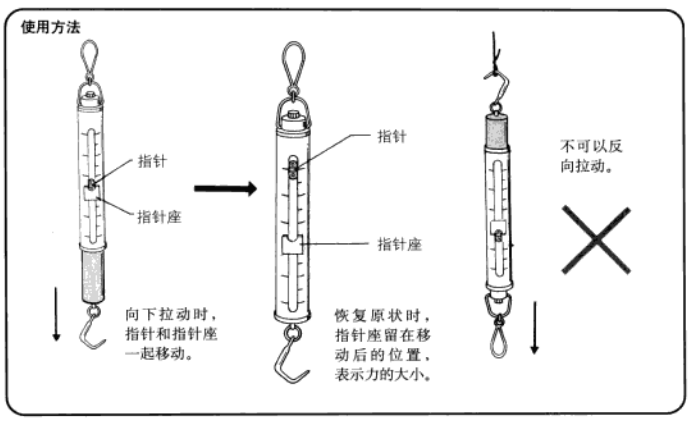
弹簧测力计(量程50N～70N) 泡沫塑料 刀具 铁架台 C形夹子2个 熔丝(5A) 钩码① 纸② 牛奶瓶口包扎绳 透明胶条

①用几个500 g的和四个100 g左右的钩码。也可以在塑料袋里装上沙子代替钩码。②粗糙的纸(如草纸)、打印纸、报纸等。

1 往弹簧测力计上安装指针座

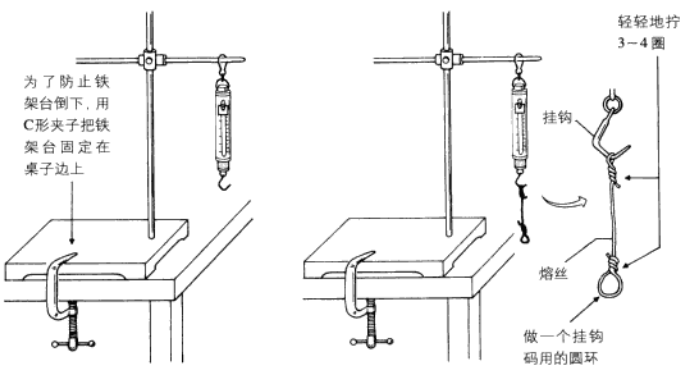



2 拉动熔丝的一端，测量当熔丝被拉断时的力

①把弹簧测力计挂在铁架台上　　②把熔丝拧在弹簧测力计的挂钩上




说明 逐渐增大对熔丝的拉力，熔丝不久就会被拉断。这是测量熔丝被拉断时力的大小的实验。也可以用线代替熔丝，但因此时线的强度较大，需要很多钩码。另外，线被拉断时产生的冲击力也比较大，所以要特别注意安全。

1 提示 要使用量程在50 N以上的弹簧测力计。量程小的误差会变大。可以用泡沫塑料制作指针座，因为这种材料很容易弄到且易于加工。另外，泡沫塑料还具有适度的摩擦力和弹性，使用起来很方便。

指针座的大小可根据弹簧测力计的大小来定，一般用1 cm × 1 cm左右的。太小的指针座容易坏，而且不易与指针平行。用刀片在泡沫塑料指针座上刻一细槽，利用泡沫塑料的弹性夹住分度盘。

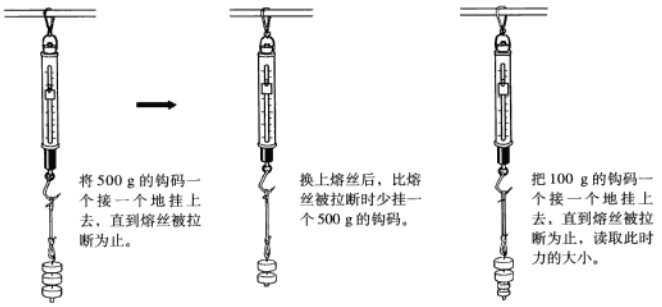
注意 使用弹簧测力计时，不要弄错方向。否则，熔丝被拉断的一瞬间弹簧测力计会落在手上，造成不必要的危险。

2 ① 注意 弹簧测力计一定要固定在铁架台上。如果用手拿着弹簧测力计做实验的话，当熔丝被拉断时，钩码可能会掉在脚上，比较危险。

可用C形夹子把铁架台固定在桌子边上，因为铁架台倒下也会有危险。

② 提示 在挂钩上挂熔丝或用熔丝做圈时，要轻轻地拧。如果用力过猛，被拧的部分会先折断。

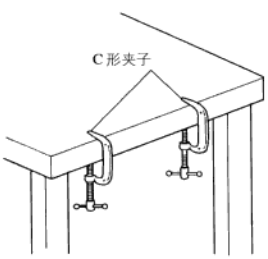
③往熔丝上挂钩码，测量当熔丝被拉断时力的大小

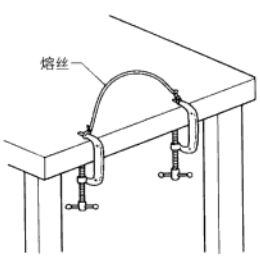



3 拉动熔丝的中间部分，测量熔丝被拉断时力的大小

①把两个 C 形夹子固定在桌子边上

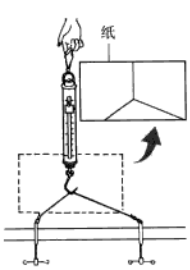
②用熔丝把两个夹子连起来

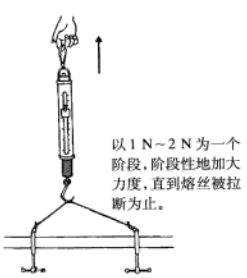


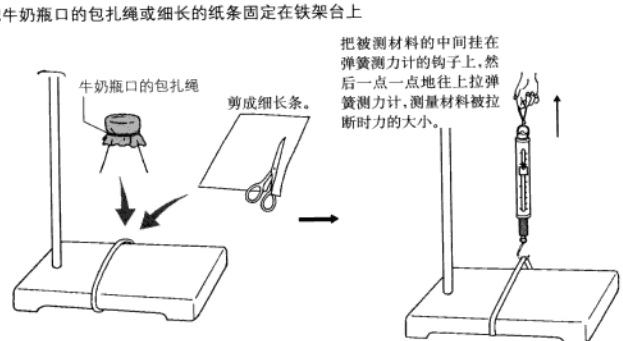

③用弹簧测力计的钩子轻轻地往上拉熔丝，把熔丝与弹簧测力计所成的角度画在纸上

④把弹簧测力计一点一点地往上拉，测量熔丝被拉断时力的大小




⑤把牛奶瓶口的包扎绳或细长的纸条固定在铁架台上




③ 提示 刚刚挂上钩码时熔丝不会立刻被拉断。所以，每挂上一个钩码都要观察 30 s～1 min，如果没有被拉断，就再加一个钩码。由于使用过的熔丝比较脆弱，所以当熔丝断了之后必须及时换上新的熔丝。测量 5 N 以内的重力时，可用 200 g 的钩码代替 100 g 的钩码。

说明 熔丝被拉断之前，可以观察到熔丝被拉长。5 A 的熔丝被拉断时，力的大小一般是 10 N～15 N。

3 ② 提示 把熔丝连到夹子上时，要轻轻地拧 2～3 圈。

③ 说明 把熔丝的角度画在纸上，以备在今后的学习中用到。

④ 提示 每对熔丝加一次力，都要观察 30 s～1 min，如果没有被拉断就继续加力。

⑤ 提示 利用粗糙的纸、打印纸、报纸等做实验时，应把每一种纸顺着纸的纹路裁成 5 mm 宽的纸条，然后再取一张同样的纸，横着裁成 5 mm 宽的纸条。比较横裁纸条和顺裁纸条的受力情况，就能知道用粗糙的纸和报纸裁成的纸条在两个方向的受力情况有很大的不同。

说明 受力大的那一侧会先被拉断。也就是说，从弹簧测力计到夹子的距离近的那部分先被拉断。用牛奶瓶口的包扎绳做实验时，不要把绳的中点挂在钩上。这样，就可以观察到距离 C 形夹子近的部分先变成纸捻状然后被拉断的情况，从而可以直观地认识到距离短的那一侧受到的力更大。打印纸（宽约 5 mm）或牛奶瓶口的包扎绳通常在受到 10 N 力时被拉断。

材料与器具

# 15 制作利用摩擦力的玩具

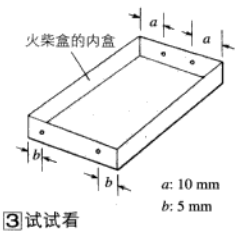
目标 初 会用空火柴盒或细焊条制作利用摩擦力的玩具。

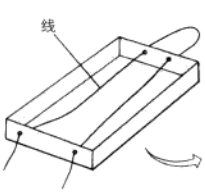
【A】空火柴盒① 线② 锥子③ 【B】细竹签④ 橡皮⑤ 细焊条⑥ 棒⑦

①家用小型火柴盒用起来比较方便。②可用风筝线。使用小火柴盒时，最好使用棉线。③能扎透多层纸的锥子。④直径为1 mm左右的竹签，也可以用圆珠笔芯。⑤用橡皮作底座。⑥直径为0.8 mm左右、长度为15 cm的细焊条。⑦比细竹签的直径粗0.1 mm左右的棒。

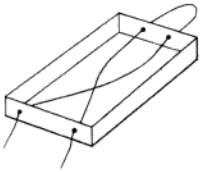
## 【A】用火柴盒制作玩具

1 在火柴盒的内盒上打孔　2 用一根细线穿过小孔

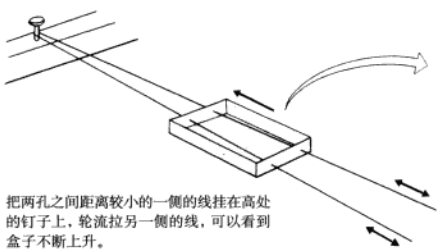


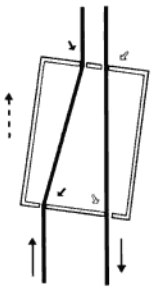

交叉穿线的方法



3 试试看



把两孔之间距离较小的一侧的线挂在高处的钉子上，轮流拉另一侧的线，可以看到盒子不断上升。




拉右侧或左侧的线，火柴盒都会上升。这是因为用力拉紧的一侧孔周围的线会滑动，而处于松弛状态的一侧孔周围的线不滑动的缘故。左边的图表示的是右侧的线被拉紧时的状态，⇨代表滑动，→代表不滑动。被拉紧的线是伸直的，但如果有障碍物也会弯曲，弯曲的情况与线的拉力有关。另外，孔周围的摩擦力与线的弯曲形状及拉力有关。关于这些相互关系的解释比较复杂，因而这里省去了。左边的图中，→的摩擦力比⇨的摩擦力大，所以⇨的一侧会滑动，盒子因而上升。

### 【A】用火柴盒制作玩具

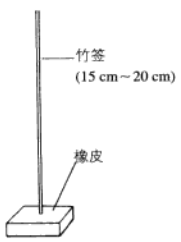
1 提示 用锥子扎出小孔。孔的大小以线能轻松穿过为准。图上*a*、*b*的尺寸并不是绝对的，但必须使盒子两侧孔与孔之间的距离不同。

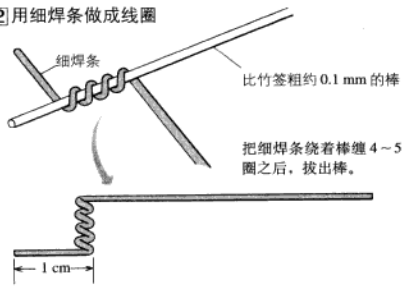
2 提示 可以把线平行（或交叉）地穿过小孔。

提示 也可以利用火柴盒以外的其他材料制作。

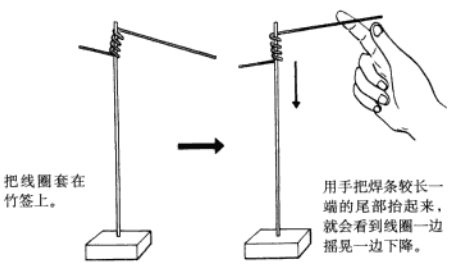
## 【B】用细焊条制作玩具

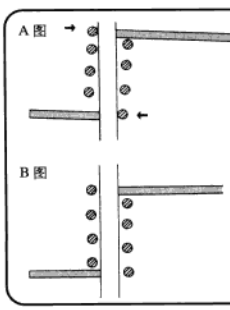
1 把竹签垂直地插在橡皮上　2 用细焊条做成线圈




3 试试看




把线圈套到细竹签上时，细焊条较长的一端在重力的作用下会处于如A图所示的状态。此时，由于→部分的摩擦，线圈会处于静止状态。用手把长的一端抬起来，线圈就变成如B图所示的状态，并滑落下来。然而，由于长的一端受到重力的作用，线圈又会马上恢复到A图的静止状态。但由于此时线圈已经有了弹性，所以马上又恢复到B图的状态，线圈再次向下滑落。此后，线圈就重复A图和B图的状态，边摇晃边下落。

### 【B】用细焊条制作玩具

1 提示 用小刀把细竹签削得尽量光滑，否则用焊条做成的线圈会在粗细不均的竹签上被半途卡住。另外，竹签的顶端要削得尖细，以便容易插到橡皮上。

2 提示 用焊条做的线圈之间可以有一些空隙。

3 提示 实验效果不好时，可以通过折弯焊条较长的一端来调节。

提示 也可以选择细焊条以外的其他易得材料试一试。

# 16 观察金属丝的弯曲程度与力的关系

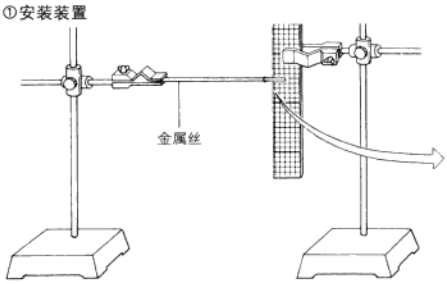
目标 初 在金属丝上挂钩码，可以测得弯曲程度与力的关系。

金属丝① 线 直尺② 铁架台3个 钩码

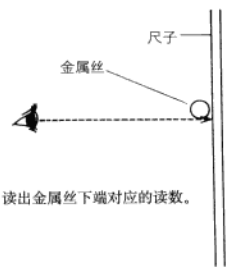
①应准备铁、黄铜、铝、铜等多种金属丝，②在厚纸板上贴上方格边长为1 mm的坐标纸，自制直尺。

**1** 使金属丝的一端固定，观察另一端挂上钩码时的弯曲程度

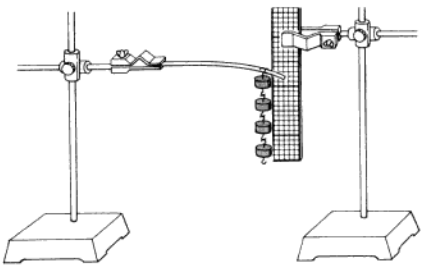
①安装装置




②读取没挂钩码时的读数

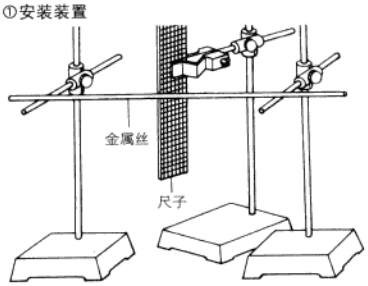



③每次只加一个钩码，并读取读数

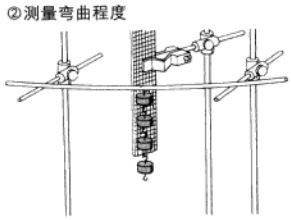


**2** 用两个铁架台架起金属丝的两端，观察当钩码挂在金属丝的正中间时金属丝的弯曲程度

①安装装置




②测量弯曲程度



先读取没挂钩码时的读数，再一个接一个地挂钩码。每挂一个钩码读取一次读数。

**1** 中的实验数据举例

| 负荷 / ($9.8 \times 10^{-3}$ N) | 铁 | | 黄铜 | | 铝 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 弯曲 / cm | | 弯曲 / cm | | 弯曲 / cm | |
| | 增负荷 | 减负荷 | 增负荷 | 减负荷 | 增负荷 | 减负荷 |
| 0 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 1.82 |
| 50 | 0.13 | 0.10 | 0.22 | 0.35 | 0.30 | 2.45 |
| 100 | 0.20 | 0.28 | 0.43 | 0.61 | 0.68 | 2.88 |
| 150 | 0.45 | 0.42 | 0.69 | 0.89 | 1.05 | 3.30 |
| 200 | 0.58 | 0.58 | 0.95 | 1.15 | 1.49 | 3.68 |
| 250 | 0.75 | 0.71 | 1.30 | 1.40 | 1.90 | 4.00 |
| 300 | 0.95 | 0.88 | 1.51 | 1.67 | 2.30 | 4.35 |
| 350 | 1.10 | 1.03 | 1.78 | 1.90 | 2.85 | 4.70 |
| 400 | 1.22 | 1.20 | 2.01 | 2.13 | 3.42 | 5.00 |
| 450 | 1.38 | | 2.30 | 2.38 | 4.40 | 5.30 |
| 500 | | | 2.61 | | 5.60 | |

金属丝的直径为0.35 cm。

| 负荷 / ($9.8 \times 10^{-3}$ N) | 铜 | |
|---|---|---|
| | 弯曲 / cm | |
| | 增负荷 | 减负荷 |
| 0 | 0.00 | 0.00 |
| 50 | 0.02 | 0.18 |
| 100 | 0.24 | 0.28 |
| 150 | 0.30 | 0.35 |
| 200 | 0.38 | 0.39 |
| 250 | 0.40 | 0.48 |
| 300 | 0.45 | 0.55 |
| 350 | 0.59 | 0.60 |
| 400 | 0.67 | 0.68 |
| 450 | 0.70 | 0.71 |
| 500 | 0.77 | |

金属丝的直径为0.15 cm。

**1** ①说明 金属丝要用夹子夹紧。如果没有夹紧，实验时会左右摇晃。要把直尺竖直地固定在铁架台上。直尺不要碰到铁架台的底座，但要尽量靠近金属丝。如果金属丝与直尺的距离太远，读数时眼睛的位置就会出现偏差，从而导致测量结果出现偏差，误差会变大。

②提示 读数时，视线要保持水平，不然误差就会变大。用目测的方法读到分度值的1/10为止。

③提示 要用钩码，这样可以直接挂在金属丝上。如果没有钩码，可在金属丝上吊挂盘子之类的容器，然后在盘子上放砝码。此时应注意线或盘子要经得住砝码的重量，并考虑盘子能否装下足够多的砝码。除了测量加钩码时金属丝的弯曲程度之外，还可以测量减钩码时的变形情况，这样就能知道弯曲导致的变形情况。

**2** ①提示 金属丝只能横挂在铁架台的金属棒上或铁夹子上面，不得用夹子等固定在铁架台上。直尺上的刻度要尽量与金属丝平行。

②提示 粗细不同、材质不同的金属丝，弯曲程度也不相同。但是，挂上10 g左右的钩码时金属丝的弯曲程度非常小，因此很难读出变化的大小。此时，最好使用一个50 g左右的钩码。其他事项参看 **1**②③中的提示。

结果 通过实验可以知道，当给金属丝加力时，金属丝会出现与所加外力的大小相对应的弯曲。另外，此时的弯曲程度与金属丝的种类以及支撑方法也有关系。左下角是一组实验数据。

# 17 用弹簧测力计测量力的大小

**目标** 小初

通过实验，了解螺旋弹簧与吊挂的钩码重量或所加力的大小成比例伸长的现象。
能用弹簧测力计测量力的大小。

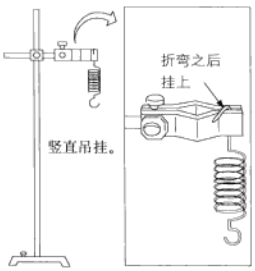
**【A】螺旋弹簧 铁架台2个 直尺① 纸带 钩码6个② 透明胶带 弹簧测力计 【B】弹簧测力计 风车 线 降落伞 电磁铁 电池 钉子 实验用杠杆 钩码 实验用轮轴**

①要准备1 m长的竹制直尺。②准备适合螺旋弹簧量程的钩码。

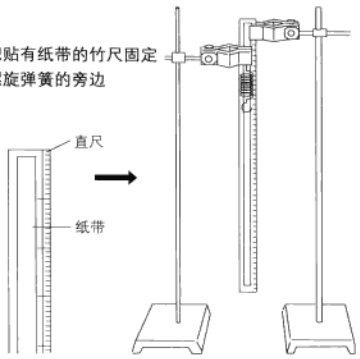
## 【A】了解弹簧测力计的原理

1 观察螺旋弹簧的性质

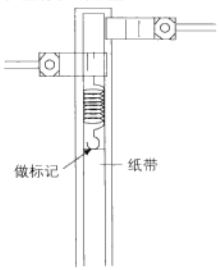
①把螺旋弹簧固定在铁架台上



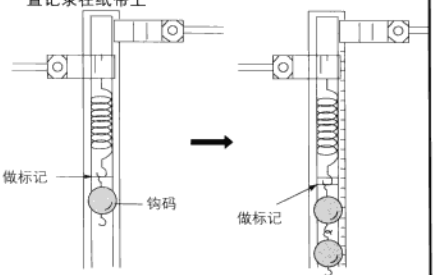

②把贴有纸带的竹尺固定在螺旋弹簧的旁边



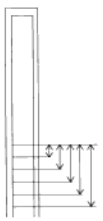

③把螺旋弹簧的最下端对应的位置标在纸带上




④每次只加一个钩码，并把螺旋弹簧最下端对应的位置记录在纸带上

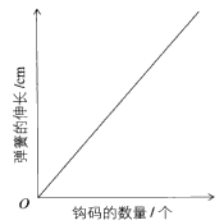



⑤测量每次所做标记与最初所做标记之间的长度，汇总在表格里



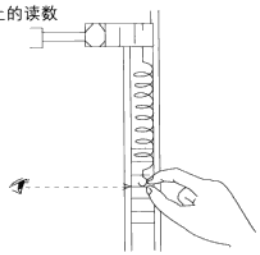
| 钩码的数量/个 | 弹簧的伸长/cm |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |

⑥把弹簧的伸长与钩码的数量之间的关系图像画在坐标纸上

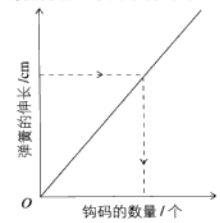



2 用螺旋弹簧测量力的大小

①用手指向下拉螺旋弹簧，读出纸带上的读数



②根据图像，想一想螺旋弹簧受到的拉力相当于几个钩码的重量




### 【A】了解弹簧测力计的原理

说明 为了了解弹簧测力计的原理，先观察螺旋弹簧的性质。这是因为亲眼观察弹簧的伸长后更容易理解弹簧测力计的原理。

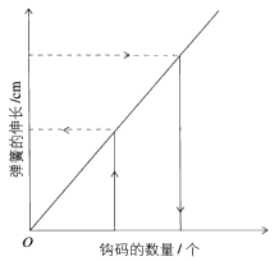
1 ① 注意 如果只用夹子夹住螺旋弹簧，有时会掉下来，造成危险。所以，必须把弹簧的一端折弯之后挂起来。

② 提示 用透明胶带把纸带粘在直尺上。要尽量使螺旋弹簧靠近纸带，以便在③中容易做标记。

③ 提示 在纸带上做标记时，以弹簧钩的最下端为基准。在理论上，以螺旋部分的最下端为基准也是可以的，但是做标记和读数时不方便。

④ 提示 在纸带上做标记时，理所当然应按③中做基准的方法操作；也就是说，要对准弹簧钩最下端的位置。

⑤ 提示 画好图像之后，要练习从弹簧的伸长读取钩码的数量，或从钩码的数量读取弹簧的伸长。



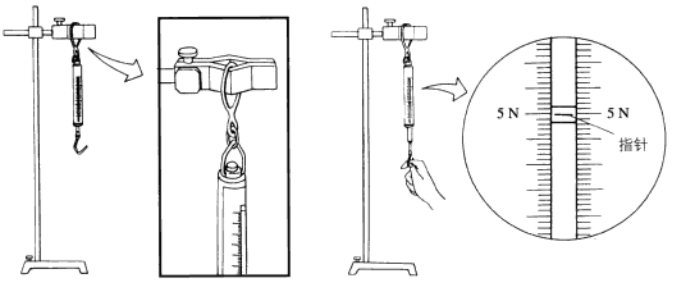

2 提示 螺旋弹簧和纸带是1中用过的，但在使用之前必须重新检查在不加力的情况下，螺旋弹簧的最下端是否能与原来所做的标记对齐。

可以任意拉长螺旋弹簧，但不要超过纸带最下端的位置，否则有可能使弹簧失去弹性。

说明 用手指拉也会使螺旋弹簧伸长。这看起来是理所当然的事情，但通过此事再一次证明力是可以用物体的重量测量的。

3 用弹簧测力计测量力的大小

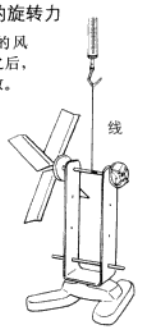
①把弹簧测力计竖直地挂在铁架台上　②读取手指拉力的大小



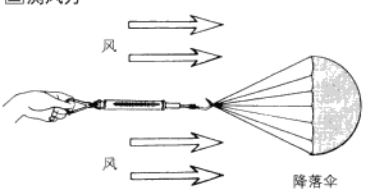

**【B】用弹簧测力计测量各种力的大小**

1 测风车的旋转力

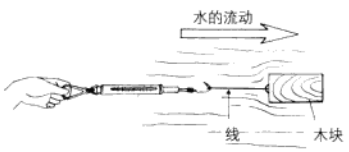
当旋转的风车停下之后，读取读数。



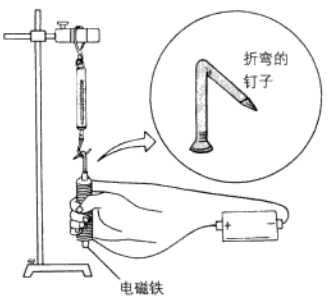

2 测风力

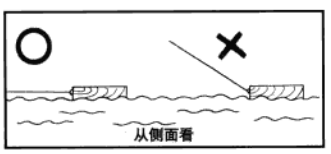



3 测流水的力



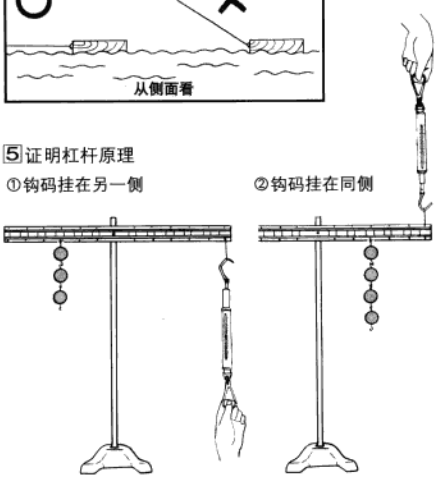

4 测电磁铁的磁力




5 证明杠杆原理

①钩码挂在另一侧　②钩码挂在同侧



6 观察使用轮轴时的支撑力



3 说明 通过 1 和 2，我们已经理解了弹簧的伸长与物体的重量（即物体受到的重力的大小）的关系以及力可以用重量测量的道理。现在，我们就用弹簧测力计来测量力的大小。

提示 最好使用可以测 200 N 力的大弹簧测力计。

参考 除了弹簧测力计之外，如果还有其他利用弹簧的测力器具（如握力计、膂力测量器），也可以用那些器具测量。

注意 要小心铁架台跌倒或固螺钉松动而使弹簧测力计掉下来。

**【B】用弹簧测力计测量各种力的大小**

1 说明 挂在弹簧测力计上的线逐渐被风车的轴卷上，于是弹簧被拉长。当弹簧伸长到一定程度时，风车就会停止转动，此时弹簧测力计上的读数就是风车旋转力的大小。随着轴的粗细不同，风对线的拉力也不同。所以，在作比较时应该使用粗细相同的轴。

2 提示 降落伞越大，受到的风力也越大。所以，应根据风力的大小和弹簧测力计的量程选择降落伞的大小。

3 提示 不同的木块对线的拉力不尽相同，所以最好根据弹簧测力计的量程选择木块的形状和大小。把弹簧测力计靠近水面，使线与水面处于平行状态之后再进行测量。

4 提示 从测量值中减去钉子的重量，或把钉子挂上之后再调节弹簧测力计的零点。

5 说明 当杠杆处于水平状态时，力矩达到平衡状态。如果①中的挂钩很轻，就可以不计其重量。但如果用的是套管型的弹簧测力计，就应把内管的重量考虑进去。

6 说明 当旋转停止时，轮轴就达到平衡状态了。

# 18 观察二力平衡

目标 初 能使二力达到平衡状态，然后观察此时各力的方向和大小。

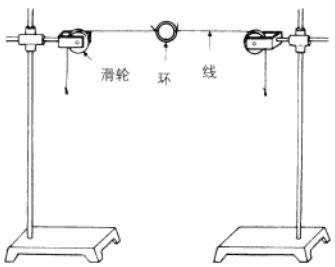
【A】滑轮2个 铁架台2个 线 环① 钩码② 螺旋弹簧2个③ 弹簧测力计(2 N)2个 【B】绳索④ 弹簧测力计(200 N左右的)2个 环⑤

①尽可能用又轻又小的环。②10个10 g－20 g的钩码。③螺旋弹簧要轻，而且两个弹簧要完全相同。④几名中学生用力拉也不会断的结实绳索。⑤一个又大又结实，可以扎绳索的环和一个结实的小环(如螺母)。

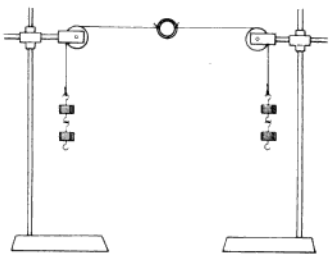
## 【A】利用钩码观察二力平衡现象

1 在跨越两个滑轮的线的两端吊挂钩码，并使之平衡

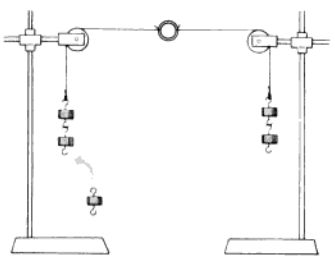
①安装装置



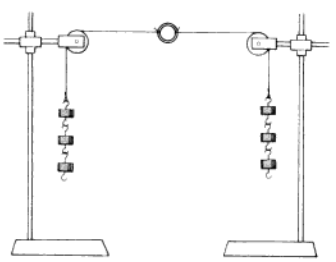

②线的两端各挂两个钩码



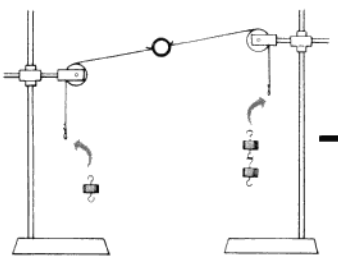
③观察线的任一端再加一个钩码时的情况



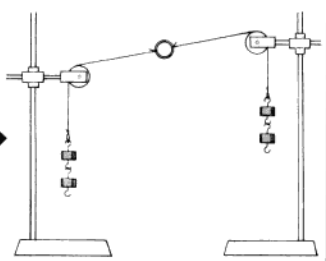
④观察左右两端钩码数相同时的情况



⑤调节一端的滑轮高度，使两端再次达到平衡

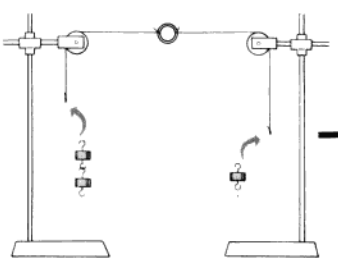


如图所示挂钩码，并观察。

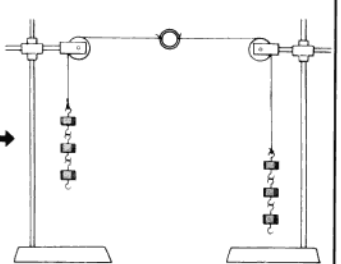


观察两端钩码数相同时的情况。

⑥统一滑轮的高度，再调节左右两端线的长度



观察如图所示挂钩码时的情况。



观察两端钩码数相同时的情况。

### 【A】利用钩码观察二力平衡现象

1 ① 提示 为了保证滑轮的滑动顺利，应在同一个平面上安装。尽量使用比较轻的环。为了便于挂钩码，在线的两端各系一个小圈。把线挂在滑轮上之后，在进行下一步操作之前要用手托住环，不然环就会下沉，使线从滑轮上脱落下来。

⑤ 说明 有些学生认为，当两个滑轮的高度不同时，环就会往低处移动。本实验的目的就是为了纠正这种错误的想法。

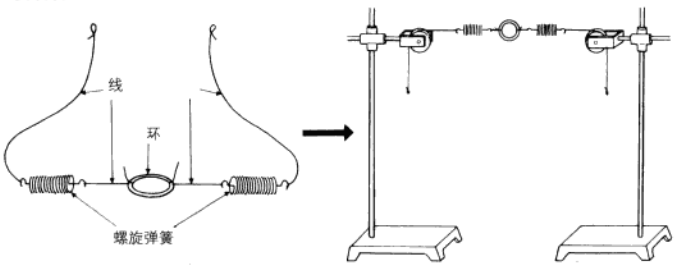
⑥ 说明 有些学生认为，当挂在滑轮两端的线的长度不同时，环就会往线长的一端移动。本实验的目的就是为了纠正这种错误的想法。

提示 在②至⑥的实验中，要组织学生讨论以下问题：

- 环会往哪个方向移动？
- 环的移动与滑轮的高度及线的长度有没有关系？
- 环不动时，两端钩码的数量有何关系？
- 环不动时，拉环的二力的方向有何关系？
- 环不动时，环两侧的线与水平面的夹角如何(即两根线是否在同一条直线上)？

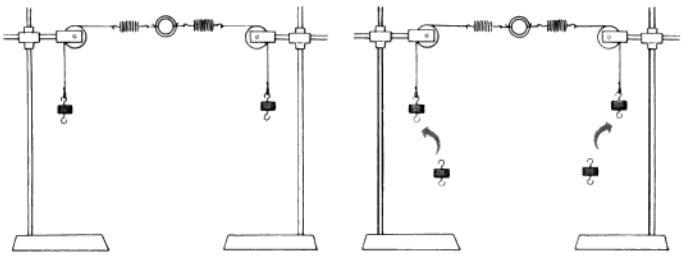
**2** 通过弹簧的伸长，观察二力平衡时力的大小

①安装装置



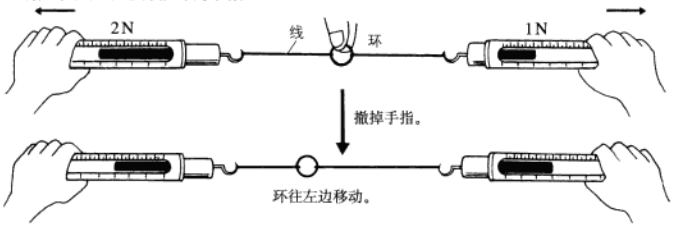

②线的两端各挂一个钩码使力平衡，观察弹簧的伸长

③两端同时各加一个钩码，观察弹簧的伸长

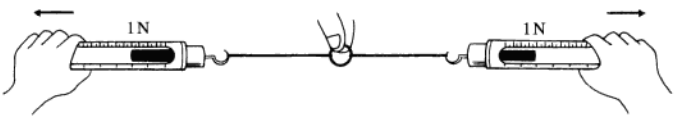


**3** 当二力不平衡时，观察物体的移动情况

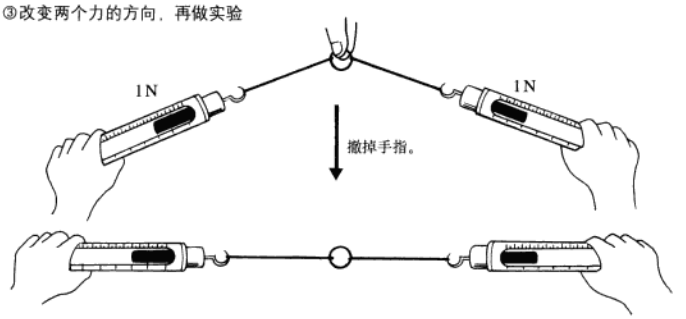
①用手指按住环，在一端的弹簧测力计上加2N的力，另一端则加1N的力，并沿同一条直线拉紧，然后撤掉按环的手指




②在两端的弹簧测力计上各加1N的力，然后拉紧线，撤掉按环的手指




③改变两个力的方向，再做实验




**2** 说明 本实验中，学生可以通过弹簧的伸长观察二力平衡时力的大小。实验 **1** 中也能得到同样的结果，但在实验 **1** 中，有的学生很难理解力的大小与钩码个数的关系，所以这里又特意安排了这个实验。

① 提示 请参看前一页的 **1** ①。

②③ 结果 当二力达到平衡时，二力在同一条直线上，且力的方向相反，大小相等。

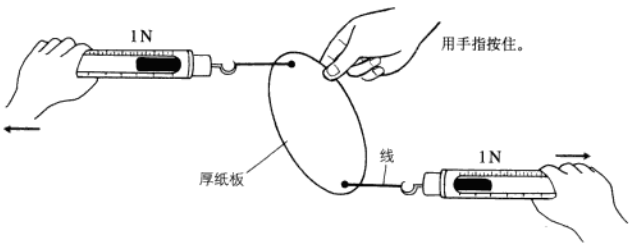
**3** ① 结果 用手指按住环，然后在环的一侧用2N的力而在另一侧用1N的力拉线。同时撤掉手指，环就会移动。通过环的移动可以知道二力不平衡。因为弹簧测力计是在水平状态下使用，所以两侧的条件相同，也就没有必要修正。下一步是把2N力和1N力左右交换之后进行同样的实验，此时可以看到环会朝着相反的方向移动。

② 结果 给两端的弹簧测力计施加同样大小的力，然后撤掉按压环的手指，结果环不动，说明对环施加的力已达到相互平衡的状态。

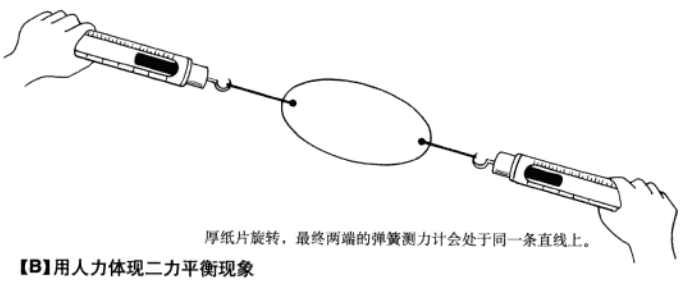
参考 如果弹簧测力计本身存在误差，把按环的手指撤掉时，将会看到环发生微小的移动。碰到这种情况时，应向学生说明仪器误差的存在。

③ 结果 如图所示，改变两端弹簧测力计的方向，使其不在同一条直线上，然后两端各加1N的力，并把按压环的手指撤开，此时环的位置会发生移动，这就是二力不平衡的证据。

④两个力的大小相等，方向相反，但不在同一条直线上时



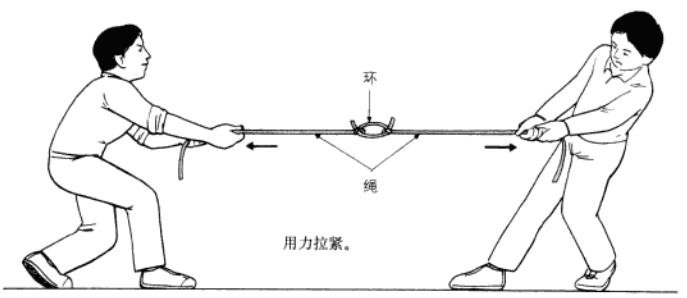

撤掉手指。



厚纸片旋转，最终两端的弹簧测力计会处于同一条直线上。

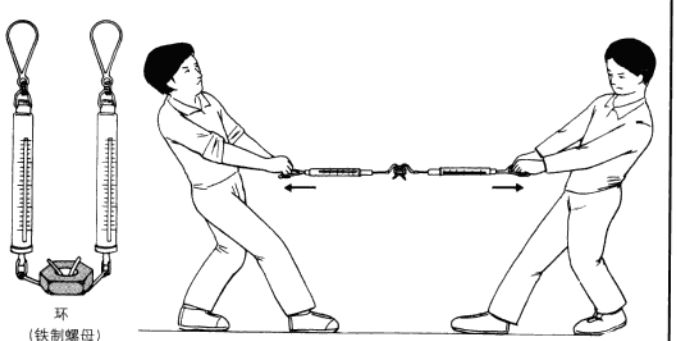
**【B】用人力体现二力平衡现象**

1 两个人拉绳，使力处于平衡状态




2 用弹簧测力计测量平衡状态下力的大小

①环上连接两个弹簧测力计　②两人同时拉紧，使环处于静止状态，然后读取弹簧测力计的读数




④ 提示 本实验中，利用环很难说明问题，所以如图所示在厚纸板或三合板的两边打上小孔，自制实验用具。

说明 厚纸板将一直旋转，直到两个弹簧测力计处于同一直线为止。此时，二力的作用线处于同一直线上。由于旋转也是移动，所以这一现象说明此时二力不平衡。应让学生牢记二力平衡的条件是力的大小相等，方向相反，并且二力在同一条直线上。

**【B】用人力体现二力平衡现象**

1 提示 要渐渐地加力。一边拉绳子一边考虑以下问题：

- 当中间的环不动时，两人用力的大小如何？
- 当中间的环向某个方向移动时，两人用力的大小如何？

注意 不要在容易打滑或周围有障碍物的地方做实验，否则会很危险。另外，不得一方突然加大力量，必须两个人都准备好之后再渐渐地加大用力。

2 说明 在本实验中，利用弹簧测力计测量二力平衡时力的大小。

① 提示 最好选用量程为 200 N 左右的弹簧测力计。利用这种量程大的弹簧测力计，可以忽略因摩擦而产生的误差。如果弹簧测力计的量程太小，因摩擦而产生的误差就会太大，从而影响实验效果。要选用牢固的环，铁制的螺母比较理想。

② 结果 与 **【A】** 2 中相同。

# 19 观察三力平衡

目标 初　能使三个力达到平衡，观察此时各力的方向和大小。

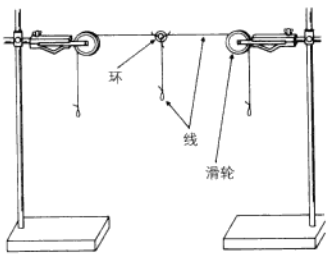
【A】滑轮2个　铁架台2个　线　环①　钩码②　纸(笔记本纸)　铅笔　直尺　圆形量角器　【B】线　环③　弹簧测力计(2 N左右的)3个　纸(笔记本纸)　铅笔　三角板　圆形量角器　【C】重物④　风筝线　弹簧测力计(200 N左右的)3个　纸⑤　铁架台2个　铅笔　三角板

①尽可能是又轻又小的。②15个10 g～20 g的。③可以用垫圈。④10 kg～20 kg的沙袋。⑤草纸就可以。

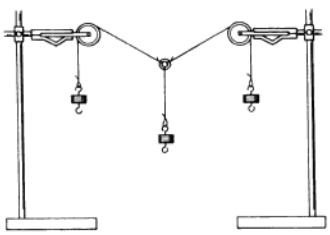
## 【A】利用钩码观察三力平衡现象

1 三个力之中有两个力相等时，观察三力平衡的条件

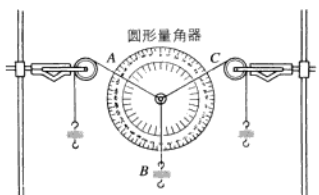
①安装装置



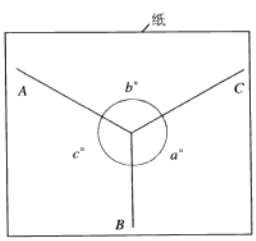

②在线的两端和中间各挂一个钩码



③测量各力之间的角度，并画在纸上

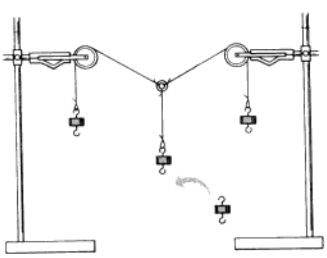



把圆形量角器的中心对准环的中心，读取力$A$、$B$、$C$之间的角度。

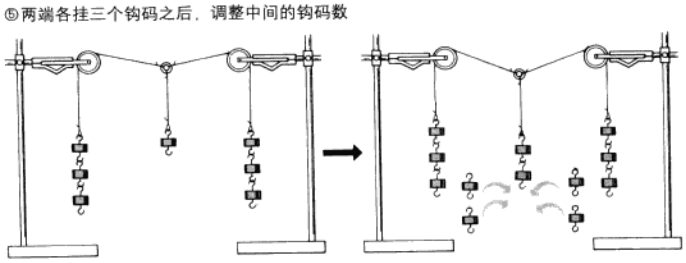



根据测量结果画出力$A$、$B$、$C$的方向。

④中间加一个钩码



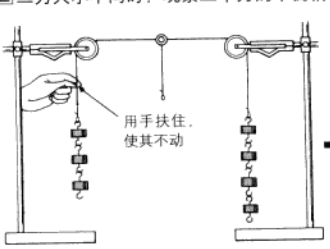
⑤两端各挂三个钩码之后，调整中间的钩码数



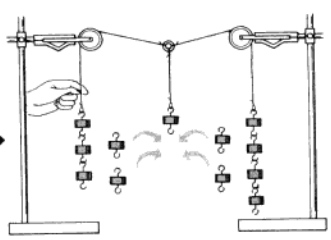
两端各挂三个钩码，中间挂一个钩码。

往中间一个一个地加挂钩码。

2 二力大小不同时，观察三个力的平衡情况




在线的一端挂三个钩码，另一端挂四个钩码。



中间一个接一个地加挂钩码，直到平衡为止。

## 【A】利用钩码观察三力平衡现象

1 ① 提示 为了使滑轮能顺利滑动，应把两个滑轮安装在同一个平面上。如果安装不当，线就会从滑轮上脱落下来，影响实验顺利进行。环要尽量使用轻的。线的一端系在环上，另一端系成圆圈以便挂钩码用。确定铁架台之间的距离之后再做实验。

把线挂在滑轮上，并在进行下一步操作之前用手托住环。不然，环就会下沉，使线从滑轮上脱落下来。

③ 提示 圆形量角器要尽量大。把任意一根线对准圆形量角器的零刻度，然后读取另外两根线所成的角度。

④ 说明 不会平衡。不是中间的钩码坠落到实验台上，就是两端的钩码上升，直到被滑轮卡住为止。

⑤ 提示 每往两个滑轮中间挂一个钩码，就用③中的方法把力的方向画在纸上，并测出各力之间的角度。注意，当中间的钩码坠落到实验台上或两端的钩码升到被滑轮卡住为止时，都不能视为达到平衡状态。

2 提示 启发学生思考：两端的钩码数和中间的钩码数在什么情况下达到平衡？

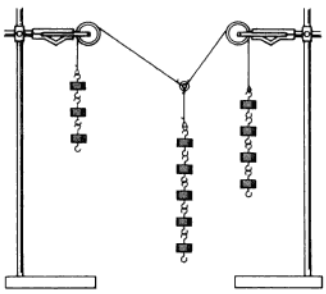
说明 假设左侧的钩码数为$X$，右侧的钩码数为$Y$，中间的钩码数为$Z$，则三者达到平衡的条件是：

$X + Y > Z$(平衡)

$X + Y \leqslant Z$(不平衡)

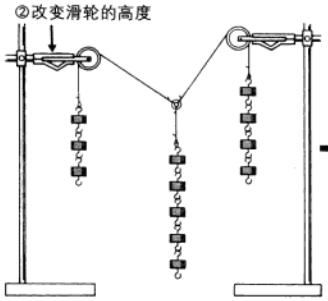
3 观察三力平衡时改变滑轮高度或距离可能引起的变化

①使三个力达到平衡

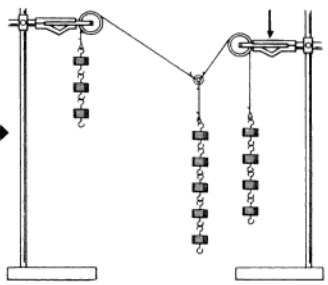


如图所示挂钩码，使三个力达到平衡。

②改变滑轮的高度

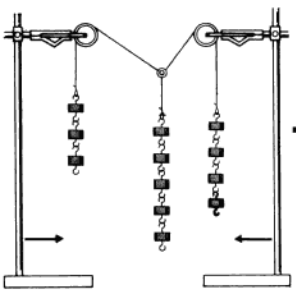


降低左边滑轮的高度。

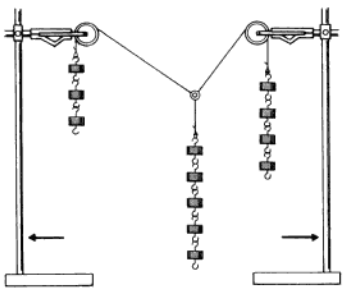


将左边的滑轮调回原位，降低右边滑轮的高度。

③改变滑轮间的距离



缩短滑轮间的距离。

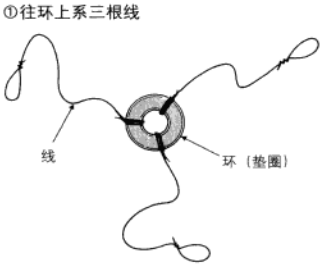


拉长滑轮间的距离。

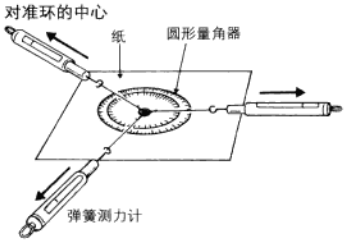
**【B】观察三力平衡的条件**

1 使三力平衡之后，测量三力的大小和所成的角度

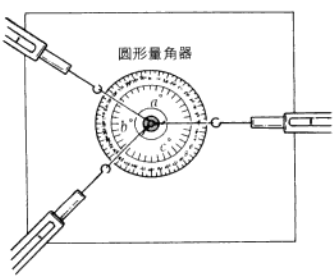
①往环上系三根线



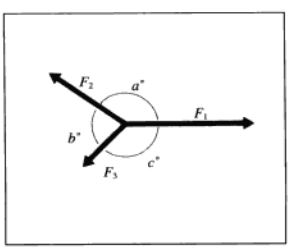

②三力平衡时，把圆形量角器的中心对准环的中心




③利用圆形量角器的刻度读取力的方向




④在纸上画出力的大小和方向，并把各力分别定为 $F_1$、$F_2$ 及 $F_3$




3 ① 提示 在步骤②中需要把滑轮上下移动，所以事先要检查夹子上下滑动是否顺利，并且要特别注意滑轮的高度，以免滑轮向下移动时钩码着地。

② 提示 移动滑轮时手要轻，以免钩码掉落。用 1 ③中的方法，每改变一次滑轮的高度就把力的方向画在纸上，然后测量各个角度。

③ 提示 建议在铁架台的底部铺一层薄布，这样，在需要移动铁架台时，只要轻轻地拉动薄布就可以了。

结果 通过实验可以发现：三力平衡时，只要力的大小不变，力的方向就不会发生变化。

**【B】观察三力平衡的条件**

1 ① 提示 需要施加很大的力时，应该找一个铁制螺母代替环。只需几牛的力时只用垫圈就可以了。

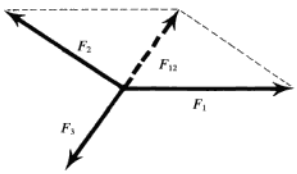
环上的线要系得松一点，以便线在环上能够自由移动。为了吊挂弹簧测力计上的钩，线的另一端要系一个小圈。

② 提示 弹簧测力计最好使用不需要修正的弹簧测力计或力学性质相同的螺旋弹簧。可以把弹簧的伸长视为力的大小。注意：测量时，如果线的方向与弹簧测力计的方向不一致，测量结果（即力的大小）的误差就会增大。

③ 提示 把每一根线对准量角器的零刻度以后再画图就方便多了。

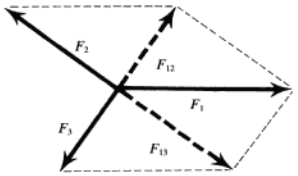
**2** 在画图的基础上，思考平衡的条件

①把 $F_1$ 和 $F_2$ 的合力与 $F_3$ 作比较



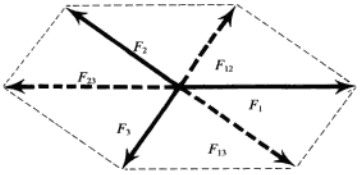

ⓐ 画出 $F_1$ 和 $F_2$ 的合力 $F_{12}$；
ⓑ 测量 $F_{12}$ 和 $F_3$ 的长度，并作比较；
ⓒ 比较 $F_{12}$ 和 $F_3$ 的方向。

②把 $F_1$ 和 $F_3$ 的合力与 $F_2$ 作比较




ⓐ 画出 $F_1$ 和 $F_3$ 的合力 $F_{13}$；
ⓑ 测量 $F_{13}$ 和 $F_2$ 的长度，并作比较；
ⓒ 比较 $F_{13}$ 和 $F_2$ 的方向。

③把 $F_2$ 和 $F_3$ 的合力与 $F_1$ 作比较

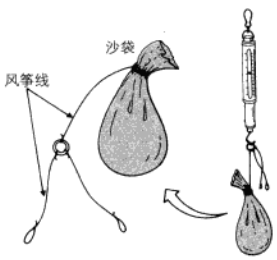



ⓐ 画出 $F_2$ 和 $F_3$ 的合力 $F_{23}$；
ⓑ 测量 $F_{23}$ 和 $F_1$ 的长度，并作比较；
ⓒ 比较 $F_{23}$ 和 $F_1$ 的方向。

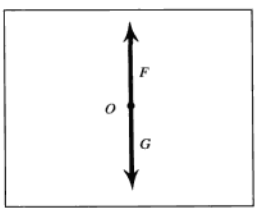
**【C】把一个力分解成两个力**

**1** 用弹簧测力计测量重物的重量，然后画在纸上

①测量重物的重量




②设地球引力为 $G$，弹簧测力计的拉力为 $F$，画图

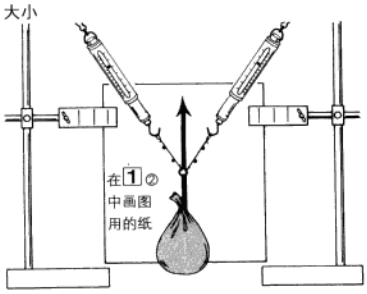



**2** 用两个弹簧测力计钩起重物，把力的方向和大小记在纸上

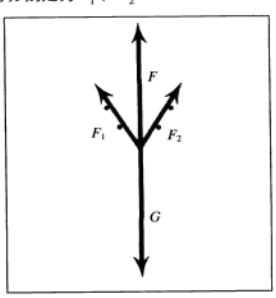
①用两个弹簧测力计钩起重物



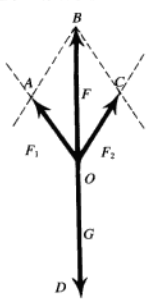
②在纸上沿着每条线各做两个标记，读取力的大小




③在纸上画出力的大小和方向，把两个力分别定为 $F_1$ 和 $F_2$




**3** 在画图的基础上，思考各力之间的关系




ⓐ 照图作出 $A$、$B$、$C$、$D$、$O$ 各点；
ⓑ 沿 $OA$ 和 $OC$ 的方向作 $F_1$ 和 $F_2$ 的延长线；
ⓒ 经 $B$ 点作 $F_1$ 和 $F_2$ 的平行线；
ⓓ 观察此时所成四边形的形状；
ⓔ 观察 $F_1$ 和 $F_2$ 的合力；
ⓕ 把 $F$ 分解到 $F_1$ 和 $F_2$ 方向上，观察其分力的大小。

**2** 提示 画图时，应该用两个三角板画出准确的平行四边形。如果图画得不准确，就很难得出正确的结论。

结果 通过画图可以看出：当三力平衡时，其中任意二力的合力与第三个力的关系如下：

- 在同一条直线上；
- 力的方向相反；
- 力的大小相等。

这与二力平衡的条件相同。

**【C】把一个力分解成两个力**

**1** ① 提示 重物的质量最好为 10 kg～20 kg。要用3～5股风筝线，以免系在重物上的风筝线被拉断。

注意 如果吊挂的重物较硬，掉在脚上会很危险，所以用沙袋比较安全。

② 提示 不要用笔记本纸，把草纸贴在木板上或厚纸板上就可以。这样做可以保证在后面 **2** ②中能够准确地画出力的方向。

**2** ① 提示 两个弹簧测力计之间的角度不要太大，否则拉力的方向和弹簧测力计的方向不能在同一条直线上。

② 提示 要用铁架台固定纸片。如果用手扶着做实验会不稳定，很难准确地画出力的方向。在纸上做标记时要注意以下两点：

- 在纸上标好的 $G$ 线和吊挂物体的线要方向一致；
- 在纸上标好的 $G$ 线和 $F$ 等三条线的交点要一致。

提示 尽量把两个弹簧测力计的角度多变几次，多做几次实验。

# 20 观察斜面上力的平衡

目标 初 观察斜面上的物体处于平衡状态时力的大小。

【A】玩具小车 (100 g～200 g) 铁丝 绳子 橡皮筋[①] 板[②] 尺 (50 cm) 铁架台 弹簧测力计 竹签 坐标纸
【B】力学小车 绳子 板[②] 弹簧测力计[③] 滑轮 尺 (50 cm) 盘子 砝码

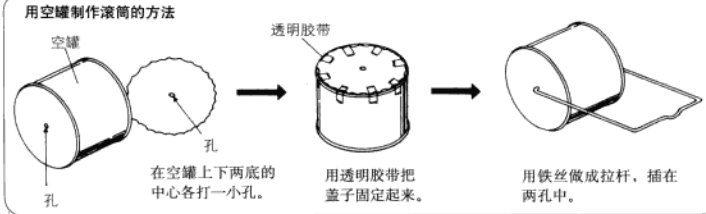
①又细又有弹性的。②100 cm × 20 cm × 7 cm 左右的。③能测量 10 N 以上力的。

## 【A】用橡皮筋观察支撑汽车模型的力

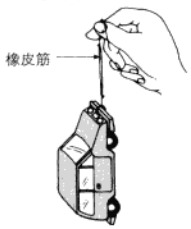
1 把绳子系在汽车模型上



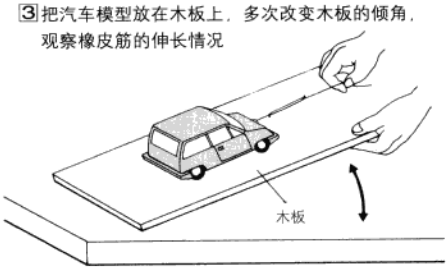

用空罐制作滚筒的方法



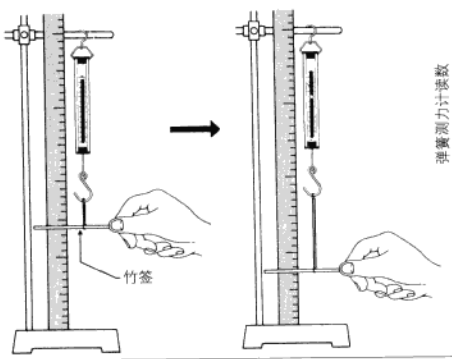

2 用橡皮筋吊起汽车模型，观察橡皮筋的伸长情况

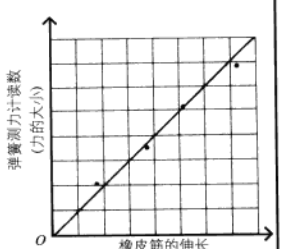



3 把汽车模型放在木板上，多次改变木板的倾角，观察橡皮筋的伸长情况



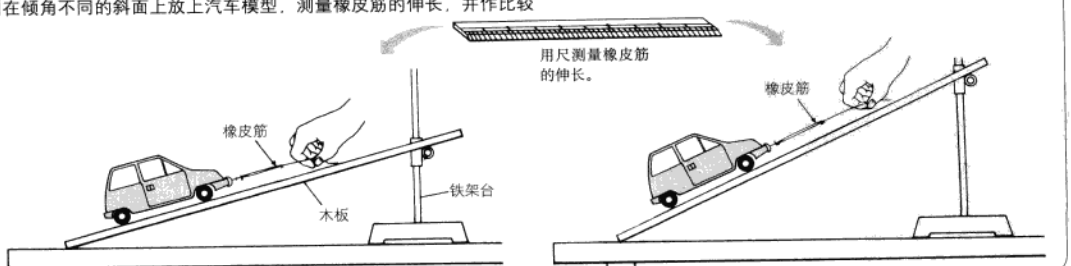

4 用弹簧测力计拉动橡皮筋，观察弹簧测力计读数与橡皮筋的伸长之间的关系，并在坐标纸上画出图像




针对力与橡皮筋的伸长的关系，测出3～4个点的坐标，画出图像。

5 在倾角不同的斜面上放上汽车模型，测量橡皮筋的伸长，并作比较




## 【A】用橡皮筋观察支撑汽车模型的力

1 提示 这里用的是玩具小车，教学时不一定非用小车不可，用空罐做成滚筒代替也可以。用空罐做滚筒时，必须在空罐上下两底的中心打孔。这个孔是用来穿铁丝从而使空罐转动用的，所以要做得使空罐容易转动。

3 提示 用右手抓住橡皮筋，用左手改变木板的倾角，使橡皮筋和木板成平行状态之后，观察橡皮筋的伸长情况。

4 说明 观察力与橡皮筋的伸长的关系并画图，作为步骤5的参考资料。

5 说明 用尺测得橡皮筋的伸长，就能通过步骤4中画出的图像求得当时力的大小。

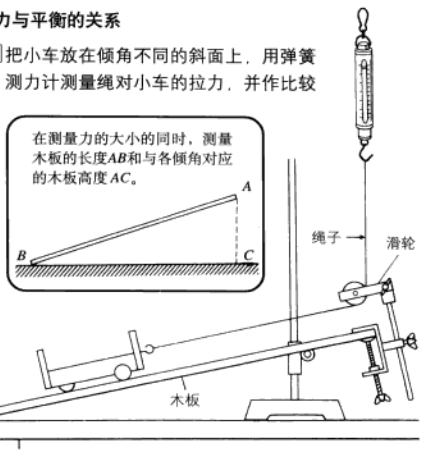
结果 木板的倾角越大，橡皮筋的伸长越大，说明小车受到的下滑力随着斜面倾角的增大而增大。

## 【B】观察作用于力学小车上的力与平衡的关系

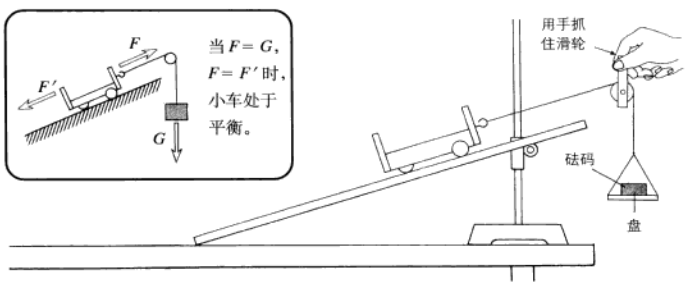
1 用弹簧测力计测量力学小车的重量



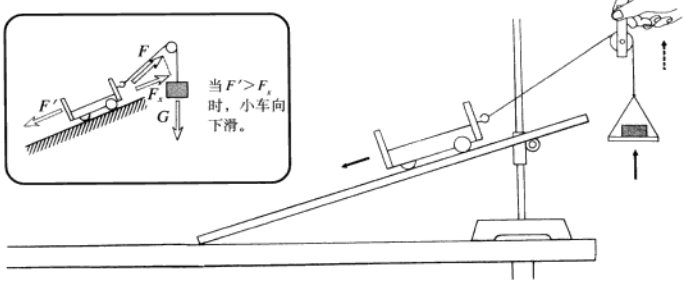
2 把小车放在倾角不同的斜面上，用弹簧测力计测量绳对小车的拉力，并作比较



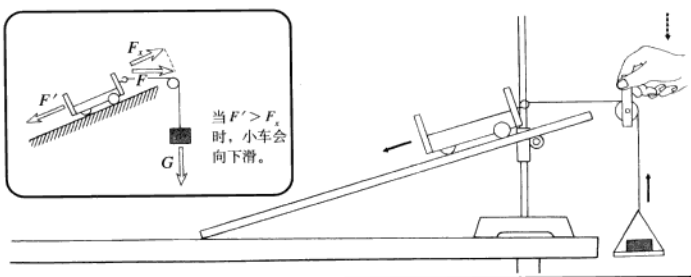

3 用平行于斜面的力拉小车，并使小车平衡




4 把滑轮逐渐往上提，观察平衡有何变化




5 把滑轮逐渐向下降，观察平衡有何变化




## 【B】观察作用于力学小车上的力与平衡的关系

1 提示 标准规格的小车重约1 kg (受到的重力约为10 N)。因此，应使用量程大于10 N的弹簧测力计。

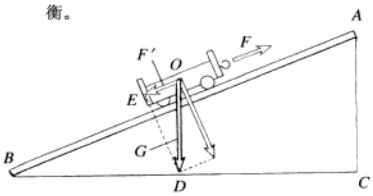
2 提示 尽量选择摩擦力小的木板。安装小车的方法有许多种，最好采用安装和拆卸比较简单的方法。为了使小车和滑轮容易移动，轮上要抹一些润滑油。

说明 在下图中，观察△$ABC$与△$ODE$的关系就能知道：斜面的高度$AC$、长度$AB$、小车的下滑力$F'$ (小车受到的重力沿斜面的分力)以及小车受到的重力$G$之间存在如下关系：

$$\frac{AC}{AB}=\frac{F'}{G}$$

$$F'=G\times\frac{AC}{AB}$$

绳对小车的拉力$F$与$F'$相等时就能达到平衡。




4 结果 滑轮逐渐向上移动时，小车会朝下移动。

5 结果 滑轮逐渐向下移动时，小车也会朝下移动。

# 21 制作天平

目标 小

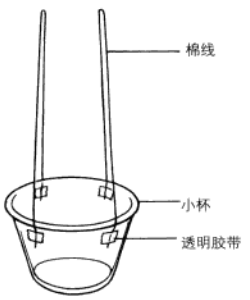
能利用身边的材料制作天平。
能用自己制作的天平比较或测量物体的质量。

**【A】牛奶盒**(1 L)① **模型专用四棱木条**(横断面的边长为 5 mm，长 30 cm) **小杯** 2 个② **棉线**③ **沙子** **金属丝** **竹签**④ **透明胶带** **黏合剂** **剪刀** **锥子** **橡皮泥**

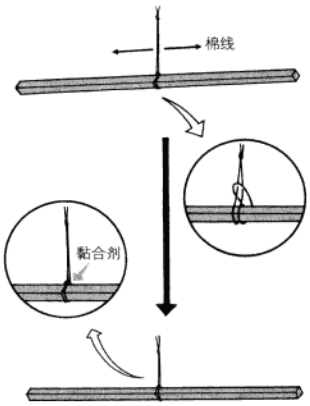
①也可以用容积为 1 L 的酱油瓶，此时需要香。②用火柴盒或其他小盒子也可以。③尽量使用粗一点的线。④直径为 2 mm 左右的竹签。
• 【B】和【C】的材料与器具见后。

**【A】制作简单天平，并用其比较或测量物体的质量**

1 在小杯上连线



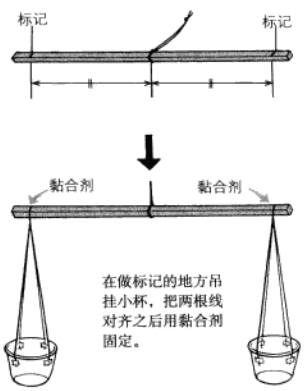

2 用线吊起木条，并使其平衡




在木条的中间吊上棉线，左右移动使木条处于水平平衡状态，然后系牢线并用黏合剂粘住。

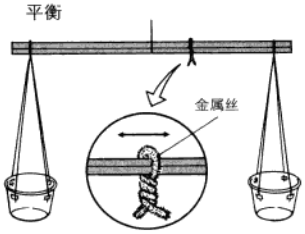
3 在与支点等距离的地方吊挂小杯

在与线等距离的左右两端用铅笔做上标记。



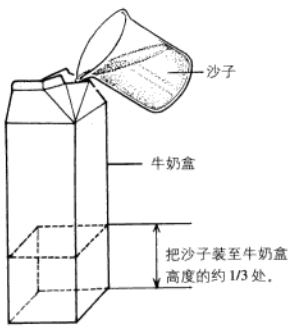

在做标记的地方吊挂小杯，把两根线对齐之后用黏合剂固定。

4 调整金属丝的位置，使左右两端平衡




在轻的一端拧上金属丝，左右移动使其平衡。

5 往牛奶盒里装沙子




使用酱油瓶时




**【A】制作简单天平，并用其比较或测量物体的质量**

1 提示 准备两根同样长的棉线。把棉线连到小杯上时，应尽量使棉线间的距离相等。另外，棉线的打结处贴上透明胶带就不会松开了。

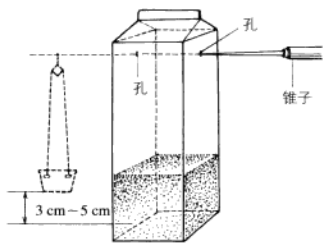
2 提示 事先在木条的正中间做上标记，然后用线吊起来。如果不平衡，再左右移动使其平衡。为了避免两根线分开，把线对齐之后系牢。

3 提示 把线固定在木条两端做有的标记的地方，不要使小杯倾斜。为了避免两根线分开，应把线对齐之后固定。

4 提示 调整木条使其达到平衡时，必须使用金属丝，而不能通过移动吊挂杯子的位置达到平衡，因为如果左右两个杯子到支点的距离不同的话，即使往两边的杯子里放上同样重的物体也不会平衡。

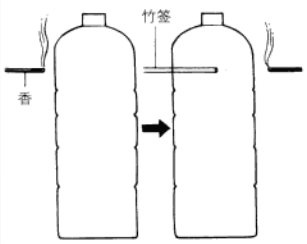
5 说明 沙子是用来作为重物使用的，装到牛奶盒高度大约 1/3 的地方即可。除了牛奶盒、酱油瓶之外，厨房中的许多容器都可以利用。

**6** 在牛奶盒上打孔




在同一高度从两侧打孔。

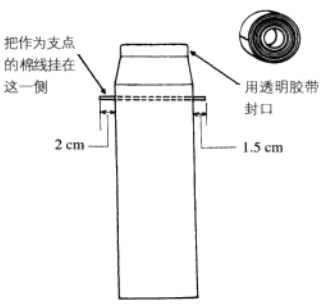
**塑料瓶的打孔方法**



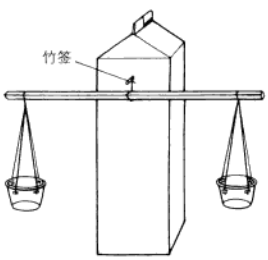

用香火穿孔之后插上竹签，然后在与竹签相对的另一侧再打一个孔。

**6** 提示 打孔的高度要以天平做好之后，挂上小杯时距离台面 3 cm～5 cm 为准。如果孔的位置太高，就会导致当平衡受到破坏时，木条过度倾斜而不便操作的情况发生。穿竹签时，两个孔的位置应在同一水平线上。用锥子扎孔时，要先把一侧的孔扎好，再从另一侧扎，而不是直接穿过去。孔的大小要以穿竹签时觉得有些紧的程度为准。

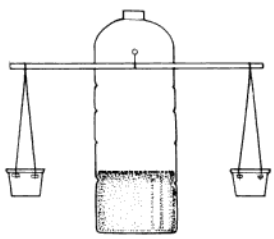
**7** 把竹签穿到孔上




**8** 把作为支点的棉线挂在竹签上，天平就做成了



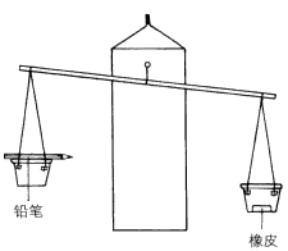

**用酱油瓶做的天平**



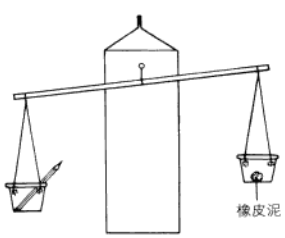
**7** 提示 吊线一侧的竹签最好比另一侧的竹签长约 2 cm。如果孔开得太大，竹签就有可能掉下来，所以应用金属丝缠好。

**8** 提示 在木条和牛奶盒之间留一些空隙，以免木条碰到牛奶盒。

**9** 比较各种物体的质量



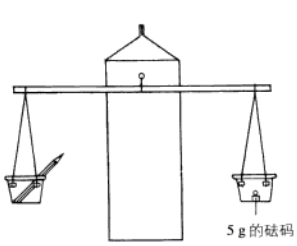

**10** 用橡皮泥调节平衡



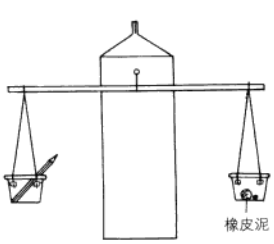

**9** 说明 利用自制的天平比较各种物体的质量。如图所示，橡皮比铅笔重。

**10** 说明 橡皮泥要一点一点地放上去。通过实验可以看出一支铅笔与多少橡皮泥的质量相等。

**11** 用砝码或质量已知的物体测量质量




放上5 g的砝码，两边平衡就说明铅笔的质量是 5 g。

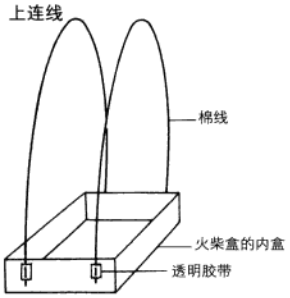



一点一点地放上橡皮泥，使其平衡。

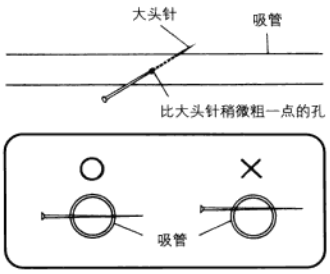
**11** 说明 用砝码或其他质量已知的物体，就能测出各种物体的质量。

## 【B】制作测量轻物体用的天平

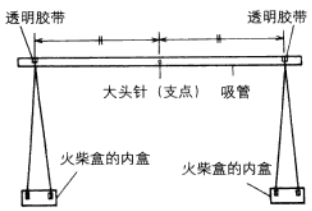
1 如图所示，在火柴盒的内盒上连线




2 在吸管的正中间插上大头针

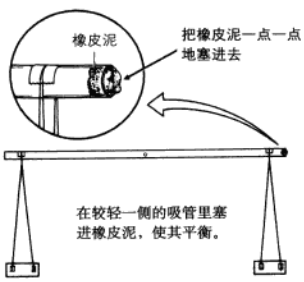



3 在支点两侧且到支点距离相等的地方，吊挂火柴盒的内盒

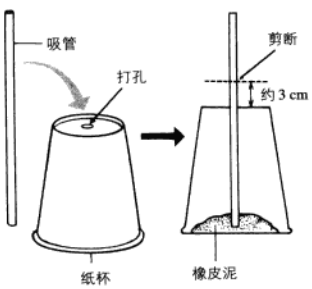



使连接火柴盒内盒的两根线对齐之后，用透明胶带固定在吸管上。

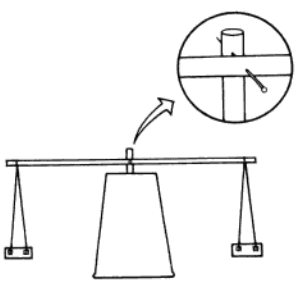
4 调整，使其平衡



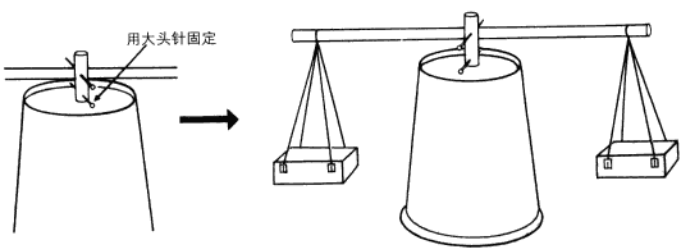

5 在纸杯上打孔，然后插入吸管，用橡皮泥固定




6 把作为支点的大头针插在直立的吸管上



7 为了防止纸杯散架，用大头针固定充当转轴的吸管，到此天平就做成了




## 【B】制作测量轻物体用的天平

**材料与器具** 纸杯　吸管2个　火柴盒2个①　橡皮泥　大头针②　棉线　透明胶带

①尽量使用小型火柴盒。②也可以用缝衣针。

说明 这里要利用身边现成的材料，制作适合测量又小又轻的物体的天平。要和【A】中一样，做好天平之后实际测量一下。

1 提示 棉线的剪断和连接方法请参照【A】1 中的提示。

2 提示 如果把大头针插在吸管的边缘就容易折断，所以要插在中间。如果只用大头针穿孔，就可能导致孔太小而使吸管不能自由摆动，所以要用锥子把孔稍微扩大一点，但要注意孔不能过大，否则容易使吸管折断。

3 提示 在支点两侧等距离的地方，用透明胶带把两根对齐的线粘好。

4 提示 如果把调节平衡用的橡皮泥塞到吸管里，会很难取出，所以要小心，不要塞得太多。调节平衡时，要把橡皮泥一点一点地塞进去。

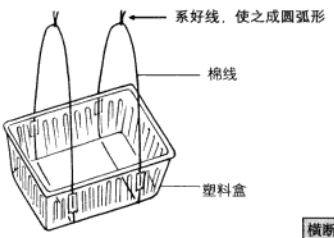
5 提示 纸杯上的孔不要开得太大，以插进吸管时稍紧一些为好，以免吸管乱晃。因为需要通过调节橡皮泥的多少达到天平平衡的目的，所以橡皮泥要用得多一些。

6 提示 在直立的吸管上插大头针时，要争取一次插入，因为如果一次没有插好而需重插几次的话，孔就容易变大而导致松动。这样，不仅做好的天平不好用，测得的结果也不准确。

7 提示 搬动做好的天平时，要握住纸杯部分。下面一枚大头针的作用就是把吸管牢牢地固定在纸杯上。

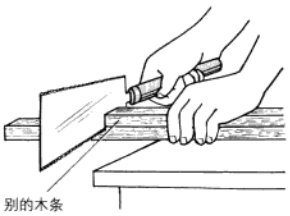
## 【C】制作比较精密的天平

### 1 在塑料盒上拴上线



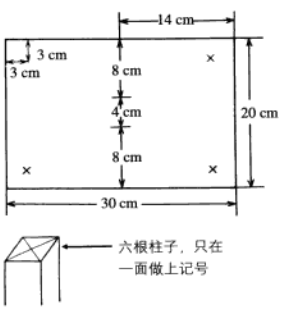

把圆弧形的线套在塑料盒的底部，并用透明胶带固定。

### 2 锯断四棱木条

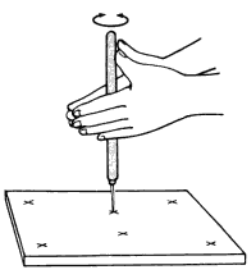



| | | |
|---|---|---|
| 横断面边长 2 cm | 长 45 cm | 两根（柱——中央） |
| 横断面边长 2 cm | 长 42 cm | 四根（柱——端） |
| 横断面边长 2 cm | 长约 3 cm | 两根（加固用的木条） |
| 横断面边长 1 cm | 长 16 cm | 两根（闭锁装置用） |
| 横断面边长 1 cm | 长约 2 cm | 四根（支点） |

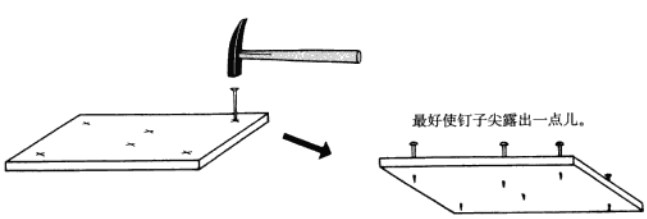
### 3 在台板和四棱木条上做上记号



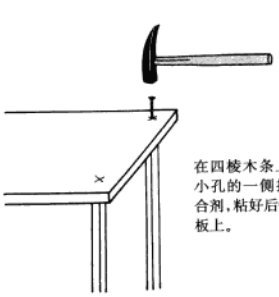

### 4 用锥子在做有记号的地方打孔



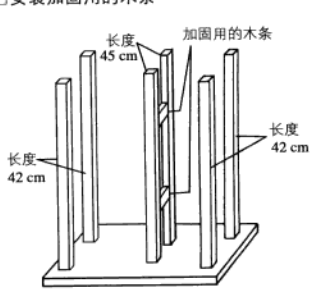
### 5 往台板上钉钉子




### 6 把四棱木条固定在台板上




### 7 安装加固用的木条




用黏合剂粘好加固用的木条。

## 【C】制作比较精密的天平

**材料与器具** 四棱木条① 木板（30 cm × 20 cm × 1 cm） 刀片② L形钩子（长约3 cm）4个 钉子10枚③ 铁丝 黏合剂④ 锯 四棱锥 小刀 钳子 棉线 金属丝

①两根横断面边长为 1 cm、长 90 cm 的木条，三根横断面边长为 2 cm、长 90 cm 的木条。②需要九个连在一起的刀片。③ 4 cm 长的钉子六枚，1.6 cm 长的钉子四枚。④两种液体混用的黏合剂。

**说明** 由于这种天平的支点采用刀口支撑，所以比在【A】、【B】中制作的天平更灵敏，可用于比较精密的测量。并且，这是一种大型天平，还可以测量较大的物体。但这种天平的材料费偏高，制作起来也费时间。天平做好以后，要和【A】中一样，用它实际测量各种物体的质量。

**1 提示** 为了避免吊挂的塑料盒倾斜，一定要使线的长度一致。

**2 提示** 为了使柱子保持直立状态，柱子的侧面和锯掉的底面必须成直角。为了达到这一要求，锯木头时，木料上需压上别的木条（如图所示）。

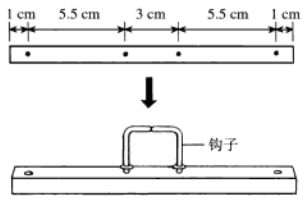
**4 提示** 锥子要用四棱锥。如果用三棱锥，孔会太大。孔要与木板垂直（四棱木条要与底面垂直）。四棱木条上孔的深度大约为 1 cm。

**5 提示** 要用 4 cm 长的钉子。

**6 提示** 钉钉子时，木条的底部容易摇晃，所以要抓牢之后再钉。

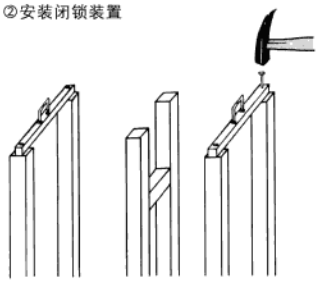
## 8 安装闭锁装置

①制作闭锁装置




在两根四棱木条上用锥子扎出四个比较浅的孔，然后把钩子轻轻地拧进中间的两个孔里。

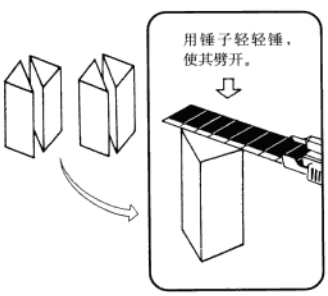
②安装闭锁装置



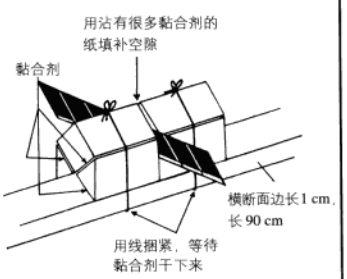
用短钉子和黏合剂把两个闭锁装置安装在立柱上。

## 9 做支点

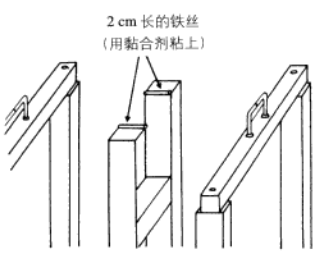
①把两个作支点用的木块从中间劈开




②往四棱木条上安装刀片

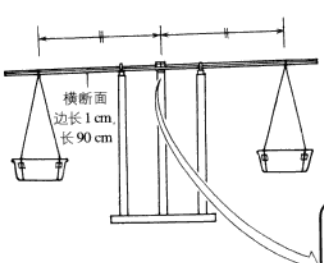


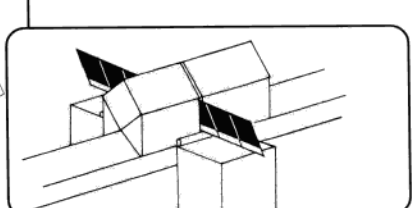

③在中间两根立柱的顶端粘上铁丝，然后把四棱木条上的刀片放在上面



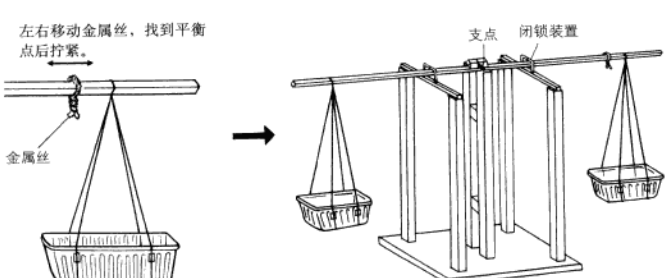

待铁丝粘牢之后，再把四棱木条放上去。

## 10 把塑料盒吊挂在支点两侧等距离处



## 11 用金属丝调节平衡，安装工作就完成了




8 ① 提示 把钩子上的螺母轻轻地拧紧即可，用力不要过大。

② 提示 在立柱和闭锁装置之间填入黏合剂，再用钉子固定好。要选用1.6 cm长的钉子。

9 ② 提示 需要安装的刀片应先用石板或硬的金属物稍加打磨。木块之间要用足够多的黏合剂粘牢。这部分的断面如下图所示。



③ 提示 使用比铁丝还要硬的钢琴弦更好。黏合剂要用两种液体混合型的。放入四棱木条时，把闭锁装置的钩子各转90°就可以了。

# 22 观察杠杆的平衡

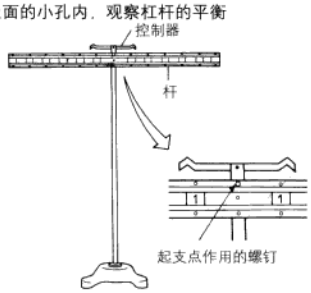
目标 小 知道当顺时针的力矩和逆时针的力矩相等时，杠杆就会平衡。

实验用杠杆　力学实验用钩码①　弹簧测力计2个②
实验用定滑轮　铁架台　【其他方法】轻而结实的木棍③　棉线④　弹簧测力计2个②　尺　钉子

①准备八个质量相同的钩码，10 g或20 g的就可以。②量程为2 N左右，零点可以调节。③长度为40 cm。④类似风筝线的较粗的棉线。

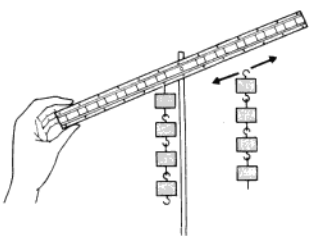
**1** 观察支点在中间的杠杆的平衡

①把起支点作用的螺钉插入杠杆中间最上面的小孔内，观察杠杆的平衡

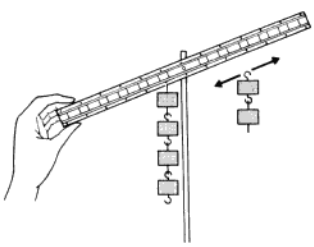



②在支点左边1 cm处挂四个钩码做实验

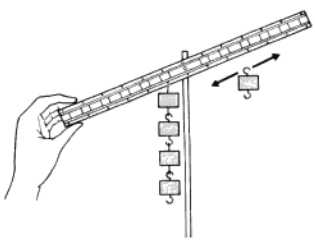
ⓐ当右边也挂四个钩码时，观察挂在什么位置才能平衡



ⓑ右边只挂两个钩码时，观察挂在什么位置才能平衡

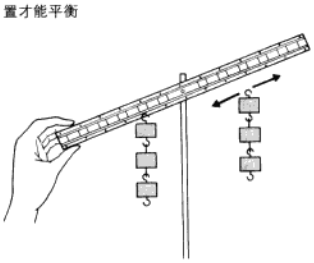


ⓒ右边只挂一个钩码时，观察挂在什么位置才能平衡

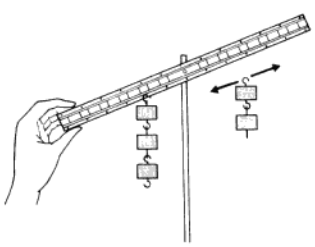


③在支点左边2 cm处挂三个钩码做实验

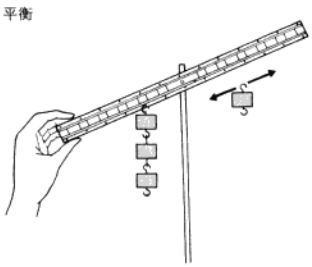
ⓐ右边也挂三个钩码时，观察挂在什么位置才能平衡



ⓑ右边只挂两个钩码时，观察挂在什么位置才能平衡



ⓒ右边只挂一个钩码时，观察挂在什么位置才能平衡



④把以上实验结果汇总于下面的表格中

| 左 | | | 右 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 钩码数 | 钩码到支点的距离 | 钩码数×距离 | 钩码数 | 钩码到支点的距离 | 钩码数×距离 |
| 4 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 |
| | | | 2 | 2 | 4 |
| | | | 1 | | |
| 3 | 2 | 6 | 3 | | |
| | | | 2 | | |
| | | | 1 | | |

**1** 提示 操作实验用杠杆的时候，把钩码挂好之后不能马上松手，因为一旦失去平衡，杠杆就会急速地往重的一侧倾斜，从而使钩码脱落或损坏仪器。应该用手把杠杆扶好之后再挂钩码，并且根据杠杆的平衡情况轻轻地把手撤开。把钩码取下来时也一样。

① 提示 在杠杆中间的立柱上有三个孔，利用最上面的孔检查杠杆是否平衡。检查完毕，把起支点作用的螺钉插到中间的第二个孔中。

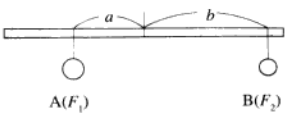
② 提示 做实验ⓒ时，同学们已经通过实验ⓐ和ⓑ积累了一些经验，所以要求尽量一次达到平衡。

③ 提示 与②中一样，做实验ⓒ时也要求一次达到平衡。

④ 提示 实验之前应做好表格，并且随着实验的进行把结果填入表格。

结果 通过实验了解到：当支点左边的“钩码数×钩码到支点的距离”等于支点右边的“钩码数×钩码到支点的距离”时，杠杆就会平衡。

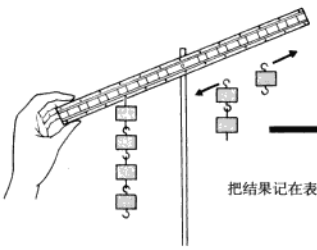
参考 在下图中，钩码A使木棍逆时针旋转，钩码B则使木棍顺时针旋转。由于使木棍旋转的力量是“重力×重力的作用线到支点的垂直距离”或“力×力的作用线到支点的垂直距离”，所以使木棍逆时针旋转的力量是$F_1 \times a$，使木棍顺时针旋转的力量是$F_2 \times b$。




因此，使木棍达到平衡的条件是$F_1 \times a = F_2 \times b$，此时使木棍旋转的力量是平衡的。这个关系叫做杠杆的平衡原理。

另外，如果把使物体旋转的力量“力×力的作用线到支点的垂直距离”叫做力的力矩，杠杆的平衡原理便可表示为：顺时针方向的力矩＝逆时针方向的力矩。

**2** 在支点左边3 cm处挂四个钩码，将两个钩码和一个钩码分别挂在右边两个不同的位置上，观察哪两个位置能使杠杆平衡

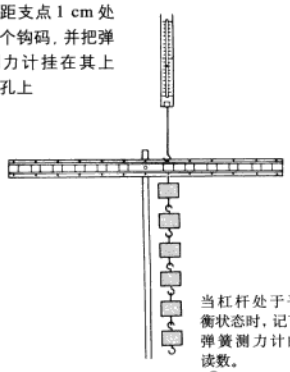


把结果记在表中。

| 左 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 钩码数 | | 钩码到支点的距离 | | 钩码数×距离 | | | |
| 4 | | 3 | | 12 | | | |
| 右 | | | | | | | |
| 钩码数 | 钩码到支点的距离 | 钩码数×距离A | 钩码数 | 钩码到支点的距离 | 钩码数×距离B | A+B | |
| 2 | 3 | 6 | 1 | 6 | 6 | 12 | |
| 2 | | | 1 | | | | |
| 2 | | | 1 | | | | |

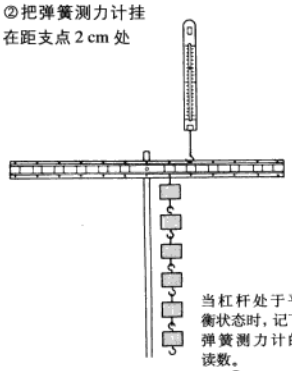
**3** 观察支点在一端的杠杆的平衡（使用弹簧测力计的情况）

①在距支点1 cm处挂六个钩码，并把弹簧测力计挂在其上方的孔上



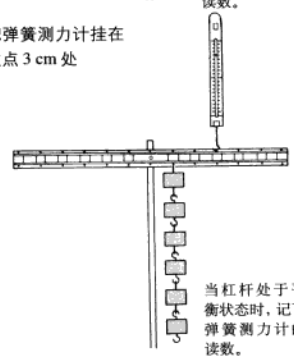
当杠杆处于平衡状态时，记下弹簧测力计的读数。

②把弹簧测力计挂在距支点2 cm处



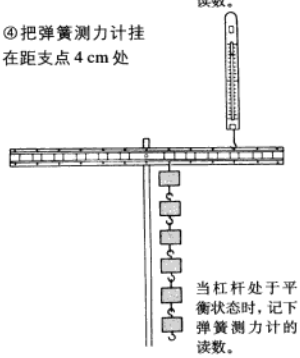
当杠杆处于平衡状态时，记下弹簧测力计的读数。

③把弹簧测力计挂在距支点3 cm处



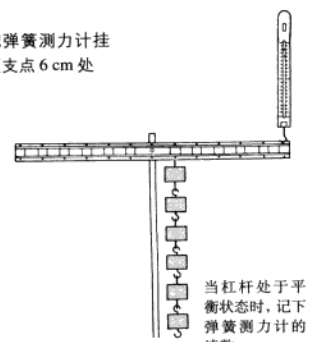
当杠杆处于平衡状态时，记下弹簧测力计的读数。

④把弹簧测力计挂在距支点4 cm处



当杠杆处于平衡状态时，记下弹簧测力计的读数。

⑤把弹簧测力计挂在距支点6 cm处



当杠杆处于平衡状态时，记下弹簧测力计的读数。

⑥把结果汇总于下面的表格中

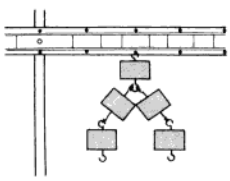
| 钩码 | | | 弹簧测力计 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 到支点的距离/cm | 钩码的重量/(9.8×$10^{-3}$N) | 距离×重量/(9.8×$10^{-5}$N·m) | 到支点的距离/cm | 弹簧测力计的读数/(9.8×$10^{-3}$N) | 距离×力/(9.8×$10^{-5}$N·m) |
| 1 | 120 | 120 | 1 | 120 | 120 |
| | | | 2 | | |
| | | | 3 | | |
| | | | 4 | | |
| | | | 5 | | |
| | | | 6 | | |

每个钩码的质量为20 g。

**2** 提示 与 1 一样，这也是支点在中间的杠杆平衡的例子，只是内容上有所变化，因此要提示的问题与 1 中几乎相同。

结果 杠杆的平衡条件是：逆时针的力矩之和与顺时针的力矩之和相等。也就是说，当逆时针的力矩之和等于顺时针的力矩之和时，杠杆就会平衡。

**3** 提示 为了避免钩码过多而碰到台面的情况发生，可以按下面图中的方式挂钩码。



实验之前，应把钩码挂在弹簧测力计上，确保钩码的重量与弹簧测力计的读数一致。在这一点上，往往会出现一些误差或小毛病。实验时，弹簧测力计必须与杠杆成直角。

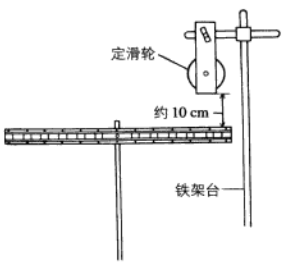
⑥ 提示 钩码这一栏记载的不是钩码的个数，而是钩码的重量之和。弹簧测力计的读数是指弹簧测力计指针对应的刻度。因此，它们的单位都是N。

结果 杠杆处于平衡状态时，左右两侧的力矩相等。

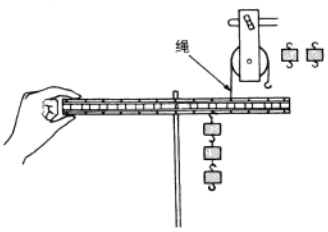
参考 对于支点在一端的杠杆来说，钩码作用于杠杆的力是向下的，弹簧测力计的拉力却是向上的。也就是说，钩码使杠杆顺时针旋转，弹簧测力计使杠杆逆时针旋转。它们的作用由各个力的力矩（请参看前一页）决定，当左右两侧的力矩相等时，杠杆达到平衡。

**4** 观察支点在一端的杠杆的平衡（使用定滑轮的情况）

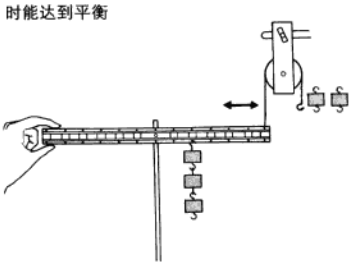
①用铁架台把定滑轮固定在杠杆的上方



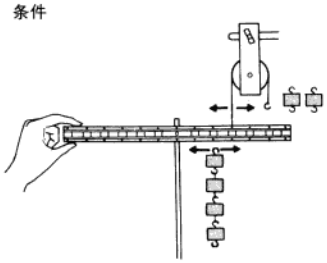

②把三个钩码挂在距支点 2 cm 处，在距支点 3 cm 处连接定滑轮上的绳子，观察绳上挂几个钩码时能达到平衡




③改变定滑轮的位置，观察绳上挂几个钩码时能达到平衡



④多次调整钩码数及绳的位置，观察平衡条件



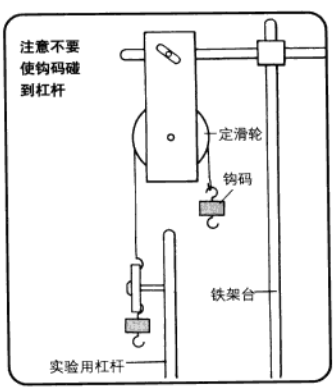
**4** 提示 要把定滑轮固定在铁架台或大型架子上。定滑轮要比杠杆高出 10 cm。定滑轮上的绳子可以用配套的带挂钩的绳子。如果没有配套的带挂钩的绳子，可以用粗一点的线拴上曲别针来代替。如果没有钩子，挂钩码就会很麻烦。定滑轮的绳子必须与杠杆垂直，所以要注意铁架台的摆放位置。为了避免钩码碰到杠杆而使实验难以按照要求进行的情况发生，可以如④中方框围起来的小图所示，把定滑轮与杠杆垂直固定。做完实验以后，要和 **1** 至 **3** 中一样，把结果汇总在表格中。

结果 钩码数 × 钩码到支点的距离 = 定滑轮绳子上挂的钩码数 × 定滑轮另一侧的绳子到支点的距离时，杠杆就会平衡。

**5** 观察支点在一端的杠杆的平衡（使用两个弹簧测力计的情况）

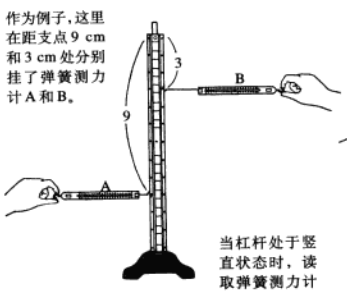
①将杠杆上起支点作用的螺钉插入杠杆一端三个孔中中间的那个



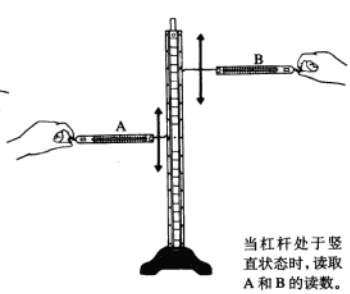

②把两个弹簧测力计方向相反地挂在杠杆的不同位置上，分别向左右拉动

作为例子，这里在距支点 9 cm 和 3 cm 处分别挂了弹簧测力计 A 和 B。




当杠杆处于竖直状态时，读取弹簧测力计 A 和 B 的读数。

③多次改变弹簧测力计的位置和拉力，观察平衡条件




当杠杆处于竖直状态时，读取 A 和 B 的读数。

**5** 提示 如果用力拉一边的弹簧测力计，杠杆就会倒下来，所以应该对两边的弹簧测力计一点一点地施力。以支点为基准，从正面检查杠杆是否垂直。注意，施加的力不要超过弹簧测力计的量程。

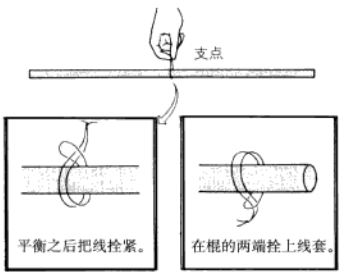
做完实验以后，要和 **1** 至 **3** 中一样，把结果汇总于表格中。

结果 （到支点的距离 × 拉力）$_{\text{弹簧测力计 A}}$ =（到支点的距离 × 拉力）$_{\text{弹簧测力计 B}}$ 时，杠杆就会平衡。

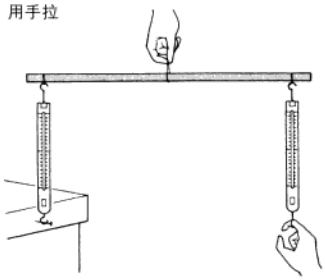
**【其他方法】不使用实验用杠杆的方法**

1 观察支点在中间的杠杆的平衡

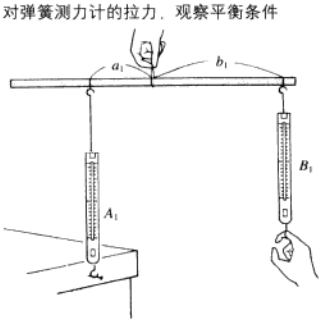
①用手提起拴在木棍中间的线，作为支点



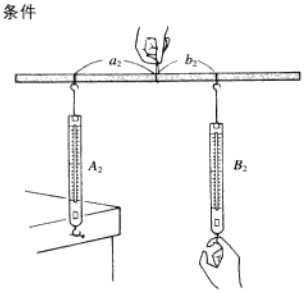

②把两个弹簧测力计分别挂在木棍的两端。一端的弹簧测力计挂在钉子上，另一端的则用手拉



③固定两个弹簧测力计的位置，多次改变手对弹簧测力计的拉力，观察平衡条件

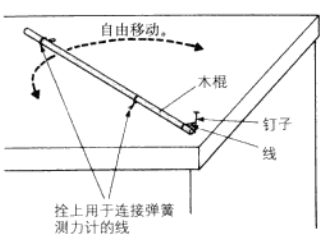



④多次改变弹簧测力计的位置，观察平衡条件

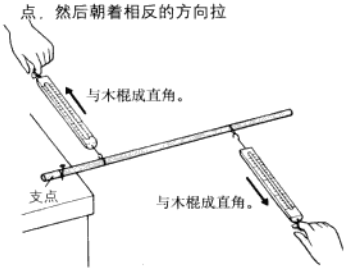



2 观察支点在一端的杠杆的平衡

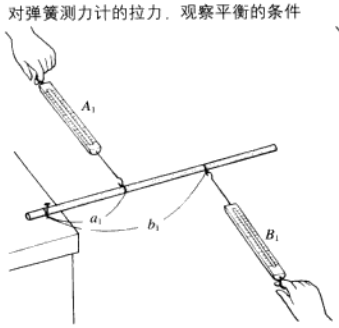
①把线拴在木棍的一端，然后把线套在钉子上，使木棍能够自由移动



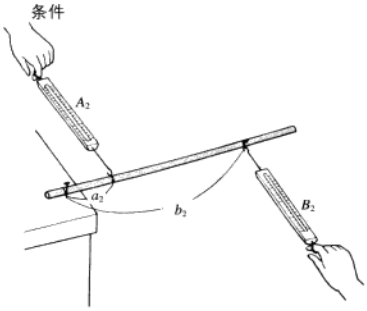

②把两个弹簧测力计分别固定在木棍上的两点，然后朝着相反的方向拉




③固定弹簧测力计的位置，然后多次改变手对弹簧测力计的拉力，观察平衡的条件




④多次改变弹簧测力计的位置，观察平衡的条件




**【其他方法】不使用实验用杠杆的方法**

说明 在不使用实验用杠杆的情况下，观察杠杆的平衡条件。为了避免线发生移动，在线的拴法上以及在2中把木棍的一端固定在钉子上时，需要多动脑筋。

1 ① 提示 用尺量出木棍的中点位置之后，把线拴上。如果不平衡，可以把线向左(或右)移动（往木棍下垂的方向移动）。找到平衡点之后，为了避免线套再发生移动，把线拴牢。在木棍的左右两端同样拴好线套，以便吊挂弹簧测力计。应拴紧用于挂弹簧测力计的线套，以免挂弹簧测力计时发生错位，同时保证需要改变位置时可以随时松开。

③ 提示 用尺量出$a_1$、$b_1$的长度或事先在木棍上画好刻度（一定要画得准确）。作用在支点上的力最大，因此一定要拴紧该点的线。拉弹簧测力计时，必须与杠杆成直角。

结果 (力到支点的距离×拉力)$_{左}$=(力到支点的距离×拉力)$_{右}$时，杠杆就会平衡。也就是说

$$a_1 \times A_1 = b_1 \times B_1$$
$$a_2 \times A_2 = b_2 \times B_2$$

式中的$A_1$、$B_1$、$A_2$、$B_2$是各弹簧测力计的读数。

2 提示 如果没有地方钉钉子，放在台面上操作也可以，但要注意：读取弹簧测力计的读数时，不要使木棍碰到台面，因为棍子碰到台面时会受到摩擦力的影响。

线的拴法可以参照1。本实验一个人很难操作，可以两人一组进行实验。

结果 两边力矩相等时就会平衡。也就是说

$$a_1 \times A_1 = b_1 \times B_1$$
$$a_2 \times A_2 = b_2 \times B_2$$

式中的$A_1$、$B_1$、$A_2$、$B_2$是各弹簧测力计的读数。

# 23 静摩擦力和动摩擦力的测量

目标 初高

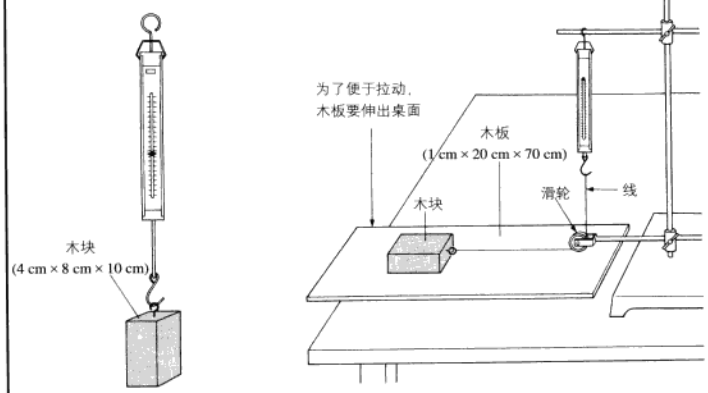
能测量静摩擦力(最大静摩擦力)和动摩擦力。
观察物体的重量或接触面与摩擦力的关系。

木块① 木板② 线③ 弹簧测力计 滑轮 铁架台
砝码④ 玻璃板 各种纸 图钉 透明胶带

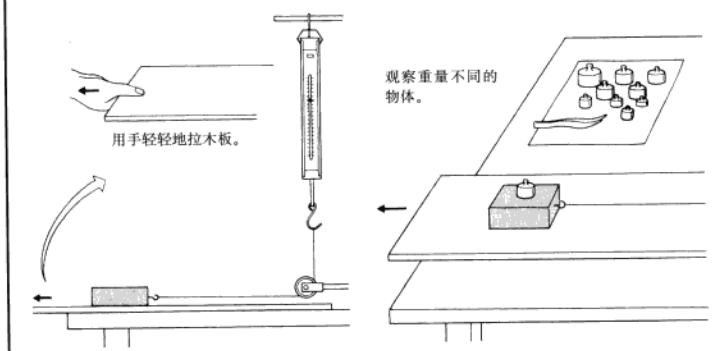
① 4 cm × 8 cm × 10 cm 左右的。② 1 cm × 20 cm × 70 cm 左右的。可用比较厚的三合板。③极结实的线。④准备大约10个20 g～50 g 的砝码，也可以在胶卷盒里放上铅或沙子代替。

**【A】观察最大静摩擦力**

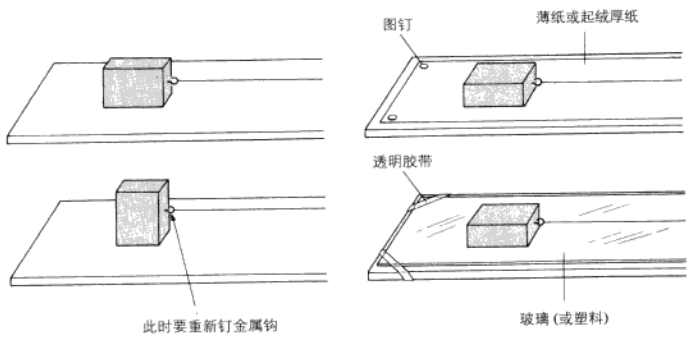
1 用弹簧测力计测量木块的重量　2 安装装置




3 拉木板，读取木块即将滑动之前弹簧测力计的读数　4 木块上面放上砝码，重做 3




5 改变木块的放置方式，从而改变接触面积，重做 3　6 在木板上贴纸，加玻璃板等，从而改变接触面的性质，重做 3




**【A】观察最大静摩擦力**

2 提示 把装置安装在水平的桌面上。调节滑轮的高度，使与木块相连的线与木板平行。调整弹簧测力计的位置，使弹簧测力计上的线呈竖直状态。

3 提示 尽量轻缓地拉木板。在操作过程中，一边观察木块的移动一边准确地读取弹簧测力计的读数是非常困难的。所以，实际操作时，应一边注意弹簧测力计的读数一边拉木板，读出最大值即可。做5～6次实验之后，求出平均值。(4 至 6 中也一样)。

5 提示 改变木块的放置方式时，线的高度也会发生变化，所以有必要调整滑轮的高度。

6 提示 除了薄纸、起绒厚纸、玻璃、塑料以外，还可以使用其他材料。可用图钉或透明胶带把这些材料固定在木板上，也可以观察把水或油涂在桌面上的情况，但此时要进行下一步实验就必须等到木块干了之后，这样就需要一定的时间。另外，水比较容易干，油却不容易干，所以这项实验最好等【B】中的实验结束之后进行。

结果 通过 3 和 4 中得到的数据可以发现：最大静摩擦力与物体的重量成正比，利用实验数据作出图像就更容易理解这一点。另外，因为静摩擦力$F$和桌面对物体的支撑力$F_N$(大小与物体受到的重力相等，方向与桌面垂直、向上)及物体间的静摩擦因数$\mu$之间存在关系$F=\mu F_N$，所以，通过实验可以求得$\mu$并发现物体间的静摩擦因数几乎不变。以下是一组实验数据。

| 重量 / $(9.8\times10^{-3}$ N) | 115 | 135 | 175 | 275 | 325 |
|---|---|---|---|---|---|
| 最大静摩擦力 / $(9.8\times10^{-3}$ N) | 59 | 72 | 100 | 155 | 185 |
| 静摩擦因数 | 0.51 | 0.53 | 0.57 | 0.56 | 0.57 |

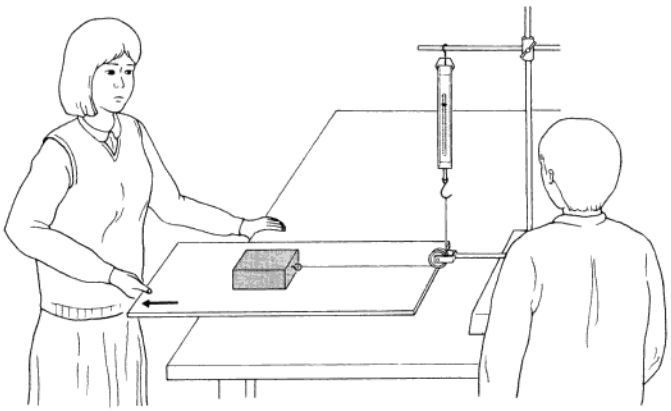
木块的重量：$115\times9.8\times10^{-3}$ N

通过 5 可以认识到：最大静摩擦力是恒定的，与接触面的面积无关。

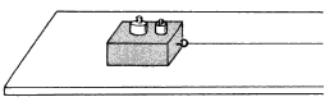
通过 6 可以认识到：即使物体的重量不变，当接触面的性质发生变化时，最大静摩擦力也会发生改变。

**【B】观察动摩擦力**

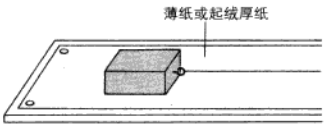
1 轻轻地拉动木板，读取木块滑动时弹簧测力计的读数



2 把砝码放在木块上，重做1



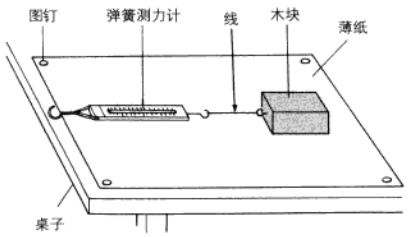
3 在木板上面贴一层薄纸或其他材料，改变接触面的性质，重做1

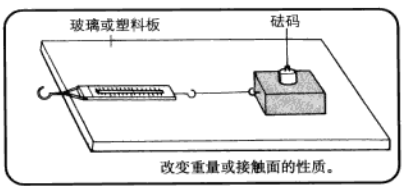



**【其他方法】观察摩擦力的简单方法**

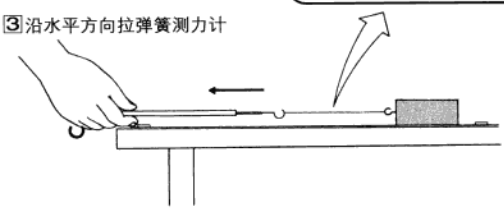
1 用弹簧测力计测量木块的重量　2 安装装置






3 沿水平方向拉弹簧测力计



ⓐ 轻轻地拉弹簧测力计，读取木块即将滑动时的读数（最大静摩擦力）；
ⓑ 读取木块滑动时的读数（动摩擦力）。

**【B】观察动摩擦力**

1 提示 关于实验装置请参看【A】2。从木板的长度考虑，木板移动的距离大约是 20 cm～50 cm。所以，要在这个距离之内读取读数。实验共进行五次，然后取平均值。（2 和 3 中也一样。）

2 提示 与【A】4 中一样，观察不同重量的情况。

3 提示 与【A】6 中一样，用各种材料改变接触面的性质，观察结果。

结果 把在 1 和 2 中得到的数据与【A】中得到的数据作比较就可以知道，动摩擦力小于最大静摩擦力。另外，根据动摩擦力 $F'$ 跟桌面与物体之间的压力 $F_N$ 及动摩擦因数 $\mu'$ 三者之间的关系 $F' = \mu' F_N$，可以求得 $\mu'$ 并证明它对一定的接触材料来说几乎不变。

以下是一组实验数据。

| 重量 / $(9.8 \times 10^{-3}\ \mathrm{N})$ | 115 | 135 | 165 | 215 | 315 |
|---|---|---|---|---|---|
| 动摩擦力 / $(9.8 \times 10^{-3}\ \mathrm{N})$ | 35 | 40 | 45 | 65 | 90 |
| 动摩擦因数 | 0.30 | 0.30 | 0.27 | 0.30 | 0.29 |

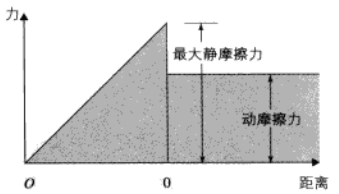
木块的重量：$115 \times 9.8 \times 10^{-3}$ N

通过 3 可以发现：动摩擦力和最大静摩擦力一样，即使物体的重量不变，只要接触面的性质发生变化，摩擦力也会随之改变。以下是一组实验数据。

| 物体 | 动摩擦力 / $(9.8 \times 10^{-3}\ \mathrm{N})$ | 最大静摩擦力 / $(9.8 \times 10^{-3}\ \mathrm{N})$ |
|---|---|---|
| 杉木 | 36～40 | 120 |
| 纸 | 50～55 | 104 |
| 玻璃 | 80～90 | 90 |

木块的重量：$160 \times 9.8 \times 10^{-3}$ N

参考 使一种物体与其他物体接触并施加外力使之移动时，力、移动的距离、最大静摩擦力、动摩擦力之间的关系如下图所示：




**【其他方法】观察摩擦力的简单方法**

2 提示 沿水平方向使用弹簧测力计时，应先求出弹簧测力计的修正值。

3 提示 在木块上放砝码以改变重量，或用其他物体代替薄纸以改变接触面的性质，观察实验结果。

# 24 毛细现象实验

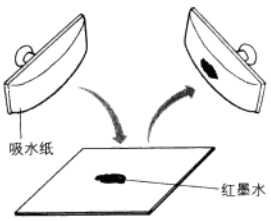
**目标** 观察各种各样的毛细现象。
知道当毛细管变湿时液面会上升，不变湿时液面会下降，而且随着毛细管的粗细不同，液面的上升或下降情况也不一样。

**吸水纸　红墨水　墨汁　毛笔　砚台　水桶　抹布　量筒　烧杯　细玻璃管　试管2个　海绵　清洁剂　蜡　加热器具　粗细不同的毛细管①　木板②　透明胶带　小型水槽③　铁架台　玻璃板2块　刷子　火柴　橡皮筋**

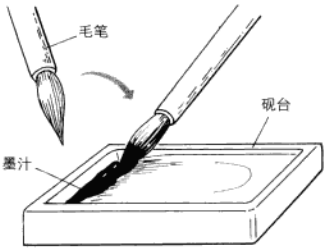
①可以用玻璃管制作，制作方法参照下一页。②玻璃板也可以。③小的透明容器也可以。

**1** 观察各种各样的毛细现象

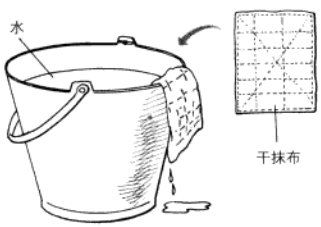
①用吸水纸吸墨水



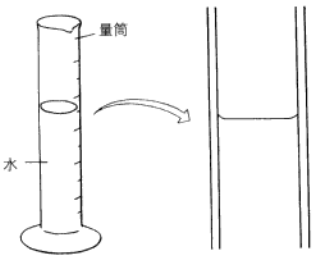

②把毛笔放入墨汁中



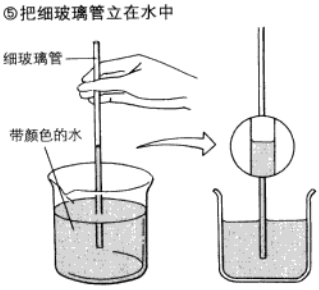

③在盛满水的桶边放上一块干抹布



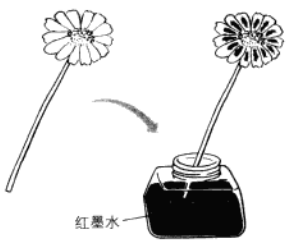

④观察量筒的内壁




⑤把细玻璃管立在水中

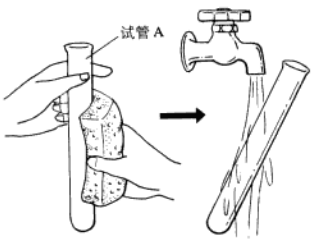



⑥把白色的花插入红墨水中



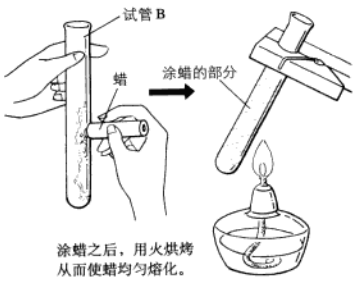

**2** 在水中放入会被水浸湿的物体和不会被水浸湿的物体，观察其表面

①把试管A的外壁洗干净




用海绵蘸上清洁剂洗刷后，用水冲干净。

②在试管B的外壁涂上一层蜡




涂蜡之后，用火烘烤从而使蜡均匀熔化。

**1** 提示 ④中要使用洗刷干净的量筒。⑤中给水染色时，可以在水中滴入少量的红墨水，然后充分搅拌。给水染色的目的是为了便于观察。(**2** 至 **5** 中也一样。)

说明 ①中吸水纸吸起墨水是墨水被吸到纸的纤维之间的结果。

②中会看到毛笔吸起墨汁。

③中会看到过段时间后水桶里面的水会通过抹布流到水桶的外面。

④中会看到水面的中心部分呈水平状态，而与玻璃接触的部分看起来却像是往上弯曲。

⑤中会看到玻璃管内的水位上升。

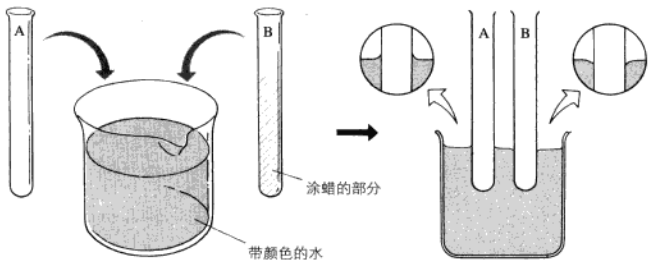
⑥中会看到过段时间后白花会被染成红花。

这些都是毛细现象。毛细现象是指，当把细管(即毛细管)放入液体里面时，管内的液面比管外的液面高或低的现象。在很窄的缝隙间，液面上升或下降也是一种毛细现象。

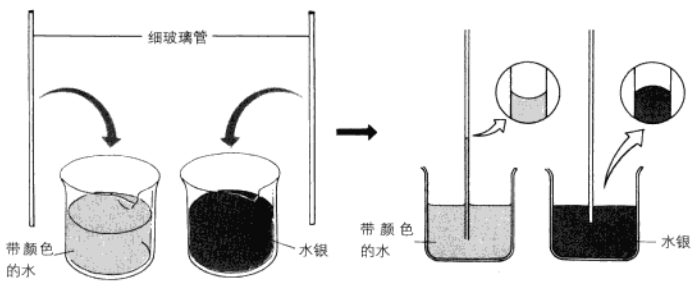
**2** ① 提示 尽量认真洗，把油垢等脏物洗掉。

② 提示 待蜡熔化之后，要认真检查是否所有部分都涂上了蜡。

③把试管 A 和 B 直立于水中，比较试管外壁的情况

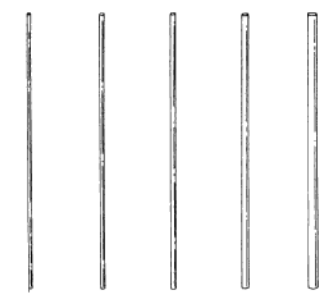



3 把细玻璃管直立于水和水银中，观察管内的情况

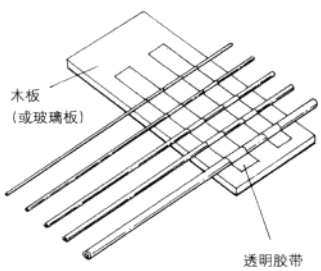



4 观察因毛细管的粗细不同导致液面高度不同的情况

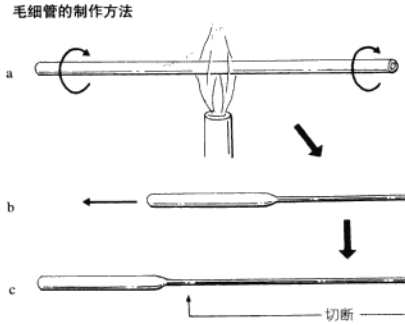
①准备一组粗细不同的毛细管




②用透明胶带把粗细不同的毛细管固定在木板上




**毛细管的制作方法**




ⓐ 一边转动玻璃管一边加热，使其达到炽热程度（图 a）；
ⓑ 离开火焰，快速拉长（图 b），此时，拉长的时间和速度可以决定玻璃管的粗细；
ⓒ 按所需长度切断（图 c）。

③ 说明 试管 A 与水接触的部分水面会上升，而涂蜡的试管 B 与水接触的部分水面会下降。由此可知，液面究竟是上升还是下降，与物体是否会被水浸湿有关。一般来讲，物体是否会被水浸湿，即液面是上升还是下降，是由液体分子间的内聚力和液体与管壁之间的附着力的大小决定的。这里所讲的内聚力，是指液体内分子间相互吸引的力；附着力是指液体分子和玻璃分子之间相互吸引的力。在这个实验中，试管A的周围水面上升的原因是，水和玻璃之间的附着力大于水分子之间的内聚力；试管 B 周围的水面下降的原因是，水分子之间的内聚力大于水和蜡之间的附着力。

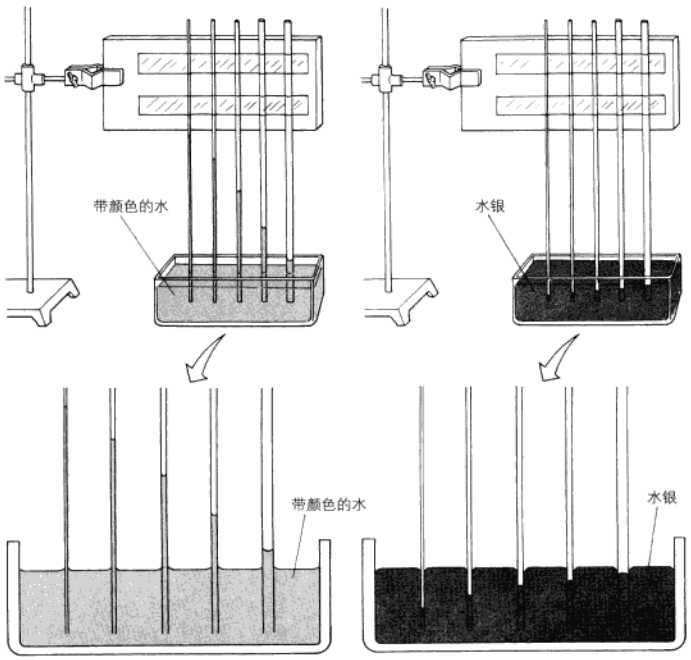
3 提示 在水银中间竖立毛细管时，为了能够观察管内的水银面，应将毛细管紧贴在烧杯壁上。

说明 把细玻璃管放入水中时毛细管内的水位会上升，是因为水和玻璃之间的附着力大于水分子之间的内聚力；把细玻璃管放入水银中时水银面会下降，是因为水银的内聚力大于水银和玻璃之间的附着力。

4 ① 提示 对毛细管的粗细没有严格要求，图中所示的尺寸就比较合适。图中的尺寸都是内径尺寸。

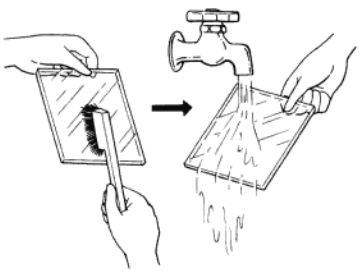
② 提示 把各毛细管按照粗细顺序摆好。为了使各管相互平行且不左右滚动，应用透明胶带将管牢牢地固定在板上。

③把毛细管直立于水和水银中，观察液面的高度



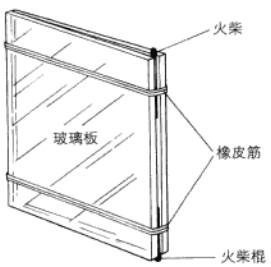

5 观察因玻璃板之间的缝隙不同导致液面高度不同的情况

①洗干净两块玻璃板

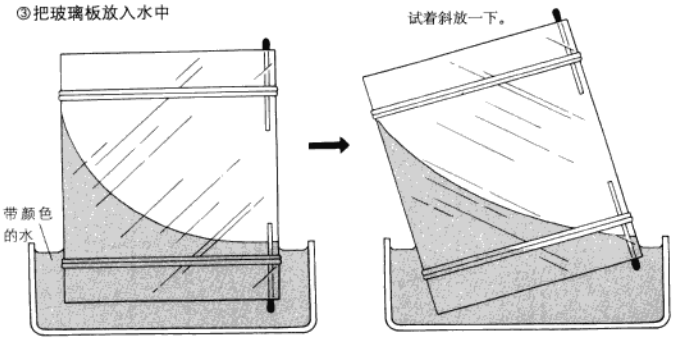


用蘸有清洁剂的刷子洗刷之后，用水冲干净。

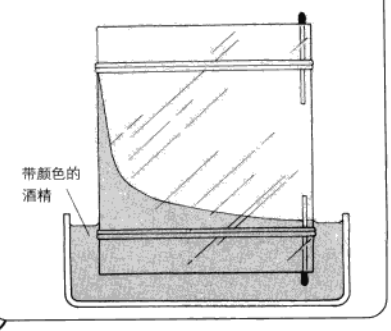
②在两块玻璃板的一侧夹上火柴棍，然后套上橡皮筋




③把玻璃板放入水中



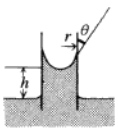

④把玻璃板放入酒精中




③ 提示 将毛细管直立在水银中时，为了能观察到管内的水银面，应使毛细管尽量贴紧小型水槽的内壁。

说明 把粗细不同的毛细管同时放入水中就会发现，越细的管内水位上升得越高；放入水银中时，则是越细的管内水位越低。这种毛细现象的出现与毛细管内径的粗细有关。

参考 液体在毛细管内上升的高度 $h$ 与毛细管的半径 $r$ 成反比，与液体的表面张力 $\sigma$ 成正比。设液体的密度为 $\rho$，液体表面与毛细管的夹角为 $\theta$，$h$ 就能用以下的式子表示：




$$h=\frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g r}\quad\cdots\cdots(1)$$

（$g$ 是重力加速度）

在(1)式中，因为水和玻璃的夹角 $\theta$ 是5°～9°，所以可把 $\cos\theta$ 视为1，(1)式即可简化为

$$h=\frac{2\sigma}{\rho g r}\quad\cdots\cdots(2)$$

利用(2)式，通过测量 $h$ 即可求得液体的表面张力 $\sigma$。

5 ① 提示 尽量认真清洗，把油垢等脏物彻底洗掉。洗净之后注意不要沾上手上的油污。

② 提示 为了避免玻璃板移动，一定要固定好。

③ 说明 缝隙窄的一端水位高，缝隙宽的一端水位低，并且水面会形成一条漂亮的曲线。把玻璃板斜放时，曲线会发生变化。

④ 说明 把玻璃板放入酒精中时，会形成一条和水中不同的曲线。这是因为，不同种类的液体与玻璃间的附着力不同。

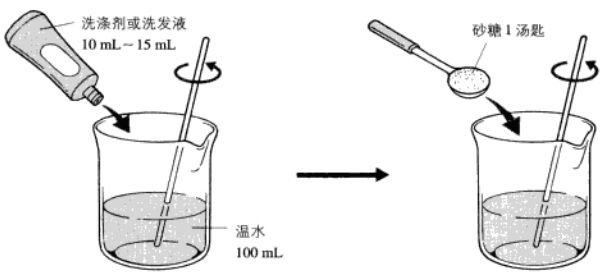
# 25 做肥皂泡

目标 小

能做出各种各样的肥皂泡。
知道肥皂泡的形成与液体的表面张力有关。观察肥皂泡的薄膜受到光的照射之后呈现的各种颜色。

**厨房洗涤剂　砂糖　烧杯　玻璃棒　吸管　玻璃板**(或镜子、透明垫板)　**橡皮　铁丝　盛方便面的容器　棉线　呼啦圈**

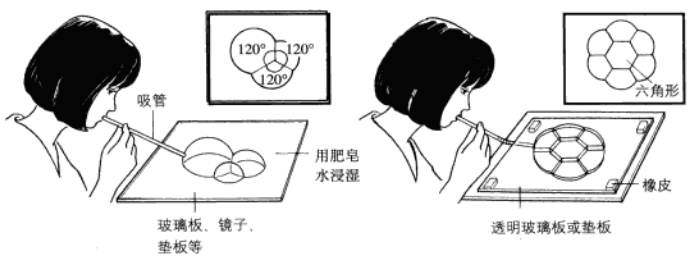
**1** 做肥皂水



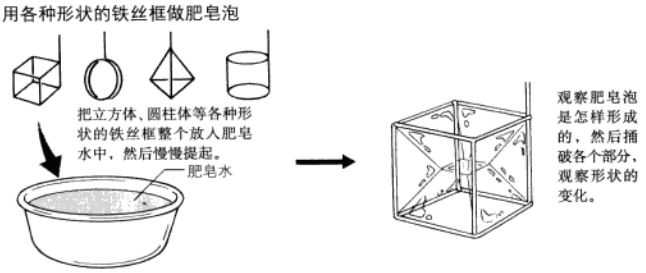

**2** 在玻璃板、垫板等上面做肥皂泡

①观察肥皂泡的形状和颜色，使三个肥皂泡连接起来，观察接触部分的角度

②连接同样大小的肥皂泡，观察肥皂泡的排列方式




**3** 用各种形状的铁丝框做肥皂泡



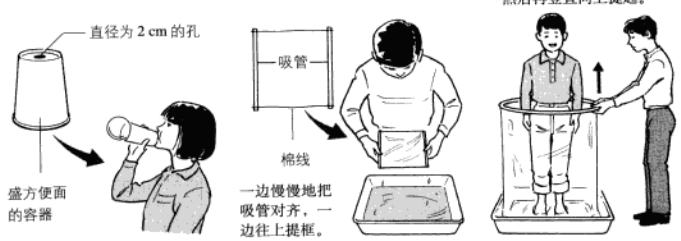

**4** 做尽量大的肥皂泡

①在盛方便面的容器的底部打一个孔，作为工具

②用吸管和棉线做框

③用呼啦圈

先用呼啦圈做出肥皂泡，然后再竖直向上提起。




**1** 参考 除了厨房用的洗涤剂，还可以把洗衣粉（大约1汤匙）或削成薄片的肥皂溶解在水中使用，或用凡士林代替砂糖。使用凡士林时，应先把它放到表面出现白膜，然后再把白膜除掉才能使用。

说明 由于肥皂水的表面张力较弱，所以会以薄膜的形式扩散，从而形成肥皂泡。肥皂泡呈球形的原因是球形的表面积最小。添加砂糖或凡士林的目的是提高肥皂泡的黏性，形成又大又不易破的肥皂泡。

**2** 提示 用肥皂水浸湿玻璃板或垫板，肥皂泡就不易破。在黑色的板面上做半球状的肥皂泡，会有利于观察颜色。

① 说明 肥皂泡的形状是在相同体积中表面积最小的半球形。光线照射到肥皂泡上时，能看到各种颜色。肥皂泡的薄膜受表面张力的影响要变小，相互成 120° 角。

② 结果 呈蜂窝状。

说明 每个肥皂泡不会与三个以上的肥皂泡相接。图中显示的是由六个肥皂泡按照120°的夹角连接，围成一个六角形的情况。

**3** 说明 开始每个面都形成膜，相邻的膜会互相连接。一段时间之后，每个泡都不会跟三个以上的泡相接，而且所有的角都等于120°。

**4** ①提示 以同样大小的速度慢慢吹。使用长一点的容器，效果会更好。

②③提示 用肥皂水把手充分浸湿。还可以把人放入呼啦圈，做成一个巨大的柱状肥皂泡。

# 26 表面张力实验

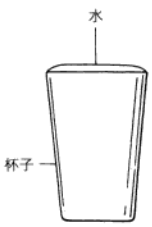
杯子 1角硬币 剃须刀片 缝衣针 油 镊子 蜡 培养皿 玻璃 滴管 玻璃管 烧杯 金属网 瓶塞 加热器具 漏斗 肥皂水 铁丝 载玻片 玻璃盖片

目标 初高

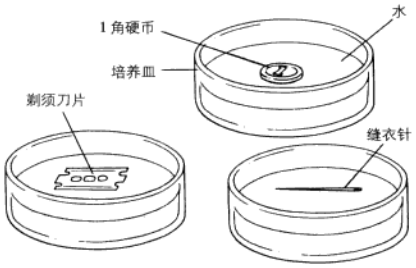
观察由表面张力引起的各种现象。
观察水的表面张力与温度的关系。

1 观察由表面张力引起的各种现象

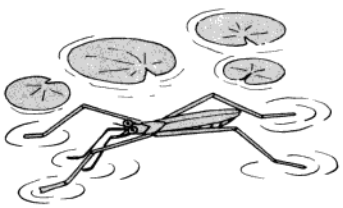
①杯子里放满水，观察水面的形状



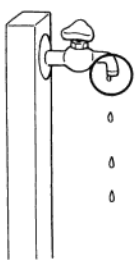

②把密度大于水的物体平放在水面上，使其漂浮着




③观察在水面上行走的水黾

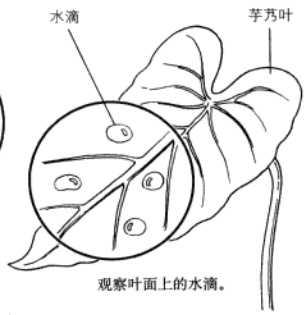


④观察水滴的形状



观察从水龙头一滴一滴掉下来的水滴。




观察叶面上的水滴。

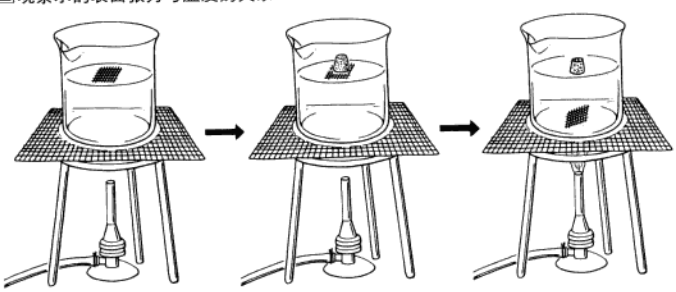
观察松树叶上的水滴。



观察涂蜡的玻璃上的水滴。




2 观察水的表面张力与温度的关系



把金属网放在水面上并使其漂浮着。　再把软木塞放在金属网上。　用小火加热。

1 ①提示 把水装满，直到水就要从杯中溢出来为止。

说明 水面高出杯边隆起来，这是水的表面张力所致。

②提示 由于1角硬币、剃须刀片、缝衣针等很容易被水浸湿，所以事先要涂上油。

把各类物体放在水面上时，动作要轻，以免弄湿物体表面。把缝衣针平放在水面上时，最好用镊子取放。

说明 密度大于水的物体在某些情况下也可以浮在水面上。出现这种现象的原因在于水有表面张力。

③提示 认真观察水黾的足，也就是水黾与水接触的部位。

说明 水黾能在水面上自由行走也是因为水具有表面张力的缘故。因为水黾的足上长有许多绒毛，所以与水接触的面积较大，容易受到水的表面张力的作用。

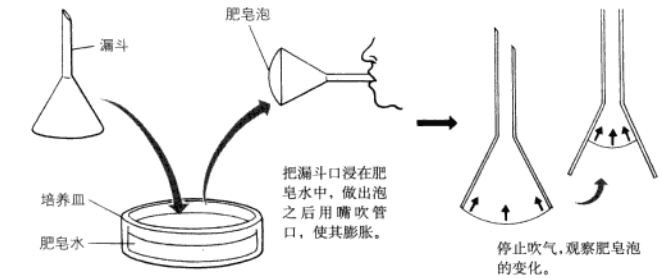
④提示 除了图中所示的水滴以外，可以再观察一些其他液体的情况。

说明 水滴呈球形，这是为了尽量缩小表面积所致。这种性质也是水的表面张力作用的结果。

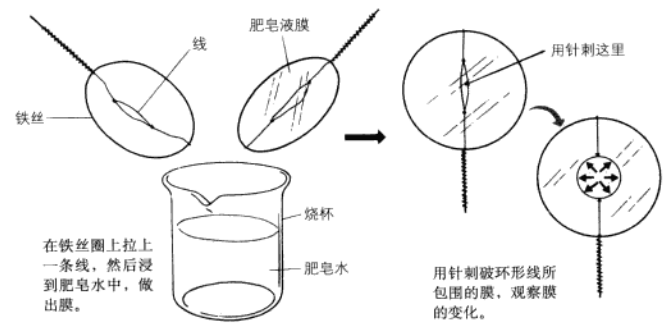
2 说明 金属网加热前是浮在水面上的，但随着水温的上升会沉到水里，这是因为水的表面张力会随着温度的升高而变小(温度上升促使水分子的运动加剧，减小分子间的引力，详见下页)。

**3** 观察液体表面趋于收缩的性质

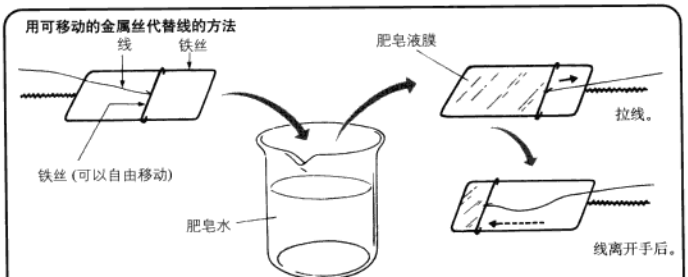
①利用漏斗做出肥皂泡并进行观察



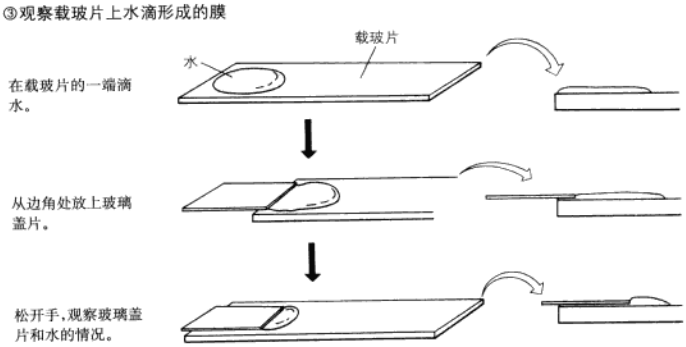

②用铁丝圈做肥皂液膜并进行观察




**用可移动的金属丝代替线的方法**




③观察载玻片上水滴形成的膜




**3** ① 说明 利用漏斗做肥皂泡时，从管口轻轻地吹气进去，由于内部压强的增大，肥皂泡会以球形扩大。一旦停止吹气，肥皂泡就开始缩小。如果任其这样继续下去，肥皂泡就会不断地挤出漏斗里面的空气，逐渐往里收缩。这种现象也是由表面张力引起的。

② 提示 铁丝圈的直径为 5 cm～8 cm 比较好。对线的要求是：当中间的环扩展成圆形时要有张力。为此，连接在铁丝上时应该稍微松弛一点。

说明 用针刺破包围在环形线内的膜，被刺破的部分以圆形扩展。也就是说，包围在环形线和铁丝圈之间的膜会缩小。这也和①一样是表面张力作用的结果。

参考 用可移动的金属丝代替线也是一种方法。此时，为了使金属丝能够自由移动，有必要把铁丝圈做成四边形，大小为 5 cm × 10 cm 即可。在肥皂水中浸过之后把线拉起来，肥皂膜就扩大；一旦松手，膜就缩小。

③ 说明 一旦松开放在载玻片上的玻璃盖片，玻璃盖片就会被吸到载玻片上，而载玻片上的水就会隆起来。这也是表面张力作用的结果。

参考 由于液体表面具有趋于收缩的性质，所以会产生一种沿着液体表面而起作用的张力，这就是表面张力。表面张力是由液体分子间的引力产生的。在液体的内部，由于分子和分子之间相互吸引，结果就形成每个分子周围都有其他分子包围着的状态。不过，考虑液体表面的分子时应注意：虽然液体内部以及侧面存在其他分子，液体表面的外侧却不存在液体分子，于是在液体和其他物体的接触面上就会形成一种尽量减少这种没有完全被其他分子所包围的分子数的力。要达到这种目的，就要尽量缩小液体的表面，这样就出现了表面张力。另外，不克服这种分子间的引力，就不能把液体蒸发成蒸气。蒸发热是为此而从外部吸收必要热量的手段。如此看来，不管是表面张力还是蒸发热，都与分子间的引力有着密切的关系。一般来讲，蒸发热大的液体，其表面张力也大。

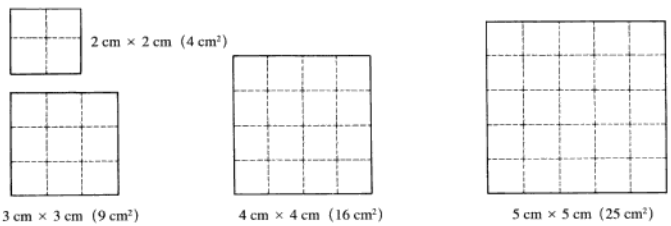
塑料板① 锥形瓶(300 mL) 软木塞② 黏合剂
盘秤 海绵③ 尺(30 cm，15 cm) 铁架台

①准备2 cm × 2 cm，3 cm × 3 cm，4 cm × 4 cm，5 cm × 5 cm等不同面积的塑料板各一块，厚度为2 mm左右。②与锥形瓶口大小相同的和比瓶口略小一点的各准备一个。③富有弹性的，最好是细孔的厨房用海绵。

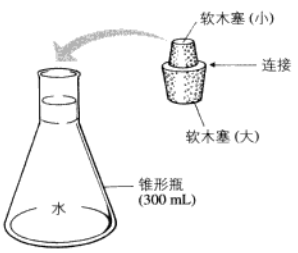
# 27 压强的表示方法

目标 初 知道压强是物体单位面积上受到的垂直压力的大小。

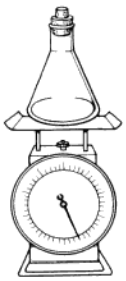
1 准备几块面积不同的塑料板




2 往锥形瓶里装满水，塞好软木塞

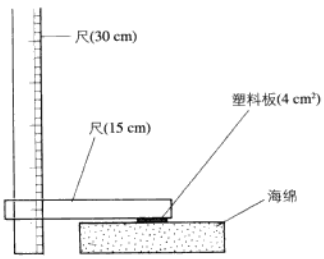



3 测量锥形瓶和水的重量

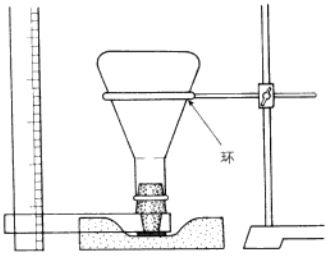


4 观察锥形瓶对海绵施加压力的面积与海绵下陷深度的关系

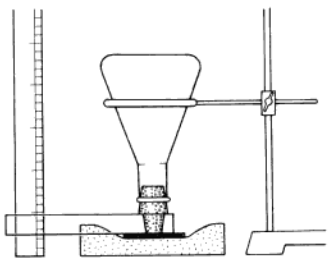
①海绵上面放一块4 cm²的塑料板，测量海绵此时的高度



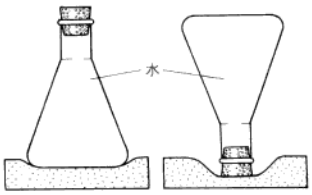

②放上锥形瓶，测量海绵此时的高度，求出海绵的下陷深度




③用不同面积的塑料板重复①和②中的测量，比较每次海绵的下陷深度



简便方法




求出锥形瓶正立和倒立在海绵上时的下陷深度，并作比较。

1 提示 薄塑料板容易变形，所以要用厚一点的。在塑料板上画上一些1 cm × 1 cm的方格，这样一眼就能看出大小，用起来十分方便。

2 提示 在300 mL的锥形瓶上塞好软木塞之后使其倒立，底面的面积会大于4 cm²。为了使底面面积小于4 cm²，在大软木塞上再放一个小软木塞。

4 提示 为了便于测量下陷深度，应把塑料板放在离自己较近的一边。

使锥形瓶倒立时，为了防止锥形瓶倾斜，要把软木塞放在塑料板的正中间。另外，为了防止锥形瓶歪倒，应把锥形瓶套在环上。

说明 塑料板对海绵的压力也需计算出来并作比较。如果不计塑料板的重量，压强的计算公式如下：

$$\text{压强}=\frac{\text{锥形瓶和水产生的正压力}}{\text{塑料板的面积}}$$

结果 实验数据举例如下。

| 面积/cm² | 4 | 9 | 15 | 25 |
|---|---|---|---|---|
| 下陷深度/cm | 2.4 | 1.9 | 1.4 | 0.9 |
| 压强/98 Pa | 117.5 | 52.5 | 29.4 | 18.8 |

锥形瓶和水的总重量：$470 \times 9.8 \times 10^{-3}$ N

参考 如果不用塑料板，按照左边框图中介绍的方法，实验就更简单了。此时，为了计算压强，事先应把锥形瓶的底面积和软木塞顶部的面积求出来。另外，为了让身体感觉到压强的大小，还可做以下实验：

- 在校园的沙堆上放几块面积不同的板，上面站几个人，然后比较沙子的下陷深度，求出压强并作比较。
- 在盘秤上放一块豆腐，使其厚度不变，而只改变上下底的面积，上面再放一块塑料板。然后，慢慢地施加压力把豆腐压碎，读取此时力的大小，求出压强再作比较。

材料与器具

坐标纸　体重计　煮熟的鸡蛋　针　泡沫塑料板　偏振片(观看立体电影时用的眼镜)2个　薄垫子(透明的)　透明胶带　木板

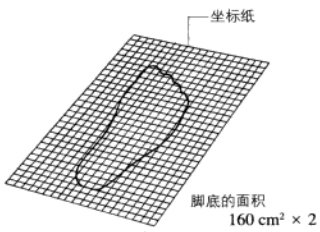
# 28 压强实验

目标 初

能用力的效果表现压强的大小。
能用力的分解说明压强。
能用偏振片观察压强。

## 1 观察脚底对地面产生的压强

①把脚放在坐标纸上，画出脚的形状之后，求出脚底的面积



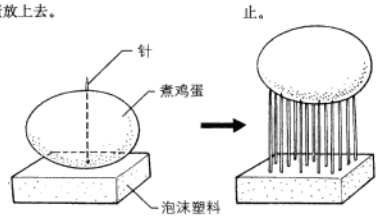

②为了求出脚底对地面产生的压强的大小，先测量体重，然后计算脚底的压强




## 2 试一试，插多少根针才能把鸡蛋放上去

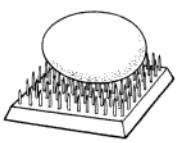
在泡沫塑料板上立一根针，然后把剥了皮的煮鸡蛋放上去。

增加针的数量，直到能把煮鸡蛋放上去为止。



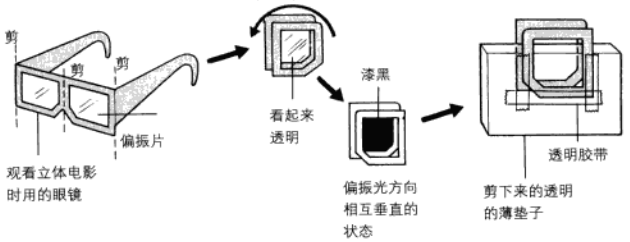

**使用花插的方法**

把剥了皮的煮鸡蛋放在花插上。



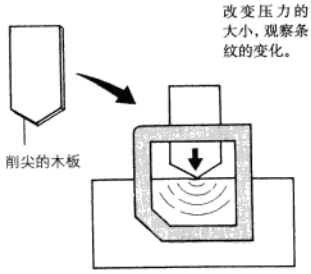
## 3 用眼观察压强的存在

①制作装置



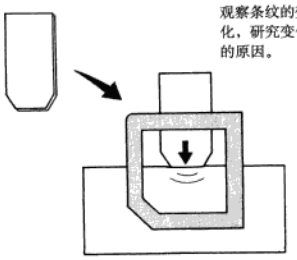

②用削尖的木板压薄垫子

改变压力的大小，观察条纹的变化。

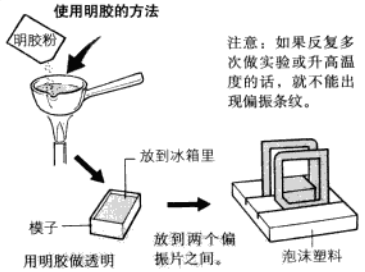



③用截齐头部的木板做与②相同的实验

观察条纹的变化，研究变化的原因。



**使用明胶的方法**




**1** 说明 算出每个人的脚底压强，就能知道体重的人压强并不一定大。把狗和猫作比较或动脑筋做各种有关压强的实验。脚底的压强通过以下公式可以求得：

$$压强=\frac{脚底对地面产生的压力的大小}{脚底的面积}$$

实验数据举例

$$\frac{46.4\times 9.8\,N}{320\times 10^{-4}\,m^2}\approx 1.4\times 10^4\,Pa$$

**2** 参考 用钉子代替针也可以。

说明 把煮熟的鸡蛋放在一根针上时，针会刺到鸡蛋里面。随着针的数量增多，鸡蛋对针产生的压力被分解，每根针所承受的压力就会变小，鸡蛋就可以放在上面了。本实验的目的是用力的分解来说明压强知识的应用。

**3** 提示 用偏振片制作观看立体电影时用的眼镜。也可用塑料板代替透明垫子，但是此时如果施加的压力不够大，就不会出现条纹。要指导学生了解变形越大条纹越大的特点。

结果 用尖头木板压时产生的变形大，条纹也大而漂亮。通过平头木板产生的条纹小的现象可以知道：施加同样大小的力时，接触面积越大压强越小，变形程度也越小。

材料与器具

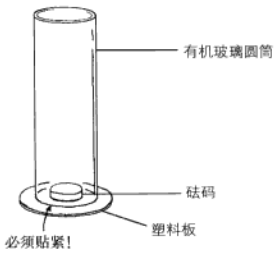
# 29 观察水的压强与深度的关系

塑料板　砝码①　有机玻璃圆筒②　水槽　尺　水彩笔
【其他方法】　橡皮膜③　橡皮塞　玻璃管　胶卷盒
漏斗　黏合剂　坐标纸　尺　水槽

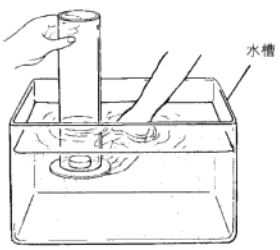
①准备 50 g 或 100 g 的砝码 5～6 个。把铅块熔化之后装进大小适当的盒盖里，制成圆形就可以。②玻璃圆筒也可以。③越薄越好。

目标　初　观察水的压强与深度成比例变大的现象。

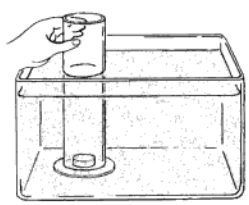
1 在塑料板的中心位置放上砝码，然后扣上有机玻璃圆筒



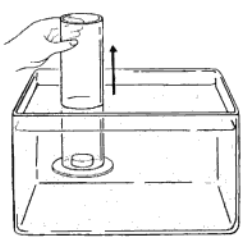

2 用手托住塑料板，把有机玻璃圆筒放入水槽



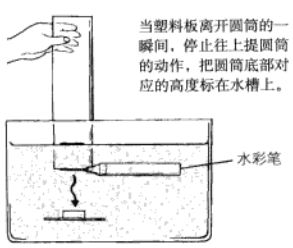

3 放到水槽底部之后，慢慢撤去托塑料板的手



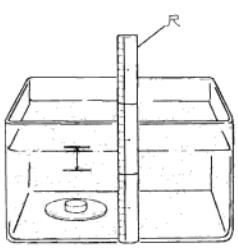
4 慢慢地把圆筒往上提



5 对应塑料板离开圆筒的一瞬间筒底的高度在水槽上做上标记




6 测量此标记对应的水深




7 改变砝码的重量，重做 1 至 6



使用不同重量的砝码或把砝码增至两个、三个，重做实验 1 至 6。

8 用表格记录实验数据，观察压强与水深的关系

实验数据举例

| 圆筒的横截面积 /cm² | 40.7 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 砝码的重量 /(9.8 × 10⁻³ N) | 110 | 215 | 345 | 455 |
| 塑料板离开圆筒时对应的水深 /cm | 2.9 | 5.5 | 8.2 | 12.0 |
| 由砝码产生的压强 (= 水的压强) /98 Pa | 2.7 | 5.3 | 8.5 | 11.2 |

1 提示 为了确认有机玻璃圆筒和塑料板是紧贴在一起的，事先不放砝码，而只把筒和板放入水中做 2 中的实验。如果撤开手之后有水进入圆筒，就说明筒和板贴得不够紧。用砂纸或研磨剂打磨，可使有机玻璃圆筒的底部更加光滑。

4 提示 把圆筒往上提时，要注意在 5 中看好塑料板离开的那一瞬间。而且，为了在水槽上准确地标明该位置，应尽量在离自己近的水槽一侧进行操作。

5 提示 从塑料板离开的那一瞬间起，直到做好标记为止，一定不要移动握圆筒的手。

7 提示 增加砝码数量时，要叠放在塑料板的中间。

说明 塑料板离开的瞬间，从上面压塑料板的力和从下面往上推的力相等。因此，砝码对塑料板的压力 = 圆筒外同一深度水的压力。利用公式

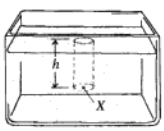
$$\text{砝码产生的压强} = \frac{\text{砝码的重量}}{\text{圆筒的横截面积}}$$

能够求得当时的压强。然后，在 8 中像实验数据举例那样制作表格，就能了解水的压强与深度的关系。

结果 大体上能够看出水的压强与水的深度成比例的关系。

参考 **水的压强的求法**

压强是指单位面积受到的压力。考虑右图中虚线表示的圆柱体，$X$ 点的压强 $p$ 是




$$p = \frac{\text{圆柱体部分的水产生的压力（等于该部分水的重量）}}{\text{圆柱体的横截面积}}$$

因为 1 cm³ 水的重量是 $9.8 \times 10^{-3}$ N，假设 $X$ 点的水深为 $h$，圆柱体的横截面积为 $S$，则有

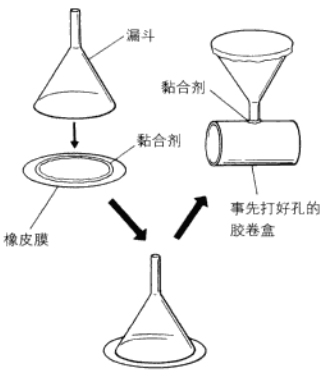
$$p = \frac{\rho g h \cdot S}{S} = \rho g h = 98\,h$$

式中，$h$ 的单位是 cm，$p$ 的单位是 Pa。

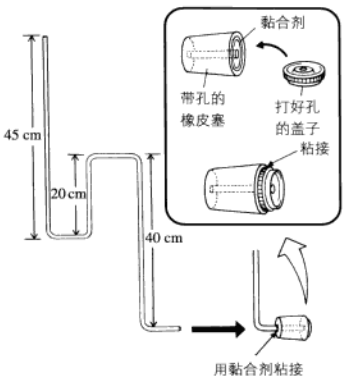
**【其他方法】用橡皮膜观察的方法**

1 制作装置

①把橡皮膜粘在漏斗上，再把漏斗安装在胶卷盒上

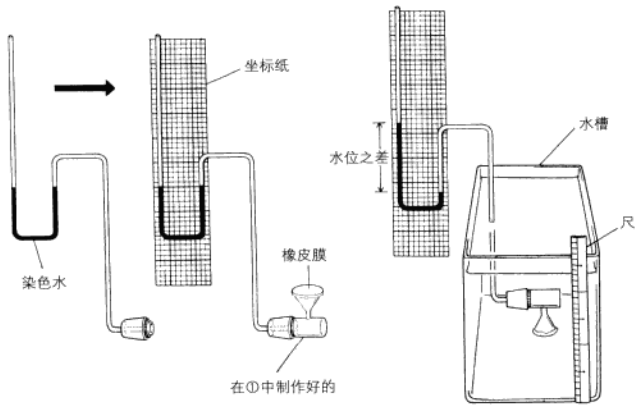



②折弯玻璃管，连接橡皮塞和胶卷盒盖

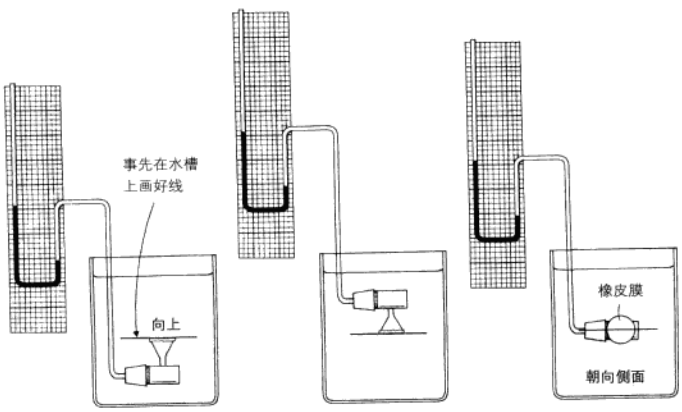



③玻璃管里装入染色水，然后连接胶卷盒，贴上坐标纸

2 把漏斗放入水中，观察其深度与染色水的水位之差的关系




3 改变漏斗的方向，放入同样深处




**【其他方法】用橡皮膜观察的方法**

说明 在前一页的实验中，不能比较从各个方向对同一点施加的压强，在这个实验中却可以观察来自任何方向的压强的大小。另外，可以一眼看出不同深度水中的压强不同。美中不足的是，安装装置比较麻烦。

1 ①提示 粘橡皮膜时，应先把膜放在平整的地方，涂好黏合剂之后再把漏斗放上去并从上面用力压。橡皮膜最好粘得松一点，不要绷得太紧。

②提示 把事先打好孔的橡皮塞和胶卷盒用黏合剂粘牢，插入玻璃管，使管的顶端稍微露出一点，然后用黏合剂粘好。

③提示 胶卷盒与盖子之间不要使用黏合剂，以便二者能够自由活动。把坐标纸裁成适当的大小，使深色的线对准水面位置，粘好。

2 提示 用透明胶带把尺粘在水槽上。

结果 一眼就能看出水变深时压强也会增大，认识到压强与水的深度成正比。

**实验数据举例** cm

| 橡皮膜对应的深度 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|---|---|---|
| 染色水的水位之差 | 5.2 | 10.0 | 15.0 | 19.8 |

参考 如果不考虑橡皮膜的弹力，作用在橡皮膜上的水的压强就可以用染色水的水位之差来表示。这里，设橡皮膜至水面的距离为 $h_1$，染色水的水位之差为 $h_2$，从实验数据就能知道 $h_1 = h_2$（不过，实验数据或多或少会有些误差）。因此，即便水槽里不放尺子，也能通过染色水的水位之差马上知道橡皮膜所在深度的水的压强：

$$p = 98h_2$$

式中，$h_2$ 的单位是 cm，$p$ 的单位是 Pa。

3 提示 事先用水彩笔在水槽上画好线，然后使橡皮膜对准此线。当橡皮膜朝向侧面时，应该使膜的中心对准此线。

结果 处于同一深度的水的压强，对各个方向来说都一样。

# 30 帕斯卡实验

目标 初 知道当装在封闭的容器里的一部分液体受到压强的作用时，压强会按照原来的大小传递到液体的各个部分。

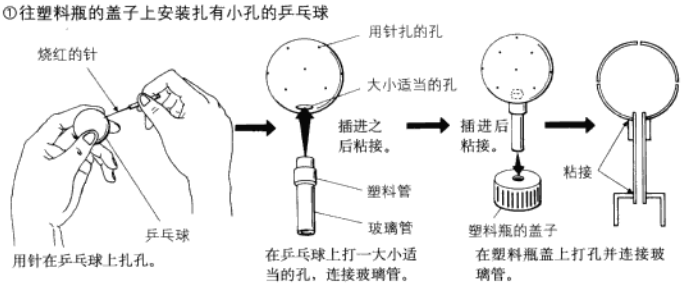
材料与器具

塑料瓶① 乒乓球 针 玻璃管 塑料管② 黏合剂 注射器 橡皮塞

①大的用起来更方便。②如果所用玻璃管的内径为5 mm，塑料管就要用6 mm的。依此类推，根据所用的玻璃管选择粗细合适的塑料管。

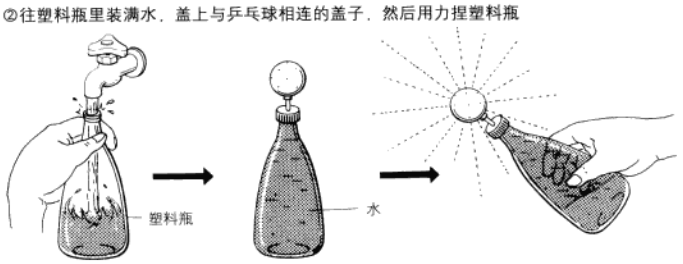
## 1 观察从容器中喷出来的水

①往塑料瓶的盖子上安装扎有小孔的乒乓球



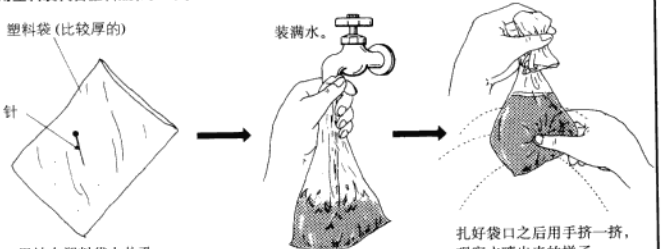

用针在乒乓球上扎孔。　在乒乓球上打一大小适当的孔，连接玻璃管。　在塑料瓶盖上打孔并连接玻璃管。

②往塑料瓶里装满水，盖上与乒乓球相连的盖子，然后用力捏塑料瓶



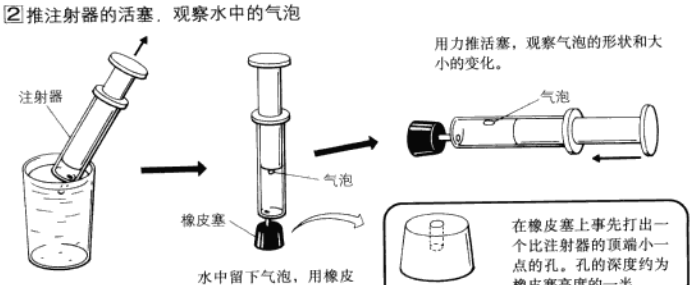

往塑料瓶里装满水。　盖上与乒乓球相连的盖子。　用力捏塑料瓶，观察水喷出来的样子。

**用塑料袋代替塑料瓶和乒乓球**




用针在塑料袋上扎孔。　扎好袋口之后用手挤一挤，观察水喷出来的样子。

## 2 推注射器的活塞，观察水中的气泡




往注射器里充水。　水中留下气泡，用橡皮塞顶住注射器的顶端。

**1** ① 提示 用针在乒乓球上扎的孔，大小必须一致，用火把针烧红之后再扎比较容易做到。连接乒乓球和玻璃管时，如图所示在玻璃管上套上塑料管能提高密封程度。为了连接玻璃管而在乒乓球和塑料瓶的盖上扎的孔，最好稍微小一些。

② 提示 塑料瓶里装满水之后，用①中制作的带有乒乓球的盖子盖好。

结果 从每个孔中喷出来的水的样子几乎都一样，并且喷水的方向几乎都与喷射口所在的球面垂直。这说明对装在容器里的液体的某一部分施加的压强会以同样的大小传递到液体的各个部分。

参考 虽然用塑料袋做实验也能观察到同样的结果，但是用乒乓球更容易理解。特别是用塑料袋时，很难看清水的射出方向。

**2** 提示 为了使橡皮塞与注射器的顶端紧密接触，在橡皮塞上打的孔要比注射器的顶端略微细一点。另外，推注射器的活塞时要用手托住橡皮塞。同时，为了便于观察，要使气泡处于中间位置，为此要使注射器保持水平状态，因为哪怕是稍微倾斜一点儿也会使气泡马上偏到一边。

结果 可以观察到气泡的形状不变而只是缩小了一些。这一现象说明，从任何方向对气泡施加的压强都相等。由于这一压强是靠推动活塞产生的，这表明装在容器里的液体的压强对液体的各个部分都会以同样的大小传递。

说明 因为压强在液体中的传递规律是由法国物理学家帕斯卡(1623—1662)发现的，所以人们把它称为帕斯卡原理。此原理不仅对液体成立，对气体也成立。

# 31 连通器(水压机)实验

目标 初 知道连通器(水压机)是应用帕斯卡原理制作的。

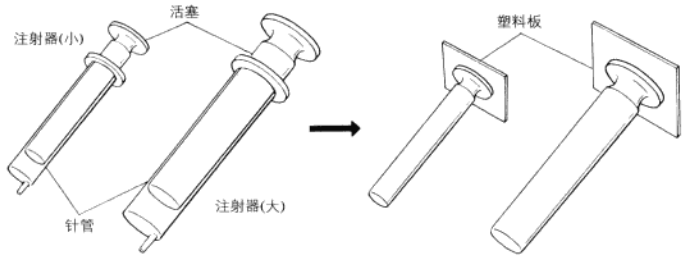
**材料与器具**

注射器① 塑料板 黏合剂 塑料管 烧杯 砝码② 尺 铁架台2个

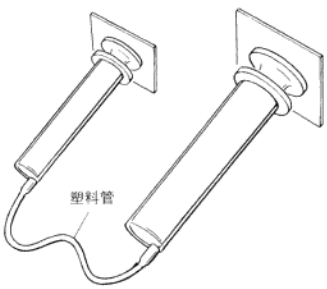
①准备两个30 mL－100 mL、大小不同的注射器。②准备几个重0.5 kg－1 kg的铅块。

*在【其他方法】中，除了上述器具之外，还要准备底部被切除(用电热丝切除)的试剂瓶、塑料布、橡皮筋、玻璃管、橡皮塞、砝码等。

1 在两个大小不同的注射器的活塞上分别粘贴一块塑料板

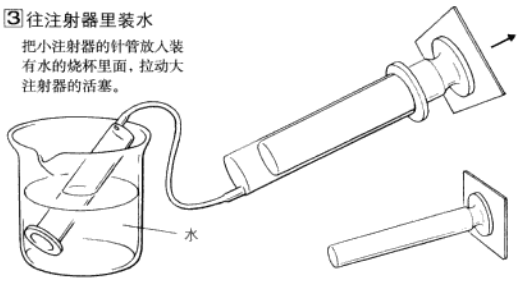



2 用塑料管把两个注射器连起来

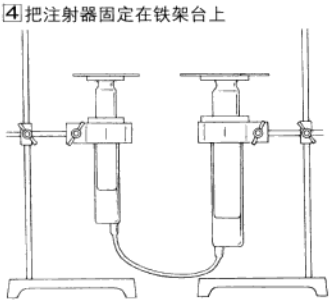



3 往注射器里装水

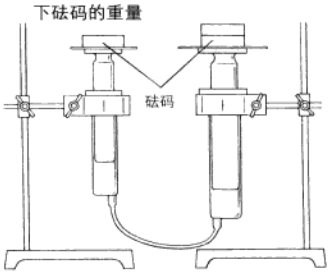
把小注射器的针管放入装有水的烧杯里面，拉动大注射器的活塞。



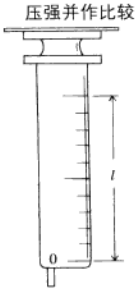

4 把注射器固定在铁架台上



5 在活塞上面放砝码，待平衡之后，记下砝码的重量




6 求出各注射器活塞的横截面积，计算压强并作比较




如果注射器的容积为 $V$，刻度总长度为 $l$，则活塞的横截面积 $S$ 可由下式求出：

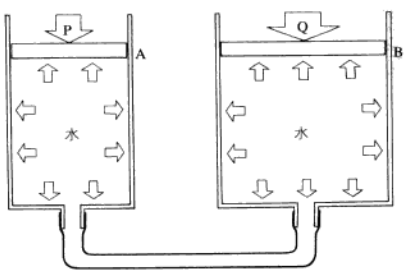
$$S=\frac{V}{l}$$

另外，如果砝码的重量为 $G$，压强 $p$ 可由下式求出：

$$p=\frac{G}{S}$$

通过以上公式，求出各活塞在注射器里面对水所产生的压强，并作比较。

**水压机的原理**




当注射器A和注射器B的活塞不动而达到平衡时，说明A和B内水的压强相等。也就是说，当A和B上面的砝码设定为P和Q时，如果不考虑活塞和塑料板的重量，P和Q对活塞施加的压强是相等的。因此，如果把A和B的活塞横截面积设为 $S_A$ 和 $S_B$，它们之间存在如下关系：

$$\frac{\text{P的重量}}{S_A}=\frac{\text{Q的重量}}{S_B}$$

1 提示 注射器的活塞和针管之间的摩擦太大时，在活塞上涂少量的润滑油能减小摩擦。

4 提示 固定好注射器，用手轻轻地往下推活塞，移动一段之后松手，观察两边的活塞自行移动而达到平衡的现象。

5 提示 改变活塞上面的砝码重量之后，最好也作一些观察。

6 说明 在这个实验中，考虑到活塞和针管之间的摩擦，要使用非常重的砝码。这样，在计算时不计活塞和塑料板的重量也没有关系。

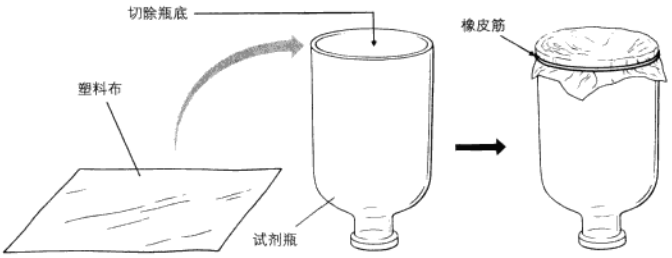
结果 通过改变放在活塞上面的砝码调节平衡，求出每个活塞对注射器内水的压强，就能知道两个注射器内水的压强几乎相等。

实验数据举例

| | 注射器A | 注射器B |
|---|---|---|
| 受力面积/cm² | 5.0 | 9.6 |
| 砝码的重量/($9.8\times10^{-3}$ N) | 500 | 1 000 |
| 压强/98 Pa | 100 | 104 |

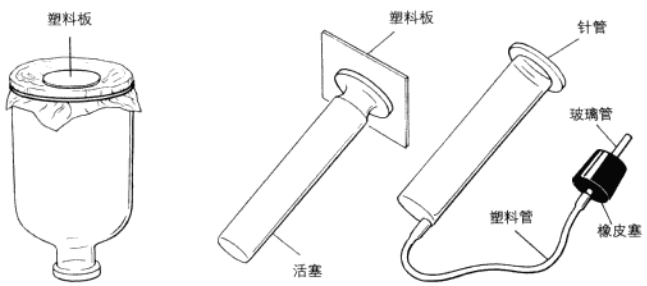
**【其他方法】使用试剂瓶的方法**

1 切除试剂瓶的瓶底，然后蒙上一层塑料布

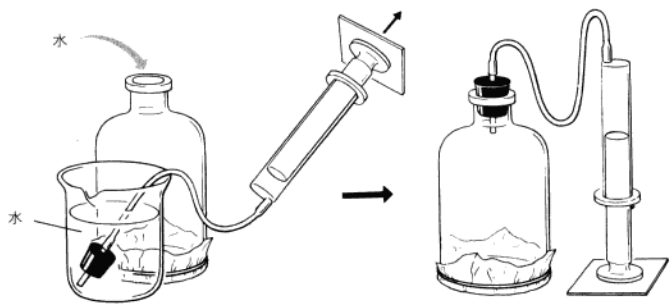



2 在塑料布的中间粘上一块塑料板

3 在小注射器的活塞上粘贴塑料板，把塑料管连到针管上

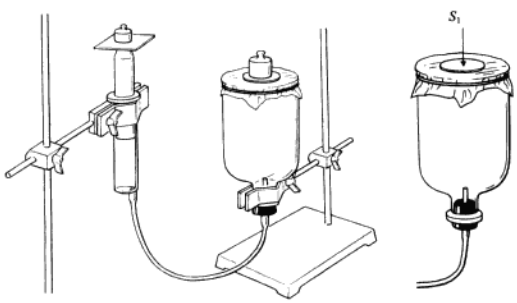



4 往试剂瓶和注射器里装上水，然后连接起来




6 在活塞和试剂瓶的塑料板上放上砝码，使其平衡之后记录砝码的重量

7 求出注射器活塞的横截面积和试剂瓶底塑料板的面积，算出压强并作比较




设粘贴在塑料布上的塑料板的面积为$S_1$，重量为$G_1$，放在其上面的砝码的重量为$G_2$，则塑料板对试剂瓶内的水施加的压强为

$$p_1=\frac{G_1+G_2}{S_1}$$

求出$p_1$和活塞对注射器内的水施加的压强$p_2$，并把$p_1$和$p_2$作比较。

**【其他方法】使用试剂瓶的方法**

说明 在前一页的实验方法中，当把两个注射器连起来时，由于活塞和针管之间的摩擦影响较大，所以用小砝码进行实验不可能观察到有效的实验现象。这里介绍的方法正是针对用小砝码进行实验的情况设计的。把试剂瓶的底部切除之后用塑料布包好，可以用来代替大注射器。用此方法可以减少摩擦而收到好的效果，只是在安装装置和实验步骤上稍微复杂一些。

1 提示 把塑料布蒙在试剂瓶底上时，为了包得牢固，可用橡皮筋多缠几圈。为了看清由水的压强引起的塑料布的上下移动，最好使塑料布稍微松弛一点。

2 提示 往塑料布上粘贴塑料板之前，应先测出塑料板的重量。

3 提示 把塑料板粘贴在活塞上之后，测出活塞与塑料板的重量之和。

4 提示 连接装好水的试剂瓶和注射器时，注意不要使气泡进入水中。

5 提示 把试剂瓶和注射器固定好后，调整注射器的高度以防塑料布过度隆起或凹陷。

6 说明 平衡是指塑料布既不过度隆起，也不过度凹陷，而是处于比较松弛的状态。

5 把试剂瓶和注射器固定在铁架台上



提示 改变砝码的重量之后，最好再做一次实验。

7 说明 $p_2$的求法与前一页 6 中的做法基本相同，只是在本实验的计算里面，砝码的重量应该包括活塞和塑料板的重量。

# 32 气体压强实验

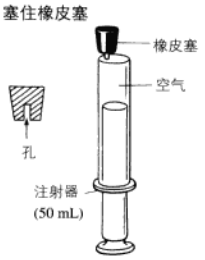
目标 初 观察密闭容器里面的气体压强随着体积或温度而变化的现象。

注射器(50 mL，30 mL) 橡皮塞 盘秤 塑料板 黏合剂 圆底烧瓶(300 mL～500 mL) 玻璃管 塑料管 烧杯(500 mL～1 000 mL)① 温度计 铁架台 加热器具 砝码 【其他方法】气体分子运动模拟实验器 电源装置 导线

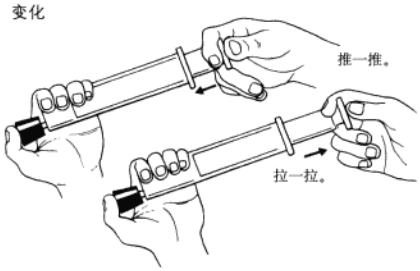
①根据烧瓶选择，耐酸的容器也可以。

1 观察气体压强与体积的关系

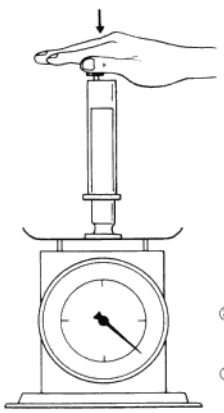
①往注射器里面充入空气之后，塞住橡皮塞




②推拉活塞，观察当手的力量发生变化时，空气体积的变化

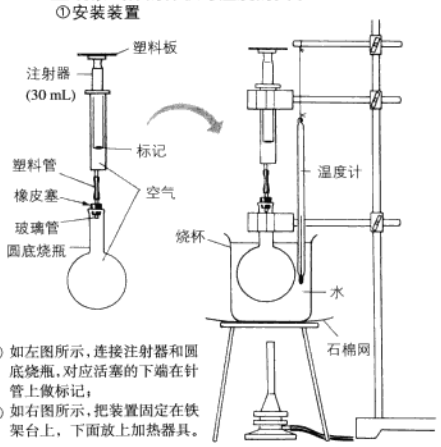



③放在盘秤上并施加压力，测量力的大小和空气的体积



2 观察气体的体积与温度的关系

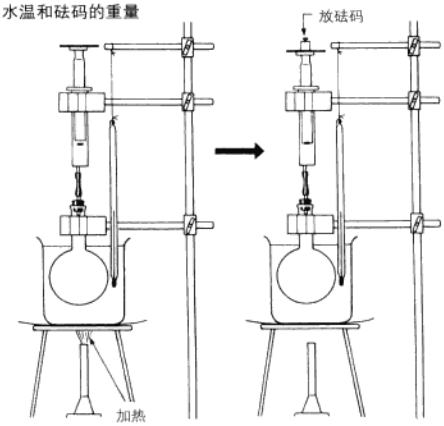
①安装装置



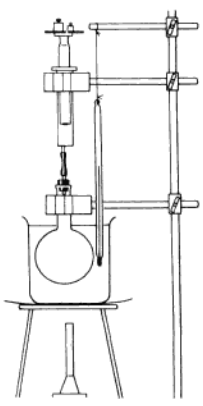

ⓐ 如左图所示，连接注射器和圆底烧瓶，对应活塞的下端在针管上做标记；

ⓑ 如右图所示，把装置固定在铁架台上，下面放上加热器具。

②加热，至活塞开始上移为止，然后把砝码放在活塞顶端的塑料板上，直到活塞的下端与所做标记对齐为止。记录水温和砝码的重量




③再加热，使水温上升几度，然后重做实验②。多做几次这样的实验



1 ① 提示 为了减小活塞与针管之间的摩擦力，把注射器浸在水(或润滑油)中操作比较好。(2 中也一样。)橡皮塞需事先打孔，直到注射器的顶端能够插进为止。

② 提示 推活塞时，为了防止橡皮塞脱落，应用大拇指用力顶住。

③ 提示 要垂直加力，并改变力的大小再做实验。

结果 加大手的力量时，注射器内空气的体积会变小。也就是说，加大压力就等于提高注射器内空气的压强；空气的压强增大，体积就变小。

实验数据举例

| 空气的体积/mL | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|
| 压力/(9.8 × $10^{-3}$ N) | 0 | 0.7 | 1.4 | 2.4 | 3.8 |

2 ① 提示 在注射器的活塞上面粘贴放砝码用的塑料板。把连接注射器的烧瓶放入装有水的烧杯之前，用手的温度使烧瓶变暖一点，然后确认活塞已被推上去。把烧瓶放入水中时，要使烧瓶的球形部分全部浸在水中。

③ 提示 随着水温的上升，活塞和针管之间容易变干，所以应一边润滑这部分一边做实验。另外，为了保证实验条件相同，应尽量在短时间内完成实验。

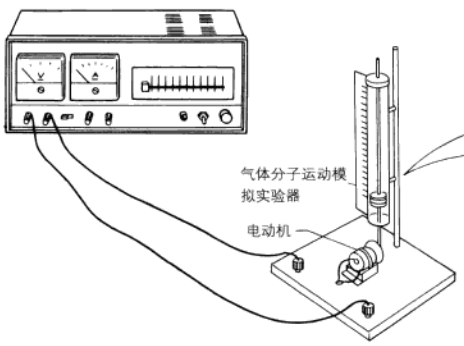
结果 提高水温时，烧瓶和注射器内空气的温度也会随之升高。为了使空气的体积保持一定，砝码的重量就要加大。这与 1 中一样，砝码的重量变大就相当于提高烧瓶和注射器里面的空气压强。对于空气来说，当体积一定时，温度越高压强越大。

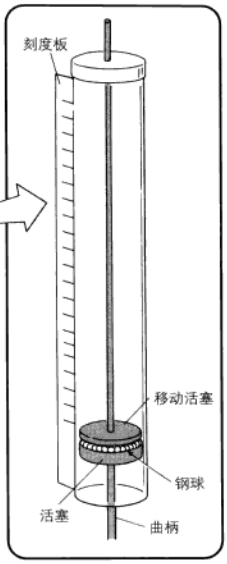
实验数据举例

| 水温(即空气的温度)/℃ | 16 | 23 | 25 | 28 |
|---|---|---|---|---|
| 砝码的重量/(9.8 × $10^{-3}$ N) | 0 | 30 | 50 | 85 |

**【其他方法】使用气体分子运动模拟实验器的方法**

1 把气体分子运动模拟实验器连到电源装置上

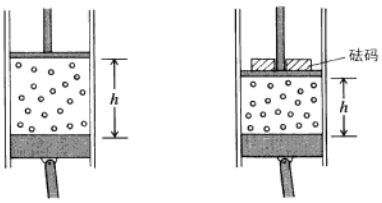



2 观察气体的压强与体积的关系

①不放砝码，启动电动机，测量移动活塞的高度 $h$

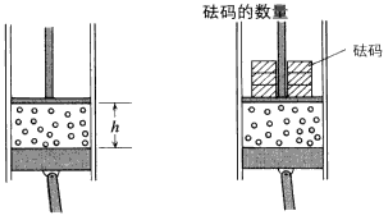
②放上砝码，与①中一样测量高度 $h$



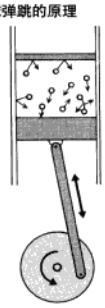

3 观察气体的压强与温度的关系

①把电压设置在 1 V 左右，启动电动机，测量高度 $h$

②稍微提高一点儿电压。为了使移动活塞的高度与①中相同，放上砝码，然后记录砝码的数量




**钢球弹跳的原理**



曲柄在电动机旋转板的带动下，上下运动。曲柄的上下运动带动活塞使钢球弹跳。

**【其他方法】使用气体分子运动模拟实验器的方法**

说明 利用实验器中的气体分子模型，不仅可以观察到肉眼不能直接看到的气体分子运动，还可以观察到产生气体压强的原因以及气体压强随着温度或体积的变化而发生变化的过程。但因其毕竟是模拟实验，所以不能完全按照无规则的分子热运动的真实情况那样操作。

1 说明 在气体分子运动模拟实验中，用钢球作气体分子，然后再把装置各个部分的运动与实际的气体作如下的对应考虑：

- 气体的体积——活塞和移动活塞之间的距离
- 气体的压力——移动活塞和放在其上面的砝码的重量
- 气体的温度——活塞的振动频率（通过改变电源电压改变电动机的旋转频率，从而调节气体的温度）
- 气体的质量(摩尔质量)——圆筒内钢球的个数

提示 钢球不要放得过多，只要铺满活塞的横断面就可以了。

2 ① 提示 电源电压为2 V左右时效果比较好。

② 提示 砝码应一个一个地逐步增加，每加一个做一次实验。

说明 气体的压强是做自由运动的气体分子碰壁之后产生的。在此模拟实验中，弹跳的钢球碰在活塞上，把活塞往上推的过程就相当于这一部分。另外，往活塞上放砝码的做法就如同前一页 1 中用手对注射器施加压力的做法一样，相当于从外部施加的力。在本实验中，稳住电源电压也就稳定了电动机的旋转频率（活塞的振动频率），这就相当于稳定了气体的温度。

用这种模拟实验器观察由体积的变化带来的压强的变化时，可以看出二者之间的大致关系，但不能像玻意耳定律那样给出准确的关系。也就是说，因为模拟实验器的电动机旋转不稳定，即使用得到的数据画出图像，也很难看出其间的反比例关系。

结果 以下是把电源电压设定为2 V时得到的一组实验数据。

| 砝码数 / 个 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 高度 $h$/cm | 40 | 30 | 20 | 15 |

3 ① 提示 这里没有必要在移动活塞上面放砝码。

② 提示 电源电压从1.5 V、2 V逐步增加，每增加 0.5 V 做一次实验。

说明 本模拟实验中，通过提高电源电压增加电动机的旋转频率，相当于提高气体分子的温度。随着气体温度的升高，气体分子的运动会更加剧烈，单位时间内碰壁的次数就会增多，这就等于增加了压强。在这种模拟实验器中增加砝码时，钢球弹跳的空间会随之发生变化，但是当所用砝码的质量为1.5 g左右时，最多只能用 3～4 个砝码。

结果 实验数据举例

| 电源电压 /V | 0.6 | 1.0 | 1.5 |
|---|---|---|---|
| 砝码数 / 个 | 0 | 3 | 6 |

# 33 大气压强实验

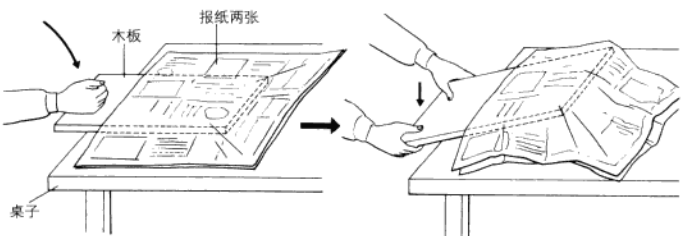
目标 初 通过观察知道地面上存在着由大气产生的压强。
通过观察知道大气压相当于76 cm高的水银柱产生的压强。

【A】木板 报纸① 杯子 明信片 空油桶 橡皮塞 加热器具② 吸盘 砝码 尺 透明塑料板 不透明的空瓶子 手帕 滤纸 火柴 【B】分液漏斗 带阀门的漏斗 玻璃管(内径2 mm) 塑料管(内径3 mm, 4 mm) 黏合剂 四棱木条 U形钉子 铁架台2个 尺

①塑料布也可以。②煤气炉比较好。

## 【A】观察大气压的存在

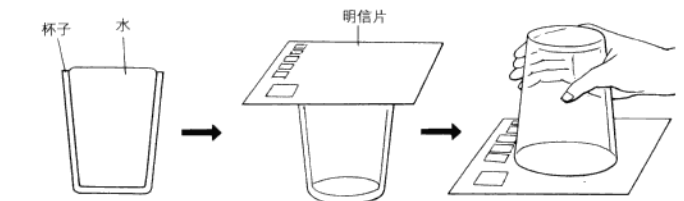
### 1 观察大气朝下方及侧面产生的压强




把木板和报纸照图中所示的样子放好，然后用力猛捶木板的一端，观察木板的情况。

急速下压木板，然后快速停止，观察报纸的变化。

### 2 观察大气朝上产生的压强

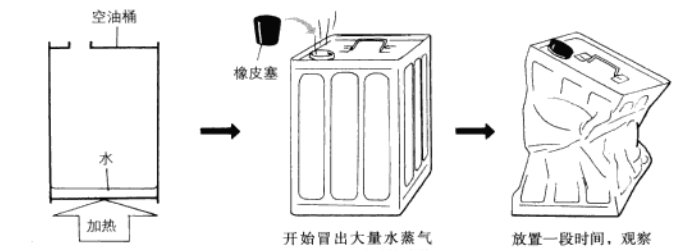



杯子里装满水。

用明信片盖上。

倒置。

### 3 利用水蒸气的凝结过程达到减压目的，观察大气压

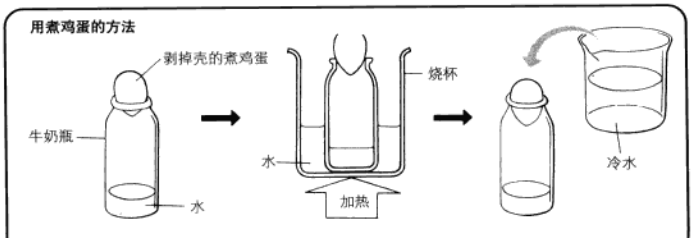



往空油桶中加入少量的水，进行加热。

开始冒出大量水蒸气时，停止加热并快速盖上橡皮塞。

放置一段时间，观察油桶的变化。

**用煮鸡蛋的方法**




往牛奶瓶里加入少量的水，用煮鸡蛋盖住瓶口。

加热，直到瓶中充满水蒸气为止。

把瓶取出，放在烧杯外面，过段时间后浇上冷水。

## 【A】观察大气压的存在

1 提示 最好用长40 cm～60 cm、宽15 cm～20 cm的木板做实验。可以用塑料布代替两张报纸。木板放在桌面上时，使木板的1/3左右伸出桌面。捶木板时可以用木锤代替手。

说明 用力猛捶木板，木板几乎不动，这是因为报纸上方的大气压住了木板。急速下压木板然后又快速停止时，报纸会“钻”到木板下面，这是大气压对报纸横向起作用的结果。

2 提示 倒置杯子时，为了慎重起见，最好用手托住明信片，待杯子完全倒立之后再松手。杯子里面不一定要装满水。

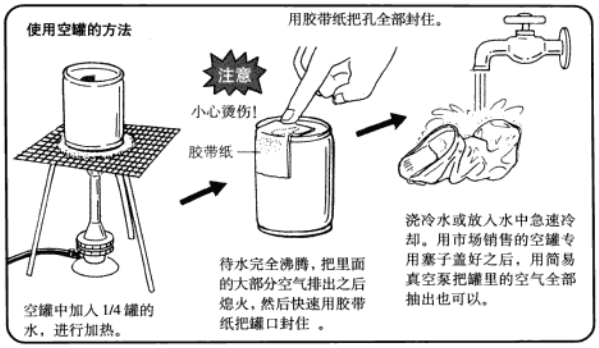
说明 杯子倒置时，明信片和水都不会掉下，这是因为大气压对明信片有一个自下而上的支撑作用。

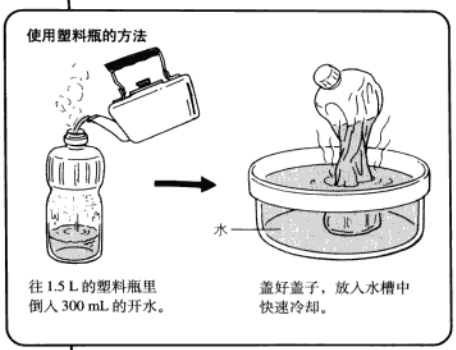
3 提示 要使用稍微大一点的橡皮塞，并且要盖紧。

把火熄灭，盖好橡皮塞之后放置一段时间，可以观察到相同的现象。但是，如果浇上冷水，就可以在短时间内观察到其变化。

说明 油桶会往里凹，这是由于水蒸气的凝结使得油桶内部的压强变小的缘故。油桶由于桶内的压强变小而凹进去，说明桶外的大气压起了作用。

参考 像左边方框内的小图表示的那样，也有人用煮熟的鸡蛋观察的方法。加热后的牛奶瓶从烧杯中取出来后浇上冷水，会由于瓶内气体的压强变小，使鸡蛋被吸进瓶口。实验用的鸡蛋，应尽量煮得老一点，否则剥壳时会把鸡蛋弄破。



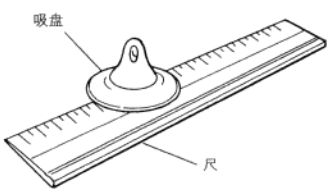




**4** 用吸盘测定大气压

①将吸盘贴在平板下面，挂上砝码，观察吸盘脱离平板时力的大小（即砝码的重量）

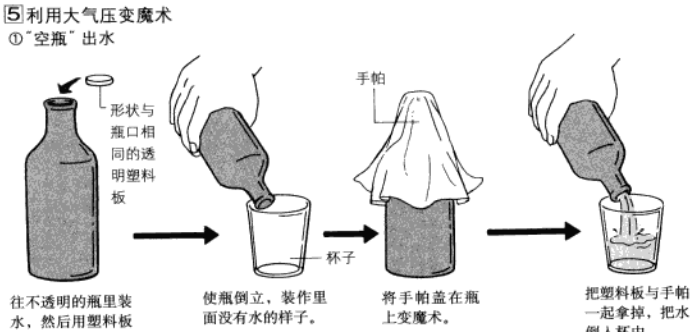
②测量吸盘直径，求出吸盘面积，结合①中的结果计算大气对 1 $cm^2$ 吸盘施加的压力(大气压)



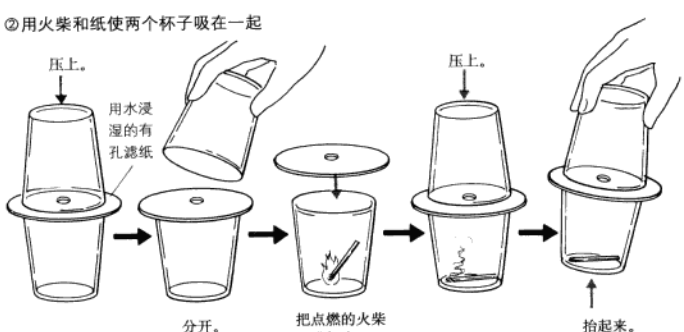




**5** 利用大气压变魔术

①"空瓶"出水




②用火柴和纸使两个杯子吸在一起




参考 如上面框中的内容所示，也有用空罐或塑料瓶进行实验的方法。如果用罐，挤扁时发出的声音会比较大；如果用塑料瓶，则不仅易于操作，变形明显，而且还能再利用。

注意 空罐里面装上水烧开时和从火上取下来封口时，要特别注意避免烫伤。如果发生烫伤，要用冷水冲洗 10 min 左右并去医院。

**4** 提示 吸盘使用次数多了吸力就会变小。这时，放入开水中浸泡 5 min 左右再晾干就能恢复原状。

实验数据举例

| 吸盘的直径 /cm | 砝码的重量 /9.8 N | 大气压 /($9.8 \times 10^4$ Pa) |
|---|---|---|
| 6 | 13 | 0.5 |
| 4 | 6 | 0.5 |

说明 测量结果会比理论值小，这是因为吸附面不是处在理想的状态下。这时，吸盘被施加的力拉开，所以吸附面积变小了。

注意 当吸盘脱离平板时，吸盘和平板会朝着意想不到的方向飞出，所以实验时一定要注意安全。

**5** ①提示 为了不被学生看出破绽，最好在距学生稍微远一点的地方（如讲台上）做实验。作为大气压的导入实验来做。

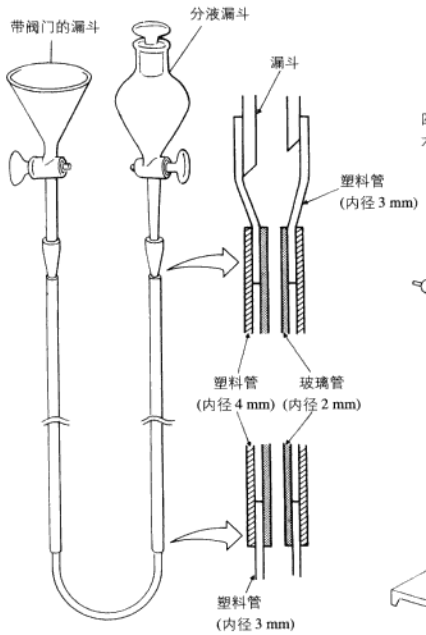
说明 瓶子倾斜时水不会流出，是因为有大气压顶着平板的缘故。

② 参考 也可以用蜡烛代替火柴。把点燃的火柴放入集气瓶，然后用湿的玻璃盖住集气瓶，玻璃就会被吸住。

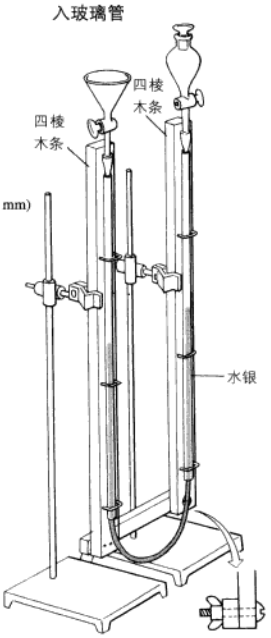
说明 火柴散发的热量使杯子里面的空气膨胀而被挤到外面。盖在上面的杯子冷却后，杯子里面的气压会下降，两个杯子在大气压的作用下紧紧地吸在一起。

**【B】观察大气压的大小（托里拆利实验）**

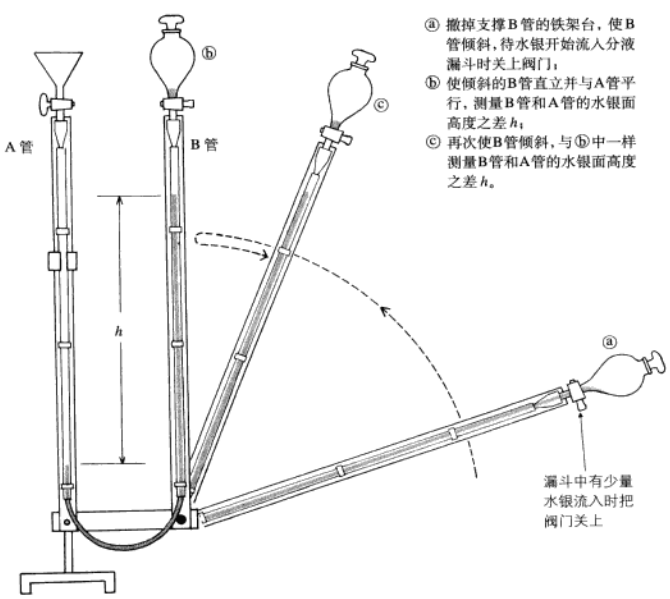
1 安装装置




2 用四棱木条把装置固定在铁架台上，然后把水银倒入玻璃管




3 观察大气压




ⓐ 撤掉支撑B管的铁架台，使B管倾斜，待水银开始流入分液漏斗时关上阀门；
ⓑ 使倾斜的B管直立并与A管平行，测量B管和A管的水银面高度之差 $h$；
ⓒ 再次使B管倾斜，与ⓑ中一样测量B管和A管的水银面高度之差 $h$。

**【B】观察大气压的大小（托里拆利实验）**

1 提示 所使用的玻璃管或塑料管要洗干净并控干水分。为了尽量减少水银的用量，最好使用内径小的玻璃管。但是，由于内径小的玻璃管容易破碎，所以使用时外面要用塑料管包起来。塑料管和玻璃管(或塑料管和塑料管) 相接的地方要用黏合剂粘牢。

分液漏斗和阀门上要涂上真空润滑剂，以确保不漏气。

2 提示 在用来固定漏斗的四棱木条上安装装置时，要用 U 形钉子固定。

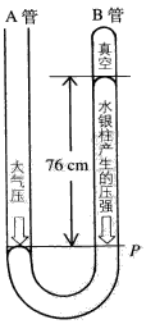
使用水银时，应先除掉表面的灰尘。在滤纸上打两三个小孔之后倒入水银，然后过滤，除掉灰尘即可。把水银倒入玻璃管时，应在两个管的漏斗阀门都打开的状态下从带阀门的漏斗倒进去。此时，为了避免气泡一同进入水银，应轻轻地倒。如有气泡进入水银，轻轻地敲击管子使气泡逸出水银面即可。

注意 不要用手直接接触水银，应戴上胶皮手套进行操作。不要把水银洒在外面。

3 结果 以下是一组实验数据。

| B 管的倾斜程度 | 垂直 | 小 | 大 |
|---|---|---|---|
| 水银面的高度之差 $h$/cm | 75 | 75 | 75 |

参考 A 管和 B 管的水银面高度之差与大气压的关系可说明如下：




在左图所示的状态下水银达到平衡，说明作用在 A 管水银面上的大气压与 B 管内 76 cm 高的水银柱产生的压强相等。因为在 B 管内 $P$ 点上的水银压强是每平方厘米上 $76 \times 1 \times 13.6$ (水银的密度)g $= 1\,033.6$ g 的水银产生的压力，所以大气压可计算如下：

$1\,033.6 \times 10^{-3} \times 9.8 \times 10^{4}$ Pa $\approx 101.3$ kPa

# 34 观察气体的压强与体积的关系

**目标** 初 知道对一定量被封闭的空气或其他气体来说，如果受到从外部施加的力而使体积变小时，气体的压强会变大；增大体积，压强则会变小。

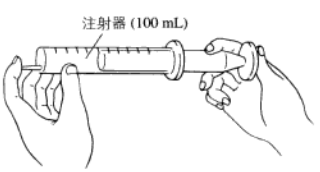
观察气体的压强与体积之间的关系的规律性。

**材料与器具** 注射器① 盘秤② 橄榄油③ 橡皮塞④ 穿孔器 弹簧测力计⑤ 绳子⑥

①使用50 mL或100 mL的灌肠器也可以。②最大值为80 N～120 N的。③凡士林也可以。④直径适当的。⑤最大值为80 N～120 N的。⑥受到100 N左右的拉力作用也不会断的结实绳子。

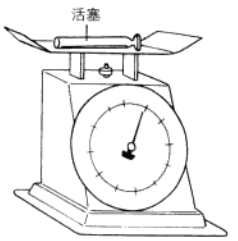
**1** 推注射器的活塞并进行观察

①用身体感受气体压强的存在




用手指顶住注射器顶端的小孔之后推活塞。

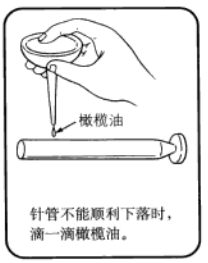
②测量活塞的重量




③观察活塞和针管之间的摩擦情况



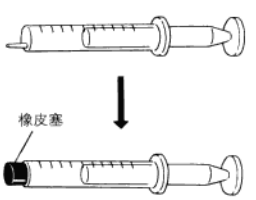
使注射器直立，针管能够顺利下落即可。




针管不能顺利下落时，滴一滴橄榄油。

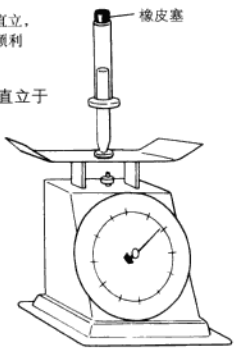
④在针管上安装橡皮塞

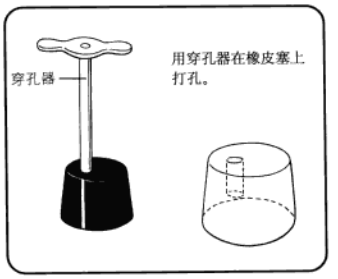
把活塞的顶端对准某一刻度。



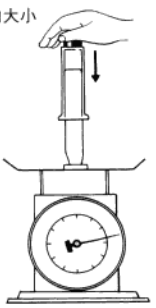

如图所示安装橡皮塞，以防针管漏气。

⑤使注射器直立于盘秤上



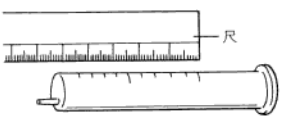




⑥用手向下推，读取气体的体积，同时读取力的大小



从上面对橡皮塞施加压力，使活塞的顶端对准某一刻度，然后读取力的大小。

⑦求针管的横截面积，算出压强并汇总于表格中




测量从针管顶端至最大值的长度，然后用测出的长度（单位：cm）除刻度的最大值（单位：mL）求得横截面积（单位：$cm^2$）。压强是用⑥中测出的力的大小减去②中测出的重量值后除以横截面积得到的值加上大气压。另外，应把压强、体积、面积等同时填入表中。

**1** ① 说明 亲身感受随着气体体积的减小而增大的压强，猜想压强和体积之间的关系。

② 说明 在⑥中用盘秤测出的力的大小，是由空气产生的压力与活塞重量之和。因此这里应先测出活塞的重量。

③ 提示 因为活塞和针管间的空隙漏气或摩擦过大而使针管不能顺利下落时，应把活塞和针管用水洗净并擦干，然后在界面上涂上橄榄油。正确的涂法是：在活塞的顶端滴一滴油，然后涂匀。

④ 提示 活塞的顶端对准任一刻度都行。不过，考虑到 **2** 中的减压实验，最好对准中间的刻度。

⑥ 提示 由于是用手从上往下推，所以盘秤的指针左右摇摆，很难读数。最好是两人一组进行实验，这样一个人一边施力一边读取气体的体积，另一个人则读取指针左右摇摆的平均值。至少测量四次。每次都要改变力的大小，同时注意先定好体积再读取力的大小。比如，第一次的气体体积定为25 mL，第二次就定为22.5 mL，第三次定为20 mL，第四次定为17.5 mL，第五次定为15 mL，然后每次读取盘秤的读数。另外，对每个体积的测量要反复进行几次之后取平均值。

当然，如果针管的横截面积较大，盘秤也应使用量程大的。另外，要想得到更加准确的数据，也可考虑用铁架台固定平板从而便于施力；但是，因为力变大时会影响其稳定性，所以要格外注意安全，不要发生危险。

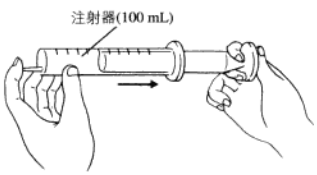
⑦ 说明 横截面积和压强可通过以下公式求得：

$$\text{横截面积}=\frac{\text{针管的最大容积}}{\text{从顶端到刻度最大值的长度}}$$

$$\text{气体的压强}=\frac{(⑥\text{中力的大小}-②\text{中的重量})}{\text{横截面积}}+\text{大气压}$$

## 2 拉注射器的活塞并进行观察

①用身体感觉气体压强的减小

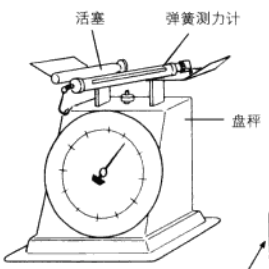



用手指顶住注射器的顶端，然后拉活塞。

②在活塞的后部系上绳子

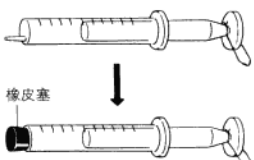



③测量活塞和弹簧测力计的重量




④往针管上安装橡皮塞

把活塞的顶端对准某一刻度。




如图所示安装橡皮塞，以防漏气。




⑤把弹簧测力计吊在活塞后部的绳子上




观察吊挂弹簧测力计时发生的变化。

⑥用手拉弹簧测力计，读取气体的体积，同时用弹簧测力计读取力的大小

根据测量值进行与 1 中同样的计算，并汇总于表中。

**实验数据举例**

推活塞的情况(1)

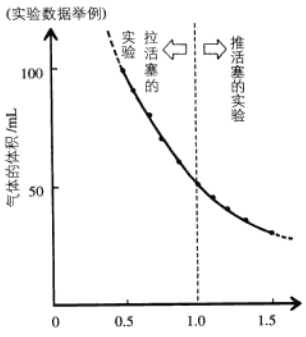
| 气体的体积 / mL | 力的测量值 / 9.8 N | 加在活塞上的力 / 9.8 N | 气体的压强 / ($9.8 \times 10^4$ Pa) |
|---|---|---|---|
| 50 | 0 | 0 | 1.000 |
| 45 | 1.05 | 0.9 | 1.098 |
| 40 | 2.30 | 2.15 | 1.234 |
| 35 | 3.70 | 3.55 | 1.386 |
| 30 | 5.70 | 5.55 | 1.603 |

拉活塞的情况(2)

| 气体的体积 / mL | 力的测量值 / 9.8 N | 加在活塞上的力 / 9.8 N | 气体的压强 / ($9.8 \times 10^4$ Pa) |
|---|---|---|---|
| 60 | 1.3 | 1.57 | 0.829 |
| 70 | 2.3 | 2.57 | 0.721 |
| 80 | 3.1 | 3.37 | 0.634 |
| 90 | 3.7 | 3.97 | 0.568 |
| 100 | 4.2 | 4.47 | 0.514 |

3 把 1 和 2 中的结果用图像表示出来

(实验数据举例)




2 ① 说明 亲身感受随着气体体积的增大而减小的压强。一边与 1 中的情况作对比，一边思考体积与压强的关系。

② 提示 这根绳子是拉弹簧测力计的钩子用的，所以应该是施加近 100 N 的力也不能拉断的结实的绳子。

③ 说明 如同从 1 ②中测得的活塞的重量在 1 ⑦的计算中有用一样，这里的活塞和弹簧测力计的重量在⑥的计算当中也会用到，所以要先测量出来。

④ 提示 把活塞的顶端对准任一刻度都行，但考虑到与 1 的关系，最好对准 1 ④中所对准的位置。另外，在进行操作之前，应该和 1 ③中一样先了解摩擦情况。如果是做完 1 中的实验接着做 2 中的实验，就没有这个必要了。

⑤ 说明 吊挂弹簧测力计时，观察活塞稍微往下移动的现象，⑥中的计算就容易理解了。注射器要保持竖直状态。

⑥ 提示 和 1 ⑥中一样，两个人一组进行。一个人手握针管拉弹簧测力计并读取针管上显示的气体体积，另一个人从弹簧测力计上读取力的大小。此外，请参考 1 ⑥中的提示。如果第一次的体积是25 mL，则以后依次为 30 mL、35 mL、40 mL、45 mL 比较合适。另外，也可以把针管固定在铁架台上，但是用手握着更便于调节，并且不会损坏器具。

说明 计算方法与 1 中相同，但这里的拉力包括手拉活塞的力、活塞的重量以及弹簧测力计的重量，所以压强应该是

$$\text{压强} = \text{大气压} - \frac{(\text{⑥中力的大小} + \text{③中的重量})}{\text{1 ⑦中求得的横截面积}}$$

3 说明 以压强为横轴、气体的体积为纵轴作图(译者注：这种做法不规范。规范的做法是，以体积为横轴、压强为纵轴作图)。在实验数据举例中，针管的横截面积为9.20 $cm^2$，大气压是以$9.8 \times 10^4$ Pa为准计算的。通过图像可以看出，气体的压强与体积成反比。

# 35 测量物体在液体中受到的浮力

目标 初

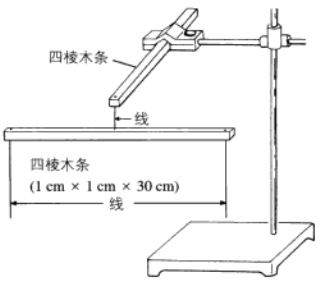
观察物体在液体中因浮力的影响而变轻的现象。
通过观察知道物体在液体中所受浮力的大小与物体排开液体的重量相等。

**四棱木条**(横截面积1 cm×1 cm) **线 铁架台 金属物体**① **烧杯3个 粗铁丝 尺 透明胶带 橡皮筋 气球 大型玻璃圆筒 瓶底被切除的空塑料瓶**② **玻璃管 橡皮塞 弹簧测力计 刻度量筒 胶卷盒 食盐 鸡蛋 托盘天平**

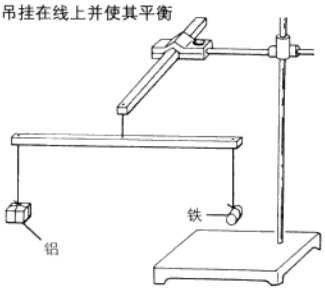
①准备质量相同的各种金属物体，最好使用测量密度用的物体。
②切除方法请参照3①中的提示。

**1** 观察物体在水中变轻的现象

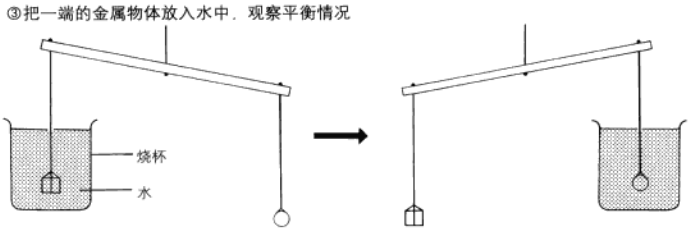
①用四棱木条和线制作杠杆




②把两个质量相同但种类不同的金属物体吊挂在线上并使其平衡

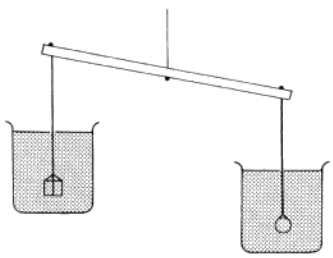



③把一端的金属物体放入水中，观察平衡情况



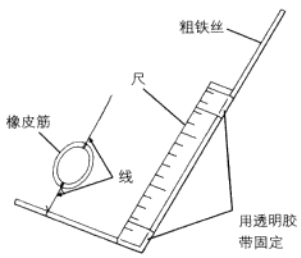

将一端的金属物体放入水中。　　将另一端的金属物体放入水中。

④把两边的金属物体都放入水中，观察平衡情况



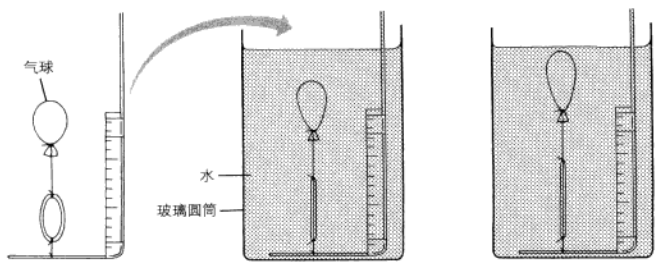
**2** 观察浮力的大小和方向

①制作橡皮秤




②把气球系在橡皮秤上，然后放入水中，观察气球浮出的方向和橡皮筋的伸长情况

③把气球吹得比②中更大，把橡皮筋的伸长情况与②中作比较




**1** ① 提示 在用作杠杆的四棱木条的中间和两端(到中点的距离相等)打孔，并在每个孔上系上线，使其平衡。

② 提示 用身边的材料(如橡皮或石头)代替金属物体也可以，但要注意必须是质量相同的。

③ 提示 把体积大的物体放入水中会失去平衡，因此要用手把烧杯扶好并往上托，使物体完全浸在水中。(④中也一样。)
结果 通过杠杆失去平衡的现象可以知道，物体在水中会变轻。

④ 结果 物体放入水中变轻的程度根据每个物体的具体情况而有所不同。

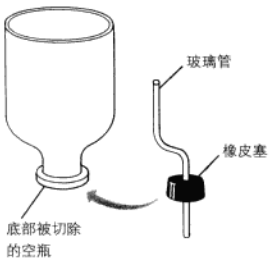
**2** ① 提示 用15 cm左右的尺比较好。

② 提示 气球要吹得与玻璃圆筒的大小相适。把1 L的瓶子的上部剪掉或用比较深的水槽代替大型玻璃圆筒也可以。
结果 把连接在橡皮秤上的气球放入水中时，气球会往上浮出水面。通过这一现象可以知道，水对气球的力(浮力)是朝上的。

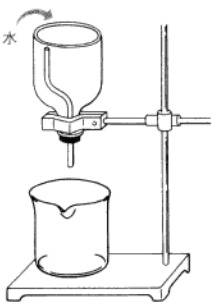
③ 结果 通过气球吹大时橡皮筋也会伸长的现象可以知道，物体变大时，受到的浮力也会变大。

**3** 观察浮力的大小

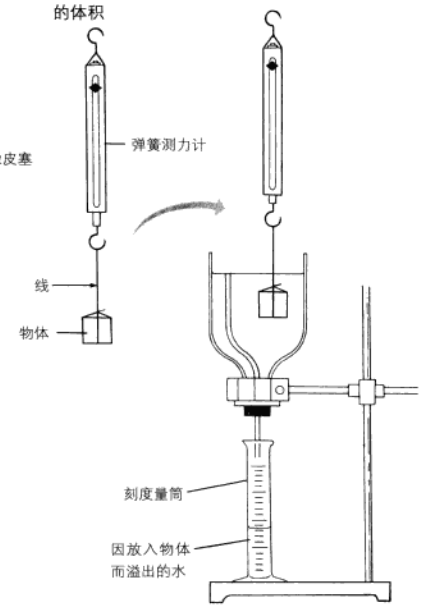
①制作测量体积用的装置




②把测量体积用的装置固定在铁架台上并注入水

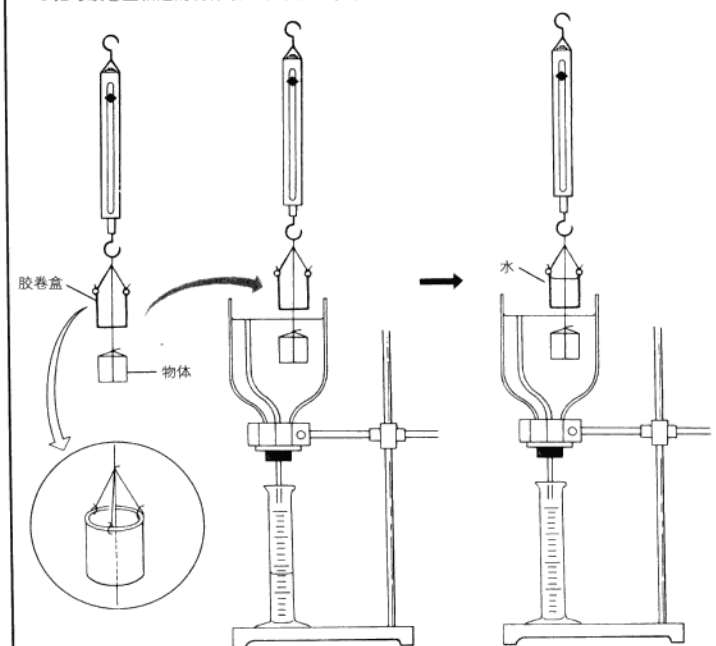



③把物体放入水中，测量浮力的大小和溢出水的体积




在空气中测量物体的重量，然后放入水中，测量重量与溢出水的体积。

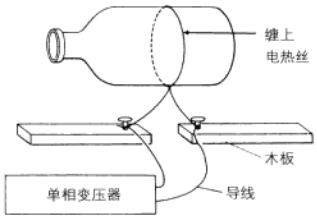
④把与胶卷盒相连的物体放入水中，观察浮力与溢出水的重量的关系




在空气中测量物体和胶卷盒的重量之和，然后只把物体放入水中，再测二者的重量之和。

把溢出的水放入胶卷盒中，再测二者的重量之和。

**3** ① 提示 切除瓶底时，先在瓶的外侧沿着平行于瓶底的一圈画上线，然后用锉刀在线上锉4～5处，最后如下图所示缠上电热丝并通电切除。




② 提示 水要加到从玻璃管下端流出为止。当玻璃管的顶端和水面高度达到一致时，水就不会流出。此后要注意避免震动。

③ 提示 测量结束后，把浮力的大小(物体在空气中的重量－物体在水中的重量)和溢出水的重量进行比较。溢出水的重量可用测得的体积乘以密度(1 g/cm³)和重力加速度计算得出。

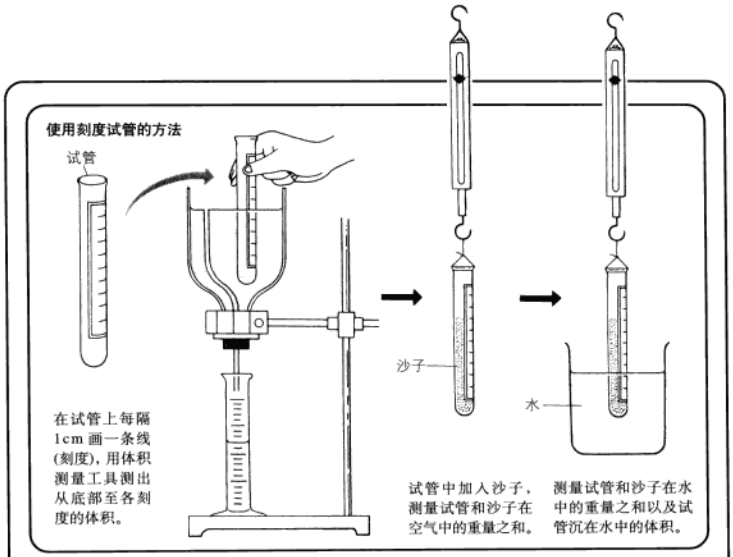
结果 以下是一组实验数据。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 物体在空气中的重量/ ($9.8\times10^{-3}$ N) | 22.0 | 24.0 | 100.0 |
| 物体在水中的重量/ ($9.8\times10^{-3}$ N) | 14.0 | 21.0 | 88.0 |
| 物体受到的浮力/ ($9.8\times10^{-3}$ N) | 8.0 | 3.0 | 12.0 |
| 溢出水的体积/ mL | 8.2 | 3.2 | 11.9 |
| 溢出水的重量/ ($9.8\times10^{-3}$ N) | 8.2 | 3.2 | 11.9 |

④ 提示 用线把胶卷盒吊起来时，应在盒的周围打上几个小孔并用线绑好。考虑到盒的稳定性，在三个地方打孔比较好。另外，为了在盒子上吊挂物体，应在盒的底部打孔、穿线，然后为了防止漏水再用黏合剂把孔堵住。

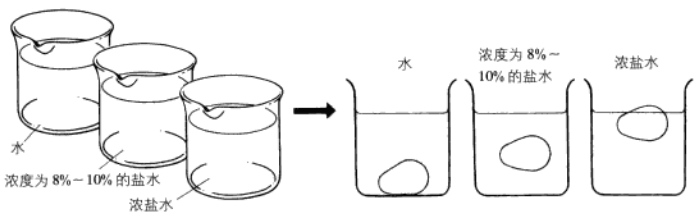
结果 以下是一组实验数据。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 物体在空气中的整体重量/ ($9.8\times10^{-3}$ N) | 26.0 | 29.0 | 104.0 |
| 物体在水中的整体重量/ ($9.8\times10^{-3}$ N) | 18.0 | 26.0 | 92.0 |
| 物体受到的浮力/ ($9.8\times10^{-3}$ N) | 8.0 | 3.0 | 12.0 |
| 溢出水的体积/ mL | 8.3 | 3.1 | 12.0 |
| 加水之后的重量/ ($9.8\times10^{-3}$ N) | 26.2 | 29.0 | 104.0 |



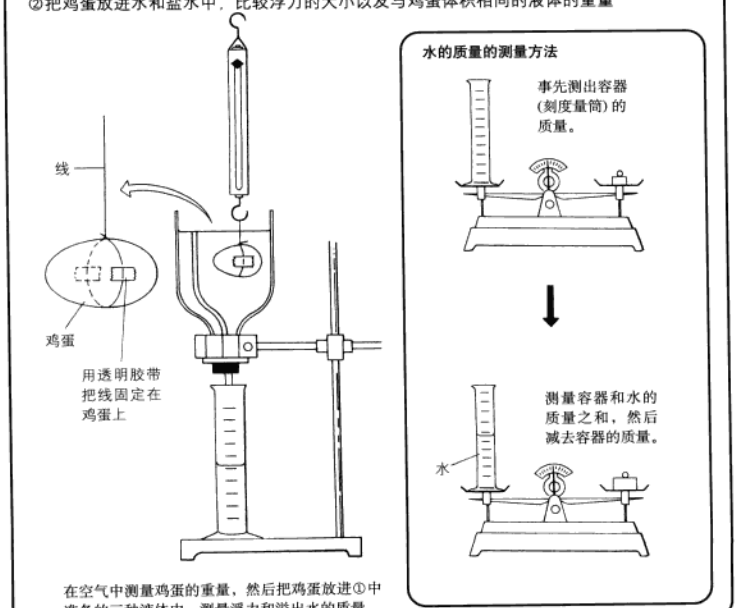

**4** 观察浮力的大小随着液体的种类不同而改变的情况

①把鸡蛋分别放入水和盐水中




准备水和不同浓度的盐水。　　把鸡蛋放入杯中。

②把鸡蛋放进水和盐水中，比较浮力的大小以及与鸡蛋体积相同的液体的重量




在空气中测量鸡蛋的重量，然后把鸡蛋放进①中准备的三种液体中，测量浮力和溢出水的质量。

**参考** 这里介绍的是利用刻度试管观察浮力大小的方法。利用这种方法，可以通过改变物体沉在水中的体积，连续观察体积变化和浮力变化的关系，但是不能测出浮力的大小。

在试管上画刻度时，可以把画好刻度的纸条用透明胶带粘到试管上，也可以直接用油性水彩笔画在试管上。下面是一组可供参考的实验数据。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 物体在空气中的重量/ $(9.8\times10^{-3}\ N)$ | 55.0 | 55.0 | 55.0 |
| 试管的体积刻度 | 3.0 | 5.0 | 7.0 |
| 物体在水中的重量/ $(9.8\times10^{-3}\ N)$ | 47.0 | 43.0 | 37.0 |
| 物体受到的浮力/ $(9.8\times10^{-3}\ N)$ | 8.0 | 12.0 | 18.0 |
| 试管沉在水中的体积/ mL | 7.4 | 12.4 | 18.2 |
| 溢出水的重量/ $(9.8\times10^{-3}\ N)$ | 7.4 | 12.4 | 18.2 |

**4** ① **提示** 浓盐水最好是把食盐放在水中并尽可能溶解的水(饱和食盐水)。浓度为8%～10%的食盐水是把部分浓盐水倒入烧杯之后，加以稀释制成的。

**结果** 放在水中的鸡蛋会下沉，放在浓度为8%～10%的盐水中的鸡蛋会悬浮在水中，放在浓盐水中的鸡蛋则会浮出水面。通过这个实验可以知道：即使是同样的物体，放入不同的液体中，也会因为液体的种类不同而受到不同的浮力作用。

② **提示** 用线捆绑鸡蛋很不容易，可以用透明胶带帮助固定。

**结果** 以下是一组实验数据。

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 鸡蛋在空气中的重量/ $(9.8\times10^{-3}\ N)$ | 54.0 | 54.0 | 54.0 |
| 鸡蛋在液体中的重量/ $(9.8\times10^{-3}\ N)$ | 2.5 | 0 | 0 |
| 鸡蛋受到的浮力/ $(9.8\times10^{-3}\ N)$ | 51.5 | 54.5 | 58.5 |
| 溢出液体的体积/ mL | 52.0 | 52.0 | 52.0 |
| 溢出液体的重量/ $(9.8\times10^{-3}\ N)$ | 52.0 | 54.5 | 58.5 |

材料与器具

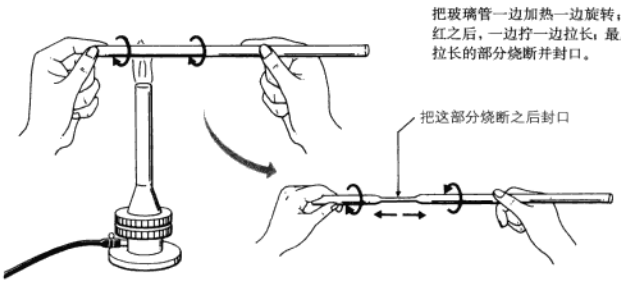
玻璃管　泡沫塑料　煤气炉　小刀　烧杯　刻度量筒（200 mL 以上的）　塑料空瓶（1 L 的酱油瓶）

# 36 制作浮标

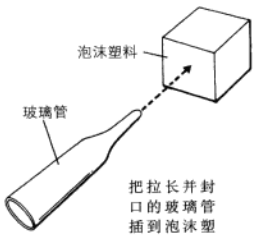
目标 小初

制作浮标。
了解浮标的浮沉原理。

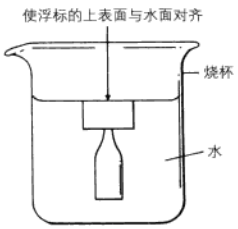
1 把玻璃管拉长、切断之后，封口



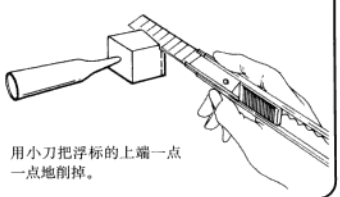

2 在玻璃管上安装浮标



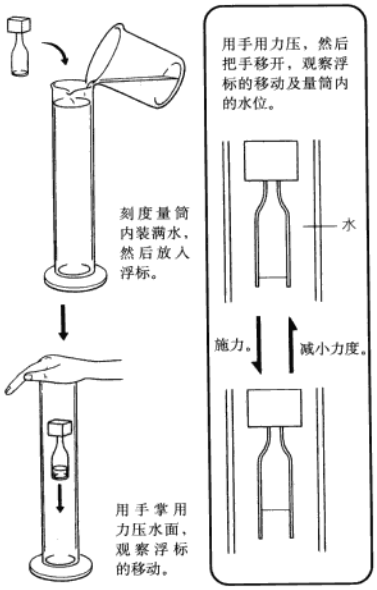

3 调整浮标的大小，使之能够浮在水面上



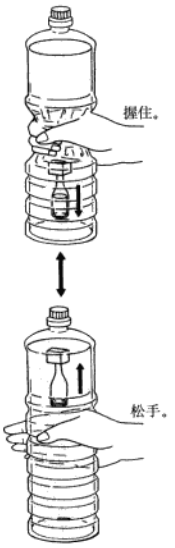

浮标的调整方法




4 当浮标完全浮在水面上时，对水施加压力




5 对塑料酱油瓶从侧面施力，思考浮标的工作原理

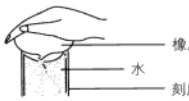



1 提示 加热时温度不要过高，以免玻璃管变得太软；否则会过分拉长，导致玻璃变薄，拉长的部分容易破碎。

2 提示 浮标的大小会在后面调整，所以这里可以安装稍微大一点的。当插口变得有些松弛时，要及时换上合适的浮标。

3 说明 浮标的上部即使稍微露出水面一点儿也会导致浮标整体下沉，从而使得学生误认为这是由于浮标从上面往下压造成的。

4 提示 反复多次用手掌对水施加压力，然后再把手掌移开，观察实验现象。如果用手施加压力的效果不好，可以使用橡皮球等物体代替手掌。




如果不是分组实验而是学生各自实验，可用试管代替刻度量筒，同时浮标也要做小一点。

此时可用大拇指对水施加压力。

说明 对水施加压力时浮标会下沉，停止施压，浮标又会浮上来。思考浮标里面的水量与浮沉的关系。

5 提示 由于酱油瓶的侧面凹凸不平，所以看不到浮标里面水位的上升或下降。这里应让学生注意力的作用方向与浮标运动方向垂直的现象。

# 37 测量物体在空气中受到的浮力

**目标** 初 知道气体中的物体与液体中的物体一样，会受到浮力的作用，其大小与物体排开的气体的重量相等。

**气体打火机 塑料袋① 橡皮筋 电子台秤 刻度量筒 水槽 气体瓶 石灰石 盐酸(6 mol/L) 小型试管 塑料容器②**

①尺寸为 18 cm × 28 cm。②容积为 400 mL 左右的厨房用中性洗涤剂容器。

**1** 用气体打火机观察空气的浮力

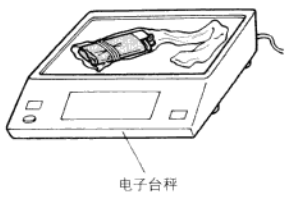
①制作装置



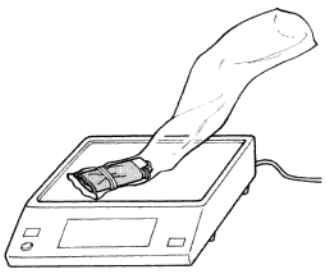

把塑料袋内部的空气全部排出之后用橡皮筋扎紧，以防漏气。




②测量整套装置的质量




③打开气体打火机的气门，待塑料袋充气膨胀之后测量其质量



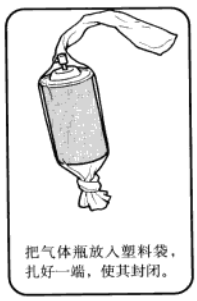
④用排水取气法测量气体的体积



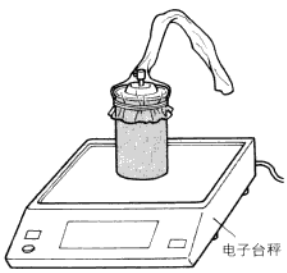

**2** 用气体瓶观察空气的浮力

①制作装置

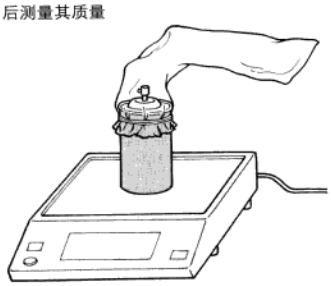



②测量装置的质量




③打开瓶的气门，待塑料袋内充满气体之后测量其质量



④用排水取气法测量气体的体积




**1** 注意 本实验应在没有火的地方进行。

结果 可以确认，从打火机中放出气体使塑料袋膨胀时质量变轻。

实验数据举例

| | |
|---|---|
| 原来的质量/g | 14.22 |
| 打开气门之后的质量/g | 13.86 |
| 浮力的大小/$(9.8 \times 10^{-3}$ N) | 0.36 |
| 气体的体积/mL | 240 |
| (空气的密度×气体的体积)/g | 0.31 |

**2** 提示 说明时，为了使学生容易理解，气体最好使用比空气重的二氧化碳。用排水取气法测量气体体积时，则最好选用不易被水溶解的气体，如氧气等。

结果 与 **1** 一样，可以确认打开气门放出气体之后质量会变轻。

实验数据举例

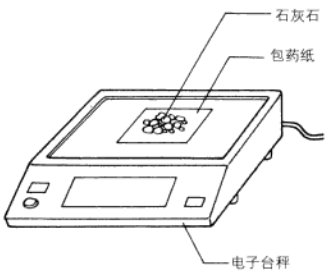
| | |
|---|---|
| 原来的质量/g | 130.8 |
| 打开气门之后的质量/g | 130.4 |
| 浮力的大小/$(9.8 \times 10^{-3}$ N) | 0.4 |
| 气体的体积/mL | 320 |
| (空气的密度×气体的体积)/g | 0.41 |

说明 与液体中的物体一样，空气中的物体会受到浮力的作用。但是，由于空气的浮力远小于物体的重量，所以常常被忽视。比如，用托盘天平测出质量为 100 g 的木块的质量，实际大于 100 g，这是因为与 100 g 的砝码相比，同样是 100 g 的木块的体积要大得多，所以木块受到的浮力大于砝码受到的浮力。

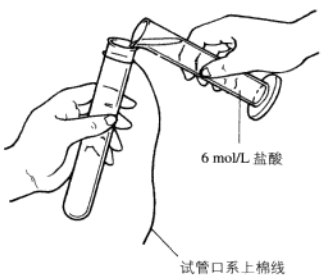
物体在液体中受到的浮力，可以用物体在空气中的重量减去物体在液体中的重量所得到的差来表示，但空气中的浮力就不能用此方法求得。这里就利用“即使是质量相同的物体，如果体积不同，重量的大小也会不同”的现象，让学生理解空气中也有浮力。

## 3 利用化学反应中产生的气体观察空气的浮力

①称取石灰石



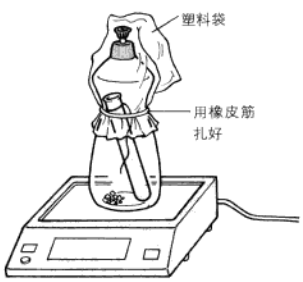

②量取盐酸之后倒入试管




③把石灰石和装有盐酸的试管放进塑料容器中




④用塑料袋罩住塑料容器，测量整个容器的质量



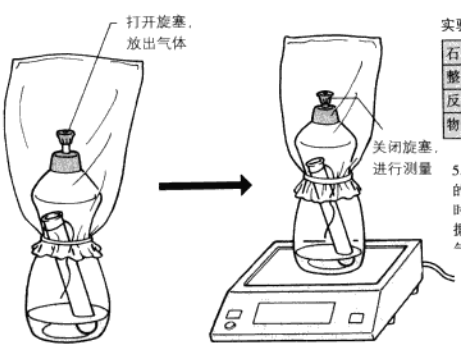

⑤使盐酸和石灰石起反应




⑥当容器内充满二氧化碳因而膨胀之后，测量其质量



⑦把气体放进塑料袋，然后测量质量




实验数据举例

| | |
|---|---|
| 石灰石的质量 /g | 5.10 |
| 整个容器的质量 /g | 76.55 |
| 反应后的质量 /g | 75.01 |
| 物体受到的浮力 /($9.8 \times 10^{-3}$ N) | 1.54 |

5.10 g 石灰石($CaCO_3$)中所含 $CO_2$ 的质量是 2.24 g。当它变成气体时，体积是1.14 L，所以在上述数据中，浮力的理论值是 1.14 L 空气的重量—— $16.0 \times 10^{-3}$ N。

**3** 说明 这里要利用化学反应中产生的气体。本实验应在理解质量守恒定律的基础之上进行，不然难以理解浮力。另外，为了尽可能简单地解释重量随着体积的增加而减小的现象，气体不要使用比空气轻的氢气，而要使用二氧化碳。

① 提示 如果希望重量变化(浮力)大小为$9.8 \times 10^{-3}$ N 左右，就需使用 700 mL 的二氧化碳进行反应，因此需用 4 g～5 g 的石灰石。

② 提示 如果用6 mol/L的盐酸使4 g～5 g石灰石完全反应，需要 14 mL～20 mL 盐酸。盐酸的量要根据石灰石的量而定。

③ 提示 为了防止盐酸流出，要抓住试管上的线轻轻地放进去。

④ 提示 尽量把塑料袋里面的空气抽掉。

⑤ 提示 使容器倒置之前，要确认旋塞已经关闭。

⑥ 说明 如果容器内的压强变大，有时气体会从容器口漏出，但给塑料袋造成的压力不大时不会漏到外面。本实验的主要目的是证明容器的膨胀对浮力大小的影响。教学中本实验可以省略。

⑦ 提示 要在容器的负担过大之前打开旋塞。质量的测量要等石灰石和盐酸充分反应之后，关闭旋塞进行。

说明 如果把④中测得的整个容器的重量设为$G_1$，⑦中测得的反应后的重量设为$G_2$，因为体积增加而受到的浮力便是 $G_1 - G_2$。

材料与器具

烧杯3个　加热器具　温度计2个　真空罩①　真空泵

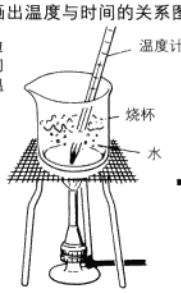
①也可以用排气瓶。

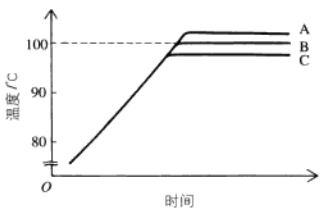
# 38 观察沸点与大气压的关系

目标　观察沸点随着大气压发生的变化，即气压低时沸点低，气压高时沸点也高。

1 加热水，画出温度与时间的关系图像并观察沸点

一边搅拌，一边每隔一定时间测量一次水温并作记录。

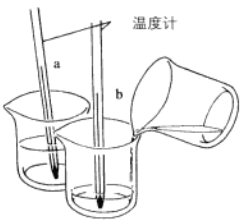


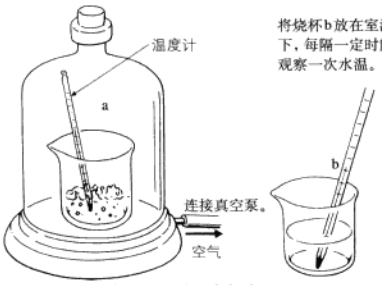

标出测量值，用线连接画成图像。水平线对应的温度就是沸点。

2 把35℃～40℃的水分盛在两个烧杯中，然后把一个烧杯放入真空罩进行观察

①把35℃～40℃的水分盛在两个烧杯中　②将一个烧杯放入真空罩进行观察




往1中用过的热水中加入冷水，调至35℃～40℃，然后分盛在两个烧杯中。

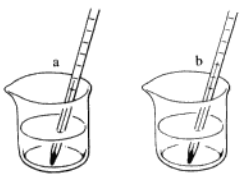



将烧杯b放在室温下，每隔一定时间观察一次水温。



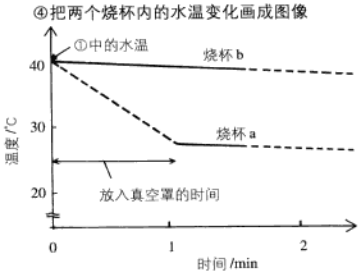

将烧杯a放入真空罩，一边用真空泵抽出空气，一边进行观察。

③从真空罩中取出烧杯a，测量水温

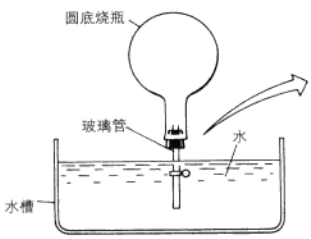



每隔一定时间，同时测量一次两个杯中的水温。

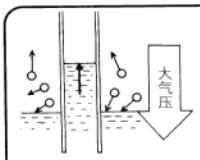
④把两个烧杯内的水温变化画成图像




【参考实验】获取真空状态




使用真空泵抽出空气的圆底烧瓶倒立在水中。




由于大气压的作用，管外的水面受压而使圆底烧瓶内的水位急剧上升。

没有抽出圆底烧瓶内的空气时，由于玻璃管内外的空气分子对水面的作用相等（都等于$1.013 \times 10^5$ Pa），所以水位不会上升。此外，应指导学生观察真空罩内放进充有少量空气的气球之后，抽出空气和放进空气时的情形。

1 提示 每隔一定时间测量一次水温并作记录，然后画图。

说明 这是2的导入实验。这样做会得到左图A、B、C中的任何一条曲线。在热水的表面测量可以得到C，在热水中测量可以得到B，把温度计的温泡贴在容器的底部测量可以得到A。

虽然沸点会随着气压发生变化，但是跟实验中的测量误差相比，这种变化极小以至可以忽略不计。因此，当实验室内的气压为$1.013 \times 10^5$ Pa或接近这个数值时，可以确认水是在100 ℃附近开始沸腾，此后没有什么变化。

2 提示 想让学生知道水的温度远低于100 ℃时，可以把手指放进去给学生看。如果有短的温度计，最好把温度计放入烧杯a，再把烧杯放进真空罩。这样，既可以观察烧杯a中水温的变化，也可以观察沸腾的样子。

结果 把真空罩里的空气抽掉，就会出现很多水蒸气，最后可以看到剧烈的沸腾现象，说明当气压低时水在低温下就能沸腾，也就是说沸点会随着气压而发生变化。另外，通过实验也可以发现，沸腾后水温会急剧下降。

说明 从真空罩中取出来的水的温度比放在室温下的水的温度低得多，这是因为真空罩中的水在沸腾过程中消耗了许多热量的缘故。这与沸腾时加热，水温也不会上升（参看1中的图像）是同样的道理。结合本实验，可以给学生讲述在高山上煮不熟米饭的例子及压力锅的原理等。

参考 沸腾是指从液体内部出现蒸气（如果是水，就是水蒸气）的现象。沸腾现象是在饱和蒸气压与大气压相等时出现的。如果是水，在100 ℃时的饱和蒸气压便是$1.013 \times 10^5$ Pa。因此，如果大气压低，在更低的温度下就会出现沸腾现象。

# 39 观察各种各样的运动

目标 初 使物体做各种运动，观察其运动状态。通过观察物体的运动知道运动具有方向和速度，可以说明物体之间的相对运动。

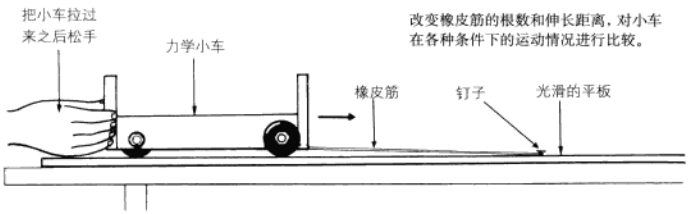
**【A】力学小车 光滑平板①** 绒布 橡皮筋 钉子(或图钉) 台子 **【B】单摆** 3个 线 铁架台 2个 夹子 2个 木棍(或一次性筷子) **【C】水桶 绳子 单摆 【D】乒乓球②** 玻璃板(30 cm×45 cm) 小玻璃珠(直径为0.01 cm～0.05 cm) 纱布 垫圈 **【E】搬运货物用的平板车** 2辆

①合成树脂板比较好。如果没有，用厚度为9 mm的三合板也可以。
②也可以用弹性小球。

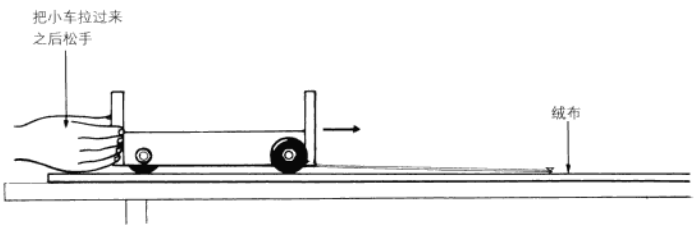
## 【A】观察力学小车的运动

1 观察小车在平面上的运动

①观察在光滑平面上运动的小车

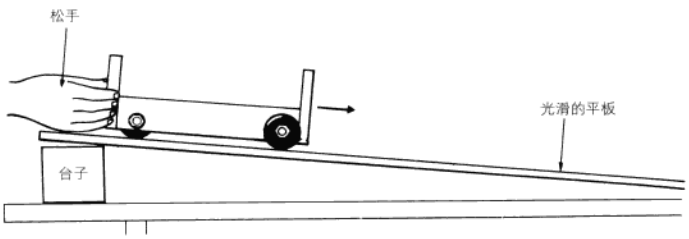



②在铺有绒布的平面上移动小车，与光滑平面上的运动情况进行比较

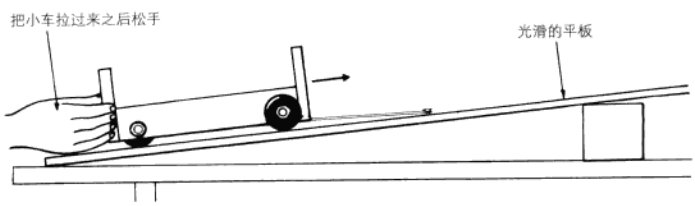



2 观察小车在斜面上的运动

①观察小车在向下倾斜的斜面上的运动




②观察小车在向上倾斜的斜面上的运动




## 【A】观察力学小车的运动

1 ① 提示 首先定好橡皮筋的伸长距离(即拉小车的距离)，观察改变橡皮筋根数时的速度变化；其次，保持橡皮筋的根数不变，改变橡皮筋的伸长距离，观察小车的运动。这里没有必要进行定量观察。

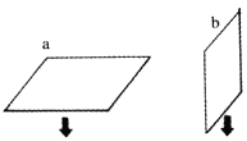
② 说明 这里主要观察因滑动面的状态发生变化而使运动状态发生变化的情况。

2 说明 观察小车在斜面上运动速度的变化。

参考 本实验的目的是观察速度的大小和方向分别发生变化的运动，因此可以用玻璃球或橡胶小球代替力学小车，同时也可以观察纸张自由下落的情况。

**观察纸张的自由下落** 用以下方法使纸张自由下落，观察与不同的下落情况(如飘荡着下落或直线下落)相对应的速度变化的特点。

- 使一张纸按照图 a 或图 b 的方式落地。




- 把纸轻轻地揉成团之后往下扔。

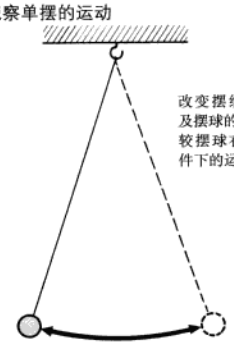


- 把纸揉成硬团之后往下扔。



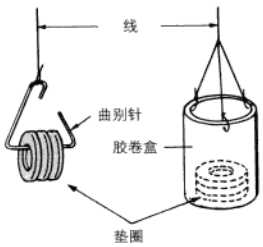
## 【B】观察摆的运动

### 1 观察单摆的运动



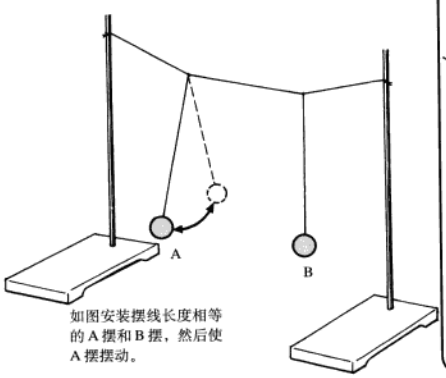
改变摆线的长度及摆球的质量，比较摆球在各种条件下的运动情况。

**利用身边常见的物体做摆球**



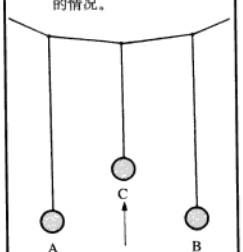

（通过改变垫圈的个数，可以改变摆球的质量）

### 2 观察两个摆的运动



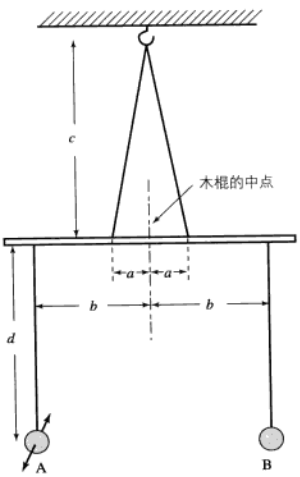

如图安装摆线长度相等的A摆和B摆，然后使A摆摆动。

利用下图所示的装置，观察当A摆摆动起来时的情况。



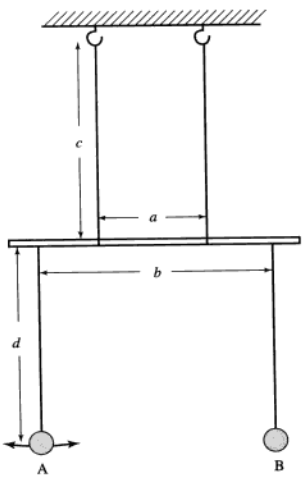

在A摆和B摆之间加一个摆线长度不同的C摆。

### 3 观察扭摆的运动




如图安装摆长及质量都相同的A摆和B摆。

### 4 观察双层扭摆的运动




如图安装A摆和B摆，然后让A摆摆动起来。

## 【B】观察摆的运动

提示 改变摆线的长度、摆球的质量或振幅，观察摆球的速度如何变化。

1 提示 为了激发学生的学习兴趣，最好把摆挂在教室的天棚上，使其规模大一些。应多动脑筋，利用身边的物体做摆球。左边的小图便是一个例子——利用胶卷盒，里面可以放些曲别针或图钉等小物品。进行定量测量时，使用垫圈或硬币更加方便。

2 提示 铁架台要用夹子牢牢地固定好。使摆沿着与水平拉线垂直的方向摆动。

说明 先在A摆动B摆不动的状态下进行观察。此时，由于A摆、B摆间的能量交换，B摆也开始运动。当B摆的振幅达到最大时，A摆会静止下来。此后B摆的动能又传给A摆，两个摆的运动发生反复多次的交换。此外，在它们之间加上一个摆长不同的摆——C摆——以后再做同样的实验可以发现，A摆和B摆之间发生交换而C摆不动。但若把C摆的摆长改为与A摆、B摆摆长相同的话，C摆也会运动起来。

3 说明 作为研究各种运动的内容之一，观察扭摆的运动。

提示 扭摆相对木棍做垂直摆动。改变$a$或$b$，观察扭摆的运动速度有何变化。另外，还可以改变$c$或$d$并进行观察。

4 提示 为了使学生对运动的研究感兴趣，与3中一样改变图中$a$至$d$中的任何一个，然后观察此时A摆的运动会对B摆产生什么影响。

参考 以3或4中的摆为基础，可以设计更多不同的摆。

## 【C】观察圆周运动

1 观察装有水的水桶的圆周运动

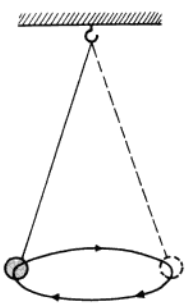


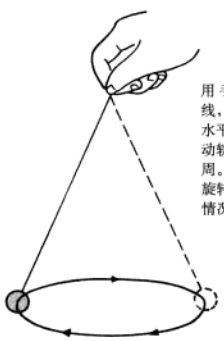

在水桶上系好绳子之后，装入八成左右的水。



轻轻摇晃水桶，待感觉到桶的惯性之后猛一用力，使水桶在竖直平面上沿圆周轨迹运动。

2 观察摆球的圆周运动

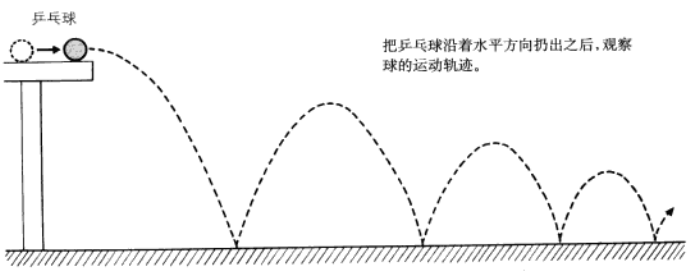




用手提着摆线，使摆球在水平面上的运动轨迹为一圆周。观察改变旋转速度时的情况。

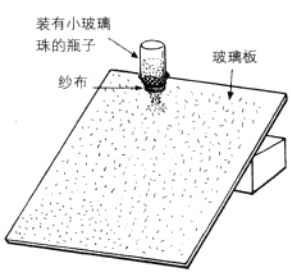
## 【D】观察抛体运动

1 观察乒乓球的平抛运动

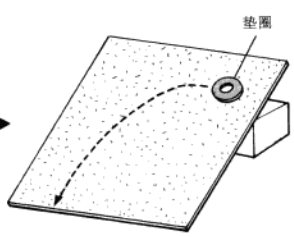



把乒乓球沿着水平方向扔出之后，观察球的运动轨迹。

2 观察斜面上垫圈的抛体运动




用玻璃板充当斜面，在板上放上一些小玻璃珠。




用手指把垫圈沿着水平方向弹出，观察它的运动轨迹。

## 【C】观察圆周运动

1 说明 这是一个在竖直平面上表现圆周运动的实验。水桶里面放水是为了引起学生的好奇心。

提示 要领在于开始时慢慢摇晃，等摇晃的幅度变大时猛然用力旋转。停止时，要等水桶转到下面时再放长绳子，使圆周运动改成直线运动。

注意 绳子要结实，并牢牢地系在水桶上，以免在实验过程中水桶被甩出去。

2 提示 当固定好摆的支点进行旋转时，应往与摆线成直角的方向甩出摆球。

说明 改变旋转速度时，观察摆的运动轨迹形成的圆锥形的变化，可以发现：快速旋转摆球时，圆锥形会变得扁而平，看上去就像是在水平面上旋转一样。

## 【D】观察抛体运动

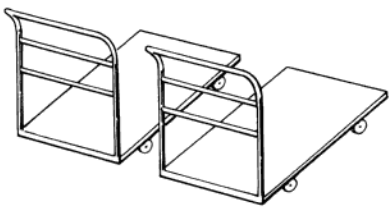
1 说明 把乒乓球或弹性小球放在木板上，使其沿着水平方向滚动，观察球掉在地上时的反弹情况。此时如能准备一些乒乓球弹跳过程的频闪照片，结合照片一起观察能使学生更好地理解抛体运动。

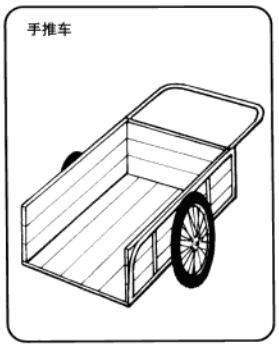
2 提示 要选用比较小、能通过纱布网眼的玻璃珠，并使之均匀地铺在玻璃板上。

说明 把圆形的垫圈如图放置，用手指沿着水平方向弹出后，垫圈会像滑在玻璃珠上一样做抛体运动。请观察斜面倾角变大或变小时垫圈的运动情况。

## 【E】观察相对运动

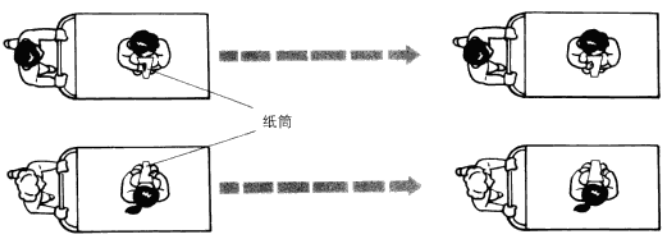
1 准备两辆搬运货物用的平板车



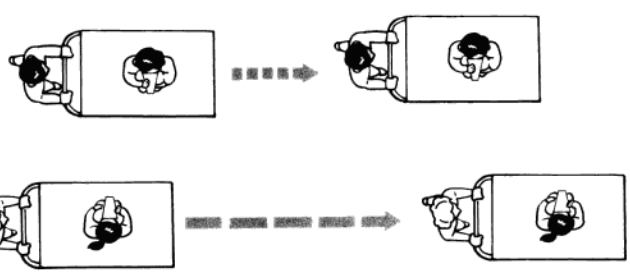


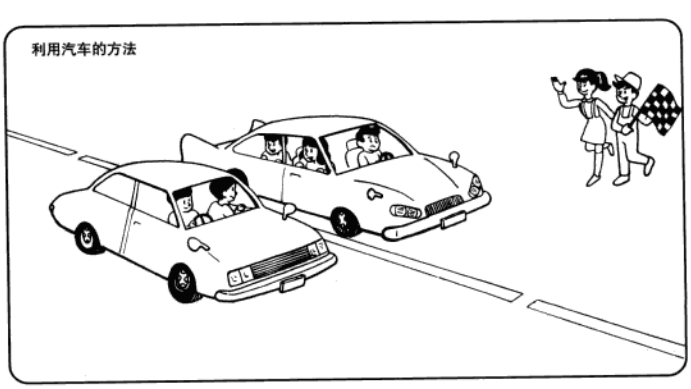

2 使两车跑起来，坐在上面的人互相观察对方的运动状态

①两车以同样的速度运动




②两车以不同的速度运动






## 【E】观察相对运动

说明 前面我们在【A】至【D】中主要介绍了物体的各种运动，这里则要介绍在运动中的物体上相互观察到的现象。

1 提示 可以利用体育课上搬运垫子或跳箱用的那种平板车。在校园里做实验时，手推车比平板车更好。但是，因为拉手推车时车把容易晃动，所以应注意不要使车把晃动，尽量使车做简单的直线运动。

2 提示 实验场地要选择像体育馆那样宽敞的场所。坐在车上的人要注视对方车上的人。一旦有体育馆的墙面或校舍等景物进入视野就会影响到观察的结果，所以坐在车上的人要想办法(如把纸筒等物紧贴在眼睛上)使视野变小，这样才可以找到实验的感觉。要把注意力集中在所坐的车上。①中推车的速度要与走路速度差不多；②中则是一组以走路的速度，另一组以慢跑的速度行进。另外，②中的实验还可以改成让平板车尽量慢速行进的实验。

参考 也可用汽车代替平板车。实验时两名教师开车，让学生坐在车上。开车时的速度以感觉不到车轮震动为准。另外，开车时应尽量使两辆车靠近，以便学生只能看到旁边的车。这样实验的结果，就会使观察者感觉旁边正在运动着的车好像是静止的。另外，当旁边的车慢慢地往后退时，观察者会感觉自己所乘的车在往前移动(但实际上它是静止的)。本实验的不足之处在于：①不能让多数学生一起体验；②需要两名教师；③很难找到开车的场地。

# 40 制作用橡皮筋带动的玩具

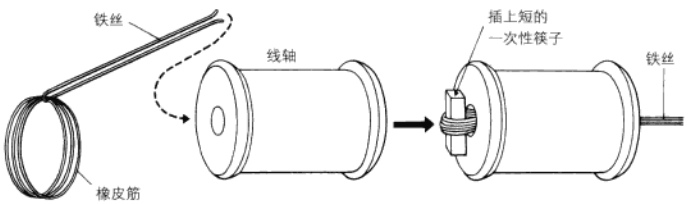
目标 小初 能用线轴制作玩具车。能动脑筋想办法使玩具车移动。能利用线轴以外的东西制作同样的玩具。

**缝纫机专用线轴**① **橡皮筋**(若干)② **蜡烛**(粗的)③ **铁丝**④ **一次性筷子**

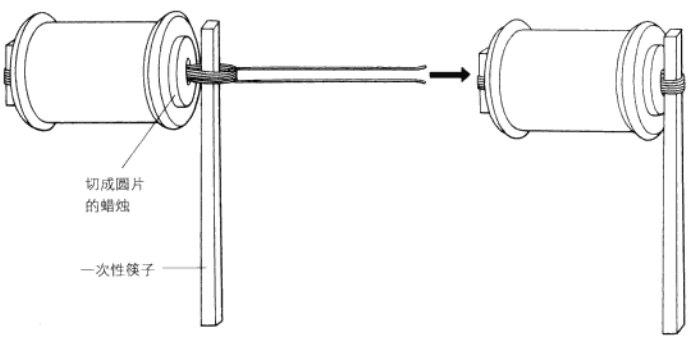
①也可用胶卷盒。②要用新的橡皮筋。③蜡烛要比线轴的孔粗，也可以用垫片(或垫圈)代替。④细铁丝，长度为10 cm左右，也可以用发卡代替。

## 1 利用线轴制作弹力小车

①把橡皮筋穿过线轴上的孔，一端用短的一次性筷子固定




②把切成圆片的蜡烛放入线轴的另一端，然后用一次性筷子固定，并把铁丝拿掉

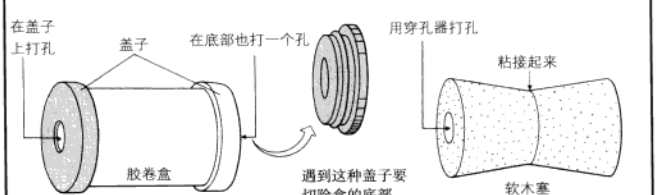



## 2 让小车跑起来

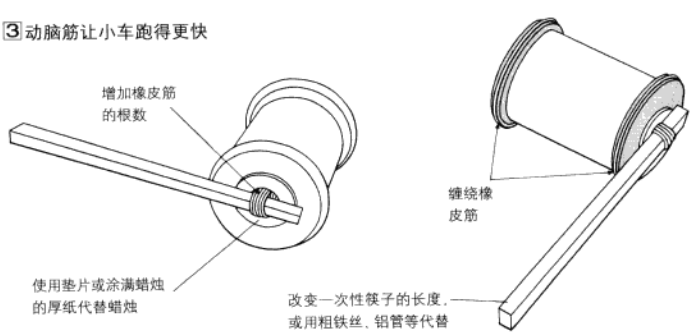
旋转一次性筷子，使橡皮筋扭转数圈，然后把小车放在地上，小车就会在弹力的作用下跑起来。



**使用胶卷盒或软木塞**




## 3 动脑筋让小车跑得更快




**1** 提示 往线轴的孔里穿橡皮筋时，用铁丝比较方便。橡皮筋的大小要根据线轴的长度决定。旧的橡皮筋容易断，所以应使用新的橡皮筋。

为了增大短的一次性筷子和线轴之间的摩擦力，要使筷子与线轴紧贴在一起，也可以用透明胶带粘贴。想办法把切成圆片的蜡烛与一次性筷子的接触面加工得光滑一点。把蜡烛切成圆片之后，应把一面贴在桌面上揉搓一会儿。

参考 也可以用胶卷盒或软木塞等物体代替线轴。在胶卷盒上打孔时，可以先用三棱锥钻孔，然后再用圆锉刀把小孔修大。小孔必须在正中间，否则会影响其功能。孔的形状关系不大，但与一次性筷子接触的面不应凹凸不平。如果不用锉刀，也可以利用粗一点的铁丝加热之后钻孔。

由于胶卷盒的形状多种多样，遇到底面也有盖子的情况，有时必须把盒子的底部切掉。

**3** 说明 弹力小车的车速是由车的质量、橡皮筋的根数、车与地面之间的摩擦力以及一次性筷子与线轴间的摩擦等多种因素决定的。把两个软木塞粘接起来，并为减少软木塞与一次性筷子间的摩擦而使用垫片，这样制作出来的玩具车的速度相当快。如果用橡皮塞制作玩具车，由于橡皮塞比软木塞重得多，效果往往不好。

# 41 运动的记录方法

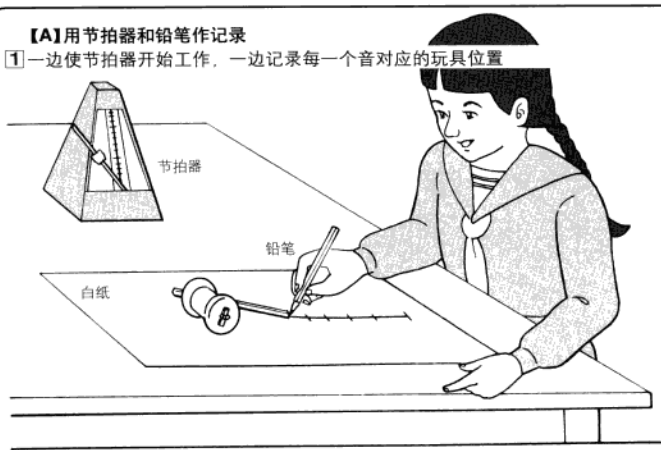
目标 初 能记录运动的速度(路程和时间)。
能利用记录结果画出路程与时间、速度与时间的关系图像，观察所发生的变化。

【A】节拍器 会动的玩具① 记录纸 铅笔 坐标纸 尺
【B】计时器 纸带 力学小车 透明胶带 重物 线 夹子 铁架台 固定装置 【C】频闪照相实验装置 反射板

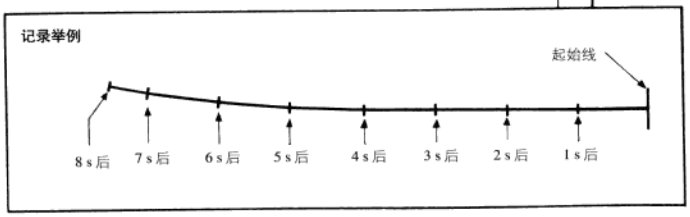
①可以用线轴玩具车。

## 【A】用节拍器和铅笔作记录

1 一边使节拍器开始工作，一边记录每一个音对应的玩具位置




记录举例




2 把记录结果汇总于下表，并画出图像

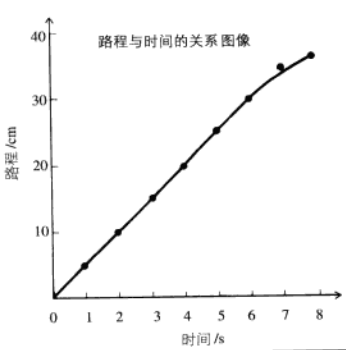
用尺测量玩具车的路程(每隔1 s测量一次)并把测量结果汇总于表中，然后以此表为基础画出图像。

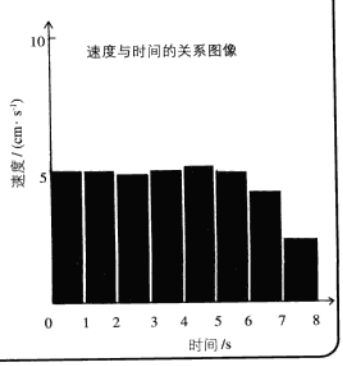
路程与时间的关系

| 时间/s | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 路程/cm | 5.0 | 10.0 | 14.8 | 19.8 | 25.0 | 29.9 | 34.1 | 36.4 |

速度与时间的关系

| 时间/s | 0~1 | 1~2 | 2~3 | 3~4 | 4~5 | 5~6 | 6~7 | 7~8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 速度/(cm·s⁻¹) | 5.0 | 5.0 | 4.8 | 5.0 | 5.2 | 4.9 | 4.2 | 2.3 |




## 【A】用节拍器和铅笔作记录

1 说明 节拍器摆杆的长度为15 cm左右，下端有一重物，上方也有可沿摆杆上下移动的重物，通过调节这个重物的位置可以改变摆杆的振动周期。摆杆的表面标有摆杆每分钟振动的次数。

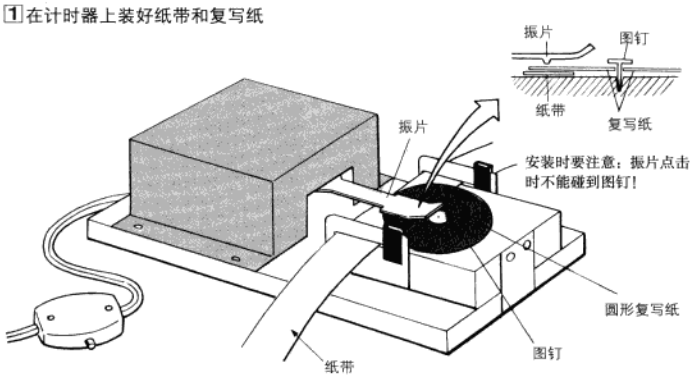
提示 把节拍器调到每隔1 s或0.5 s响一次，只要便于记录就可以，如果能与常用的时间一致会更方便。开始操作但还不太熟练时，玩具车的运动速度不要太快，能画出8~10个点就行。记录前先对玩具车的运动规律进行初步观察(2~3次)，确认在运动中其速度也有变化。等玩具车的运动状况记录完毕之后，再观察速度快或慢时点的分布情况。

2 提示 测量位移时，如果玩具车的运动轨迹不是直线，就按照弯曲的路线进行测量，等图像画好之后再分析玩具车运动的速度是怎样变化的。

说明 从路程与时间的关系图像上看，玩具车的速度快时，曲线与横轴的夹角大，看上去比较陡；速度慢时，曲线与横轴的夹角小，看上去比较平缓。从速度与时间的关系图像上看，玩具车的速度快时，曲线离横轴远；速度慢时，曲线离横轴近。顺便提一下白纸上的记录：玩具车的运动速度快时点与点的间隔大，速度慢时点的间隔变小。

**【B】用计时器作记录**

1 在计时器上装好纸带和复写纸

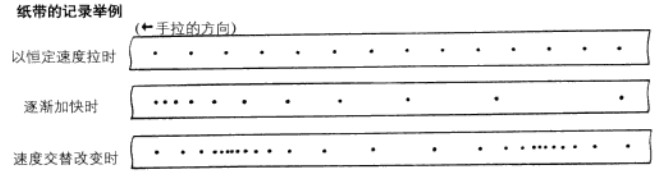



2 记录手的运动

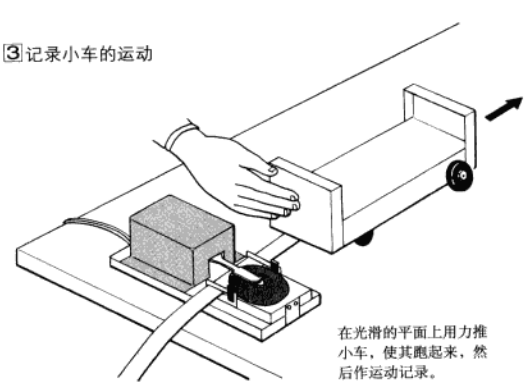



拉纸带的速度应按以下要求进行调整：
ⓐ以恒定的速度拉；
ⓑ刚开始慢，然后逐步加快；
ⓒ刚开始快，然后逐步放慢；
ⓓ一会儿快，一会儿慢。

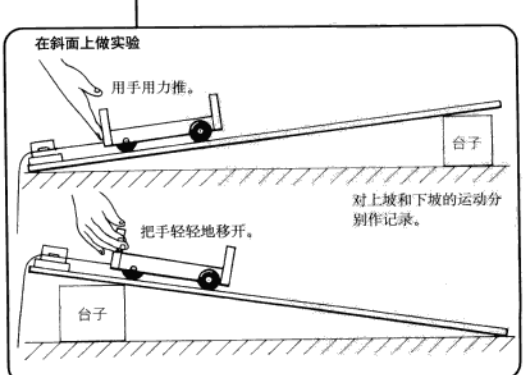
**纸带的记录举例**




3 记录小车的运动



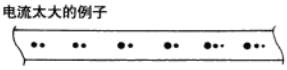

**在斜面上做实验**




**【B】用计时器作记录**

1 提示 用图钉固定圆形复写纸时动作要轻，以便复写纸能够自由旋转。此时，要注意振片点击复写纸时不能碰到图钉。纸带要从限位孔和复写纸的下面通过。计时器可分为交流计时器和直流计时器，使用时要注意不要接错电源。另外，所用电压也与计时器有关，使用前应检查计时器的额定电压。也有使用电池的计时器，但多次使用的电池会出现电压不足的现象，因此建议使用电压不会改变的电池。计时器与电源装置连接时，如果电流太大，就会出现振片连击两次、三次的现象；相反，如果电流太小，看不出打点也不行。

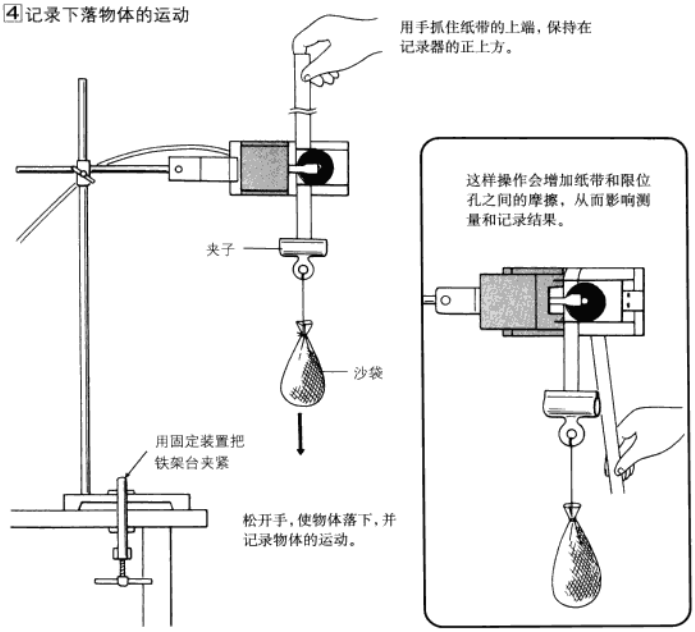
**电流太大的例子**



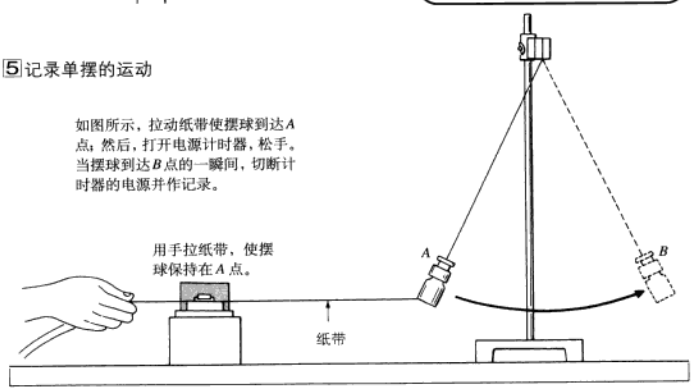
2 说明 本实验的目的是熟悉计时器的使用方法，认识纸带上的打点间隔与速度的关系。
提示 需要长度为 1 m 左右的纸带。
参考 观察直流电的计时器在1 s内的打点次数时，应采取以下方法：用手边拉纸带边在一定的时间内给计时器接通电流，然后计算总的打点次数并除以通电时间。这样进行3～4次之后取平均值，就能得到比较准确的数值。

3 提示 用透明胶带把纸带的一端粘在小车上。利用纸带上的记录按【A】2中介绍的方法画出图像。

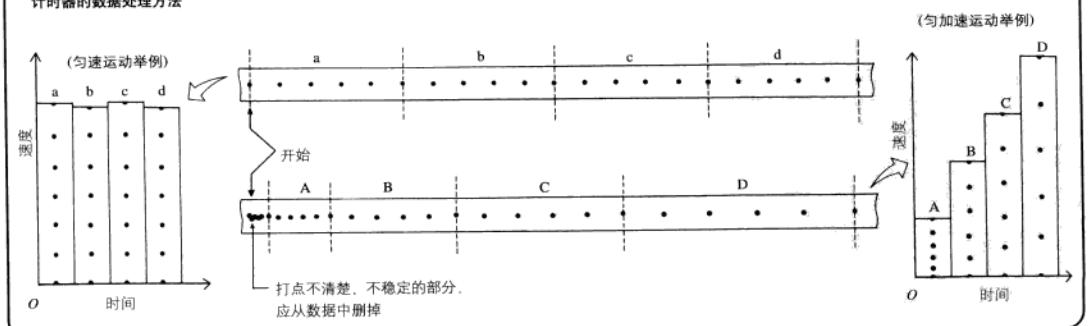
## 4 记录下落物体的运动




## 5 记录单摆的运动




**计时器的数据处理方法**




**4** 提示 先把计时器牢牢地固定在铁架台上，再用夹子把铁架台固定在实验桌上。用沙袋作重物即可。如果重物的质量小于50 g，由于受计时器的振片在复写纸上打点时的摩擦影响，将得不到理想的记录结果。为了解决这个问题，重物的质量最好大于100 g。利用吊挂重物的夹子把纸带夹住，就可以把重物和纸带连接起来。

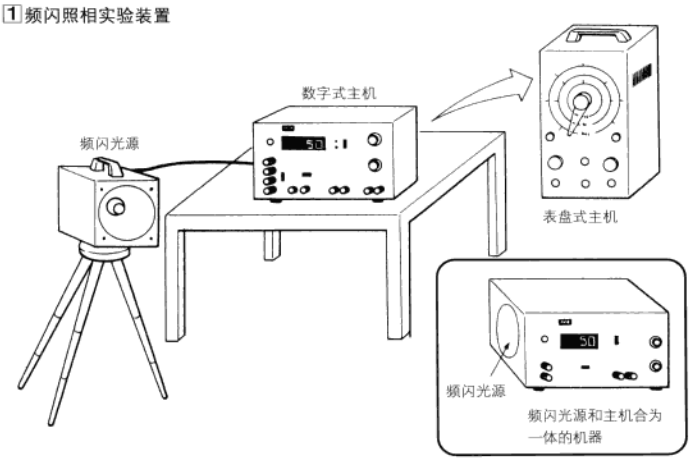
**5** 说明 对于像单摆那样边画曲线边做往返运动的物体，要完整地记录它的往返运动情况是不可能的，但是可以把单程运动情况记录下来。

参考 如果把摆线的长度定为25 cm或1 m，则单程运动所需时间是0.5 s或1 s。

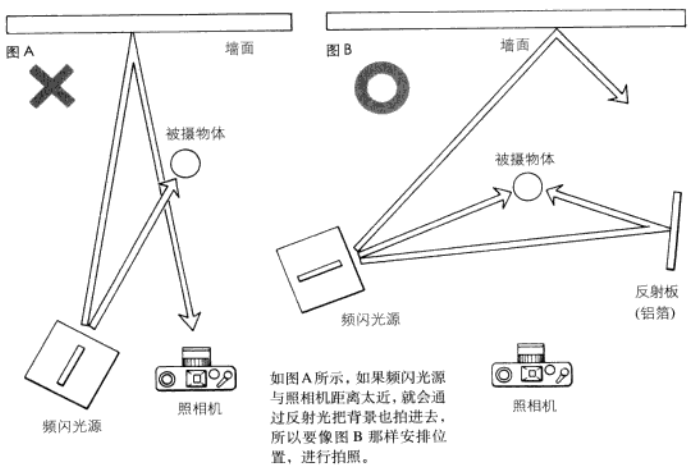
参考 用以下方法处理记录在纸带上的数据比较合适：把纸带每隔五个计时点剪为一段，按顺序排列并粘贴在白纸上，从而可以形成一种以时间为横轴、以速度为纵轴的坐标图像。从这种图像中就能发现运动规律。每隔五个计时点剪断的理由是，在交流电频率为50 Hz的地区使用交流计时器时，每秒钟的打点次数是50次。所以，如果每隔五个点剪断纸带，贴在白纸上的相邻纸带间的时间间隔便为0.1 s。

**【C】利用频闪照相实验装置记录运动轨迹**

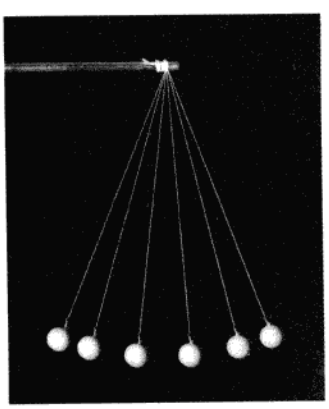
1 频闪照相实验装置



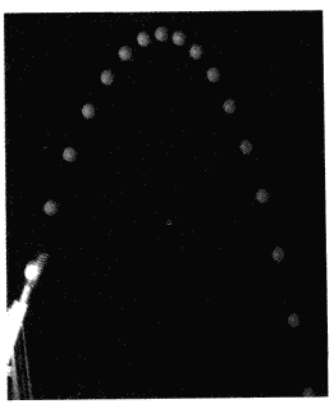

2 频闪光源与照相机的位置关系




如图 A 所示，如果频闪光源与照相机距离太近，就会通过反射光把背景也拍进去，所以要像图 B 那样安排位置，进行拍照。



照片 1



照片 2

**【C】利用频闪照相实验装置记录运动轨迹**

1 说明 根据闪光间隔的调整法和表示法，频闪照相实验装置可以分为两种：一种是用调谐度盘调整发光间隔并把它表示为数字的方法，另一种是把发光间隔对准有刻度的表盘进行调整的方法。

从外部形状上看，频闪照相实验装置有频闪光源和主机分开的和二者合为一体的两种类型。频闪光源和主机分开的频闪照相实验装置，主机不动就可以改变频闪光源的方向。不过，两种装置的使用方法是一样的。

2 提示 摄影要在暗室内进行。拍摄球形物体时，要特别注意频闪光源和照相机之间的位置关系。如图 A 所示，如果频闪光源和照相机距离太近，虽然可以照出球形物体，但由于闪光从墙面（即使是涂成黑色的）反射，连背景都会被拍下来，从而影响对数据的处理。所以有必要把频闪光源放在合适的位置（如图 B 所示），这样被墙面反射回来的光就不会进入照相机的拍摄范围。但是，这样做只能拍到球体的一半。为了拍到整个球体，需要在频闪光源的对面放置用铝箔做的反射板。即使在这种情况下，也有必要在拍摄之前先通过照相机的取景器确认没有从墙面反射过来的光，肯定被摄物体看起来是球形的。

参考 作为参考，这里介绍两张频闪照片。照片 1 是把高尔夫球当做摆球，以 0.1 s 的发光间隔拍到的照片；照片 2 是用弹簧把高尔夫球斜射到空中后拍到的照片。

# 42 观察匀速直线运动

目标 初高 用干冰或气垫导轨观察匀速直线运动。

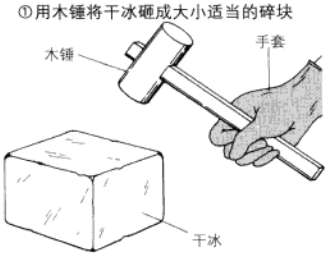
干冰 木锤 手套 木板① 滑行板② 频闪照相实验装置

①像三合板那样表面有些粗糙的木板。②表面光滑的平板，如塑料装饰板或玻璃板。

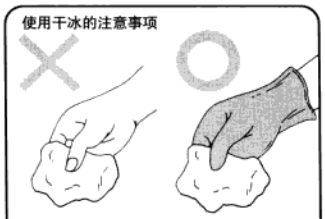
* 在【其他方法】中，除了上述材料外还需要气垫导轨。

1 用干冰制作滑行物

①用木锤将干冰砸成大小适当的碎块

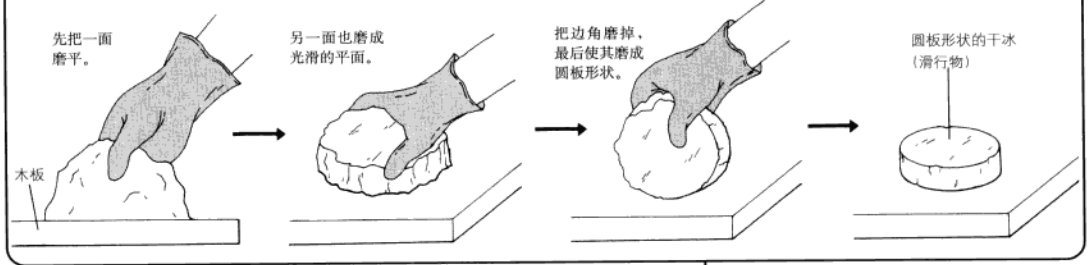



使用干冰的注意事项

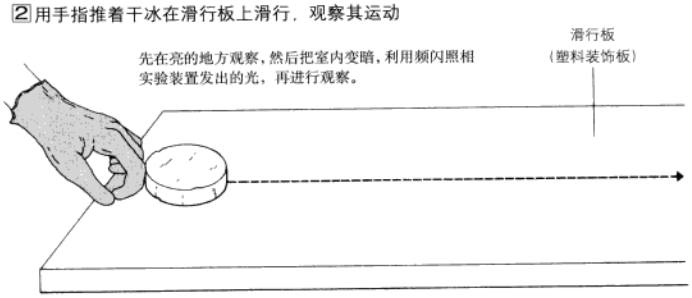


不能直接用手抓干冰，操作时必须戴手套。

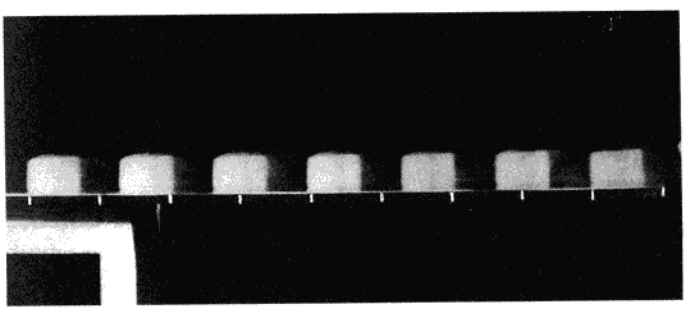
②把用木锤砸碎的干冰放在木板上，磨成一定的形状




2 用手指推着干冰在滑行板上滑行，观察其运动




3 拍摄频闪照片



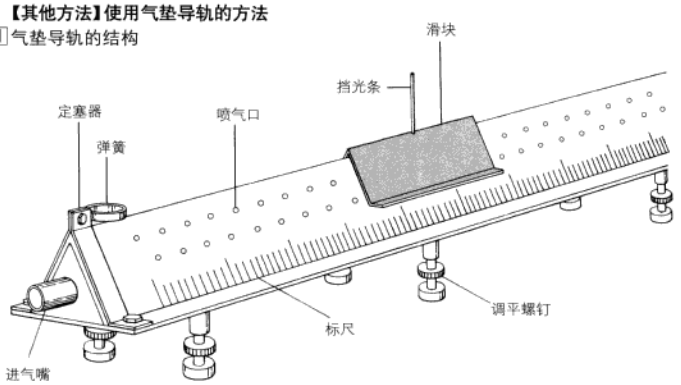
注意 不能直接用手抓干冰，操作时必须戴手套。由于干冰在升华过程中会吸收周围的热量，所以有冻伤的危险。

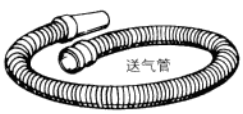
1 ① 提示 在 3 中拍摄频闪照片时可以发现，细长的圆柱形比圆板形的效果好。

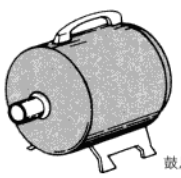
3 说明 利用频闪照片，算出物体在每个发光间隔内移动的距离并作记录，然后利用此记录确认物体是在做匀速直线运动。

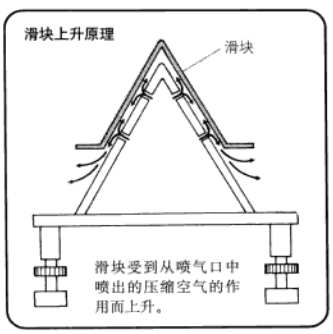
**【其他方法】使用气垫导轨的方法**

1 气垫导轨的结构

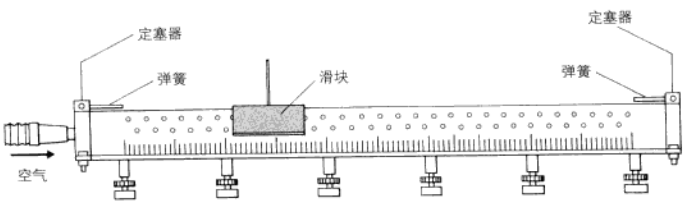


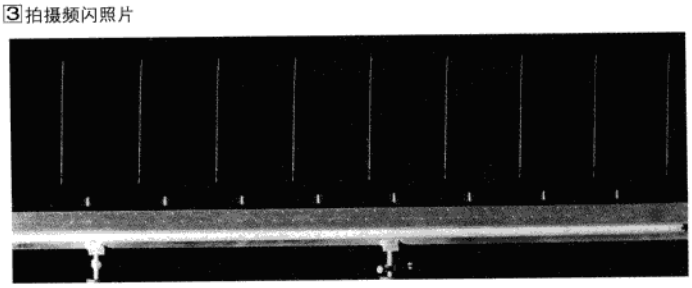




2 调整导轨，使之处于水平状态，然后让滑块滑行并观察其运动




ⓐ 一边用鼓风机送空气一边轻轻地把滑块放到导轨上。为了防止滑块左右移动，用调平螺钉调整水平。
ⓑ 让滑块滑行，确认滑块能顺利滑行，没有障碍。
ⓒ 在亮处观察滑块的运动。
ⓓ 在暗室内，打开频闪照相实验装置再进行观察。

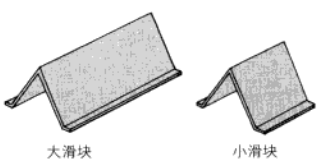
3 拍摄频闪照片



**【其他方法】使用气垫导轨的方法**

1 说明 气垫导轨装置是专为观察匀速直线运动（或匀加速直线运动）设计的。导轨上有很多小孔，从小孔中喷出来的空气产生的浮力使得滑块能够平稳地浮在导轨上。这种设计大大减小了滑块与导轨间的摩擦。使用时把鼓风机与导轨的进气嘴相连，给导轨送气。鼓风机所需要的能量与吸尘器差不多。市场上销售的气垫导轨有配套的鼓风机。

提示 最好准备一些大小不同的滑块。为了防止喷气口被堵住，保管时应避开有灰尘的地方，同时还要注意不要把滑块放在导轨上面，以免导轨歪斜。




2 提示 调整时应把滑块放在多处，确认滑块不向左右移动，同时还要确认滑块的轨迹的确是直线。

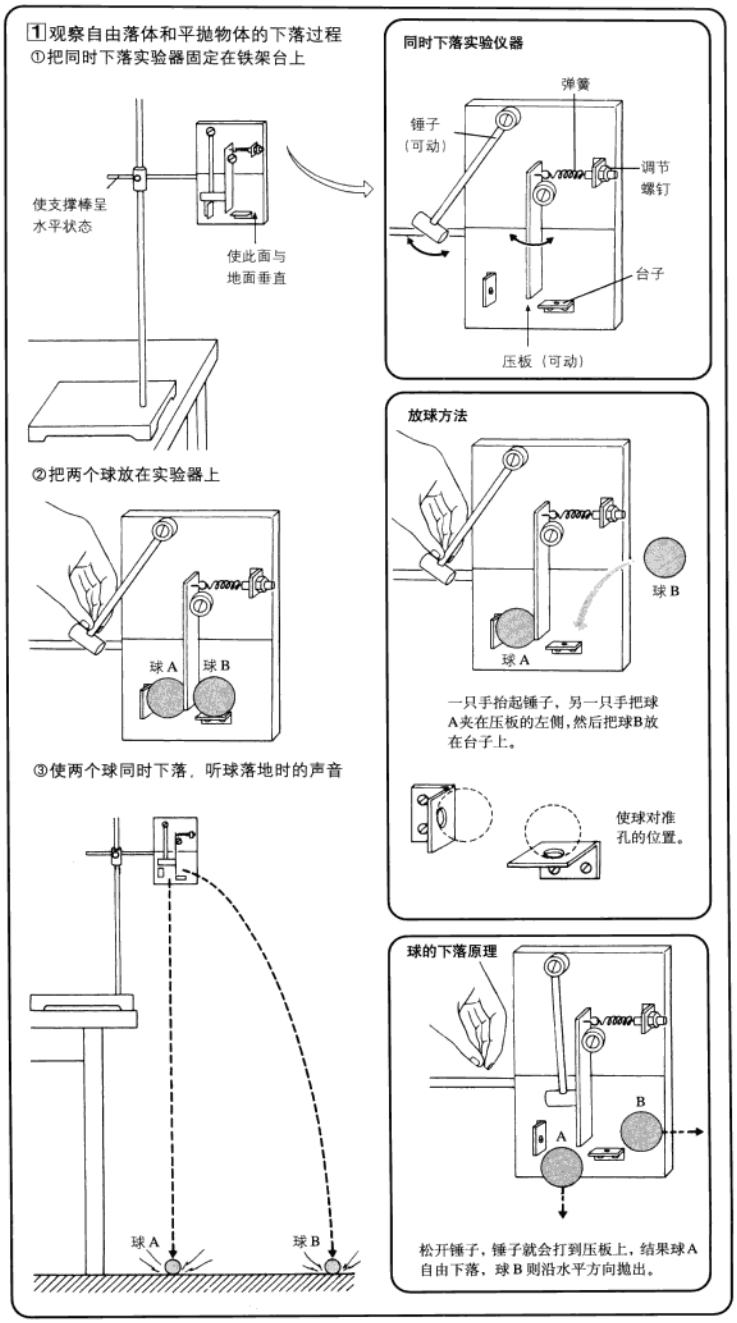
3 说明 利用频闪照片，可以确认滑块正在做匀速直线运动（参照前一页3中的说明）。

# 43 落体运动实验

目标 初高 观察水平抛出的物体，知道其在水平方向做匀速运动，在竖直方向则做自由落体运动。

同时下落实验仪器① 铁架台 惯性实验器① 直流电源(12 V) 投影仪② 屏幕 频闪照片

①同时准备附属的塑料球。②同时准备透明纸，透明坐标纸，透明纸用笔。




1 ① 说明 同时下落实验仪器，是让物体的自由落体运动和平抛运动同时开始之后，比较两种下落过程的装置。把锤子抬到适当的高度之后松手，锤子就会下落并敲击中央的压板。在锤子的敲击作用下，压板会往右移动，结果就使得一直受到压板上部弹簧支撑作用的球A，由于得不到支撑作用而自由下落，同时，台子上的球B在压板的推力作用下，沿水平方向弹出。

提示 把装置固定在铁架台上时，应注意装置的角度——必须像图中那样使支撑棒处于水平状态，板面则处于竖直状态。

③ 提示 球B会抛出很远，因而实验应在十分宽敞的地方进行。实验开始之前应检查两个球是否能同时下落。如果不能同时下落，应调整锤子或铁架台的高度，然后再进行实验。

说明 几乎同时听到两个球与地面撞击的声音。锤子举得越高，球B抛得越远，这是因为锤子举得越高，球B弹出时水平方向的初速度越大的缘故。

2 ① 说明 落球装置是由电磁线圈和可动铁心(柱塞)组成的。利用弹簧的弹力，可以使球保持静止状态。通电之后，电磁线圈开始工作，支撑球的柱塞往左移动，球就会落下来。

提示 在小车静止的状态下，打开落球开关，调整落球接收器，使落下来的球能顺利进入接收器中。

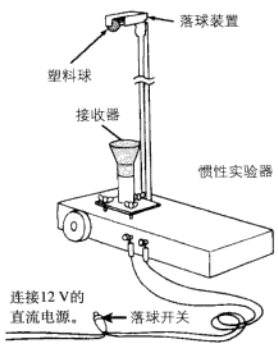
为了使小车滑动顺利，小车上需滴少量润滑油。

② 提示 实验要在平滑的桌面上进行。注意不要强拉硬拽电源线。

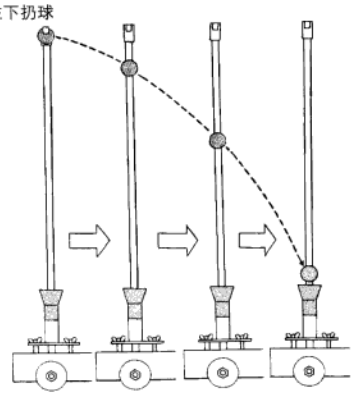
说明 如果从做匀速运动的小车上把球扔下去，球会进入小车的接收器中。

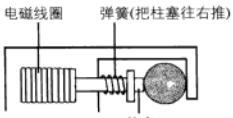
**2** 从匀速运动的小车上往下扔球

①把球放在惯性实验器的落球装置上




②用手推动小车，使车做匀速运动，在运动过程中往下扔球





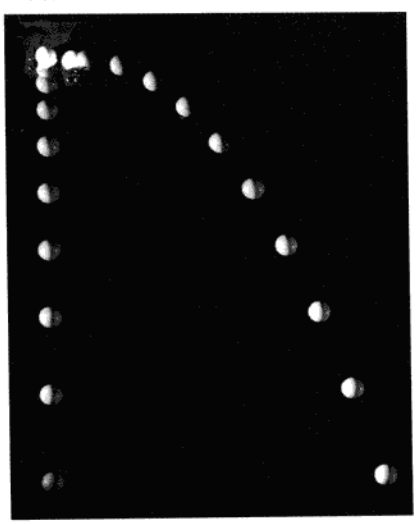
（电磁线圈——工作时往左移动）

由于球落下来之前跟小车一样沿水平方向做匀速运动，所以当球落下后，它做的是平抛运动。然后，球进了做匀速运动的小车的接收器，说明沿水平方向抛出的物体在水平方向上做的是匀速运动。

**3** ② 提示 调整好屏幕与投影仪的方向及高度，使屏幕上的影像不出现扭曲现象（不过，稍有一点扭曲也不要紧，因为在下一步中叠放透明坐标纸时，坐标纸的线也会有些扭曲）。

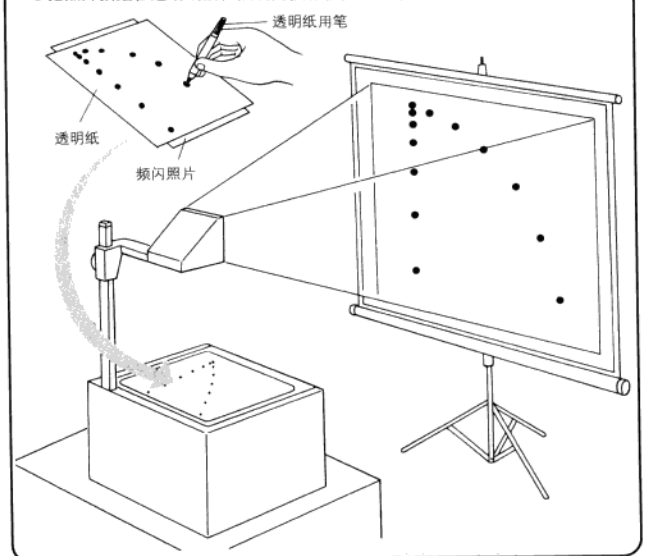
**3** 分析频闪照片

①准备同时下落运动的频闪照片

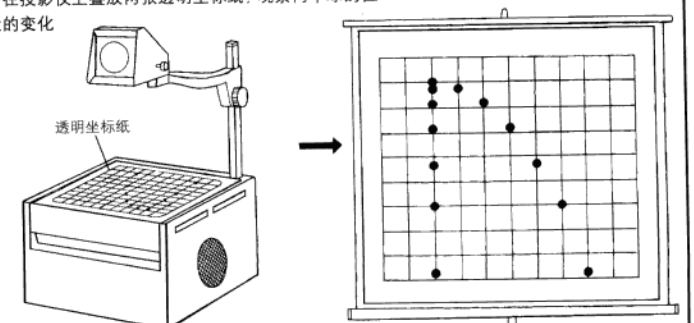


频闪光源的发光间隔为 $\frac{1}{30}$ s。

②把照片描绘在透明纸上，然后用投影仪投到屏幕上




③在投影仪上叠放两张透明坐标纸，观察两个球的位置的变化




③ 说明 通过叠放透明坐标纸可以看出两球在竖直方向上位置的变化特点：它们的高度几乎相同，而且沿水平方向抛出的球在水平方向的间隔也相等。

参考 除了使用投影仪的方法之外，还可使用幻灯装置照射坐标纸。此时，影像会有变形，需要在合适的位置进行投影。

# 44 观察物体在空气和真空中自由下落的情形

目标 初高

观察物体在空气和真空中自由下落运动的不同。
知道当空气阻力可以忽略不计时，物体在空气中自由下落的运动与真空中的自由下落运动几乎没有区别。

普通纸(薄纸) 金属球 金属小物体① 真空下落实验器 金属片 纸片 羽毛 真空泵 厚胶皮管 球② 秒表(数个) 卷尺 坐标纸 记录用具 频闪照片 绘图纸

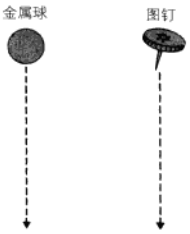
①图钉、曲别针等。②软皮垒球、高尔夫球等。

1 观察各种物体在空气中自由下落时的样子和速度

①观察各种形状的纸张的自由下落运动

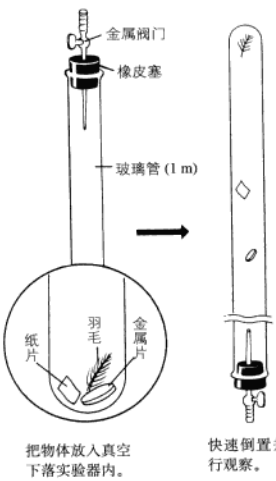



②使金属球和金属小物体同时自由下落

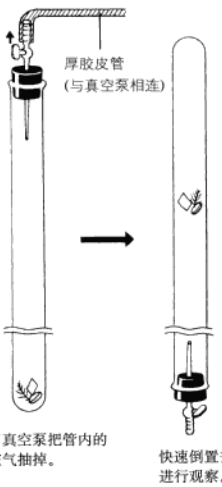



2 观察各种物体在空气中和真空中自由下落的情况

①在空气中自由下落

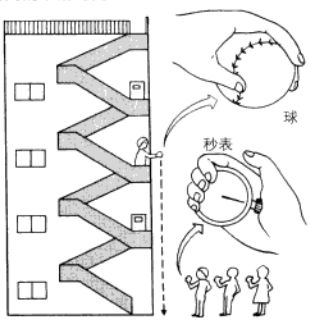



②在真空中自由下落，与在空气中自由下落的情况进行比较

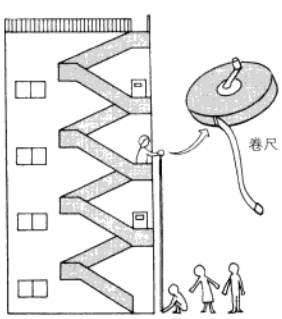



3 观察物体自由下落的距离与时间的关系

①使球从各种高度自由下落，测量每次所用的下落时间




②测量每个球下落时的初始高度




1 ①提示 纸张的形状不限于图中所举的例子，最好用各种形状的纸张做实验；即便是形状相同的纸张，也可通过改变手抓的位置做实验。

说明 不同形状的纸张受到的空气阻力不同，因而下落方式也不一样。

② 提示 除了图钉以外，金属小物体还可以是曲别针或其他物体。

说明 金属小物体和金属球几乎同时落到地面。在空气中，当空气阻力可以忽略不计时，物体的下落情况和在真空中是一样的。

2 ①提示 倒置玻璃管时，要用双手拿好玻璃管，然后快速倒置。

说明 各物体的下落速度会因质量和空气阻力不同而不同。

② 提示 抽出玻璃管内的空气时，要在厚胶皮管的连接部分涂上凡士林，以防漏气。另外，操作过程中可以停止抽真空，使学生阶段性地了解进行此操作会逐渐减小空气阻力的事实。

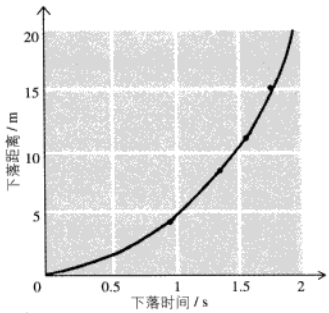
3 ①提示 实验应在校舍的安全通道或其他没有障碍物的地方进行。球要使用比较小而重的，垒球或高尔夫球等就比较合适。

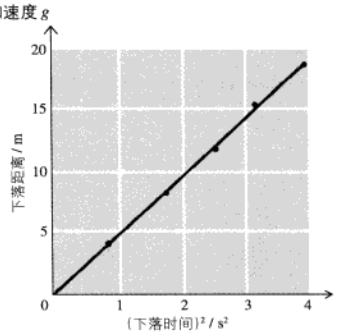
测量下落时间时，应让多个物体同时下落，并且在同一高度多测几次，最终求出平均值。应在二楼、三楼、四楼、屋顶等多处进行高度测量。

注意 为了避免球砸到行人身上，释放球之前应先检查周围环境是否安全。另外，释放球时，不要使身体越过楼梯的扶手。

参考 还有一种方法是：各层楼梯上都站上人，测量球从屋顶落到该点所用的时间。但这样做有一个缺点：反应不灵敏的人，测量时往往会错过那一瞬间。

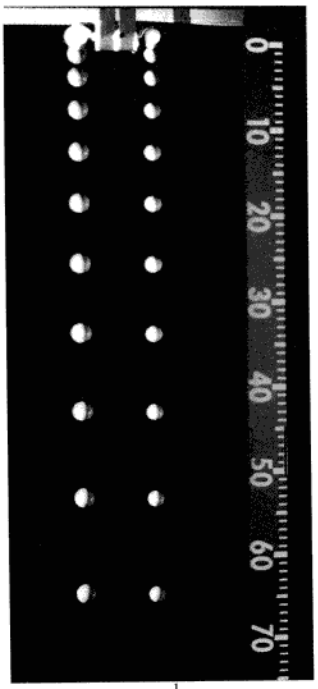
③根据测量值画出图像，利用图像求出重力加速度 $g$



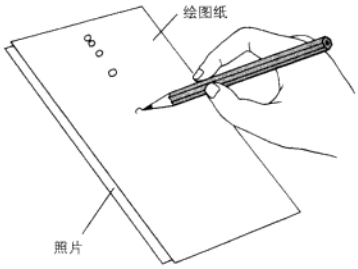




4 分析频闪照片

①准备频闪照片



②在照片上铺一张绘图纸，认真地描绘

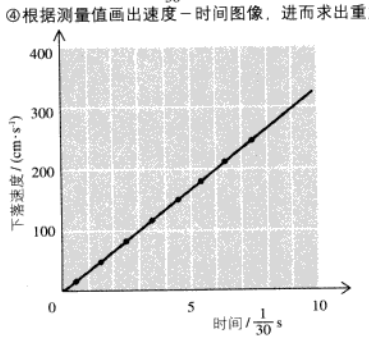



③利用照片旁边的刻度尺读取球在下落过程中所经过的距离，求出各区间的平均速度

| | 总距离 /cm | 区间间隔 /cm | 速度 / (cm · s⁻¹) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.0 | | |
| | | 0.5 | 15 |
| 1 | 0.5 | | |
| | | 1.6 | 48 |
| 2 | 2.1 | | |
| | | 2.8 | 84 |
| 3 | 4.9 | | |
| | | 3.8 | 114 |
| 4 | 8.7 | | |
| | | 4.9 | 147 |
| 5 | 13.6 | | |
| | | 6.1 | 183 |
| 6 | 19.7 | | |
| | | 7.0 | 210 |
| 7 | 26.7 | | |
| | | 8.1 | 243 |
| 8 | 34.8 | | |

频闪光源的发光间隔为 $\frac{1}{30}$ s。

④根据测量值画出速度－时间图像，进而求出重力加速度 $g$






③ 说明 首先以下落距离为纵轴，以下落时间为横轴，画出它的距离－时间图像，得到的将是一条二次曲线。如果把横轴改成下落时间的二次方，就能知道下落距离与下落时间的二次方成正比。图中各点的坐标使用的是以下实验数据。

实验数据举例

| | 高度 /m | 时间 /s | (时间)²/s² |
|---|---|---|---|
| 屋顶 | 15.4 | 1.78 | 3.17 |
| 4 楼 | 11.9 | 1.60 | 2.56 |
| 3 楼 | 8.3 | 1.33 | 1.77 |
| 2 楼 | 4.6 | 0.98 | 0.96 |

下一步是利用与图像对应的坐标求出重力加速度 $g$。因为下落距离 $s$ 与重力加速度 $g$ 及时间 $t$ 之间有以下关系：

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

所以

$$g = 2 \times \frac{s}{t^2}$$

式中，$s/t^2$ 是变换后的图像（直线）的斜率。因此，通过直线上的任意一点向纵轴和横轴作垂线，求出直线的斜率，就能求出 $g$。根据实验数据可以得到以下结果：

$$\frac{s}{t^2} = \frac{14.2}{3}\ \text{m/s}^2 \approx 4.73\ \text{m/s}^2$$

$$g = 2 \times 4.73\ \text{m/s}^2 = 9.46\ \text{m/s}^2$$

4 ② 说明 把照片上的图像描绘在绘图纸上，是为了使照片可以多次利用。

③ 提示 读取下落距离时最好以每个球的底部为准，读取相应的数值。

说明 各区间的平均速度可根据频闪光源的发光间隔进行计算。

④ 说明 下落速度 $v$ 与重力加速度 $g$ 及时间 $t$ 之间有以下关系：

$$v = gt$$

由此可得

$$g = \frac{v}{t}$$

式中的 $v/t$ 是左图中直线的斜率。因此，通过求得图中直线的斜率就能求出 $g$。例如：

$$g = \frac{245\ \text{cm/s}}{7.5 \times \frac{1}{30}\ \text{s}} = 980\ \text{cm/s}^2 = 9.8\ \text{m/s}^2$$

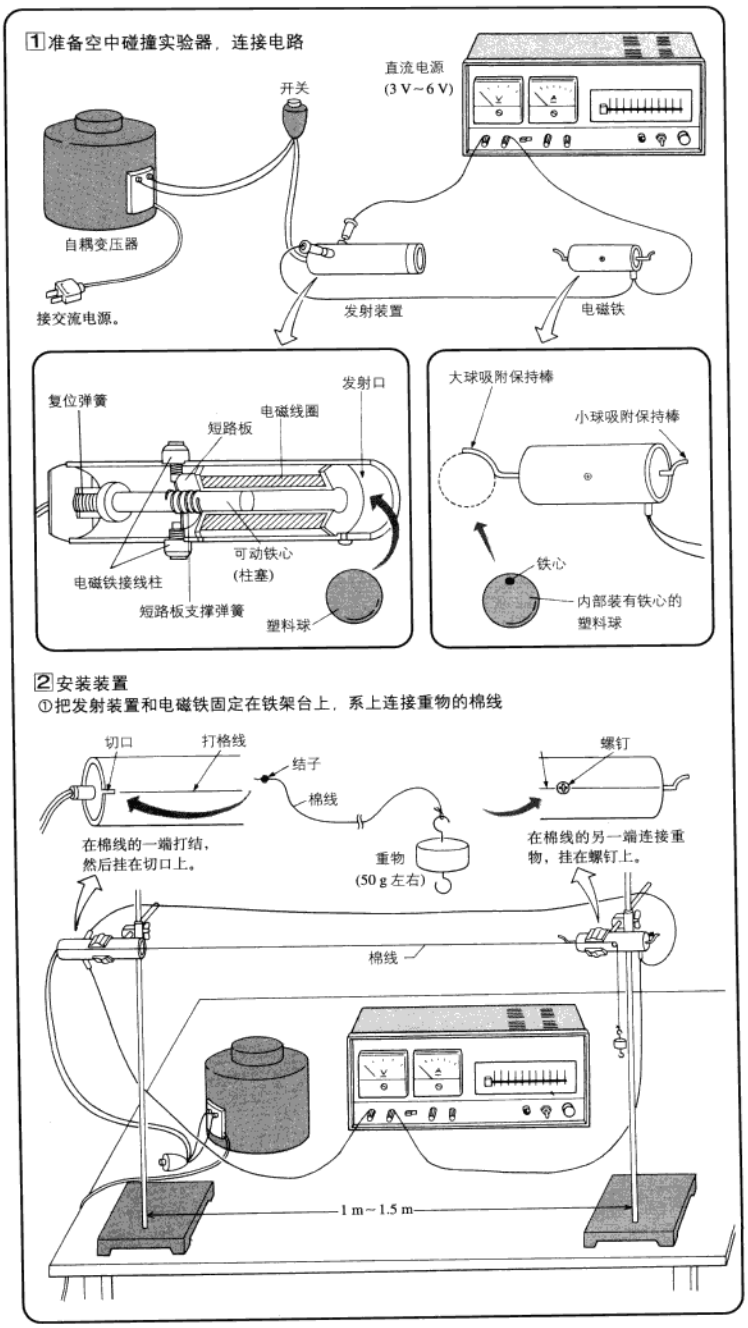
# 45 打靶游戏实验

**目标** 高

通过观察知道：对准目标发射的物体，无论其初速度多大，都会与在发射的同时从同一地点自由下落的目标物体发生碰撞。可以观察到 做平抛运动的物体在水平方向做匀速运动，在竖直方向做自由落体运动。

空中碰撞实验器① 自耦变压器 直流电源② 导线 棉线 重物(50 g左右) 铁架台2个 频闪照片 投影仪③ 屏幕

①同时需要发射用的塑料球和下落用且内部装有铁心的塑料球(大、小各一个)。②电源装置或能得到3 V～6 V电压的电池。③包括透明纸、透明坐标纸、透明纸专用笔。



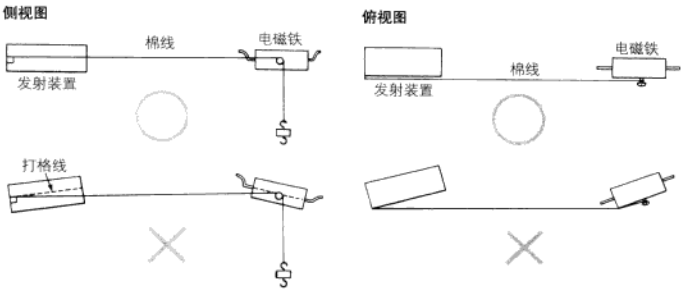

**1** 说明 空中碰撞实验器的发射装置有两种：一种是利用弹簧的弹性发射球的弹簧式实验器；另一种是利用电磁线圈使可动铁心(柱塞)移动，从而把球发射出去的电磁式实验器。在本实验中使用的是电磁式实验器。电磁式实验器发射装置的原理是：接通开关，电磁线圈里就会有电流流动，于是可动铁心发生移动，发射口中的塑料球便被发射出去。可动铁心开始移动的同时，电磁铁接线柱的短路板也开始移动，使电磁铁的线路断开。其结果是，被电磁铁的吸附保持棒支撑着的内部装有铁心的塑料球下落。

提示 把发射装置的电磁铁接线柱和电磁铁、直流电源(电源装置或电池)串联起来，把发射装置的电源线连到自耦变压器的输出端上。

**2** ① 提示 将发射装置和电磁铁固定在铁架台上时，应把侧面的打格线对准操作者。各装置的高度要基本相同。

两个铁架台的间距为1 m～1.5 m。往发射装置后面的切口上挂棉线时，棉线上的结子不能小于切口的大小，否则线就挂不住，实验中要注意这一点。

②为了使棉线与打格线处在同一条直线上，调整发射装置和电磁铁的方向



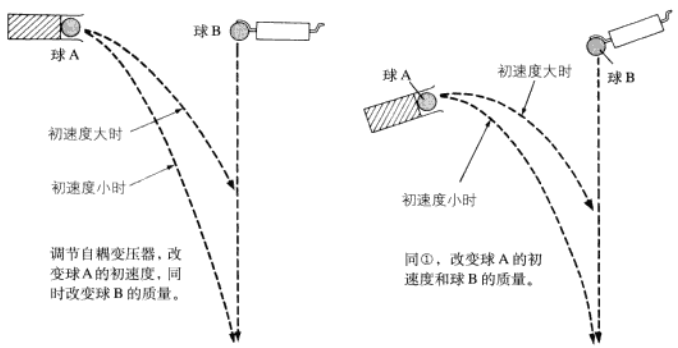

② 提示 只要棉线和打格线之间稍有偏差，小球就不能完全碰撞。为了使两球完全碰撞，就要用充足的时间认真调整。要注意，调整后就不要再挪动铁架台了。

参考 也可采用把发射装置和电磁铁牢牢地固定在直棒上的方法瞄准发射装置的目标。




3 做空中碰撞实验

①调节两个球的高度，使其一致并使两球发生碰撞 ②改变两个球的高度，使其发生碰撞




3 提示 把内部装有铁心的塑料球安装在电磁铁上时，必须使球内的铁心与吸附保持棒紧密接触。

为了防止电磁铁残留磁性的影响，尽量把电磁铁的电流调小，也可以在吸附棒和球之间夹张纸。

改变发射装置的电压时，装置的工作电压范围应控制在30 V～100 V。

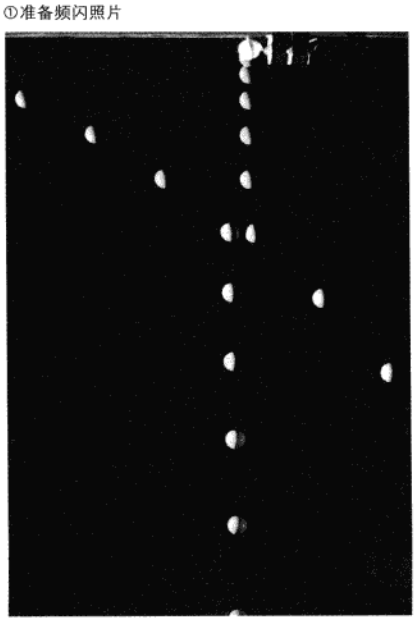
想要改变球B的质量时，改变球的大小就可以了。

在②中改变发射装置和电磁铁的高度时，跟 2 ②中一样，要认真地进行调整，以便球能发生完全碰撞。

说明 不管球A的初速度和球B的质量如何，两个球都能碰撞。但是，如果球A的初速度不一样，碰撞的地点就不一样。把球A朝斜上方发射时情况也一样。

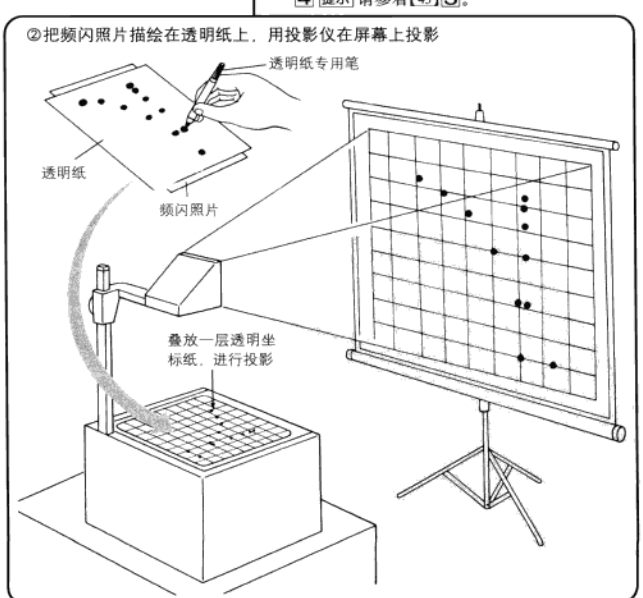
4 分析频闪照片

①准备频闪照片



4 提示 请参看【43】3。

②把频闪照片描绘在透明纸上，用投影仪在屏幕上投影



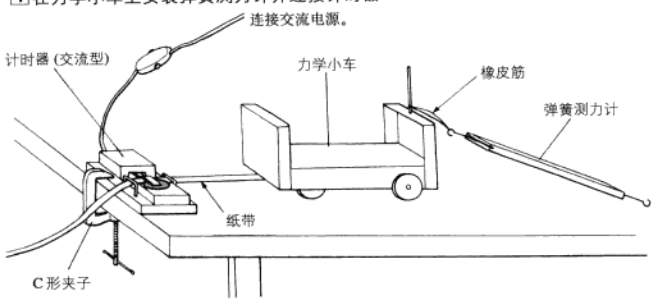
# 46 加速度实验

目标 初高 了解变速运动过程中，相同时间内速度变化一定的匀变速直线运动的特点。

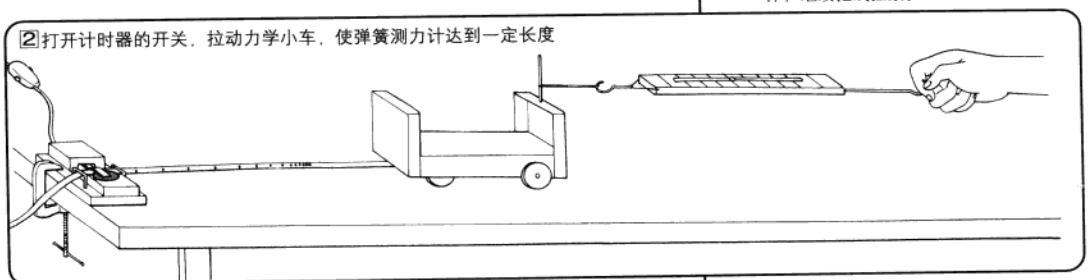
【A】计时器（交流型） 纸带 力学小车 C形夹子 透明胶带 弹簧测力计 橡皮筋 坐标纸 【B】塑料容器（100 mL左右） 橡皮塞 注射器针头 力学小车 透明胶带 坐标纸

## 【A】观察正的加速度

1 在力学小车上安装弹簧测力计并连接计时器

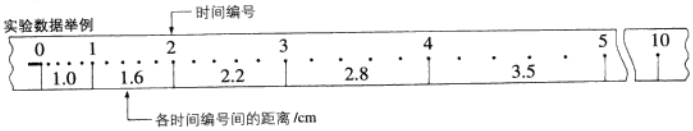



2 打开计时器的开关，拉动力学小车，使弹簧测力计达到一定长度



3 处理纸带记录，分析运动特点

①把纸带上的记录汇总于表中




ⓐ 设打点完全能看清的地方时间编号为0，然后每隔五个点标上一个时间编号（1,2,3,…10）；

ⓑ 用尺测量每个时间编号间的距离并作记录，同时测量从零点开始累计的距离；

ⓒ 用以下式子求出各区间的平均速度

$$速度=\frac{移动的距离(区间距离)}{所用时间(五个点时为0.1\,s)}$$

ⓓ 求出各区间平均速度的增量。

实验数据举例

| 时间编号 /0.1 s | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 从零点开始累计的距离 /cm | 0 | 1.0 | 2.6 | 4.8 | 7.6 | 11.1 | 15.3 | 20.1 | 25.5 | 31.5 | 38.1 |
| 区间距离 /cm | | 1.0 | 1.6 | 2.2 | 2.8 | 3.5 | 4.2 | 4.8 | 5.4 | 6.0 | 6.6 |
| 平均速度 /(cm·s$^{-1}$) | | 10 | 16 | 22 | 28 | 35 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 |
| 平均速度的增量 /(cm·s$^{-1}$) | | | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 |

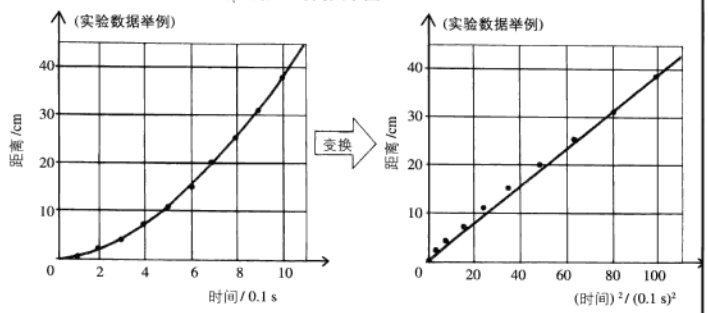
## 【A】观察正的加速度

1 提示 用透明胶带把纸带的一端粘在小车的下面。用C形夹子把计时器固定在桌子边上。

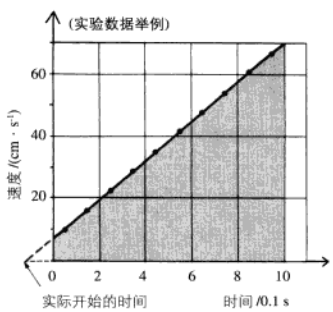
2 提示 要想在小车开始运动的同时，把弹簧测力计调到一定点（如1 N）比较难。建议按照以下方法让小车开始运动：用左手抓住小车，右手拉弹簧测力计使读数达到1 N左右，然后让助手打开计时器的开关，松开左手让小车开始运动。由于小车开始运动时弹簧收缩，小车受到的拉力就会变小，所以小车开始运动之后，为了不间断地施加一定的力，人要随着小车的运动移动身体，继续把线拉紧。

3 ① 说明 虽然也有对记录在纸带上的每一个点都作分析的方法，但是因为本实验中各点之间的间隔很小，为了减少误差，同时考虑到计算上的方便，建议每隔五个点或十个点作相关分析。这里每隔五个点（或十个点）作分析的原因是，所用的电源频率为50 Hz。这样，五个计时点对应的时间就相当于0.1 s，所以只要把时间编号调整为0.1倍，就能以s为单位求得从零点开始所用的时间。这里求某个点的速度时，应先求出通过此点前后的速度，再求出平均速度；也就是说，假设物体在某一区间内的速度不变，那么只要求出此区间的平均速度，就可以把它作为此区间中点的速度。认真观察记录在纸带上的点子就能看出，小车在相邻点之间移动的距离虽然很小，但确实在增加；也就是说，物体在做速度逐渐增大的加速运动。

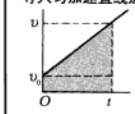
②画出距离（从零点开始经过的距离）－时间关系图




③画出速度－时间关系图




**导入匀加速直线运动的一般公式**




设初速度为$v_0$，速度为$v$，时间为$t$，则加速度$a$便是左图中直线的斜率，也就是说

$$a=\frac{v-v_0}{t}$$

由此可得

$$v=v_0+at \quad \cdots\cdots (1)$$

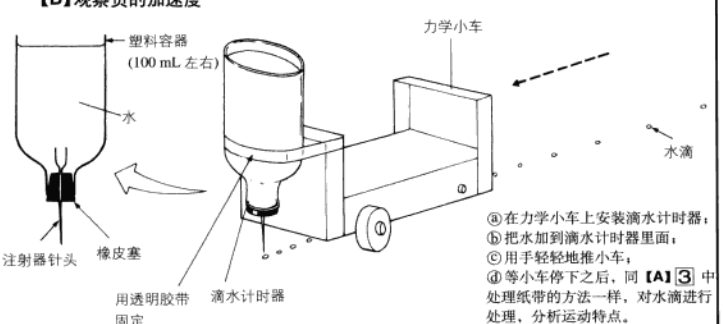
另外，物体的移动距离$s$是阴影部分的面积，所以

$$s=\frac{1}{2}(v+v_0)t$$

用(1)式代替$v$，上式即可写成

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \quad \cdots\cdots (2)$$

**【B】观察负的加速度**




ⓐ在力学小车上安装滴水计时器；
ⓑ把水加到滴水计时器里面；
ⓒ用手轻轻地推小车；
ⓓ等小车停下之后，同【A】3 中处理纸带的方法一样，对水滴进行处理，分析运动特点。

② 说明 把移动距离与时间的关系画成图像，得到的是一条二次曲线（$y=ax^2$）。这里如以时间的二次方为横轴，图像就几乎变为一条直线，由此就能知道小车的移动距离与时间的二次方几乎成正比。但是在本实验中，当时间为零时，因为小车已经开始运动，所以初速度不是零，$s$与$t$的关系是如左边方框中公式(2)表现的形式，所以严格地说二者不成正比。当然，如果测量起点与运动的起点一致——在公式(2)中初速度为$v_0=0$时），只要是匀加速直线运动，$s$与$t$就会成正比关系。

③ 说明 通过图像可以看出，时间为零时，已经有了速度（在实验数据中是7 cm/s），此速度叫做初速度。另外，把图像中的直线反向延长就会与横轴相交，与交点对应的时间就是小车实际开始运动的时间。

下面注意一下图像呈直线的特点。图像呈直线说明速度在一定的时间间隔内的增量是一定的。如果把单位时间内速度的增量叫做加速度，那么在这里用一定的力连续拉小车的运动就是加速度一定的匀加速直线运动。然后，根据求加速度的公式

$$\text{加速度}=\frac{\text{速度的增量}}{\text{所用时间}}$$

就能知道图中直线的斜率可以表示加速度。下面考虑图中的阴影部分。把实验数据代入公式求出面积

$$\text{面积}=\frac{1}{2}(10\times 0.1)\text{ s}\times(7+69)\text{ cm/s}$$

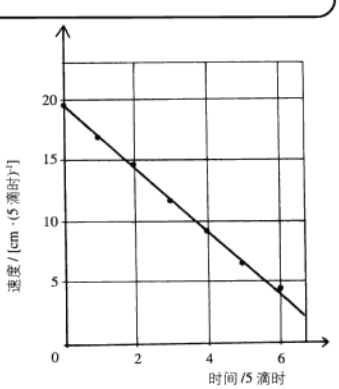
$$=38.0\text{ cm}$$

由此可知，此面积与①中的移动距离相等。

参考 如果用直线的斜率表示加速度，用阴影部分的面积表示移动距离的话，即可导入匀加速直线运动的一般式（见左边方框中的内容）。(1) 式表示物体在$t$时刻的速度$v$，(2) 式表示物体在$t$时间内经过的路程。

**【B】观察负的加速度**

说明 加速度并不全如【A】中观察到的那样——加速度为正，也有加速度为负（即物体的运动速度逐渐减小）的情况。在这个实验中，学生将观察桌面上运动的力学小车。由于车轮与桌面间的摩擦，车速将逐渐减小。本实验不使用电子计时器，而采用使水滴按照同样的时间间隔滴落的滴水计时器。只要滴水计时器能够按照相同的时间间隔滴水，我们便能像【A】中那样求出速度等物理量。右面的图像是以五滴水滴下来的时间（5滴时）为单位，表示速度与时间之间关系的一个实例。



# 47 物体沿着斜面下滑的运动

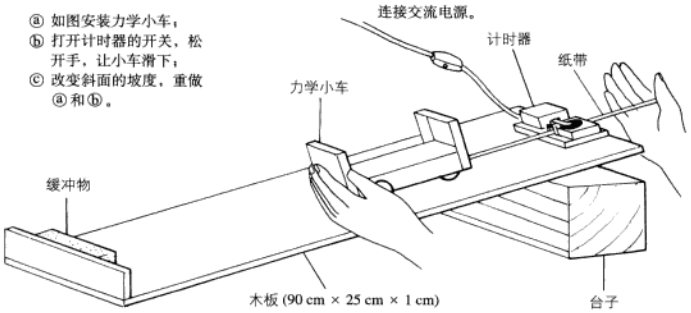
目标 初高 了解力学小车沿着斜面做下滑运动的特点。

计时器(交流型) 纸带 力学小车 C形夹子 透明胶带 木板① 缓冲物 台子② 剪刀 糨糊 坐标纸

①尺寸为90 cm × 25 cm × 1 cm左右的木板，用作斜面。②用于支撑斜面。

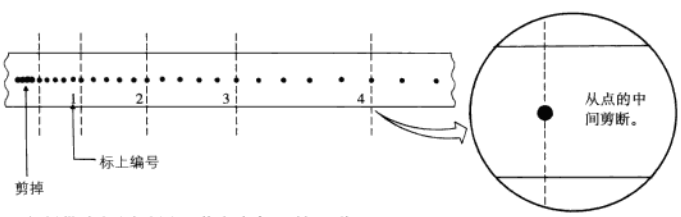
**1** 给力学小车安上计时器，然后使小车从斜面上滑下

ⓐ 如图安装力学小车，
ⓑ 打开计时器的开关，松开手，让小车滑下，
ⓒ 改变斜面的坡度，重做ⓐ和ⓑ。

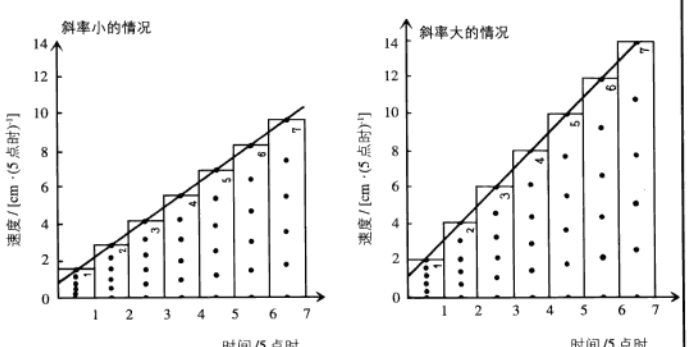



**2** 整理纸带，分析小车的运动特点

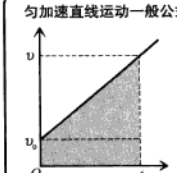
①用剪刀把纸带每隔五个点剪断




②把纸带贴在坐标纸上，作出速度－时间图像




**匀加速直线运动一般公式的推导**




初速度为$v_0$、速度为$v$、时间为$t$时，加速度$a$就是左图中直线的斜率

$$a=\frac{v-v_0}{t}$$

由此可以推出

$$v=v_0+at \quad \cdots\cdots (1)$$

另外，因物体的路程(距离)$s$是阴影部分的面积

$$s=\frac{1}{2}(v+v_0)t$$

把$v$用(1)式代入，便可得到

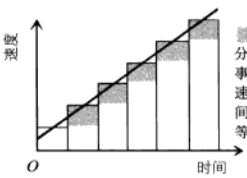
$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \quad \cdots\cdots (2)$$

**1** 提示 把纸带剪成适当的长度，用透明胶带粘贴在小车的底部。如果纸带过长，由于被拖拉的部分摩擦增大，误差也会变大。计时器要用C形夹子固定在木板上。改变斜面坡度，重做实验。

**2** ① 提示 每隔五个点剪断的原因是电源频率为50 Hz。把每隔五个点剪断的纸带从短到长依次排列，并编号为1，2，3，4……这样，在绘制速度－时间图像时就不会弄错纸带顺序。

② 说明 此坐标的横轴表示时间，纸带的宽度相当于单位时间(打五个点所用的时间)，纵轴表示单位时间(5点时)内移动的距离(即速度)。所以，此图像表示速度与时间之间的关系。把每个纸带顶端的中点连接起来就能得到图中的直线。

结果 认真观察图像就能发现，单位时间内速度的增量不变。通过把每个纸带顶端的中点连接得到直线这一事实也可以得出相同的结论。这就说明从斜面上滑下来的小车做的是匀加速直线运动。此外，根据通过直线的斜率可以求得加速度这个事实可以知道：斜面的倾角越大，加速度越大。




通过这部分面积相等的事实能知道，速度在单位时间内的增量相等。

参考 由于直线的斜率表示加速度，直线与横轴所围部分的面积表示位移，所以可导入匀加速直线运动的一般式(参照左侧方框围起来的内容)。(1)式表示物体在$t$秒后达到的速度$v$，(2)式表示物体在$t$秒内经过的路程(距离)。

# 48 观察加速度与力的关系

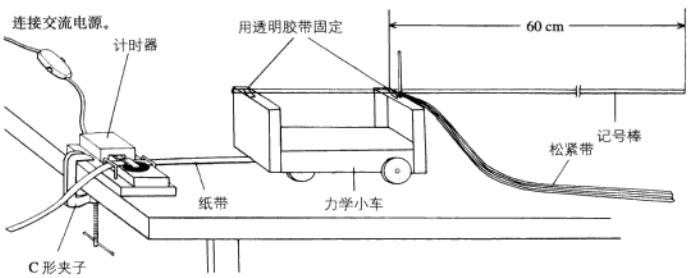
目标 初高 观察对物体持续施加一定的力时，物体以一定的加速度运动的现象。
知道当物体的质量一定时，加速度的大小与力成正比。

【A】计时器(交流型) 纸带 力学小车 松紧带 记号棒(长约80 cm) 透明胶带 C形夹子 缓冲物 尺 坐标纸

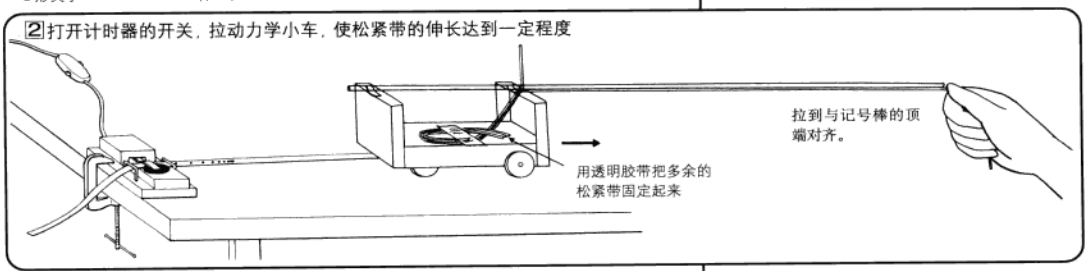
*除此之外，【其他方法】中需要用到带滑轮的支柱装置，弹簧，毛笔，纸及纸屏，【B】中需要用到毛巾，【C】中需要用到线及锁链。

## 【A】使一定大小的力作用到运动中的物体上

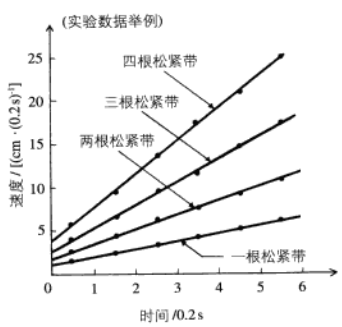
1 在力学小车上连接松紧带，然后安装计时器



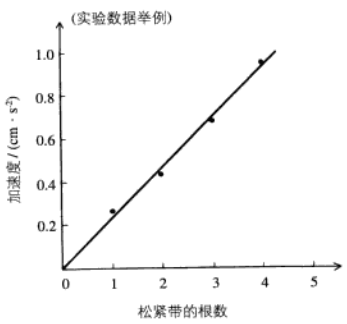

2 打开计时器的开关，拉动力学小车，使松紧带的伸长达到一定程度




3 画出速度与时间的关系图像




4 画出加速度与力的关系图像




说明 由于松紧带比较细，纸带的打点间隔也比较小，所以这里介绍的实验数据是以10个点的间隔为单位处理的。另外，这里的速度单位用的是cm/(0.2 s)，对应的是物体在10个点(也就是0.2 s)内移动的距离，把它改为表示1 s内移动的距离单位就应写作5 cm/s。

结果 用一定的力不间断地拉小车，小车就会做加速直线运动。随着拉力增大，直线的斜率也会变大，说明加速度也随之变大。

4 提示 加速度可以通过3中各直线的斜率，用【49】中求重力加速度的方法求出。
这里只需观察定性关系，所以横轴所取的力的单位可用松紧带的根数代替。如果想把力的大小以牛顿(N)为单位来计算的话，需先算出松紧带的劲度系数，再从松紧带的伸长计算力的大小。

结果 从图像通过坐标原点并为一直线的事实可以看出，加速度与松紧带的根数(也就是力的大小)成正比。

## 【A】使一定大小的力作用到运动中的物体上

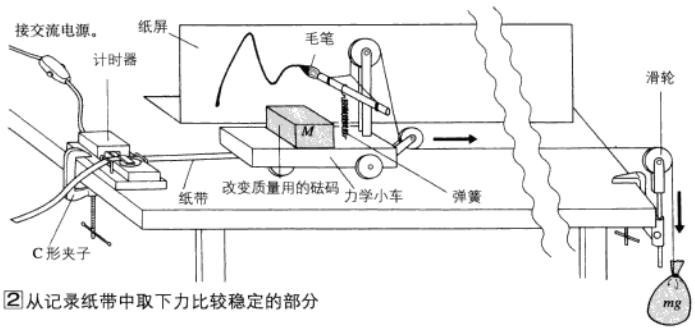
1 提示 用透明胶带把纸带的一端粘贴在小车的底部，计时器和缓冲物则用C形夹子固定在桌边。连接四根松紧带(每根长40 cm左右)。为了粗略推测松紧带的伸长，在小车上连接细而轻的记号棒，其长度为60 cm(是松紧带自然长度的1.5倍左右)。

2 提示 小车开始运动时，为了使松紧带的伸长同时达到一定的程度，应用一只手抓住小车，另一只手则把松紧带拉长到与记号棒的右端对齐，然后松手让小车开始运动。小车开始运动之后，应时刻注意使抓松紧带的手指与记号棒的顶端对齐。如果这一环节出现差错，就得不到好的实验结果。
改变拉力的大小，再做实验，也就是说改变松紧带的根数做实验。此时，多余的松紧带要用透明胶带固定在小车上。

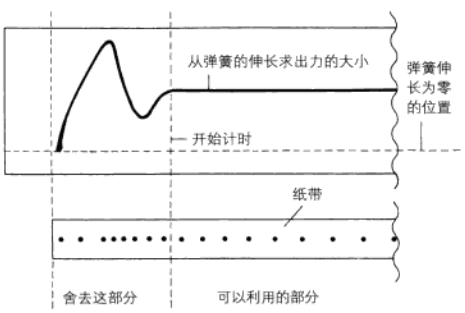
3 提示 处理纸带时，如果电源频率为60 Hz，就以六个点为单位处理。但是由于松紧带的粗细及强度有些不同，所以不必拘泥于五个点(或六个点)。其他的处理方法请参照【46】。

**【其他方法】利用毛笔的方法**

1 安装装置，使力学小车做直线运动




2 从记录纸带中取下力比较稳定的部分



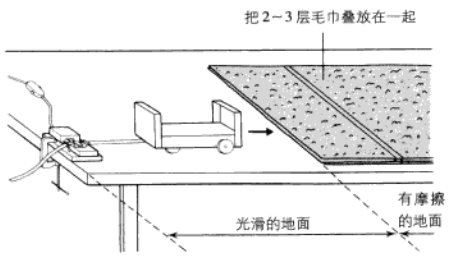

实验开始后，为了改变小车的加速度$a$，使其变为原来的2、3、4倍，通过下式求出力学小车的质量$M$（单位：g）和悬挂砝码的质量$m$（单位：g），换砝码再做实验。

$$a=\frac{m}{M+m}g$$

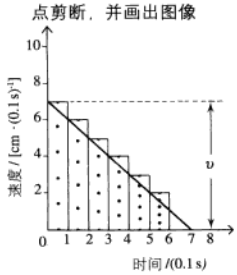
因为有摩擦力，只用上式不可能将加速度准确地设定为原来的2、3、4倍，所以要先做预备实验，调整$M$，利用得到的数据与【A】3 4 中一样画出图像。

**【B】观察摩擦力起作用的运动**

1 把力学小车从平滑的地面换到有摩擦的地面上运动

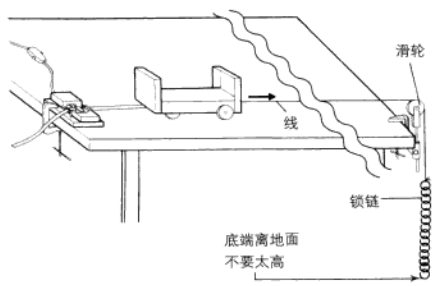



2 把小车在毛巾上面运动的那部分纸带每隔五个点剪断，并画出图像

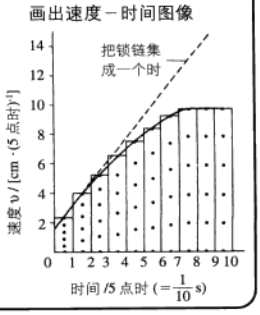



**【C】观察外力发生变化时小车的运动**

1 安装装置，使力学小车做直线运动




2 把纸带每隔五个点剪断，画出速度－时间图像




**【其他方法】利用毛笔的方法**

提示 运动开始时，施加的力不够均匀，所以不必考虑那一部分的纸带，尽管继续操作。

**【B】观察摩擦力起作用的运动**

1 提示 为了能观察到明显的负加速度，把2～3条表面凹凸不平的毛巾叠在一起使用。为了观察明显的减速效果，改变小车的速度。针对不同的速度事先要做好预备实验。

2 提示 纸带只采用小车在毛巾上面运动的部分。作出图像之后求加速度$a$。加速度$a$是在时间$t_1-t_0$内速度从$v_0$变至$v_1$时速度在单位时间内的增量，因此可以通过以下式子求得

$$a=\frac{v_1-v_0}{t_1-t_0}$$

实验数据举例

$$a=\frac{0-7.1}{0.7-0}\text{cm/s}^2\approx-10.1\text{ cm/s}^2$$

每隔五个点剪断是因为电源频率为50 Hz。

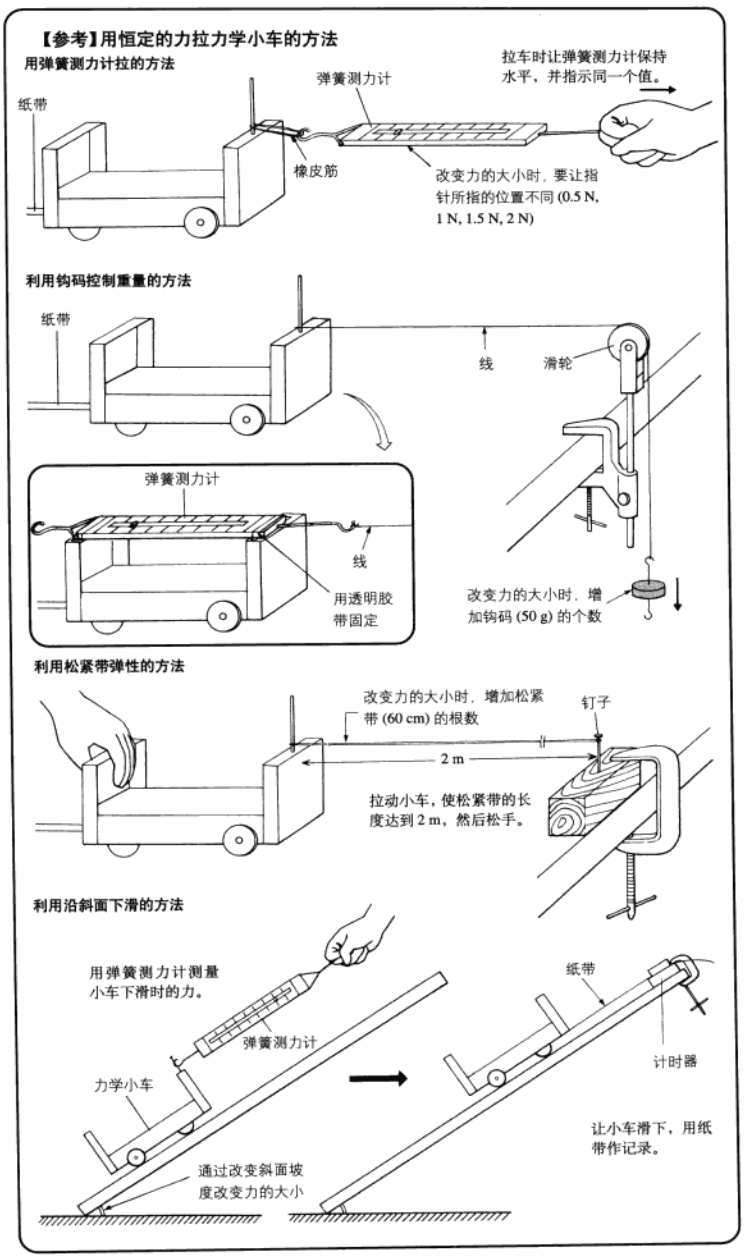
说明 由图可知，小车的移动速度随着时间的推移而变小。通过这个现象可以知道，力学小车会出现负的加速度（减速运动）。

**【C】观察外力发生变化时小车的运动**

1 提示 实验开始前向学生提问："如果加到小车上的力逐渐减小的话，小车会做什么样的运动？"这样，由于学生不知道结果，所以便会对实验产生浓厚的兴趣。由于小车的运动距离比较短，所以锁链的粗细为3 mm～4 mm，一个锁扣的长度为3 cm左右比较合适。改变锁链的重量或把锁链卷成一团做同样的实验并作比较。

说明 当锁链的下端着地时，锁链对小车的拉力开始减小，直到锁链的上端着地时变为零。

2 结果 通过速度－时间图像可以看出加速度逐渐减小的情况。虽然施加的外力变小了，速度却在增加。




**【参考】用恒定的力拉力学小车的方法**

说明 可考虑采用各种方法用恒定的力拉力学小车，这里介绍其中的几种。

**用弹簧测力计拉的方法**

与拉松紧带的方法相比，这种方法更为简便。但是，拉的过程中有必要让弹簧测力计的读数始终保持一致，这就要求操作熟练。另外，数据的偏差也比较大。用橡皮筋拉弹簧测力计是为了保持读数的稳定，橡皮筋的弹性可以减弱微小的冲击。

**利用钩码控制重量的方法**

用手对小车持续施加恒定的力是比较难的，并且缺乏准确性。利用钩码控制重量的方法，既好操作，又能得到稳定的读数。但是，此法也有很大的问题，即运动物体的质量是小车的质量 $M$ 和钩码的质量 $m$ 之和。根据理论上的计算，重力加速度为 $g$ 时，求加速度 $a$ 的式子为

$$a = \frac{mg}{M + m}$$

通过上式可以知道，如果对 $M$ 来说 $m$ 非常小，$m$ 就可以忽略不计；不过，在这种情况下 $a$ 也会变得很小而难以进行数据分析。

为了解决这个问题，可以像左边方框内的小图描绘的那样，把对小车施加的力直接作用于固定在小车上的弹簧测力计上。这种方法虽然具有当小车速度变大时难以直接读取数值的缺点，但一旦成功就可以得到相当准确的数据。

**利用松紧带弹性的方法**

这种方法的应用前提是，当运动开始后，由于松紧带的伸长变小，拉小车的力也逐渐变小，所以这里我们假设松紧带只在刚一开始的15 cm内有微小的变化，分析纸带的记录时只对开始时的 15 cm 左右作详细的分析，求出加速度。把自然长度为1 m的松紧带拉长至4 m左右的实验中，只分析开始时的15 cm，误差就减少了很多。但是，学生做实验时，从桌子的长度看最长也只能是2 m。虽然带有假设性，但其数据的精确度还是相当高的。

**利用沿斜面下滑的方法**

这种方法利用了小车沿斜面下滑时做匀加速运动的规律，能够得到稳定的数据，图像的直线性也比较好，但用这种方法得到的图像几乎都不经过原点，其原因估计在于使小车下滑的力在静止和运动时不一样，这可能是静摩擦力和动摩擦力不同造成的。

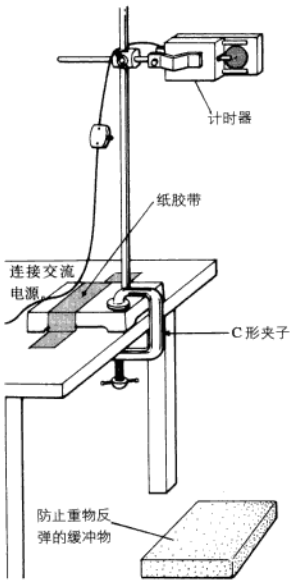
# 49 测定重力加速度 $g$

目标 高 能用计时器测定由重力产生的加速度。
知道物体自由下落时的加速度是恒定的，与物体的质量无关。

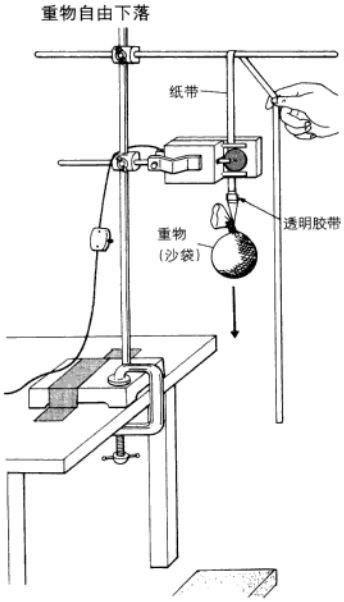
**计时器(交流型) 纸带 铁架台 C形夹子 缓冲物 重物① 透明胶带 尺 坐标纸 糨糊 剪刀 【其他方法】 分液漏斗(300 mL～500 mL) 铁架台 水桶 卷尺 秒表**

① 1 kg左右的和0.5 kg左右的重物各准备一个，可用沙袋或橡皮泥制作的球充当。

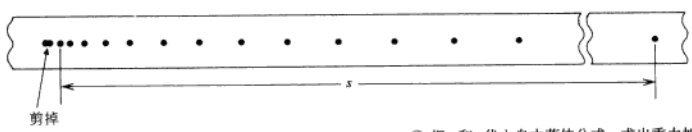
1 把计时器固定在铁架台上




2 安装重物，打开计时器的开关，让重物自由下落



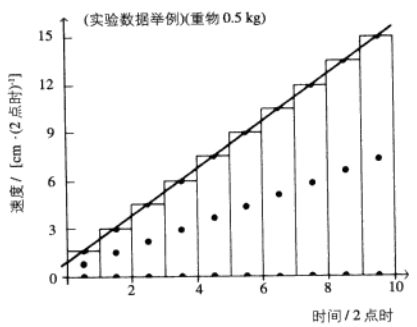

3 利用纸带记录的数据和自由落体公式求出重力加速度 $g$




ⓐ 剪掉打点不清楚的部分，测出第一个点与最后一个点之间的距离 $s$；
ⓑ 利用距离 $s$ 间的点数求出重物下落 $s$ 所用的时间 $t$；
ⓒ 把 $s$ 和 $t$ 代入自由落体公式，求出重力加速度 $g$：

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \rightarrow g=\frac{2s}{t^2}$$

4 利用纸带上的数据，画出图像，从直线的斜率求出重力加速度 $g$




ⓐ 把纸带每隔两个点剪断，贴在坐标纸上作出图像；
ⓑ 用直线连接剪断的各纸带上端的中点，通过计算直线的斜率求出重力加速度 $g$：

$$g=\frac{\text{速度的增量}}{\text{所需时间}}=\text{直线的斜率}$$

1 提示 调整计时器的高度，使重物到地面的高度大于1 m。事先要用C形夹子把铁架台固定在桌子上，重物落下的地方放上缓冲物。

2 提示 纸带的长度为1 m左右。在纸带上连接重物时可利用透明胶带。当重物下落时，如果纸带脱离计时器，应马上切断计时器的电源。分别利用1 kg的重物和0.5 kg的重物进行实验。

3 提示 求出改变重物质量时的各重力加速度 $g$ 并作比较。

4 说明 左边的图像是0.5 kg的重物下落时的实验数据，下面是相应的计算。
速度在3 cm/2点时～15 cm/2点时的区间内，增量是(15 − 3) cm/2点时，对应的时间是(9.5 − 1.5)× 2点时。另外，1点时(计时器打一个点之后到再打下一个点之间的时间)在电源频率为50 Hz的地区是 $\frac{1}{50}$ s (即0.02 s)。因此，通过这些数据求出直线的斜率并统一单位即可得到重力加速度 $g$ 如下：

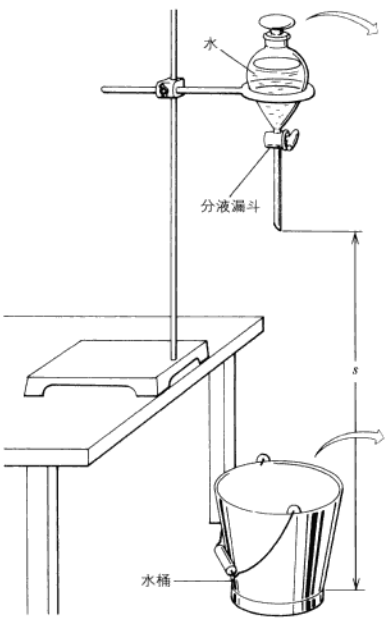
$$g=\frac{(15-3)\text{ cm/2点时}}{(9.5-1.5)\times 2\text{点时}}=\frac{12\times 0.01\text{ m}}{8\times(0.04)^2\text{s}^2}\approx 9.4\text{ m/s}^2$$

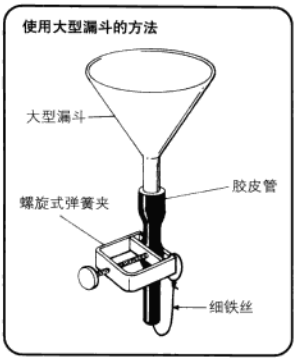
提示 利用改变重物质量时得到的数据画出速度－时间图像，求出重力加速度 $g$ 并作比较，再与3中求得的数值作比较。

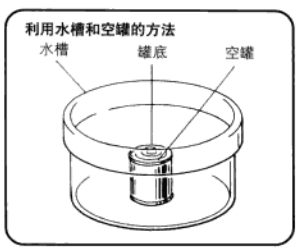
说明 一般来讲，物体的下落距离比较短时，可以忽略物体受到的空气阻力。这样，当空气阻力可以忽略时，物体下落的加速度便是固定的，与物体的大小及质量无关。不过，通过测量得到的重力加速度 $g$ 并不一定跟标准值9.8 m/s²完全一致，这是因为物体的运动还会受到纸带和计时器的摩擦等因素的影响。

**【其他方法】测量水滴下落时间的方法**

1 如图安装装有水的分液漏斗和水桶，测量从水桶底部到分液漏斗下端的距离 $s$




2 求水滴的下落时间 $t$




ⓐ使水滴一滴一滴地下落，调整阀门使滴下的水落到水桶底部发出声音的同时，下一滴水刚好从漏斗的下端滴出；
ⓑ用秒表测量20滴水下落所用的时间；
ⓒ求出一滴水下落所用的时间 $t$。

3 利用自由落体公式，求出重力加速度 $g$

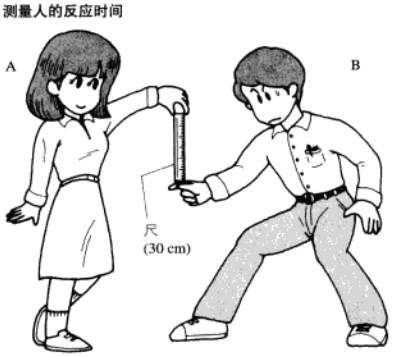
把在 1 中测量的下落距离 $s$ 和 2 中求出的下落时间 $t$ 代入自由落体公式，求出重力加速度 $g$：

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \rightarrow g=\frac{2s}{t^2}$$

实验数据举例

| 下落距离 $s$/m | 滴下 20 滴所用时间 /s | | | | | 下落时间 $t$/s | 重力加速度 $g$/(m · s$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 第 4 次 | 平均 | | |
| 1.5 | 11.0 | 11.1 | 11.2 | 11.4 | 11.2 | 0.56 | 9.6 |

**测量人的反应时间**




ⓐA 用两个手指捏住尺的上端；
ⓑB 把手放在尺的下端(但不能碰到尺)，准备用手指夹住落下的尺；
ⓒA 在不通知 B 的情况下，忽然松手，尺子落下，B 快速用手指夹住尺；
ⓓ以尺的下端为起点测量 B 夹住尺的位置至起点的距离 $s$；
ⓔ把 $s$ 和重力加速度 $g$ (9.8 m/s$^2$)代入自由落体公式，求出 B 的反应时间 $t$：

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \qquad t=\sqrt{\frac{2s}{g}}$$

**【其他方法】测量水滴下落时间的方法**

说明 利用这种简便的实验方法，可使学生理解水滴的自由落体运动是匀加速直线运动。除此之外，还有利用单摆周期的方法。

1 提示 距离 $s$ 以 1.5 m 左右为好(人站在地面上时视线的高度)。

没有分液漏斗时，可用大型漏斗等适当的容器代替，下面连接胶皮管，然后用螺旋式弹簧夹子进行调整。此时，给胶皮管里面穿一根铁丝会更容易调整。胶皮管内穿铁丝时，应使铁丝的顶端超过螺旋式弹簧夹子所在的位置。

为了听清水滴的落地声，可以在水槽里面倒着放一个空罐，用它代替水桶。

2 提示 如果调整不好，不能使水滴按照相等的时间间隔下落，可以尝试使用大型漏斗代替分液漏斗的装置(参照 1 )再做实验。

说明 简单并且准确地测量一滴水下落的时间是比较困难的事情，所以应先测量 20 滴水的下落时间，再求出一滴水的下落时间。

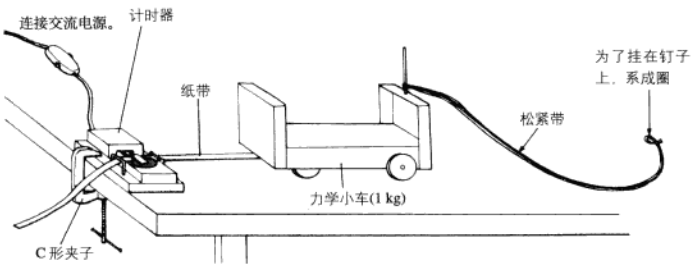
参考 作为自由落体公式的应用例子，这里介绍测量人的反应时间的方法。学生的反应时间一般为 0.2 s 左右。在日常的实验中都会存在测量误差，其中也有这种由测量者的反应时间产生的误差。

# 50 观察加速度与质量的关系

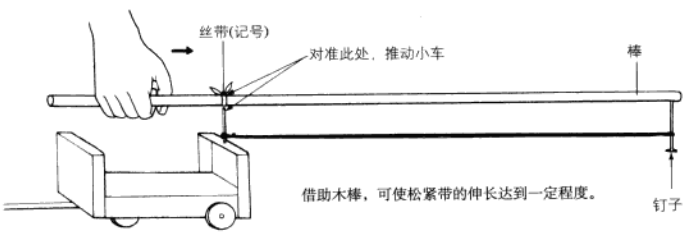
目标 高 观察对物体施加的力为一定量时，物体的加速度如何改变。了解加速度与质量的关系图像。

计时器(交流型) 纸带 松紧带 力学小车(1 kg) 重物(1 kg)3个 棒(长约80 cm) 丝带 C形夹子 缓冲物 尺 坐标纸

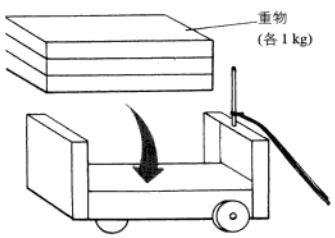
1 往力学小车上连接松紧带并安装计时器



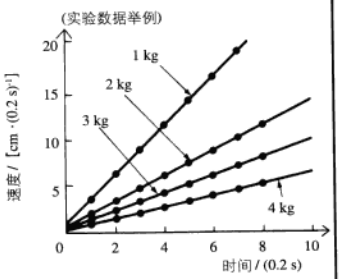

2 打开计时器的开关，推动力学小车，使松紧带的伸长达到一定程度



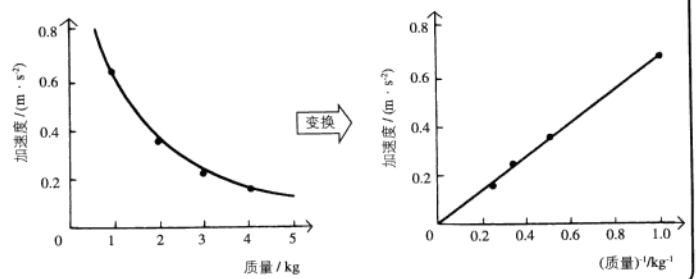

3 通过在小车上放重物改变小车的质量，然后重做2




4 画出速度与时间的关系图像




5 画出加速度与质量的关系图像




1 提示 用透明胶带把纸带的一端粘贴在小车的底部。用C形夹子把计时器和缓冲物固定在桌边。准备两三根长度为40 cm左右的松紧带。如果只用一根松紧带，小车上放三个重物时就有可能拉不动。

2 提示 为了保证小车开始运动的同时松紧带的伸长达到一定程度，应在小车开始运动前，用一只手抓住小车，用另一只手把松紧带拉到预定的长度，然后松手使小车开始运动。小车开始运动之后，应时刻注意使丝带与小车的顶端对齐。如果这一环节出现差错，测量结果就会受到影响。

3 提示 分别针对放一个重物、两个重物、三个重物时的情况做实验。

说明 这里，物体的质量等于小车的质量加上重物的质量。

4 提示 纸带的处理方法请参照【46】。

说明 虽然也可以采用把纸带按照一定的打点间隔剪断后粘贴在坐标纸上的方法，但像本实验这样，纸带用得比较多时，把区间距离直接记录在坐标纸上的方法更为简单。在左边的实验数据举例中，速度单位是cm/(0.2 s)，这表示10个点(也就是每0.2 s内)移动的距离，改用1 s内的移动距离表示，可以写为× 5 cm/s。

5 说明 借助加速度和质量的关系图像，可以知道二者好像成反比例关系。如果确实成反比例关系，那么加速度和质量的倒数就应该成正比，所以右图把质量的倒数作为横轴，变换了坐标。

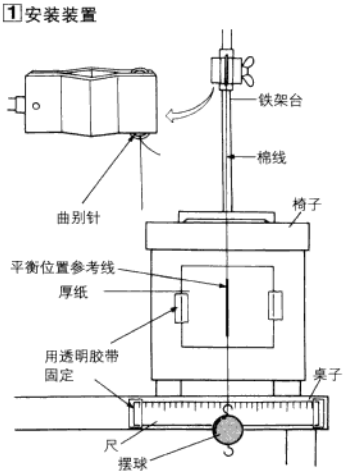
结果 变换后的图像是通过原点的直线。由此可知：给物体施加恒定的力时，加速度与物体的质量成反比。

# 51 单摆实验

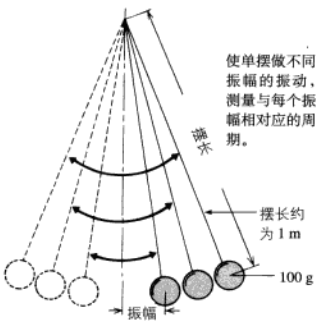
目标 初高 观察单摆的物理性质(即单摆的周期与质量、摆长以及振幅的关系)。

**摆球3个(100 g，25 g，5 g) 棉线 曲别针 铁架台 厚纸 直尺2把(长度分别为1 m和30 cm) 透明胶带 秒表**

## 1 安装装置




## 2 观察振动的周期是否与振幅有关

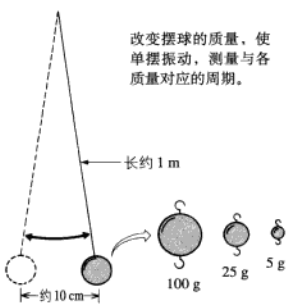



实验数据举例

| 振幅/cm | 2.0 | 5.0 | 15.0 |
|---|---|---|---|
| 往返10次所用的时间/s | 19.5 | 19.6 | 19.7 |
| 周期/s | 1.95 | 1.96 | 1.97 |

单摆的长度：95 cm

## 3 观察振动周期是否与摆球的质量有关

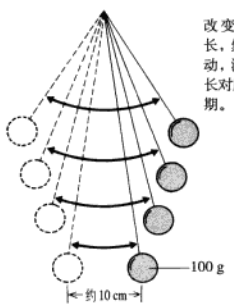



实验数据举例

| 摆球的质量/g | 5 | 25 | 100 |
|---|---|---|---|
| 往返10次所用的时间/s | 19.6 | 19.7 | 19.6 |
| 周期/s | 1.96 | 1.97 | 1.96 |

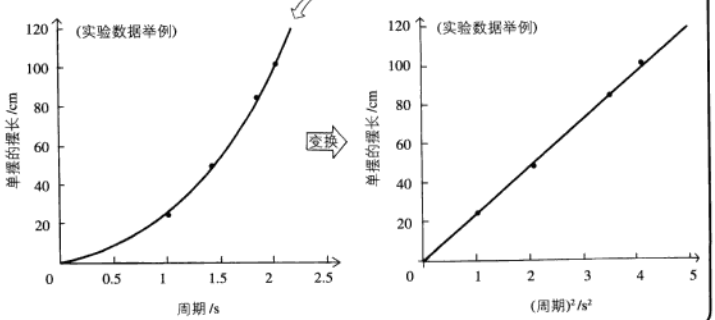
单摆的长度：95 cm

## 4 观察振动周期与摆长的关系




实验数据举例

| 单摆的摆长/cm | 101 | 85 | 50 | 25 |
|---|---|---|---|---|
| 往返10次所用的时间/s | 20.2 | 18.7 | 14.4 | 10.1 |
| 周期/s | 2.02 | 1.87 | 1.44 | 1.01 |
| 周期的二次方/s² | 4.08 | 3.50 | 2.08 | 1.02 |




1 说明 在椅子上粘贴画有平衡位置参考线的厚纸是为了在测量周期时作参考。在桌子上固定直尺是为了测量振幅。

2 提示 单摆振动时，要使振动面与直尺平行。另外，振动面要在同一个平面内。周期可以通过测量单摆往返一次的时间得出，但是因为这种方法在实际操作中比较困难，所以常用的方法是先测出单摆往返10次的时间，然后再用10除。单摆的振动在两端停止，到中间变得最快。为了准确地测定周期，最好当单摆到达中间(也就是通过平衡位置参考线)时开始计时。

结果 如果振幅不太大，单摆的周期与振幅就没有关系。

3 提示 与 2 中的提示相同。

结果 单摆的周期与摆球的质量大小没有关系。

4 提示 与 2 中的提示相同。

结果 画出单摆的周期与摆长的关系图像(译者注：这里的做法不规范。规范的做法是，以摆长为横轴、周期为纵轴作图。)后可以发现，其形状类似于二次曲线($y=ax^2$)。此时求出周期的二次方，然后改变坐标就可得到一条通过原点的直线。由此可知：周期的二次方与单摆的摆长成正比。

说明 通过以上的结果可知，周期只与单摆的摆长有关而与振幅的大小无关。这就是“单摆的等时性”。

参考 根据严密的理论推算，单摆的周期$T$与摆长$l$的关系如下：

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\quad\left(\begin{array}{l}\pi：\text{圆周率}\\ g：\text{重力加速度}\end{array}\right)$$

由此可知，只要能够准确地测出单摆的摆长$l$和周期$T$，就能求出重力加速度$g$。为了准确地测量$l$和$T$，可采用如下方法：

- $l$——把实验前的摆长和实验后的摆长加起来取平均；
- $T$——连续振动190次以上，测量每往返10次所用的时间，测19次以上，最后取平均值。

材料与器具

# 52 傅科摆(科里奥利力)实验

**目标** 高

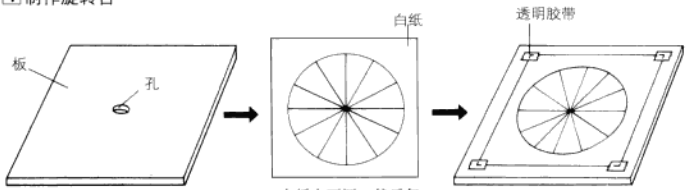
观察摆的振动面从旋转台上看是做反向转动，但对周围空间来说位置并未发生变化的现象。
利用单摆观察地球的自转。

木板(40 cm × 40 cm) 白纸 圆规 量角器 铅笔 透明胶带 钩码① 线② 曲别针 铁架台(小型) 钢球

①力学实验用的(重 100 g)一个和单摆实验用的(直径 4 cm，重 300 g)一个。②单摆实验中用于吊挂钩码的线应该是不会出现扭曲的。

## 【A】从旋转台上观察单摆的振动面

1 制作旋转台

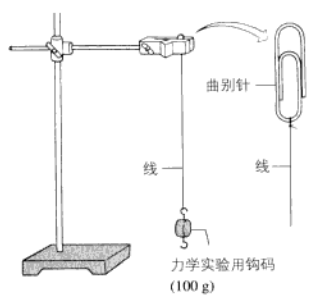



在板的中心位置打孔。

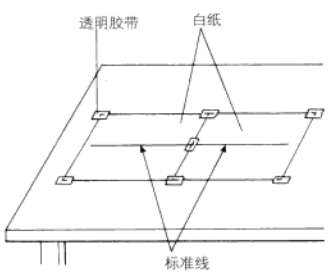
在纸上画圆，然后每隔 30° 画一条通过圆心的直线。

把纸固定在板上。

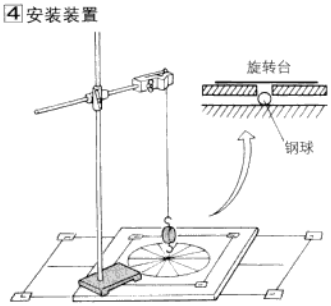
2 把单摆固定在铁架台上



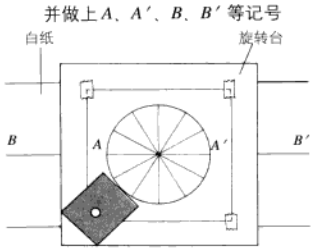

3 桌面上贴纸，并画出标准线



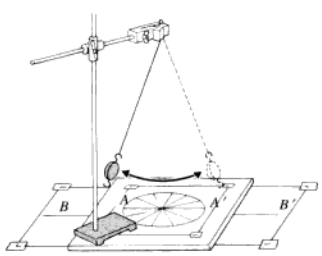

4 安装装置



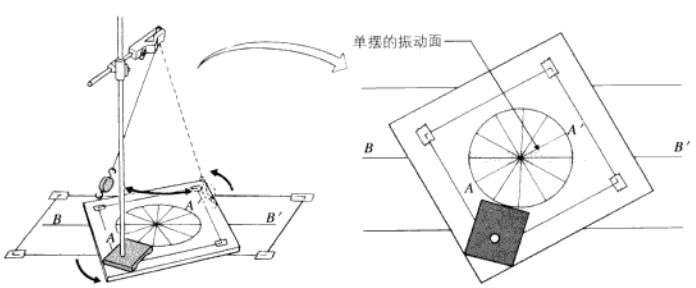

5 使旋转台上的线与标准线重合，并做上 $A$、$A'$、$B$、$B'$ 等记号




6 使单摆振动




7 使旋转台沿逆时针方向旋转 30°




## 【A】从旋转台上观察单摆的振动面

1 提示 孔的直径要比钢球略小一点，大约为8 mm。在纸上画的圆，直径大约为10 cm。把纸固定在木板上时，纸上的圆心要与木板上孔的中心对齐。

2 提示 单摆的摆长为40 cm左右。摆线的一端与曲别针相连并用铁架台上的夹子夹紧。

3 提示 这里所用的纸可以是白纸。把两张纸排列起来，使标准线尽量长。

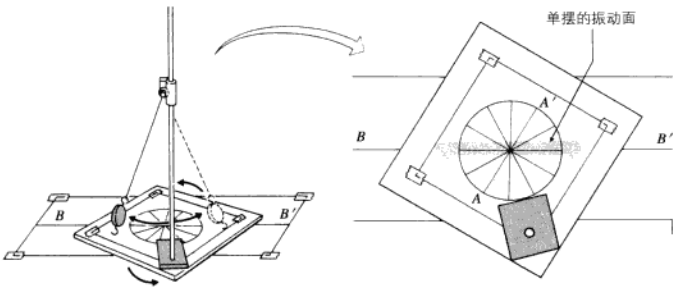
4 提示 把白纸放到旋转台上时，应把钢球放进旋转台的孔内，使钢球与标准线对齐。把铁架台放在旋转台的一角，然后调整单摆的位置，使摆球的中心对准旋转台的圆心。

5 提示 旋转台上与标准线对齐的线可以任意选取。

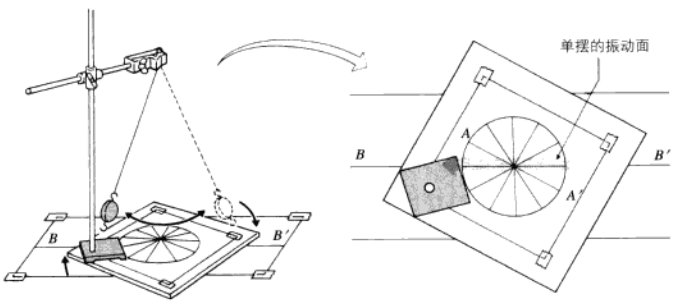
6 提示 使旋转台保持水平，单摆的振动面与直线 $AA'$ ($BB'$ 为标准线)对齐，然后使单摆轻轻地振动。

7 提示 一边保持水平，一边沿逆时针方向慢慢地转动旋转台。认真观察可以发现，单摆的振动面相对于旋转台上的直线 $AA'$ 来说是做顺时针转动，但它相对于标准线 $BB'$ 的位置保持不变。

8 使旋转台沿逆时针方向旋转 30°

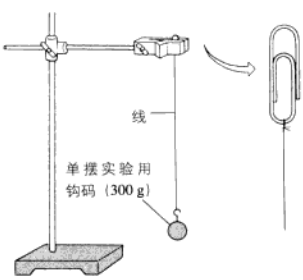



9 使 $AA'$ 和 $BB'$ 对齐，然后把旋转台沿顺时针方向旋转 30°

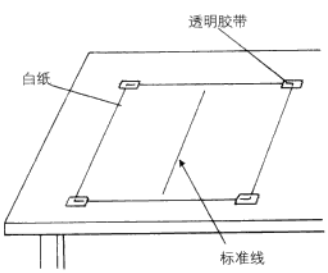



**【B】证明地球在自转**

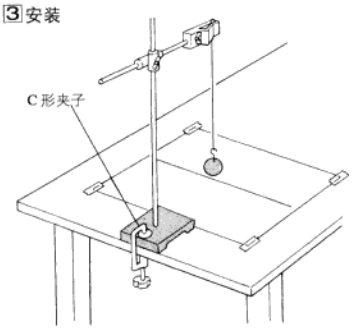
1 把单摆固定在铁架台上



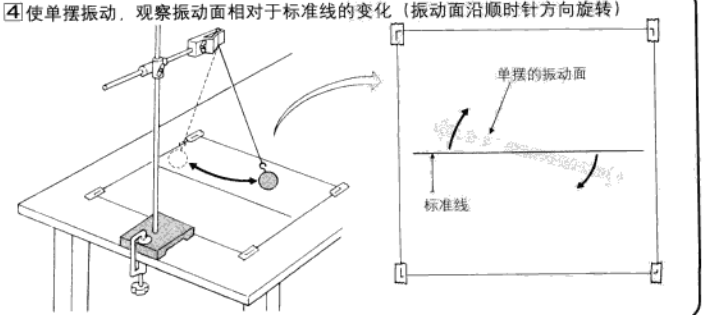

2 在桌面上贴纸，画出标准线




3 安装




4 使单摆振动，观察振动面相对于标准线的变化（振动面沿顺时针方向旋转）




8 提示 请参看 7 中的提示。

9 提示 请参看 7 中的提示。

结果 知道单摆的振动面与旋转台的旋转方向相反，旋转的角度相同。另外，单摆的振动面对于白纸上的标准线来说相对位置没有变化。也就是说，它对于周围的物体来说相对位置没有变化。通过以上实验认识到，从旋转物体上观察单摆的运动时，振动面从表面上看，好像在做与物体的旋转方向相反的转动。

**【B】证明地球在自转**

1 提示 摆线要用不会扭曲的线。线的长度为 60 cm 左右。

3 提示 用 C 形夹子把铁架台牢牢地固定在桌子边上。调整单摆的位置，使摆球的中心位于标准线上方。

4 提示 轻轻推动单摆，使单摆的振动面与标准线平行。认真观察振动面相对于标准线有无位置变化。明了它的变化情况需要 20 min～30 min。

结果 振动面相对于标准线来说沿顺时针方向旋转。通过这种实验现象和 **【A】** 中的实验结果可以知道地球自转的存在。法国物理学家傅科为了证实地球自转所用的单摆叫做傅科摆。

# 53 圆周运动实验

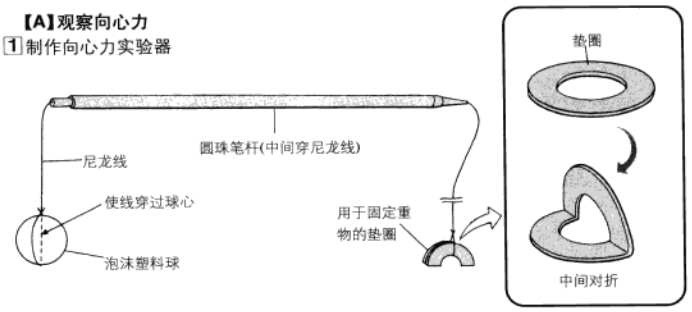
目标 高 观察圆周运动中向心力的大小与周期的二次方成反比、与旋转半径成正比的现象。
观察各种物体相对转盘所做的运动。

【A】泡沫塑料球(重约10 g) 尼龙线 垫圈① 旧圆珠笔 彩色胶带 【B】旧转盘 木板 圆形水槽 烧杯 乒乓球 橡皮塞 蜡烛 胶带 白纸 复写纸 图钉 钢球(直径2 cm～3 cm)

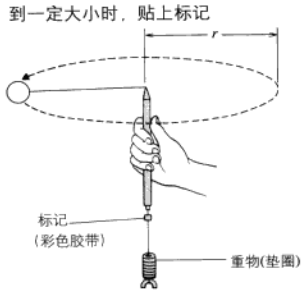
①重约2.4 g，11个，其中10个用作重物，剩下的一个用来固定重物。

## 【A】观察向心力

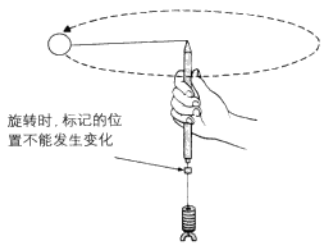
1 制作向心力实验器




2 挂上重物，使球旋转。当圆周半径$r$达到一定大小时，贴上标记




3 使球旋转。当圆周半径$r$达到一定大小时，数一数1 min内的旋转次数




4 改变半径$r$，重做3




**实验数据举例**($r$: 35 cm)

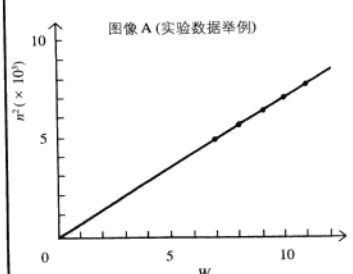
| 垫圈数 $W$ / 个 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 min内的旋转次数 $n$ / 次 | 87 | 83 | 79 | 75 | 71 |
| $n^2$(× $10^3$) | 7.6 | 6.9 | 6.2 | 5.6 | 5.0 |

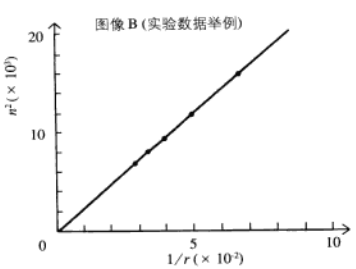
**实验数据举例**($W$: 10个)

| 旋转半径 $r$/cm | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{r}$ (× $10^{-2}$) | 2.9 | 3.3 | 4.0 | 5.0 | 6.7 |
| 1 min内的旋转次数 $n$ / 次 | 83 | 90 | 99 | 113 | 128 |
| $n^2$(× $10^3$) | 6.9 | 8.1 | 9.8 | 12.8 | 16.4 |

泡沫塑料球的质量为9.9 g，每个垫圈的质量为2.4 g。

5 利用得到的数据画出图像




## 【A】观察向心力

1 提示 泡沫塑料球的质量最好为10 g左右。尼龙线的长度为70 cm左右。

2 提示 把10个用作重物的垫圈都挂起来，标记则要等半径$r$固定之后再贴在距圆珠笔下端5 mm的地方。

3 提示 使球旋转的时候，不要使圆珠笔杆的晃动幅度过大，而且尽量不要使重物晃动。转一会儿(即等旋转有规律)之后数一数旋转次数。改变垫圈的个数之后再作观察。此时，应使垫圈的个数一个一个地逐步减少。

4 提示 把圆周半径依次改成35 cm、30 cm、25 cm……然后进行观察。要记住：每改变一次半径$r$，标记的位置都要作相应的移动。

5 提示 利用3中的结果，以垫圈的个数作横轴，以1 min内的旋转次数的二次方作纵轴画坐标。此时，要注意垫圈的个数代表向心力的大小，纵轴(旋转次数的二次方)为周期的二次方的倒数。

利用4中的测量结果，把旋转半径的倒数取作横轴，把1 min内的旋转次数的二次方取作纵轴画坐标。此时要注意，当向心力固定时，旋转半径和周期的二次方的倒数(即旋转次数的二次方)的积也是恒定的，也就是说$n^2 \propto 1/r$或$r \cdot n^2 =$常数。

结果 通过图像A看出，向心力的大小与周期的二次方成反比。通过图像B和图像A看出，向心力的大小与旋转半径成正比。

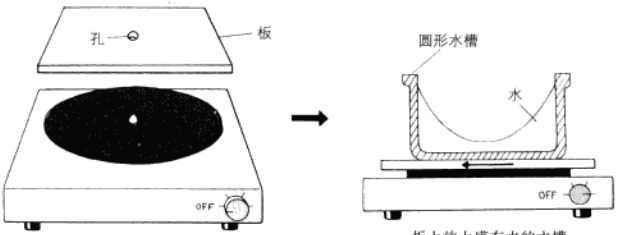
说明 不能用此实验直接导出向心力的大小与质量成正比的关系。

参考 质量为$m$、半径为$r$、周期为$T$、圆周率为π时，向心力的大小是：

$$F = mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

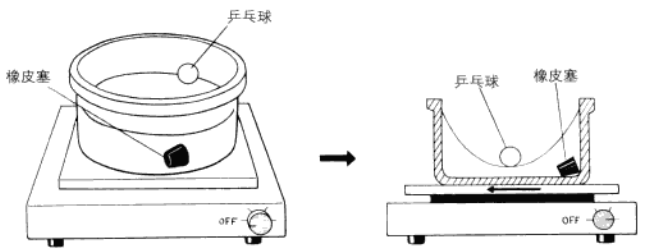
**【B】观察旋转板上物体的运动**

1 在水槽里面放入水，然后使转盘旋转，观察水的运动情况



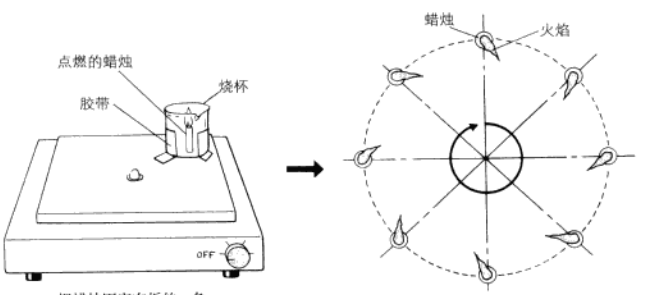

把木板放在转盘上。　　板上放上盛有水的水槽，然后使转盘开始旋转。

2 在水槽里面放入乒乓球和橡皮塞，然后使转盘旋转，观察乒乓球和橡皮塞的运动情况



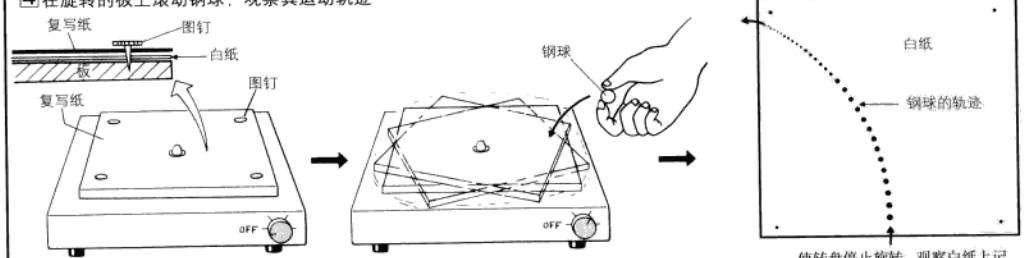

在盛有水的水槽里面放入乒乓球和橡皮塞。　　使转盘旋转。

3 使蜡烛旋转，观察火焰的情况




把蜡烛固定在板的一角。　　使转盘转起来。

4 在旋转的板上滚动钢球，观察其运动轨迹




在板上固定白纸和复写纸。　　使转盘转起来后，朝着转盘的中心把一钢球投到纸上。　　使转盘停止旋转，观察白纸上记录下来的钢球的运动轨迹。

**【B】观察旋转板上物体的运动**

1 提示 放水槽时，要把水槽底部的中心和转盘的中心(板上的孔)对准。转盘的转速最好是 78 r/min。如果不能以此速率旋转，45 r/min 也可以。

说明 水被甩到水槽的边缘，是水受到离心力作用的结果。

2 提示 关于转盘的转速请参看 1 中的提示。

说明 橡皮塞被甩到水槽的边缘，是因为受到离心力作用的缘故。乒乓球在水槽的中心(即水面下凹的部分)，是因为受到离心力、浮力及重力对水槽中心综合作用的缘故。

3 提示 用胶带把烧杯固定在木板上。转盘的转速设定为 $33\frac{1}{3}$ r/min 比较好。

说明 蜡烛的火焰沿着旋转方向向内侧飘动。此时，火焰受到向上的空气浮力和横向的科里奥利力的共同作用。

4 提示 转盘的转速设定为45 r/min比较好。滚动钢球时，应认真观察钢球的滚动方向。

说明 在旋转板上本该笔直滚动的钢球(事实上，即使没有旋转板的运动干扰，往旋转板的中心抛过去的球也会偏离中心)，在记录纸上留下的却是一条弧形轨迹，这是科里奥利力作用的结果。

# 54 惯性实验

搬运物体用的小车　不倒翁打落装置　杯子　图画纸　硬币　球　布　垫子　自行车　C形夹子　木块　线　钉子　力学小车

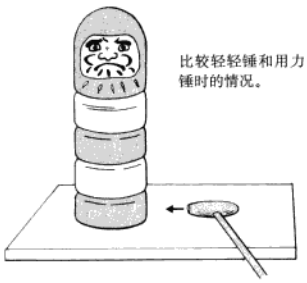
目标　初　观察静止的物体在没有外力作用的条件下一直保持静止的性质。观察正在运动的物体在没有外力作用的条件下一直保持匀速直线运动的性质。

1 观察静止物体的惯性

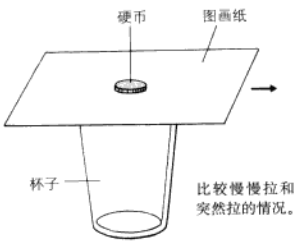
①一人站到小车上，然后进行实验



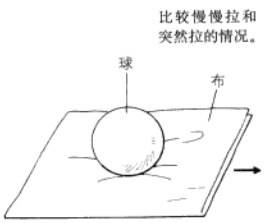

②用打落不倒翁的方法进行实验




③把硬币放在图画纸上进行实验




④把球放在布的上面进行实验

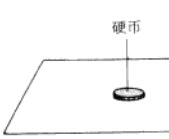



2 观察运动物体的惯性

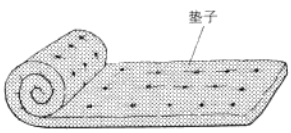
①一人站到小车上，然后进行实验




②把硬币放在图画纸上进行实验




③利用自行车进行实验







1 ① 说明 小车上不载物体而载人的目的，是让乘车的学生亲身感受物体的惯性。

提示 让乘车的学生背对着车的前进方向，是为了不让该生知道开始拉车的瞬间，同时也能避免摔倒的时候受伤。

注意 本实验具有危险性，所以不能在实验时打闹。

② 提示 准备纸或绒布，铺在桌面上或夹在木块之间，改变各种条件做实验将十分有趣。

③ 说明 这是在小学生中间常见的一种魔术的玩法。

④ 提示 利用各种各样的布做实验。

2 ① 注意 为了防止小车急速停止运动时车上的学生受伤，可用体育课上常用的垫子阻止小车的运动。这样，当小车碰到物体时垫子可以作为缓冲物，起到防止小车和学生受到损伤的作用。

提示 垫子卷起来的部分不要太高，不要挡住车上学生的脚。车上的学生要面向前进方向。

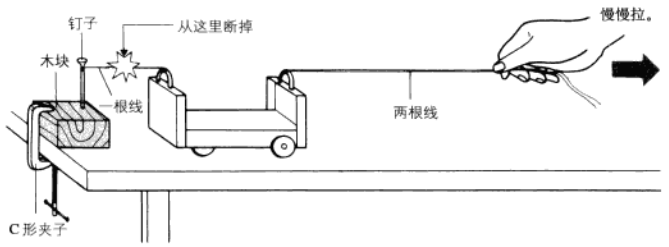
③ 说明 本实验是让学生观察当行驶中的自行车突然停止运动时，骑在车上的人依旧保持运动状态从而身体前倾的现象。在行驶的电车或汽车内应该有同样的体会。除此之外，还可以观察当自行车具有一定的速度之后，停止踩脚踏板，自行车仍会继续行驶的现象。

注意 如果速度过快，急刹车时会有危险，应该注意。

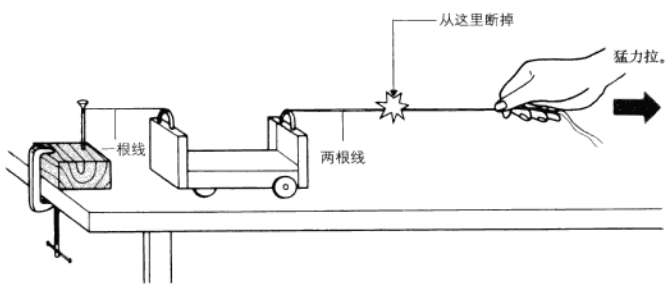
说明 通过1中的实验认识到，对静止的物体而言，想要让它突然运动时，物体本身具有保持静止状态的性质。通过2中的实验认识到，对运动中的物体而言，想要让它突然停止运动时，物体本身具有保持运动状态的性质。这些都叫物体的惯性。

**3** 用力学小车观察惯性

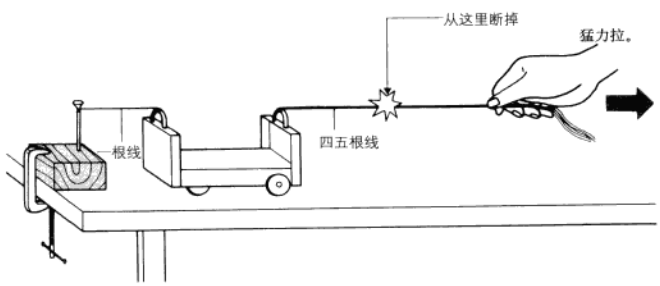
①用一根线把力学小车拴在固定的钉子上，然后用两根线拉



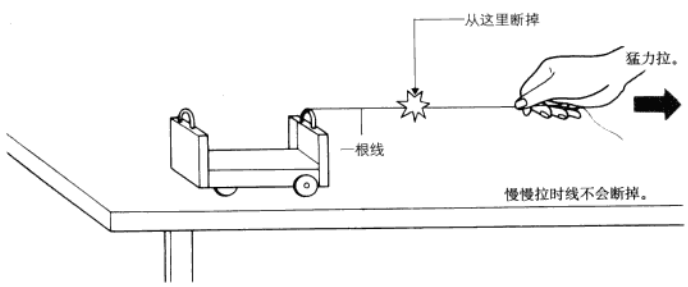

②制作与①中同样的装置，用两根线猛力拉




③用一根线把力学小车拴在固定的钉子上，用四五根线猛力拉




④力学小车不与钉子相连的情况下，用一根线猛力拉




**3** ① 提示 线要拴牢。力学小车两端的线要与桌面平行并且高度相同。尽量使用粗一点、用力拉也不会弯的钉子，钉在木块上。用C形夹子把木块固定在桌子边上。

拉线之前先让学生预测结果，然后尽量慢慢拉。

② 提示 拉力学小车时一根线的一侧不要松弛，要绷紧一点。拉小车之前问学生："这次比①中要更快、更用力地拉两根线，结果会怎样？"几乎所有学生都会说肯定是一根线的一侧会被拉断。实验结束后肯定会有"不可思议！"的议论声。

③ 提示 为了顺利完成实验，这里要尽可能快地拉线。根据情况在力学小车上放沙袋或重物，在各种场合做此实验可以获得比较愉快的体验。

④ 提示 慢慢拉时线不会断掉，用力猛拉线就会被拉断。把这件事和②、③中多根线的一侧被拉断的现象联系起来，让学生思考其中的道理。

# 55 用电子计算机分析物体的运动

目标 高

测量从斜面上滑下来的力学小车的运动之后，能用电子计算机处理测量结果，并在短时间内准确地对烦琐的数据进行处理或作出图像。

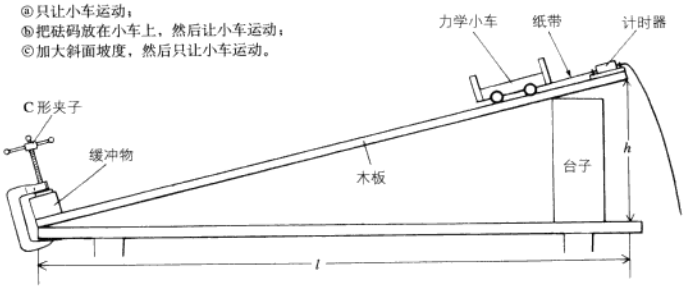
能够体会电子计算机的方便之处。

计时器(交流型) 纸带 力学小车 力学小车专用重物① 木板② 台子 缓冲物 电子计算机 【其他方法】 力学小车 力学小车专用重物① 木板② 窗帘轨道 台子 电子计算机 超声波距离传感器实验配套材料 金属球(大，中，小)

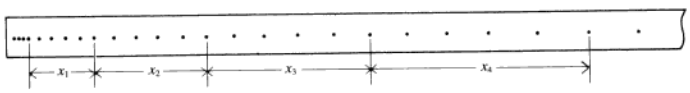
① 1 kg 左右的物体，如沙袋或砖头。② 用作斜面。

**1** 在斜面上移动小车，用计时器在纸带上作记录

ⓐ只让小车运动；
ⓑ把砝码放在小车上，然后让小车运动；
ⓒ加大斜面坡度，然后只让小车运动。




**2** 测量纸带上记录下来的打点间隔

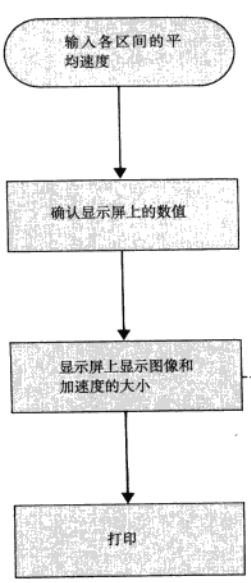



用尺测量每隔五个点的长度$x_1$至$x_n$。

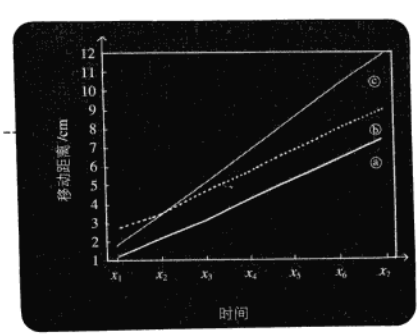
实验数据举例 cm

| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ⓐ只有小车 | 1.2 | 2.2 | 3.2 | 4.3 | 5.3 | 6.3 | 7.4 |
| ⓑ小车＋砝码 | 2.7 | 3.5 | 4.7 | 5.7 | 6.8 | 7.9 | 8.9 |
| ⓒ只有小车(坡度加大) | 1.8 | 3.5 | 5.2 | 6.9 | 8.5 | 10.2 | 11.9 |

**3** 用电子计算机处理数据




从ⓐ和ⓑ中的直线的斜率观察小车的加速度与质量的关系，从ⓐ和ⓒ中的直线的斜率，观察加速度与斜面的坡度的关系。




**1** 提示 为了保证小车滑动顺利，给车轮注上润滑油。纸带长度为 80 cm 左右就可以了。要注意纸带在计时器处会受到摩擦阻力的作用。为了计算斜面的坡度，分别记录ⓐ和ⓒ中 $l$ 和 $h$ 的长度。让小车开始运动时，不要对车施加推力或拉力，应该轻轻地松手。

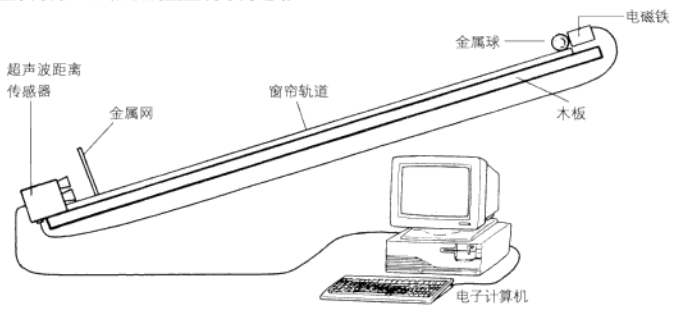
**2** 提示 测量打点间隔时，应除掉刚一开始不太清楚的部分。每隔五个点剪断的理由是，电源频率为 50 Hz。

**3** 说明 左边的图像是用统计软件罗塔斯1-2-3处理后得到的。

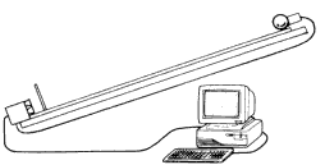
以单位时间(0.1 s)内的移动距离作为平均速度进行处理。每隔五个点剪断纸带，然后依次排列起来粘贴于坐标纸上的处理方法，可使学生的理解更加深刻。数据处理软件，除上述罗塔斯 1-2-3 之外，还可以利用桐、Works、Harmony 等，只要是能处理坐标的软件就可以。也可以用 ROGO 等软件自编程序。

**【其他方法】使用超声波距离传感器的方法**

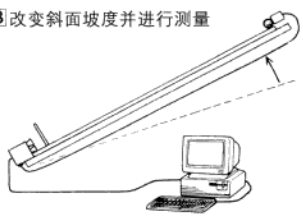
1 安装装置，然后测量金属球的运动




2 改变金属球的大小并进行测量



3 改变斜面坡度并进行测量



**【其他方法】使用超声波距离传感器的方法**

1 提示 本实验是为了加强学生的数据处理能力，加深学生对运动部分学习内容的理解而安排的。所以，如果把这一实验安排在起始部分进行，可能会起反作用。

为了使金属球滚动顺利，应把窗帘轨道固定在木板上。为了防止滑落下来的球碰到传感器，应把保护用的金属网安装在窗帘轨道上。

超声波距离传感器的接点输出功率与连续的接点相连，并通过电子计算机与电磁铁实施同步。

3 提示 斜面的角度依次设定为15°、20°、25°、30°左右。

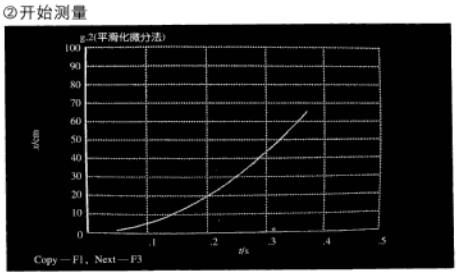
**电子计算机操作顺序**

①启动程序，输入测量条件



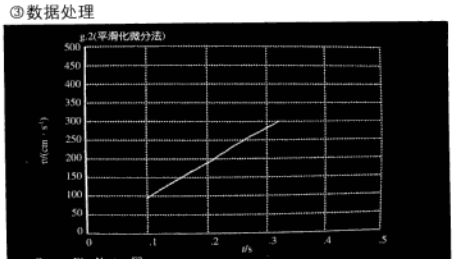

ⓐ启动程序，选择【条件设定】；
ⓑ选择测量时间间隔单位为ms，测量时间单位为s；
ⓒ输入最大距离测量单位为cm，室温单位为℃(因为声速是随温度而变的)；
ⓓ如果想把实验名称、测量条件、测量日期等与数据一同保存，就从键盘上输入文字。

②开始测量




ⓐ使金属球靠近电磁铁；
ⓑ按下测量开始键，流过电磁铁的电流被切断，金属球就会落下来；
ⓒ金属球到电磁铁的距离时时刻刻被超声波传感器测定，显示与上图类似的距离与时间的图像。

③数据处理




| 时间 | 速度 |
|---|---|
| s | cm/s |
| 0.14 | 131 |
| 0.16 | 146 |
| 0.18 | 166 |
| 0.20 | 190 |
| 0.22 | 211 |
| 0.24 | 226 |
| 0.26 | 239 |

测量后，根据距离的数据自动进行微分处理，计算出速度及加速度的值，显示距离与时间、速度与时间及加速度与时间的图像。上面的两幅图是速度与时间的图像及数据表格。根据需要把画面复制下来。

# 56 观察各种各样的功

目标 初

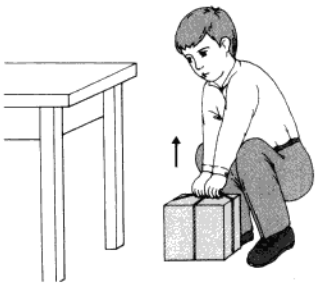
观察各种各样的功。
可以求出功的大小。

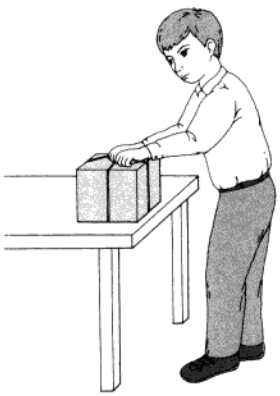
材料与器具

厚纸箱① 塑料袋 绳子② 弹簧测力计③ 尺 各种各样的自制装置④ 螺旋弹簧 质量固定的金属重物⑤ 沙袋⑥ 小车⑦ 金属滑轮

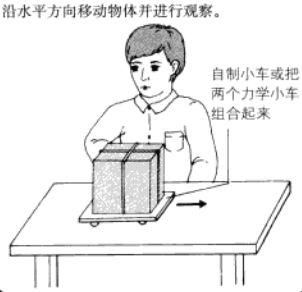
①掉到地上也不会破的纸箱。箱内重物质量要适中(10 kg 左右)。②结实的绳子。③结合各种用途使用。④参照各图自己制作。⑤准备 5－6 个质量为 25 g 的重物。⑥布袋里面装上沙子即可。10 kg 左右的沙袋比较好。⑦木板上安装四个活动轮子的自制小车或组装两个力学小车。

1 把物体往上搬

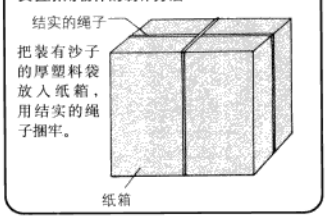




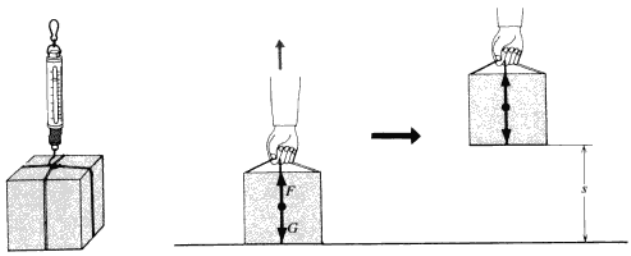
沿水平方向移动物体并进行观察。



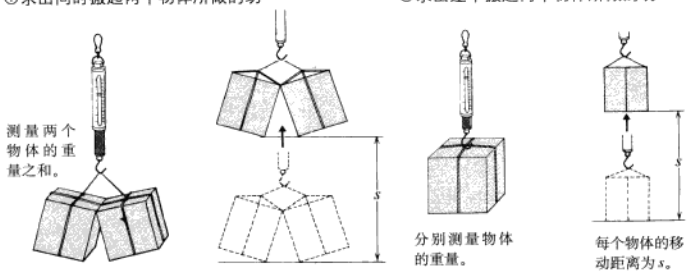

实验所用物体的制作方法




2 求出把物体往上搬的过程中所做的功
①测量物体的重量 $G$　　②测量移动距离 $s$




3 观察搬起两个物体所做的功
①求出同时搬起两个物体所做的功　　②求出逐个搬起两个物体所做的功



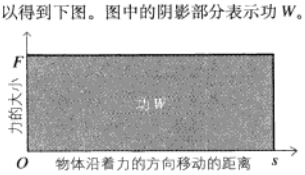

1 说明 对初中生来讲，“功”的概念比较抽象，因而很难理解。这项活动就是要通过实验让学生对“功”的概念有切身体会。实验过程中，学生把物体往上反复搬几次就会感到累。由此，教师可以启发学生结合体力消耗的感受体会做功的含义。

参考 把物体装在小车(自制小车或两个力学小车)上，沿水平方向移动后再作比较更好理解。动脑筋尽量减少小车受到的摩擦力，移动小车时就几乎不需要用力，不用体力也就感觉不到做了功。在理论上，我们可以认为摩擦力为零时确实不做功，但在这种情况下，因为使用了小车这一工具，所以学生可能会对与不用工具而做竖直移动时的情况作比较的做法产生疑问。

2 说明 往上提的力的大小 $F$ 与物体的重量 $G$ (也就是弹簧测力计的读数)相等。利用下式可以求得功 $W$ 的大小：

$$W = F \cdot s = G \cdot s$$

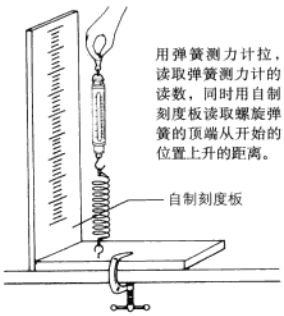
其中，$s$ 是物体在力的方向上移动的距离(即往上提的距离)。把这个关系作成图像，可以得到下图。图中的阴影部分表示功 $W$。



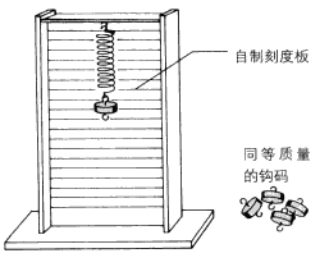

3 说明 如果把物体的重量定为 $G_1$ 和 $G_2$，提上来的距离为 $s$，则①中的功为 $W_1=(G_1+G_2)\cdot s$，②中的功为 $W_2=G_1\cdot s+G_2\cdot s=(G_1+G_2)\cdot s$，故 $W_1=W_2$；也就是说，把两个物体一起提上来与分两次提上来所做的功是一样的。

## 4 观察拉螺旋弹簧时所做的功

①安装弹簧测力计，然后轻轻地拉

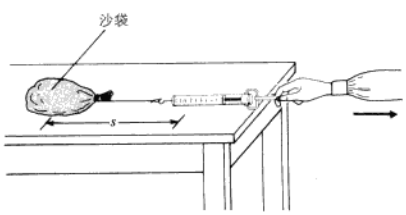



②观察螺旋弹簧的伸长情况



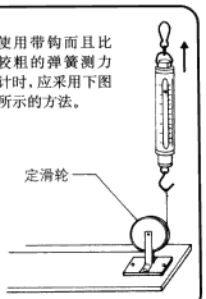

挂一个钩码读取一次伸长，再挂一个再读一次……由此体会所挂钩码的重量与弹簧伸长的关系。

## 5 观察克服摩擦阻力所做的功

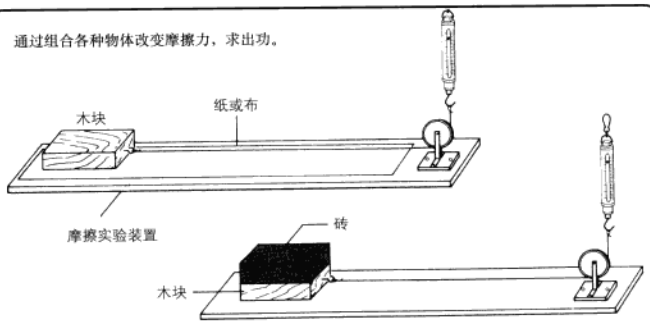



沿水平方向轻轻地拉动沙袋，读取沙袋移动过程中弹簧测力计的读数，求出拉力在沙袋移动距离 $s$ 过程中所做的功。

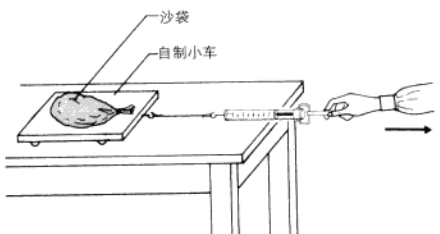
使用带钩而且比较粗的弹簧测力计时，应采用下图所示的方法。




通过组合各种物体改变摩擦力，求出功。

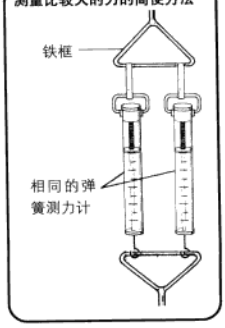



## 6 观察克服滚动摩擦所做的功

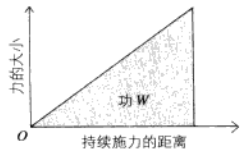



把沙袋放在自制小车上，轻轻地拉动。与 5 中一样，求出拉力在小车移动距离 $s$ 过程中所做的功。

**测量比较大的力的简便方法**

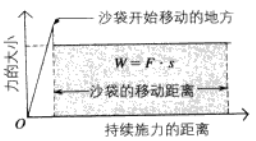



**4** 说明 拉长螺旋弹簧的过程中也做功。此时，弹簧测力计的读数(也就是拉力的大小)不固定，它会随着螺旋弹簧的伸长而变大，因此不能简单地用公式 $W=F\cdot s$ 求出功的大小。不过，像②中介绍的那样观察螺旋弹簧的伸长与拉力的关系，就能得知二者在一定的范围内成正比。如果把拉力、螺旋弹簧的伸长及功的关系用图像表示(如下图)，功就等于图中阴影部分的面积。

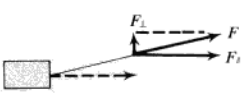



**5** 提示 原则上讲，弹簧测力计一定要竖直使用，特别是筒比较粗并且有挂钩的，由于误差会变大，所以应借助定滑轮竖直使用。

说明 当沙袋移动的距离为 $s$、弹簧测力计的读数(也就是拉力的大小)为 $F$ 时，功的大小是 $W=F\cdot s$；但是，通过观察弹簧测力计的伸长可知，最大静摩擦力大于动摩擦力，因此，力的做功图像如下图所示，功 $W$ 是阴影部分。也就是说，持续施力的距离和移动距离是相等的。另外，当拉力的方向和沙袋的移动方向不完全一致时，不能得到




$W=F\cdot s$，功的大小将变为 $F_{//}\cdot s$($F_{//}$ 是力 $F$ 在 $s$ 方向上的分量，如下图)。




参考 改变移动物体或台面的材料，就能知道：由于摩擦力的不同，拉力所做的功也不同。

**6** 说明 由于滚动摩擦力小于 5 中的滑动摩擦力，所以拉力所做的功也相应变小。其他事项和 5 中的说明一样。从图像看也一样，虽然力的值变小，图像的形状却是一样的。

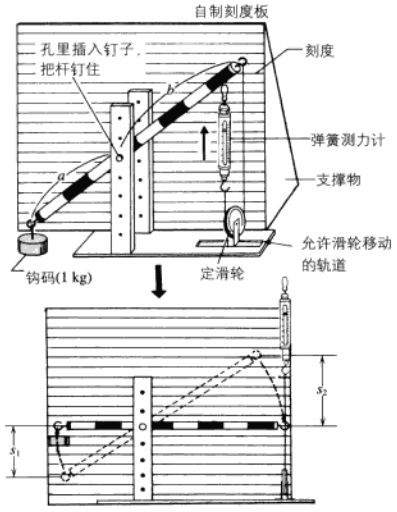
# 57 观察功与工具(简单机械)的关系

**杠杆**① **自制刻度板**② **钩码**③ **弹簧测力计**④ **带刻度板的轮轴**⑤ **带定滑轮的斜面**⑥ **力学小车**⑦ **动滑轮**⑧

①制作方法请参照 1。动脑筋尽量减少钉子和杆之间的摩擦。②制作方法分别参照 1、4、5。③在 1 中用 1 kg 的，在 2 中用 25 g 的（三个），在 4 和 5 中用 25 g 的（多个）。④在 1 中用 2 N～50 N 的，在 3 中用 2 N～20 N 的，在 4 中用 2 N 左右的。⑤制作方法请参照 2。⑥制作方法请参照 3。⑦使用摩擦比较小的、1 kg 左右的比较好。⑧参照 4 和 5。

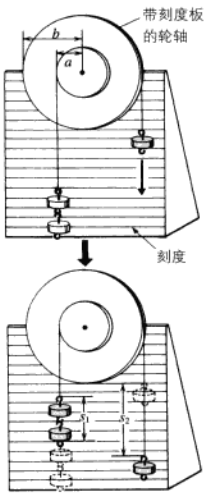
目标 小初　通过观察知道：即使使用工具(简单机械)，也不可能省功。

## 1 观察杠杆两端的移动距离



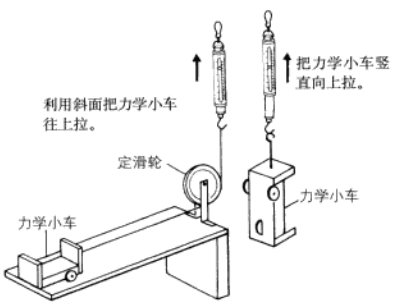

读取弹簧测力计的读数和距离 $s_1$、$s_2$。

## 2 观察使用轮轴时所做的功

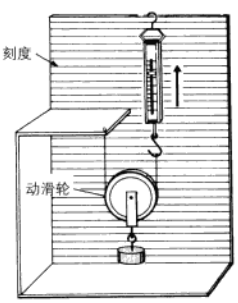



从刻度板上读取距离 $s_1$、$s_2$。

## 3 观察斜面与功的关系




## 4 观察动滑轮与功的关系



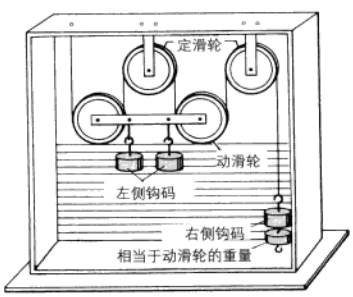

## 5 观察用各种物体组装的滑轮

比如，自制如右图所示的装置，观察左右两侧钩码的重量和移动距离，还要考虑动滑轮的重量。

**实验数据举例**

| 左侧钩码 | | 右侧钩码 | |
|---|---|---|---|
| 全部重量 / ($9.8 \times 10^{-3}$N) | 移动的距离 /cm | 全部重量 / ($9.8 \times 10^{-3}$N) | 移动的距离 /cm |
| 100 | 2 | 25 | 8 |
| 100 | 5 | 25 | 20 |
| 200 | 3 | 50 | 12 |
| 400 | 4 | 100 | 16 |

右侧的重量值是减掉动滑轮重量之后的数值。




1 说明　读取杆上挂有弹簧测力计的一端沿竖直方向移动的距离 $s_2$ 和挂有钩码的一端沿竖直方向移动的距离 $s_1$，就能知道

$$s_1 : s_2 = a : b$$

不过，由于钩码的质量是 1 kg，所以弹簧测力计的读数(根据杠杆原理)应该是 $a/b$(实际上稍微有些误差)。因此，把钩码竖直向上抬高距离 $s_1$ 时，弹簧测力计所做的功 $W$ 是

$$W = \frac{a}{b} \cdot s_2 = \frac{a}{b} \cdot \frac{b}{a} s_1 = 1 \cdot s_1$$

由此可知：即使使用杠杆，其功也没有变化。

2 说明　与 1 中一样，读取距离 $s_1$ 和 $s_2$ 就能知道所做的功果然没有变化。

3 说明　比较利用高度为 $h$ 的斜面把力学小车往上拉时所做的功(往上拉的力 × 弹簧测力计沿力的方向移动的距离)和不用斜面而竖直向上提起力学小车同样高度所做的功(往上拉的力 × 弹簧测力计沿力的方向移动的距离)，就会发现二者相等。也就是说，利用斜面确实可以用较小的力来完成，但移动距离会变大。看来，利用斜面无法改变做功的多少。

4 说明　可以发现，借助动滑轮也无法改变做功的多少。

因为定滑轮只改变力的方向，而和力的大小没有关系，所以容易想象：动滑轮也无法改变做功的多少。不过，还是实际做做实验检验一下为好。

5 说明　无论怎么组合各种各样的滑轮，也无法改变做功的多少。

结果　无论使用什么样的工具，也不可能做超出限量的功。也就是说，通过使用工具，可以用较小的力使物体移动，但不可能改变功的多少。

参考　平时常用的工具有螺丝刀、开罐器、自行车把等。启发学生思考，在这些工具中杠杆和斜面是如何被利用的。

# 58 求功率

目标 初 实际计算功率。
通过观察知道：即使利用工具，功率也不会改变。

**材料与器具**

玻璃球(100个左右)① 塑料容器 秒表 自制卷绳器② 力学小车 定滑轮 尺 铁架台 钩码③ 自制电动机 卷绳器④ 1/100秒表⑤ 交流电流表 交流电压表 实验用带刻度的减速装置 电动机⑥

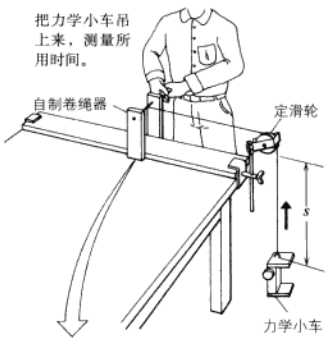
①也可以利用弹球游戏店出售的球或小石头。②制作方法请参照2。③准备3－4个25 g的。④制作方法请参照3。⑤准备带电子开关的秒表。⑥准备两种。

## 1 了解功率



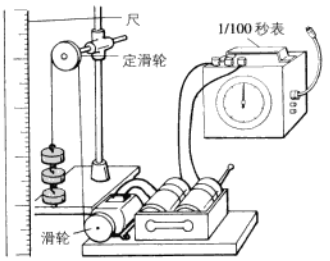

把玻璃球一个一个地移到上面的容器中，测量全部移完所需时间。

## 2 比较每个人的功率

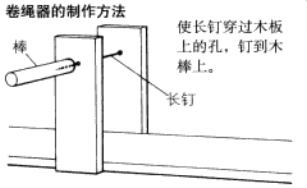



## 3 计算电动机的功率

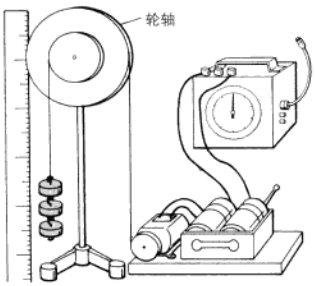
①直接往上拉钩码

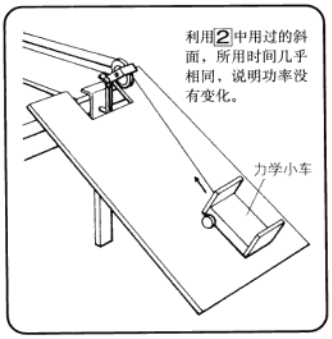



**卷绳器的制作方法**

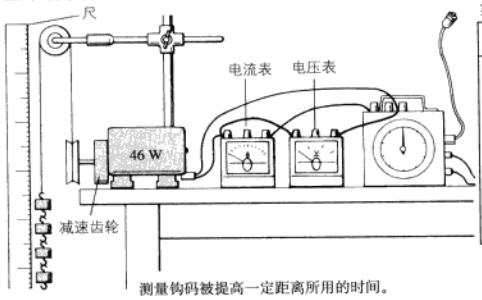



②使用工具往上拉




## 4 准确求得电动机的功率




测量钩码被提高一定距离所用的时间。

实验数据举例

| 电动机的额定功率/W | 23 | 46 |
|---|---|---|
| 电压/V | 100 | 100 |
| 电流/A | 0.21 | 0.43 |
| 时间/s | 5.02 | 2.49 |
| 钩码/($9.8 \times 10^3$ N) | 100 | 100 |
| 距离/cm | 120 | 120 |

1 提示 不是玻璃球也可以，只要互相碰撞时不易碎的就行。两三个人同时实验，把每个人所用的时间记录下来并作比较。

说明 比较每个人所用的时间就能知道，人与人之间有差异。也就是说，每个人的做功效率不同。完成相同功所用的时间不同，说明在单位时间内完成的功不同。单位时间内完成的功叫做功率。

2 提示 事先测出把力学小车拉上来所需要的力$F$，从力学小车上拴绳子的部分到滑轮间的距离也应事先测出。制作的卷绳器要像图中所示的那样尽量简单而牢固。

说明 因为功是$F \cdot s$，所以把它用每个人所用的时间来除就能得到每个人的功率。这里要让学生求出功率。使用力学小车是为了便于与利用斜面时的功率作比较。

3 提示 如图所示，为了更准确地测量，要把钟表的开关和电池开关连起来。

说明 通过把钩码往上拉所需要的力$F$(即一个钩码的重量×钩码的个数)、钩码被抬高的距离$s$以及所用的时间$t$，可以求得功率：

$$\text{功率 } P = F \cdot s/t$$

在①中多次改变钩码的个数(重量)做实验，得到的功率是一样的。这说明，只要不改变电压，某个电动机的功率就是一个恒定的值。另外，②中也会发现功率恒定不变——等于①中得到的值。这说明，即使使用工具，功率也没有发生变化。

4 提示 可以利用模型电动机。不过，如果电动机旋转过快，测量就会变得比较难，所以使用带有减速装置的实验用电动机比较好。使用与电动机旋转同步的电子1/100秒表。

说明 计算各种电动机的功率。希望学生能够理解电动机的输出功率就是功率。

# 59 观察热与功的关系

目标　初　知道通过做功能够产生热。

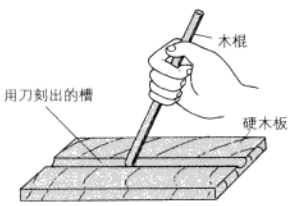
【A】硬木板① 起火装置 电钻 保温筒(泡沫塑料杯2个) 沙子(或玻璃球) 温度计 单面剃刀 铝管(直径为 10 mm～15 mm，长度为 15 cm) 保温材料② 橡皮塞 结实的棉布 铝粉(铜粉也可以)

①中除了硬木板，还需要圆木棍。 ②水管防冻专用保温材料。
* 【B】【C】请参照各自的材料与器具。

## 【A】观察摩擦产生的热量与物体所做的功的关系

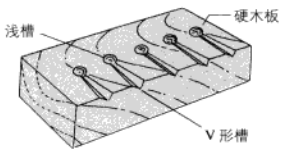
1 观察木板与木棍摩擦产生热的现象

①用力使木棍做往返运动进行摩擦



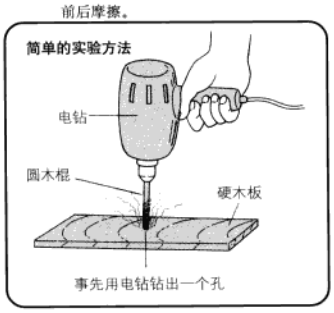

用木棍压住硬木板上的槽，前后摩擦。

②观察转动木棍的结果

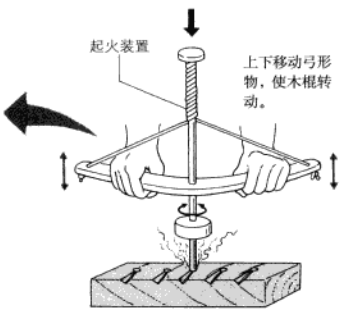



在硬木板上凿一些圆形浅槽，然后为了留住锯末，在板上做一些V形槽，把木棍用力往下推的同时转动木棍，就会起火。

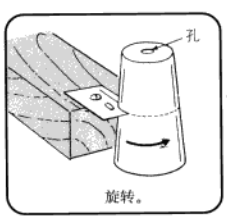
简单的实验方法

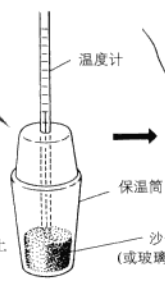



事先用电钻钻出一个孔

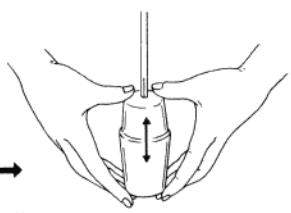



2 观察摩擦沙子引起的温度变化

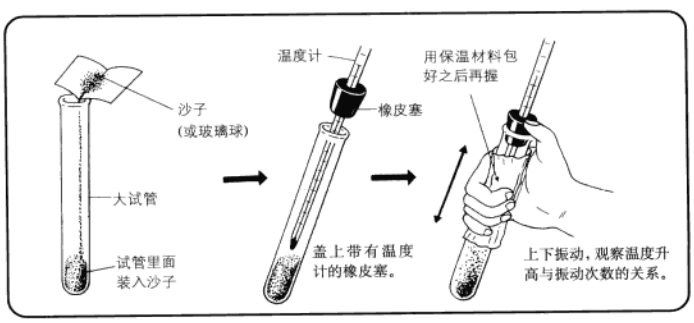



保温筒里放入沙子，盖上带有温度计的盖子。



上下振动，观察温度升高与振动次数的关系。




### 【A】观察摩擦产生的热量与物体所做的功的关系

1 ① 说明 刮风时，林子里的树木有时会发生摩擦起火的现象，就像实验中木棍和木板摩擦会发热一样。用刀子在木板上刻些V形槽，用木棍摩擦也会产生热。

注意 不小心碰到沟槽部分会有烫伤的危险。

② 说明 早期人类就是靠在木板上用手搓木棍的方法产生热从而点燃枯叶，达到点火目的的。后来此方法得到改进，才出现了如图所示的起火装置。

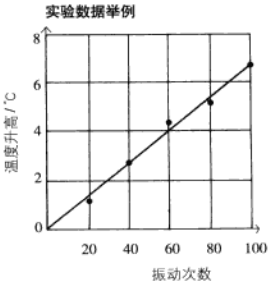
参考 有一种更快、更有效的实验方法，那就是使用电钻。操作时用木棍代替钻头，在木板上转动木棍。

2 提示 利用粗沙，也可用玻璃球代替沙子。无论是沙子还是玻璃球，用量都是 1/3 杯左右。振动时要用力按住盖子。

注意 振动时不要损坏温度计。

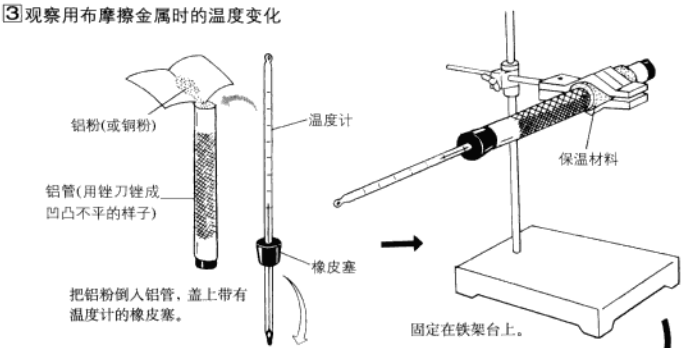
结果 利用得到的数据画出图像就能发现，温度升高(发热量)与振动的次数(功)成正比。

实验数据举例



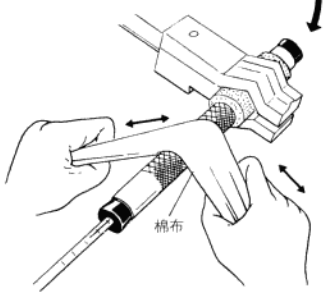

参考 也可以用试管代替保温筒。作为容器，试管比保温筒更耐用，而且由于比较长，也更利于振动。现在有许多塑料制品，教学中应鼓励学生动脑筋用各种各样的容器做实验。

3 观察用布摩擦金属时的温度变化



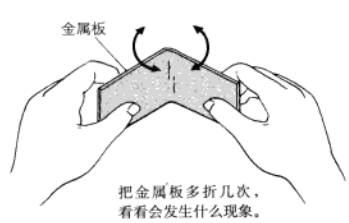


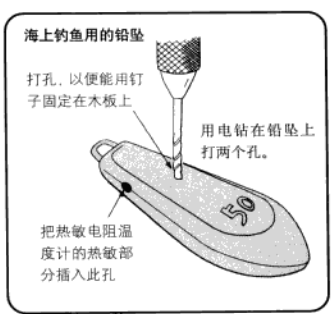




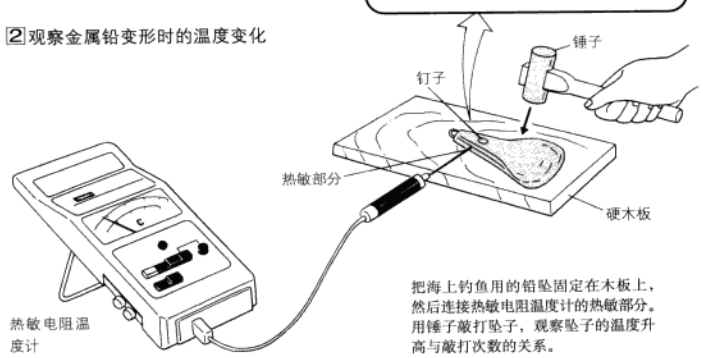

【B】观察热与使金属变形的功的关系

1 观察折弯金属板产生热的情况




2 观察金属铅变形时的温度变化




3 提示 把铝管表面锉成凹凸不平的样子，以便用棉布摩擦时摩擦因数变大。管内放入铝粉是为了便于摩擦产生的热传到温度计上。插入温度计前，为了容易传热先把铝粉装好。用铜粉代替铝粉可以得到同样的效果。

也可以用热敏电阻温度计代替棒状温度计。此时，应尽量深地把热敏部分插到管的内部。固定在铁架台上时，为了不使热传到铁架台上，应使用保温材料。

说明 与 2 中一样，温度的变化(发热量)与摩擦的次数(功)成正比。

**【B】观察热与使金属变形的功的关系**

**材料与器具 金属板① 海上钓鱼用的铅坠 电钻 硬木板 钉子 锤子 热敏电阻温度计**

①厚度为 1.5 mm－2 mm 的铝板、镀锌铁板、粗铁丝等。

1 说明 把金属板多次弯折会产生热。

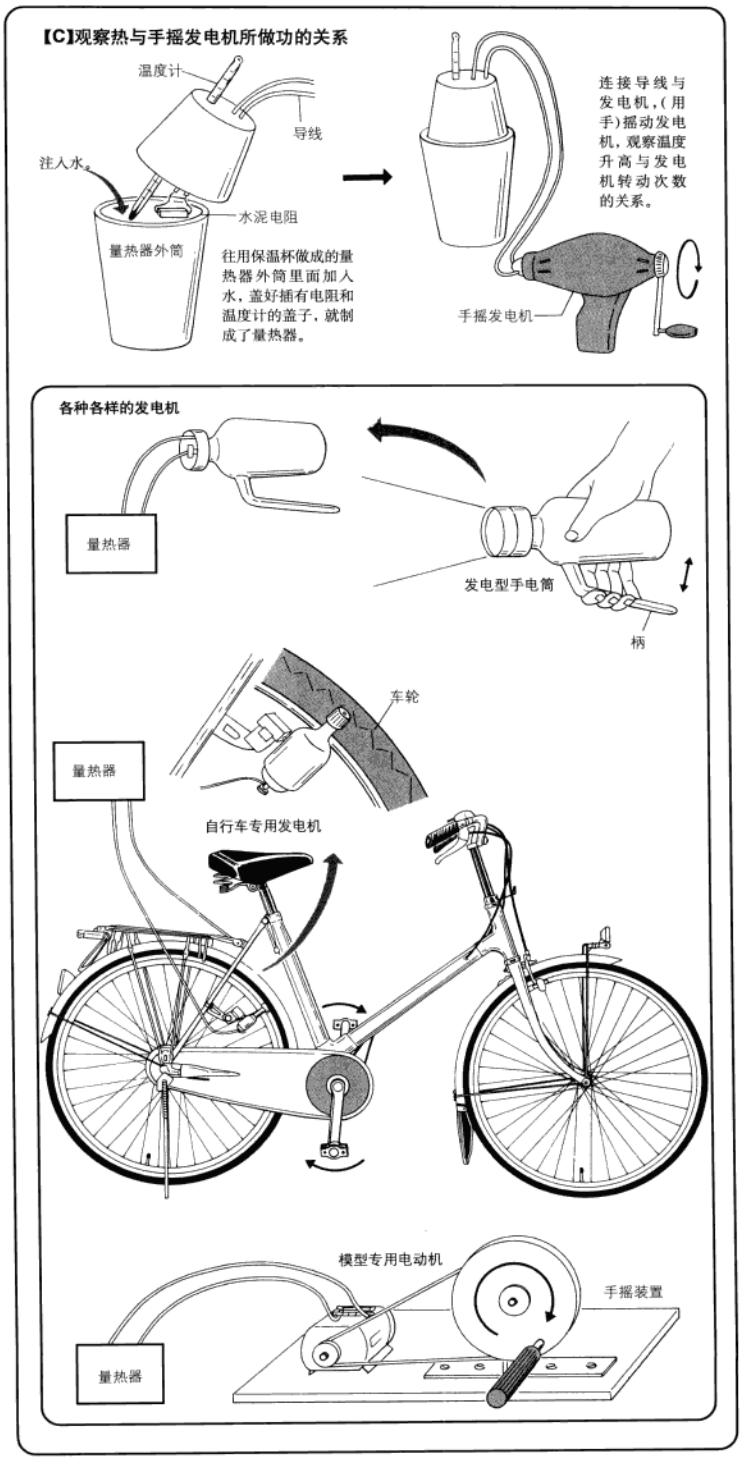
提示 金属可以用铝板、镀锌铁板、粗铁丝等。多次弯折，金属板会被折断，所以应准备数块长约 15 cm 的金属板。

注意 温度会比想象的高，注意不要烫伤。

2 说明 把金属敲打变形时，被敲打的部分会产生热。

提示 海上钓鱼用的铅坠上要打两个孔。一个用于把铅坠固定在木板上，另一个则用于插进热敏电阻温度计的热敏部分。

注意 用锤子敲打时要注意，不要敲到热敏电阻温度计上。另外，如果不把坠子固定在木板上，坠子就会移动，有可能损坏温度计的热敏部分。




**【C】观察热与手摇发电机所做功的关系**

**材料与器具** 量热器　水泥电阻(5 Ω～10 Ω)①　导线　温度计　手摇发电机②

①也可以用300 W的镍铬电热丝。②可用玩具汽车专用电动机。关于其他电机请参看**参考**。

**说明** 这是把转动发电机的功转化成电能之后，再转化成热的方法。利用这项实验可以观察热与功的关系。

**提示** 用水泥电阻比较好操作，不过也可以使用300 W的镍铬电热丝。测量水温时先搅拌水，待温度均匀后再进行测量。

**参考** 除了手摇发电机外，还可以用其他适用于实验的发电装置做此实验。

**发电型手电筒** 握住手柄，手电筒里的发电机就会转动。连接量热器时，有必要先把玻璃、白炽灯、凹面镜等拆掉。实验时，观察温度升高与反复握柄的次数的关系。

**自行车专用发电机** 发电能力强，所以需要的功也多。用支架把发电机固定在自行车的后轮上，通过转动脚踏板发电。观察温度升高与脚踏板转动次数的关系。

**模型专用电动机** 电动机与发电机的构造基本相同，只是用途不同而已。也就是说，电动机是通过电流使物体转动，发电机则是通过转动物体产生电流的。所以，也可以把电动机当作发电机来使用。在电动机的轴上安装一个小型皮带轮，然后用皮带连接带有手柄的大型皮带轮即可。

实验时，观察温度升高与手柄转动次数的关系。

# 60 观察功与光的关系

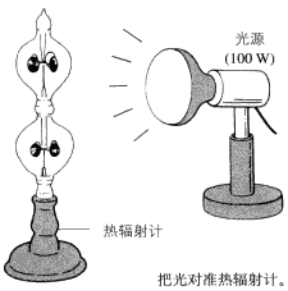
目标 初 可以观察到光做功的现象。
可以观察到光变强时，其功率也会变大。

材料与器具

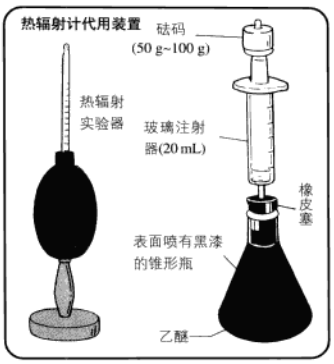
热辐射计　光源(100 W)　太阳能电池①　小型电动机
小型螺旋桨　线　钩码②

①由多个太阳能电池组合起来构成的5 V～6 V的电池。②5 g左右的钩码。

## 1 观察光能转化成热能而做的功

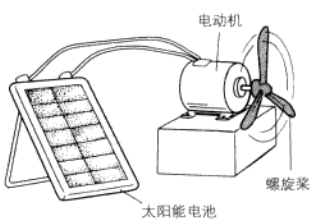



把光对准热辐射计。



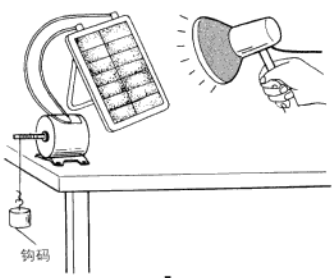

## 2 观察光能转化成电能而做的功

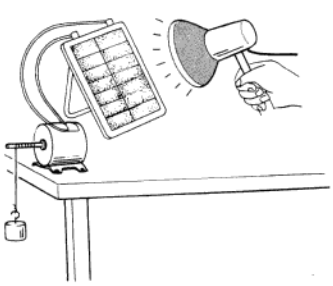
①转动电动机

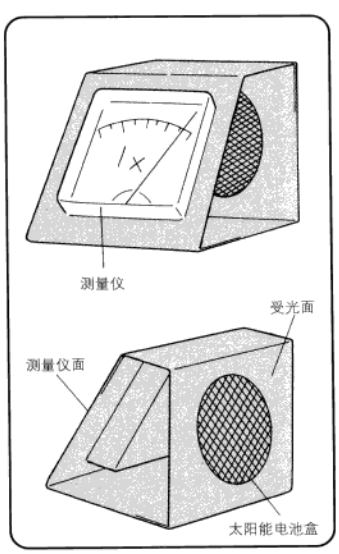



用光照射太阳能电池，使电动机转动。

②观察功率与光的强度的关系






针对光源远、近两种情况，分别测量电动机把重物提起一定高度所用的时间，并作比较。

**1** 说明 把光对准热辐射计时，里面的叶轮会转动。这是因为当光对准叶片的黑色面时，光能转化成热能，随后又会加热黑色面附近的空气，使空气分子运动加剧。这些空气分子推动叶片的黑色面，使得叶轮转动，于是光能转化成热能而做功。使光源远离或靠近热辐射计，就能知道功的大小与光的强度之间的关系。另外，如图所示，用热辐射实验器或锥形瓶代替热辐射计，也可以了解到光能转化成热能之后做功及功与光的强度的关系。热辐射实验器的工作原理是，当光能转化成热能时，温度计内的酒精受热膨胀而使锥形瓶装置推动活塞抬高砝码进而做功。锥形瓶里面除了乙醚之外还可以加入乙醇(即酒精)。

**2** 提示 不要离光源太近，否则会损坏太阳能电池。

① 说明 光能转化成电能，带动电动机旋转。如果把这个装置放在玩具汽车上，可借助螺旋桨的力量使玩具汽车运动。

② 说明 光源近的情况比光源远的情况所用时间短。也就是说，光源的发光强度大时功率也大。

材料与器具

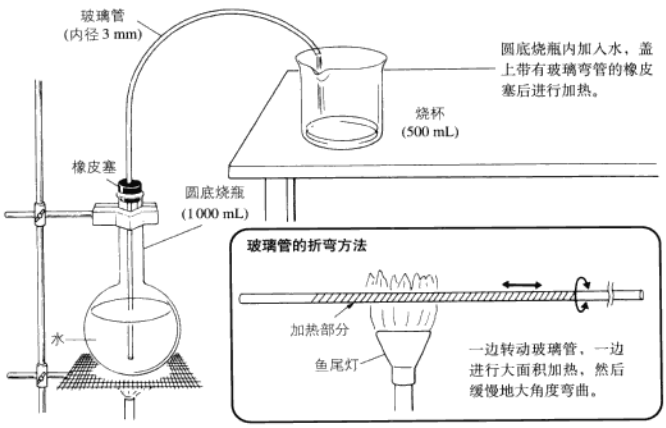
# 61 观察热所做的功

目标 初 能用各种方法观察热所做的功。

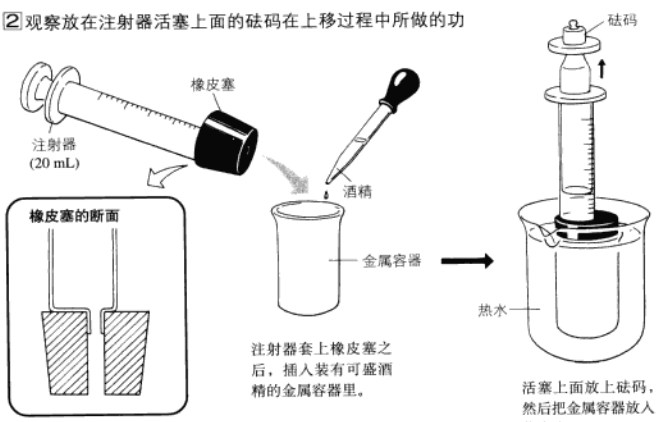
酒精 乙醚 烧杯(500 mL) 圆底烧瓶(1 000 mL，100 mL2个) 注射器(20 mL) 蒸汽涡轮模型 旋转灯笼① 双金属片② 玻璃管 橡皮塞 塑料管 铁架台 加热器具③ 砝码 线 沸腾石 蜡烛 木板 支柱 黏合剂

①用底面边长为5 mm × 5 mm左右的四棱木材，绘图纸，厚纸，薄纸，木板自制。②用铁片，铜片，铝片等自制。③加工玻璃需要气体燃烧器。

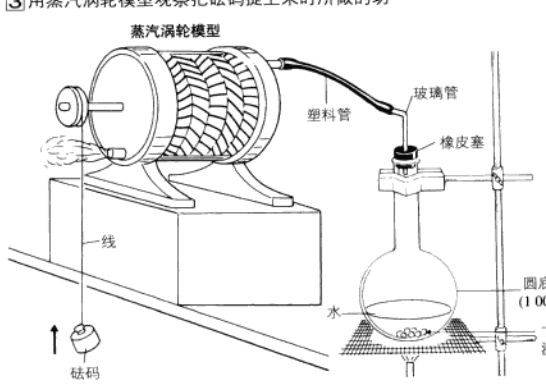
1 观察把水推上去所做的功




2 观察放在注射器活塞上面的砝码在上移过程中所做的功




3 用蒸汽涡轮模型观察把砝码提上来时所做的功




1 提示 选用内径为3 mm左右的玻璃管，这样一方面容易加工，另一方面水的上升量也适中。如果玻璃管太粗，烧瓶里面的水很快就会被抽干。就玻璃管的长度而言，不管是50 cm还是150 cm，水都会上升；但要观察热把水推上去所做的功时，用1 m左右的玻璃管比较合适。烧瓶必须使用耐高压的圆底烧瓶。烧瓶口插入橡皮塞时，要把玻璃管的顶端插到烧瓶底部为止。

说明 加热烧瓶时，由于烧瓶内的水及空气会膨胀，水会顺着玻璃管上升，这就说明热做了使烧瓶里面的水往高处移动的功。

2 提示 往注射器上套橡皮塞时，为了防止漏气，最好用黏合剂把橡皮塞粘在注射器上。金属容器要用旧电池的锌筒。去掉电池的外包装，把里面的碳棒和中间的化学糊剂拿掉之后使用。除此之外，还可以利用空的易拉罐。但是，像胶卷盒那样受热或受压之后容易变形的容器是不适合做实验的。用2～3滴酒精就可以。

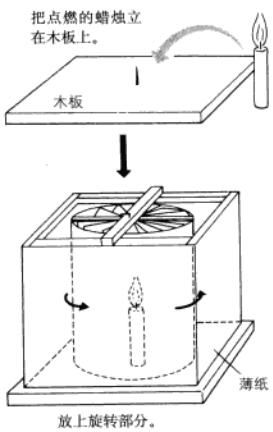
说明 对金属容器进行加热，容器内的酒精就会变成气态而使内部的压强升高，从而导致注射器的活塞和砝码上移，这就说明热做了使活塞和砝码往高处移动的功。

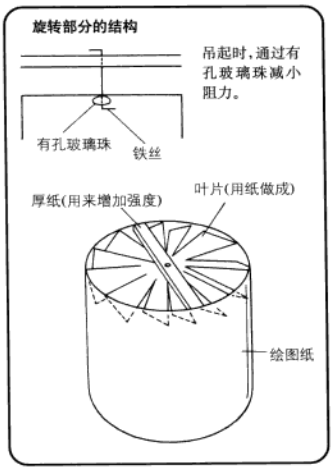
3 提示 输送蒸汽用的管最好是塑料管，因为它比胶皮管好用。此外，塑料管的长度不要过长。连接塑料管时，为了防止漏气要把两端深深地插进去。

说明 加热烧瓶内的水，把蒸汽送入蒸汽涡轮，涡轮就会旋转而把砝码提上去，这也说明热做了把砝码提起的功。

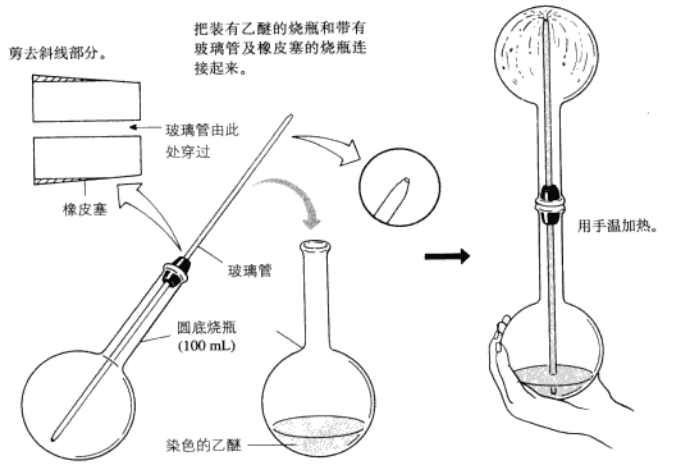
参考 让蒸汽机车模型运动的实验也比较有意思。但是该实验难以帮助学生理解热所做的功。

## 4 观察旋转灯笼所做的功

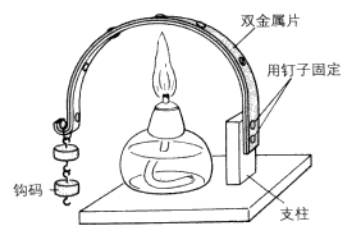


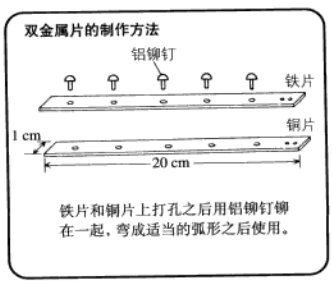




## 5 观察用体温使乙醚上移所做的功




## 6 观察用双金属片把钩码吊起来所做的功



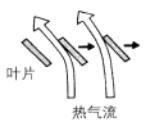

**4** 提示 制作旋转灯笼(类似走马灯)时，尺寸可以自由选定，但要注意以下几点：

- 旋转部分要尽量轻一些；
- 把旋转部分吊挂在上边的横梁上时，为了减少摩擦应使用有孔玻璃珠；
- 为了便于了解旋转状态，在旋转圆筒上画上图案或竖线；
- 叶片的倾角应通过多次试验调整到最容易旋转的状态。

在决定蜡烛的长度时，应考虑旋转部分的高度。

说明 在旋转灯笼里面放上蜡烛后，空气会被加热而升温，灯笼的旋转部分就会开始转动。这就说明热气流克服灯笼旋转部分的摩擦以及空气阻力而做了功。

参考 旋转灯笼的工作原理如下图所示：




**5** 提示 玻璃管的两端要细一些。另外，连接两个烧瓶时，两端要分别与烧瓶底部有3 mm～5 mm的距离，也就是说，事先要按所需长度准确地测量之后再进行加工。需要30 mL～50 mL的乙醚。

把乙醚染成红色或其他颜色更便于观察。因为瓶内已经充满乙醚蒸气，所以用橡皮塞把两个烧瓶连接起来时，最好用黏合剂粘牢。

说明 用手温加热下面的烧瓶时，乙醚会通过玻璃管向上移动，不久就形成喷泉状并全部移动到上面的烧瓶里面。这说明，手提供的热量做了使乙醚移动到上面烧瓶内的功。

**6** 提示 双金属片是用两个膨胀系数不同的金属片对接起来做成的。把铝(线胀系数 $\alpha = 23 \times 10^{-6}\,K^{-1}$)、铁($\alpha = 12 \times 10^{-6}\,K^{-1}$)、铜($\alpha = 17 \times 10^{-6}\,K^{-1}$)等金属片对接起来能很简单地制作实验用双金属片。对接时，用铝铆钉铆上或用耐热性能比较强的黏合剂粘起来即可。把双金属片固定在支柱上时，应把膨胀系数大的金属放在下面。

说明 加热双金属片时，钩码会被拉上去，这说明热做了使钩码往高处移动的功。

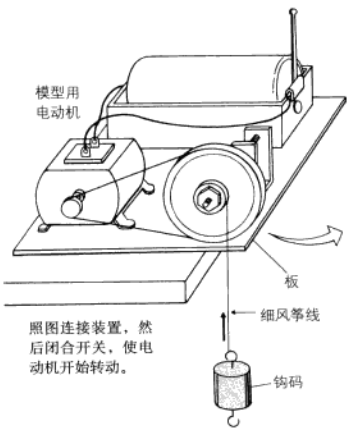
# 62 观察电流所做的功

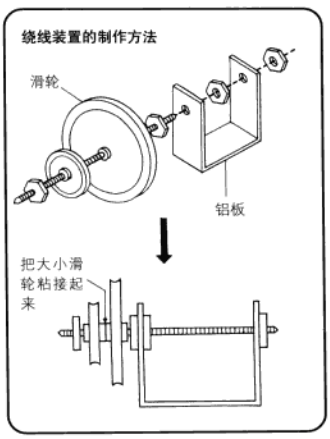
目标 初　用各种各样的方法观察电流所做的功。

模型用电动机　干电池①　滑轮②　特长螺钉　螺母　铝板　细风筝线　木块　塑料圆筒③　电磁铁④　电磁铁所需电源　强力磁铁　圆形磁铁　线

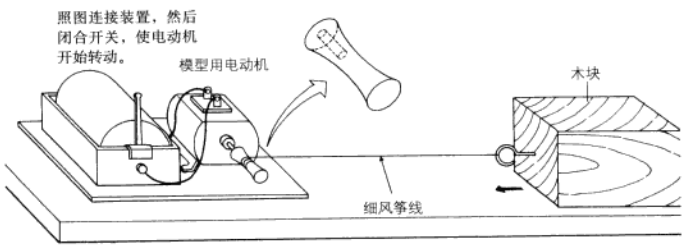
①最好有电池盒(带开关)。②也可以用小型轮轴，③直径2 cm－3 cm，长约20 cm的透明塑料圆筒。玻璃圆筒也可以。④适合塑料圆筒内径的电磁铁，也可以自制。

## 1 观察用电动机提起钩码时所做的功

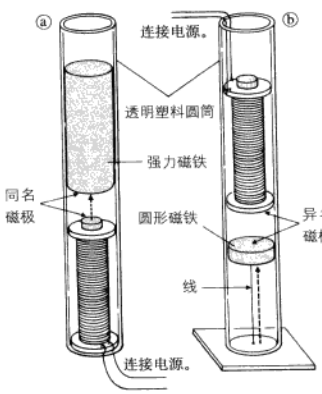



## 2 观察电流克服摩擦力所做的功

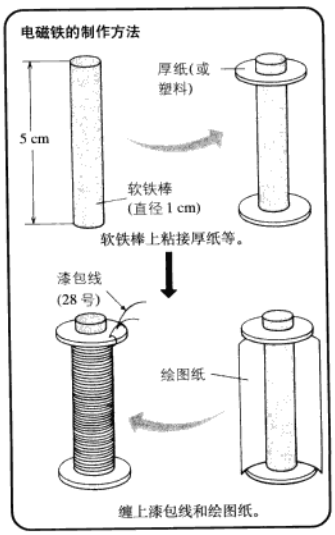



## 3 观察电磁铁所做的功




把电磁铁和强力磁铁装入圆筒(此时电磁铁在下面)，然后给电磁铁通电并进行观察。

把电磁铁和与线相连的圆形磁铁装入圆筒(此时电磁铁在上面)，然后通电并进行观察。




**1** 提示　如果有能量交换实验器，也可以利用；如果没有，自己动手制作也比较简单。自制绕线装置时要用黏合剂粘接大小滑轮，然后用螺母固定。固定时不要拧得太紧。制作只有滑轮的空转装置就可以。装置如图所示，多用几个螺母把轴牢牢固定。

说明　给电动机通电，钩码就会被提上来，说明电流做了把钩码往高处提起的功。

**2** 提示　电动机的转轴如图所示。线轴状的木块经过加工之后，要用强力黏合剂粘接起来。

说明　给电动机通电，木块就会被拉过来，也就是说，电流对木块和克服接触面的摩擦做了功。

**3** 提示　实验所用的塑料圆筒可从废品中选用，也可以使用玻璃管。用钢锯把实验用软铁棒锯下5 cm作为电磁铁的铁心。永久磁铁的磁性变弱时，电磁铁要做得长一些。

漆包线的匝数要尽量多；如果匝数过少，电流就会变得过大。电磁铁和圆筒的直径一定要吻合。圆筒上安装电磁铁和永久磁铁时，要防止接错正负极。

说明　给电磁铁通电，ⓐ中的强力磁铁会被推上来，ⓑ中的圆形磁铁则会被吸引上来；也就是说，电流对两块永久磁铁分别做了功。

参考　**1** 至 **3** 是观察电流做功的实验。实际上，观察相反的现象（即通过做功发电）也是非常有意义的。比如：①给模型用电动机上安装手摇装置可使小灯泡发光；②转动自行车的发电机可使白炽灯发光；③转动手摇发电机可使小灯泡发光。

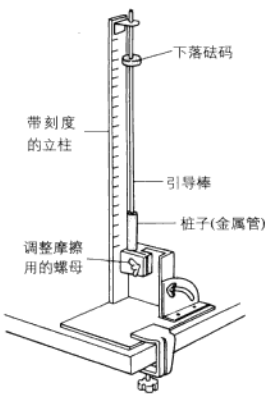
# 63 势能实验

**机械能实验器**(打桩实验器) C形夹子 坐标纸 【其他方法】 四棱木条(横断面是边长为2 cm～3 cm的正方形) 轨道① 木块 钢球② 工具 坐标纸

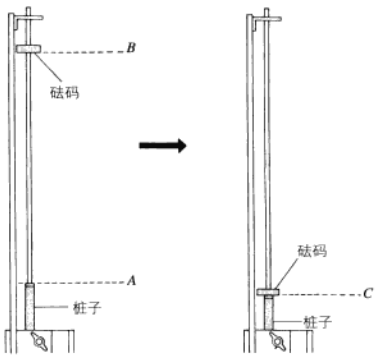
目标 初高 通过观察知道，与重力有关的势能跟物体所在高度及质量成正比。
能通过物体落下来时所做的功求出势能。

①可使用塑料窗帘轨道。②准备质量分别为10 g、14 g、22 g的三种钢球。

1 安装机械能实验器




2 使砝码自由下落，进行打桩




把砝码提起来，记录桩子的位置$A$和砝码的位置$B$。

使砝码落下，记录桩子和砝码的位置$C$。

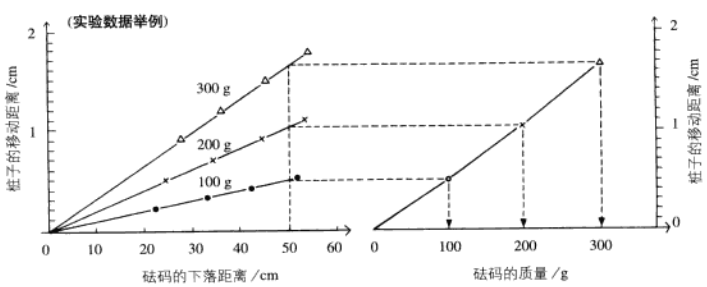
3 改变砝码数，重做2




实验数据举例 cm

| | | $A$点的读数 | $B$点的读数 | $C$点的读数 | 砝码的下落距离 $(B-C)$ | 桩子的移动距离 $(A-C)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 砝码数 | 一个 (100 g) | 8.0 | 60.0 | 7.5 | 52.5 | 0.5 |
| | | 7.5 | 50.0 | 7.1 | 42.9 | 0.4 |
| | | 7.1 | 40.0 | 6.8 | 33.2 | 0.3 |
| | | 6.8 | 30.0 | 6.6 | 23.4 | 0.2 |
| | 两个 (200 g) | 8.0 | 60.0 | 6.9 | 53.4 | 1.1 |
| | | 6.9 | 50.0 | 6.0 | 44.0 | 0.9 |
| | | 6.0 | 40.0 | 5.3 | 34.7 | 0.7 |
| | | 5.3 | 30.0 | 4.8 | 25.2 | 0.5 |
| | 三个 (300 g) | 8.0 | 60.0 | 6.2 | 53.8 | 1.8 |
| | | 6.2 | 50.0 | 4.7 | 45.3 | 1.5 |
| | | 4.7 | 40.0 | 3.5 | 36.5 | 1.2 |
| | | 3.5 | 30.0 | 2.6 | 27.4 | 0.9 |

4 利用得到的数据画出图像




1 提示 用C形夹子把实验器牢牢地固定在桌子边上。用螺母拧紧桩子之前，先用手推桩子一下，检查桩子是否能顺利滑动。如果不能顺利滑动，应把桩子拆下来，用布擦干净，此时要注意避免损坏桩子的表面。如果是黄铜制品而且表面已被氧化，要用金属磨膏把表面的锈擦干净，然后用布擦干锈液。不能因为滑动不顺利而抹润滑油。桩子的滑动是否顺利是本实验的关键，所以要调整好。

固定桩子时要把握好松紧程度，只要在实验中桩子不掉下来就可以。

2 提示 提高砝码的位置至60 cm、50 cm、40 cm、30 cm等高度，做同样的实验。在实验过程中，为了保持桩子的松紧程度一致，不要动调整摩擦用的螺母。注意：砝码的下落距离不是$B-A$，而是$B-C$。

3 提示 砝码的数量改为两个、三个，重做实验。松开调整摩擦用的螺母，把桩子重新安装好。此时，桩子的固定情况与2中一样，也就是说，螺母的位置要与2中一样。

4 提示 把砝码的下落距离取作横轴，把桩子的移动距离取作纵轴，利用测量结果画出图像。然后，以这个图像为基础，画出横轴为砝码质量的图像。

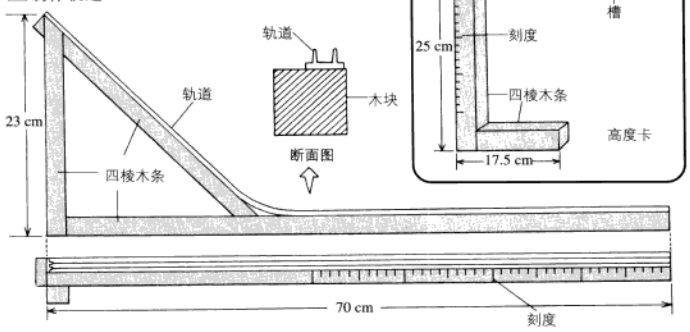
结果 通过图像可以看出，势能与砝码的下落距离及砝码的质量成正比。

参考 一般来说，对高处的物体起作用的重力做功的能力叫做重力势能，用符号$E_p$表示。当物体的质量为$m$、高度为$h$、重力加速度为$g$时，重力势能可由下式计算得出：

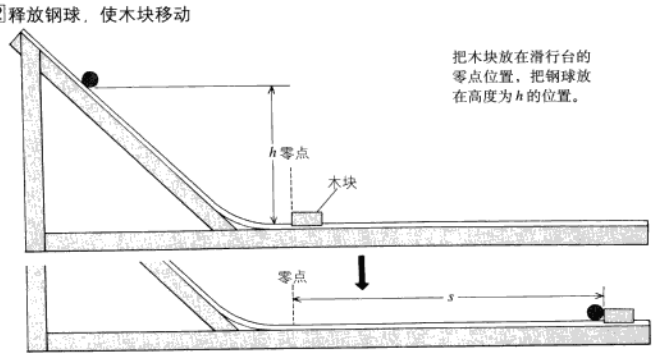
$$E_p = mgh$$

**【其他方法】用自制轨道实验器观察的方法**

1 制作轨道




2 释放钢球，使木块移动

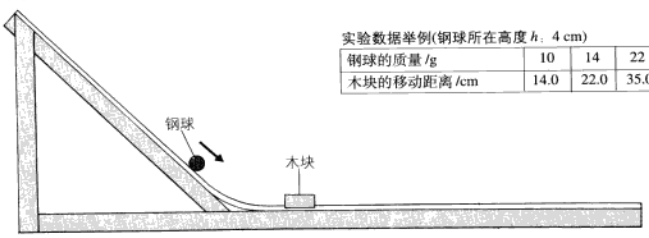



**实验数据举例**(钢球的质量：10 g)

| 钢球的高度 /cm | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 木块的移动距离 /cm | 7.0 | 14.0 | 19.0 | 25.0 | 30.0 | 36.0 |

释放钢球，使其自由滑下，测量木块的移动距离。

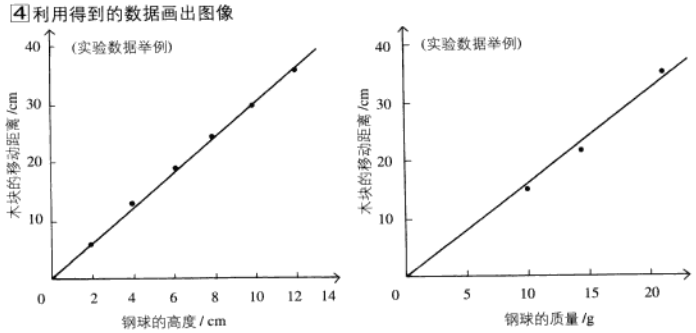
3 改变钢球的大小，重做 2




实验数据举例(钢球所在高度 $h$：4 cm)

| 钢球的质量 /g | 10 | 14 | 22 |
|---|---|---|---|
| 木块的移动距离 /cm | 14.0 | 22.0 | 35.0 |

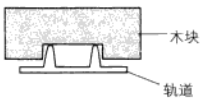
4 利用得到的数据画出图像



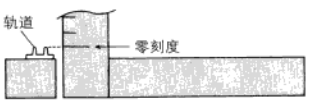

**【其他方法】用自制轨道实验器进行观察的方法**

说明 和前一页的方法相比，此法调整起来不费力，测量误差不大，数据的处理也简单。

1 提示 四棱木条应使用没有变形的。木块上的槽应先用锯锯开，再用锉修齐。为了避免木块与滑行台的板面接触，槽不要挖得太深。




放入高度卡，并使之与滑行台的水平部分间隔1 cm。高度卡的零刻度应对准轨道的上端。




2 提示 钢球只用最小的就可以。决定钢球的高度 $h$ 时，使用高度卡。此时，把钢球底部对准高度卡的刻度。变换钢球的高度 $h$ 做实验。

木块的移动距离 $s$ 是在同一高度上做三次实验之后取平均得到的。每测完一次，都要把木块放回零点位置。

3 提示 改变钢球的大小(也就是改变质量)，重做实验。此时，钢球的高度 $h$ 要固定($h$ 为 4 cm 比较合适)。钢球的质量用托盘天平测量即可。

4 结果 通过图像可以看出：势能与钢球的高度及质量成正比。

材料与器具

# 64 研究小车动能的实验

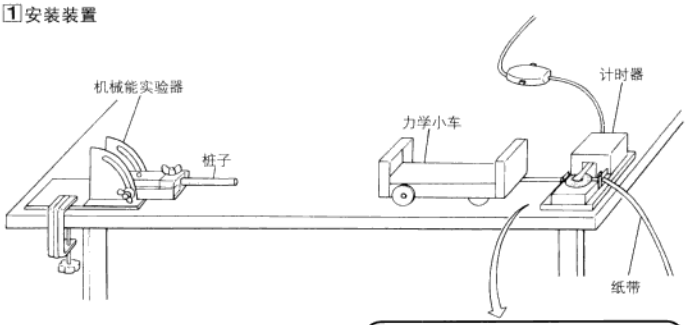
机械能实验器(打桩实验器) C形夹子 计时器 力学小车3辆 透明胶带 托盘天平 尺 坐标纸

目标 初离

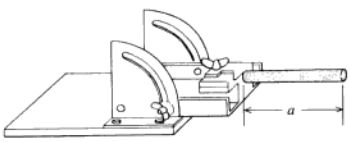
可观察到小车的动能与小车速度的二次方及质量成正比。
知道动能可以通过测量使运动物体停止运动所做功的大小得到。

* 除此之外，在【其他方法1】中，需要木块(5 cm × 10 cm × 20 cm)及力学小车专用砝码；在【其他方法2】中需要弹簧测力计、铁架台、线及力学小车专用砝码。

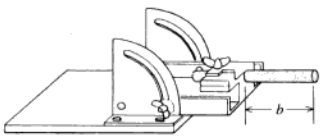
1 安装装置



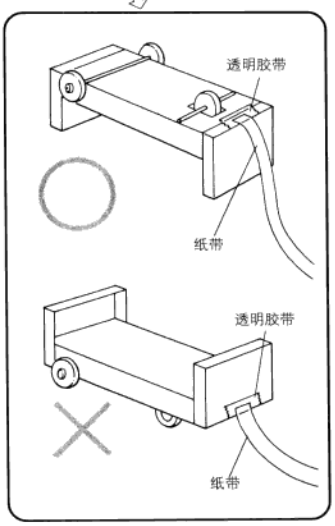

2 使小车与桩子碰撞，进行打桩



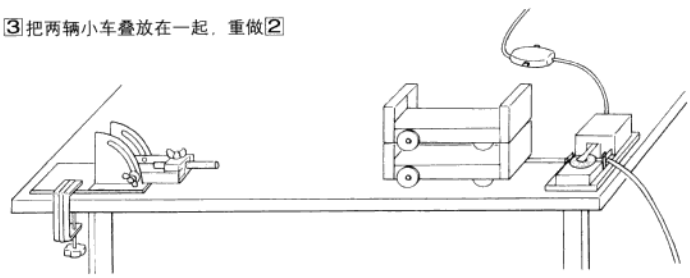

测量桩子的长度 $a$，然后打开计时器的开关。




用手推小车，使车开始运动。车与桩子碰撞之后，测量桩子的长度 $b$。




3 把两辆小车叠放在一起，重做2

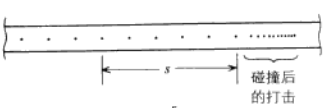


(实验数据举例)

| 小车的质量/kg | 1(一台车时) | | | 2(两台车时) | | | 3(三台车时) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 小车运动的快慢 | 慢 | 中 | 快 | 慢 | 中 | 快 | 慢 | 中 | 快 |
| 桩子的移动距离 (a-b)/cm | 0.31 | 0.71 | 1.25 | 0.50 | 1.10 | 1.90 | 0.62 | 1.50 | 2.10 |
| 小车的速度 $v$ / [cm·(0.02 s)$^{-1}$] | 0.60 | 0.81 | 1.04 | 0.52 | 0.72 | 0.96 | 0.43 | 0.69 | 0.83 |
| 速度的二次方 $v^2$ / [cm$^2$·(0.02 s)$^{-2}$] | 0.36 | 0.66 | 1.08 | 0.27 | 0.52 | 0.92 | 0.18 | 0.48 | 0.69 |

1 提示 用C形夹子把机械能实验器固定在桌子边上。另外，为了保证实验器的桩子滑动顺利，应事先调整好(调整方法及说明请参照【63】)。用透明胶带把记录用的纸带粘贴在小车的底部(注意：不能贴在侧面)。

2 说明 桩子的长度 $a$、$b$ 可以用直尺测量。实验结束后，把碰撞前后桩子的长度 $a$、$b$ 及小车的数量(或质量)记录在纸带上。连续三次改变小车的速度做实验。分析纸带时，求出碰撞之前的五个点间的平均距离，把它当作小车的速度 $v$。$v$ 的单位是 cm·(0.02 s)$^{-1}$，0.02 s是计时器的振动片往返一次所用的时间。



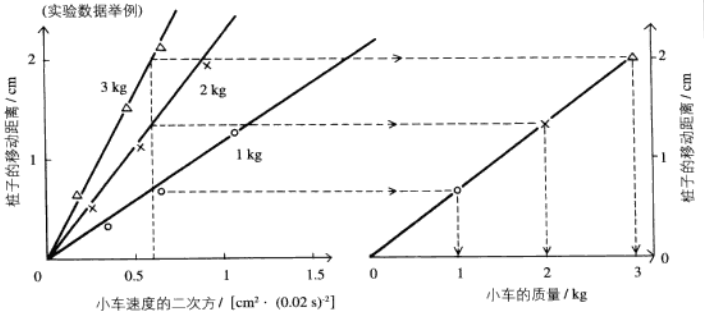

$$v=\frac{s}{5}$$

3 提示 叠放二至三辆小车(相当于改变小车的质量)，再做实验。

4 提示 以小车速度的二次方为横轴，以桩子的移动距离为纵轴，把实验结果画成图像。然后，以这个坐标为基础，把横轴换成小车的质量，再作图像。

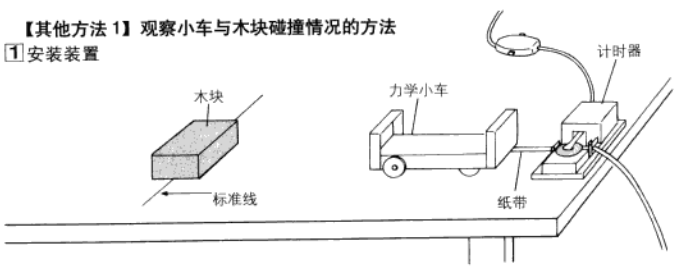
4 把得到的数据画成图像

(实验数据举例)



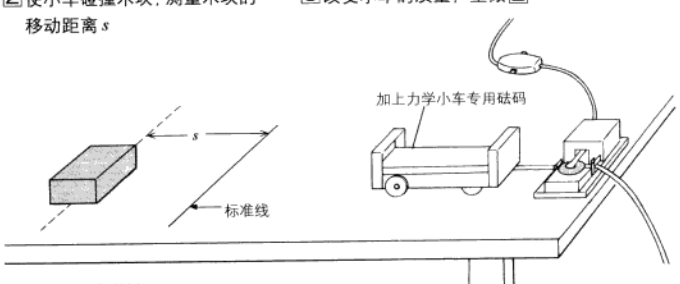

**【其他方法 1】观察小车与木块碰撞情况的方法**

1 安装装置




2 使小车碰撞木块，测量木块的移动距离 $s$

3 改变小车的质量，重做 2

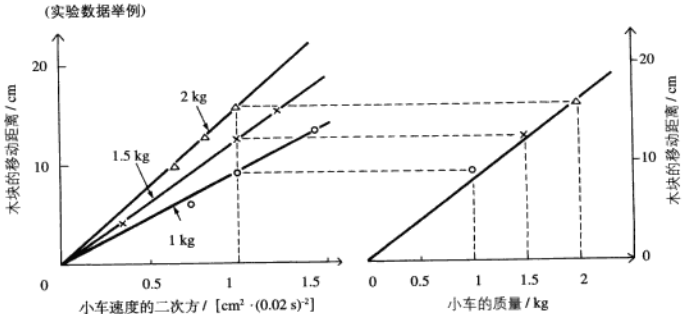



(实验数据举例)

| 小车的质量 / kg | 1 (空的小车) | | | 1.5 (加上 0.5 kg 砝码后) | | | 2 (加上 1 kg 砝码后) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 小车运动的快慢 | 慢 | 中 | 快 | 慢 | 中 | 快 | 慢 | 中 | 快 |
| 木块的移动距离 $s$/cm | 6.2 | 9.1 | 13.0 | 4.0 | 12.5 | 15.1 | 9.9 | 12.6 | 16.0 |
| 小车的速度 $v$ / [cm · (0.02 s)$^{-1}$] | 0.85 | 1.0 | 1.2 | 0.60 | 1.0 | 1.1 | 0.80 | 0.90 | 1.0 |
| 速度的二次方 $v^2$ / [cm² · (0.02 s)$^{-2}$] | 0.72 | 1.00 | 1.44 | 0.36 | 1.00 | 1.21 | 0.64 | 0.81 | 1.00 |

4 把得到的数据画成图像

(实验数据举例)




结果 通过图像能够知道，小车的动能与小车速度的二次方及小车的质量成正比。

参考 一般来讲，以速度 $v$ 运动的质量为 $m$ 的物体，具有到静止为止能做 $mv^2/2$ 功的能力，也就是具有动能。如果用 $E_k$ 表示动能，则能得到以下公式：

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

**【其他方法 1】观察小车与木块碰撞情况的方法**

说明 与前一页的方法相比，这种方法不必调整实验器，所以比较简单。虽然会在测量值上出现一些偏差，但能得到比较满意的结果。

1 提示 使木块对准标准线。此时，木块的重心应对准标准线。这样，碰撞之后即使木块歪斜也能准确地测出移动距离。如果木块太小，测量值的偏差会变大，从而导致得不到准确的结果，这一点应该注意。

要把桌面上的橡皮屑等打扫干净。纸带的粘贴方法请参照前一页 1 中的提示。

2 提示 用手推小车碰撞木块之前，不要忘了打开计时器的开关。木块的移动距离 $s$ 要用直尺测量。实验结束后，记录本块的移动距离 $s$ 和小车的质量。连续三次改变小车的速度并做实验。记录纸带的分析方法请参照前一页 2 中的提示。

3 提示 往小车上加砝码，把小车的质量变成 1.5 kg、2 kg，然后重做实验。

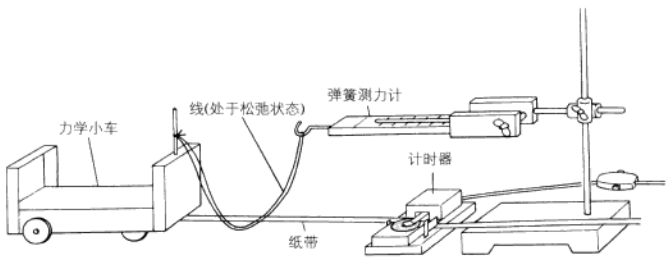
使用力学小车专用砝码。没有专用砝码时，可以使用其他合适的砝码。不过，为了防止砝码在小车上移动，应该把砝码固定起来。

4 提示 以小车速度的二次方为横轴，以木块的移动距离为纵轴，把测量结果画成图像。然后，以这个坐标为基础，把横轴改为小车的质量。

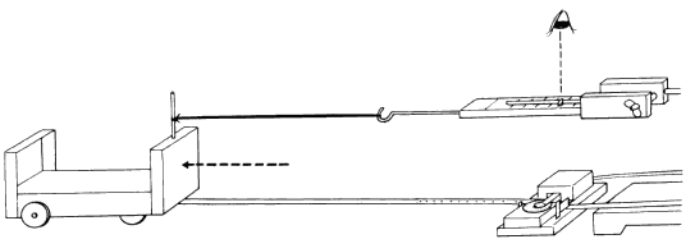
结果 通过图像能够看出：小车的动能与小车速度的二次方及小车的质量成正比。

**【其他方法 2】用小车拉弹簧测力计并进行观察的方法**

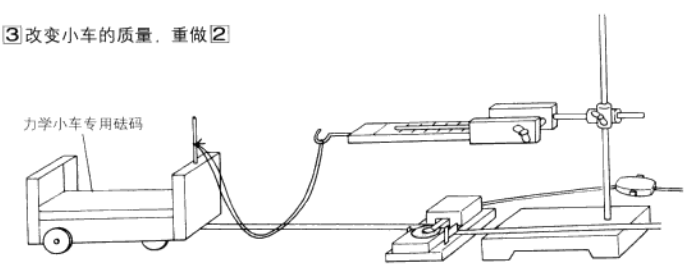
1 安装装置




2 用手推小车，当弹簧测力计的指针指向最大值时读数



3 改变小车的质量，重做 2

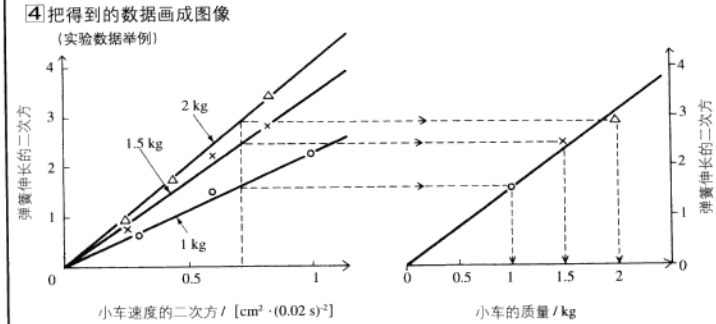



〈实验数据举例〉

| 小车的质量 / kg | 1(空的小车) | | | 1.5 (加上 0.5 kg 砝码) | | | 2 (加上 1 kg 砝码) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 小车运动的快慢 | 慢 | 中 | 快 | 慢 | 中 | 快 | 慢 | 中 | 快 |
| 小车的速度 / $[cm \cdot (0.02\ s)^{-1}]$ | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 0.5 | 0.65 | 0.90 |
| 速度的二次方 / $[cm^2 \cdot (0.02\ s)^{-2}]$ | 0.36 | 0.64 | 1.0 | 0.25 | 0.64 | 0.81 | 0.25 | 0.42 | 0.81 |
| 弹簧的伸长 / $(9.8 \times 10^{-3}\ N)$ | 80 | 120 | 150 | 85 | 150 | 170 | 95 | 130 | 185 |
| 伸长的二次方 / 0.96 N | 0.64 | 1.44 | 2.25 | 0.72 | 2.25 | 2.89 | 0.90 | 1.69 | 3.42 |

4 把得到的数据画成图像

〈实验数据举例〉




**【其他方法 2】用小车拉弹簧测力计并进行观察的方法**

说明 由于用此方法很难准确读取弹簧测力计的读数，所以测量值容易出现偏差。

1 提示 在水平状态下调好弹簧测力计的零点，把线做成环状，一端系在小车上，另一端挂在弹簧测力计的钩子上。此时，线要保持充分松弛的状态。

纸带的粘贴方法请参照前一页 1 中的提示。

2 提示 推小车之前，不要忘记打开计时器的开关。当弹簧测力计的指针指向最大值时，切断计时器的电源。如果当弹簧测力计伸长达到最大时不切断电源，小车会往后退，纸带上就会出现重叠的打点。用量程为 2 N 的弹簧测力计测量时，要注意小车的速度不要太快，否则指针有时会超出量程，来回摆动。

实验结束后，把弹簧测力计的读数和小车的质量记录在纸带上。分三挡(慢、中、快)调节小车的速度，再做实验。纸带的分析方法请参照前一页 2 中的提示。

3 提示 往小车上放砝码，使小车的质量变成 1.5 kg、2 kg 之后再做实验。使用力学小车与专用砝码。没有专用砝码时，可用其他适当的砝码代替，但是，一定要固定好砝码，使其在小车上不会随便移动。

4 提示 以小车速度的二次方为横轴，以弹簧伸长的二次方为纵轴，把测量结果画成图像。然后，把此坐标改成横轴为小车质量的坐标。

说明 以弹簧伸长的二次方为纵轴，是因为拉长弹簧所需要的功和弹簧伸长的二次方成正比的缘故。

结果 通过图像可以看出：小车的动能与小车速度的二次方及小车的质量成正比。

# 65 研究弹簧能量的实验

目标 初高

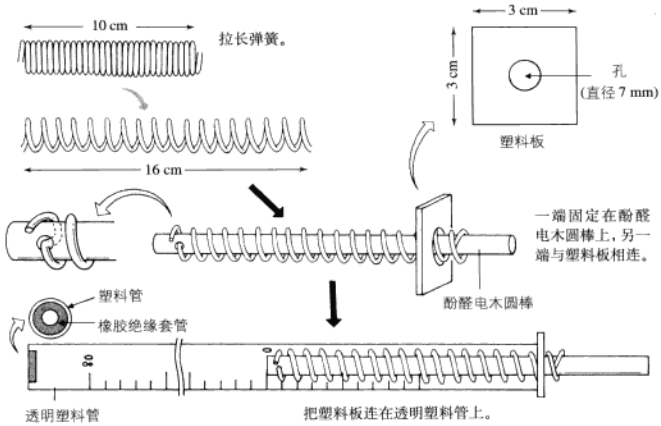
可以观察到弹簧所具有的能量与弹簧缩短(或伸长)的长度的二次方成正比。

知道通过测量弹簧从张紧状态恢复到自然状态为止所做的功，就可以知道弹簧具有的能量(弹性势能)。

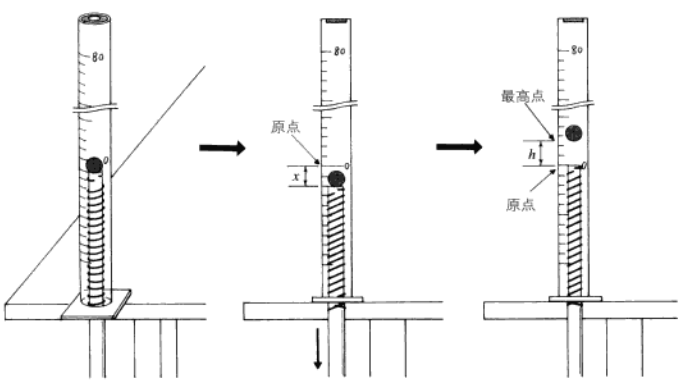
**弹簧**(外径9 mm，长度10 cm) **酚醛电木棒**(直径6 mm，长度27 cm) **透明塑料管**(内径11 mm，外径16 mm，长度1 m) **塑料板**(厚度3 mm) **橡胶绝缘套管**(外径13 mm左右) **钢球**(弹球游戏专用球) **塑料黏合剂** **坐标纸**

* 【其他方法1】【其他方法2】请参照另附的材料与器具。

## 1 制作装置




## 2 发射钢球，观察弹簧具有的能量

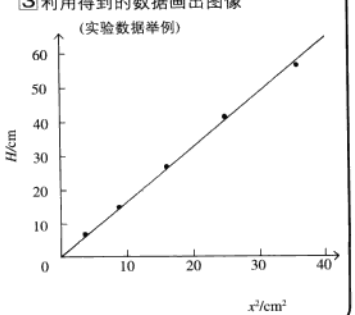



**实验数据举例**

| $x$/cm | $x^2$/cm$^2$ | $h$/cm | $H$*/cm |
|---|---|---|---|
| 2.0 | 4.0 | 5.5 | 7.5 |
| 3.0 | 9.0 | 12.0 | 15.0 |
| 4.0 | 16.0 | 24.0 | 28.0 |
| 5.0 | 25.0 | 37.0 | 42.0 |
| 6.0 | 36.0 | 50.0 | 56.0 |

* $H$：钢球的发射高度($h$+$x$)

## 3 利用得到的数据画出图像




**1** 提示 为了把弹簧固定在酚醛电木棒的顶端，在棒的顶端开一直径为2 mm左右的小孔，然后用钳子把弹簧钩挂在小孔上。弹簧的另一端与塑料板相连。往塑料板的小孔里插酚醛电木棒时，弹簧也会卷进二至三圈，用钳子把弹簧钩折弯，以防脱落。

把塑料管粘接在塑料板上，然后在管上画上刻度——以弹簧的自然位置(酚醛电木棒的顶端)为原点(零点)，在其两旁每隔1 cm画一条刻度。

**2** 提示 放钢球时，要先把橡胶绝缘套管拿掉，然后再放入球。套上橡胶绝缘套管的目的是防止钢球弹出去。借助桌面，用手压住装置，使其与地面垂直。改变弹簧缩短的长度 $x$，求出相应的高度 $h$。在2 cm～6 cm的范围内，使 $x$ 每改变1 cm做一次实验。对同一个 $x$ 做二至三次实验之后，把平均值取为高度 $h$ 就可以了。

说明 钢球的发射高度 $H$ 与弹簧对球所做的功成正比，是钢球到达最高点时的高度 $h$ 与弹簧缩短的长度 $x$ 之和。

参考 利用弹簧发射钢球时，弹簧对钢球所做的功 $W$ 可以由钢球的质量 $m$ 及重力加速度 $g$ 算出：

$$W = mgH$$

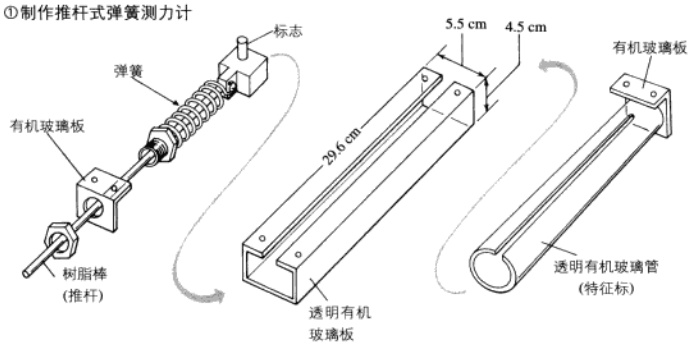
在上式中，由于 $m$ 和 $g$ 是固定的，所以弹簧对钢球所做的功 $W$ 与钢球的发射高度 $H$ 成正比。

**3** 结果 通过图像可以看出：弹簧具有的能量(弹性势能)与弹簧缩短的长度的二次方成正比。

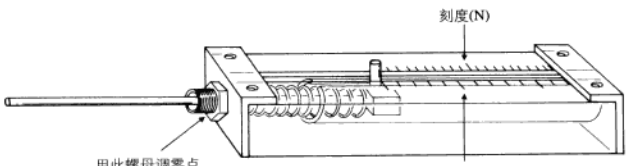
**【其他方法1】使用自制推杆式弹簧测力计实验器的方法**

1 制作装置

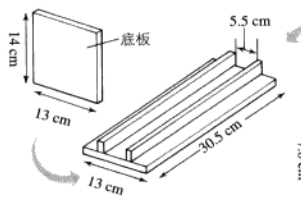
①制作推杆式弹簧测力计



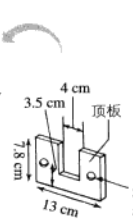

弹簧测力计的完成图

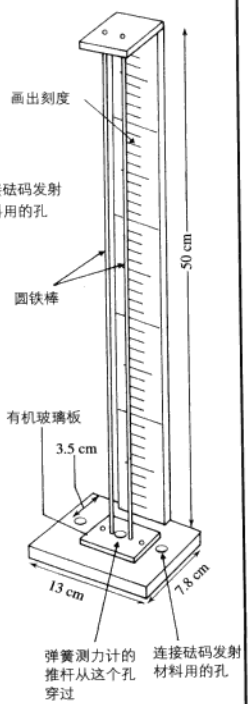



②制作弹簧测力计固定装置

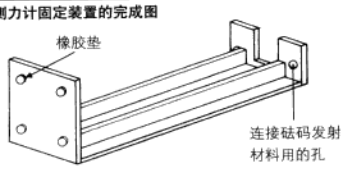



③制作砝码发射台

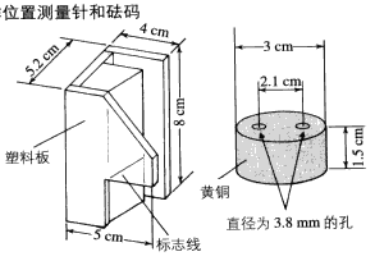



弹簧测力计固定装置的完成图




④制作位置测量针和砝码




**【其他方法1】使用自制推杆式弹簧测力计实验器的方法**

**材料与器具** **弹簧**(外径 9 mm，长度 10 cm) **透明有机玻璃管**(内径21 mm，外径25 mm，长度25 cm) **透明有机玻璃板**(厚度3 mm) **树脂棒**(直径 6 mm，长度 30 cm) **圆铁棒**(直径3 mm) **用黄铜制作的圆柱体**(直径 3 cm，高度 1.5 cm) **板**(厚度 1 cm) **有机玻璃黏合剂** **螺钉** **螺母** **木工黏合剂** **钉子**

1 ① 提示 把弹簧拉长时最好留出一点富余，以保证弹簧的伸长与外力成比例。用适当的材料制作调整标志或零点用的螺钉。折弯有机玻璃板时，使用有机玻璃折弯器比较方便。此时，沿着曲线在外侧进行加热。在外箱上以指针位置为零点，画出分度值为 1 cm 的刻度。另外，虽然在本实验中没有必要，但在 cm 刻度的对面画出相应的 N 刻度更好。

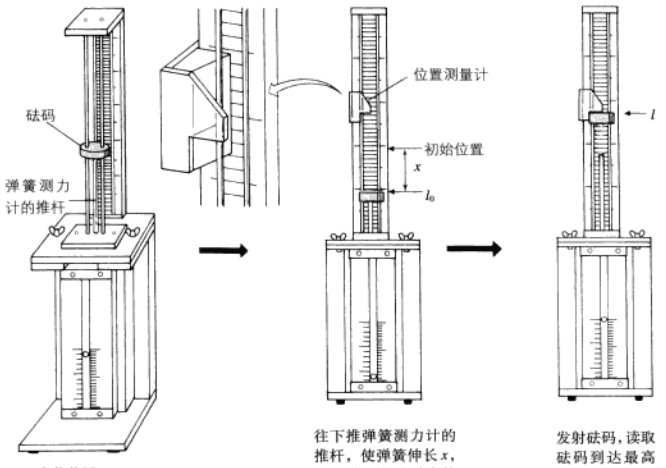
② 提示 材料都用柳安木就可以。在顶板上打一个孔，用于连接砝码发射材料。用木工黏合剂和钉子固定。最好在底板上贴上橡胶垫。

③ 提示 砝码的特征标是两根中心距离为 2.1 cm、相互平行的圆铁棒。为了便于安装砝码，可向上移动。

底板上贴有机玻璃板，上面的孔(直径为 8 mm)用于穿过弹簧测力计的推杆，这样可以减少与推杆的摩擦。因此，有必要在底板上打一个比这个孔更大的孔。另外，穿过推杆的孔应该在砝码的中心位置上。

2 提示 用砝码位置测量计读取砝码到达最高点时的位置 $l_0$。事先要找好测量计的位置，以便砝码升上来后刚好能够碰到测量计。这个位置通过发射三至四次就能知道。此时再变换弹簧的伸长 $x$，求出相应的 $l_0$。得到数据之后，以弹簧伸长 $x$ 的二次方为横轴，以砝码上升的高度 $H = l - l_0$ 为纵轴，画出图像。

2 安装装置，发射砝码，观察弹簧具有的能量



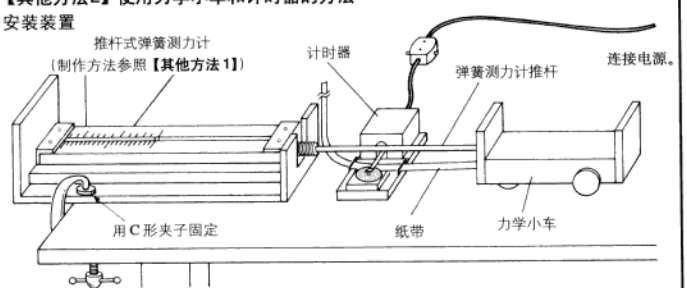

安装装置。

往下推弹簧测力计的推杆，使弹簧伸长 $x$，读取砝码上端对应的位置 $l_0$。

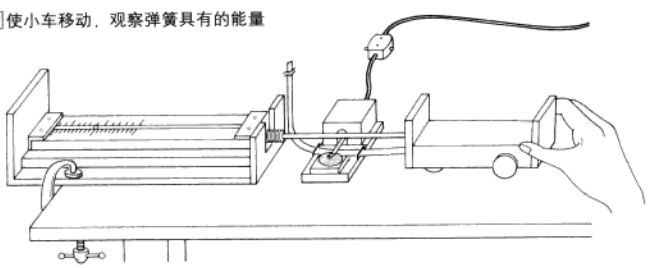
发射砝码，读取砝码到达最高点时的位置 $l$。

**【其他方法2】使用力学小车和计时器的方法**

1 安装装置

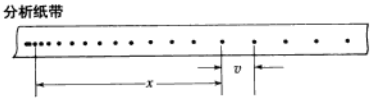



2 使小车移动，观察弹簧具有的能量



ⓐ用手推小车，使弹簧伸长 $x$；
ⓑ打开计时器的开关，稍后松开手，使小车移动；
ⓒ分析纸带，求出小车的最大速度 $v$。

**分析纸带**




打点间隔最大的地方(从开始位置至伸长 $x$ 的位置)的长度就是最大速度 $v$。

结果 通过图像能够看出，弹簧具有的能量与弹簧缩短的长度的二次方成正比。

| $x$/cm | $x^2$/cm$^2$ | $l_0$/cm | $l$/cm | $H$/cm |
|---|---|---|---|---|
| 6.0 | 36.0 | 13.4 | 19.9 | 6.5 |
| 7.0 | 49.0 | 12.4 | 21.6 | 9.2 |
| 8.0 | 64.0 | 11.4 | 23.5 | 12.1 |
| 9.0 | 81.0 | 10.4 | 25.4 | 15.0 |
| 10.0 | 100.0 | 9.4 | 27.5 | 18.1 |

**【其他方法2】使用力学小车和计时器的方法**

**材料与器具** 推杆式弹簧测力计① 纸带 力学小车 计时器 坐标纸

①制作方法请参照【其他方法1】。

说明 此方法的目的是把弹簧具有的能量转化成使小车移动的能量，并通过小车得到的动能观察弹簧的弹性势能。实验以及数据的处理都很简单，能够得到比较满意的结果。

1 提示 用C形夹子把弹簧测力计牢牢地固定在桌子边上。纸带要用透明胶带粘贴在小车的底部。

2 提示 桌面要干净。如果有橡皮屑等物，就会影响数据的精确度。多次改变弹簧的伸长 $x$，记下每次的实验条件。此时，纸带上会记下每次弹簧的伸长 $x$。得到数据之后，以弹簧的伸长 $x$ 的二次方为横轴，以小车得到的最大速度的二次方为纵轴画出图像。

结果 通过图像可以看出，小车得到的速度的二次方与弹簧伸长的二次方成正比。由此可知，小车得到的动能与弹簧伸长的二次方成正比，弹簧具有的弹性势能与弹簧伸长的二次方成正比。

**实验数据举例**

| $x$/cm | $x^2$/cm$^2$ | $v$/[cm·(0.02 s)$^{-1}$] | $v^2$/[cm$^2$·(0.02 s)$^{-2}$] |
|---|---|---|---|
| 6.0 | 36 | 1.0 | 1.0 |
| 7.0 | 49 | 1.2 | 1.4 |
| 8.0 | 64 | 1.4 | 2.0 |
| 9.0 | 81 | 1.6 | 2.6 |

# 66 观察机械能的转化与守恒规律

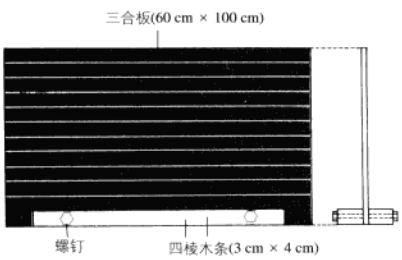
目标 高 可观察到势能和动能可以互相转化，但其总量不发生变化。

【A】三合板(厚度 3 mm 左右) 四棱木条(横断面边长 4 cm × 3 cm) 涂料(黑，白) 钩码(100 g) 线 曲别针 铁架台 螺钉 螺母 工具

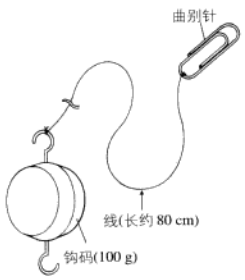
*【B】.【C】.【D】请参照另附的材料与器具。

## 【A】观察单摆的能量转化与守恒

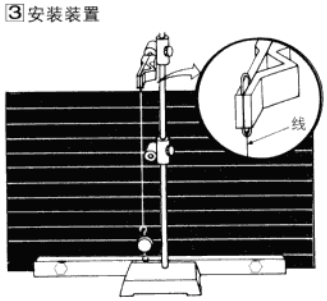
1 用三合板制作画有白线的黑板



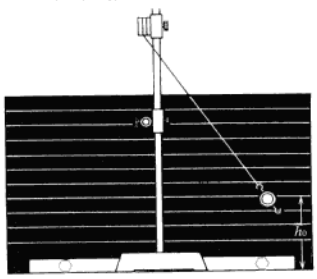

2 钩码上连接线和曲别针



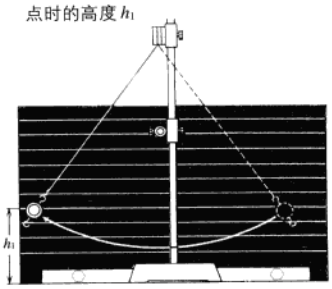

3 安装装置



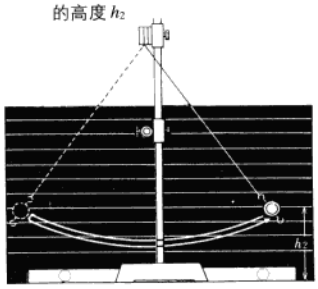

4 将钩码抬高到离地面 $h_0$ 处



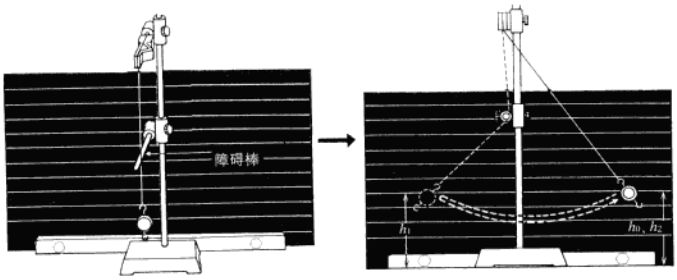

5 松手，读取钩码到达对面最高点时的高度 $h_1$




6 读取钩码返回后到达最高点时的高度 $h_2$




7 在铁架台的中间放上障碍棒，重做 4 至 6




## 【A】观察单摆的能量转化与守恒

1 提示 在三合板的一面刷上黑色涂料，每隔 5 cm 画一条白色横线。在黑色起绒厚纸上画白线，然后贴到三合板上也可以。

3 提示 单摆上端的曲别针要用夹子夹紧。曲别针的下端要和夹子的下端对齐。把黑色的三合板放在铁架台的后面。在铁架台上离地面50 cm高处固定一个夹子，以便在 7 中用于固定障碍物。

4 提示 抬高钩码时要将线绷紧，并使单摆的振动面与黑板平行。此时的单摆高度 $h_0$ 可由黑板上面的白线读出。

5 提示 让单摆开始振动的时候，松手要轻。钩码到达最高点时的高度 $h_1$ 可以通过黑板上的白线读取。( 6 中的 $h_2$ 也一样。)

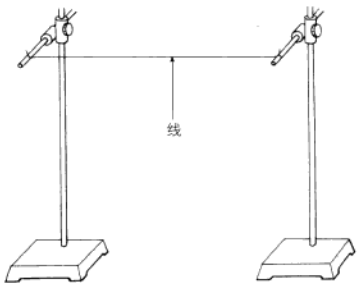
7 提示 障碍棒要用夹子上的螺钉固定好。把障碍棒的位置往下移，然后做同样的实验并进行观察。

说明 单摆的机械能是动能与势能之和。当摆球到达最高点而处于静止状态时，单摆的能量全部转化成势能，动能为零；当摆球到达最低点时，与静止状态相反，势能全部转化为动能。当摆球处于最高点和最低点之间任意一点时，动能和势能之间进行相互转化。进行能量转化时，势能与动能之和是恒定的，两种能量的比例却时时刻刻都在发生变化。

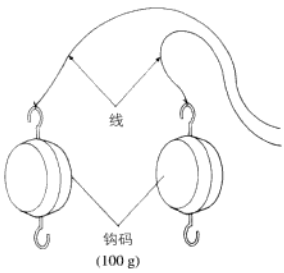
结果 $h_0 = h_1 = h_2$。这个结果对 7 中设有障碍物的情况也成立。由此可知：虽然单摆的运动状态时刻在变，它的能量总值却没有变化。也就是说，能量守恒。

**【B】观察共振摆的能量守恒**

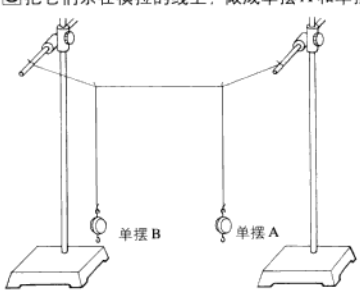
1 在两个铁架台间连一条线

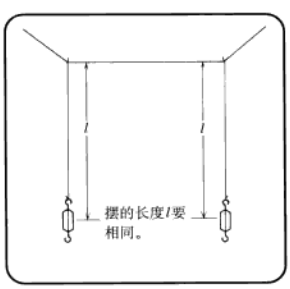



2 将两个钩码用线吊起来



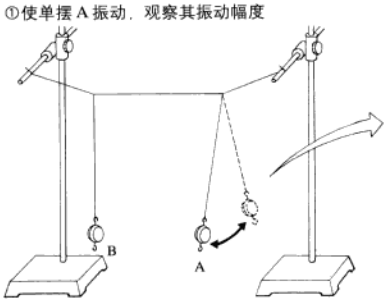

3 把它们系在横拉的线上，做成单摆A和单摆B

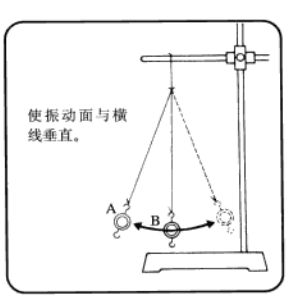


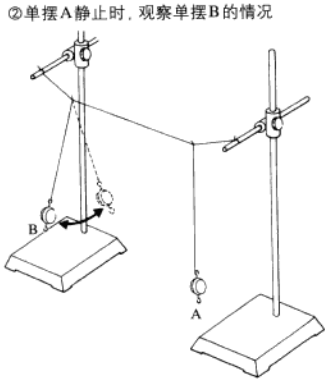

4 使单摆A振动，观察两个摆的情况

①使单摆A振动，观察其振动幅度

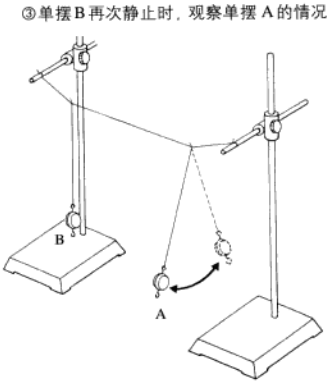



②单摆A静止时，观察单摆B的情况




③单摆B再次静止时，观察单摆A的情况




**【B】观察共振摆的能量守恒**

**材料与器具** 钩码2个　线　铁架台2个

1 提示 要使线保持水平状态。铁架台之间的距离为60 cm。

2 提示 两个钩码在形状、质量上都要相同。

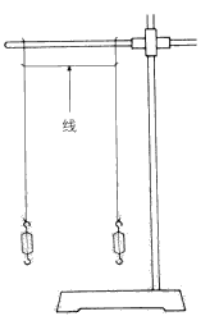
3 提示 摆的长度必须相同。如果摆长不同，就不能很好地共振。

4 提示 认真观察单摆的振动从A→B→A依次传递的情况。从③以后要持续观察一段时间。要认真观察每个单摆的振幅。

结果 在②中，当摆A静止时，摆B会以与摆A最初的振动几乎相同的振幅进行振动。在③中，当摆B静止时，摆A会以原来的振幅进行振动。

当摆的振动按照A→B→A的顺序传递时，振幅不发生变化。由此可知，系统的总能量(即单摆A最初的能量——势能＋动能)没有变化。也就是说，能量守恒。

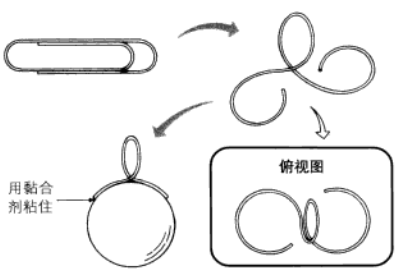
参考 还有用棒代替水平横线的方法。不过，在一根棒上只吊两个摆时不能产生共振。为了引起共振，有必要像下图所示的那样，在两摆之间横着连一根线。这种情况下产生共振是摆的振动通过横线的扭转弹性被传递的结果。




当然，此时也要让摆的振动面与横线保持垂直。

**【C】观察钢球碰撞过程中的能量守恒(实验 1)**

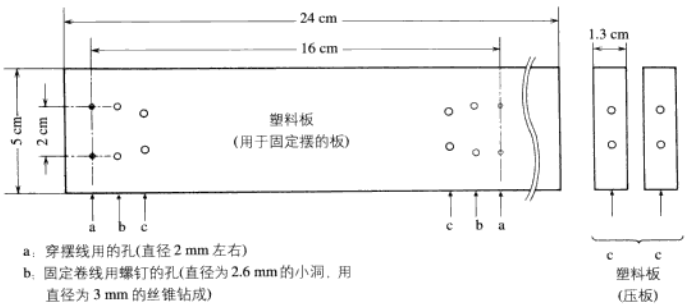
1 用曲别针做两个挂钩，固定在钢球上




2 给钢球连上线

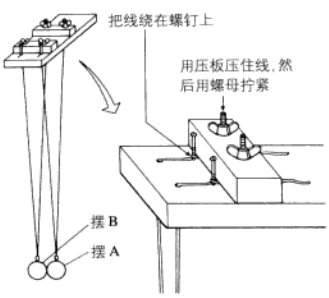



3 加工塑料板，制作用于固定摆的板

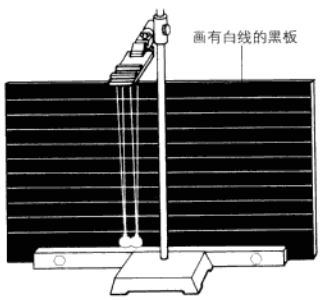



a：穿摆线用的孔(直径 2 mm 左右)
b：固定卷线用螺钉的孔(直径为 2.6 mm 的小洞，用直径为 3 mm 的丝锥钻成)
c：固定压板的孔(直径 3 mm)

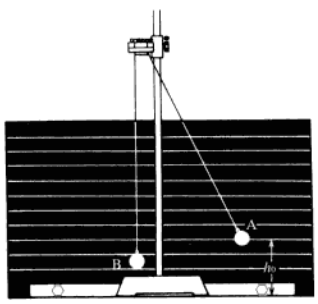
4 在固定摆的板上固定摆 A 和摆 B



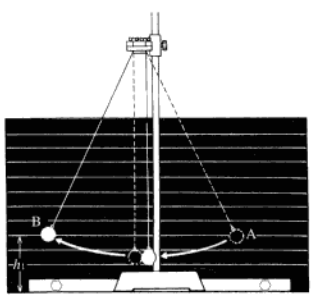

5 安装装置




6 把摆 A 从地面抬到高度为 $h_0$ 处




7 松手，当摆B到达最高点时读取高度$h_1$




**【C】观察钢球碰撞过程中的能量守恒(实验 1)**

**材料与器具** 钢球(直径 2 cm)2 个　曲别针　黏合剂①　线②　塑料板(厚度5mm～8mm)　螺钉　蝶形螺母(直径3 mm)　工具　铁架台 2 个　画有白线的黑板③

①环氧系列的黏合剂。②钓鱼用的线(直径0.4 mm)。③在【A】中自制的黑板。

1 提示 用尖嘴钳加工曲别针，使曲别针贴紧钢球。把钩子粘接在钢球上时，先用在酒精中浸湿的纱布把钢球及钩子上的油垢擦干净。

2 提示 制作摆长大约为80 cm的V形摆时，把线穿过钩子之后，要把钩子两边的线各留出90 cm左右。要使用材质和质量均相同的钢球。

3 提示 也可用酚醛电木板代替塑料板。

4 提示 固定 V 形摆时，要使两根摆线的长度一样。同时，两个摆的摆长也要一样。

5 提示 固定摆的板要用夹子夹牢，并使其保持水平状态。黑板要与钢球的运动方向平行。

6 提示 抬高钢球时，要使线绷紧。钢球的高度 $h_0$ 可由黑板上的白线读出。

7 提示 使摆开始振动时，应把摆抬高，然后轻轻地松手。当摆B到达最高点时，$h_1$ 可由黑板上的白线读取。

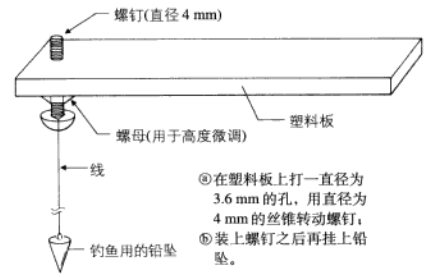
提示 多做几次改变摆 A 高度 $h_0$ 的实验。

说明 当摆 A 到达最低点时与摆 B 碰撞，随后摆 A 停止运动而摆 B 开始运动。当摆 B 从最高点返回后与摆A碰撞，这次则是摆B停止运动，摆A开始运动。以后两个摆便不断重复这种运动。

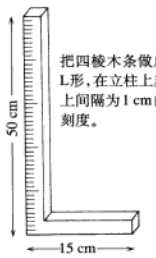
结果 由 $h_0 = h_1$ 可以知道：虽然摆 A 具有的机械能通过碰撞全部转移给了摆B，但整个系统的能量没有发生变化。也就是说，系统的能量守恒。

## 【D】观察钢球碰撞过程中的能量守恒(实验 2)

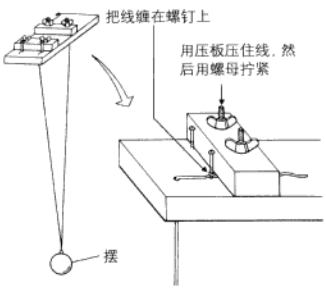
1 制作起步台



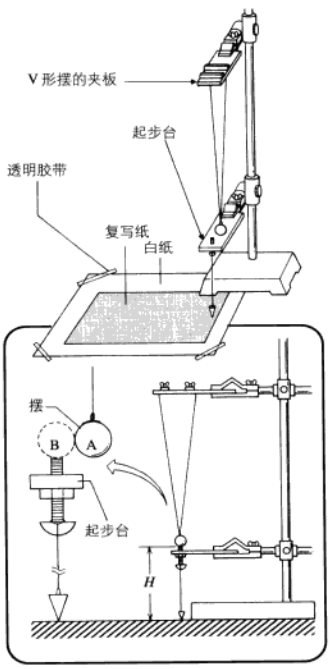

2 制作高度卡



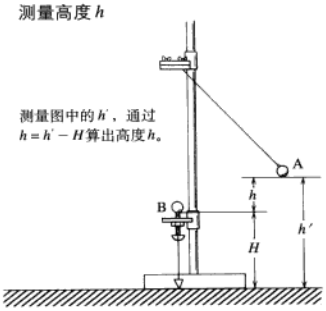

3 把摆固定在板上



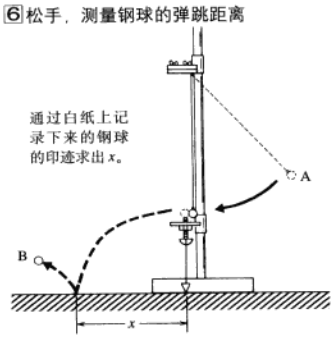

4 安装装置，测量起步台的高度

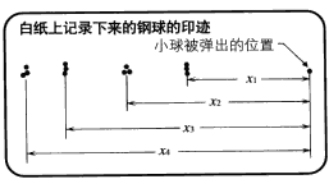



5 把钢球放在起步台上，抬高摆球，测量高度 $h$




6 松手，测量钢球的弹跳距离




实验数据举例

| 单摆的高度 $h$/cm | 钢球的弹跳距离 $x$/cm | $x$ 的理论值 / cm |
|---|---|---|
| 4.0 | 18.2 | 18.3 |
| 9.0 | 27.4 | 27.5 |
| 14.0 | 34.1 | 34.3 |
| 19.0 | 39.8 | 9.9 |

起步台的高度为 $H$ = 21.0 cm。

## 【D】观察钢球碰撞过程中的能量守恒(实验 2)

**材料与器具** 塑料板① 螺钉 螺母(直径 4 mm) 线② 钓鱼用的铅坠 四棱木条(横断面 2 cm × 2 cm 左右) 摆的固定用板③ 钢球 铁架台 白纸 复写纸

① 0.5 cm × 1.3 cm × 14 cm 左右。②钓鱼用的线(直径 0.4 mm)。③在【C】中自制的板。

1 提示 也可用酚醛电木板代替塑料板。

3 提示 摆长为 60 cm 比较好。

4 提示 起步台的高度 $H$ 为 21 cm 左右。通过调整，使得摆球到达最低点时，球心刚好和起步台上的钢球球心对齐；也就是说，调整到使摆球和钢球刚好发生对心碰撞。用透明胶带把白纸固定在桌面上。测量起步台的高度$H$时，将用到2中自制的高度卡。(在5中测量高度时也一样。)

5 提示 抬高摆球时，要使线绷紧。

6 提示 如果因碰撞而弹出去的钢球在复写纸上发生弹跳，要及时用手取下，以免在白纸上留下多余的记录。做三次实验之后，利用纸上留下的钢球的平均位置，求出弹跳距离 $x$。

提示 改变摆球的高度 $h$，然后再做几次实验。此时，一张记录纸上便记录了所有球的下落情况。

说明 摆球在高度$h$的势能$E_p$($=mgh$)和最低点的动能$E_k$($=mv^2/2$)应该是一样的，所以摆在最低点的速度 $v$ 是

$$v = \sqrt{2gh} \quad \cdots\cdots (1)$$

现在，假设摆球 A 的动能全部传给了钢球 B，式(1)对钢球 B 来说也能成立。因此，通过钢球 B 从高度 $H$ 处自由下落时的公式(2)和水平飞行距离$x$时的公式(3)，可以得到公式(4)。

$$H = \frac{1}{2}gt^2 \quad \cdots\cdots (2)$$

$$x = vt \quad \cdots\cdots (3)$$

$$x = 2\sqrt{hH} \quad \cdots\cdots (4)$$

由公式(4)可知，系统的能量守恒。

# 67 用电子计算机分析机械能守恒定律

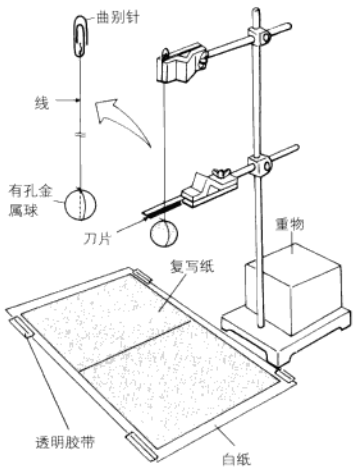
**目标** 高 能利用电子计算机处理机械能守恒实验的测量结果，能在短时间内对烦琐的数据进行准确处理。
了解电子计算机的方便之处。

**材料与器具** 金属球① 线 曲别针 白纸 复写纸 透明胶带 刀片② 铁架台 重物 电子计算机

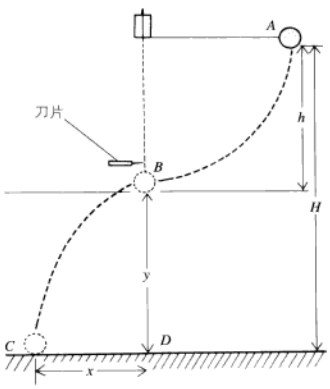
①中间有孔，便于穿线。②剃须刀片就行。

**1** 用单摆观察摆球的高度与弹跳距离的关系

①安装装置




②把摆球抬高之后松手，测量摆球的弹跳距离 $x$



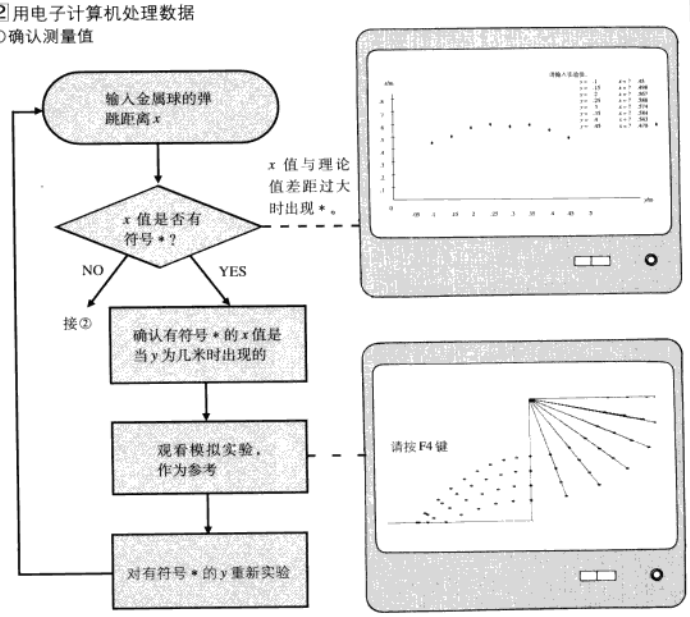

把金属球从 $B$ 点抬高到 $A$ 点之后松手，测量从 $B$ 点的正下方($D$ 点)到 $C$ 点(落点)的距离。

**实验数据举例**

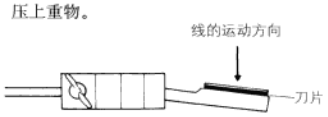
| 金属球的高度 $y$/m | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金属球的弹跳距离 $x$/m | 0.450 | 0.498 | 0.567 | 0.588 | 0.574 | 0.584 | 0.543 | 0.478 |

**2** 用电子计算机处理数据

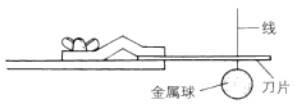
①确认测量值




**1** ① 提示 用夹子固定刀片时，为了顺利切断线，应使刀刃朝着线的运动方向并稍微倾斜一点。为了避免铁架台晃动，架子上应该压上重物。




把刀片放在球飞来时刚好切断吊球线下端的位置。




②提示 实验开始之前，在记录纸上标出 $D$ 点。固定金属球时，应一点一点地改变球距地面的高度 $y$，多做几次实验。此时，抬上来的金属球离地面的高度 $H$ 一定要保持不变，也就是说，不能改变用于固定摆的夹子的位置。把 $H$ 设定为 60 cm，而把 $y$ 从 10 cm 的高度每次增加 5 cm。每改变一次 $y$ 值，都要检查落点是否印在白纸上，并在落点上记下 $y$ 值。

注意 不要被刀片划伤。刀片不用时应该妥善保管。

**2** ① 提示 为了防止按错键，可以准备一份输入数据专用键盘的操作指南。指南中还可以把操作失误时的应急处理方法写进去。

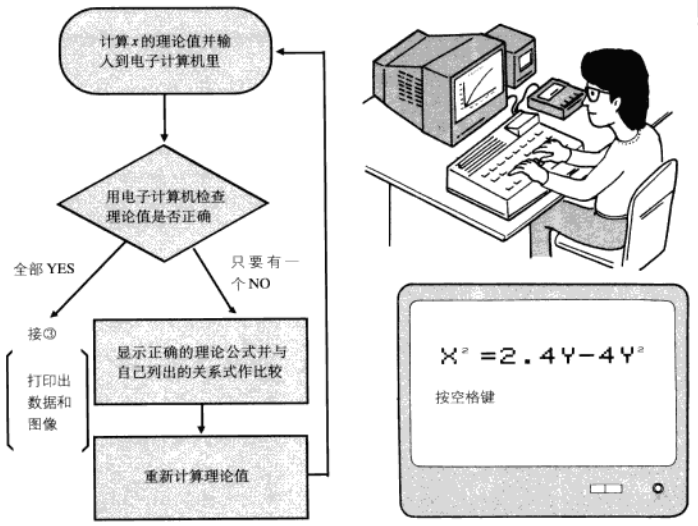
指南举例

> 请输入 $x$ 值，比如 0.11 就按 . 1 1 键。
> 如有声音响起，说明按错键，按 stop 和 F3 键就能重新输入。

符号 * 只有当理论值与测量值的误差超过 5% 时才会出现。

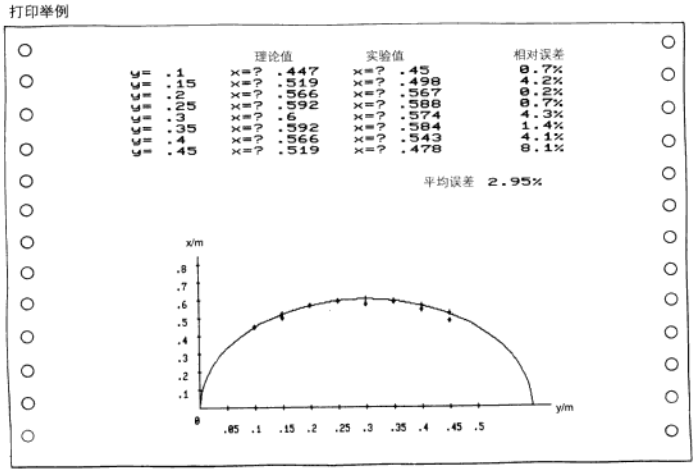
观看模拟实验时，应仔细观察落点的 $y$ 值变化。利用颜色帮助区分，会更加容易理解。

②尝试列出 $y$ 与 $x$ 的关系式，对应每个 $y$ 值，计算 $x$ 的理论值




③参考打印资料，思考 $y$ 为几米时 $x$ 可能最大，图像可能是什么样的曲线

打印举例




3 比较 $A$ 点的势能 $E_p$ 与 $B$ 点的动能 $E_k$

利用右面的公式求出 $E_p$ 和 $E_k$，汇总于表格中并作比较。

$E_p = mgh$

$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{mg}{4y}x^2$

| 金属球的高度 y/m | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金属球的弹跳距离 x/m | 0.450 | 0.498 | 0.567 | 0.588 | 0.574 | 0.584 | 0.543 | 0.478 |
| 势能 $E_p$/J | 0.50$mg$ | 0.45$mg$ | 0.40$mg$ | 0.35$mg$ | 0.30$mg$ | 0.25$mg$ | 0.20$mg$ | 0.15$mg$ |
| 动能 $E_k$/J | 0.51$mg$ | 0.41$mg$ | 0.40$mg$ | 0.35$mg$ | 0.27$mg$ | 0.24$mg$ | 0.18$mg$ | 0.13$mg$ |

② 说明 以下是理论公式的推导过程。在前一页 1 ②的图中，线被切断以后金属球从 $B$ 点落至 $C$ 点所用的时间 $t$ 可从关系式

$$\frac{1}{2}gt^2 = y$$

得出

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

在此期间，金属球沿着水平方向移动 $x$，所以金属球在 $B$ 点的速度 $v$ 是

$$v = \frac{x}{t} = x\sqrt{\frac{g}{2y}}$$

设金属球的质量为 $m$，它在 $B$ 点的动能 $E_k$ 就是

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \times \left(x\sqrt{\frac{g}{2y}}\right)^2 = \frac{mg}{4y}x^2$$

由于这个 $E_k$ 等于 $A$ 点的势能 $E_p(=mgh)$，所以有

$$\frac{mg}{4y}x^2 = mgh$$

$$\therefore\ x^2 = 4yh$$

如果钢球距地面的高度 $H$ 为 0.60 m，$h = 0.60 - y$，把 $h$ 代入上式可得

$$x^2 = 4y(0.6-y) = 2.4y - 4y^2$$

③ 说明 相对误差可以通过以下公式求得：

$$\text{相对误差} = \left|\frac{\text{理论值} - \text{实验值}}{\text{理论值}}\right| \times 100$$

图像是当 $y = 0.3$ m，$x = 0.6$ m 时达到最大值。图像是椭圆形的一部分。在左边的打印例子中，由于横轴和纵轴的分度值不等，所以图像是横向较长的椭圆形的上半部分；如果使横轴和纵轴的分度值相等，图像就会变成纵向较长的椭圆形的上半部分。

3 说明 势能 $E_p$ 和动能 $E_k$ 几乎相等。实际上，受线的切断和空气阻力的影响，$E_k$ 会稍微小一点。

说明 在这个实验中，用电子计算机处理的有以下四项：

- 实验值的确认；
- 理论值的计算和确认；
- 误差的计算；
- 制图(实验值的图像和理论图像)。

能省去这么多烦琐的计算和工作，可以提高学生对实验的兴趣，同时还能使学生更好地理解使用电子计算机的好处。

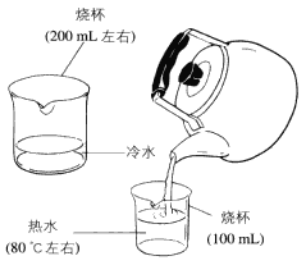
# 68 观察热平衡与热传递现象

目标 小初 通过观察知道：温度高的物体和温度低的物体接触时，热从温度高的物体传到温度低的物体，直到两个物体的温度相同。

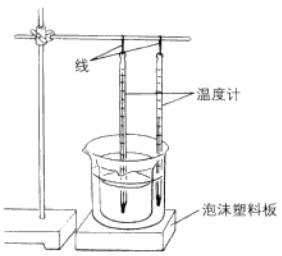
泡沫塑料板(10 cm × 15 cm) 玻璃棉 塑料袋 线 布 坐标纸 厚纸板 烧杯(100 mL, 200 mL, 300 mL, 500 mL) 温度计 2 个 试管(直径 20 mm) 加热器具 量热器 刀片 铁架台

**1** 用烧杯观察

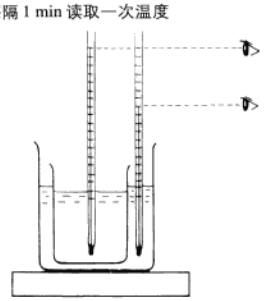
①往大烧杯中加入冷水，小烧杯中加入热水



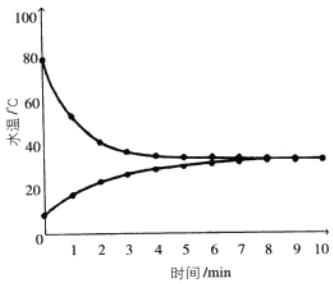

②安装装置




③每隔 1 min 读取一次温度

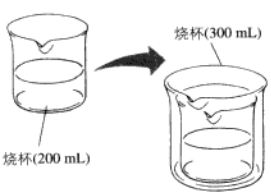


④画出图像

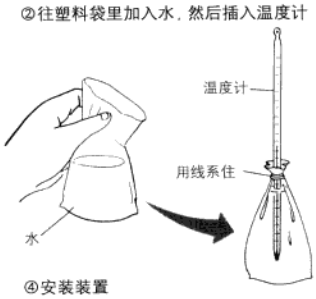



**2** 用双层烧杯观察

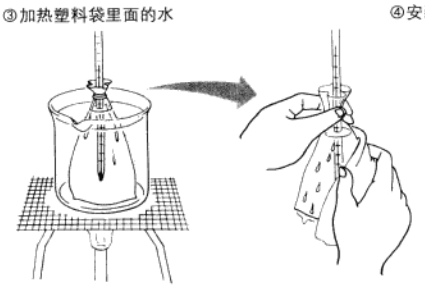
①往小烧杯中加入水，然后把小烧杯放入大烧杯中



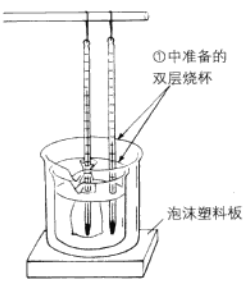

②往塑料袋里加入水，然后插入温度计




③加热塑料袋里面的水



④安装装置




水温达到 80 ℃～90 ℃时，从烧杯中取出塑料袋，用布擦掉袋上的水。

说明 热水和冷水接触时，热水的温度逐渐下降，冷水的温度却逐渐上升，最终两个温度会相同，从而达到热平衡。此时，从热水向冷水传递的就是热量。在这个实验中，应想办法让热水中的热只做加热冷水的工作，同时要防止外部的热量对冷水升温起作用。在方法 1 中，为了使实验尽量简单，忽略了系统与外部环境的热交换；在方法 2 至 4 中，则想办法尽量减少系统与外部环境的热交换。

1 ① 提示 热水的量以烧杯容量的八成左右为宜。如果热水太少，热就会被烧杯吸收而很快变冷。冷水的量以往大烧杯中放入小烧杯时水位比热水稍微高出一点为好。事先应做一些准备工作。

② 提示 不要使温度计的温泡碰到杯子。要使两个温度计的高度一致。也可以使用数字温度计。

③ 提示 开始测量之后就不要移动温度计了。

④ 提示 把测量值画成图像，就能直观地看到结果。左边的图像所用的实验数据是在以下条件下测得的：

- 冷水 ……9.5 ℃,120 mL (200 mL的烧杯)
- 热水……80 ℃,100 mL (100 mL的烧杯)

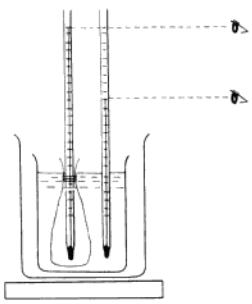
2 说明 把两个烧杯套起来，具有较好的保温效果。

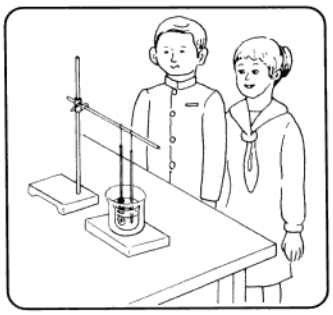
① 提示 选择大小不同的两个烧杯时，要让里面的小烧杯和外面的大烧杯之间有一点空隙。小烧杯中加入一半的水就可以了。

② 提示 塑料袋的形状对实验结果影响不大，但不要使用耐热性差的塑料袋。

要把握好塑料袋里的水量。把装好水的塑料袋放进①中装有水的烧杯里面之后，烧杯中的水不溢出来就行。需要注意的是，如果塑料袋里的水太少，就有可能达不到预期的实验目的。

⑤每隔 30 s 读取一次两个温度计的读数

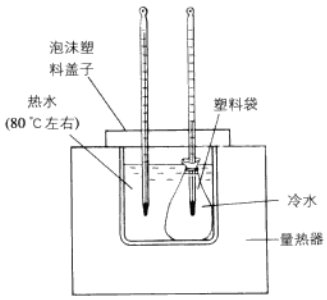




⑤ 提示 比 1 中传热快，所以每隔 30 s 就要读取一次温度。

**3 用量热器观察**

①安装装置




②每隔 30 s 读取一次温度



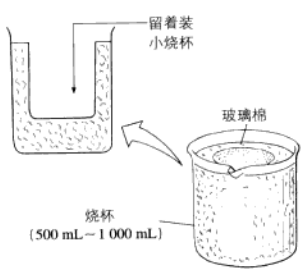
3 说明 从结构上看，量热器的铜制容器被保温材料包裹，可以尽量减少热传递。这一方法的特点是在外侧装热水，所以操作比较简单。

① 提示 塑料袋里装冷水，用与 2 ②中同样的方法实验就行。然后，为了防止漏水，用线扎紧袋口。实验时不能动量热器的盖子，所以在泡沫塑料板上面打个洞，作为盖子使用。

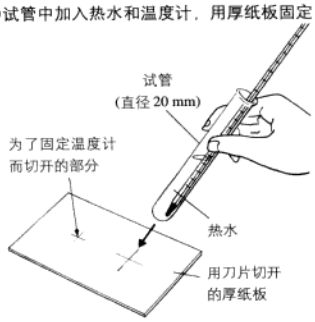
② 说明 由于与外部的热交换很少，所以只用 5 min～6 min 就能使冷热水的温度达到一致。

**4 用保温材料观察**

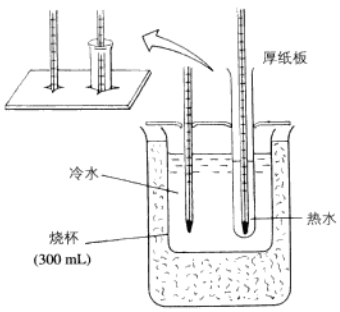
①在大烧杯中加入玻璃棉



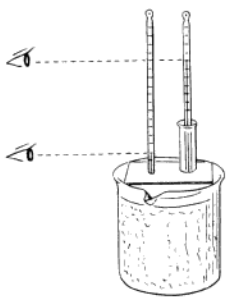

②试管中加入热水和温度计，用厚纸板固定




③安装装置




④每隔 30 s 读取一次温度

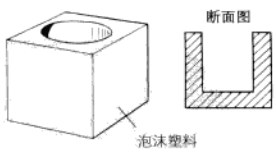


4 说明 这个方法的不足之处在于，热水比冷水少，所以水温的变化不太大。

① 说明 玻璃棉的保温效果非常好，所以还可以作为房屋的保温材料。

提示 也可以用泡沫塑料的碎末或把报纸揉成团之后代替玻璃棉。

参考 还有一种方法，即烧杯中不加保温材料，而在大块的泡沫塑料上挖个与小烧杯一样大的洞使用。




② 提示 利用厚而结实的纸板。要防止试管及温度计脱落。

④ 说明 5 min～6 min 之后，冷热水温度达到一致。

# 69 观察物体的颜色与温度的关系

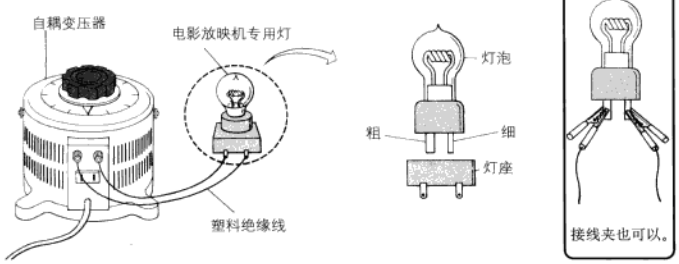
目标 初高

可以观察到随着物体的温度上升，物体发出的光的颜色会发生变化。
能根据物体的颜色推测物体的大概温度。

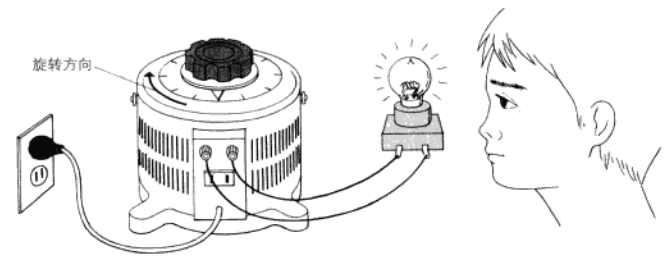
**自耦变压器　塑料绝缘线　电影放映机专用灯①　灯座②　直视分光镜　厚纸板**
**【其他方法】自动铅笔芯　铁架台2个　自耦变压器　交流电流表　导线**

①使用功率为650 W或1 000 W的灯泡。②如果没有灯座就用接线夹。

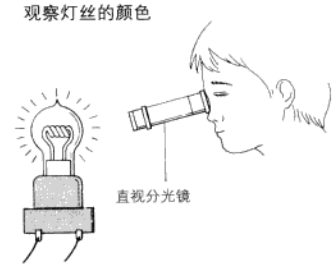
1 安装装置



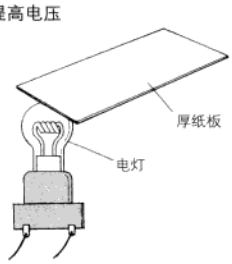

2 一点一点地提高电压(从0 V到100 V)，观察灯丝的颜色变化




3 在与2中相同的状态下，用直视分光镜观察灯丝的颜色




4 把厚纸板贴到灯泡上，然后一点一点地提高电压




1 注意 导线有短路的危险，所以绝对不能使用裸线。

2 提示 一边观察灯丝的颜色，一边一点一点地把电压从0 V提高到100 V。
说明 灯丝的颜色逐渐从暗红色变成红、橙、黄、白色。

3 提示 观察颜色发生变化时光谱如何变化。
说明 灯丝的颜色为红色时，光谱的红光部分清楚，波长比蓝光或紫光短的部分看起来却比较暗，提高电压使灯丝的颜色变成白色时，光谱上的蓝光和紫光部分也能看清。

4 提示 确认灯泡的温度降到室温之后再进行。
说明 电压超过10 V时开始烧焦，超过50 V就会起火，由此能知道光的颜色与温度的大概关系。需要注意的是，这里的温度是指灯泡的温度，而不是灯丝本身的温度。
参考 灯丝的颜色与温度的关系如下：

- 暗红色……600 ℃
- 红色……900 ℃
- 橙色……1 100 ℃
- 黄色……1 500 ℃
- 白色……2 500 ℃

说明 **【其他方法】**可参考[152]中的实验2。

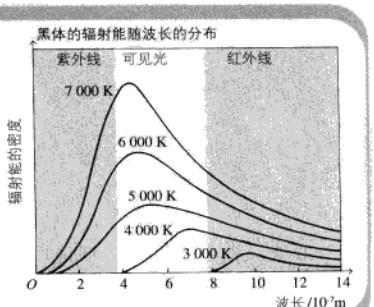
## 黑体的辐射能

普朗克(1858—1947)提出了黑体(能够全部吸收所有波长的光的理想物体)辐射能的密度和波长的关系图(普朗克辐射定律)。右图中温度升高时，可见光变强；温度更高时，紫外线也会变强。一般的物体也具有与黑体相近的性能，温度越高，发出光的青白色越强；温度低时，可见光中波长长的红色变强；温度进一步降低时，只发出红外线，所以用肉眼看不到，但可以通过特殊的方法拍摄到。

辐射能最大值对应的波长$\lambda_m$随着温度的升高而往波长短的方向移动，且波长与温度之间存在如下式所示的关系：

$$\lambda_m T = 常数$$

式中$T$是热力学温度，单位符号是K。
利用这一定律可以测定高温物体的温度。



# 70 观察不同温度的水混合时的温度变化

目标 初高

可观察到当不同温度的水混合时，温度高的水失去的热量和温度低的水得到的热量相等。

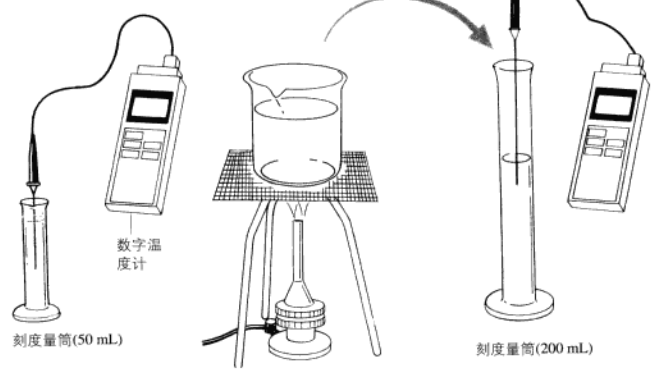
材料与器具

刻度量筒　数字温度计　烧杯　加热装置　量热器①

①也可以自制量热器。量热器的制作方法请参照下一页的【参考】。

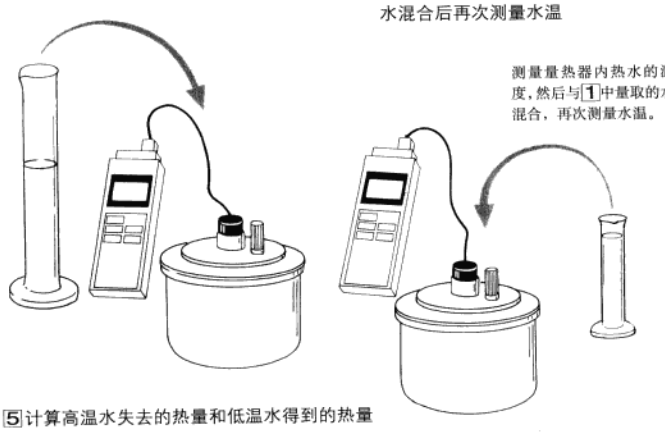
1 量取 50 mL 水，测量水温

2 把水加热到 50 ℃，取 150 mL

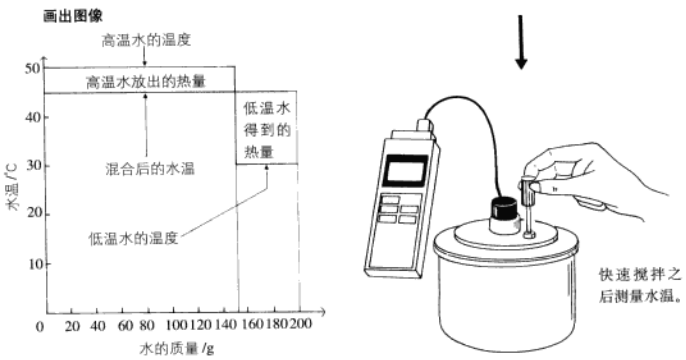



3 把 150 mL 经过加热的水放入量热器

4 测量量热器内的水温，与 1 中量取的水混合后再次测量水温




5 计算高温水失去的热量和低温水得到的热量




1 提示 可以使用自来水，但不要使用放置了一段时间的水。因为提前接好的水的温度接近室温，所以在其他操作中几乎不会出现温度的变化。

3 提示 热水的温度在刻度量筒内会不断下降，所以操作要快。把水移入量热器之后就测量水温(即在4中进行水温测量)，所以稍微有些降温也不会影响实验，操作时不必慌张；否则，因为慌张而把水洒到量热器的外面，就会导致误差变大。

结果 如果把4中放入量热器里面进行测量的水的温度设为$t_2$，与温度低的水混合后的水温设为$t$，水的质量是150 g，则温度高的水失去的热量$Q_2$可由下式求出：

$$Q_2=4.2\times(t_2-t)\times 150$$

其中，4.2为水的比热容值，它的单位是$J\cdot g^{-1}\cdot ℃^{-1}$。另外，如果把1中测得的水温设为$t_1$，由于水的质量是50 g，温度低的水得到的热量$Q_1$便是，

$$Q_1=4.2\times(t-t_1)\times 50$$

根据这个式子计算可得

$$Q_1\approx Q_2$$

也就是说，温度高的水失去的热量和温度低的水得到的热量几乎相等。

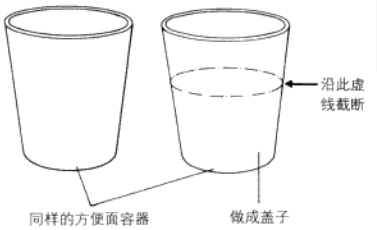
说明 由于计算热量时必须知道物体的质量，所以应该测出水的质量。因为水的密度为1 g/cm³，所以只要测出水的体积就可以了，这一点要向学生说明。

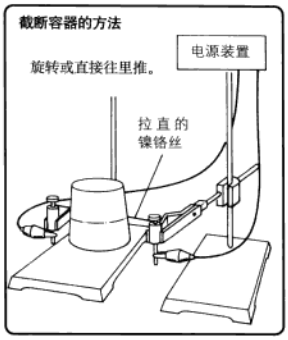
准确地讲，应该把量热器的铜制容器以及绝缘材料的水当量也考虑进去，但在本实验中这点误差可以忽略。但要注意，倒进倒出水时以及打开或盖上量热器的盖子时，不要把水洒出来，否则误差会变大。

**【参考】量热器的制作方法**

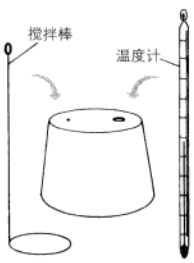
1 利用方便面容器制作

①准备两个方便面容器，截掉其中一个容器的上半部分，下半部分留着做盖子

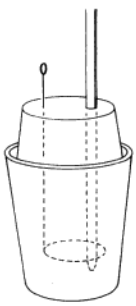


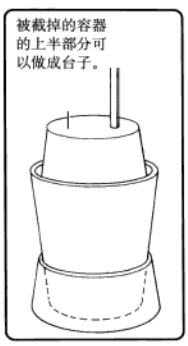




②盖子上打两个孔，分别插入温度计和搅拌棒



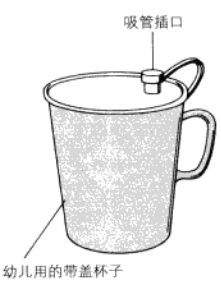

③量热器制作完毕



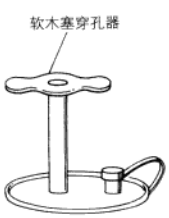



2 利用幼儿用的带盖杯子制作

①准备带盖的杯子




②做液体注入口




用软木塞穿孔器在盖子上穿孔。

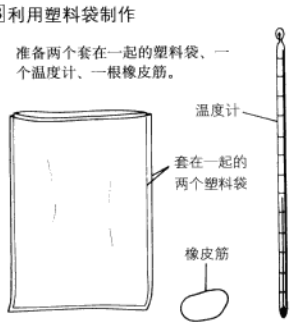
③量热器制作完毕

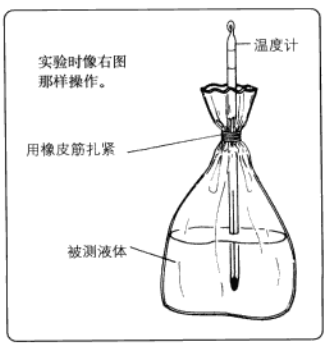
把橡皮塞塞进液体注入口，把温度计插入吸管插口。




3 利用塑料袋制作

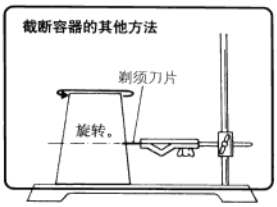
准备两个套在一起的塑料袋、一个温度计、一根橡皮筋。




**【参考】量热器的制作方法**

1 提示 截断方便面容器时，应根据容器的形状适当调整上下位置，也可以按照下面的方法进行修剪。




盖子上用于插入温度计的小孔可以用软木塞穿孔器钻成，插入搅拌棒的小孔用烧红的铁丝就能钻成。用铁丝制作搅拌棒。

2 提示 为了便于操作，最好使用带有盖子、吸管插口和把手的杯子。如果没有与吸管口径相匹配的温度计，可以在盖子上重新打一个孔。此时，应在橡皮塞上打一小孔并安装温度计，然后把橡皮塞塞进去。如果在实验过程中需要搅拌，可以像画圆那样摇晃杯子。为了防止杯子里面的液体洒出来，要把杯子的盖子盖好。另外，多次打开盖子会影响量热器的密封程度，所以要特意做一个液体注入口。

3 提示 如果在实验过程中需要搅拌，可以用手抓住袋子的上半部分，然后在悬空状态下用温度计进行搅拌。绝对不能抓下面装有液体的部分。

# 71 观察固体的膨胀

目标　小　加热金属，能观察到其体积的变化。

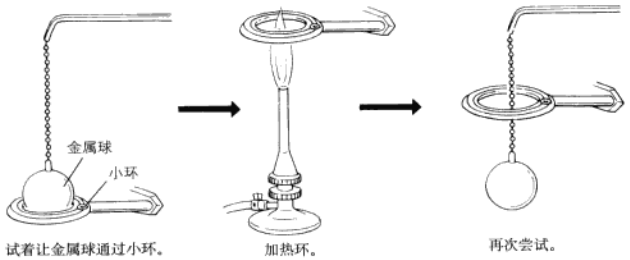
材料与器具

金属球膨胀实验器　加热器具　木板①　缝衣针　吸管　金属棒②　线　钩码(100 g左右)　U形钉子2个　黏合剂③　金属棒膨胀实验器

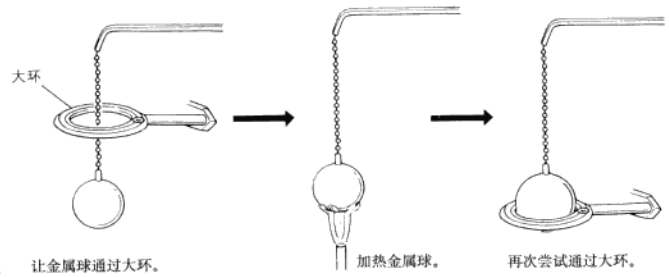
① 25 cm × 7 cm × 1 cm左右的木板一块，10 cm × 7 cm × 3 cm的木板两块。②直径为8 mm左右的金属棒，最好是黄铜棒；如果没有，可以用铜棒或铁棒代替。③木工专用黏合剂。

1 用金属球膨胀实验器观察

①用小环观察

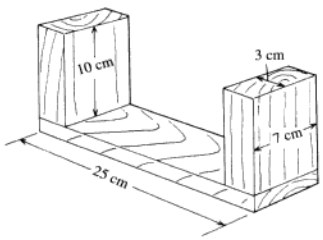



②用大环观察

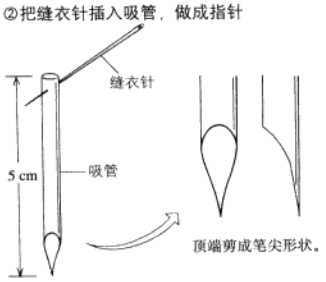



2 用缝衣针和吸管做成指针进行观察

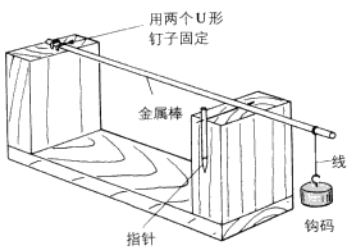
①制作木台



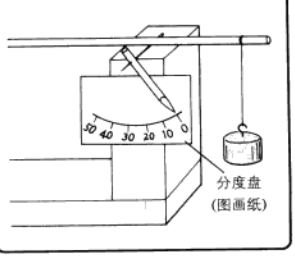

②把缝衣针插入吸管，做成指针




③把金属棒放在木台上，安装装置




带分度盘的指针




1 说明 金属球膨胀实验器由金属球和两个大小不同的环组成。常温下金属球可以通过大环，但不能通过小环。



金属球膨胀实验器

① 提示 加热小环的过程中，要使小环受热均匀。如果用气体燃烧器加热，只用20 s～30 s就够了。把小环加热之后，使金属球通过小环的时候，如果球停留在环上就会使环冷却，有时还无法拔掉。实验时要注意这一点。确认金属球可以通过之后，应快速抽出金属球。

结果 加热前金属球无法通过小环，加热后却能通过，这是加热使小环膨胀的结果。

② 提示 加热金属球比加热小环需要更长的时间。

结果 加热前能通过大环的金属球，加热后却不能通过，这是因为加热使得金属球膨胀的缘故。

2 ① 提示 用木工专用黏合剂粘接就可以。

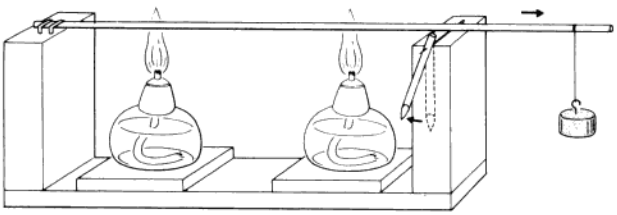
③ 提示 最好利用膨胀系数比较大的黄铜棒。不过，用普通的铜棒或铁棒也能得到比较好的结果。

使吸管指向下方。

说明 吊挂钩码是为了使金属棒压住缝衣针。金属棒伸长时，能使缝衣针旋转。

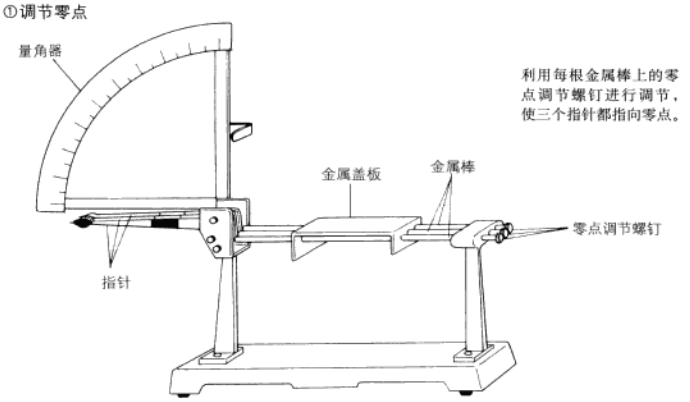
参考 指针上连接分度盘的实验也很有趣。在图画纸上画出以缝衣针为中心的刻度之后，贴在台上。此时，指针应该指向分度盘的零点。

④加热金属棒，观察指针的转动



3 用金属棒膨胀实验器观察

①调节零点

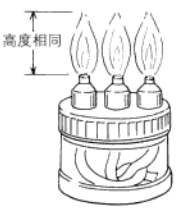



利用每根金属棒上的零点调节螺钉进行调节，使三个指针都指向零点。

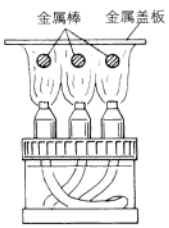
②加热三根金属棒

灯芯是平的



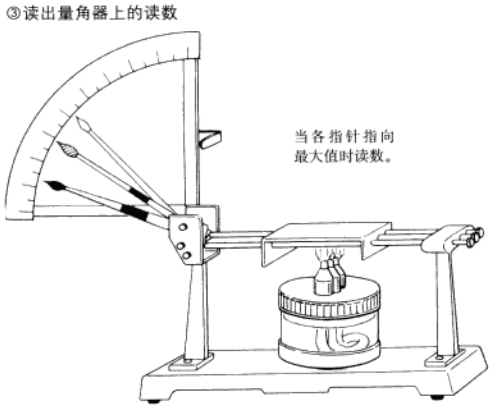




点燃酒精灯，调整灯芯，使火焰的高度相同。



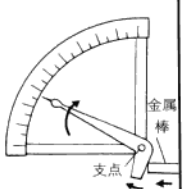

加热，使三根金属棒得到的火焰基本均衡。

③读出量角器上的读数



当各指针指向最大值时读数。

金属棒的伸长与指针的转动



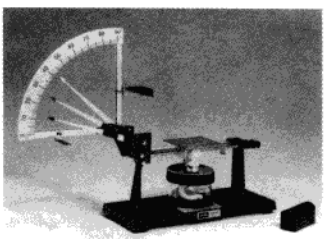

基本原理是把金属棒的伸长放大成指针的转动。

④ 提示 为了使酒精灯的外层火焰对准金属棒，可用台子调节酒精灯的高度。

结果 可以看到加热金属棒时指针会发生偏转，这是因为加热后伸长的金属棒使得指针发生转动的缘故。

停止加热，金属棒就会冷却，指针随之回到原来的位置。

3 说明 金属棒膨胀实验器中金属盖板的形状以及把金属棒的伸长传递给指针的方式有很多种，但基本的操作方法都相同。



金属棒膨胀实验器

① 提示 确认金属棒的一端与零点调节螺钉相连，另一端则与指针相连。

② 提示 可以利用灯芯的长度调节火焰的高度。可以利用三个芯的灯芯或平芯的灯芯。加热金属棒时，要使酒精灯的外层火焰对准金属棒。根据实际情况，有时需要用台子调节酒精灯的高度。为了使三根金属棒得到的火焰均衡，调整酒精灯的位置时，应使金属棒正好对准每个灯芯。

③ 说明 加热金属棒使温度升高时，金属棒会变长从而带动指针偏转。借助量角器便可读出指针偏转的角度。指针转到某种程度后就不再上升。停止加热，金属棒冷却，指针又回到原来的位置。

结果 指针偏转角度最大的是黄铜，其次是常见的铜和铁。

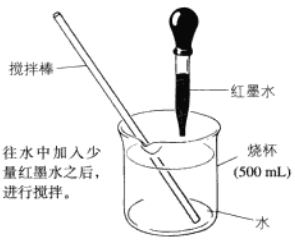
# 72 观察液体的膨胀

目标 小 把水加热时可以观察到水的体积会增大。可以观察到各种液体的膨胀率不同。

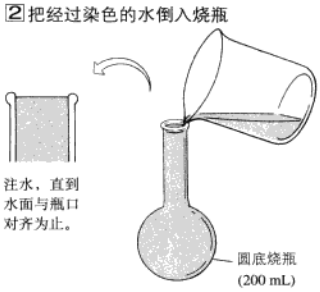
【A】红墨水 图画纸 烧杯(500 mL, 1 000 mL) 玻璃管 搅拌棒 圆底烧瓶(200 mL) 橡皮塞 温度计 水彩笔
【其他方法】红墨水 圆底烧瓶(500 mL) 橡皮塞 温度计 铁架台 加热器具 水槽 水彩笔 【B】酒精 试管2个 橡皮塞 玻璃管2个 搅拌棒 温度计 烧杯(1 000 mL) 加热器具 水彩笔

## 【A】观察水的膨胀

1 给水染色



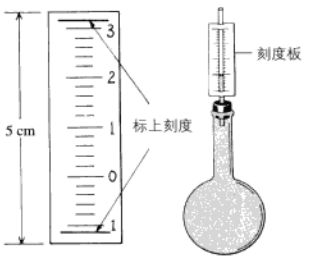

2 把经过染色的水倒入烧瓶




3 把带橡皮塞的玻璃管插入烧瓶



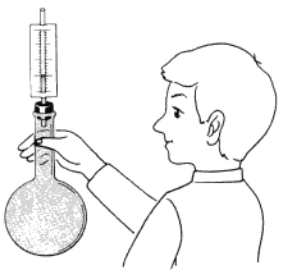

4 在玻璃管上安装刻度板




5 把烧瓶放入热水中，观察红色水的体积变化

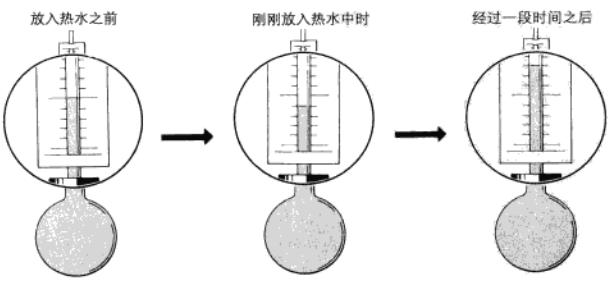



6 把烧瓶从热水中取出，观察水的体积变化



### 表观膨胀

把装有液体的容器放入热水中。刚刚放进去时，可看到容器中的液面一度下降，这是因为与热水接触的容器首先膨胀，容积增加了的缘故。通过此现象可以知道，加热容器里面的液体时，因为容器也会发生膨胀，所以液体的膨胀看起来比实际少，这种现象叫做“表观膨胀”。液体的真实膨胀是表观膨胀加上容器的膨胀。




## 【A】观察水的膨胀

1 说明 给水染色是为了看清玻璃管内水位的上升。

2 提示 往烧瓶里面插入带橡皮塞的玻璃管时，为了使水上升到玻璃管中，烧瓶里面应尽量多装水。

3 提示 轻轻地插入橡皮塞，使橡皮塞和水之间不要有空气。要让玻璃管内的水位比橡皮塞高出2 cm～3 cm。如果一次做不好，可以多做几次。

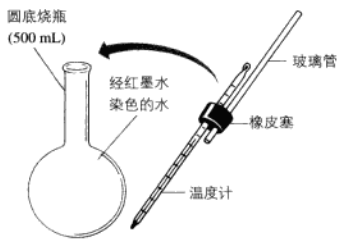
4 提示 把图画纸或厚纸剪成合适的大小，做成刻度板。画刻度时，在零点以下也要画上几条刻度。把刻度板固定在玻璃管上时，应使水面与刻度板的零点对齐。

5 提示 热水的温度为50 ℃左右。不放入热水中而直接加热时，也没有必要使温度太高。
结果 把烧瓶放入热水中时，玻璃管内的水位会上升。通过这一现象就能知道，烧瓶里面的水膨胀了。

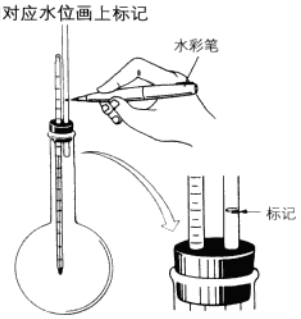
6 结果 烧瓶在空气中冷却后，玻璃管内的水位会下降到原来的位置。通过这一现象就能知道，烧瓶里面的水收缩并恢复到原来的体积。

**【其他方法】对应水位画标记并进行观察的方法**

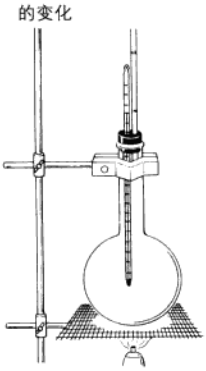
1 烧瓶里装满水之后，插入带橡皮塞的温度计和玻璃管



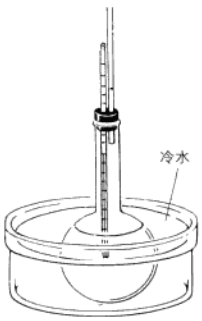

2 对应水位画上标记



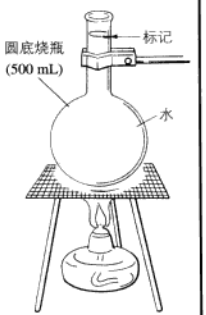

3 加热之后，观察水位的变化



4 用冷水冷却之后，观察水位的变化

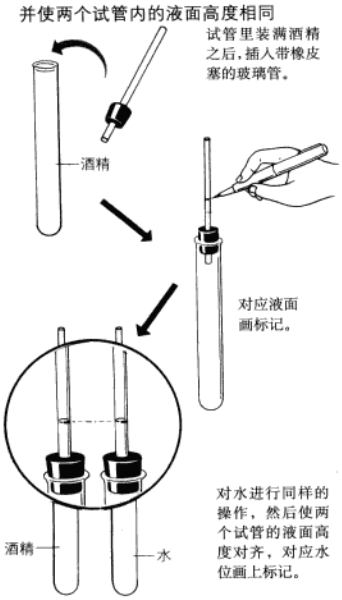



**简便方法**

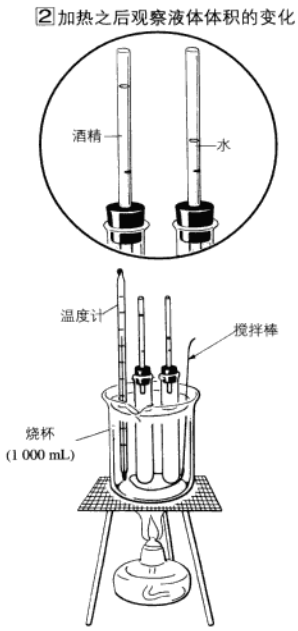



**【B】比较水和酒精的膨胀率**

1 在两个试管中分别装入酒精和水，并使两个试管内的液面高度相同




2 加热之后观察液体体积的变化




**【其他方法】对应水位画标记并进行观察的方法**

1 提示 为了不留空气，把水装满(直到烧瓶口)。玻璃管的长度为30 cm左右。把温度计和玻璃管插入橡皮塞时，最好先用水浸湿，然后再插会比较容易。

2 说明 此时所做的标记为常温下的标记。水位高于此标记时，说明水已膨胀；低于此标记时，说明水已收缩。

3 提示 为了安全起见，水温达到50 ℃以后就要停止加热。

注意 如果温度过高(比如当烧瓶底部开始出现气泡时)，会有橡皮塞被弹出的危险。

结果 通过观察加热时玻璃管内水位上升的现象，可以知道水已膨胀。

4 结果 冷却时，在3中上升的水位会下降，由此可知水的体积变小了。

说明 如果利用温度比气温低的水进行实验，可以观察到水位低于标记的现象。

参考 一种简便的观察方法是，往烧瓶里面加水之后对应水位画上标记，然后进行加热并观察。此时，可以看到水位会上升到标记之上。

**【B】比较水和酒精的膨胀率**

说明 液体的膨胀率因种类不同而不同。在本实验中，把同体积的水和酒精以同样的温度进行加热，可以观察到酒精的膨胀率大于水。

1 提示 在这个实验中，必须使用同样大的试管和同样粗的玻璃管。要注意试管内不能留有气泡。

2 提示 要缓慢地进行加热。要不断搅拌烧杯里面的水，使水和酒精受热均匀。加热到60 ℃就可以了。

结果 酒精的液面比水高。通过此现象就能知道，酒精的膨胀率大于水的膨胀率。

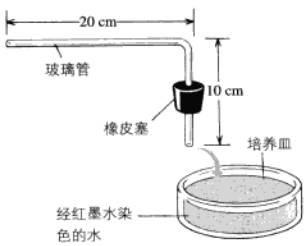
# 73 观察气体的膨胀

**材料与器具** 红墨水 培养皿 玻璃管(内径3 mm) 橡皮塞 圆底烧瓶(500 mL) 铁架台 烧杯(100 mL，500 mL，1 000 mL) 试管(直径15 mm) 塑料管 加热器具 刻度量筒(25 mL) 水槽

**目标** 小丽 通过实验可以观察到：空气受热时体积会增加，遇冷时体积会减小。

**1** 利用标记的移动观察空气的膨胀

①把带橡皮塞的玻璃弯管放入经红墨水染色的水中



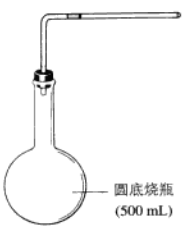

②用手指堵住玻璃管的一端，然后从染色水中取出玻璃管



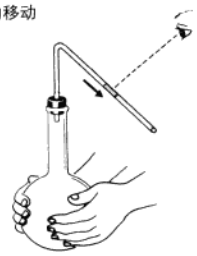

③使标记移到玻璃管的水平部分




④安装装置

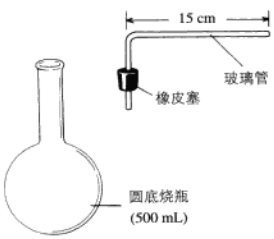



⑤用两手捂住烧瓶，观察标记的移动

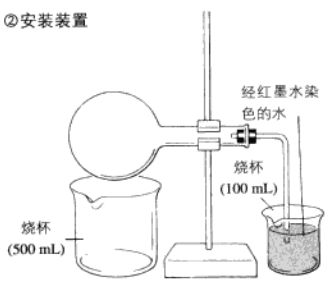


**2** 利用水的移动观察空气体积的变化

①把带橡皮塞的玻璃管插入烧瓶



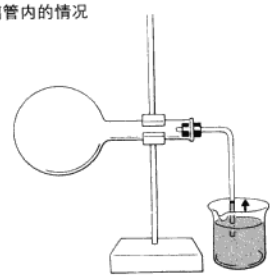

②安装装置




③把热水浇到烧瓶上面，观察烧杯中的水




④把烧瓶放在空气中冷却，观察玻璃管内的情况



**1** ① 提示 因为在后面的实验中，装在培养皿内的水的深度将被作为标记，所以装在培养皿内的染色水的深度应该是1.5 cm～2 cm。

② 说明 如果不用手指堵住管的另一端，从染色水中取出玻璃管时，管内的染色水就会流到培养皿内。

③ 提示 手指离开玻璃管时动作要慢，这样，染色水就能以圆柱状慢慢地往下移动。如果动作太快，水就不能形成圆柱状。要使染色水停留在玻璃管的水平部分，离橡皮塞较近的地方。

④ 提示 盖上橡皮塞的时候，注意不要用手捂住烧瓶。而且，为了防止染色水移动，直到把橡皮塞完全盖牢，堵住玻璃管一端的手指才能离开。

⑤ 结果 用手捂住烧瓶后不久，就会看到标记朝着玻璃管的顶端移动，这说明烧瓶里的空气膨胀了。

**2** ① 提示 应该使用内部干燥的烧瓶。如果烧瓶内部是湿的，就不能使空气充分受热，也就得不到好的实验结果。

② 提示 把玻璃管的顶端插入染色水时，不要太深，大约插进1 cm就可以了；否则，就会由于气压的原因出现气泡。

③ 提示 热水温度为50 ℃～60 ℃。

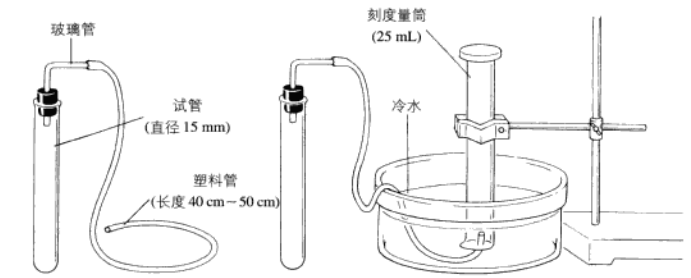
注意 不要被热水烫伤。

结果 给烧瓶浇热水加温时，会看到从插进染色水中的玻璃管的一端冒出很多气泡，由此可知烧瓶里面的空气已膨胀。

④ 结果 把烧瓶放在空气中冷却，染色水就会进入玻璃管，说明烧瓶里面的空气已收缩。

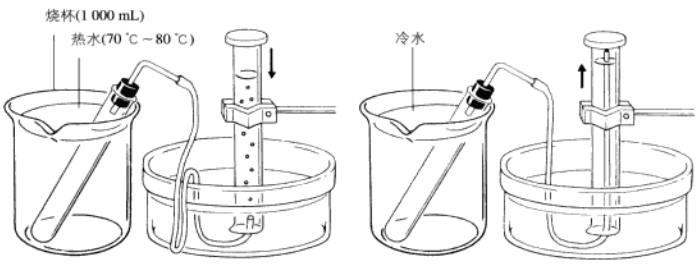
**3** 确认空气的移动

①把接有塑料管的玻璃管插入试管　②使装满水的刻度量筒倒立于水槽内，插入塑料管

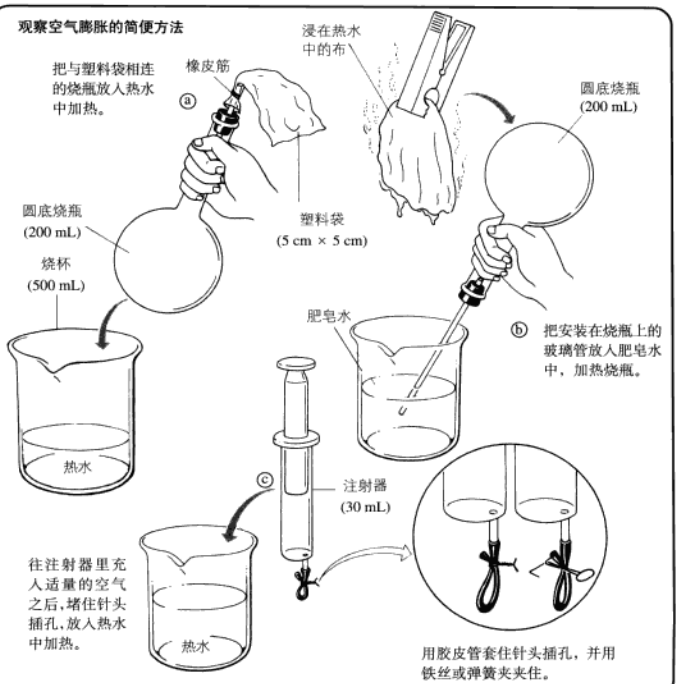



③把试管放入热水中，观察刻度量筒内的情况

④把塑料管插到刻度量筒的底部，然后把试管放入冷水中，观察刻度量筒内的情况




**观察空气膨胀的简便方法**




**3** 说明 这是一个可以测出膨胀后的空气体积的方法。

① 提示 要用内部干燥的试管。要确保没有从橡皮塞的缝隙漏气的现象。

③ 提示 要尽量使试管的大部分浸在热水中。

注意 不要把塑料管浸在热水中。

结果 从刻度量筒内空气积聚的现象就能知道，试管内的空气已膨胀。

④ 提示 把塑料管插到刻度量筒底部的过程中，要保证试管一直处在热水中，因为一旦试管冷却，塑料管内就会进水。不能用力挤压塑料管，否则塑料管里面的空气就会进入刻度量筒，把手拿掉时，塑料管里面就会进水。

参考 为了防止塑料管里面进水，应在②中就把塑料管插到刻度量筒的底部。但是，不能在步骤③中认为试管内的空气发生了膨胀(尽管此时有气泡产生)，而只能视为刻度量筒里积聚了空气。

结果 通过积聚在刻度量筒里面的空气消失的现象，就能知道试管内的空气已收缩。

参考 观察气体的膨胀有多种方法。左边介绍的是三种观察空气膨胀的简便方法。

在ⓐ中，随着烧瓶里面的空气膨胀，可以观察到塑料袋的膨胀。

在ⓑ中，随着烧瓶里面的空气膨胀，可以看到肥皂水里有气泡产生，形成肥皂泡。使用肥皂水的目的是提高视觉效果。加热烧瓶底部时要小心，不要烫伤。

在ⓒ中，随着注射器里面的空气膨胀，可以看到活塞向上移动。要夹紧胶皮管，以免漏气。

# 74 观察不同物质受热时温度升高的情况

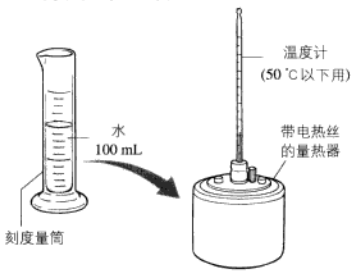
目标 初 观察加热时，不同物质的温度变化是否一样。
通过水与其他物质受热时温度升高的情况，了解比热容概念。

【A】刻度量筒 温度计① 带电热丝的量热器② 电源装置 导线 塑料杯 酒精 电子台秤 【B】金属块③ 电子台秤 刻度量筒 温度计① 带电热丝的量热器② 电源装置 导线

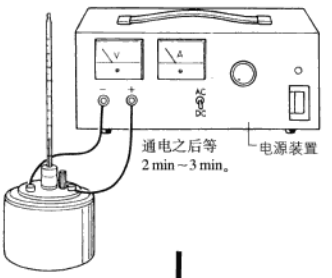
①最大值为50 ℃，分度值为0.2 ℃的温度计。②没有铜制容器时，可用保温性能好的塑料容器代替。③铝、铜、铁、黄铜等金属块，用测定比热容用的专门物体效果更好。

**【A】观察酒精和水受热时温度升高的情况**

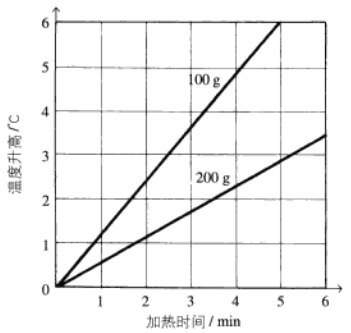
1 往带电热丝的量热器里面加入100 mL的水，测量温度

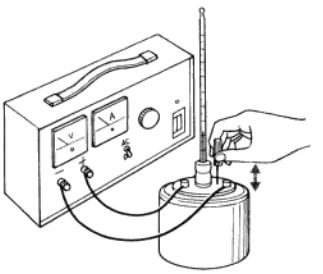



2 接通电源，边搅拌边每隔一段时间测量一次水温

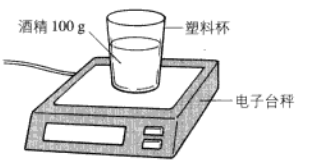



3 画出温度升高与加热时间的关系图像

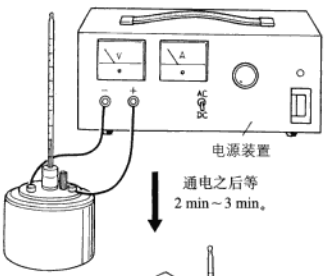


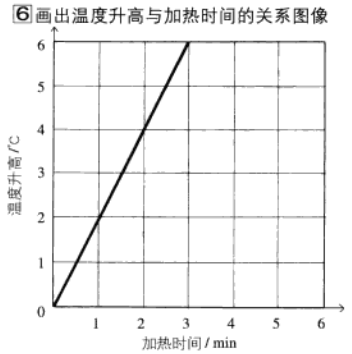
4 量取100 g酒精，放入量热器，测量温度

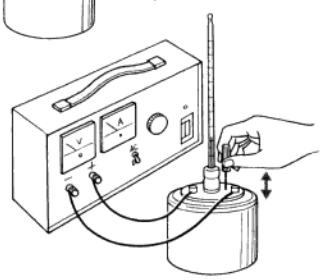



5 与2中一样，每隔一段时间测量一次温度




6 画出温度升高与加热时间的关系图像



一边搅拌，一边每隔一段时间测量一次水温。

**【A】观察酒精和水受热时温度升高的情况**

2 提示 直流电源和交流电源都可以，最好使用能够提供稳定电压的电源。

电压不要设定过高，6 V左右就可以，温度也不要上升过快。电压设定完成之后，直到实验结束为止，不要再动电压调节旋钮，只能操作电源开关。不能闭合开关之后马上测量温度，必须经过2 min～3 min等温度升高并稳定之后才能开始测量。搅拌充分与否是实验成功的关键，但要注意：搅拌时，搅拌棒不要碰到量热器内的电热丝。

3 说明 电热丝每分钟发出的热量($Q$)可以用下式求出：

$$Q = c_{水} m_1 \cdot t_1$$

其中，$c_{水}$是水的比热容，在国际单位制中其值约为4.2 kJ·kg$^{-1}$·℃$^{-1}$；$m_1$是水的质量，这里是100 g；$t_1$是1 min内上升的水温。

4 提示 由于酒精在汽化热的影响下可能出现较大误差，酒精可以不用100 g；但是，为了帮助学生更好地理解比热容的概念，酒精的质量最好跟1中水的质量相同。事先用200 mL的烧杯量取150 mL左右的酒精，能很快地进行测定。液温是量取之后过2 min～3 min后测得的温度。

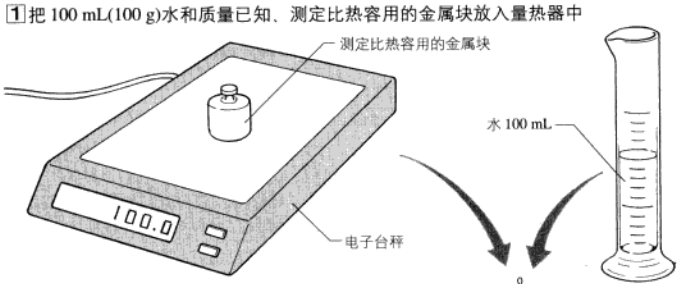
5 提示 这里使用的电压必须与2中的电压完全相同。因此，应在2中测量结束后关掉电源装置，这里打开电源直接使用即可。其他注意事项与2中相同。

6 说明 物质对加热的不同反应，也可通过图中每1 min液温上升幅度的大小体现出来。

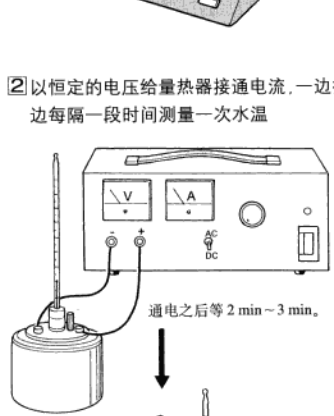
参考 如果实验用的水和酒精足够多，量热器的水当量就可以忽略不计。

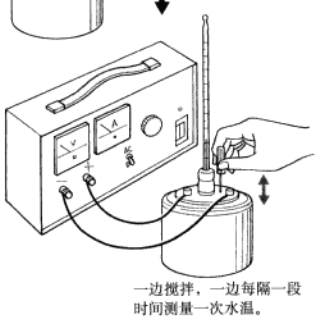
## 【B】观察其他物质受热时温度升高的情况

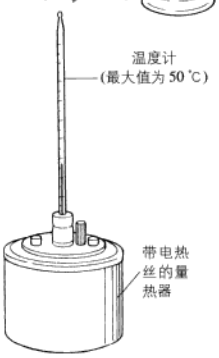
1 把 100 mL(100 g)水和质量已知、测定比热容用的金属块放入量热器中



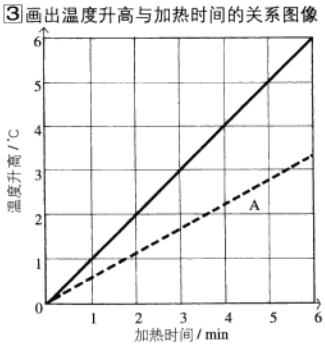

2 以恒定的电压给量热器接通电流，一边搅拌一边每隔一段时间测量一次水温



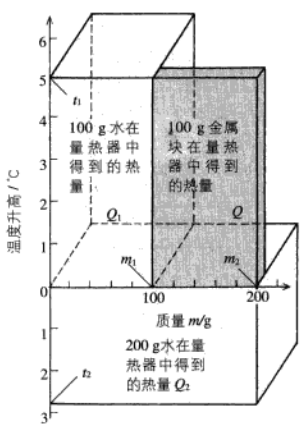




3 画出温度升高与加热时间的关系图像




图像 A 是根据 200 g 水的温度升高画出的。

4 计算金属的比热容




电热丝的发热量＝(水＋金属块)得到的热量
＝同质量的水得到的热量

假设在 2 中测得水和金属块的温度升高为 $t_1$，水的质量为 $m_1$，金属块的质量为 $m$，各自得到的热量分别为 $Q_1$ 和 $Q$，由于水的比热容是 $4.2\times10^3\ \mathrm{J/(kg\cdot ℃)}$，所以(水＋金属块)得到的热量 $Q_1+Q$ 便是：

电热丝的发热量 $=Q_1+Q=m_2\cdot t_2\times4.2\times10^3$

这里的 $m_2$ 是与(水＋金属块)质量相同的水的质量，$t_2$ 是电热丝 1 min 内发出的热量而使 200 g 水升高的温度。

$$m_2=m_1+m$$

设金属块的比热容为 $x$，则有

$$m_2\cdot t_2\times4.2\times10^3=(m_1\cdot t_1\times4.2\times10^3)+(m\cdot t_1\cdot x)$$
$$=Q_2$$

$Q_2$ 又是质量为 $m_2$ 的水得到的热量，所以

$$m\cdot t_1\cdot x=(m_2\cdot t_2-m_1\cdot t_1)\times4.2\times10^3=Q_2-Q_1,$$

因此，根据 $x=\dfrac{Q_2-Q_1}{m\cdot t_1}=\dfrac{Q}{m\cdot t}$ $(t_1=t)$ 便可求出金属的比热容。

### 【B】观察其他物质受热时温度升高的情况

1 提示 使用的金属块应是质量已知、测定比热容用的物体。使用质量未知的物体时，有必要事先测出物体的质量。

为了达到水温稳定的状态，放入量热器之后要等 2 min～3 min，读取温度作为整体的温度。(在此期间多次搅拌效果会更好。)为了减少误差，浸在量热器中的温度计要使用最大值为 50 ℃、分度值为 0.2 ℃或 0.1 ℃者。

参考 学生读不准1℃的1/10时，使用数字温度计效果比较好。

2 提示 直流电、交流电都可以作为电源，最好使用能够提供稳定电压的电源。

电压不要设定过高，6 V 左右即可，温度也不要上升过快。电压设定完成后直到实验结束为止，不要再动电压调节旋钮，只能操作电源开关。不能闭合开关之后马上测量温度，必须经过 2 min～3 min，等温度升高并稳定之后再开始测量。记住，要保证足够的水量(需要 100 mL 以上)，至少要能把金属块全部浸入。

3 说明 与在 【A】 中观察到的 200 mL 水的温度升高图像作比较。通过比较温度升高的多少就能知道，不同物质对加热的反应不同。

通过金属块在 1 min 内得到的热量 $Q$，就能求出金属块的比热容 $x$：

$$x=\frac{Q}{m\cdot t}=\frac{Q_2-Q_1}{m\cdot t}$$

这里，$Q_2$ 是水与金属块在 1 min 内得到的热量，$Q_1$ 是 100 g 水在 1 min 内得到的热量，$m$ 是金属块的质量，$t$ 是 1 min 内金属块温度的升高。

4 说明 利用实验数据计算举例：

0 min～2 min 时

$$x=[(0.2\ \mathrm{kg}\times1.1\ ℃-0.1\ \mathrm{kg}\times2.0\ ℃)\times4.2\times10^3\ \mathrm{J/(kg\cdot ℃)}]\div(0.1\ \mathrm{kg}\times2.0\ ℃)$$
$$=420\ \mathrm{J/(kg\cdot ℃)}$$

0 min～5 min 时，$x=504\ \mathrm{J/(kg\cdot ℃)}$

# 75 测定水的沸点

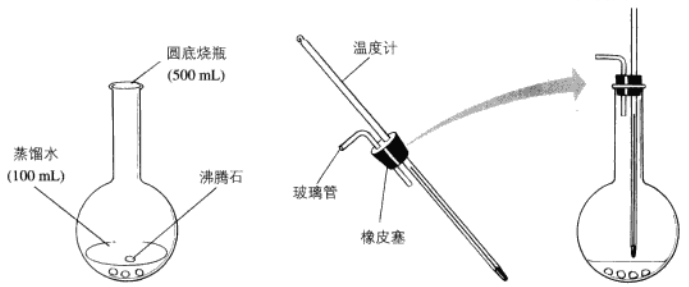
蒸馏水　圆底烧瓶(500 mL)　沸腾石　温度计　玻璃管
橡皮塞　铁架台　软胶皮①　加热器具

①如 3 cm × 7 cm 大小的软胶皮管碎片。

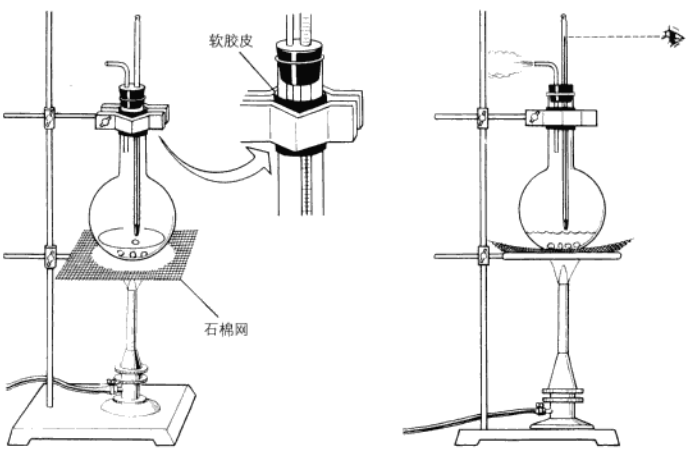
目标
小　可以观察水沸腾时的温度。
初　通过实验可以知道温度计的 100 ℃刻度是否准确。
会测定水的沸点。

【A】检测温度计的 100 ℃刻度是否准确

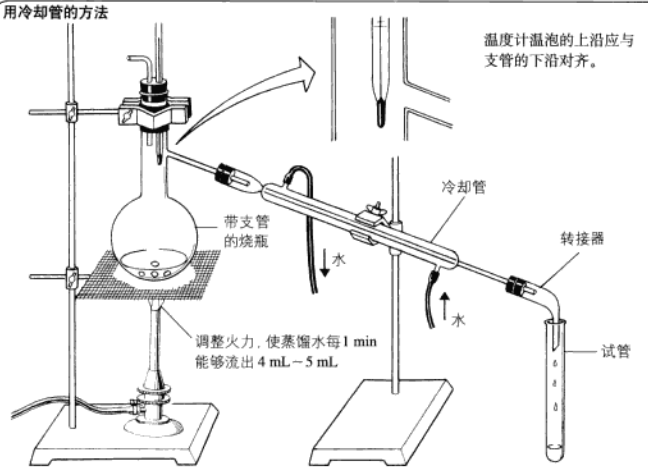
1 在圆底烧瓶里面放入沸腾石和蒸馏水　2 盖上带有玻璃管和温度计的橡皮塞




3 安装装置，进行加热　4 待水沸腾后读取温度




用冷却管的方法




【A】检测温度计的 100 ℃刻度是否准确

1 提示 由于烧瓶内部会变成高压状态，所以必须使用圆底烧瓶。实验用水必须是蒸馏水。如果水中含有杂质，沸点就会超过 100 ℃。

注意 为了防止突然沸腾，必须放进沸腾石，否则会有橡皮塞被弹出的危险。

参考 **突然沸腾**　慢慢加热液体时，有时会出现温度达到沸点以上液体也不沸腾的现象。这时如果从外部施力使液体发生震动，就会导致液体突然沸腾。放进沸腾石的目的就是防止液体突然沸腾。如果没有沸腾石，可以放进碎陶片或玻璃毛细管。另外，如果沸腾石中不含空气就会影响效果，所以必须使用很干燥的沸腾石。

2 提示 在温度计和玻璃管上蘸点儿水再插入橡皮塞小孔就比较容易。温度计的温泡要离水面约 1 cm 远。由于正在沸腾的水刚变成蒸汽时的温度也是沸点(即 100 ℃)，所以应把温度计的温泡放在水面上方测量温度。

3 提示 固定烧瓶时，为了防止夹得太紧而使烧瓶破损，在夹子和烧瓶之间最好垫些软胶皮。

4 提示 要等水沸腾后过一会儿再读取温度。读数时视线要与温度计垂直，要目测读到分度值的 1/10 为止。

说明 只要温度计的读数在 100 ℃ ± 0.5 ℃的范围内，就可以视为精确的温度计。

参考 利用这一方法测量时，由于烧瓶里面的压强是由水蒸气产生的，所以会高于大气压。又因为气压每增加 133.3 Pa，沸点就增加 0.037 ℃，所以温度计的读数会略高于 100 ℃，不过误差不会超过 0.5 ℃。

**【B】测量水沸腾时的温度**

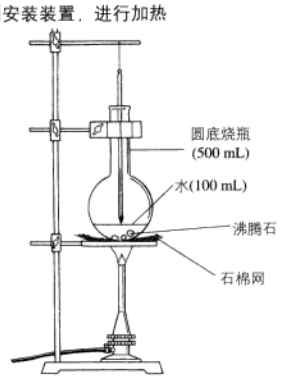
1 把线绕成环状，系在温度计的上端



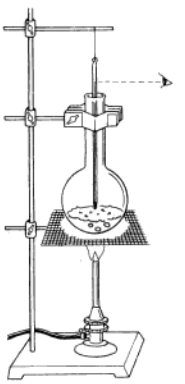

2 在圆底烧瓶中加入蒸馏水和沸腾石




3 安装装置，进行加热



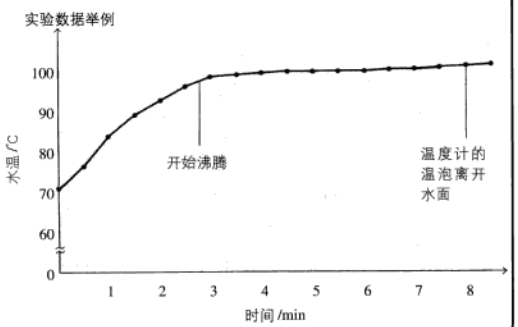

4 水温达到 70 ℃之后，每隔 30 s 测量一次温度并作记录



实验数据举例

| 时间 /min | 温度 /℃ |
|---|---|
| 0.0 | 70.1 |
| 0.5 | 76.2 |
| 1.0 | 83.0 |
| 1.5 | 88.6 |
| 2.0 | 92.2 |
| 2.5 | 96.1 |
| 3.0 | 98.0 |
| 3.5 | 98.5 |
| 4.0 | 99.4 |
| 4.5 | 99.8 |
| 5.0 | 99.9 |
| 5.5 | 99.9 |
| 6.0 | 99.9 |
| 6.5 | 100.0 |
| 7.0 | 100.0 |
| 7.5 | 100.1 |
| 8.0 | 100.3 |
| 8.5 | 100.5 |

实验数据举例




**【B】测量水沸腾时的温度**

2 提示 由于沸腾时烧瓶内部的压强很大，所以必须使用圆底烧瓶。实验用水最好是蒸馏水。

注意 为了防止突然沸腾，必须放入沸腾石。

3 提示 应使温度计的下端紧贴水面。这样，当沸腾的水溅到温泡上时，就能测出它变成水蒸气的瞬间温度，也就能测定水的沸点。

注意 固定烧瓶时，要特别注意是否牢固。另外，如果烧瓶表面有水滴，加热时就会导致烧瓶破损，所以一定要注意。

4 注意 继续做下去就会发现，由于瓶中的水不断变成水蒸气，水量将逐渐减少，水就不会再溅到温度计的温泡上。这样，温度计的读数就会超过 100 ℃。应该注意这一点，以免温度计因此破损。

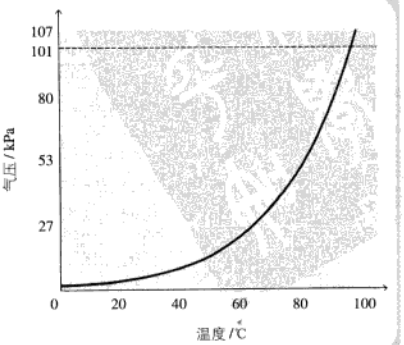
## 蒸发·沸腾·沸点

液体变成气体的过程叫汽化。汽化有蒸发和沸腾两种形式。

蒸发是在液体的表面平静进行的汽化过程，与压强和温度无关。比如，水不到 100 ℃也会蒸发，而且这种蒸发会一直持续到周围空气中所含水蒸气的量达到当时的饱和状态为止。

沸腾是液体在一定的压强下达到某一温度时，从内部产生大量的气泡(液体的蒸气)从而发生在整个液体中(包括内部和表面)的激烈的汽化过程。沸腾时的温度叫做沸点。沸点随着周围的压强而发生变化，压强大时沸点高，压强小时沸点低。比如，使用精确度非常高的温度计测定水的沸点时会发现，气压为 101 kPa 时，水在 100 ℃的条件下沸腾，而当气压为 96 kPa 时，水在 98.5 ℃时就会沸腾。由于沸点会随着压强发生变化，我们一般把液体在气压为 101 kPa 时的沸点叫做它的沸点。

(译者注：右侧的图像不规范。规范的做法是，以气压为横轴、温度为纵轴作图。)



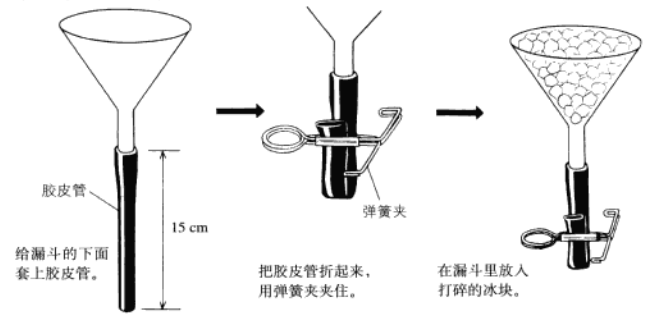
# 76 测定冰的熔点

目标 小 了解温度计0 ℃的确定方法。
初 可以测定冰的熔点。

漏斗(直径大于8 cm) 胶皮管(长度约为15 cm) 冰[①]
弹簧夹 烧杯2个 蒸馏水 温度计 铁架台

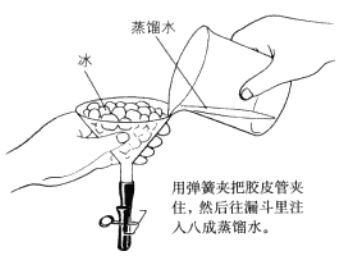
①使用的冰是把蒸馏水冷冻起来得到的。

1 在漏斗里放入打碎的冰块




2 用蒸馏水浸泡冰块，然后用蒸馏水冲洗

①注入蒸馏水



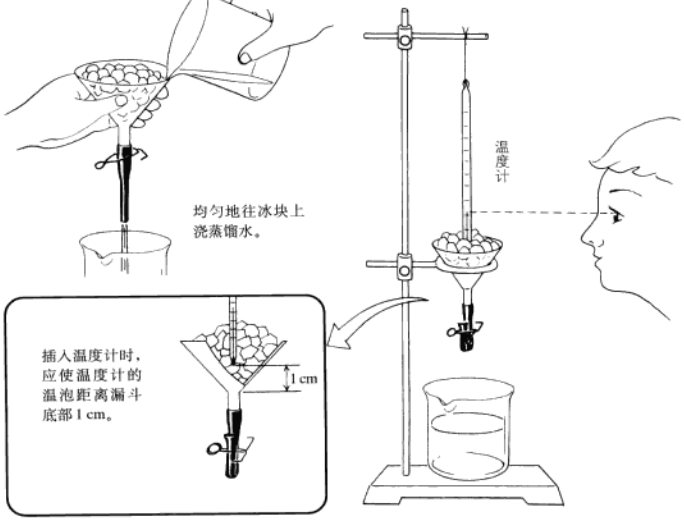

②放掉蒸馏水




③在弹簧夹松开的状态下，注入蒸馏水，冲洗冰块




3 插入温度计，读取温度




1 提示 使用直径大于8 cm的漏斗和长度约为15 cm的胶皮管。在距离上端10 cm的地方把胶皮管折起来并用弹簧夹夹住。把蒸馏水冷冻之后，将冰块打碎成小指尖大小再用。如果冰块太大，在3中插入温度计时，温度计的顶端就会卡在两个大冰块之间，从而导致测出的温度不准。

2 提示 必须使用蒸馏水。在③中，把蒸馏水均匀地浇在漏斗及所有的冰块上面，就像洗冰块似的浇上去。

说明 如果冰块的温度低于熔点，在3中就无法测定熔点，所以①和②是为了升温而做的准备工作。

3 提示 插入温度计之后等2 min～3 min，直到温度计的液柱不再下降时才能读取温度。

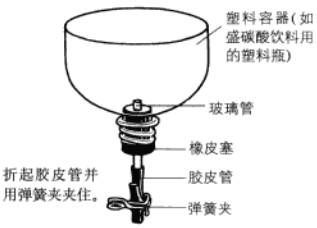
结果 温度计的读数为0 ℃，由此可知冰的熔点是0 ℃。

说明 就像本实验显示的那样，测定冰的熔点时，测量与冰块混在一起的水的温度即可。不过，如果不使用蒸馏水而使用普通的水，就会产生很大的误差，因为杂质的存在会改变熔点。

参考 摄氏温标的单位——摄氏度(℃)——是这样规定的：在大气压等于101 kPa的条件下，以水的冰点为0 ℃、水的沸点为100 ℃，把中间分成100等份，把每一等份作为1 ℃。

**【参考】使用塑料容器测定的方法**

1 把塑料容器上部的1/3剪下来，塞好橡皮塞




2 往容器里面加入打碎的冰块




3 把冰块浸在蒸馏水中，然后用蒸馏水冲洗

①把蒸馏水倒在冰块上




②放掉蒸馏水




③在弹簧夹打开的状态下，从上面浇蒸馏水，冲洗冰块



4 插入温度计，测量温度




**【参考】使用塑料容器测定的方法**

1 提示 使用长约 15 cm 的胶皮管，在距上端10 cm的地方把胶皮管窝起来并用弹簧夹夹住。

2 提示 把蒸馏水冷冻之后，在金属碗内打碎，制成直径为5 mm左右的碎冰使用，或用冰块制造器制成刨冰。

3 提示 必须使用蒸馏水。在③中把蒸馏水均匀地浇在塑料瓶的所有部分，也就是说，像洗冰块似的浇上去。

4 提示 插入温度计后过3 min左右，等温度计读数不再发生变化时读取温度。使用数字温度计比较方便。

结果 温度计的读数为0 ℃，由此可以知道冰的熔点是0 ℃。

## 凝固点下降

纯水的凝固点是0 ℃，但食盐的水溶液到了0 ℃也不会结冰。一般来讲，溶液的凝固点(与固态物质的熔点相同)比纯物质液体的凝固点低，这个现象叫做凝固点下降。酒精、葡萄糖、蔗糖等非电解质的低浓度溶液的凝固点下降程度遵循以下规律(拉乌尔定律)：如果一定量的纯物质液体中所溶解的是非电解质，且其物质的量相等，则不管溶质的种类如何，溶液的凝固点下降程度是一样的；另外，其下降程度跟等量纯物质液体中的溶质的物质的量成正比。如果在1 kg的纯物质液体里溶解$n$摩尔溶质的溶液，其凝固点的下降程度(即溶液与纯物质液体之间的凝固点之差)为$k$，当比例常数为$K$时，可以用以下公式表示

$$k = Kn$$

$K$只与液体的性质有关，叫做摩尔凝固点下降常数。

**摩尔凝固点下降常数举例**

| 纯物质(液体) | 摩尔凝固点下降常数（$K$） |
|---|---|
| 水 | 1.86 |
| 苯 | 5.12 |
| 萘 | 6.9 |
| 樟　脑 | 40.0 |
| 醋　酸 | 3.90 |

# 77 测定物质的熔化热

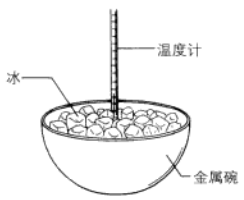
目标 初高 能测定冰的熔化热。
能测定萘的熔化热(凝固热)。

【A】冰 温度计2个 刻度量筒 烧杯① 托盘天平 加热板② 布 【B】萘 泡沫塑料杯 刻度量筒 温度计③ 铝箔 小烧杯④ 托盘天平 铁架台 加热器具

①尽量选择两个质量相差不大的烧杯。②准备1 200 W的金属加热板，最好是带温度调节器的。③准备最大值为50 ℃、分度值为0.2 ℃的温度计。④准备30 mL或50 mL的小烧杯。

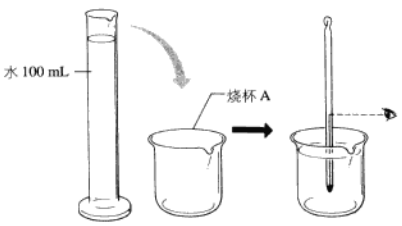
## 【A】测定冰的熔化热

1 打碎冰块，然后放置一会儿

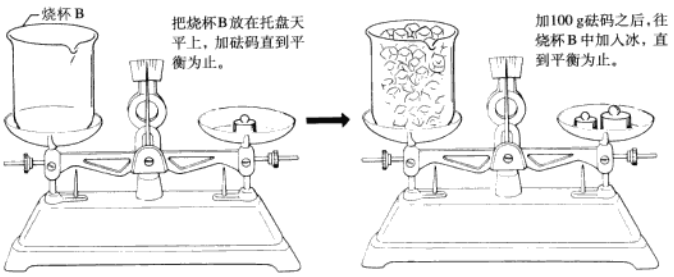



一直放到冰的表面出现水，几乎达到0 ℃为止。

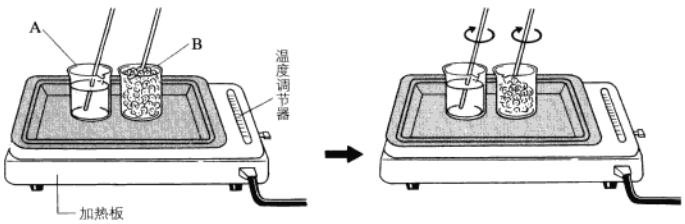
2 量取100 g (100 mL)水，倒入烧杯A中测量水温




3 量取100 g冰，放入烧杯B



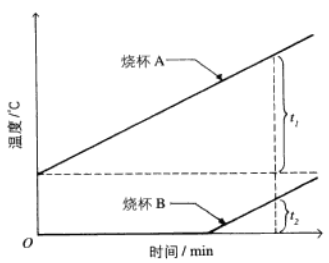

4 同时加热两个烧杯，每隔1 min测量一次两个烧杯中的温度




加热板上放两个烧杯，同时加热。

一边搅拌一边加热，直到烧杯B中的冰全部熔化为止，连续测量。

5 根据测量值画出图像，求冰的熔化热




如果烧杯A中水的质量为$m_1$，上升的水温为$t_1$时，烧杯B中的冰全部熔化，则烧杯A得到的热量为

$$Q_1 = c_{水} m_1 t_1$$

另外，如果烧杯B中水的质量(即冰的质量)为$m_2$，上升的温度为$t_2$时，烧杯B中的水从0 ℃上升到$t_2$的过程中得到的热量为

$$Q_2 = c_{水} m_2 t_2$$

如果烧杯A和烧杯B得到的热量相等，1 g冰的熔化热$x$便可用下面的公式求得：

$$x = \frac{Q_1 - Q_2}{m_2}$$

### 【A】测定冰的熔化热

2 提示 严格地讲，应该测定水的质量，但在本实验中可以把水的密度视为1 g/cm³。

3 提示 因为冰是固体，所以准确测定100 g的冰会比较困难。应该尽量准确测量，但如果为此占用的时间太多，冰块就会开始熔化，误差反而变大，所以大致平衡就可以了。把冰放入烧杯之前，要先用布把装冰块的烧杯表面的水擦掉。

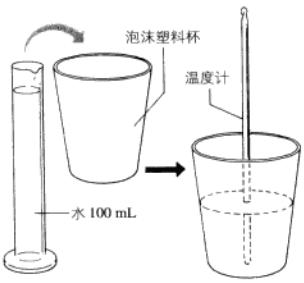
4 提示 对于可拆卸式的加热板来说，把上面的板拿掉就可以看到电热丝的位置。找到能够均匀加热的位置后再把烧杯放上去。放冰块的烧杯外壁会有水滴，所以加热前应该用布擦掉。按一定的时间间隔测量温度就可以。每隔1 min测量一次比较合适。另外，确认冰块全部熔化之后，再做最后的测定。到此为止，所需时间大约为10 min。

5 提示 实际上，盛水烧杯的温度变化图像不是直线，这是因为石棉网和烧杯也需要一定的加热时间。不过，因为两个烧杯是在同样的条件下加热，所以计算时没有必要为此而作补充修正。放冰块的烧杯的温度，在理论上直到冰块熔化为止不会超过0 ℃，但实际上由于加热较快，往往会超过0 ℃。不过，在准确地测量温度之后，像左边那样计算就没有必要作补充修正了。

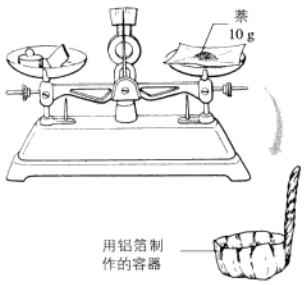
说明 与【B】相比，这个实验不够准确，但由于是对实验材料直接加热，所以学生容易理解实验内容和结果。

**【B】测定萘的熔化热**

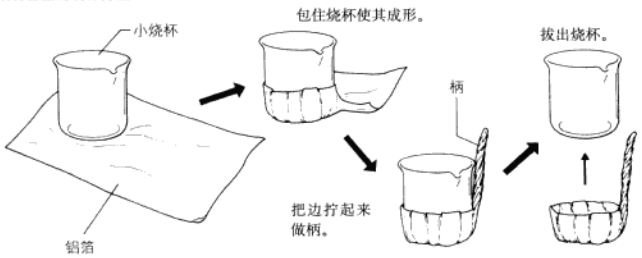
1 往泡沫塑料杯中加入 100 mL 水，测量水温



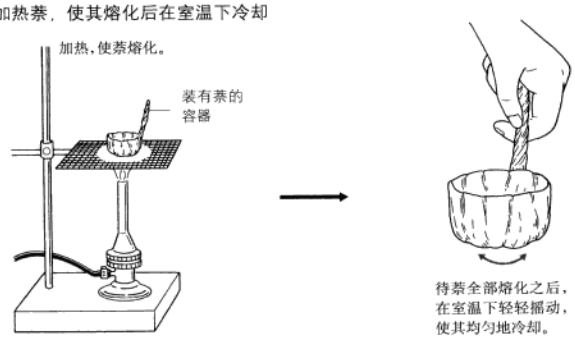

2 往铝制容器中加入 10 g 萘



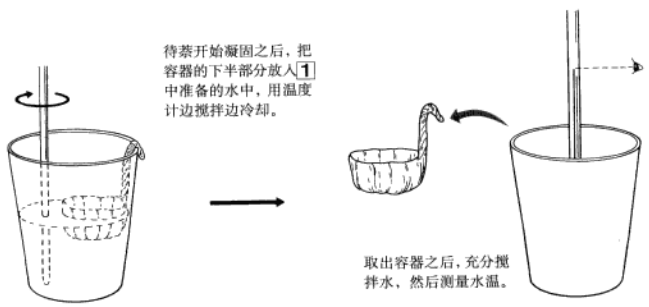

**铝制容器的制作方法**




3 加热萘，使其熔化后在室温下冷却




4 把萘放在水中冷却，待萘全部凝固之后取出容器，测量水温




**【B】测定萘的熔化热**

1 提示 使用接近室温的水，这样即使时间较长，水温也几乎不会发生变化。

2 提示 用铝箔制作容器时，容器的质量在 0.5 g 以下就行。容器的质量小时，容器的水当量也小，这样就可以不考虑水当量，误差也能变小。因此，这里使用铝箔。容器上制作如图所示的柄会便于操作。

3 提示 由于萘的熔点为80.5 ℃,所以没有必要用高温加热。如果用过高的温度加热，会导致升华的量增多，萘的质量变小，从而引起更大的误差，所以应尽量控制加热温度。装有已经熔化的萘的容器不能直接放入水中，必须待其冷却到室温，然后在开始凝固的一瞬间放入水中。

4 提示 待萘全部凝固之后，马上取出容器，快速搅拌水并测量水温。凝固之后，不可以把容器长时间放入水中。因为本实验是在短时间内进行，所以没有必要在泡沫塑料杯上盖盖子。

说明 设1中的水温为 $t_1$，4中的水温为 $t_2$，因为水的质量是 100 g，所以水所得到的热量 $Q_1$ 可由下式求得：

$$Q_1 = 4.2 \times 100 \times (t_2 - t_1)$$

但是，由于水所得到的热量来自萘，所以萘从凝固开始到结束为止，失去的热量也是 $Q_1$。因为萘的质量为10 g，所以萘的熔化热(凝固热) $x$ 为

$$x = \frac{4.2 \times 100 \times (t_2 - t_1)}{10}$$

参考 利用同样的方法，也可以测定硫代硫酸钠的熔化热。但是，由于硫代硫酸钠的熔点为48.5 ℃，并且凝固需要花费一定时间，所以有必要采取措施提高保温效果，比如给泡沫塑料杯上盖上盖子。

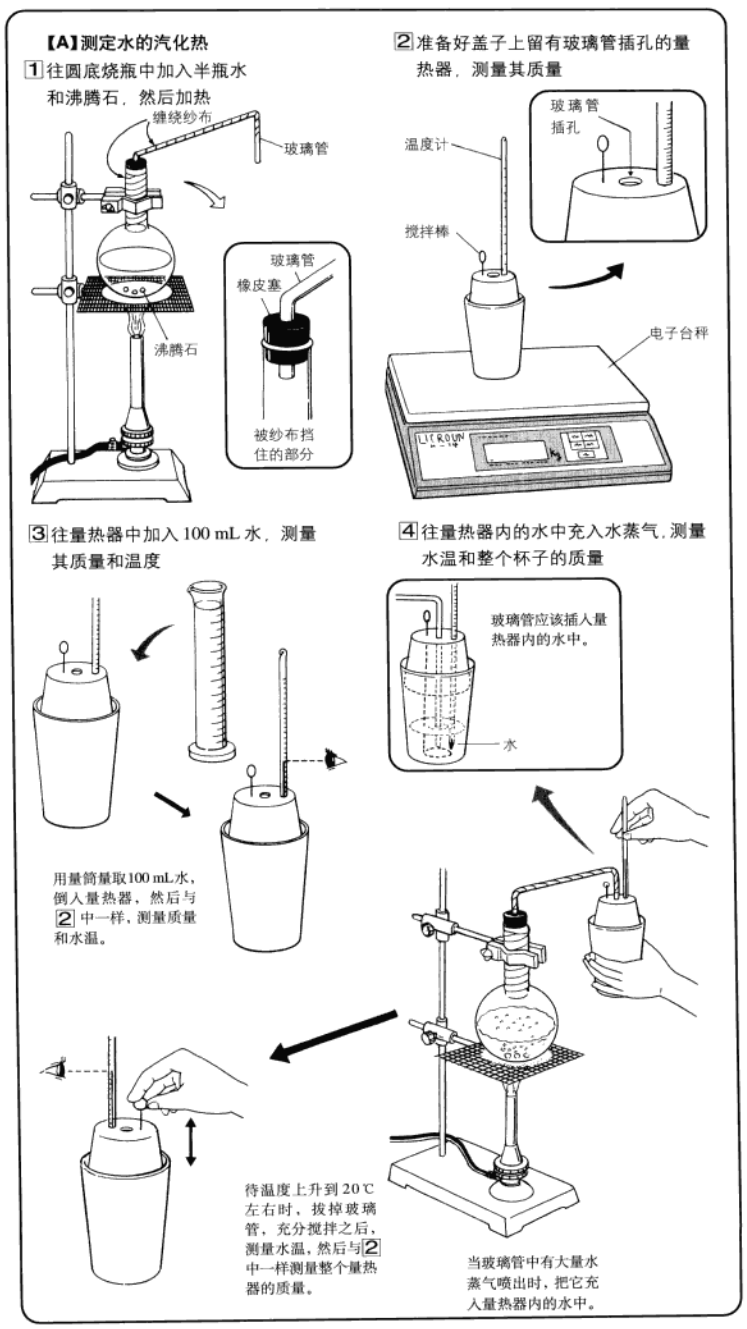
# 78 测定物质的汽化热

目标 初高

能测定水的汽化热（凝结热）。
能测定酒精的汽化热（凝结热）。

【A】圆底烧瓶(100 mL～200 mL) 沸腾石 橡皮塞 玻璃管 纱布 铁架台 加热器具 自制量热器① 温度计 搅拌棒 电子台秤 刻度量筒(100 mL)

①量热器的制作方法请参照 70 中的【参考】。
*【B】中除了上述材料之外，还需要烧杯、布，4 中放烧杯用的台子、试管及酒精。




**【A】测定水的汽化热**

1 提示 在圆底烧瓶的颈部和玻璃管上缠绕纱布，以便提高保温效果，得到稳定的水蒸气。使玻璃管倾斜的目的，在于防止管内的水蒸气变成液态时流入量热器内。为了防止突然沸腾，圆底烧瓶中需放入沸腾石。也可以在带支管的烧瓶的支管口连接 L 形的玻璃管，代替此装置。不过，由于支管朝下，所以应该注意避免支管里面的水流到量热器中。

4 提示 待圆底烧瓶内的水充分沸腾并从玻璃管口喷出大量水蒸气时，往量热器内的水中充入水蒸气。此时，玻璃管的下端应该插到量热器内的水中，不然就不能全部吸收水蒸气的热量。另外，为了避免碰倒量热器，要用两手分别固定量热器和温度计。

注意 小心被水蒸气烫伤，尤其是把玻璃管插入量热器时要更加小心。

说明 设2中测得的质量为$m$，3中测得的质量为$m_1$，4中测得的质量为$m_2$，3中测得的水温为$t_1$，4中测得的水温为$t_2$，则最初加到量热器中的水所获得的热量$Q_1$可由下式求出：

$$Q_1 = c_{水}(m_1-m)(t_2-t_1)$$

假设汽化热为$x$，水蒸气凝结成100 ℃的水失去的热量便为

$$Q_2 = (m_2 - m_1)x$$

100 ℃的水温度降至$t_2$时失去的热量是

$$Q_3 = c_{水}(m_2-m_1)(100-t_2)$$

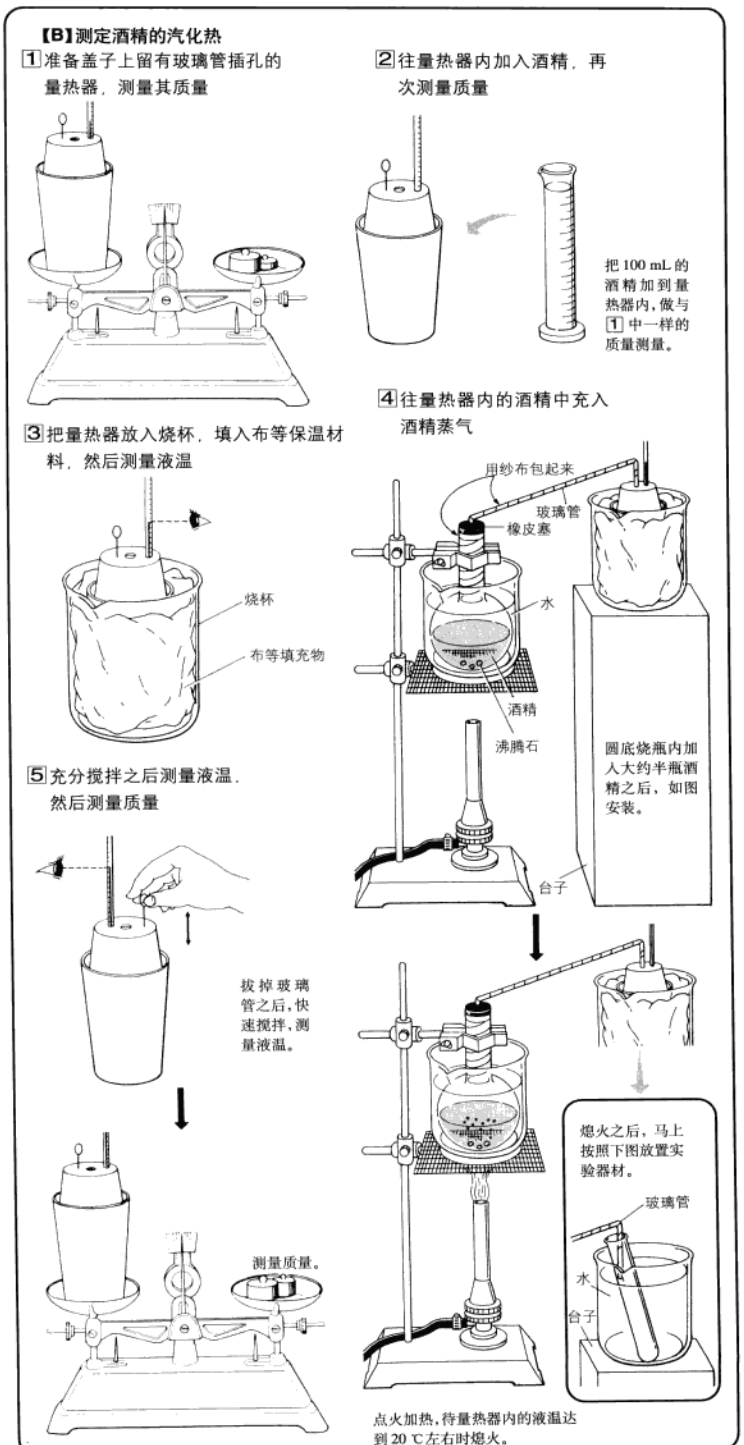
因为

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$
$$Q_2 = Q_1 - Q_3$$
$$(m_2-m_1)x = Q_1 - Q_3$$

所以汽化热$x$就能通过

$$x = \frac{Q_1-Q_3}{m_2-m_1}$$

求得。




**【B】测定酒精的汽化热**

3 注意 利用布料等物填充，既能保温，又能防止起火。万一不慎起火，就用湿抹布盖在烧杯上面。

4 提示 为了保温，在圆底烧瓶的颈部和玻璃管上缠上纱布。不过，圆底烧瓶上的纱布只能缠在不会被烧杯里面的水弄湿的部分，缠在玻璃管上的纱布也只能缠到量热器的插孔部分。

注意 盛有量热器的烧杯必须放在台子上面。如果用手扶着，起火时就很危险。圆底烧瓶不能直接加热，而必须放入水中进行加热。严禁事先加热至酒精蒸气开始喷出时再把玻璃管下端插入量热器中进行操作的做法，因为这种做法起火的危险性比较大。

插入量热器中的玻璃管下端，必须浸在液态酒精中；否则，不仅误差会变大，由于太热也容易起火。

把火熄灭之后，从量热器中取出玻璃管，将玻璃管的下端插入装有水的试管中。这样做是为了防止其他用火实验引起火灾。不过，需要注意的是，当玻璃管的下端插入液体中时，会出现倒流现象，所以玻璃管必须比液面高。

说明 设 1 中测得的质量为 $m$，2 中测得的质量为 $m_1$，5 中测得的质量为 $m_2$，3 中测得的液体温度为 $t_1$，5 中测得的液体温度为 $t_2$，最初加到量热器内的酒精得到的热量 $Q_1$ 就等于

$$Q_1=(m_1-m)(t_2-t_1)\times 2.43$$

2.43 为酒精的比热容值（单位：$kJ\cdot kg^{-1}\cdot ℃^{-1}$）。酒精的蒸气液化之后，直到达到温度 $t_2$ 为止，失去的热量 $Q_2$ 为

$$Q_2=(m_2-m_1)(78.3-t_2)\times 2.43$$

这里，78.3 是酒精的沸点（单位：℃）。所以，汽化热 $x$ 就能通过公式

$$x=\frac{Q_1-Q_2}{m_2-m_1}$$

求得。

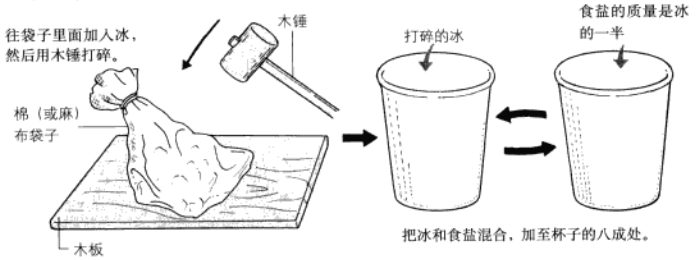
# 79 观察水的三态变化

【A】冰 泡沫塑料杯 布 橡皮塞 泡沫塑料 试管 电子台秤 油性笔 【B】烧杯(100 mL, 200 mL, 500 mL) 塑料薄膜 加热器具 铁架台 圆底烧瓶 玻璃管 塑料管 橡皮塞 试管 沸腾石 【C】干冰 报纸

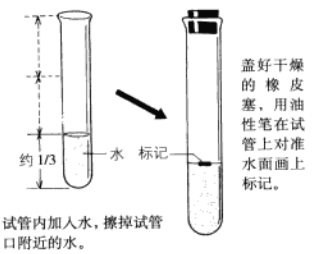
目标 小 观察水被加热后出现的汽化现象。
观察水蒸气的凝华现象。
初 观察水被冷却之后变成冰，冰被加热之后变成水的现象。知道此时虽然体积发生了变化，质量却没有发生变化。

## 【A】观察水的凝固与冰的熔化

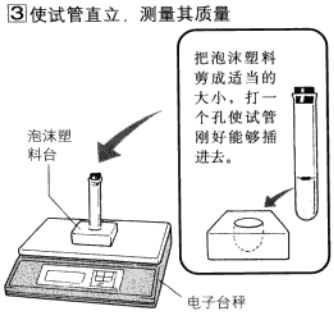
1 往泡沫塑料杯中加入冰和食盐(制作冷却剂)




2 试管内加入水，画上标记以便观察体积时用



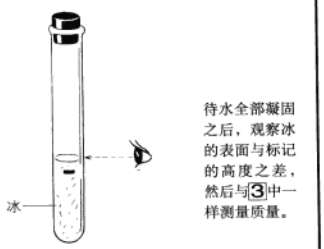

3 使试管直立，测量其质量



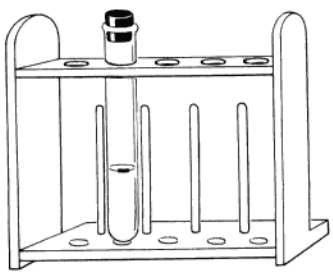

4 把试管放入冷却剂中，使水冻起来



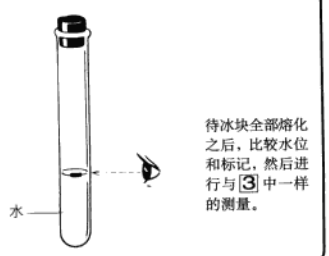

5 比较冰块的表面和2中画好的标记，然后测量质量




6 直到冰块熔化为止，一直放在室温条件下



7 比较冰块熔化后的水位和标记，再次测量质量




### 【A】观察水的凝固与冰的熔化

1 提示 制作冷却剂时，水和食盐的质量比例一般为3∶1，但在这里用2∶1的比例可以收到更好的效果。在这种情况下，食盐不会全部溶解，而会留在杯子底部。等实验结束后把未溶解的食盐收集起来，干燥之后还能重新利用。

如果用刨冰代替打碎的冰，冷却效果会更好。不过，由于刨冰很快就会熔化，所以不适合用于学生实验。如果没有泡沫塑料杯子，用方便面容器代替也可以。

2 提示 如果试管口附近有水分，实验过程中那部分水分就要蒸发，结果在5和7中的质量就会减小，从而影响实验结果。所以，要把试管口附近的水擦干净。

3 提示 如果没有时间制作泡沫塑料试管台，也可以把试管放在小烧杯中。

5 提示 测量质量时，应把试管外侧擦干净，趁水蒸气结露之前抓紧测量。

6 提示 为了缩短冰的熔化时间，可以把试管放入热水中；但在这种情况下，水滴会附在试管内部比水位高的地方，结果水位会因这些水滴的形成而相应变低，体积的比较就会变得困难一些。另外，如果水温过高，就会导致试管内部的空气膨胀，橡皮塞脱落。

结果 体积在凝固的时候(也就是在5中)会增加，而在熔化之后的6中恢复原状。另外，质量没有发生变化。

水被冷却之后变成冰，冰加热之后变成水。

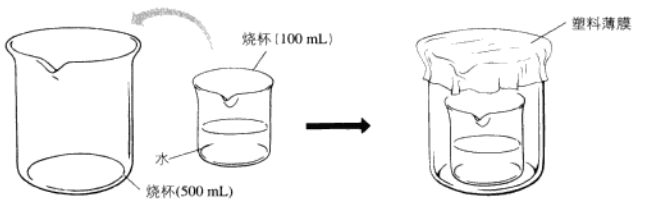
参考 和冰一起用来制作冷却剂的物质

| 物质 | 质量/g | 最低温度/℃ |
|---|---|---|
| 氯化钠 | 33 | −21.3 |
| 氯化钾 | 25 | −11.1 |
| 氯化钙(无水盐) | 42 | −55 |
| 氯化钙($CaCl_2 \cdot 6H_2O$) | 100 | −29 |
| 硫酸铵 | 61 | −19 |
| 氯化镁 | 27 | −33.6 |
| 碳酸钾 | 61 | −36.5 |

表中的质量是相对于100 g冰而言的值。

**【B】观察水的汽化与水蒸气的液化**

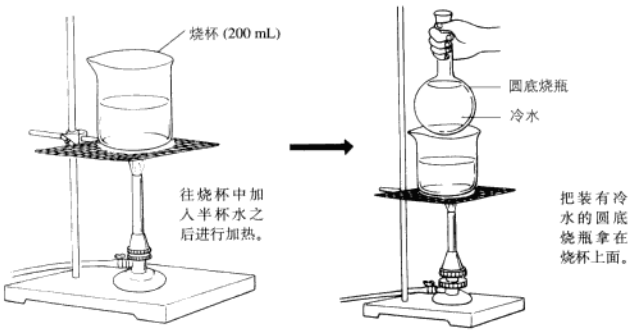
1 观察水的汽化(蒸发)与水蒸气的液化




往小烧杯中加入半杯水，然后放入大烧杯中。

用薄膜盖好之后放置一会儿，观察大烧杯的内壁及塑料薄膜的内侧。

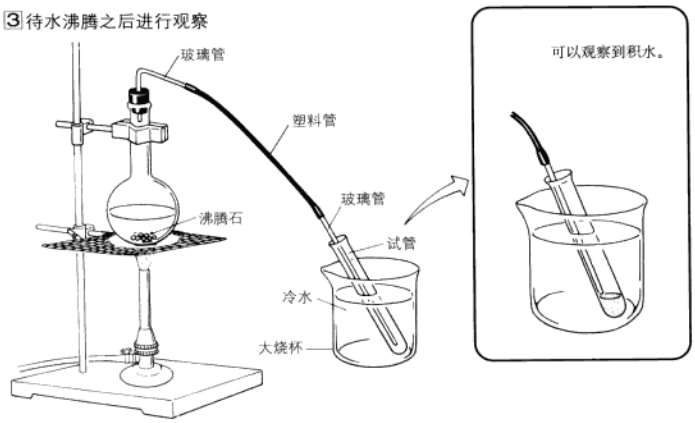
2 观察水在加热时剧烈汽化(蒸发)的现象




往烧杯中加入半杯水之后进行加热。

把装有冷水的圆底烧瓶拿在烧杯上面。

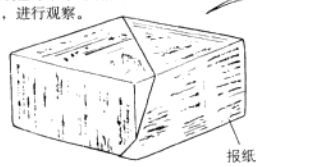
3 待水沸腾之后进行观察



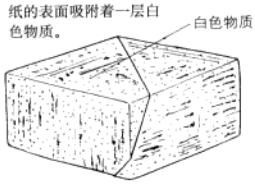

把水加热至沸腾之后，把水蒸气接到试管里面并用冷水冷却。

**【C】观察水蒸气的凝华**

用报纸包好干冰之后放在一边，进行观察。




过一会儿，就能看到报纸的表面吸附着一层白色物质。




**【B】观察水的汽化与水蒸气的液化**

1 提示 把处理好的烧杯放在温暖的地方，能缩短实验时间。

说明 把处理好的烧杯放置片刻，就能看到大烧杯的内壁及塑料薄膜的内侧出现水滴，这是小烧杯里面的水蒸发之后在大烧杯及塑料薄膜上液化的结果。通过这个实验可以知道，水在常温下可以发生汽化和水蒸气的液化。

2 提示 在这个实验中，不能使水沸腾。当水就要沸腾时，把火关掉。

注意 手拿着圆底烧瓶接近烧杯时，不要把烧杯碰翻。

说明 可以观察到圆底烧瓶的底部(外侧)有很多水滴。这说明水温越高，汽化(蒸发)就越活跃。

3 提示 一定要使用新的沸腾石，不能使用已经用过的沸腾石。装冷水用的烧杯越大越好，因为水量多时温度不易上升。当烧杯里的冷水变热时，把水换掉。

熄火时，先把玻璃管的顶端从试管内的水中撤出，否则水会倒流到圆底烧瓶里面。

说明 可以看到试管里面积水的现象。当水沸腾时，积水量就会增多，说明汽化量增大了。

**【C】观察水蒸气的凝华**

注意 不能直接用手抓干冰，必须戴上手套进行操作。绝对不能把干冰储存在完全密封的容器里。用报纸包起来放进保温性能比较好的容器里面，轻轻地盖上盖子，这样能长时间保存。

说明 报纸外面吸附的白色物质是空气中的水蒸气凝华(气体→固体)而成的物质——冰晶。通过此实验可以认识到，当水蒸气急剧冷却时就会发生凝华。最好把这种白色物质收集起来，放在烧杯中熔化，进而确认它是水。

# 80 观察物质的三态变化

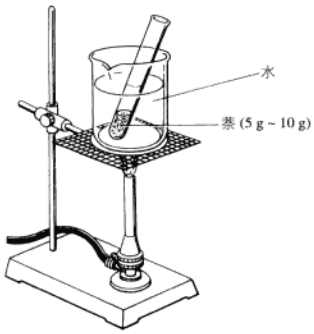
目标 初 观察物质被加热或冷却时所发生的状态变化。
知道当物质状态发生变化时，体积也发生变化，但质量不发生变化。

【A】萘 试管 烧杯 沸腾石 铁架台 加热器具 沙子 沙盘 圆底烧瓶 研钵 锅① 木块 【B】碘 铁架台 沙子 沙盘 烧杯 加热器具 圆底烧瓶 【C】石蜡 加热器具 小烧杯 水彩笔 泡沫塑料杯 塑料薄膜 电子台秤

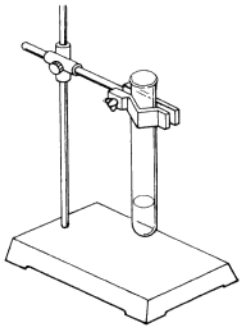
①不一定是锅，只要是大型容器就可以。

**【A】用萘做实验**

1 观察萘从固态到液态，再从液态到固态的变化过程

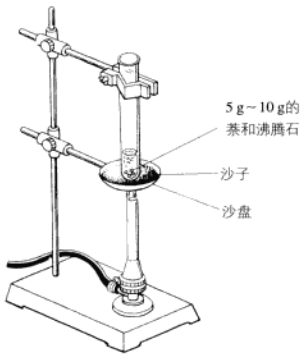



把装有5 g～10 g萘的试管放入装有水的烧杯中，进行加热。

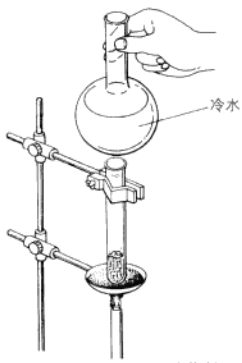


待萘完全熔化之后从烧杯中取出试管，固定在另一个铁架台上进行冷却。

2 观察萘从液态变成气态

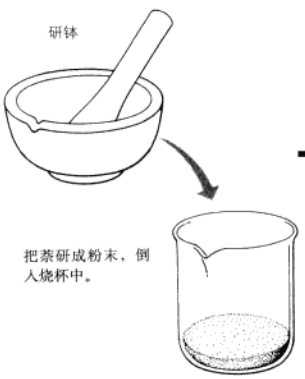



在试管中加入5 g～10 g的萘及少量沸腾石，放在沙盘上进行加热。

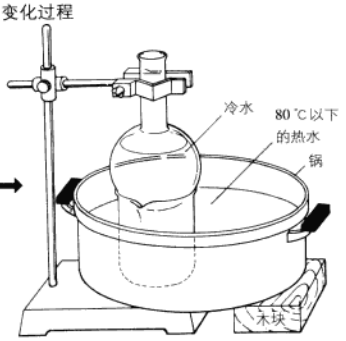



开始沸腾后，把装有冷水的圆底烧瓶举到试管口上方。

3 观察萘从固态到气态，再从气态到固态的变化过程




把萘研成粉末，倒入烧杯中。




把烧杯放入80 ℃以下的热水中，然后在上面放上装有冷水的圆底烧瓶。

**【A】用萘做实验**

1 提示 因为萘的熔点是80.3 ℃，所以就像图中所示的那样，在水中加热也能完全熔化，没有必要直接用火加热。如果直接用火加热，要特别小心，避免温度过高。不得不用火直接加热时，要一边摇动试管一边用小火加热。

注意 当萘开始熔化时，温度就不会升高了。加热和冷却时铁架台要分开使用。

2 提示 沙盘上的沙量要加到把试管底部埋没的程度。

注意 加热时要小心，避免液体突然沸腾。另外，萘的沸点是218 ℃。待萘开始沸腾之后，不要过度加热。要特别注意换气，以免萘的蒸气充满室内。

说明 观察到萘的晶体附着在圆底烧瓶的底部。通过这个实验，就能知道试管内的萘从液态变成了气态，也就是说发生了汽化。汽化后的萘附着在圆底烧瓶的底部，是因为萘被急剧冷却而由气态变成固态(也就是凝华)的缘故。

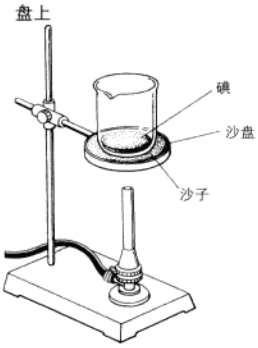
3 提示 为了提高升华效率，把萘研磨成粉末状。因为本实验是升华实验，所以如果萘的状态不是固态就没有意义。热水的温度应控制在80 ℃以下，否则当热水温度超过80 ℃时，萘就会熔化成液态。

当把烧杯放进锅里时，烧杯会浮上来，所以安装圆底烧瓶时要把烧杯压住。如果锅太大而不能放在铁架台上，要用木块垫起来。

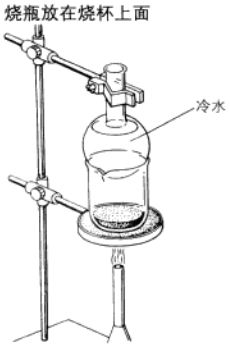
说明 观察到烧杯里面的萘从固态变成气态(升华)，然后在圆底烧瓶的底部急剧冷却之后再次变成固态(凝华)的现象。

**【B】用碘观察升华现象**

1 把碘倒入烧杯，再把烧杯放在沙盘上

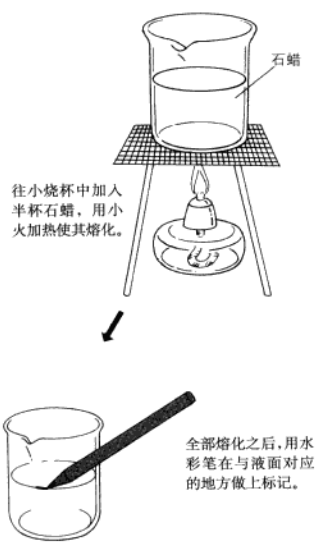



2 加热之后，把装有冷水的圆底烧瓶放在烧杯上面

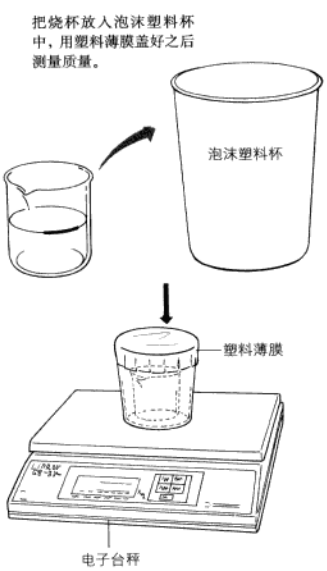



**【C】用石蜡观察凝固过程中质量和体积的变化**

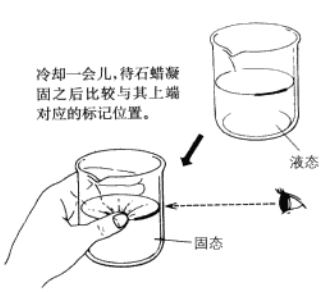
1 使石蜡熔化，对应液面的高度在烧杯上做上标记



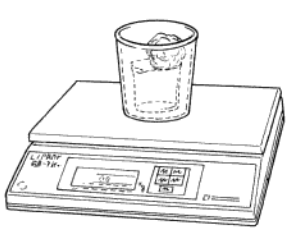

2 测量液态时的质量




3 在空气中冷却，待凝固之后比较体积




4 测量固态时的质量



测量烧杯和泡沫塑料杯、塑料薄膜的质量。

**【B】用碘观察升华现象**

提示 碘的熔点是113.6 ℃。把碘加热到超过此温度时，碘就会变成液态。由于本实验是升华实验，变成液态就没有意义了，所以加热时火力不能过强。

注意 因为气态的碘有毒，所以实验过程中要注意通风换气。

说明 观察到圆底烧瓶的底部吸附着碘。通过这个实验，就能知道在烧杯中升华成气态的碘在圆底烧瓶的底部又凝华成了固态。

**【C】用石蜡观察凝固过程中质量和体积的变化**

1 提示 由于石蜡的熔点为 50 ℃～70 ℃，所以没有必要高温加热。

2 提示 如果把烧杯直接放在电子台秤上，烧杯周围产生的上升气流会使测量结果比实际质量轻。为了防止气流的产生，准确地测出质量，可把烧杯放入泡沫塑料杯，用塑料薄膜盖好。

如果烧杯的温度过高，泡沫塑料杯就会熔化，所以在1中不要过分加热。

4 提示 这里测量质量时，本来没有必要测量包括泡沫塑料杯和塑料薄膜在内的质量，但是因为实验中要进行质量的比较，所以必须测量包括2中所用的泡沫塑料杯和塑料薄膜在内的质量。

说明 石蜡变成固态时，中间部分会凹进去，体积比液态时小。另外，在2和4中测得的质量基本相同，说明石蜡从液态变成固态时虽然体积发生了变化，质量却没有变化。

# 81 辐射热实验

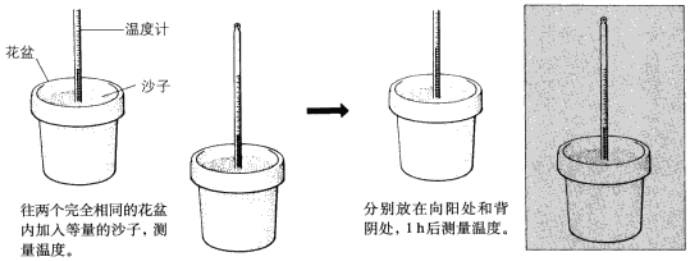
目标 小 观察向阳处和背阴处物体升温情况的不同。
初 观察辐射热的各种性质。
测定日光的辐射热。

温度计2个 沙子 花盆 烧杯(500 mL)2个 各种各样的彩纸 黑纸 剪刀 糨糊 透明胶带 透明板① 木板2块 电热器② 白炽灯③ 热辐射计 铝箔 热辐射温度计 刻度量筒

①玻璃板或塑料板。②也可以用反射型煤油炉代替。③准备100 W、60 W、40 W、20 W等各种功率的白炽灯。

## 1 观察向阳处和背阴处物体升温情况的不同

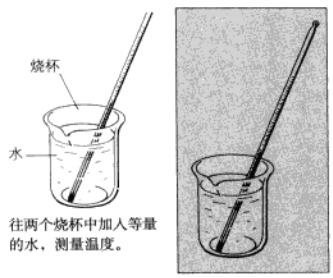
①观察沙子的升温情况




往两个完全相同的花盆内加入等量的沙子，测量温度。

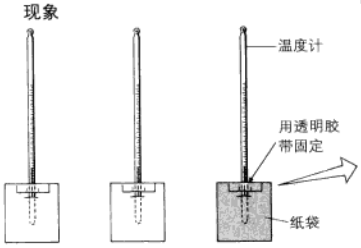
分别放在向阳处和背阴处，1 h后测量温度。

②观察水的升温情况

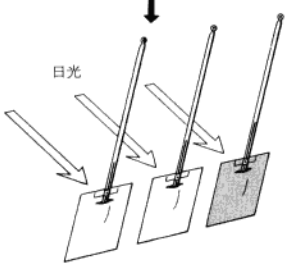



往两个烧杯中加入等量的水，测量温度。

## 2 观察因颜色不同而导致升温情况不同的现象

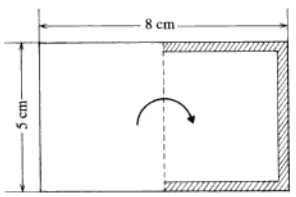


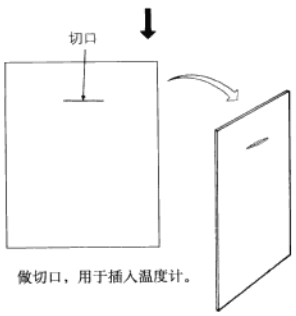

在用各种颜色的纸制作的纸袋里插入温度计，测量温度。




放在日光下，15 min后测量温度。

**纸袋的制作方法**

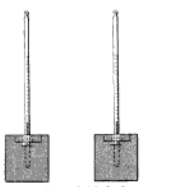


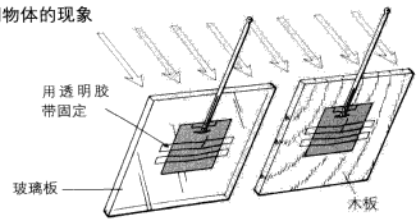

做切口，用于插入温度计。

## 3 观察辐射热可以穿过透明物体的现象

①观察日光的辐射热



给两个温度计套上黑纸袋子。



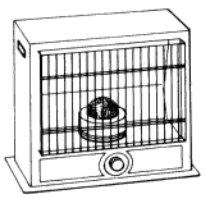

隔着透明板(如玻璃板)和不透明板(如木板)用日光照射温度计，观察温度计读数的变化。

1 ① 提示 不同的酒精温度计在同样的状态下会有1℃～2℃的误差，因此有必要准备两个看似相同的酒精温度计。(②中也一样。)
沙子要提前一天准备出来，或使用背阴处的沙子。不得使用刚从向阳处取来的沙子。
要使用形状、大小均相同的花盆。使用两个以上花盆时，应该使用圆形花盆，因为圆形花盆各部分受到的光照基本相同。如果是方形花盆，就要注意花盆的朝向，保证两个花盆的光照条件相同。
② 提示 要使用预先备好的水。

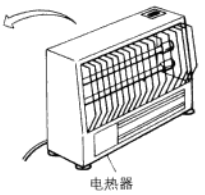
2 提示 尽量用质量相同的彩纸制作纸袋。把温度计插入纸袋时，应使温度计的温泡位于纸袋的中央，然后用透明胶带固定。要让每个纸袋都受到均匀、一致的日光照射。此时，为了防止装置被风吹跑，要牢牢地固定好。

3 ① 提示 按照2中的做法制作黑纸袋。除了玻璃板外，塑料板或三合板等也可以作为活动材料。
说明 使用不透明的板是为了与透明的板进行比较。

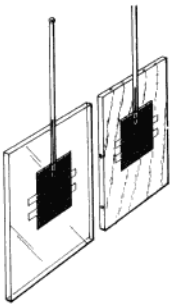
②观察电热器的辐射热



也可以使用反射型煤油炉。



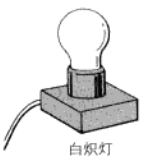

用电热器代替日光，重做①。

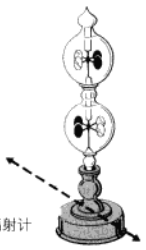


② 提示 电热器和温度计之间的距离不要太远。不过，如果太近，板又会变热，特别是使用热塑性的塑料板时更要注意。

4 观察白炽灯、电热器的辐射热与距离的关系

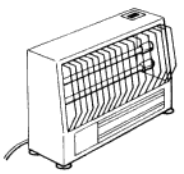
①观察白炽灯的辐射热

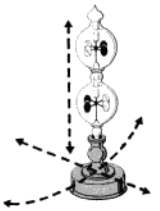



如图安放白炽灯和热辐射计，然后把热辐射计靠近、远离白炽灯并进行观察。

②观察电热器的辐射热

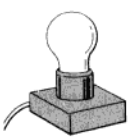




如图安放电热器和热辐射计，然后改变热辐射计的位置并进行观察。

4 ① 提示 实验不需要在暗室里进行。但是，如果在明亮的房间里进行，要先确认没有光线照射时，热辐射计的叶轮不转。(在②、5、6中也一样。)

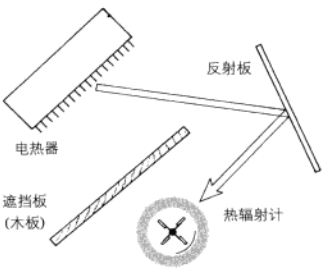
5 观察白炽灯的辐射热与其亮度的关系





如图安放白炽灯和热辐射计，改变白炽灯的亮度。

6 观察辐射热的反射现象



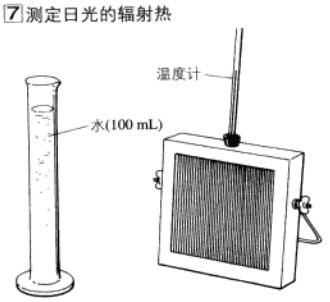

如图安放装置，观察热辐射计的叶轮是否转动。

5 提示 通过逐一更换100 W、60 W、40 W、20 W的白炽灯，即可改变白炽灯的亮度。白炽灯和热辐射计之间的距离要固定在30 cm左右。认真观察改变白炽灯亮度时叶轮的旋转速度有何变化。

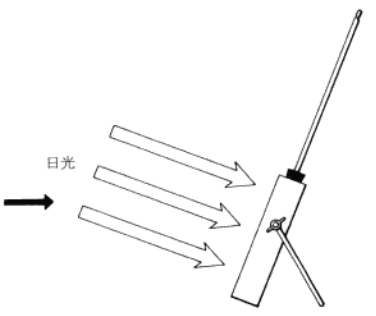
注意 更换白炽灯时要小心，避免烫伤。最好是每个白炽灯各有一个灯座，这样便能连灯座一同更换。

6 提示 在木板上贴一层铝箔就能做成反射板。此时，有铝箔的一面应该朝外。利用干燥的相纸制作反射板(涂有感光材料的一面朝上)，能够有效地反射辐射热。

7 测定日光的辐射热




把水加到热辐射温度计里，测量水温。




放在日光下，5 min后测量水温。

7 提示 要使用预先备好的水。水量大致为热辐射温度计容积的80%。如果水加得太满，就不易搅拌。严格地讲，应该按质量取水，但在这里可按体积，以1 mL = 1 g处理。

测量水温时要充分摇动热辐射温度计，以使温度计里的水充分混合。用日光照射的时间为5 min左右。如果照射10 min，热量就会从温度计漏出，测量值的误差就会变大。

说明 日光的辐射热$Q$可以通过以下公式算出：

$$Q = \frac{4.19\,m\,(T - T_0)}{S \cdot t}\ [\text{单位：J/(cm}^2 \cdot \text{min)}]$$

$m$：水的质量(单位：g)
$T_0$：最初的水温(单位：℃)
$T$：日光照射之后的水温(单位：℃)
$S$：热辐射温度计受热面的面积(单位：cm²)
(测出边长之后，通过计算求得。)
$t$：日光照射时间(单位：min)

# 82 绝热膨胀和绝热压缩实验

目标 初 以空气为例，观察隔断热的传递途径之后，压缩空气时温度上升，膨胀时温度下降的现象。

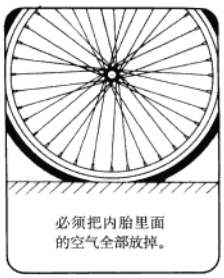
**自行车打气筒　自行车　自行车专用高压气泵　喷雾式空罐　热敏电阻温度计①　布　注射器(100 mL)　塑料管　玻璃管　橡皮塞　圆底烧瓶(200 mL)　香塑料圆筒(外径 2.6 cm，内径 2 cm，长度 10 cm)**

①也可以用数字温度计。

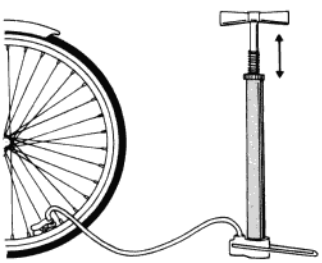
**1** 用打气筒给自行车内胎打气，触摸圆筒部分

①放掉自行车内胎里面的空气，连接打气筒




②给内胎打气

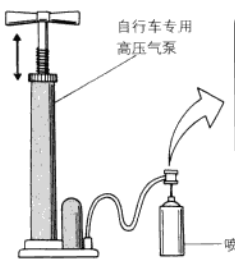


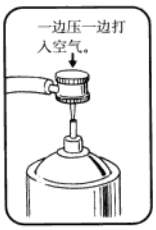
③触摸圆筒部分



**2** 往喷雾器的空罐里面打入空气之后，触摸空罐

①往喷雾器的空罐里面打入空气




②触摸装有空气的罐

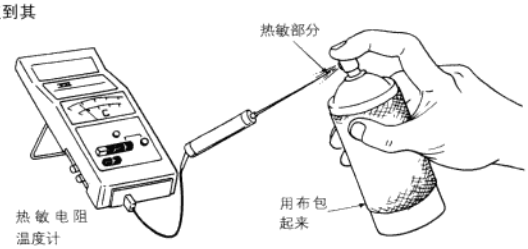


**3** 往喷雾器的空罐里面打入空气之后，把空气喷到热敏电阻温度计的热敏部分

①用**2**中介绍的方法，往喷雾器的空罐里面打入空气，然后放在一边，直到其温度与室温相同



②把罐内的空气喷到热敏电阻温度计上，观察读数的变化




**1** ① 提示 放掉内胎里面的空气，是为了防止打气过多而使内胎爆裂。

② 提示 尽量快速打入空气。为了防止打气过多，有必要中途检查轮胎的情况。因此，本实验以两人一组进行为好。一人负责打气，一人负责检查轮胎。

③ 结果 打气之后，触摸打气筒外侧，就能知道打气筒的温度升高了。

**2** ① 提示 本实验中使用的喷雾式空罐，不应是装过涂料等物体的罐，因为这种罐里的残留物不能全部喷出，所以不适合用于本实验。一般使用装过挥发性物质的喷雾罐。另外，为了安全起见，应使用没有生锈的罐。往喷雾式空罐里打入空气之前，应先按下喷嘴，确认是空罐。打入空气时，拿掉喷嘴上的帽，把打气筒的出气口对准喷雾口打入空气。

注意 如果打入的空气太多，有时罐会爆裂，造成危险。罐爆裂时，上面或下面的底盘会飞出。因此，打入空气时不要把脸贴近罐的上方。另外，打入空气时，如果发现罐的温度上升了，就要停止打气。

② 结果 往喷雾式空罐里打入压缩空气，罐就会发热。

**3** ① 提示 即使是已经不能喷出所装物质的空罐，在重新打入空气时，里面的残留物也会与空气一起喷出。因此，可以使用经过多次打入空气和放出空气而使所装物质全部喷出之后的空罐。其他事项请参照**2**①中的提示。

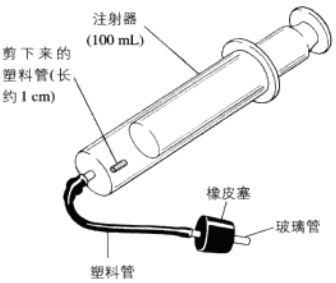
注意 参照**2**①中的注意事项。

② 提示 喷雾时应先拧紧空罐的喷嘴。为了防止手上的热量传给罐内的空气，用布包住罐的外部。

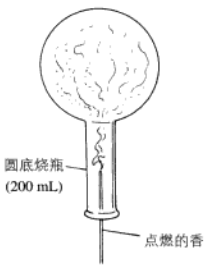
结果 按下喷嘴，使压缩空气膨胀，空气的温度会下降（2℃～3℃）。

**4** 使装有烟雾和水的烧瓶内的空气压缩或膨胀，并进行观察

①把塑料管、玻璃管、橡皮塞等连到注射器上



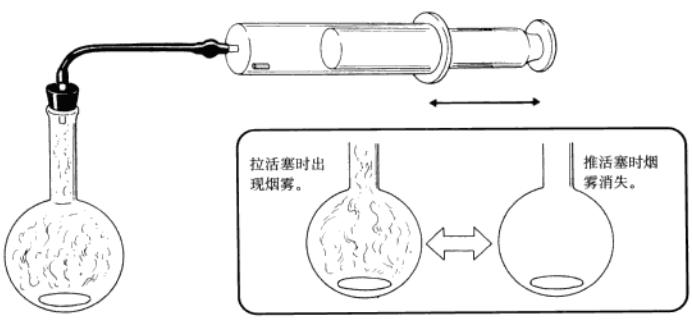

②利用点燃的香，使圆底烧瓶内充满烟雾




③往充满烟雾的烧瓶内加入约 5 mL 60 ℃的水，轻轻摇动，使烧瓶内充满水蒸气

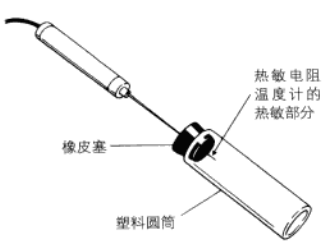


④连接注射器和烧瓶，推、拉活塞，观察烧瓶内部的情况

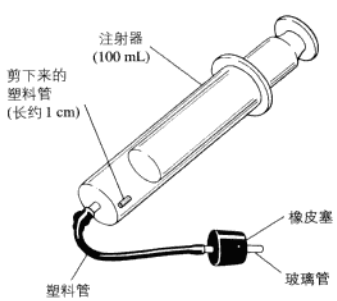



**5** 压缩塑料圆筒内的空气，或使其膨胀，观察温度的变化

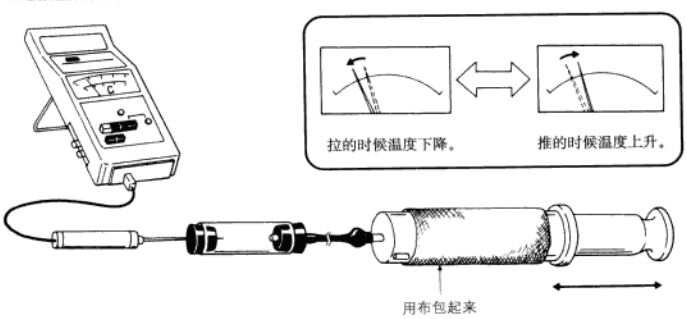
①在热敏电阻温度计的热敏部分安装橡皮塞和塑料圆筒




②把塑料管、玻璃管、橡皮塞等连到注射器上




③连接塑料圆筒和注射器，拉、推活塞，观察温度的变化




**4** ① 说明 在注射器的针管内放一段塑料管，是为了防止推活塞时撑破针管。(**5** ②中也一样。)

提示 塑料管不要太长。

② 提示 也可以用香烟的烟雾代替烧香产生的烟雾。

注意 因为烧瓶的内部处于减压状态，所以必须使用圆底烧瓶。

④ 提示 连接注射器和烧瓶时，要使注射器的活塞处于插入状态。另外，为了防止橡皮塞脱落，要用力塞紧橡皮塞。

结果 拉活塞时产生烟雾，推活塞时烟雾消失。

**5** ① 说明 本实验中不能用普通的液体温度计代替热敏电阻温度计，因为普通温度计的液体上升和下降速度慢，实验效果不明显。

提示 把橡皮塞塞入塑料圆筒时，为了防止橡皮塞脱落，要用力塞紧。

③ 提示 连接注射器和塑料圆筒时，应使注射器活塞的顶端到达针管中央附近。另外，要用力塞紧活塞，以免脱落。

用手拿注射器时，为了防止手上的热量传给针管内的空气，要用布包裹针管。

结果 拉活塞使筒内的空气膨胀时，温度下降；推活塞使筒内的空气压缩时，温度上升。温度的变化大约为 2 ℃。

# 83 观察金属的热传导

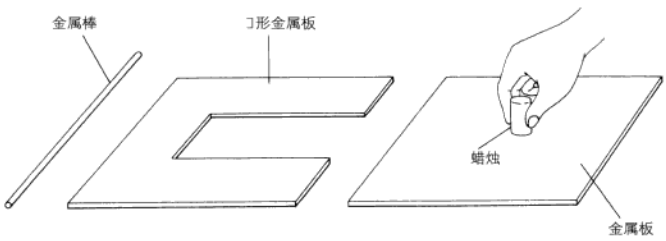
目标 小 观察加热金属时热从受热位置依次传导的现象。

【A】金属棒和金属板① 蜡烛(或石蜡) 加热器具② 铁架台 示温带(或文字处理机专用感热纸) 示温涂料 火柴 【B】金属棒① 试管 温度计 加热器具②

①最好是热导率大的铜制品，如果没有铜制品，铁或黄铜制品也可以。②酒精灯或煤气灯。

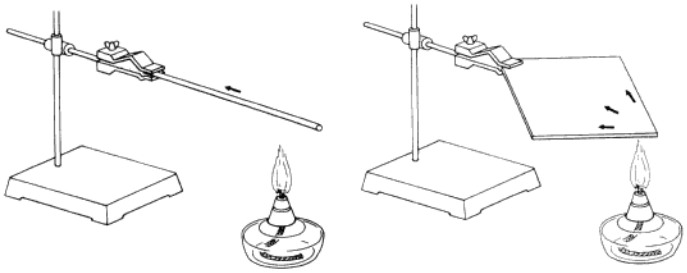
**【A】观察金属棒和金属板的导热现象**

1 准备好金属棒和金属板，并涂上蜡



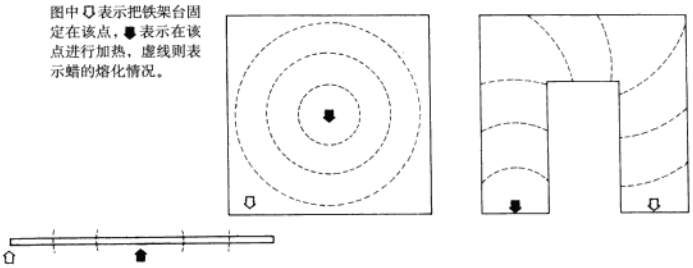

2 加热金属棒或金属板的一端，观察蜡的熔化过程

①加热金属棒 ②加热金属板

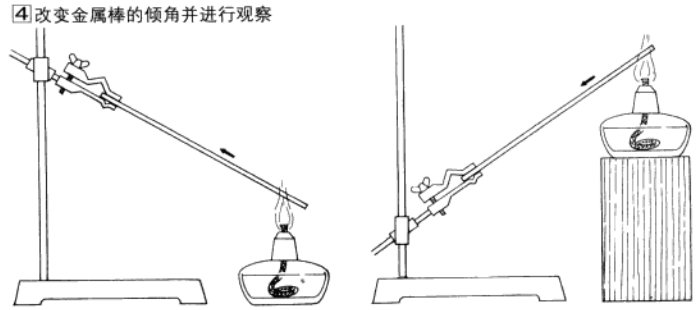


3 改变加热位置或金属板的形状，进行观察

图中⇩表示把铁架台固定在该点，⬇表示在该点进行加热，虚线则表示蜡的熔化情况。



4 改变金属棒的倾角并进行观察



**【A】观察金属棒和金属板的导热现象**

1 提示 蜡要涂得均匀，但不要太多。把金属稍微加热之后再涂蜡会容易一些。另外，涂完蜡之后稍微加热，使蜡均匀熔化之后再冷却，效果也不错。

2 说明 先做金属棒的实验，然后再做金属板的实验。这样可以引导学生从对线状材料热传导现象的认识，逐步深入到对平面材料热传导特点的认识。

提示 用煤气灯作热源时，为了遮挡来自热源的热辐射，可以用木板作屏风。

3 提示 除了这里提到的，还可以选用其他各种形状的金属棒和金属板来做实验。要认真观察蜡的熔化速度。

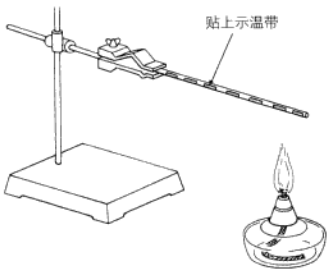
4 说明 有的学生会认为金属棒的倾角会影响导热情况，所以安排这种实验是非常有意义的。

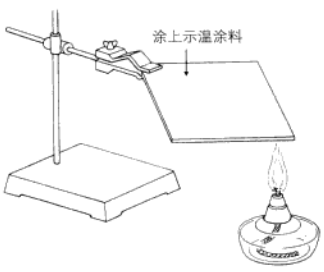
说明 涂在金属上的蜡，从被加热的部分开始依次熔化。也就是说，热是依次传递的，这种现象叫做热传导。

参考 加热金属的一部分时，热会从温度高的地方传到温度低的地方。于是，整块金属的温度就上升了。但是，此时由于热辐射等原因，也有从金属表面失去的热。当热源的温度保持稳定，金属的温度达到一定程度时，金属从热源得到的热量和金属表面失去的热量相等，所以金属就能保持一定的温度。由于以上原因，在热传导实验中要尽量降低热辐射相对于热传导的比例。利用火力强的煤气灯作热源比较好。金属最好用热导率大的铜。

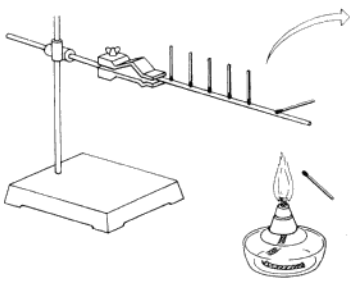
**【其他方法】提高视觉效果的实验方法**

1 用热敏剂观察颜色的变化

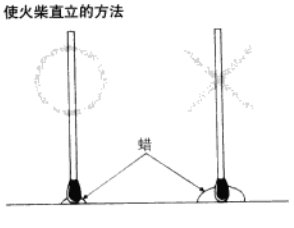



2 用蜡使火柴直立，观察蜡受热时火柴倒下去的顺序



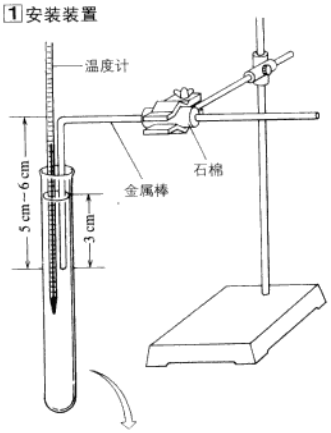
使火柴直立的方法



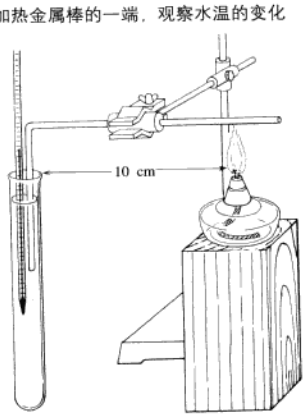

蜡不要太多。

**【B】根据水温的上升情况研究金属棒的热传导现象**

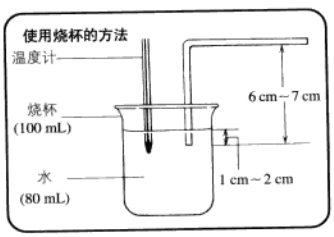
1 安装装置




2 加热金属棒的一端，观察水温的变化




使用烧杯的方法




| 时间/min | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 温度/℃ | 30 | 34 | 40 | 46 | 56 | 64 | 70 | 74 | 80 | 85 | 87 | 88 | 90 | 90 | 90 |
| 试管内的变化情况 | | | | | | 附着很多气泡 | | | | 上面起泡 | 上面2 cm沸腾 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 |

**【其他方法】提高视觉效果的实验方法**

说明 前面介绍的方法使我们能用肉眼观察到蜡的熔化过程，下面介绍的方法则能使我们更加直观地看到金属的热传导现象。

1 说明 示温涂料和示温带的特点是，随着温度的上升其颜色会发生变化，这里介绍的方法就利用了示温涂料和示温带的这种性质。

提示 把示温带剪成细长条贴在各个部分。也可以用文字处理机专用感热纸代替示温带。

参考 这里介绍一种示温涂料的配制方法。把氯化汞$HgCl_2$、碘化钾KI及硝酸银$AgNO_3$按以下的质量比准备好：$m(HgCl_2):m(KI):m(AgNO_3)=10:25:13$，然后按顺序①$HgCl_2$，②KI，③$AgNO_3$，用大量的水溶解，把产生的黄色沉淀物和糨糊混合起来，涂在纸或金属上即可。大约45 ℃时，混合物由黄色变为橙色；冷却下来时，又恢复到原来的黄色。

2 提示 用蜡固定火柴时，注意蜡的用量不要过多；否则，火柴倒下的顺序就有可能不对。

**【B】根据水温的上升情况研究金属棒的热传导现象**

1 提示 为了便于观察，尽量选用粗的金属棒，使温度变化更明显。

也可以用烧杯代替试管。此时，浸在水中的金属棒最好不要超过2 cm。

2 提示 除了水温，试管内的其他情况也可以一同观察。

结果 实验数据举例如下表。使用烧杯进行实验时，把直径为3 mm的铜棒加热10 min，可使水温上升4 ℃左右。

# 84 观察不同物质的热传导

目标 小 通过观察知道有的物质容易导热，有的物质不容易导热。

金属棒(铜或铁) 玻璃棒 试管 加热器具① 金属丝(铜和铁)② 木台 不锈钢板 蜡 火柴

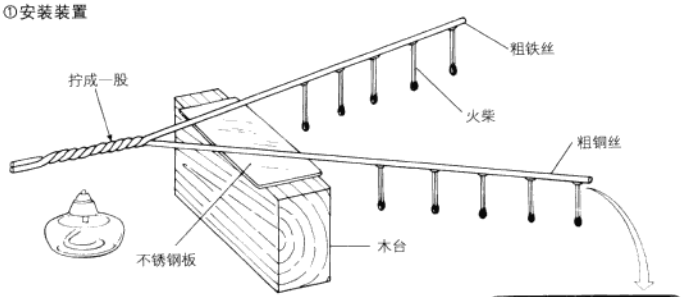
①酒精灯比较好。②直径大于3 mm，要尽量粗，长度为30 cm－40 cm。

1 加热金属棒、玻璃棒及装有水的试管，比较三者的导热情况

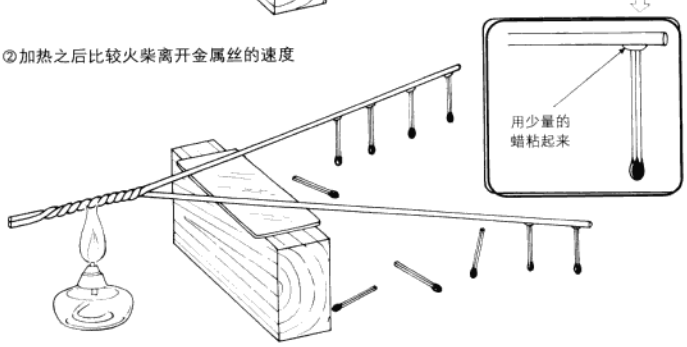



2 观察不同金属的导热情况

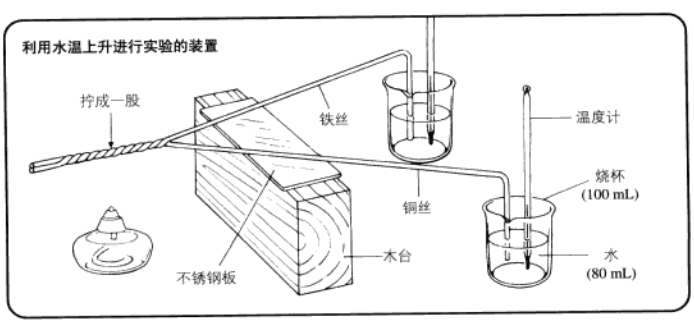
①安装装置




②加热之后比较火柴离开金属丝的速度




利用水温上升进行实验的装置




1 注意 加热时不要烫伤。特别是加热金属棒时，不要长时间加热，只要觉得差不多够热了就停止加热。

结果 金属棒受热时间不长就会变热，玻璃棒却是受热时间很长也不变热。另外，观察试管里面的水时会发现，上面已经达到沸腾程度，下面却几乎还没热。通过这些现象就能知道，不同物质的导热速度不同。

2 提示 为了避免热辐射的影响，支撑金属丝的台子应足够大(如图所示)。而且，为了防止金属丝的热量传给台子，应把不锈钢板放在台子上面。在铁丝和铜丝上粘火柴时，要从分成两股的地方开始，等距离地粘。此时还要注意，用蜡不要过多，否则有时会影响实验效果。

结果 铜丝上的火柴比铁丝上的火柴掉得快。由此就能知道，铜比铁更容易导热。

参考 传到金属丝上的热量能使水温升高。通过这一现象，也能知道热传导的不同。与图中的火柴装置类似，可以把距金属丝顶端8 cm左右的地方窝成直角，浸在烧杯内的水中（参照左下角方框围起来的小图）。此时，每隔1 min测量一次水温并利用数据画出图像。

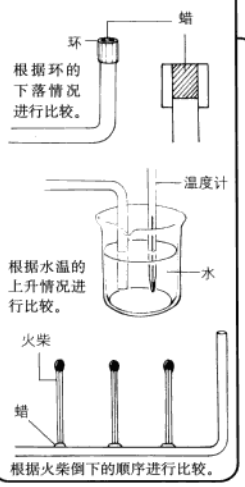
参考 **热的良导体和不良导体** 根据不同物质导热性能不同的现象，我们把像金属那样容易导热的物体叫做热的良导体，而把像玻璃、陶瓷、水银以外的液体以及气体那样不容易导热的物体叫做热的不良导体。

**温度升高和热导率** 加热金属丝的一端时，另一端的温度升高并符合以下公式表示的关系：

$$\text{温度升高} \propto \frac{\text{热导率}}{\text{比热容} \times \text{密度}}$$

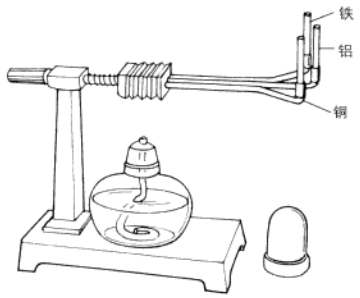
因此，粘火柴的实验是用来与水温上升实验作比较的。用不同的金属丝做水温上升的对比实验，实质上是关于不同物质热导率的对比性研究。

使用举例

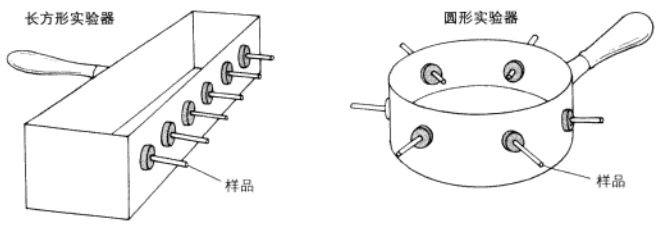



【参考】市场上出售的热传导对比实验装置

1 金属棒式热传导对比实验装置




2 箱式热传导对比实验装置




【参考】市场上出售的热传导对比实验装置

1 说明 样品是铜、铝、铁。

提示 加热时火焰不要太大，应使受热部分靠近火焰的顶端。以水温上升情况作为对比的依据观察时，不要忘记组装遮断热辐射的屏风。

2 说明 在样品的顶端用蜡固定火柴，使之直立。容器里加入热水。样品是铜、铁、黄铜、铝、铅、玻璃等六种(根据实际条件可以有所不同)。

提示 粘火柴时，用烙铁使蜡熔化成米粒大小。蜡过多时，火柴不能按照正确的顺序倒下。

加到容器里的热水，温度必须在80 ℃以上。不能直接加热容器。

## 用比喻的方法形容热传递的三种方式

热总是从温度高的物体传向温度低的物体。热传递的方式有热传导、热对流、热辐射等三种。由于热是肉眼看不到的，所以理解起来比较困难。特别是儿童，一般不容易理解三者之间的差别。这里介绍一种形容这些差别的比喻方法。



材料与器具

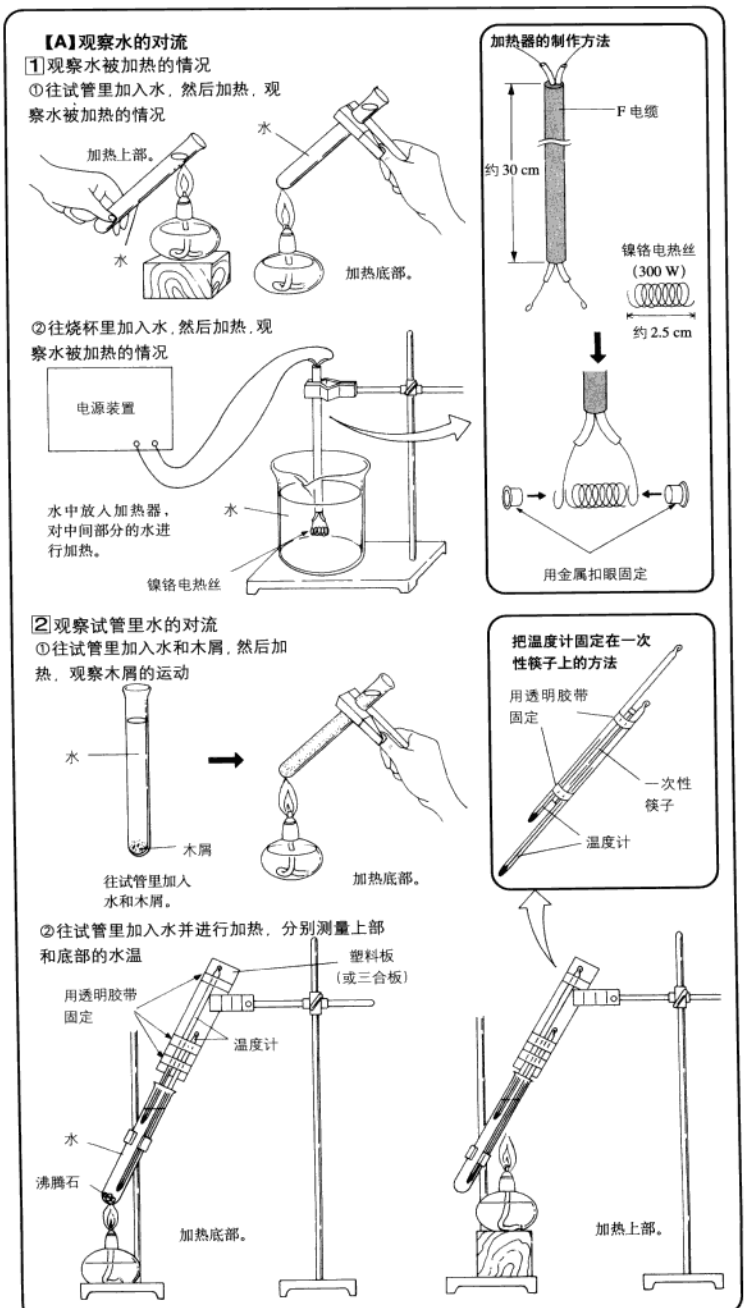
# 85 对流实验

目标 观察流体（如空气和水）在流动过程中传热的现象。

【A】试管 加热器具 F电缆 镍铬电热丝(300 W) 金属扣眼 烧杯 铁架台2个 电源装置 温度计2个 塑料板① 透明胶带 木屑 圆底烧瓶 光源装置 屏幕 水槽 小塑料杯2个 集气瓶2个 厚纸板 玻璃棒

①用于固定温度计。

*【B】请参照文中的材料与器具。




【A】观察水的对流

1 说明 学习解决难题的实验中，关键在于培养学生的主动性，因此，启发学生了解实验程序是教学的重点。这里列举的两个实验就是培养学生主动性的范例。

① 提示 加热时火焰要小，不要高温加热。加热到尚未沸腾的程度时，比较加热试管上部和加热试管底部时发生的不同现象。具体方法是停止加热，放置片刻之后用手摸一摸即可。

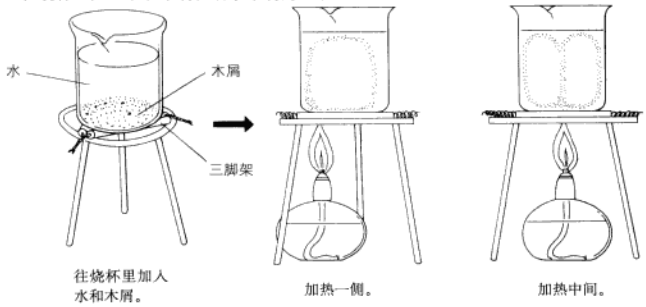
② 提示 也可以用电烙铁代替自制的加热器。安装装置之后放置片刻，待水静止之后通电。电流是3 A～4 A比较好。通电之后用手触摸烧杯的上半部分和下半部分，检查两部分是否同样热。

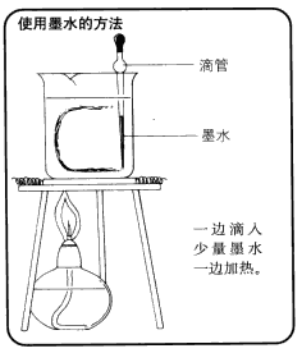
2 ① 提示 木屑应尽量碎，并且要提前浸在水中使其充分吸水。没有木屑时可用酱或氢氧化钙（熟石灰）等代替。加热时火焰要小，不要高温加热。沸腾前停止加热。

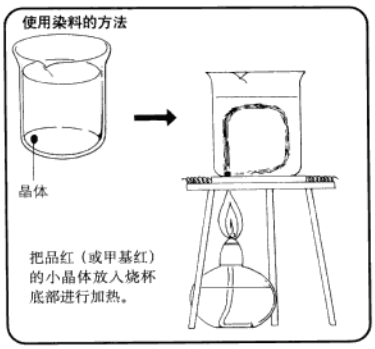
② 提示 安装装置时要注意，温度计不要碰到试管壁。加热时火焰要小，不要高温加热。加热底部时放进几块沸腾石比较好。测量水温时每隔20 s～30 s测量一次。

【3】观察烧杯里水的对流

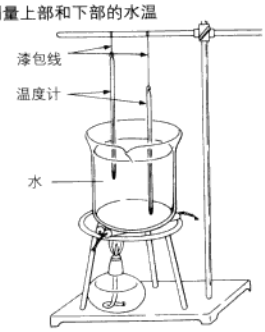
①往烧杯里加入水和木屑，观察木屑的运动

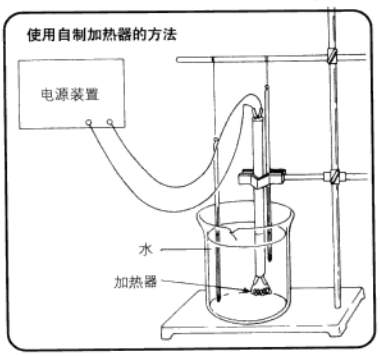


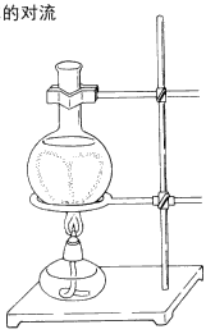

②往烧杯里加入水并进行加热，分别测量上部和下部的水温

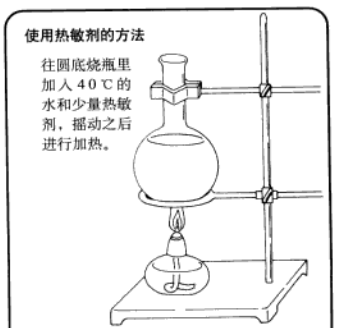



【4】观察烧瓶里水的对流

往圆底烧瓶里加入水和木屑并进行加热。






【3】①【提示】烧杯使用500 mL的比较合适，水用400 mL左右。用小勺量取木屑，一两勺即可。加热时火焰要小，要慢慢加热。加热一侧时，要注意观察木屑的运动方向。

【参考】也有用墨水或染料代替木屑的方法（参照左边方框围起来的小图）。不管采用哪种方法加热，都要等水静止下来之后再加热。

②【提示】图中温度计测的是上、下两层的水温，教学过程中教师也可分上、中、下三层进行测量。加热时火焰要小，不要用高温加热。使用自制加热器时，用2 A～3 A的电流即可。把各温度计测得的水温与时间的关系画成图像。

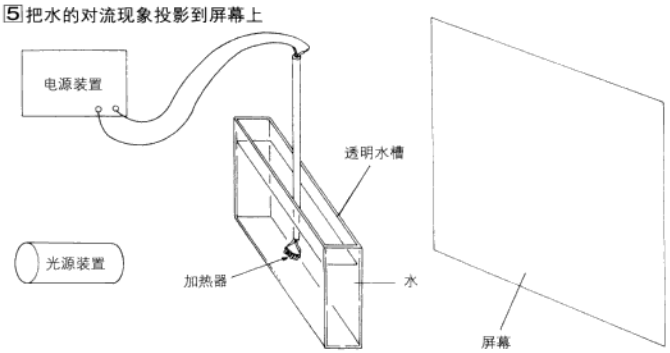
【4】【提示】水加到烧瓶的八成左右就可以了。也可以用品红或甲基红的小晶体代替木屑。加热时火焰要小，不要用高温加热。

【参考】也有用热敏剂（制作方法参照【83】）进行观察的方法（参照左边方框围起来的小图）。因为加入热敏剂的水加热之后变热的部分会变红，所以能观察到对流的现象。热敏剂是在45 ℃时变红，所以如果整瓶水的温度都超过了45 ℃，水就会全部变红，那样就将无法观察对流现象。热敏剂的反应式如下：

$$HgAgI_3 \rightleftharpoons HgI_2+AgI$$

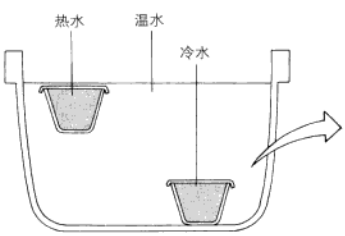
（45 ℃变红）

**5** 把水的对流现象投影到屏幕上

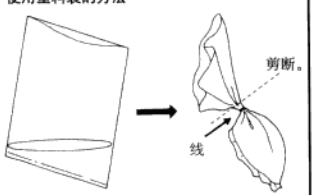



**6** 观察因温度不同而导致水的质量(密度)不同的情况

①用两个小塑料杯分别装满热水和冷水，然后盖好盖子，放入温水中



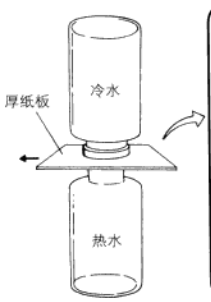

**使用塑料袋的方法**



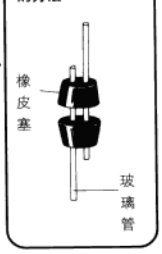

往塑料袋里加入冷水（或热水）。

为了防止空气进入，用线把口扎牢，并把上面多余的部分剪掉。

②分别往两个集气瓶里加入热水和冷水，把它们叠放起来，然后抽掉中间的隔板




**用橡皮塞和玻璃管的方法**

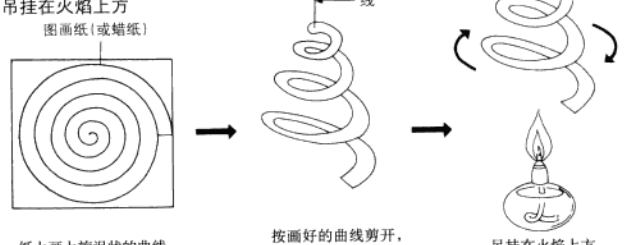



③往烧杯里加入热水和打好孔的纸，然后从上面注入冷水




**【B】观察空气的对流**

**1** 取一张纸，剪成旋涡状，吊挂在火焰上方




纸上画上旋涡状的曲线。

按画好的曲线剪开，用线从中间吊起来。

吊挂在火焰上方。

**5** 提示 水槽可用透明塑料板自己制作，也可把不用的容器改造以后使用，尺寸为 20 cm × 15 cm × 2 cm 左右的比较合适。如果不愿意自己制作，也可以购买现货。水槽及加热器要用铁架台固定起来。光源应尽量离透明水槽近一些。给加热器通电之后，边看屏幕上投出的影像边调节电压。

**6** 说明 本实验的目的是引起学生对水的对流原因的思考。

① 提示 装入小塑料杯的热水和冷水事先要染色。热水用红墨水染色，冷水用蓝墨水染色。热水、温水、冷水之间的温差要在 20 ℃以上。所以，冷水应该放在冰箱里冷却。

参考 如图，如果把热水和冷水装入塑料袋，效果会比装入小塑料杯更好。

② 提示 事先把热水染成红色，冷水染成蓝色。叠放集气瓶时，一定要把冷水瓶放在上面。抽掉隔板（厚纸板）时要用手扶着瓶子并快速操作，以防瓶子倒下。

参考 如左侧方框围起来的小图所示，用橡皮塞和玻璃管连接两个瓶子代替隔板，效果会更好。

③ 提示 事先把热水染成红色，冷水染成蓝色。

**【B】观察空气的对流**

材料与器具 图画纸 剪刀 线 空纸箱加热器具 透明板 透明胶带 香 电烙铁 集气瓶 燃烧匙 蜡烛 冰 试管

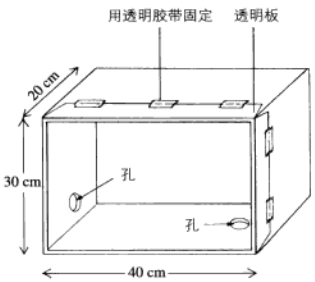
**1** 提示 挂在酒精灯或电热器等各种加热器具上面进行观察。

用酒精灯做实验时，纸条与火焰之间要保持一定的距离，以免烧焦纸条。

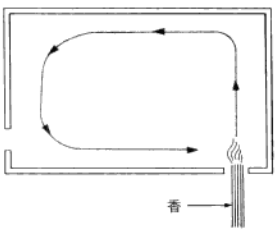
要引导学生思考旋涡状的纸条旋转的原因。把点燃的香靠近旋转的旋涡状纸条，就很容易理解上升气流的产生原因了。

**2** 观察箱子里面的空气对流

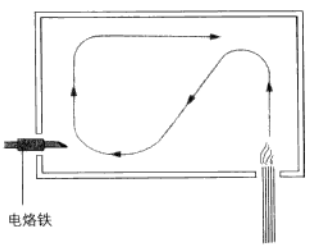
①制作观察箱




②箱子里面放入香，观察烟雾的运动情况

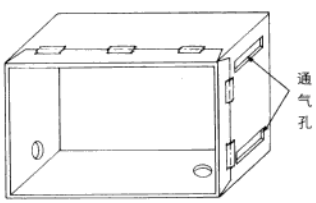



③在充满烟雾的箱子里面放入电烙铁，观察烟雾的运动情况



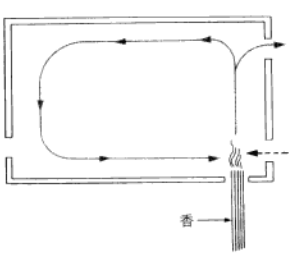

**3** 观察有通气孔的箱子里面的空气对流

①制作观察箱

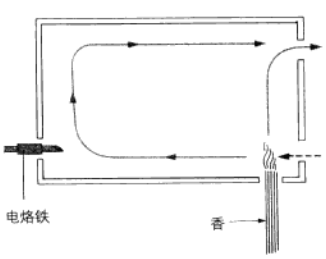



在**2**中制作的观察箱上打开通气孔。

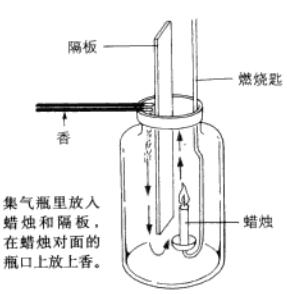
②箱子里面放入香，观察烟雾的运动情况



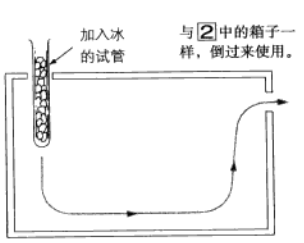

③在充满烟雾的箱子里面放入电烙铁，观察烟雾的运动情况




**4** 观察集气瓶内的空气对流




**5** 利用冰观察箱子里面的空气对流




待箱子里面充满烟雾之后，放入装有冰块的试管并进行观察。

**2** ①提示 可以用身边的纸板或空纸箱制作。本图中只把前面做成透明的，其实也可以做成两面都透明的。为了便于观察烟雾的运动情况，把箱子内侧涂成黑色或贴上黑纸比较好。透明板应沿着纸箱边折起来，并用透明胶带固定好。也可以用塑料薄膜代替透明板。贴透明板或塑料薄膜时，如果留出一边不予固定，排放里面的烟雾时会更方便。

**3** ①提示 在**2**①中制作观察箱时，事先要把通气孔留出来，在做**2**中的实验时用透明胶带封住就可以了。

**4** 提示 根据集气瓶的深度调整隔板。

**5** 说明 本实验的目的不是观察空气的循环运动，而是观察下降的气流。

提示 与**2**中一样，把观察箱倒过来使用。因此，如果做完实验**3**之后再做本实验，应该用透明胶带把通气孔封住。

参考 水和空气等流体是热的不良导体，不易导热。加热这种流体时，由于受热的部分会膨胀，所以密度会减小从而变轻。因此，被加热的部分会向上移动，同时上面的低温部分会向下移动。于是，整个流体就会做循环运动。流体这种自身的流动叫做对流。流体是靠对流传递热量的，水银例外。

材料与器具

板[①] 空易拉罐 小灯泡(2.5 V～3 V) 干电池[②] 导线 工程用纸 胶水 剪刀 美工刀 平面镜 明信片大小的纸5张 橡皮泥 图钉 纸箱(10 cm × 15 cm × 25 cm左右) 玻璃纸 香 铝箔 激光光源装置

①一张15 cm × 50 cm左右的板和一张20 cm × 20 cm左右的板。
②将两节1号电池放入电池盒中。

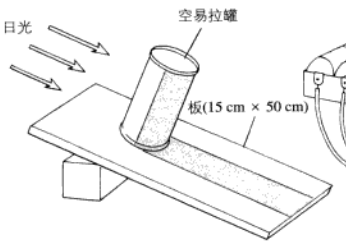
# 86 研究光在空气中的传播方式

目标 小韧

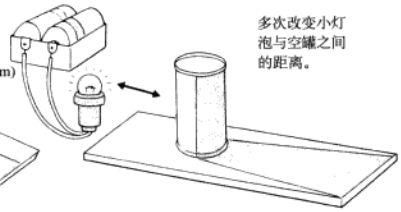
能证明光在空气中是沿直线传播的。
能证明光从光源呈放射状射出。

## 1 利用影子的形成研究光的传播方式

①利用日光进行研究




②利用小灯泡发出的光进行研究



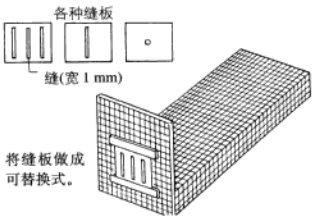

1 ① 提示 使用长方形的平板映衬影子。选择能使影子拉长的角度照射光线。在②中，也可以用点燃的蜡烛作为光源。此时，因为光源较大，影子的边缘会变得模糊不清。

说明 无论是用日光还是用小灯泡发出的光照射，影子的边缘都是直线状的。由此可以推断：光是沿着直线传播的。

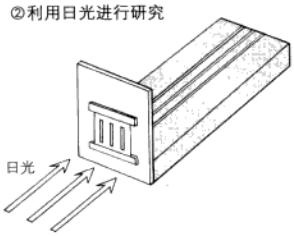
2 提示 这里制作的光学实验台在光的反射和折射实验中也能使用，缝板可以替换。在②中，可将反射在平面镜上的日光照在光学实验台的缝板上。

## 2 利用光学实验台研究光的传播方式

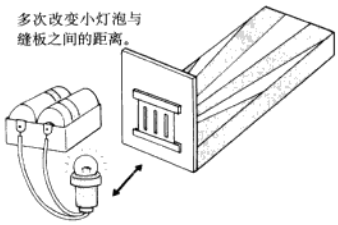
①用工程用纸制作光学实验台



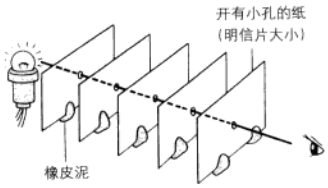

②利用日光进行研究




③利用小灯泡发出的光进行研究

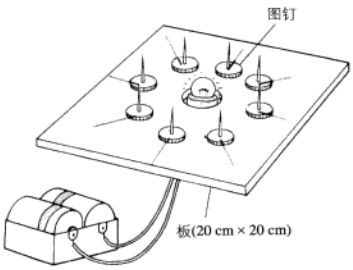



## 3 确认光的直线传播性质




调整纸片的位置，使得从孔中能看见小灯泡，孔呈一条直线排列。

## 4 研究小灯泡发出的光的传播方式




说明 这个实验的目的是证明1中得出的推论。通过缝的日光，大致是平行的。仔细观察就能看出，实际上尾端的光线是向外发散的。小灯泡离缝板较近的时候，通过缝的光线呈明显的发散状；随着距离渐远，光线逐渐趋于平行。由此可以推断：如果小灯泡与缝板的距离无限远，通过缝的光线就会与日光照射的情况一样，变为平行光了。

3 提示 可以拉一条线，确认纸片上的孔呈一直线排列。

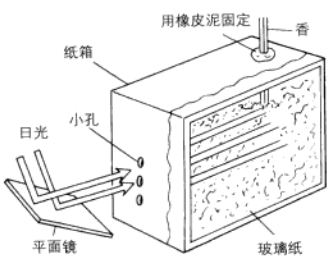
5 说明 这个实验，可以说是2和4的另一种方法。使用激光更容易观察。

提示 将箱子内部变暗，以便观察。

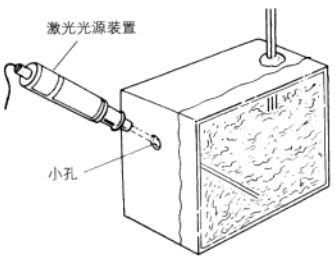
结果 从1至5中的实验可以知道：光在空气中是沿直线传播的；从光源发出的光呈放射状射出。

## 5 利用纸箱和香研究光的传播方式

①利用日光进行研究




②利用激光进行研究

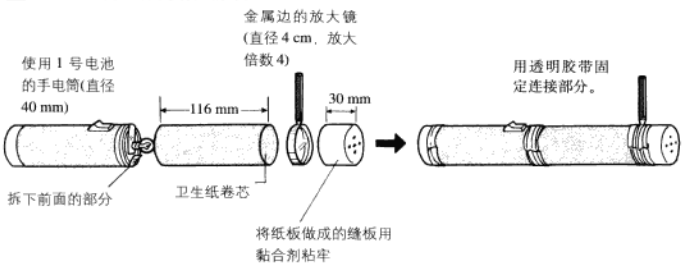


# 87 研究光在水和玻璃中的传播方式

**目标** 小初　能证明光在水及玻璃等物质中是沿直线传播的。

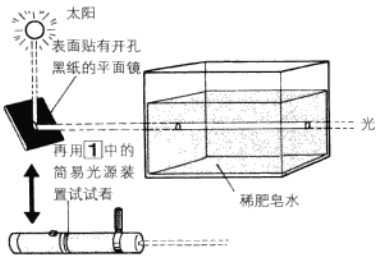
**手电筒　1号干电池　卫生纸卷芯　放大镜**(直径4 cm，放大倍数4)　**纸板　透明胶带　平面镜　水槽**(方形)　**肥皂　玻璃棒　食盐　硼酸　稀盐酸　小灯泡**(2.5 V～3.0 V)　**试管　烧杯　工程用纸　玻璃　透明塑料　胶水　剪刀　宽刃小刀**

**1** 利用手电筒制作简易光源装置

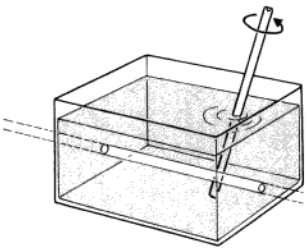



**2** 研究光在水中的传播方式

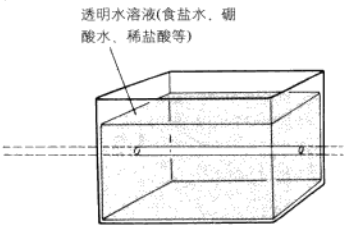
①研究日光及简易光源装置发出的光的传播方式



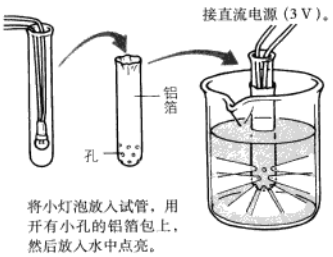

②一边搅拌水一边研究光的传播方式



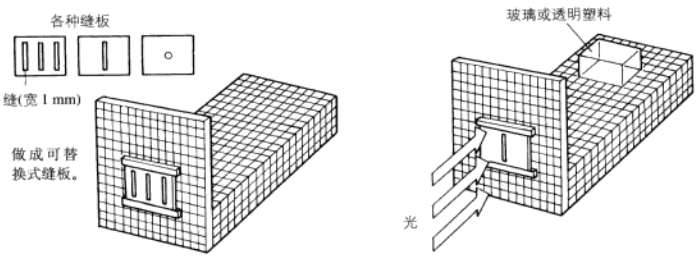
③用食盐水或其他水溶液研究光的传播方式




④研究光源在水中时光的传播方式




**3** 用工程用纸制作光学实验台，研究光在玻璃及塑料中的传播方式




**1** 提示　这里介绍的是用透镜使手电筒发出的光变为平行光的装置，也可以用纸板代替卫生纸的卷芯。

缝的形状、大小、数量等可以根据教学情况改变。

**2** 提示　为了便于观察，用稀肥皂水代替普通水使用，也可以在水中加入少量红墨水或荧光染料。使用简易光源装置时，把房间弄得暗一些再进行实验。

说明　这个实验，能使我们看到光从不同角度照射从而发生折射或反射的现象。对这些现象的观察将成为今后学习的基础。

在②中，用玻璃棒等搅拌水并观察光的传播方式，可使学生确认光与水的流动没有关系，仍然沿直线传播。

③中的实验，是为了换个条件研究前面观察到的现象，思考在水中发生的现象是否也会在身边其他水溶液中发生这个问题而做的。通过这个实验，应使学生认识到“光在任何透明液体中都是沿直线传播的”，这是一个普遍现象。

④中的实验，是为了证明光源在水中时，与光源在空气中一样，发出的光呈放射状直线传播。

**3** 提示　光学实验台应做成在光的反射及折射实验中也能使用、缝板可以替换的样子。也可以不使用光学实验台，而利用简易光源装置，使光直接照射到玻璃或透明塑料上。应使光垂直照射到玻璃或透明塑料等受光面上。倾斜照射时，光线会在界面发生折射或反射，可以利用这一现象引出光的反射及折射内容的学习。

除了玻璃及透明塑料之外，也可以使用学生熟悉的果冻、琼脂之类的透明物品进行实验。

结果　可以知道，光在水和玻璃中是沿直线传播的。

材料与器具

# 88 研究光的传播方式

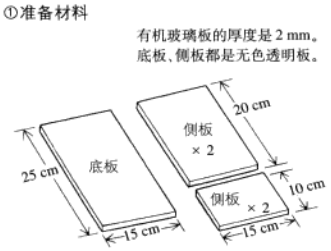
有机玻璃板① 有机玻璃黏合剂 激光光源装置② 香 肥皂③ 烟灰色有机玻璃长方体 光导纤维 铁架台

①无色透明有机玻璃板及没有光泽的黑色有机玻璃板。②半导体激光装置比较好用，气体激光装置也可用于实验。③荧光染料或红墨水也可以。

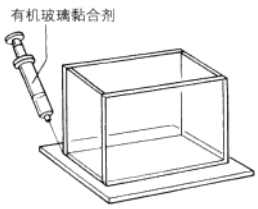
目标 初 能确认光在空气、水、有机玻璃等物质中是沿直线传播的。知道光导纤维能把沿直线传播的光传播到各个地方。

## 1 制作光学水槽

①准备材料

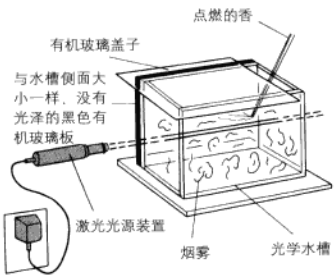



②组装

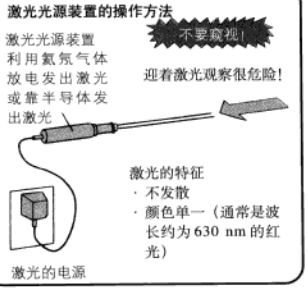



使用有机玻璃黏合剂组装。

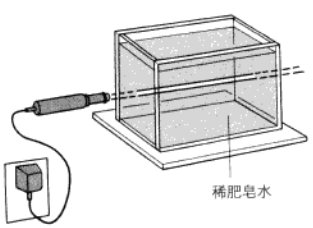
## 2 研究光在空气中的传播方式



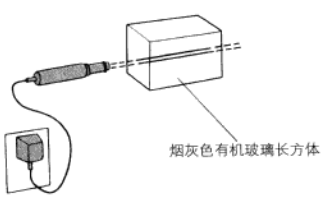

**激光光源装置的操作方法**



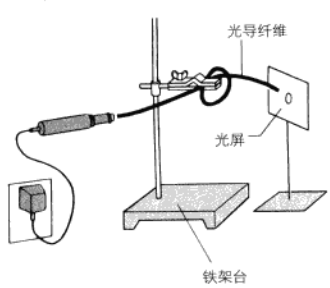

## 3 研究光在水中的传播方式



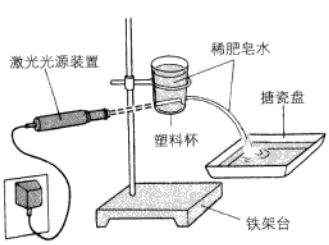

## 4 研究光在有机玻璃中的传播方式




## 5 研究光在光导纤维中的传播方式




## 【参考实验】研究光在流水中的传播方式




用激光照射杯中的水，沿着水流的方向能看到光的传播路径。

**1** 说明 这种光学水槽的背面放有没有光泽的黑色有机玻璃板，以便观察者能更清楚地看到光的传播路径。除了本实验，这个装置也可用于光的反射及折射实验。因为使用激光，所以无须使房内光线变暗。

提示 有机玻璃板的透明度好，又结实，不容易损坏。因为质地硬，切断、加工有点费工夫，但若使用有机玻璃板专用宽刃小刀就容易多了。也可以用柔软、易加工的聚氯乙烯塑料板代替有机玻璃板。有机玻璃板和聚氯乙烯塑料板，无论哪种都可以，但是因为二者彼此很难黏合，所以不要混用两种材料。分别使用专用的黏合剂。将黏合剂用针筒一点一点地注入黏合面。此时，要注意黏合面上不要残留气泡。

注意 因为黏合剂挥发性强，操作时要格外小心。注意不要大量吸入挥发的气体，也不要弄到眼里或嘴里。

**2** 说明 使激光穿过香的烟雾，借助烟雾微粒的散射作用能看清激光的路径。

提示 在光学水槽的背面，放有黑色的无光有机玻璃板，利用它我们更容易看清光的路径。

结果 可以知道光在空气中沿直线传播。

**3** 提示 水槽里装有稀肥皂水。除此之外，也可以使用加入少量红墨水或者荧光染料（如记号笔中的墨水）的水。

结果 可以知道光在水中沿直线传播。

**4** 说明 通过内部的光线发生散射。烟灰色有机玻璃能使我们更容易看清光的路径。

结果 可以知道光在有机玻璃和玻璃中都是沿直线传播的。

**5** 说明 光导纤维和水能将直线传播的光导入各种地方。

提示 在这个实验中，不用涉及光在光导纤维及水的内部重复进行的全反射，仅让学生理解眼睛能够看见的现象就行了。

# 89 制作针孔照相机

**目标** 初

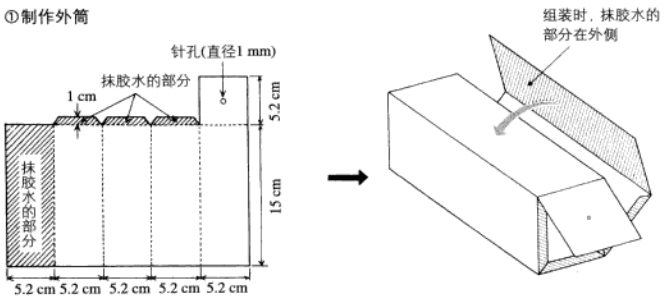
能制作针孔照相机，并用它给周围景物“拍照”。
能说出针孔照相机的成像原理。
能在针孔照相机上装上凸透镜，比较图像的亮度及大小。

**透明胶带　工程用纸　蜡纸①　凸透镜**(直径 13 mm，焦距 65 mm 左右)　**胶合板　纸板　木板　小灯泡**(2.5 V)**8 个　开关 5 个　塑料导线**(5 种颜色)　**电源装置　一次性筷子　橡皮泥　铁丝**(直径 0.3 mm)　**油性记号笔**(4 种颜色)　**剪刀　胶水　锯条**

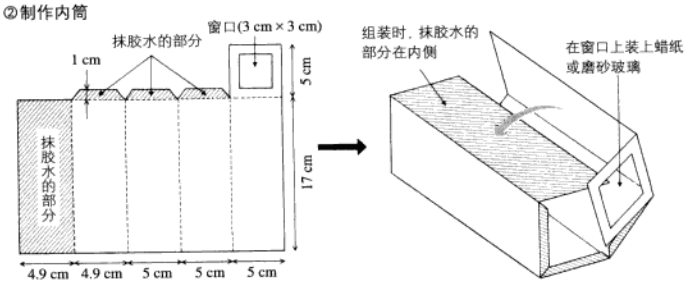
①也可用磨砂玻璃。

## 1 制作针孔照相机

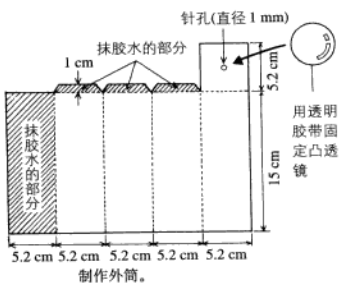
①制作外筒

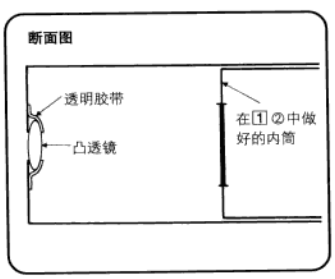



②制作内筒

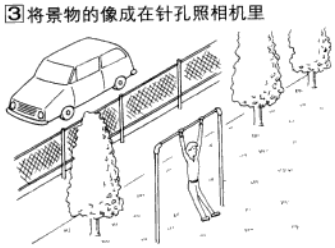


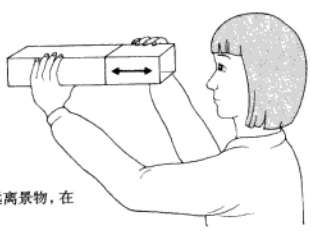

## 2 制作带凸透镜的针孔照相机




## 3 将景物的像成在针孔照相机里





将筒拉伸、收缩、旋转，接近、远离景物，在各种条件下观察像的样子。

1 说明 图上的尺寸，是用一张工程用纸所能做出的一个最大针孔照相机的尺寸。

提示 注意不要弄错抹胶水的部分的内外侧，否则组装照相机的时候，就有可能不能顺利拉动。

参考 为了省事，可以用牛奶盒制作外筒或内筒。其实，不单是牛奶，酒及其他饮料都有盒子。可以选择适当大小的盒子，作为外筒或内筒。

2 参考 不用特意购买凸透镜，使用带一次性照相机的胶卷用完以后剩下的凸透镜即可。不过，拆卸这种胶卷时，因为电池没有完全耗尽，碰到电容器部分就会触电，所以要特别小心。

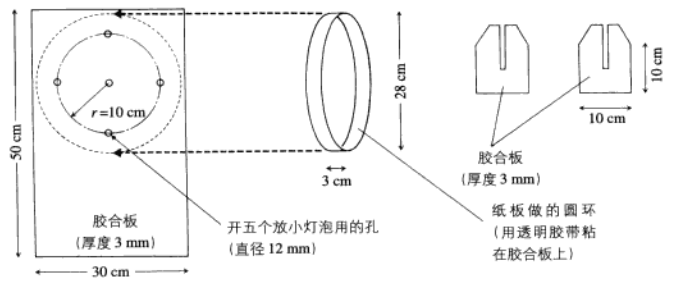
3 提示 观看各种景物，比较装上凸透镜的针孔照相机和没装凸透镜的针孔照相机在像的亮度、大小两方面的差异。另外，旋转针孔照相机的筒，尝试用各种方法改变像的样子。

结果 以各种方式操作针孔照相机观看景物，能得出以下结论：

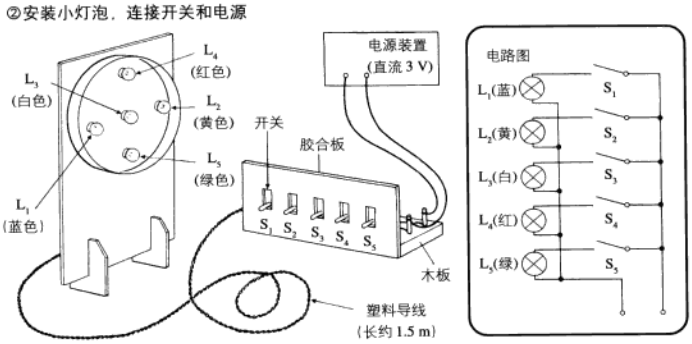
- 景物的像是倒立的；
- 旋转针孔照相机的筒时，像并不跟着旋转；
- 筒越长，像越大；
- 像变大的同时会变暗；
- 带凸透镜的针孔照相机所成的像更加明亮、清晰，而且像也更大。

**4** 制作实验光源

①制作安装小灯泡用的板

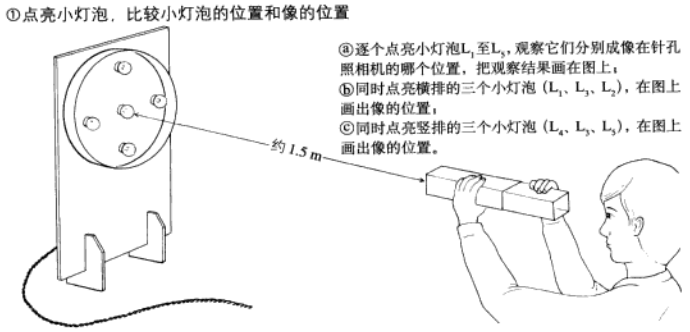



②安装小灯泡，连接开关和电源




**5** 研究被观察的物体（小灯泡）与像的位置的关系

①点亮小灯泡，比较小灯泡的位置和像的位置

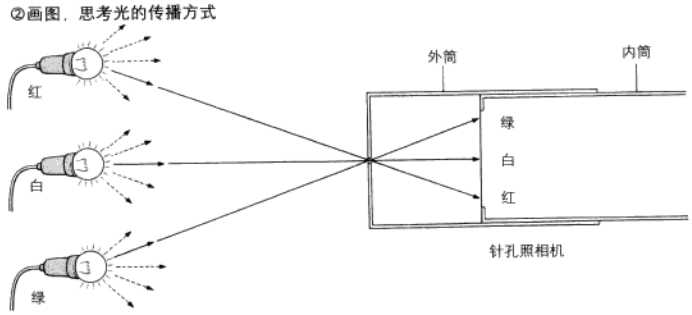



ⓐ逐个点亮小灯泡$L_1$至$L_5$，观察它们分别成像在针孔照相机的哪个位置，把观察结果画在图上；

ⓑ同时点亮横排的三个小灯泡（$L_1$、$L_3$、$L_2$），在图上画出像的位置；

ⓒ同时点亮竖排的三个小灯泡（$L_4$、$L_3$、$L_5$），在图上画出像的位置。

②画图，思考光的传播方式




**4** 说明 这是为了研究针孔照相机的原理（光的直线传播特点）而制作的装置。不是说不做这样的光源就不能进行实验，但做了这样的光源，用起来会更方便。

这种光源的最大优点在于，能通过操作遥控开关，控制远处的小灯泡的亮与灭。因此，实验者能够一边通过针孔照相机观看，一边自己控制小灯泡的亮与灭，有利于学生理解物体与像的位置的关系以及筒的长度与像的大小的关系。

提示 这里使用厚度为 3 mm 的胶合板作为安装小灯泡的板，也可以用厚纸板（如糕点盒的盖子）代替。

纸板做的圆环具有保护小灯泡的作用，最好装上。

可以用油性记号笔给各灯泡着色。

使用直流3 V的电源。这个实验中使用的是电源装置，也可以将两个1号干电池串联起来使用。如果使用两个串联的干电池作为电源，最多能同时点亮三个小灯泡。

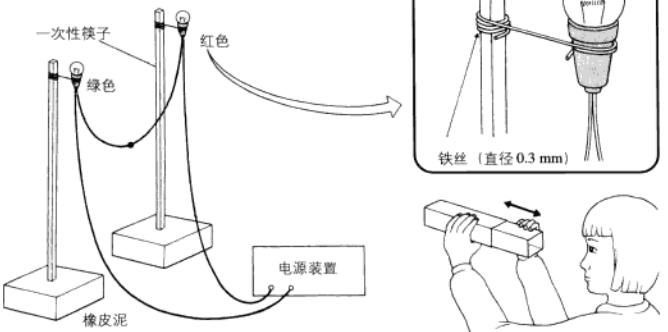
**5** 提示 如果不用在**4**中自己制作的实验光源，可以使用下面**6**中介绍的光源进行实验。小灯泡与针孔照相机间的距离最好为1.5 m左右。

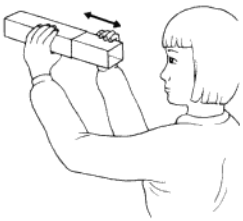
结果 可以知道针孔照相机所成的像与实物上下相反，左右也相反。

说明 从小灯泡发出的光，向各个方向传播，只有通过针孔的光是沿直线传播的且能射在照相机的屏幕上，作为像被观察到。各个小灯泡的像之所以能被分别成在屏幕上，是因为针孔小，光沿直线传播而互不重叠的缘故。

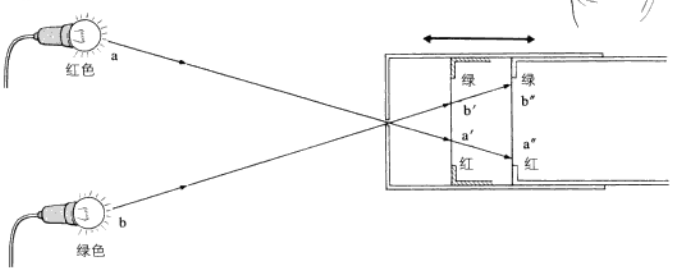
**6** 研究筒的长度与像的大小的关系

①改变筒的长度，观察像的大小的变化



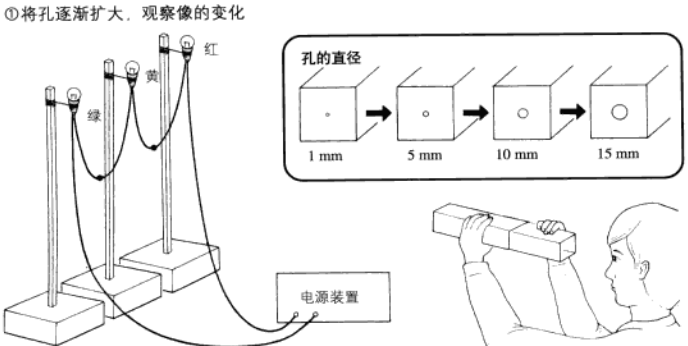



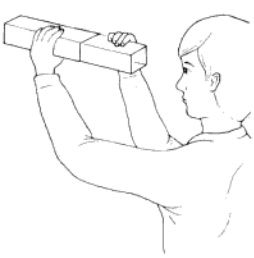
②画图



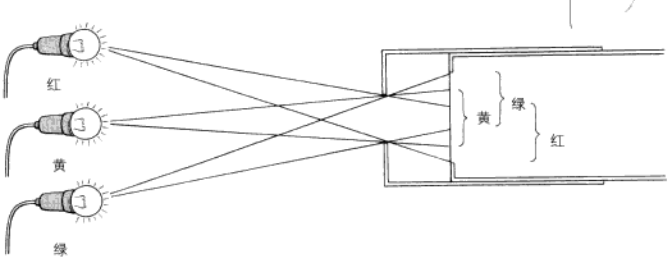

**7** 研究针孔照相机的孔与像的关系

①将孔逐渐扩大，观察像的变化



②画图




**6** 提示 这里没有使用4中自己制作的实验光源，是为了表示用图中所示的光源也可以进行实验。因此，如果自己已经制作了4中的实验光源，当然可以使用该光源。

图中的小灯泡是串联的，这是因为使用电源装置的缘故。如果是将两个干电池串联的电源，则需要并联小灯泡。

改变筒的长度时，可以按照3 cm、6 cm、9 cm这样的规律成比例地改变。要准确测量像的大小是很困难的，但是可以从感性上认识筒的长度与像的大小成正比的关系。

结果 将筒拉长则像变大，将筒缩短则像变小，这说明筒的长度与像的大小成正比。像变大的同时会变暗，变小时则会变亮。

**7** 提示 这里最好使用如图所示的能自由改变小灯泡间距的光源。

小灯泡的间距应小到一定程度。这个实验的目的是用实验的方法证明孔变大时，像会渐渐模糊。因此，如果小灯泡的间距比较大，则即使将孔扩大，像也不会重叠，不能达到实验的目的。

结果 将孔扩大时，小灯泡的像会发生重叠，并且孔越大，重叠的部分越多。

说明 在5中，各个小灯泡的像非常清晰。现在，假设大幅增加这些小灯泡的数量，各个小灯泡就会分别在各自对应的地方形成像。因此，如果将景物看做无数小灯泡的话，就能理解景物通过针孔照相机成像的原理。不过，正如7中看到的那样，要想使景物（无数小灯泡）清晰成像，必须将针孔照相机的孔开得十分小。如果孔太大，各部分的像就会互相重叠，降低像的分辨率。

材料与器具

# 90 光的反射实验

平面镜① 工程用纸 量角器 缝板 光源装置② 水槽 香 肥皂③ 直角棱镜 用铝箔做成的容器④ 凸面镜 凹面镜

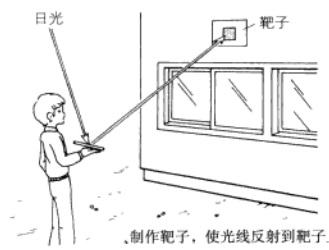
①准备 10 cm × 15 cm、15 cm × 50 cm、3 cm × 5 cm 等三种尺寸的平面镜。②市场上卖的或自己制作的都可以。③红墨水也行。④如用于烤蛋糕的铝箔模子。

目标 小初

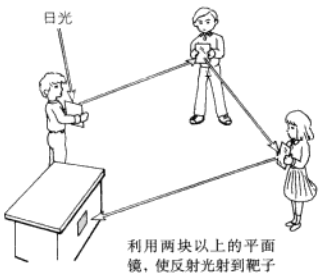
知道光照射到平面镜及水等物体上时会发生反射。
知道光发生反射时，相对于界面，光的入射角和反射角相等。

## 【A】研究光的反射规律

1 利用平面镜使光发生反射



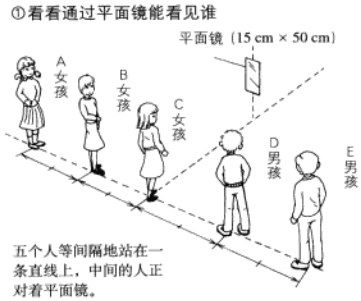

制作靶子，使光线反射到靶子上。




利用两块以上的平面镜，使反射光射到靶子上。

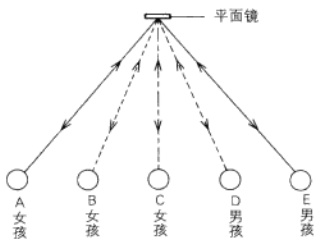
2 思考光的反射规律

①看看通过平面镜能看见谁



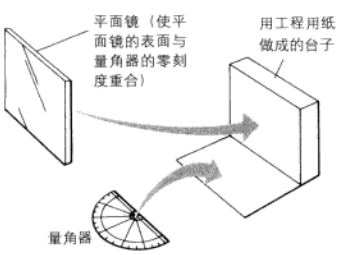

五个人等间隔地站在一条直线上，中间的人正对着平面镜。

②画图表示映在平面镜里的人与看到这个镜中人的人之间的关系

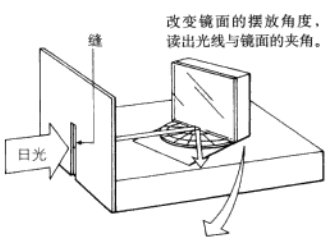



3 研究光的反射规律

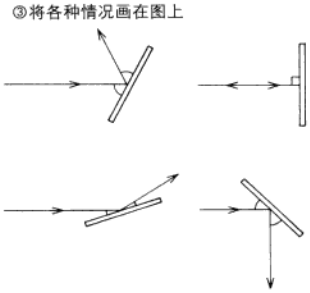
①制作实验工具

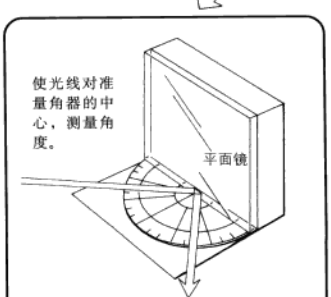



②测量入射光线与镜面的夹角及反射光线与镜面的夹角




③将各种情况画在图上






## 【A】研究光的反射规律

1 提示 靶子最好放在日光不能照射到的地方，这样可以看得比较清楚。

这里的目的是引起学生的学习欲望，让他们产生“光的反射会不会有什么规律?”这种疑问，所以活动不应局限于用光照射靶子，可以动脑筋想出其他简单有趣的游戏。因为同样的原因，最好让每个学生都准备一个平面镜。

2 提示 人数不一定是五个。平面镜稍微离远一点，最好能映出每个人的脸。平面镜的宽度要合适。如果镜面太宽，可以在边上贴上纸条之类的东西，使镜面变窄。

说明 例如A女孩看得见E男孩的脸，E男孩看得见A女孩的脸；B女孩看得见D男孩的脸……如此一来，学生就能想到“是不是光的反射有什么规律呢？”这类问题。将这些发现画成如②中所示的图，就能从中初步感受到光的反射规律。

另外，这里也许会有人对光的反射与人在平面镜里成像这一现象的相关性进行提问。这时，必须让学生认识到：我们之所以能看见本身不发光的人和其他物体，正是因为发光物体发出的光照射在人和这些物体上，反射光又进入我们的眼帘的缘故。

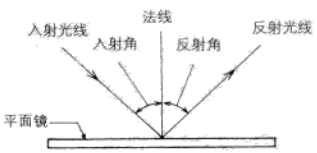
不过，如果在光线比较暗的地方，让每个人拿着手电筒进行实验，就不会产生上面的疑问了。

3 提示 如果用小灯泡取代日光作为光源做此实验，离缝20 cm左右时，能得到接近平行光的光束。

使用手电筒时，有可能得不到清晰的光束，因此需要事先查明原因并尽量用多种方法解决。

结果 可以知道，相对于镜面，光的入射角和反射角相等。

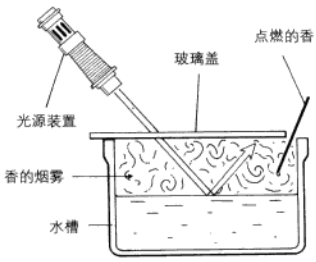
说明 对于初中以下的学生，使用光的射入角度和射出角度这样的表达方式就足够了。准确地说，应该是入射角＝反射角，但在这里不需要阐述。



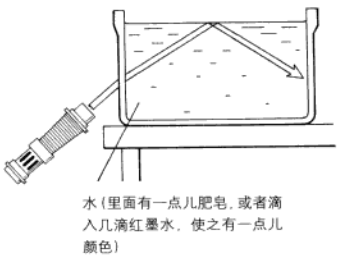
**【B】研究光在什么地方发生反射**

1 对光在水面发生的反射进行研究

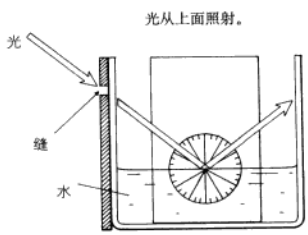
①光从上面照射到水面上

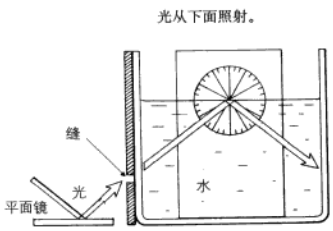



②光从下面照射到水面上



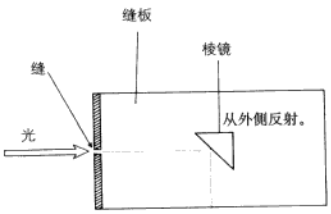

使用光学水槽时



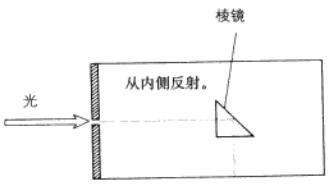




2 对光在玻璃表面发生的反射进行研究

①光斜射到棱镜的表面上

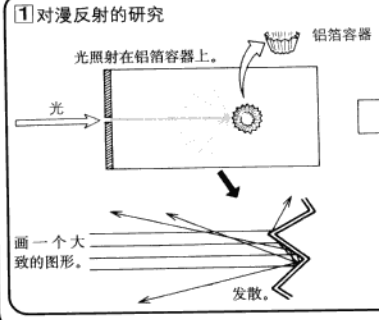



②光垂直地照射到棱镜的表面上



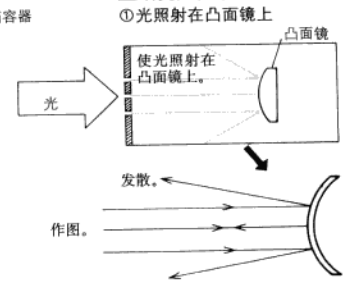

**【C】研究光在非平面界面上的反射**

1 对漫反射的研究

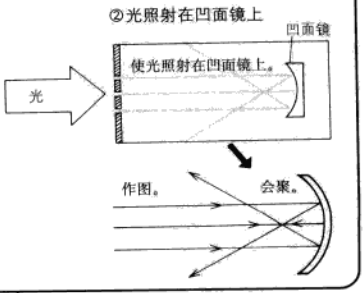



2 研究光在弯曲界面上的反射

①光照射在凸面镜上




②光照射在凹面镜上




**【B】研究光在什么地方发生反射**

1 提示 使光以各种角度照射水面，与用平面镜实验时的发现进行比较。

可以使用市场上卖的光源装置；因为制作简单，也可以自己制作一个（做法参照**【参考】**）。

使用光学水槽时，光线反射前后的大致角度也能测量出来；不过，必须从正侧面观察水槽。

结果 可以知道水面与平面镜一样，能使光发生反射。使用光学水槽时，可以确认光的反射规律与使用平面镜做实验时是一样的。

说明 在水面进行实验时，除了特殊情况，光的一部分不会被反射，而是穿入水面。反射光的强度与透射光的强度的比例因光线的角度不同而不同。这个结论也可以从光线角度不同，反射光的亮度（即强度）便不同的现象中得到证实。

图中省略了透射光线（即折射光线）。

2 提示 除了玻璃之外，还可以使用塑料或其他材料尝试一下。

结果 可以知道，玻璃和塑料等也和平面镜一样，会使光发生反射。

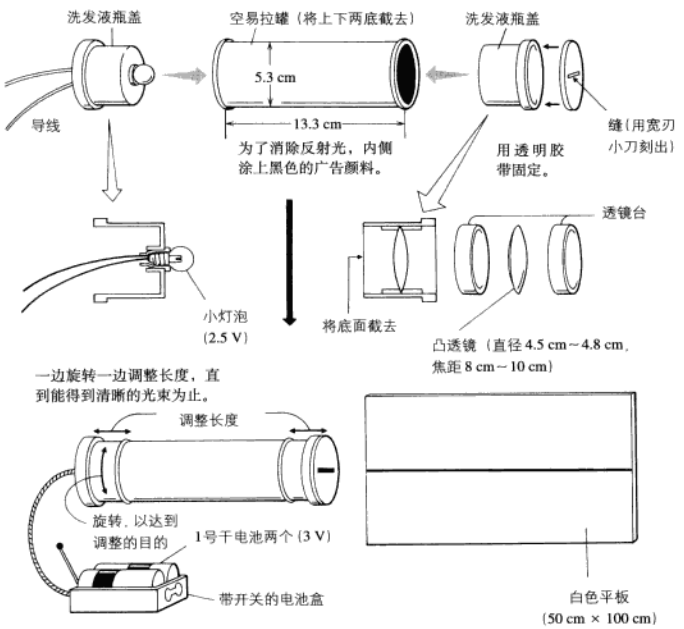
结果 无论光从上面照射还是从下面照射，光在水面都会发生反射。如果是玻璃或者塑料，还能看见光线有时在外侧发生反射，有时在内侧发生反射的现象。由此可知，反射是在两种介质的界面发生的。

**【C】研究光在非平面界面上的反射**

说明 要让学生认识到，无论是漫反射还是在弯曲界面上的反射，都与平面反射的原理相同。特别是关于漫反射，要让学生明白：之所以在亮的地方无论从哪个角度都能看见物体，就是因为射在物体上的光线发生了漫反射的缘故。

**【参考】光源装置的做法**

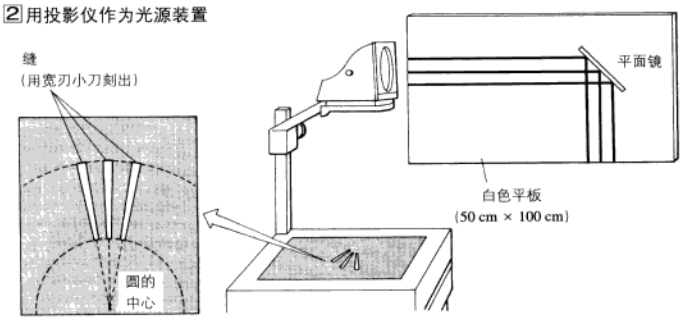
1 用身边随手可得的材料制作光源装置



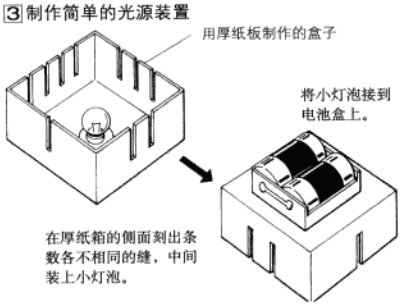




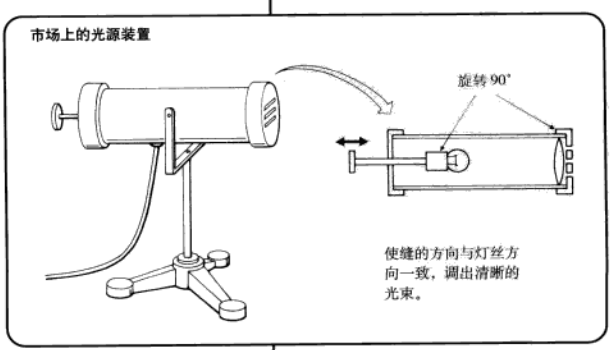
2 用投影仪作为光源装置




3 制作简单的光源装置




**市场上的光源装置**




**【参考】光源装置的做法**

1 说明 洗发液瓶盖是塑料的。搜集刚好能套到空易拉罐上的盖子。

空易拉罐的上下两底可用开罐器截掉。

缝板可以用黑色的塑料板、厚纸板、明信片等制作。

使用带开关的电池盒比较方便。

透镜可以用放大镜代替。

这样制作的光源装置，能用于光的直线传播、反射、折射等实验当中，而且又是用身边随手可得的材料制作的，所以请务必制作一个。

使小灯泡的灯丝与缝平行。灯丝位于透镜的焦点上时，能得到清晰的光束。

注意 如果使用摩托车的大灯或汽车的尾灯等代替小灯泡，的确能得到明亮的光束，但是这种大功率的白炽灯容易因过热而发生危险。如果一定要用这些灯作为光源使用，则必须将筒变粗，或者安装强制冷装置，总之需要加以改造后才能使用。

2 说明 投影仪又大又亮，而且能得到平行光束，在实验中很能派上用场，适用于演示实验。

3 说明 这种光源装置，因为没有聚光透镜，所以光束发散，可以用于定性实验。因为它简单，连小孩子也能制作，所以最好让每个学生做一个。

参考 市场上卖的光源装置光线强，还能将光束根据需要变成会聚光、平行光或发散光。缝和灯丝平行时，能得到清晰的光束。

# 91 用激光光源装置观察光的反射

目标 初

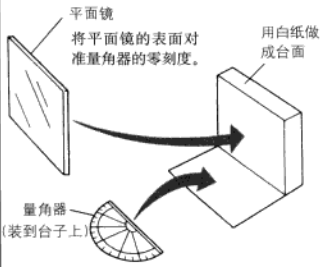
知道光照射到平面镜及水等物体上时，会发生反射。
知道光在两种介质的界面上会发生反射。
知道光在反射时，入射角和反射角相等。

平面镜① 白纸 量角器 记号笔 投影仪专用透明胶片 大头针 激光光源装置 香 肥皂② 光学水槽③ 烟灰色有机玻璃长方体 光学实验槽

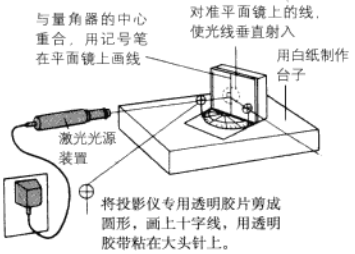
① 3 cm × 5 cm 左右的平面镜。②荧光染料或红墨水也行。③做法参照《88》。

## 1 观察光的反射规律

①制作工具

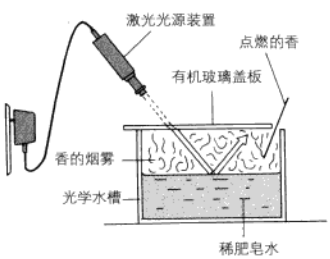



②观察激光照射在平面镜上的角度和从平面镜射出时的角度

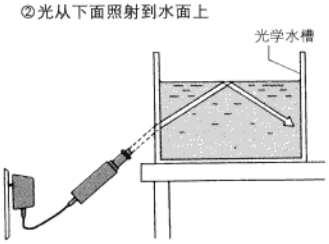



## 2 观察光在水面的反射

①光从上面照射到水面上

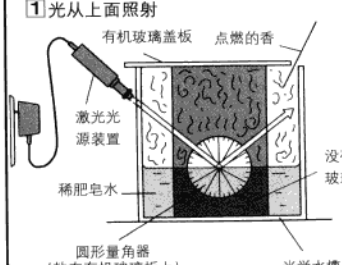



②光从下面照射到水面上

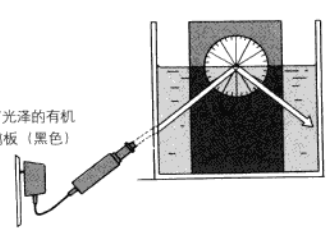



### 【参考实验】用圆形量角器测量角度

1 光从上面照射

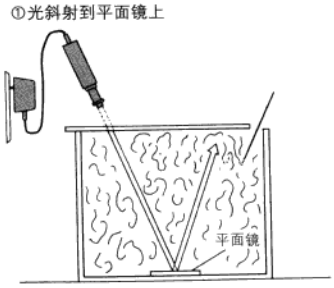



2 光从下面照射

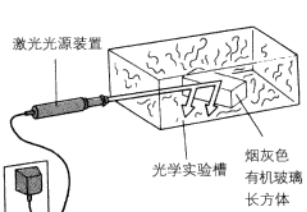



## 3 观察平面镜及有机玻璃长方体对光的反射

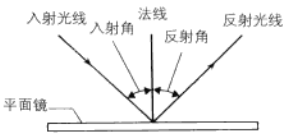
①光斜射到平面镜上




②观察光在有机玻璃长方体中的反射情况




**1** 说明 为了使激光束在空气中不散开，以免光的路径难以看清，应使光照在平面镜中间的线上，把大头针对准十字线的中心插在台子上，测量入射角和反射角。入射角等于反射角，见下图。




**2** 提示 从正面观察水槽，测量角度。

结果 可以知道，与平面镜表面的情况一样，光在水面也会发生反射。

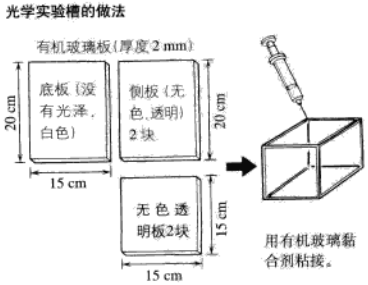
说明 照射在水面上的光线，部分被反射，部分发生折射（后者在左图中被省略了）。随着光的入射角度不同，反射光的亮度也会发生变化。这是因为入射角不同，反射光和折射光的比例便不一样的缘故。

**3** 提示 除了平面镜之外，还可以用玻璃、有机玻璃块、塑料板等物体做实验。使用量角器能够测定入射角和反射角（此时也必须从正面观察）。

结果 可以知道，与平面镜表面的情况一样，光在玻璃、有机玻璃块、塑料板上也会发生反射。

结果 可以知道，无论光从哪个方向入射，在水面都会发生反射。对于玻璃和有机玻璃块来说，光线会在外侧和内侧两个地方发生反射。由此可知，光在两种介质的界面发生反射。

### 光学实验槽的做法



材料与器具

# 92 研究平面镜的功能及成像方式

目标 初

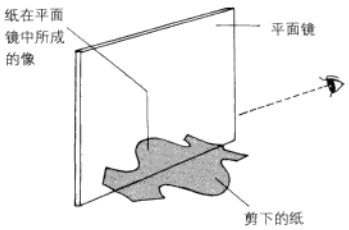
知道物体和像关于镜面对称。
知道利用两个平面镜能成多个像。
能用平面镜聚光。
能制作潜望镜和万花筒。

平面镜① 白纸 剪刀 胶水 透明胶带 蜡纸 橡皮筋 玻璃(3 cm × 20 cm)3块② 黑纸 碎塑料片③ 白板④ 温度计 橡皮泥 伞 铝箔 双面胶

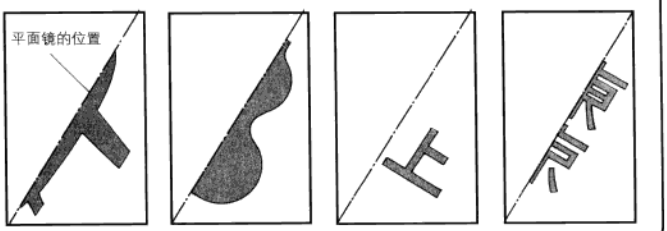
①五个明信片大小的，一个与身高尺寸相同的，一个4.5 cm × 6.5 cm的，一个2 cm × 3 cm的。②平面镜也行。③参照5中的提示。④也可以在木板上贴上白纸。

## 1 研究平面镜的摆放位置与成像的关系

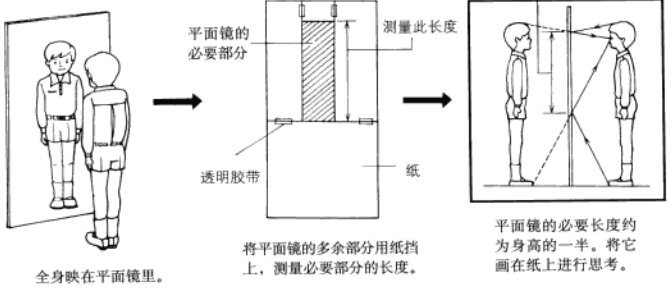
①在剪成各种形状的纸上放上平面镜，观察纸在平面镜中所成的像




②制作各种形状的卡片，想象放上平面镜后将会形成什么样的像，试着画下来




## 2 研究平面镜的大小与成像范围的关系




全身映在平面镜里。

将平面镜的多余部分用纸挡上，测量必要部分的长度。

平面镜的必要长度约为身高的一半。将它画在纸上进行思考。

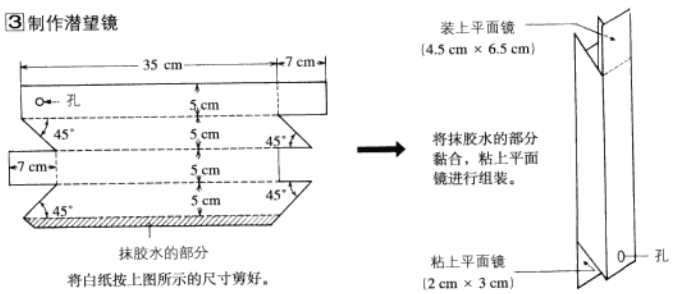
1 ① 提示 将平面镜放在各种位置，做出各种有趣的图形。

② 提示 画好图之后，再将平面镜放上去，检查图画得是否正确。

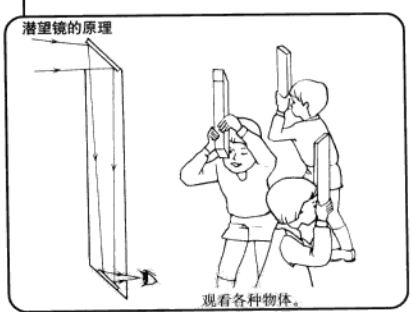
2 提示 将多余的部分用纸挡上时，需要两个人合作进行。用透明胶带粘住。

结果 可以知道，为了保证观察者能从镜中看到自己直立的全身像，镜子的长度至少应为观察者身高的1/2。

## 3 制作潜望镜




将白纸按上图所示的尺寸剪好。



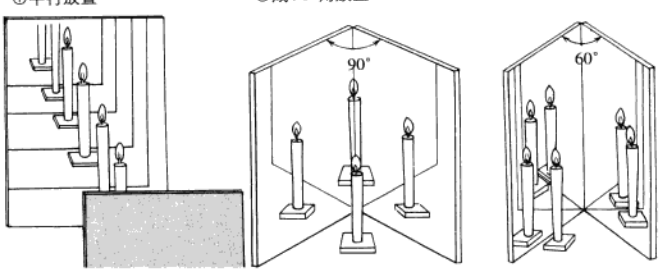

3 说明 这个潜望镜的大小，是用白纸所能做出的最大尺寸。

提示 最好将筒的内侧涂黑。

使用双面胶粘贴比较方便。

## 4 将两个平面镜按各种角度摆放，观察成像情况

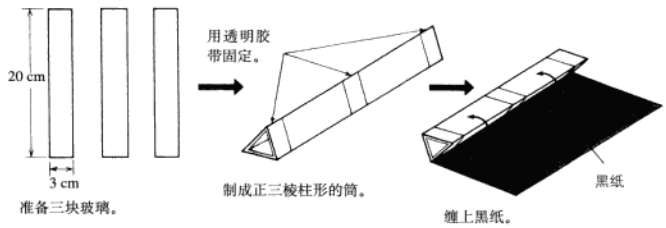
①平行放置 ②成90°角放置 ③成60°角放置




4 提示 平面镜的大小最好跟A5纸相仿。将物体放在各种位置，观察成像情况，画在图上。

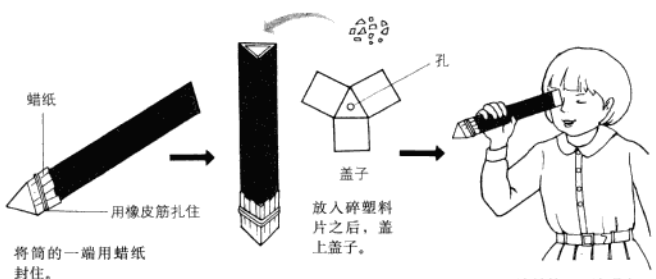
**5** 制作万花筒

①用玻璃制作正三棱柱形的筒，缠上黑纸



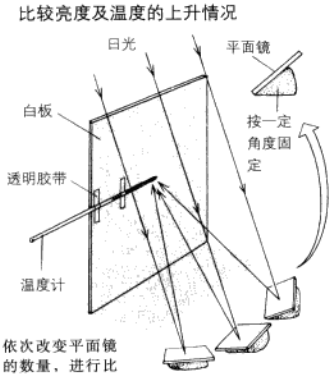

准备三块玻璃。　制成正三棱柱形的筒。　缠上黑纸。

②把碎塑料片放入筒中，将两端封住



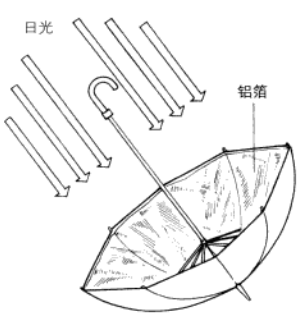

将筒的一端用蜡纸封住。　放入碎塑料片之后，盖上盖子。　一边转筒，一边观察。

**6** 利用平面镜使光线重叠在一起，比较亮度及温度的上升情况




依次改变平面镜的数量，进行比较。

**7** 在伞的内侧贴上铝箔使光线会聚




将手沿着伞柄移动。

**各种镜子**







**5** ①提示 这里用的材料是玻璃，但如果有条件，最好用平面镜制作，因为平面镜所成的像会更清晰。不过，原则上讲，只要是能反射光线的物体都可以，如塑料板（垫板、盒盖等），也可以使用有塑料涂层的厚纸板等。不过，使用塑料胶片等物品的时候，一定要事先压平，否则看不到清晰的像。

② 提示 放入筒里的碎片，如果是彩色透明的，就能形成五颜六色的像；如果是不透明的，则会形成剪影般的像。尽量放入各种碎片，形成各种像，这样会很有趣。比如，可以放入有色的玻璃纸、塑料片、玻璃珠等。总之，应尽量动脑筋想出各种物品放进去。

**6** 提示 放置平面镜和白板时，要注意使日光反射在白板的背面，过一定时间测一次温度。

使用照度计测量光的强度。也可以用太阳能电池，通过读取电流值进行比较。

多次改变平面镜的数量并进行比较。另外，也可以将得到的数据制成图表并加以分析。

说明 镜子的数量越多，亮度越高，温度上升越多。

**7** 提示 按照下列步骤在伞的内侧贴上铝箔：首先，将铝箔放在伞的外侧比一下形状，按照形状剪好；然后，将剪好的铝箔用双面胶贴在伞的内侧。

说明 伞虽然不是抛物面，但在某种程度上能聚光。将手沿着伞柄移动，会发现一个特别温暖的地方。

# 93 光的折射实验 1

目标 初 能够理解光在两种不同的介质中传播时，在界面发生的折射现象。
能用实验再现光的折射现象。

**硬币　塑料管　大注射器　一端可以折弯的吸管　大碗(1 L)　光学实验台①　各种形状的玻璃(或塑料)　光源装置　厚纸　水槽　玻璃盖　香　有机玻璃板黏合剂(二氯甲烷)**

①做法参照【86】。

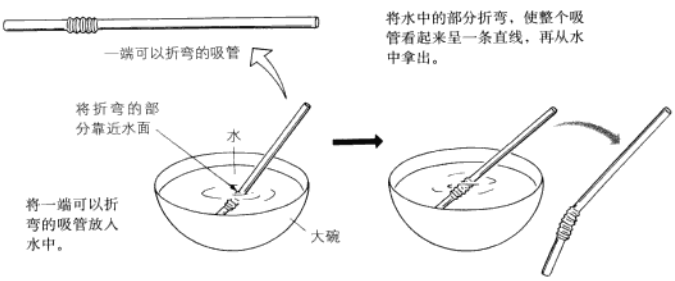
## 1 观察水中的硬币



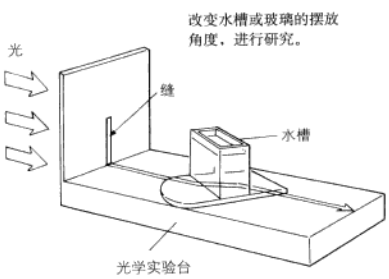

将硬币放入碗中，硬币会落到下面，直至最终看不见了。

在看不见硬币的位置，一边观察碗中的情况，一边不断地往碗中加水。

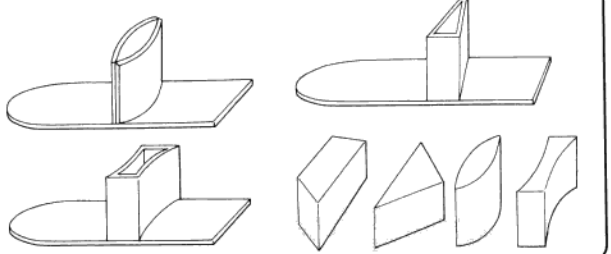
## 2 观察水中的吸管




## 3 将光照射到水槽或玻璃上，观察光的传播方式

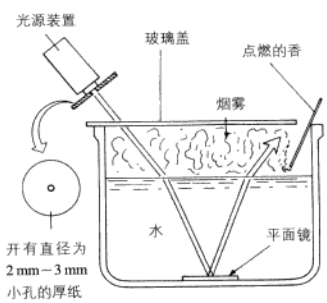



用聚氯乙烯塑料板制作的各种水槽和各种形状的玻璃

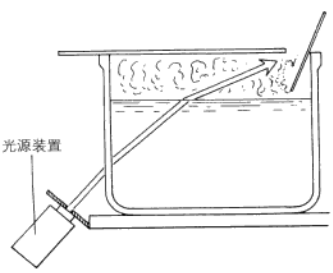


## 4 观察光在空气和水中的传播方式

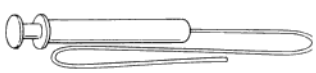
①光从空气射入水中




②光从水中射出




**1** 提示 加水时应尽量平稳。不但加水时要仔细观察，排水时也要仔细观察。为此，加水和排水时，可将塑料管接在大注射器上，这样使用起来很方便，一个人就可以边观察边加水或排水。



说明 往碗里加水后，原来看不见的硬币就变得能看见了。这里只要能引导学生产生疑问就行了。

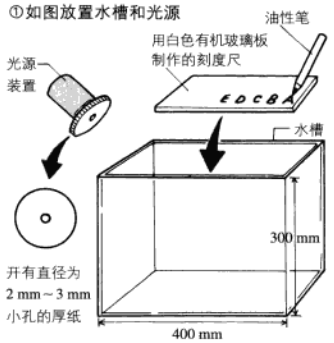
**2** 说明 将直吸管斜着插入水中，能看到吸管在水面发生偏折的现象。此时，将水中的吸管从水面开始往下折，看起来吸管就是笔直的了。但是，如果将这种吸管从水中拿出，就会看到吸管实际上是弯的。
将吸管放入水中时，笔直的吸管看起来是弯的，弯的吸管看起来却是直的，这都是因为光线射入水中时传播方向发生了改变的缘故。

**3** 提示 只要是能射出平行光的光源就行。如果直接使用小灯泡，需要离开缝板20 cm以上。这样，射到水槽上的光才能被视为平行光。
使用各种形状的水槽及玻璃(或塑料)进行研究。
说明 反射光在图中被省略掉了，但在实际活动时应能观察到。(【参考】5中也一样。)

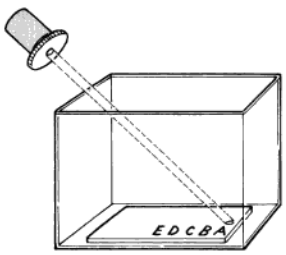
**4** 提示 在水中加入数滴红墨水或少许荧光染料，也可以使用稀肥皂水。使用细的平行光束作为光源。

**5** 观察光斑

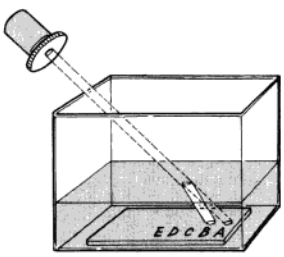
①如图放置水槽和光源



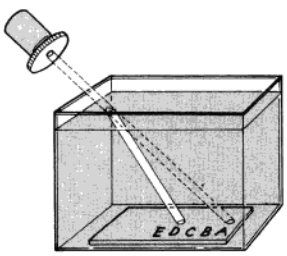

②将光源点亮，使光斑与 A 重合




③往水槽中加水，观察光斑的位置

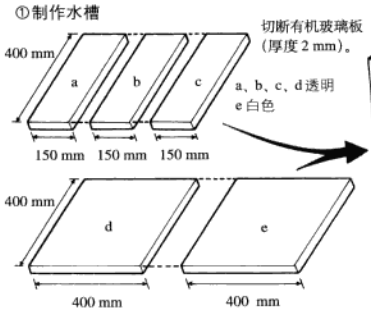


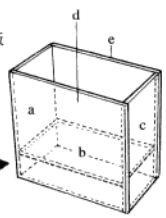

④继续加水




**6** 观察光在空气→水→空气中的传播方式

①制作水槽

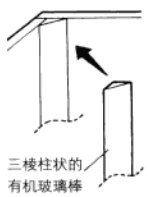



用二氯甲烷黏合。

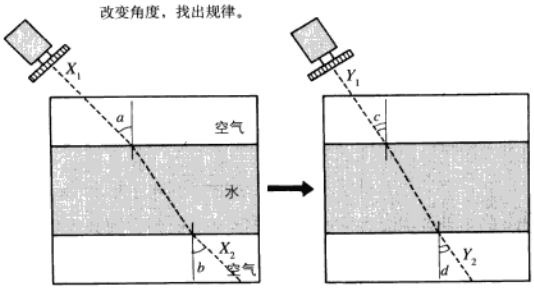
**有创意的加固方法**

将有机玻璃棒粘在拐角处加固。

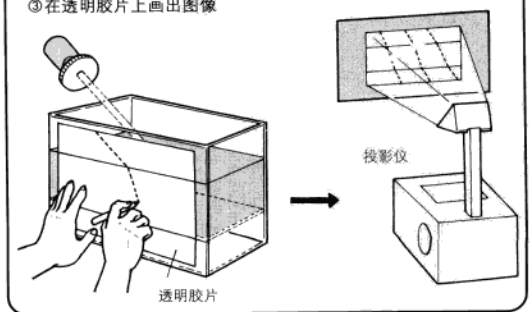



②将水注入水槽，观察光的折射方式

改变角度，找出规律。




③在透明胶片上画出图像




**5** ③ 提示 加水时，应尽量平稳。不但加水时要仔细观察，排水时也要仔细观察。不要改变光源装置的位置和光的入射方向。

结果 加水时，光线会在水面发生折射，可以看到光斑在刻度尺上的位置按照A→B的方向移动。

④ 结果 随着水的深度不断增加，可以看到刻度尺上的光斑位置按照B→C→D→E的顺序发生移动。

**6** 提示 使用这个装置，能够跨越空气→水→空气三层进行实验，所以在做与 5 相反的实验（光从水射向空气）时，不需要将光源装置放入水中。

将二氯甲烷作为黏合剂，用注射器注入。制作这个装置，发给每个实验小组一套。

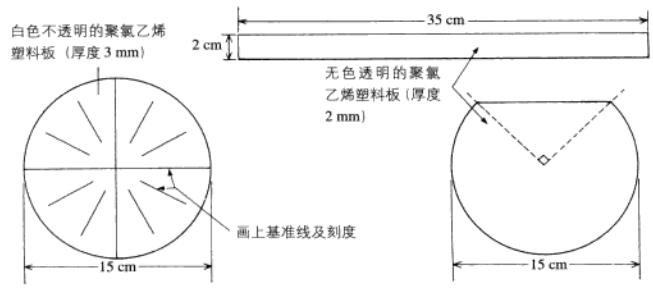
②中的操作结束之后，可将光源装置放在水槽下面，再做一次实验。

结果 $a=b$，$X_1 /\!/ X_2$

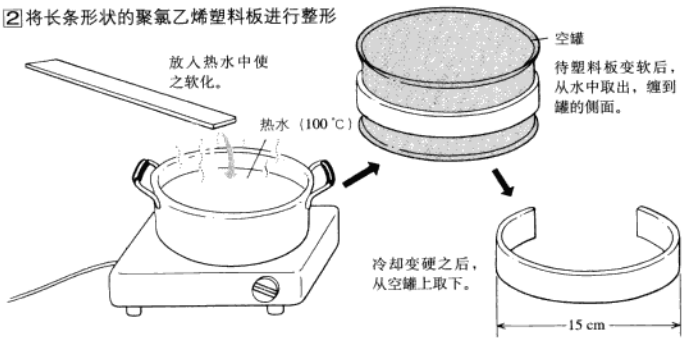
$c=d$，$Y_1 /\!/ Y_2$

**【参考】光学水槽的做法**

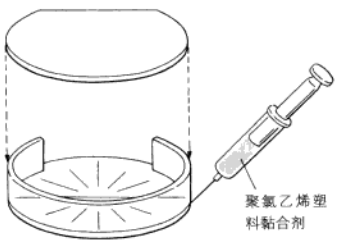
1 裁切聚氯乙烯塑料板



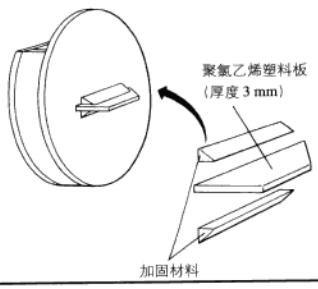

2 将长条形状的聚氯乙烯塑料板进行整形




3 黏合各部分

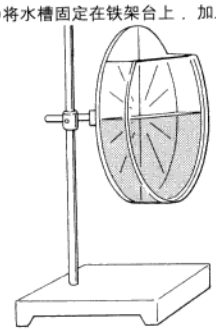



4 黏合合架加固用板

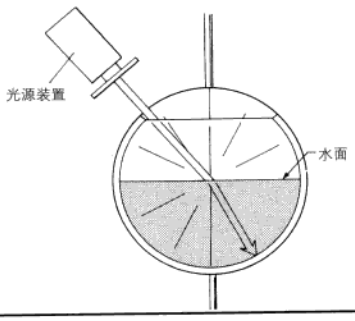



5 观察光在空气和水中的传播方式（实验举例）

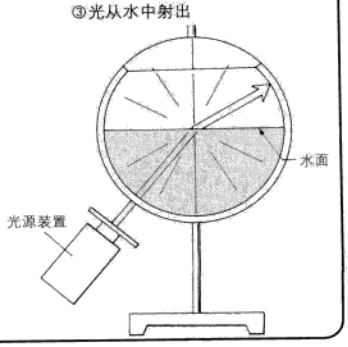
①将水槽固定在铁架台上，加入水



②光从空气中射入




③光从水中射出




**【参考】光学水槽的做法**

说明 这个水槽应具有如下特征：

- 能看清光的传播路径；
- 能看清光的反射和折射的情况；
- 能自由选择光的入射角；
- 某种程度上，能帮助学生定量理解光的反射和折射规律。

1 提示 之所以用聚氯乙烯塑料板作材料，是因为这种材料容易加工。根据具体情况也可以用有机玻璃板。不管使用什么板，都要统一使用同一种材料，否则不易黏合。

可以用锯条、塑料切刀、宽刃小刀等裁切材料。

基准线及刻度的绘制：用锥子刻出槽，再用黑色油性墨水描绘。

3 提示 使用液体聚氯乙烯塑料专用黏合剂。不要涂得过多，使用最小的量。否则，会流到聚氯乙烯塑料板上，弄脏塑料板。

加工时要注意使接触部分紧密黏合，否则会降低牢固程度。

注意 黏合剂会挥发。注意不要大量吸入挥发气体，不要弄到眼睛里，否则会很危险！

5 提示 一定要将水加到基准线高度。

使用从一条缝中射出的平行光作为光源。

说明 使光线通过刻度的中心，以便定量地理解反射及折射的规律。

# 94 光的折射实验2

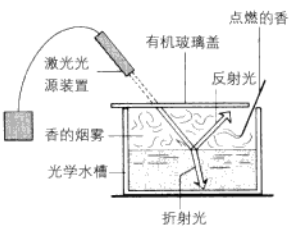
目标 初 知道光在不同介质中传播时，在界面发生的折射现象。
知道光沿着与界面垂直的方向传播时，在界面不发生折射。

激光光源装置　光学水槽①　香　肥皂②　烟灰色有机玻璃长方体　光学实验槽③

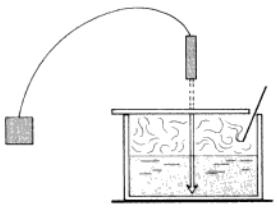
①制作方法参照 88，②荧光染料或红墨水也行。③制作方法参照 91。

**1** 观察光在空气和水的界面上传播的方式

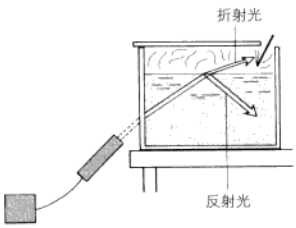
①光从斜上方照射到水面上



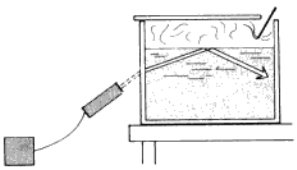

②光垂直地照射到水面上



③光从斜下方照射到水面上

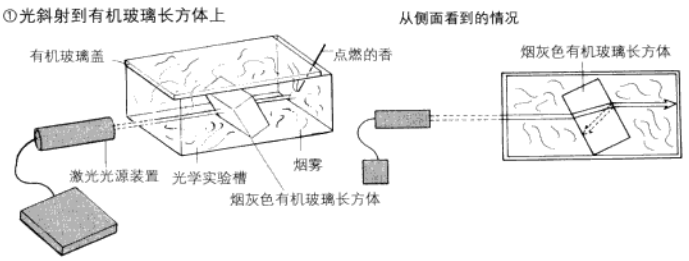



④观察光在水面的全反射现象

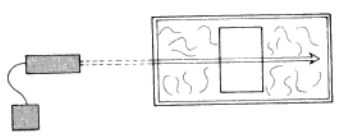


**2** 观察光在空气和有机玻璃的界面上传播的方式

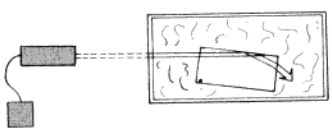
①光斜射到有机玻璃长方体上




②光垂直地照射到有机玻璃长方体上



③观察光在有机玻璃表面发生的全反射现象



**1** 提示 水槽中的水，是稀肥皂水或在水中加入少量红墨水或荧光染料后混合而成的，这样可以看清光的路径。利用量角器能够测出光的入射角和折射角。最好能让学生注意到折射光、反射光及全反射光的强度。

结果 光线斜射到水面上时，会发生折射和反射现象；垂直照射到水面上时，不会发生折射（但会发生反射）。全反射是光从水中入射到水面时发生的。

说明 折射是光斜射到水面上时发生的。光线进入水中时，朝着远离水面的方向偏折；从水中出来时，朝着靠近水面的方向偏折。另外，在水面附近也能观察到光的反射现象。光从水中射出而且入射角超过大约49°时，就不发生折射，而会发生全反射。此时没有光线从水中射到空气中。全反射现象是当光从折射率大的介质射向折射率小的介质时在界面上发生的。

**2** 提示 用少量干冰代替香的烟雾，也可以清楚地看到光的路径。

结果 可以知道光斜射到有机玻璃长方体的表面上时，发生折射和反射；垂直入射时不发生折射。全反射是当光线从有机玻璃长方体中射到有机玻璃与空气的界面上时发生的。

说明 折射与反射是在光线相对于有机玻璃长方体的表面斜着入射时发生的。光线相对于有机玻璃长方体的表面垂直入射时，不发生折射。光在有机玻璃中的折射情况与其在水中的折射是一样的，同时也能观察到反射现象。与水中的情况一样，光在有机玻璃表面也会发生全反射。

结果 可以知道，光在有机玻璃的外侧和内侧两个地方发生折射。从反射实验的结果和这里的结果可以知道，光在两种介质的界面发生反射和折射。当光入射到一种介质和空气的界面上时，可在界面上发生全反射。

# 95 求玻璃和水的折射率

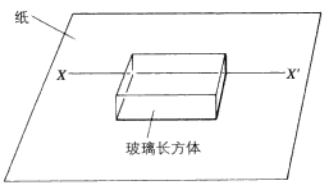
目标 初 能求出玻璃和水的折射率。
知道折射率跟入射角的大小无关。知道使光发生折射的物质不同，其折射率也不同。知道相同的介质具有相同的折射率。

【A】玻璃长方体(或梯形玻璃) 纸 针 铅笔 圆规 直尺 【B】板① 螺钉 针 铅锤 方形水槽 铁架台 螺丝刀 铅笔 圆规 直尺

①平板和细长板。

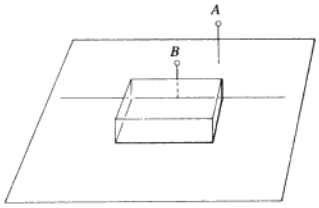
## 【A】求玻璃的折射率

1 将一块玻璃长方体放在桌上铺的纸上



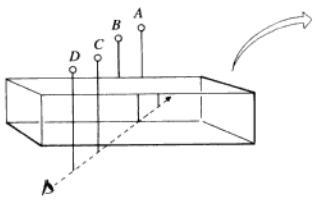

在纸上画上直线$XX'$。放置玻璃时，使长边与之重合。

2 插上针$A$和针$B$

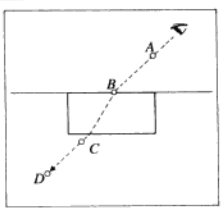



在$XX'$的中点附近插上针$B$，然后在适当位置插上针$A$。

3 插上针$C$和针$D$

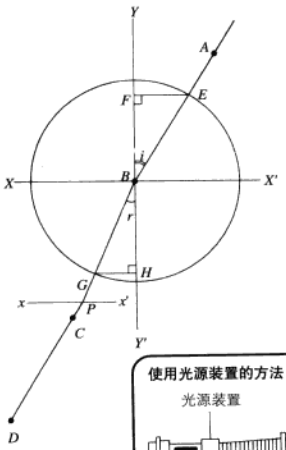



通过玻璃看针$A$和针$B$，在看上去与之重合的地方插上针$C$和针$D$。




确认从针$A$的方向看上去四根针是重合的。从上面看，$AB \parallel CD$。

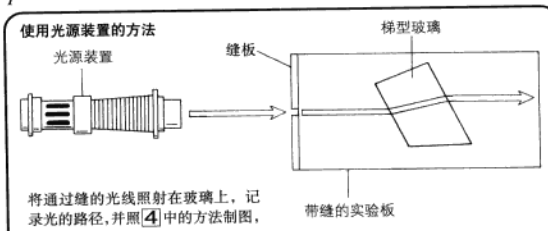
4 拿走玻璃长方体，用制图与计算的方法求出玻璃的折射率




ⓐ在与玻璃长方体的$XX'$边相对的一侧、与纸接触的地方画上直线$xx'$，拿走玻璃和针。
ⓑ用直线连接针$A$与针$B$的针孔。同样，用直线连接针$C$与针$D$的针孔（该线段的延长线与$xx'$的交点为$P$）。然后，用直线连接点$B$和点$P$。（连接点$A$、$B$、$P$、$C$、$D$的线就是光所走过的路径。）
ⓒ通过点$B$，画一条垂直于$XX'$的线段$YY'$。
ⓓ以点$B$为中心，画一个半径适当的圆。
ⓔ将圆与光的路径的交点分别标为$E$、$G$，从两点画$YY'$的垂线，将垂线与$YY'$的交点设为$F$、$H$。
ⓕ测量$EF$和$GH$的长度，求折射率。

$$\text{折射率（垂线的长度比）} = \frac{EF\text{的长度}}{GH\text{的长度}}$$

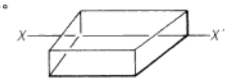
**使用光源装置的方法**




将通过缝的光线照射在玻璃上，记录光的路径，并照4中的方法制图，计算折射率。

## 【A】求玻璃的折射率

1 提示 使用梯形玻璃时，按下面这样放在纸上。




2 提示 插针时，注意针与纸面垂直。

3 提示 因为是按照纸上的针孔制图，所以不需注意针鼻儿部分，而要注意让针脚（插在纸上的）部分看起来在一条直线上。另外，如果眼睛的位置不同，看上去针的位置也会发生改变，所以应尽量将眼睛凑近纸面观看。

参考 将四根针插好之后，无论是从$A$侧看还是从$B$侧看，四根针看上去都是重合的，这种现象叫“光路的可逆性”（按照这个原理，即使将光线的传播方向逆转，光也会按原来的路径传播）。

4 说明 还有一种求折射率的方法，是用量角器测量入射角$i$（$\angle EBF$）和折射角$r$（$\angle GBH$），然后根据下面的公式求出折射率$n$：

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

此时，因为学生还没有学习三角函数，所以用带函数的计算器算出折射率即可。
比较从折射角求出的测量值和从线段$EF$与$GH$之比得出的值会很有趣。

提示 用几种介质改变角度进行实验可以发现，不同的介质有不同的折射率，相同的物质折射率也相同。另外，如果能找到折射率不一样的介质，也可以用相同的条件研究，确认它们的折射率不同。

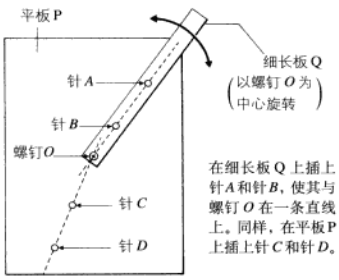
结果 以下是用同一块玻璃改变入射角，测量两次得到的一组数据。

| | $\overline{EF}/\overline{GH}$ | 折射率$n$ | 入射角$i$ | 折射角$r$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.2/0.8 | 1.5 | 26.5° | 17.0° |
| 2 | 2.3/1.5 | 1.5 | 63.3° | 35.5° |

参考 用光源装置和缝板观察如左面方框内的小图所示的光的折射情况，求出折射率。
通过缝板的光照在玻璃上，能清楚地看到光的折射情况。此时如果移动玻璃，就能清楚地观察到折射光线的变化情况。
在光的路径上插上针，用4中的方法可以求出折射率。

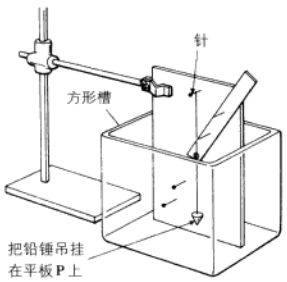
## 【B】求水的折射率

1 在平板P上用螺钉$O$固定细长板Q，插上针$A$至针$D$

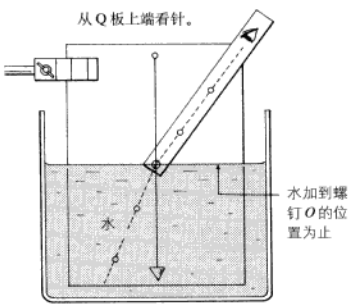



在细长板Q上插上针$A$和针$B$，使其与螺钉$O$在一条直线上。同样，在平板P上插上针$C$和针$D$。

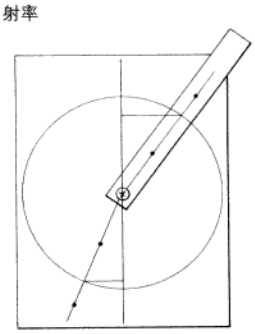
2 将平板P放入方形槽内，用铁架台固定并使之处于竖直状态



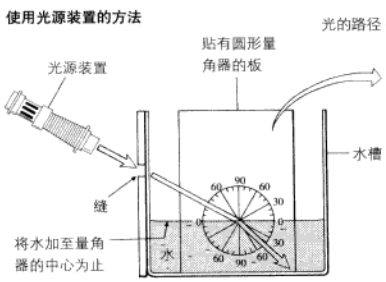

3 把水注入水槽，旋转Q板，使四根针看上去在一条直线上

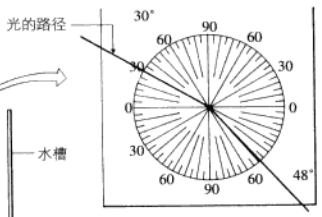



4 从水槽中将板取出，制图计算，求出折射率



**使用光源装置的方法**

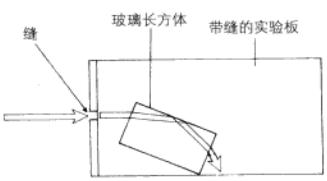



如图所示，使光线穿过细缝照射到水面上，将光的路径记录在板上，或直接测出角度求折射率。

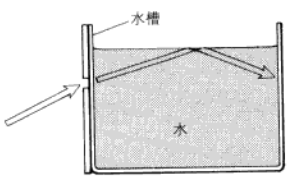
## 【参考实验】观察全反射现象

1 观察光在玻璃中的全反射现象




使光源装置发出的光通过细缝照在玻璃上，移动玻璃，多次改变入射角。

2 观察光在水中的全反射现象




如图所示，将光源装置发出的光通过细缝照射到水面上，多次改变光的入射角。

## 【B】求水的折射率

说明 因为要让水面稳定下来是很难的，所以这个实验比想象的难做。如果没有丰富的操作经验，测量结果也很难准确。把学生分成若干小组（每组人数不宜多），反复实验，待学生熟悉操作方法之后，才能得到比较准确的实验结果。另外，这又是一个便于教师开动脑筋加以改造的实验，例如用其他液体代替水，或者改变角度等。这个实验不是确定射入水中的光的路径的实验，而是确定从水中射出的光的路径的实验，所以需要事先介绍“光路可逆性原理”（参照【A】3中的参考）。

针$C$与针$D$需要插在不会发生全反射的位置上（参照**【参考实验】**）。

1 提示 平板P和细长板Q的大小及螺钉$O$的位置，应在考虑到水槽大小的基础上，参考图纸作出决定。

3 提示 旋转Q板的时候，操作要平稳，不要使水面产生波纹。

4 说明 制图与折射率的计算方法，基本上与【A】4中相同。

提示 改变针$C$和针$D$的位置（即改变角度），多试几次。

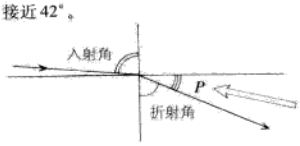
除了水，还可以观察光在各种折射率不同的水溶液中的折射情况。

参考 借助于光源装置和光学水槽，可以做到一边观察左面方框图中画出的光的路径，一边求出折射率。

如果在水中加入少量荧光素或红墨水，可以更加清楚地观察到光的传播路径。到现在为止，像这样利用光源装置和光学水槽并经过精心改造的装置已被做出很多。如果有很多实验小组同时实验，为了得到同样的结果，最好使用同样的装置，按照实验要求进行实验。另外，利用塑料容器等根据目的自制实验装置也是很有趣的。

## 【参考实验】观察全反射现象

说明 当光的入射角接近90°时，折射角会接近一个定值。例如在水中接近49°，在玻璃中接近42°。




因此，从比上图$\angle P$稍微小一点的角度入射的光线（见空心箭头所指的方向），在界面不发生折射，而只发生反射。这种现象叫做全反射。折射率越大的物质，全反射的角度（图中的$\angle P$）越大。

# 96 利用棱镜观察光的色散

目标 初高

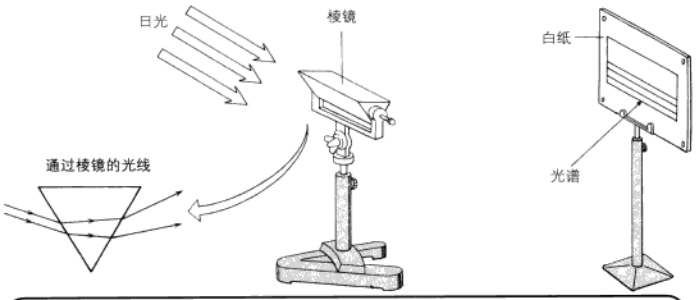
能观察到光通过棱镜后发生色散并形成光谱。
能观察到各种光源发出的光谱具有稳定的分布。

【A】棱镜　光屏①　缝板　滤光片②　有色玻璃纸
【B】各种光源③　各种金属元素的化合物④　盐酸
纯水　烧杯　反应棒⑤　煤气燃烧嘴　直视分光镜

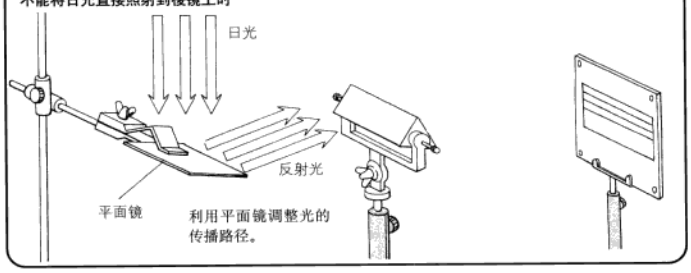
①在硬纸板上贴上白纸做成。②最好是照相机用的。如果没有，也可以用有色玻璃纸或有色玻璃代替。③参照【B】1①。④氯化钠、硫酸铜、氯化钾、硝酸锶、硝酸钙等。⑤铂丝或镍铬丝。

## 【A】观察日光通过棱镜后发生的色散

1 用日光照射棱镜，观察光屏上形成的光谱

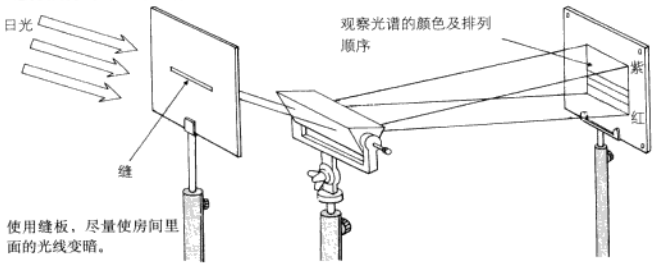



**不能将日光直接照射到棱镜上时**

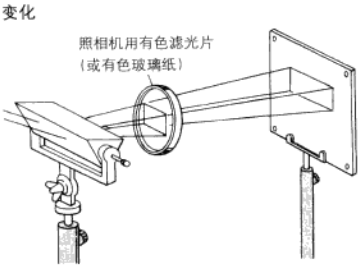



2 仔细观察光谱

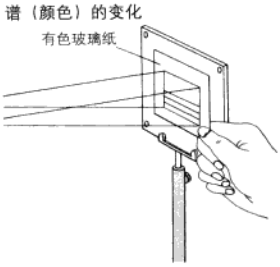
①想办法得到鲜明的光谱，观察光谱的颜色




②在光路中放入有色滤光片，观察光谱（颜色）的变化




③在光屏上放上有色玻璃纸，观察光谱（颜色）的变化




## 【A】观察日光通过棱镜后发生的色散

1 提示 观察在什么地方，能看见什么样的光谱。

最好再观察一下，相对于光屏把棱镜放在什么位置时，能形成颜色鲜明的光谱。

说明 像这样不用缝板而将光直接照在棱镜上，能看见明亮而宽阔的光谱。

2 ① 提示 应尽可能将放置光屏的场所弄得暗一些。

将没有使用缝板得到的光谱与使用缝板时得到的光谱的样子进行比较。

检查学生能够识别光谱上的多少种颜色。用24色的彩色铅笔进行对比是很好的方法之一。

另外，也可以将光屏靠近然后再远离棱镜，仔细观察此时光谱颜色的变化。

在棱镜和光屏之间放上一个凸透镜（或放大镜），使光线会聚在光屏上，观察会形成什么样的光谱，这也很有趣。

说明 由于使用了缝板，光谱会变得更加鲜明，但是与没有使用缝板时相比，亮度要差一些。所以，如果不将其他射到光屏上的光线挡住，就很难观察。光谱之所以变暗，是因为与不使用缝板时相比，入射光量变小了的缘故。

如果将光屏靠近棱镜，只能看到红光及紫光；离远时，却能观察到很多色光。

② 提示 可以用各种颜色的滤光片进行尝试。

说明 放入红色滤光片时，只有红光通过滤光片，其他颜色的光全部消失。

使用有色玻璃纸作为滤光片时，有时会通过两三种与在明亮的地方看到的玻璃纸的颜色不同的色光，与使用照相机滤光片时结果不同的情况很多。

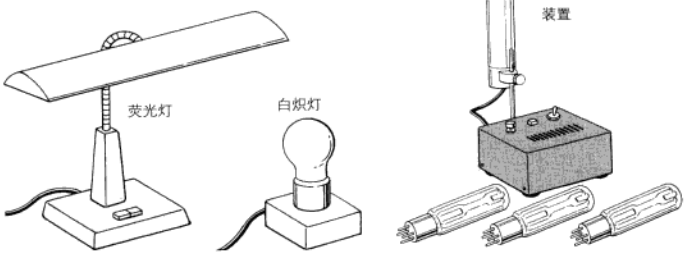
③ 提示 在光屏上面，放上各种颜色的玻璃纸，然后再撤去玻璃纸，比较光谱颜色的变化。

说明 有时，即使使用相同颜色的玻璃纸，如果照射光谱不同，也有可能看到差异很大的颜色。

## 【B】利用分光镜观察光的色散

1 用分光镜观察各种光源发出的光

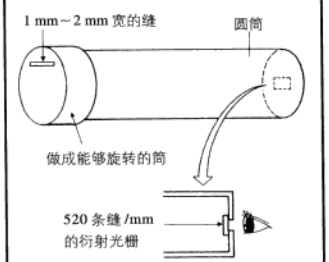
①准备好各种光源




②用直视分光镜观察各种光源发出的光

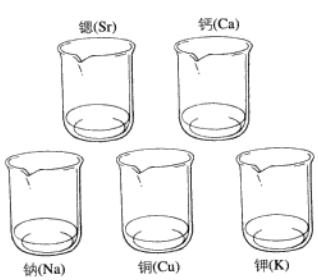



**简易分光镜的制作方法**

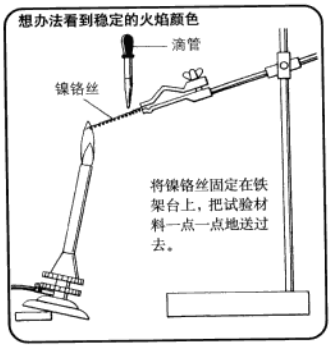



2 用分光镜观察焰色反应发出的光

①制作各种金属元素化合物的水溶液




**想办法看到稳定的火焰颜色**




②用直视分光镜观察焰色反应




## 【B】利用分光镜观察光的色散

1 ① 说明 光源大致上有以下几种：

- 荧光灯
- 白炽灯（如果使用自耦变压器，可以使之发出的光的颜色从红光一直变到蓝白色）
- 车灯（能看见钨丝的白炽灯）
- 高压汞灯（经常用于体育馆、室外、道路照明等）
- 钠灯（用于十字路口、隧道等地方）
- 红外线、紫外线（参照【97】）

为了在实验室观察汞灯、钠灯、镉灯等发出的光，使用线光谱光源装置更方便。

② 提示 将用直视分光镜观察到的光谱与图鉴或者资料中的光谱进行比较，观察各光谱的特征。

用【A】中的方法，把各种光源发出的光投到白屏上，得到光谱。

如果实验室内没有足够的光源，可以用直视分光镜观察实验室外光源的光谱。

参考 如果没有直视分光镜，可以考虑使用简易分光镜。不过，直视分光镜是用棱镜得到光谱的，简易分光镜则是用衍射光栅得到光谱的。

2 ① 说明 作为试验材料的水溶液，是在2 mL纯水中溶解0.5 g左右含有各种金属元素的化合物制成的。

② 提示 将铂丝（或镍铬丝）的尖端做成圆环，使之发出强光的时间尽量长。

每观察完一种试验材料的火焰颜色，都要把反应棒洗干净，否则就需要准备很多反应棒。如果在反应棒上沾上太多的试验材料，就有可能导致试验材料飞溅，或使燃烧嘴上的火焰一直处于有色状态。因此，最好将燃烧嘴稍微向下倾斜一点。

参考 为了让焰色反应持续的时间更长，除了像左侧方框图中介绍的办法之外，还可以采用在酒精灯的芯上蘸上试验材料点燃的方法。此时，需要事先在灯芯上点火，确认没有焰色反应之后，再用滴管滴上试验材料。

说明 对于Ca、Sr、Na、K这些金属化合物的水溶液来说，肉眼很难分清它们的颜色。利用光谱，则很容易看出其间的差异。

材料与器具

# 97 紫外线和红外线实验

棱镜　光屏①　缝板　各种荧光物质②　各种矿物③
热敏电阻温度计　太阳辐射能测量器　热辐射计

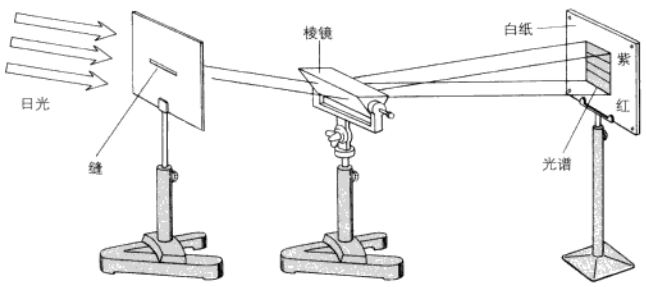
目标 初高

知道除了可见光外，还存在着紫外线和红外线。
知道紫外线射到有些物质上可以使这些物质发出荧光，红外线射到物质上可以引起升温现象。

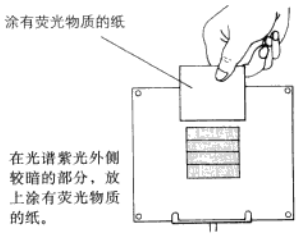
①在硬纸板上贴上白纸制成，②彩色印刷品，荧光物质标本，红墨水，含有荧光物质的洗涤剂，暗室钟等，③水晶，天然宝石，含放射性物质的矿物（铌钇矿、人形石、磷灰铀石等，采集方法参照 173 ）。

1 观察日光中的紫外线和红外线

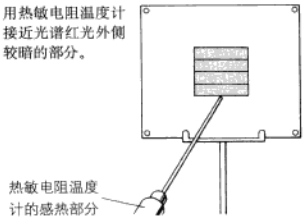
①将日光照射到棱镜上，在光屏上映出光谱




②观察光谱的紫外线部分




③观察光谱的红外线部分

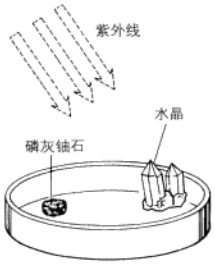



2 利用紫外线光源，观察物体受到紫外线照射时的情况

①照射到手上




②照射到矿物上




③照射到荧光物质上

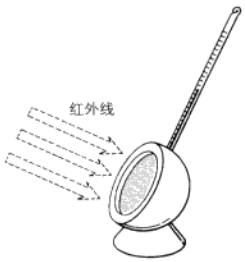



3 利用红外线光源，观察物体受到红外线照射时的情况

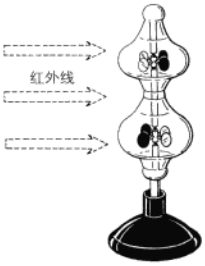
①照射到手上




②照射到太阳辐射能测量器上




③照射到热辐射计上




说明 通过1中的实验，可以确认在可见光谱之外仍存在光谱。那些肉眼看不见的光谱，是由紫外线和红外线产生的。在充分理解这些知识之后，再进行2、3中的实验。

1 ① 提示 不能将日光直接照射到棱镜上时，使用平面镜调整光的传播路径。

② 提示 可以将彩色印刷品上的白色部分作为含有荧光物质的纸来使用。

说明 荧光物质受到紫外线照射时会发光。

③ 说明 尽管幅度很小，但是红外线确实能使温度上升。

2 ① 提示 将遮住紫外线与不遮住紫外线时的情况进行比较。

② 提示 除了水晶、铀矿之外，还可以用各种天然宝石及含有放射性物质的矿物进行实验。

③ 提示 除了荧光物质标本之外，还可以用红墨水、纸质上乘的彩色印刷品、含有荧光剂的洗涤剂、自行车上的反光板、暗室钟等各种荧光物质进行实验。

3 ① 提示 将遮住红外线与不遮住红外线时的情况进行比较。

③ 提示 使用可吸收红外线的胶片等遮住红外线，与照射红外线时的情况进行比较。

提示 2 和3中所用的紫外线光源和红外线光源，如果是实验或医疗用的，其可见光部分会比较少，但是一般装置发出的光中会有较多属于可见光部分的红光和紫光。因此，使用一般光源时，很难理解实验结果是由紫外线及红外线造成的，这点需要注意。

注意 不要直视紫外线光源和红外线光源发出的光。另外，也不能长时间使用。

参考 使用红外线胶片以及能直接感受红外线或紫外线的半导体元件进行实验，也是很有趣的。

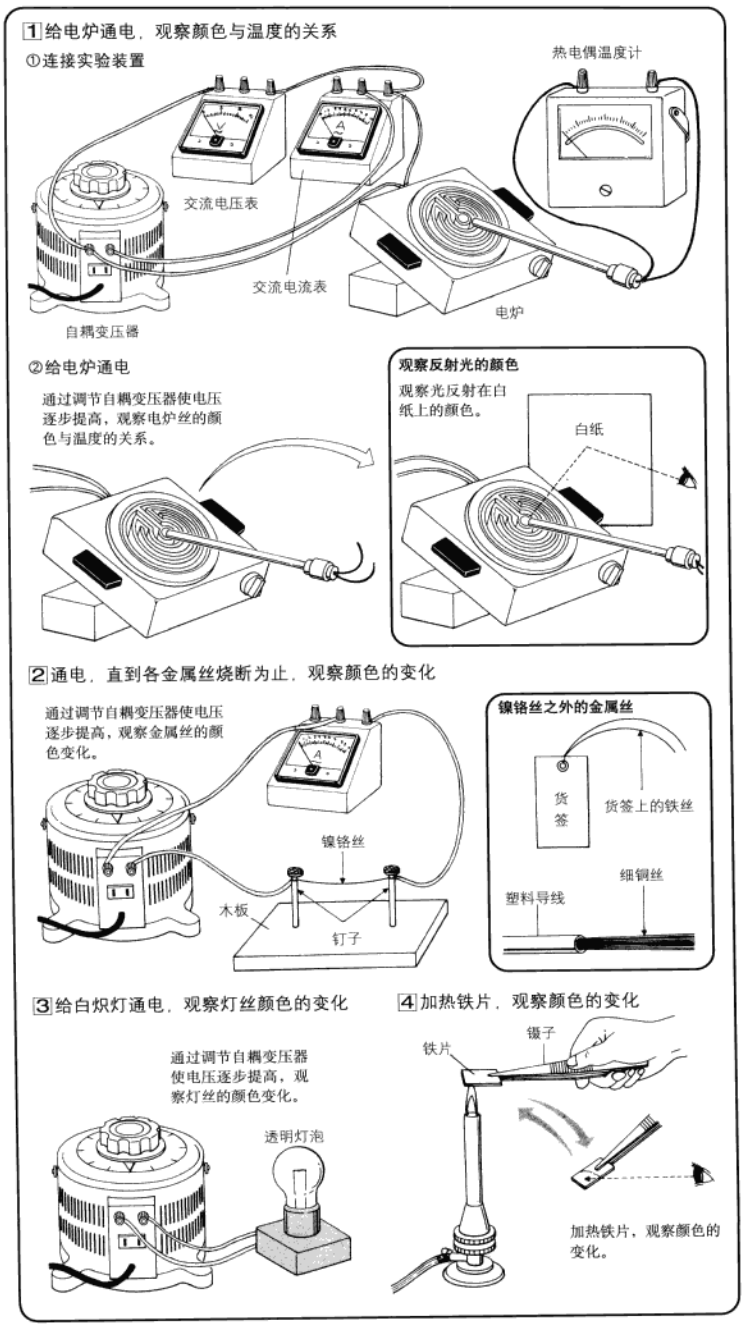
使用红外线胶片时，首先准备几台装有红外线胶片和普通胶片的照相机；然后，在相同的条件下，同时对被研究的物体拍照，冲出胶片进行对比。

# 98 观察光的颜色与温度的关系

**目标 初高** 通过观察能够发现物体在高温条件下会发光，且光的颜色与温度有关。

**电炉　镍铬丝　细铁丝①　细铜丝②　透明灯泡　铁片　自耦变压器　交流电流表　交流电压表　导线　热电偶温度计③　镊子　木板　钉子　白纸**

①货签上的铁丝，②塑料导线内的铜丝，③没有也没关系。




1 提示 光的颜色与温度及电功率（电压×电流）之间存在联系。不需要定量理解这些关系，只要定性了解就行了。

① 提示 将热电偶温度计插在电炉丝之间。因为不需要定量理解，所以即使没有这种温度计也没关系。

② 提示 观察电炉丝的颜色时，还可以靠近白纸，对反射光进行观察。

也可以用简易分光镜等工具对电炉丝发出的光谱进行观察。

除了升温情况，还要对降温时的情况进行仔细观察。多次重复这种操作。

说明 电炉丝的温度升高时，颜色变化的顺序为：暗红→鲜红→黄。

2 提示 仔细观察金属丝在烧断前一瞬间的颜色。改变金属丝的长度，多试几次。

说明 金属依次发热，发光，并很快烧断。颜色的变化及烧断的时间跟金属丝的长度无关，由电流的大小决定。忽略散失到空气中的热量来考虑焦耳热，会更容易理解上面的结论。

材质不同的金属，烧断时的颜色多少有点差异。根据铁丝与铜丝烧断时的颜色，以及铁的熔点约为 1 500 ℃、铜的熔点约为 1 100 ℃这些情况，能够推出 1 100 ℃～1 500 ℃附近的光的颜色与温度的关系。

3 提示 可以使用渔业专用透明白炽灯及汽车的前灯等各种白炽灯进行尝试。

4 参考 将电源装置连接在小灯泡上，调节电压，使小灯泡的灯丝颜色与加热后的铁片颜色一样，这就是用光高温计测量温度的原理。也就是说，使小灯泡的灯丝颜色与要测量温度的物体的颜色一致时，就能把流经小灯泡的电流大小转换成温度的高低。

参考 每个人对颜色的感受会有所不同，同时，室内的亮度也会对其产生影响。不过，大致说来，颜色与温度的关系如下表所示。

| 暗红色 | 红　色 | 暗橙色 | 橙　色 | 黄　色 |
|---|---|---|---|---|
| 600 ℃ | 700 ℃ | 800 ℃ | 900 ℃ | 1 000 ℃ |

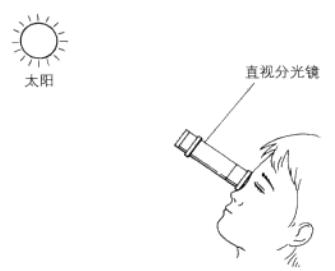
# 99 观察光的颜色

目标 高 知道哪些颜色的光被反射，哪些颜色的光被吸收，由此判定物体呈何种颜色。

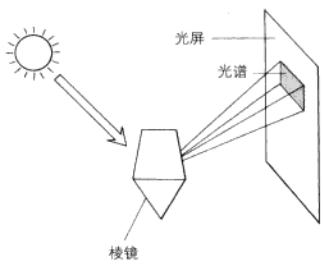
直视分光镜 棱镜 光屏① 线光谱光源装置 钠灯
分光镜② 厚纸板 彩纸③ 半透明滤光纸(红，黄)④

①如果有白色墙壁，不用光屏也可以。②用直视分光镜也可以。③尽量用各种颜色的彩纸，最好含有金色和银色。④因为在戏剧舞台上要用到，所以可以到剧院去要。如果没有，玻璃纸也可以。

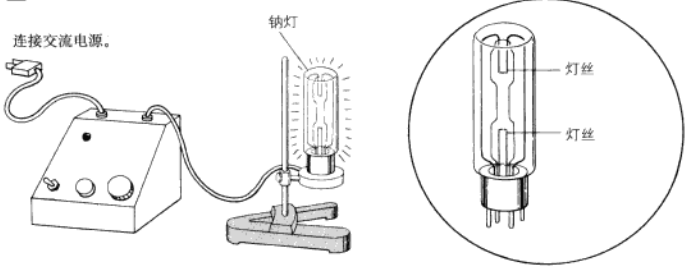
1 用直视分光镜观察太阳发出的白光



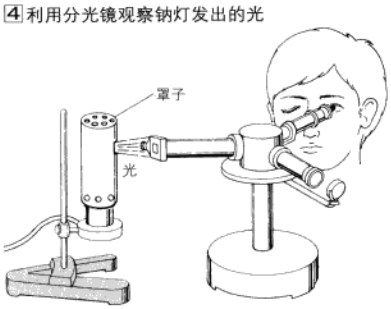

2 将白光照在棱镜上



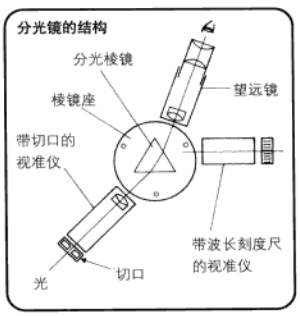

3 将线光谱光源装置连接到钠灯上



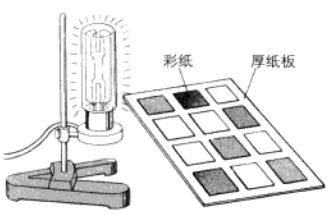

4 利用分光镜观察钠灯发出的光




分光镜的结构

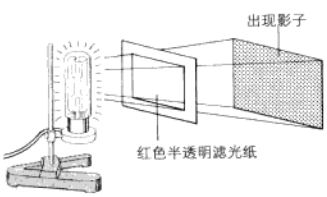



5 用钠灯发出的光照射彩纸




在厚纸板上贴上各种颜色的彩纸。

6 将钠灯发出的光照在半透明的滤光纸上




用黄色半透明滤光纸也行。

1 说明 能看到彩虹般的光谱。由此可知：白光并不是没有颜色的光，而是由各种单色光混合而成的光。

2 说明 像这样将日光直接照射在棱镜上，也能得到光谱。由此可知：物质对光的折射率因光的颜色不同而不同。

教师可以借此机会向学生解释彩虹是如何形成的。

3 提示 当然，以下的实验（3至5）不能在白光下进行，而必须在暗室里做。

说明 钠灯最初发出混有紫色的光，灯的温度升高以后则会发出黄色的光。

待灯发出黄光之后，观察其他人的衣服的颜色、脸的颜色，等等。注意脸的颜色及衣服的颜色等都会发生变化。

教师可以介绍钠灯被用于隧道照明的知识。

4 提示 可以用直视分光镜代替分光镜。

说明 这时，跟白光照射的情况不同，只能看见黄光。由此可知，钠灯发出的光是黄色的单色光。

5 提示 记下贴在厚纸板上的彩纸的颜色之后，在阳光下再次观察。

说明 颜色相差很大，一定会很惊讶吧？在钠灯下观察时，黑色看上去仍是黑色，黄色和白色看上去却都成了黄色，这是因为黑纸吸收所有颜色的光，白纸反射所有颜色的光，黄纸只反射黄光的缘故。另外，其他颜色的纸都会呈现出完全不同的颜色。例如：红纸仅反射红光，绿纸仅反射绿光，其他颜色的光全部被吸收。另外，银色的物体(如某些金属)反射所有照射在其上面的光。

6 说明 如果用红色半透明的滤光纸，则钠灯发出的光不能通过，会出现影子；如果改用黄色半透明的滤光纸，则能通过。这是因为红色半透明的滤光纸只能通过红色的光，黄色半透明的滤光纸只能通过黄色的光，其他颜色的光全部被吸收。

提示 可以用白炽灯做同样的实验，比较一下。

参考 钠灯发出的光的波长是 550 nm。

# 100 凸透镜焦距的测定

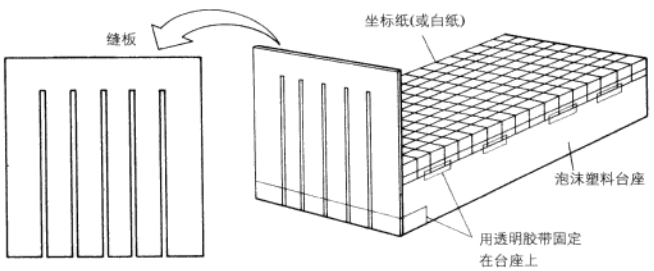
**目标** 初 能看出平行于凸透镜主光轴的光穿过凸透镜之后会聚于一点。
能测定凸透镜的焦距。

**材料与器具**

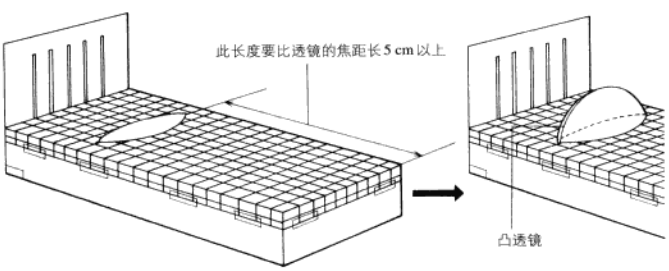
厚纸板 泡沫塑料板① 坐标纸② 透明胶带 剪刀
裁纸刀 直尺 凸透镜 木块

①表面平坦，厚度大于凸透镜的半径。②如果没有，用白纸代替也可以。
＊【其他方法】除了上述物品，还需要铁架台、黑纸、白纸、图画纸、办公用打孔器、有色玻璃纸(红、黄、绿、蓝等四种颜色)。

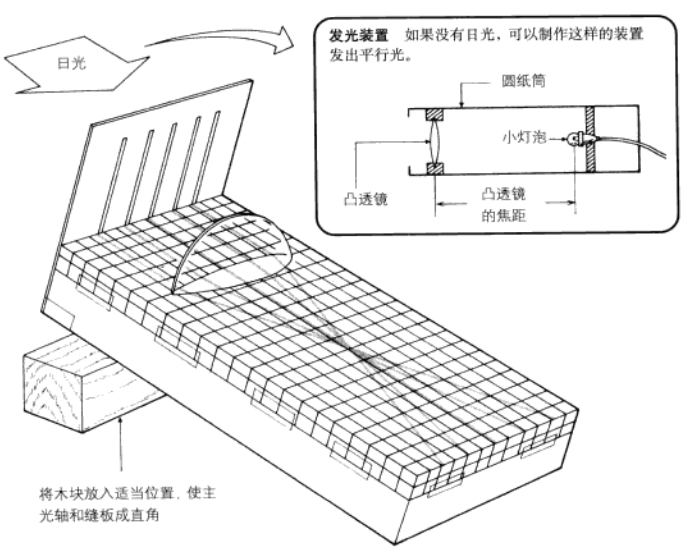
1 在厚纸板上开缝，安装在泡沫塑料台座上




2 在台座上开一个能放入半个凸透镜的孔，放入透镜




3 使日光照在上面，记录光走过的路径，读取从透镜中心到光线会聚点的距离




**发光装置** 如果没有日光，可以制作这样的装置发出平行光。




1 提示 缝与缝间隔8 mm，每条缝宽1 mm左右。以此为标准，根据透镜的大小，适当改变缝的宽度及条数。用裁纸刀开缝。

2 提示 透镜与缝板平行固定。用来固定透镜的孔，不一定要很精确地按照透镜的形状来开，只要能使透镜的一半牢固嵌入即可。

3 提示 使穿过中间那条缝的光线通过透镜的中心。

将缝板后面调暗一点会更加便于观察光的路径。

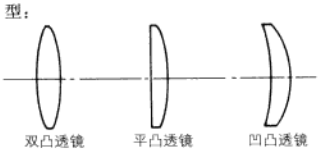
为了记录光的路径，可以先在光线的两端做上记号，然后取下透镜，用直尺连接两端的记号画线。

从透镜中心到光线会聚点的距离，可以利用坐标纸直接读取，也可以用尺量出。

注意 将光线照射在透镜上时，要小心，不要烧焦物品或刺伤眼睛。

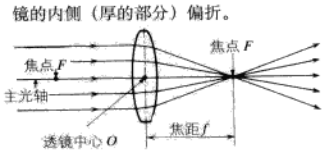
说明 穿过透镜的光，折射后会聚于主光轴上的一点，这个点叫做焦点。从透镜中心到焦点的距离，就是焦距。

参考 **凸透镜** 在透镜当中，中心部分比边缘部分厚的叫做凸透镜。凸透镜有以下三种类型：




考虑透镜的厚度与直径的关系时要注意：对于两个透镜来说，即使它们的中心部分厚度一样，如果直径不同，也不能叫做厚度相同的透镜。

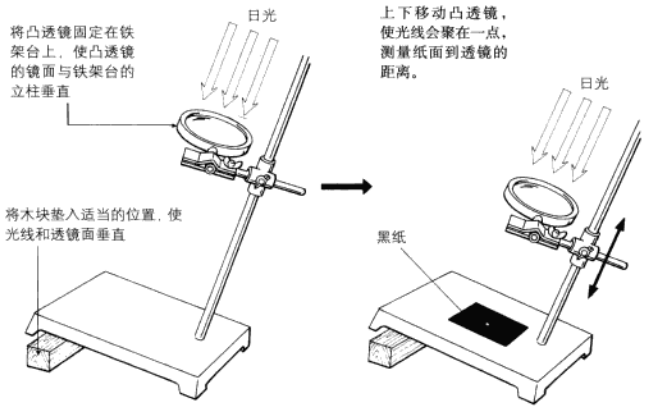
**焦点和焦距** 光线通过凸透镜后，会向透镜的内侧（厚的部分）偏折。




透镜的厚度不同，折射情况就不一样：透镜越厚，焦距越短；透镜越薄，焦距越长。焦点位于透镜两侧，两侧的焦距相等。

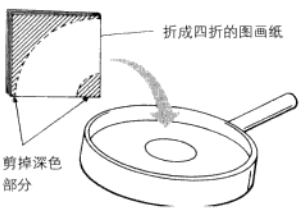
**【其他方法】用铁架台测定的方法**

1 会聚日光，使黑纸烧焦，测量此时纸到透镜的距离

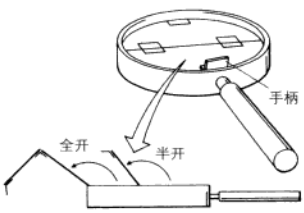



**遮住凸透镜一部分的纸罩的制作方法**

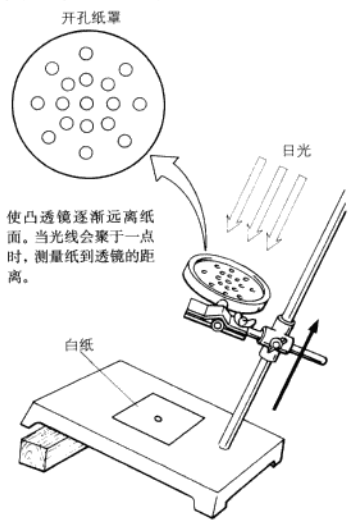
ⓐ将图画纸折成四折，如图所示剪好，贴在透镜的内侧。




ⓑ用图画纸制作可以自由调节成半开与全开状态的罩子，放在透镜的内侧。

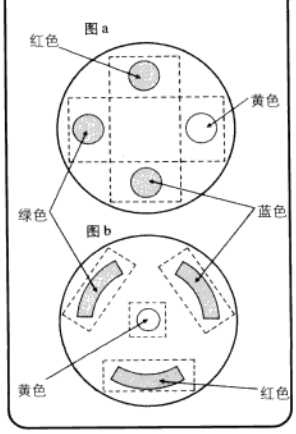



2 在凸透镜上放上纸罩，使光线会聚，测量此时纸到透镜的距离




**带颜色的纸罩**

用裁纸刀如图所示(a或b均可)操作，挖孔并贴上有色玻璃纸。




**【其他方法】用铁架台测定的方法**

说明 如果采用前一页介绍的方法，则需要自制缝板及泡沫塑料台座等实验器具。这里，我们介绍一种更为简单的方法。

这种更为简单的方法如1所示，但也可以像2中那样，把1中的方法稍加改变，这样就能同时比较通过凸透镜各个部分的光线的传播方式。不过，这两种方法都存在一定的难度，即不能直观地捕捉穿过透镜各点的光线的路径。

1 提示 将木块垫在铁架台下面时，注意不要使铁架台上立柱的影子留在台面上。

用尺测量纸和透镜间的距离，测二至三次，求平均值。

说明 在黑纸即将烧焦之前，量出从纸面到透镜中心的垂直距离，就是焦距。

参考 测定焦距以后，按照左面方框图中提示的方法，在透镜上盖上纸罩，再测一次。这样便能证明，即使将透镜的一部分遮住，光线会聚的位置也不会改变。

2 提示 在纸罩上打孔时，可以使用办公用打孔器。

在用开孔纸罩做实验的时候，请认真观察：随着凸透镜相对于纸的距离越来越远，通过孔的光斑是否也会越来越小？同样，用带颜色的纸罩做实验的时候，应认真观察白纸上各种颜色的光束逐渐会聚的样子。

无论采用哪种方法，都应使透镜下方较暗，这样可以更加容易地观察到穿过孔的光线，收到更好的实验效果。

说明 通过凸透镜边缘部分的光线，将会改变传播路径而会聚在一点上；通过透镜中心的光线，传播路径却不改变。这些光线在纸面上的会聚点到透镜中心的距离就是焦距。

材料与器具

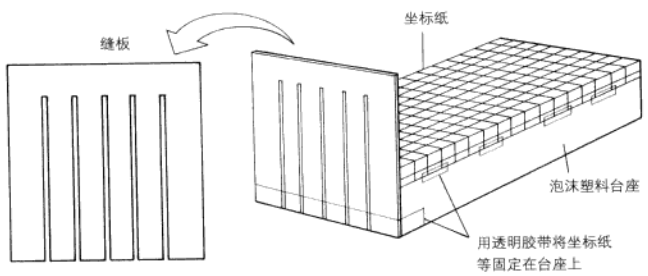
厚纸板　泡沫塑料板①　坐标纸②　透明胶带　剪刀
裁纸刀　直尺　凹透镜　木块　记号笔

①表面平坦，厚度比凹透镜的半径大。②如果没有坐标纸，用白纸也行。
★【其他方法】，除了以上物品，还需要准备图画纸，图钉，针(大头针)等。

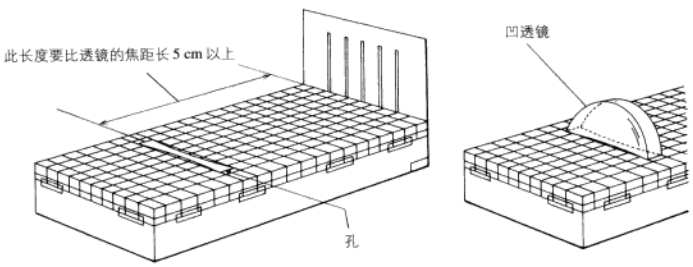
# 101 凹透镜焦距的测定

目标　初　能看出平行于凹透镜主光轴的光线通过凹透镜之后发散的规律。能测定凹透镜的焦距。

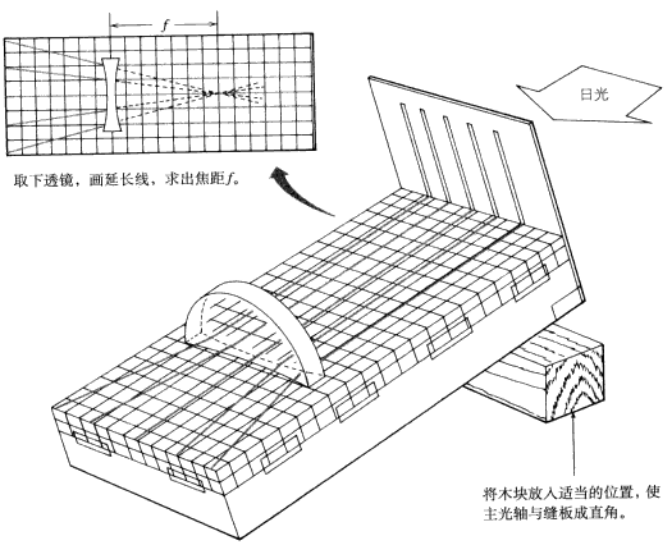
1 在厚纸板上开缝，然后安装在泡沫塑料台座上




2 在台座上挖一个孔，将凹透镜放入一半




3 记录照射光线（日光）的传播路径，将通过透镜的光线沿反方向延长并与主光轴相交，读取交点到透镜中心的距离




1 2 提示 参照 100 中的 1 和 2。

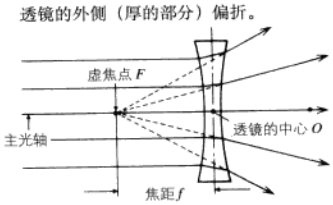
3 提示 参照 100 中的 3。

说明 通过凹透镜的光线折射并发散。将各折射光线沿反方向延长，会交于主光轴上的一点。该点到透镜中心的距离就是焦距。

参考 **凹透镜**　在透镜当中，中心部分比边缘部分薄的透镜叫做凹透镜。凹透镜有以下三种类型：




**虚焦点和焦距**　光线通过凹透镜后，会向透镜的外侧（厚的部分）偏折。

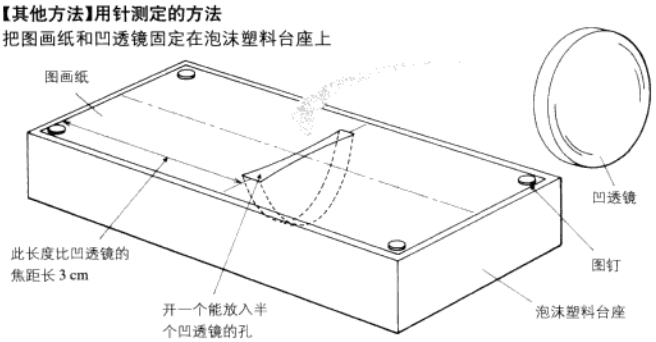



越靠近透镜的边缘部分，光的折射越强；越靠近中心部分，折射越弱。因此，穿过透镜的光束会变宽。

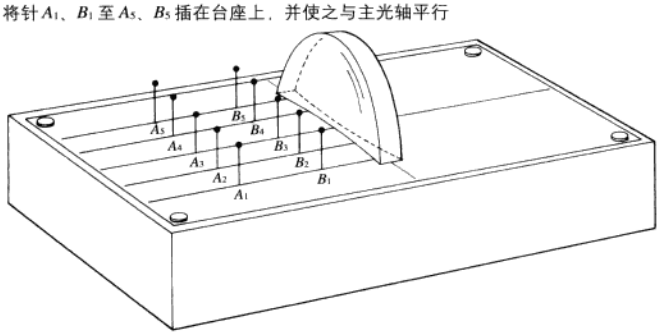
穿过透镜的光线，看上去就像是从入射光一侧的某一点射出来的，这一点就是凹透镜的虚焦点。从左面射来的平行光的虚焦点在透镜的左侧；从右面射来的平行光的虚焦点在透镜的右侧。从这些虚焦点到透镜中心的距离就是焦距。一般说来，凹透镜左右两侧的焦距相等。

**【其他方法】用针测定的方法**

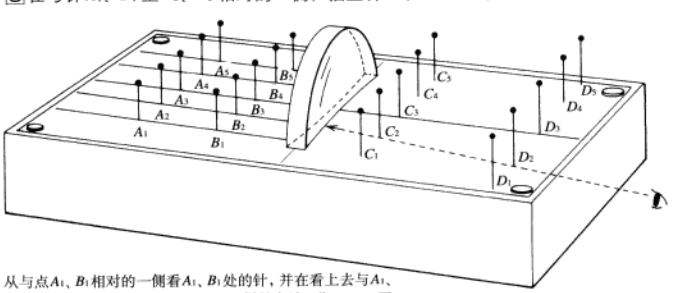
1 把图画纸和凹透镜固定在泡沫塑料台座上




2 将针 $A_1$、$B_1$ 至 $A_5$、$B_5$ 插在台座上，并使之与主光轴平行

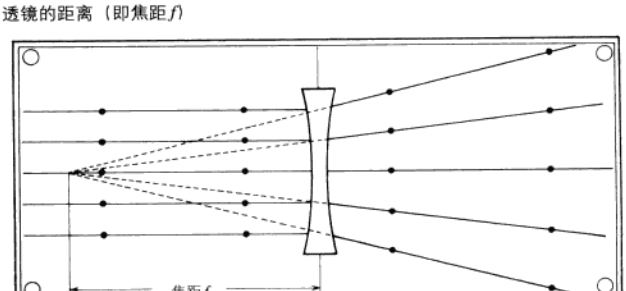



3 在与针 $A_1$、$B_1$ 至 $A_5$、$B_5$ 相对的一侧，插上针 $C_1$、$D_1$ 至 $C_5$、$D_5$




从与点 $A_1$、$B_1$ 相对的一侧看 $A_1$、$B_1$ 处的针，并在看上去与 $A_1$、$B_1$ 重合的位置上插上针 $C_1$、$D_1$。用同样的办法，将 $C_2$、$D_2$ 至 $C_5$、$D_5$ 插在看上去与 $A_2$、$B_2$ 至 $A_5$、$B_5$ 重合的位置上。

4 如图所示，将 $C_1$、$D_1$ 至 $C_5$、$D_5$ 的针迹用线连起来，求出其反向延长线的交点到透镜的距离（即焦距 $f$）




**【其他方法】用针测定的方法**

说明 这个方法，不用像前一页那样使用缝板，只要通过凹透镜直接观察物体（针）就可以了。这个方法的优点是，可以通过具体的事实和现象，说明通过凹透镜的光线的折射情况。不过，要将针插在与像重合的地方，在技术上有一定难度，而且需要花费一定的时间反复练习。

1 提示 泡沫塑料台座的宽度要大于透镜的直径，长度比透镜焦距的两倍还要长 5 cm～6 cm。在图画纸上，先画好主光轴和透镜的中轴线。透镜的位置不在正中，略微靠近与入射光线相反的一侧。

用来固定透镜的孔，不一定要很精确地按照透镜的形状来开，只要能把透镜的一半牢固嵌入即可。

2 提示 要想将针 $A_1$、$B_1$ 至 $C_5$、$D_5$ 方便地插好，可以事先在图画纸上画出与主光轴平行的线。所有的针都要与台面垂直。

3 提示 不是看针鼻儿，而是看针脚，所以只要针脚部分看上去都重合就行了。

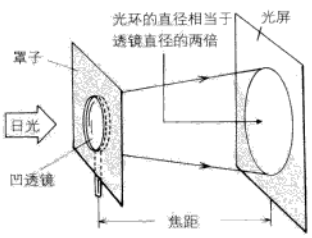
4 提示 沿着 $C_1$、$D_1$ 至 $C_5$、$D_5$ 连线时，要将透镜和针拿掉。因为台座比较软，所以最好用记号笔画线。

说明 与前一页 3 中的说明相同。

另外，还可以将针与眼睛的位置对调，进行同样的实验。此时就会发现透镜两侧的两个虚焦点到透镜的距离（焦距）相等。

参考 凹透镜的焦距还可以用下面的简单方法测定。

将凹透镜嵌入一个开孔的罩子里（孔的大小跟凹透镜的大小相同）。使穿过透镜的日光射在光屏上，同时调节透镜与光屏间的距离，使光屏上光环的直径等于透镜直径的两倍。此时，从光屏到透镜中心的距离就是此透镜的焦距。



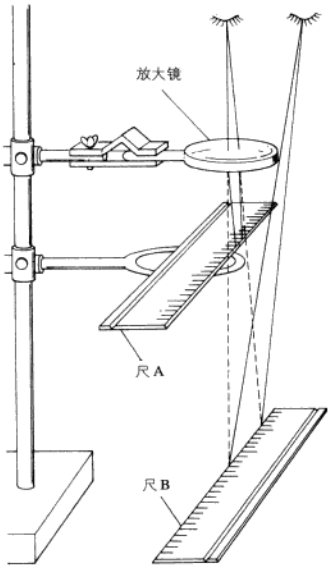
# 102 放大镜倍率的测定

目标 初 能测定放大镜的倍率。

放大镜 铁架台 尺2把①

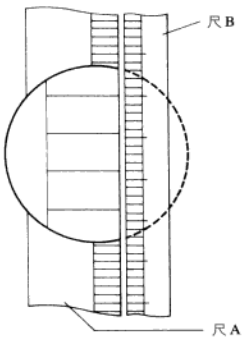
①也可使用一把尺和一张方格边长为1 mm的坐标纸。

## 1 调整放大镜及尺




如图所示，将放大镜和尺调整好，用一只眼通过放大镜看尺A，另一只眼看尺B。调整尺A，使之固定在能看见最大图像的高度。

## 2 读取数据




通过放大镜看到的尺A上的一个分度，相当于不通过放大镜而用眼睛直接看到的尺B上的几个分度。

### 【参考实验】制作简易透镜

## 1 制作水滴透镜

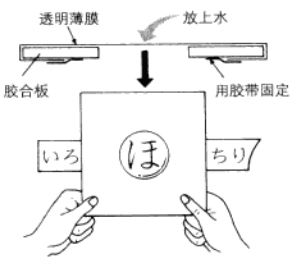



在小字上涂上一层蜡，然后滴一滴水在上面观看。

## 2 用烧瓶与水制作透镜



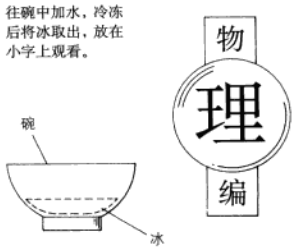

## 3 用薄膜与水制作透镜




在开有圆孔的胶合板上铺上一层薄膜，在薄膜上放上水观察。

## 4 制作冰透镜

往碗中加水，冷冻后将冰取出，放在小字上观看。




1 提示 将放大镜固定在眼睛可以分辨的位置上（人眼的明视距离为25 cm）。

尺A放在放大镜的正下方1倍焦距之内。

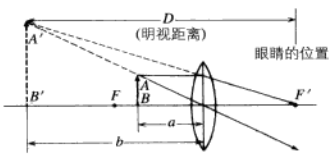
尺A和尺B要平行。

用双眼看尺的时候，应竖直向下，不要斜视，并且，在调节尺A的高度时，应使尺A的图像靠近尺B，但不要挡住尺B。如果用方格边长为1 mm的坐标纸代替尺B，就不必担心被上面的尺挡住，很方便。用透明的尺作尺A也可以。

2 说明 像左图那样，尺A的两个分度与尺B的九个分度相对应。$9 \div 2 = 4.5$，因此，放大镜的倍率就是4.5。

提示 重复实验2～3次，求平均值。

参考 将物体放在1倍焦距以内而接近1倍焦距的位置，用放大镜观测。




$D$是眼睛和像之间的距离（明视距离），$a$是物体和透镜中心的距离（物距），$b$是像与透镜中心的距离（像距）。$a$、$b$随着光的传播方向不同，可能为正也可能为负，在上图中$a$为正，$b$为负（$b>0$的时候为实像，$b<0$时为虚像）。

设透镜的放大率$\overline{A'B'}/\overline{AB}$为$m$（$m>0$时为正立像，$m<0$时为倒立像），焦距为$f$。当$a \approx f$时，有

$$m = -\frac{b}{a} = -\frac{b-f}{f}$$

上述公式，当眼睛靠近透镜观看时（对于$f$较长的透镜来说，$b \approx -D$）可以简化为公式（1）；当眼睛靠近透镜焦点观看时（对于$f$较短的透镜来说，$-b+f=D$）则可简化为公式（2）。

$$m = \frac{D}{f} + 1 \cdots\cdots (1)$$

$$m = \frac{D}{f} \cdots\cdots (2)$$

一般情况下，使用公式（2）。

材料与器具

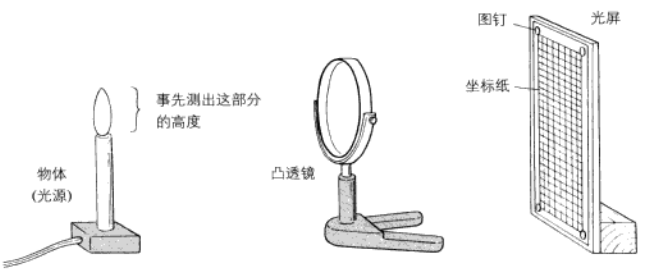
凸透镜(带台座) 光屏① 坐标纸 图钉 光源②

①用 25 cm × 35 cm 的胶合板与木料自己制作。②最好用节日彩灯。

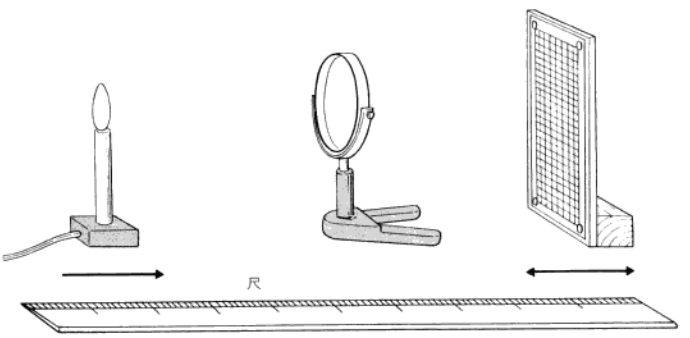
# 103 观察凸透镜的成像规律

目标 初 观察改变凸透镜和物体间的距离之后，像与距离的关系。

1 将物体(即光源)、凸透镜、光屏放在一条直线上




2 使物体从比凸透镜的2倍焦距还远的位置逐渐靠近透镜，观察成在光屏上的像的位置和大小




ⓐ将物体放在比凸透镜的2倍焦距还远的位置，观察像的位置及大小；
ⓑ将物体放在凸透镜的2倍焦距的位置，观察像的位置及大小；
ⓒ将物体放在焦点与2倍焦距的位置之间，观察像的位置及大小；
ⓓ将物体放在凸透镜的焦点上，观察光屏上能否成像，然后观察通过透镜能否看见像；
ⓔ将物体放在凸透镜的焦点内侧，观察光屏上能否成像，然后观察通过透镜能否看见像。

**凸透镜所成的像**

| 物体(光源)的位置 | 像的位置 | 像的大小 | 像的种类 |
|---|---|---|---|
| 比2$f$还远的地方 | 2$f$与$f$之间 | 比实物小 | 倒立的实像 |
| 2$f$ | 2$f$ | 与实物相同 | 倒立的实像 |
| 2$f$和$f$之间 | 比2$f$远 | 比实物大 | 倒立的实像 |
| $f$ | 无限大 | —— | 不成像 |
| $f$和透镜之间 | 和光源同侧 | 比实物大 | 正立的虚像 |

$f$：透镜的焦距

1 提示 事先测出凸透镜的焦距，测五次取平均值。测定方法参照 100 。

事先测出物体（光源）白炽灯部分的高度。

2 提示 在把像成在光屏上之前，先将物体和凸透镜按规定的距离放好，然后估计可能成像的位置，在该处放上光屏，然后一点一点地前后移动光屏，最后将光屏固定在成像最清晰的位置上。

在ⓐⓑⓒ中，坐标纸仅仅用于测量像的大小。

说明 在ⓐ中，物距越接近2倍焦距，像（实像）越大；所成的像会逐渐远离透镜的焦点，像比物体小。

在ⓑ中，与物体相同大小的像（实像）会出现在透镜2倍焦距的位置上。

在ⓒ中，将会形成比物体大的像（实像），像的位置比ⓑ中更远。

在ⓓ中，光屏上不能成像，也不能通过透镜看到像。

在ⓔ中，虽然光屏上不能成像，但通过透镜能够看到正立的像（虚像）；物距越小，像越小。

凸透镜的成像结果如左下表所示。

参考 **实像和虚像** 成在光屏上的像，是穿过凸透镜的光线实际会聚而成的，所以叫实像。实像全是倒立的。

与此相反，通过透镜看到的像叫做虚像。虚像不是由实际光线会聚而成的。虚像全是正立的。

**像的亮度** 在观察凸透镜成像情况时，如果用厚纸遮住透镜的一半，像不会断开但会变暗。

光源（物体）相同时，透镜的直径越大，所成的像越亮；像的大小相同时，焦距越短的透镜所成的像越亮。

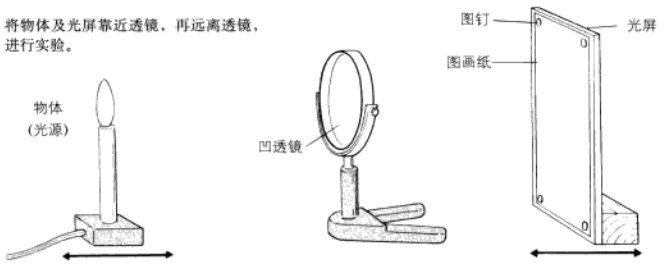
# 104 观察凹透镜的成像规律

目标 初 知道通过凹透镜看到的像比实物小。

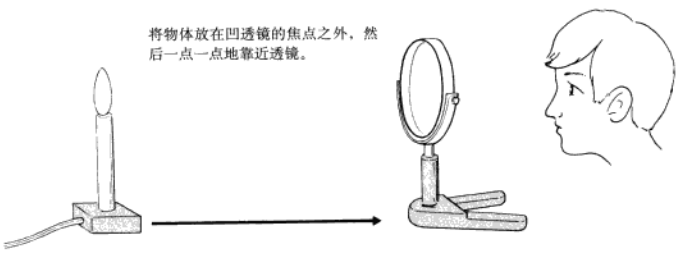
凹透镜(带台座) 光屏① 图画纸 图钉 光源②

①用 25 cm × 35 cm 的胶合板和木料自己做。②最好用节日彩灯。

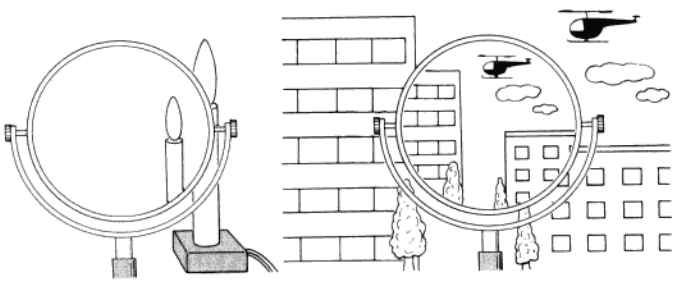
**1** 将物体(即光源)、凹透镜、光屏放在一条直线上，观察物体在光屏上能否成像



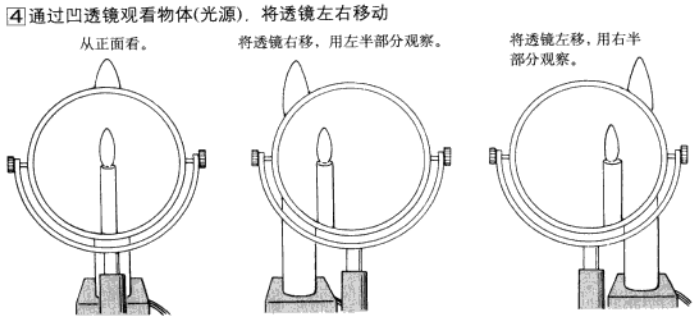

**2** 使物体(光源)逐渐靠近凹透镜，通过凹透镜观察在光屏上看不到的像




**3** 通过凹透镜观看物体(光源)及周围的景物



**4** 通过凹透镜观看物体(光源)，将透镜左右移动




**1** 说明 在光屏上不能成像，因为凹透镜只能成虚像。

**2** 提示 实验前先测出凹透镜的焦距，测定方法参照 ◀10▶ 。
先将物体放在透镜的焦点之外，再慢慢向透镜靠拢，认真观察像是否有变化。
说明 通过凹透镜观看物体可以发现，在任何位置(焦点的内外)都能看见比实物小的正立像（虚像）。

**3** 提示 可以用凹透镜观察身边的物体和远方的景物。
说明 与 **2** 中的说明一样。

**4** 提示 从能看见像与物体重合的正面位置，将透镜左右移动，仔细观察像和物体的移动。
说明 像（虚像）位于透镜的后面，像距小于物距。物距越小，像越大，但不会比实物大。

材料与器具

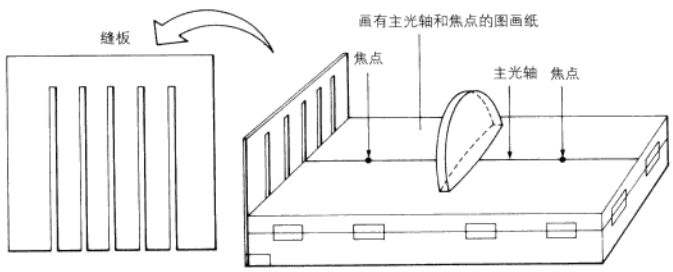
厚纸板　泡沫塑料台座①　图画纸　透明胶带　剪刀
裁纸刀　尺　凸透镜

①表面平坦，厚度大于凸透镜的半径。

# 105 观察光通过凸透镜后的传播方向

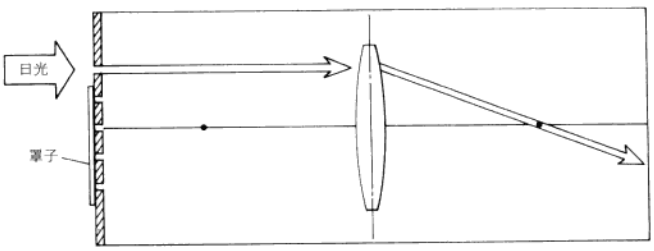
目标　初　从各种角度将光照射到凸透镜上，观察光通过凸透镜后如何传播。

1 将用厚纸板做成的缝板和凸透镜固定在泡沫塑料台座上

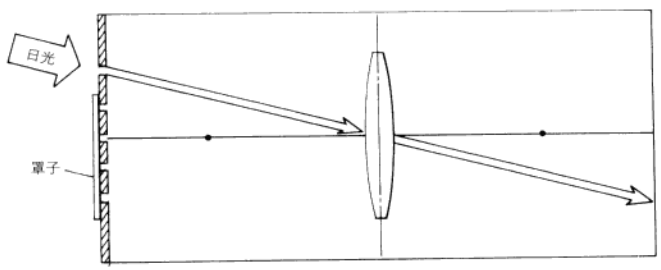



2 使日光通过缝板照射在透镜上，观察光的传播路径

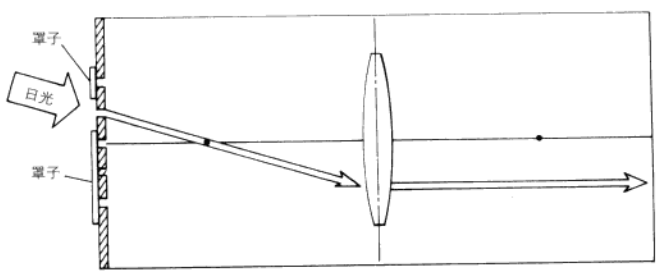
①使与主光轴平行的光线照射在透镜上




②使射向透镜中心的光线照射在透镜上




③使射向缝板所在一侧焦点的光线照射在透镜上




1 提示　参照 100 中的1和2。

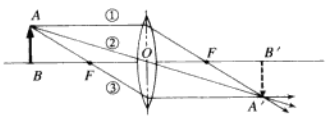
2 提示　只留必要的缝，其他缝用罩子遮住。

在①中，最好事先在图画纸上画出与主光轴平行的线，实验时沿此线将入射光线照射在透镜上。

说明　在①中，光线通过透镜时发生折射，折射后经过焦点。

在②中，光线不发生折射，传播方向不变。

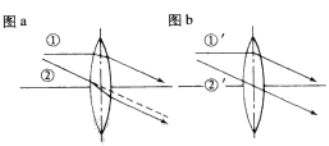
在③中，光线通过透镜时发生折射，折射后沿与主光轴平行的方向传播。




参考　**凸透镜的成像作图**　在上述三条特别光线当中，任意选择两条作图就行。本书省略了作图方法的内容。如果对下面列举的情况进行作图，就会知道在下列各种情况下的成像种类（正立、倒立、实像、虚像、比实物大或小等）：

- 物距大于二倍焦距
- 物距等于二倍焦距
- 物距大于焦距但小于二倍焦距
- 物距小于焦距

**折射光线的画法**　射入透镜的光线，实际上是像图a所示的那样在透镜的两面发生折射，但在作图时，像图b所示的那样处理也是可以的。




之所以将光线①按照①′那样，画成在透镜中心轴上发生折射，是因为薄透镜的中心轴位于中央。对于光线②来说，折射光线相对于入射光线而言发生了平行移动。如果透镜很薄，这种平行移动的幅度就很小，因此可以画成如图b中②′那样的直线。

这些画法，都是在透镜较薄、光线和主光轴之间的角度较小的情况下画的。如果实物过大，或者透镜较厚，画图时需要注意。

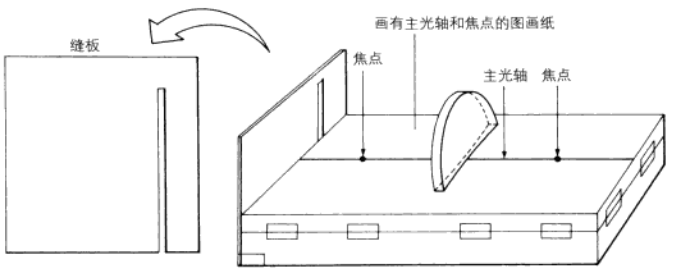
# 106 观察光通过凹透镜后的传播方向

**材料与器具** 厚纸板 泡沫塑料台座① 图画纸 透明胶带 剪刀 裁纸刀 尺 凹透镜

①表面平坦，厚度大于凹透镜的半径。

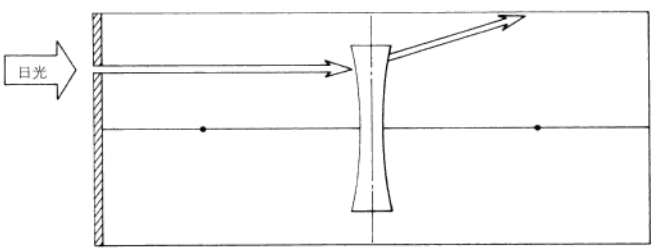
**目标** 初 从各种角度将光照射到凹透镜上，观察光通过凹透镜后如何传播。

1 将用厚纸板做成的缝板和凹透镜固定在泡沫塑料台座上

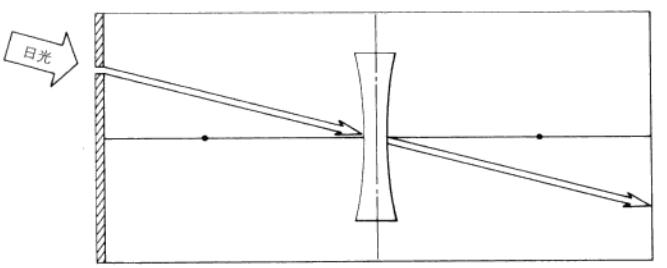



2 使通过缝板的日光照射在透镜上，观察光的传播路径

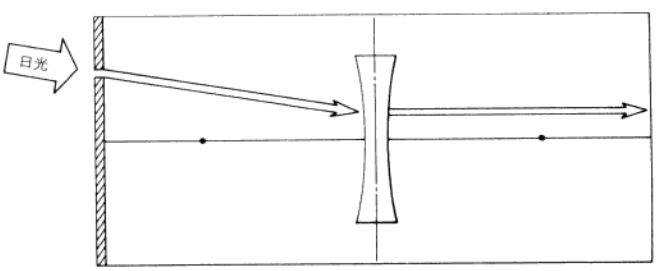
①使与主光轴平行的光线照射在透镜上




②使射向透镜中心的光线照射在透镜上




③使射向透镜另一侧焦点的光线照射在透镜上



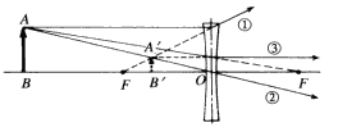

1 提示 参照 100 中的1和2。

2 提示 在①和③中，应事先在图画纸上画出从缝到透镜的光线的路径（在①中是平行于主光轴的直线，在③中是从缝射向透镜另一侧焦点的直线）。实验时最好沿着这些线将入射光照射在透镜上。

说明 在①中，光线在透镜表面发生折射，折射后的光线看起来仿佛是从与入射光线同侧的焦点射出的。

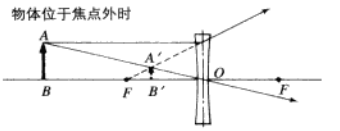
在②中，光线不发生折射，沿原来的方向传播。

在③中，光线在透镜表面发生折射，折射后的光线平行于主光轴。

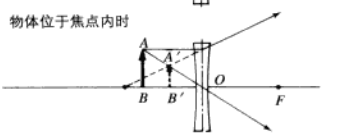



参考 **凹透镜的成像作图** 从上述三条特殊光线当中任意选取两条作图就行。

物体位于焦点外时




物体位于焦点内时




从以上的作图过程中可以知道：通过凹透镜看到的像，都是比实物小的正立虚像。虚像位于凹透镜与焦点之间。

# 107 观察凸面镜的反射及成像方式

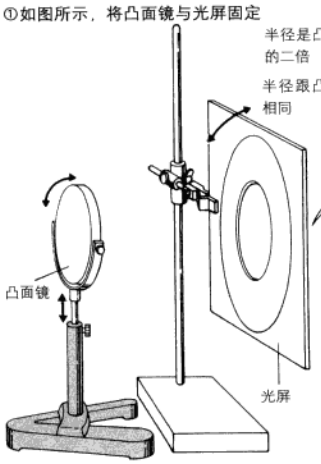
凸面镜(带台座) 光屏① 铁架台 尺 平面镜 圆规 图画纸 透明胶带 橡皮筋 裁纸刀

目标 初 知道凸面镜的反射光会发生散射。
知道凸面镜比平面镜的视野广，所成的像比实物小。

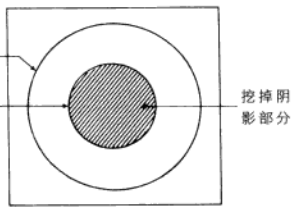
①用 30 cm × 30 cm 的胶合板或厚纸板自己制作。

**1** 观察凸面镜的反射光

①如图所示，将凸面镜与光屏固定

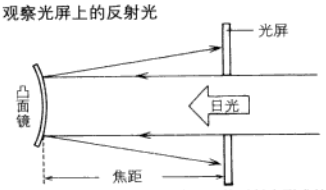



调整凸面镜与光屏的角度，使光线从光屏上的孔中垂直入射，并使凸面镜与光屏平行。




画一个与凸面镜半径相同的圆和一个二倍半径的同心圆，将中间的阴影部分挖掉。

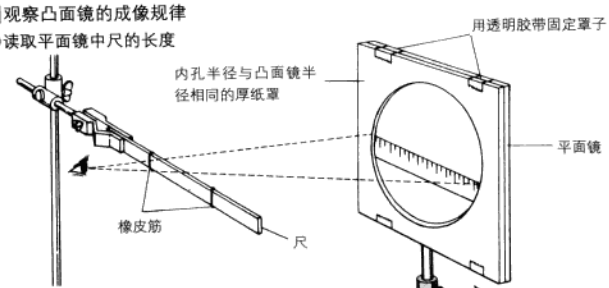
②使光线通过光屏上的孔照射到凸面镜上，观察光屏上的反射光




使凸面镜一点一点地远离光屏，使反射光形成的圆的半径等于凸面镜半径的二倍，测量凸面镜和光屏之间的距离。

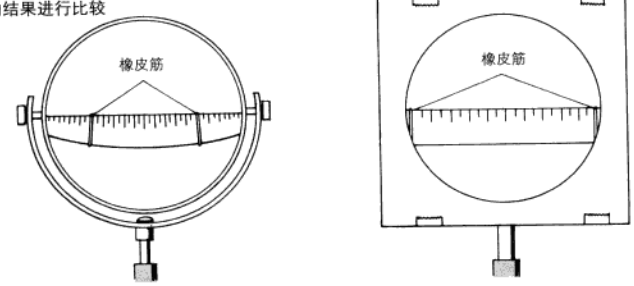
**2** 观察凸面镜的成像规律

①读取平面镜中尺的长度



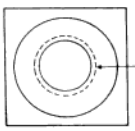

用橡皮筋在尺上标出平面镜中尺的长度，读取此数值。

②与①中相同，读取凸面镜中尺的长度，与①中的结果进行比较

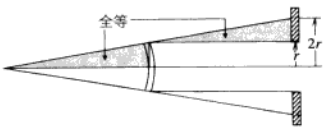



**1** 提示 若将周围调得暗一些，实验效果会更好。

在①中，调整光屏与凸面镜的角度，将投射在光屏中间的反射光线画成与孔相对应的同心圆。




说明 反射光发生散射，看上去仿佛是从主光轴上的某一点（虚焦点）射出来的。反射光在光屏上形成的圆的半径是孔的半径的两倍时，从凸面镜到光屏之间的距离就是凸面镜的焦距。

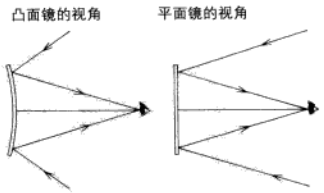


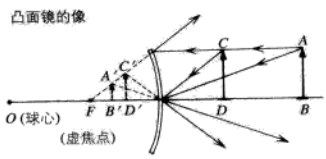

**2** 提示 实验之前，最好在罩上罩子的平面镜和凸面镜上印上各种各样的像，比较不同的像。

②中的凸面镜，放在①中平面镜所在的位置。

在①和②中，眼睛的位置要相同。

说明 凸面镜比平面镜的视角大，所成的像比实物小，看起来正立于凸面镜的后面（虚像）。



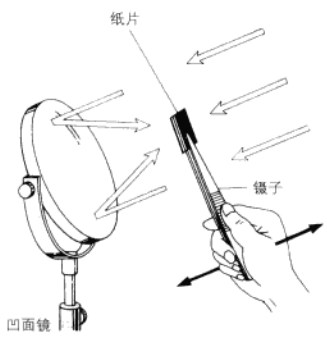
# 108 观察凹面镜的反射及成像方式

凹面镜(带台座) 镊子 纸片① 光屏② 图画纸 图钉 光源③

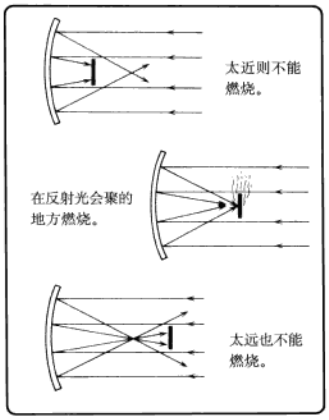
目标 初 知道凹面镜的反射光会聚于一点。
可以观察到在物体逐渐靠近凹面镜的过程中，像的大小及位置的变化情况。

①最好用2 cm × 2 cm左右的黑纸。②用25 cm × 35 cm的胶合板和木料自己制作。③最好用节日彩灯。

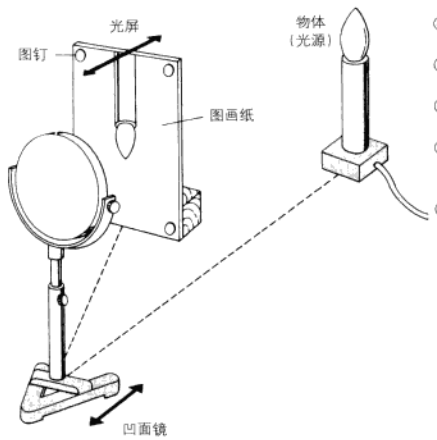
## 1 用凹面镜使纸片燃烧




使反射光照射在纸片上，将纸片前后移动，寻找能使纸片燃烧的地方。




## 2 观察凹面镜的成像



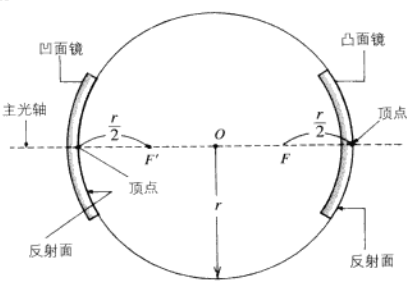

ⓐ 使物距大于二倍焦距，观察光屏上的像；
ⓑ 使物距等于二倍焦距，观察光屏上的像；
ⓒ 使物距大于焦距但小于二倍焦距，观察光屏上的像；
ⓓ 使物距等于焦距，观察光屏上能否成像，同时观察凹面镜上是否有像；
ⓔ 使物距小于焦距，观察光屏上能否成像，同时观察凹面镜上所成的像。

## 凹面镜和凸面镜的焦点

设凹面镜及凸面镜的曲率半径为$r$，焦距为$f$，它们之间的关系如下：

$$f=\frac{r}{2}$$

在右图中，$O$为凹面镜或凸面镜的球心，$F'$为凹面镜的焦点，$F$为凸面镜的焦点。




**1** 提示 黑色纸片容易燃烧，便于观察。纸片大小最好在2 cm × 2 cm左右。

注意 当阳光照射在凹面镜上时，有可能使物体烧焦或刺伤眼睛，要特别注意。

说明 在纸片上形成一亮点（因为存在球面像差，实际上成不了点）时，纸片开始燃烧。这个点叫做焦点。

**2** 提示 光屏稍微偏离光源与凹面镜连接而成的直线。

在把像成在光屏上之前，先将物体和凹面镜按规定的距离放好，然后估计可能成像的位置，并在那里放上光屏，然后一点一点地前后移动光屏，将光屏固定在成像最清晰的位置上。

说明 在ⓐ中，将会形成比实物小的倒立实像（图a）；

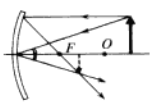
在ⓑ中，将会形成跟实物同样大小的倒立实像（图b）；

在ⓒ中，将会形成比实物大的倒立实像（图c）；

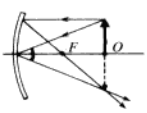
在ⓓ中，光屏上不能成像，凹面镜上也不能成像（图d）；

在ⓔ中，光屏上不能成像，但凹面镜上会形成比实物大的正立虚像（图e）。

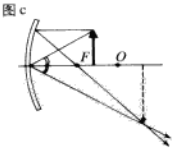
图a



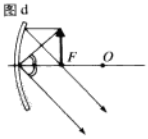

图b



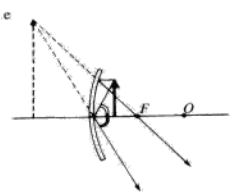

图c




图d




图e



# 109 观察照度与受光面到光源的距离之间的关系

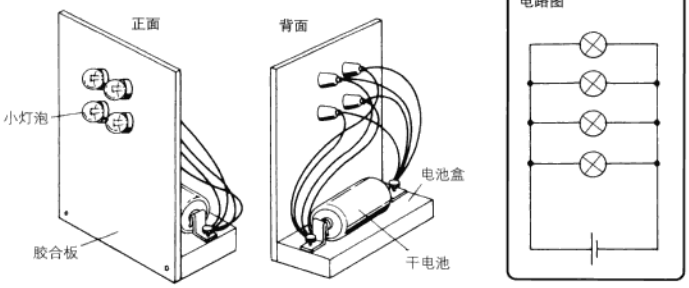
目标 初 了解照度与受光面到光源的距离之间的关系，并能将这种关系用数学方式表示出来。

材料与器具

小灯泡(1.5 V，带灯座)4个　干电池(1.5 V)　电池盒
胶合板①　尺　照度比较器
【其他方法】投影仪　屏幕　透明彩色卡片　彩色卡垫
投影仪用笔　透明胶带　卷尺②　照度比较器

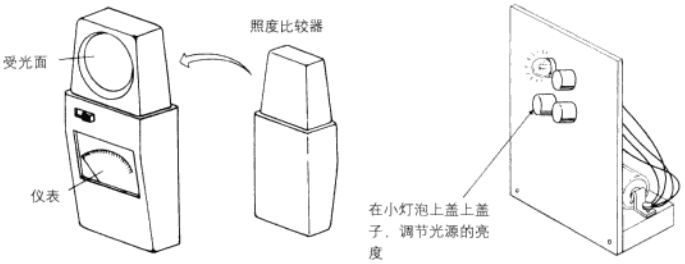
① 10 cm × 15 cm，厚纸板也可以。②直尺也行。

1 制作光源装置

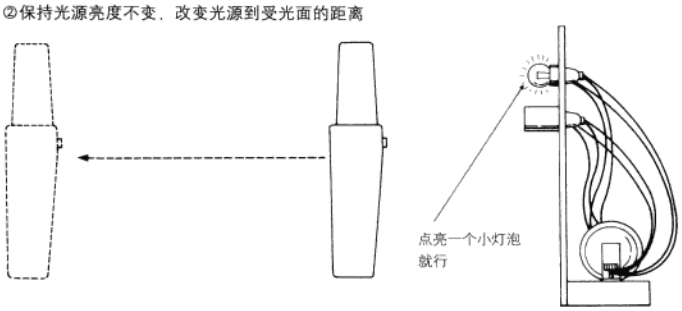



2 用照度比较器测定照度与受光面到光源的距离之间的关系

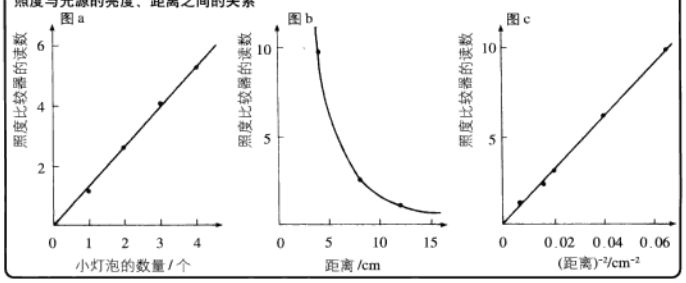
①使光源到受光面的距离保持一定，改变光源的亮度




②保持光源亮度不变，改变光源到受光面的距离




照度与光源的亮度、距离之间的关系




1 提示 先算出照度比较器的受光面积和高度，然后在胶合板(或硬纸板)上钻出放小灯泡用的孔。

胶合板与电池盒垂直。

把小灯泡固定在胶合板上的孔里，然后将导线与电池盒相连。全部并联。

2 提示 最好把教室调暗。使照度比较器的受光面与光线垂直。

① 提示 改变电源装置的亮度时，不用每次开关电灯，可以使用盖子(小容器的瓶盖)调节。将四个小灯泡都点亮，然后在灯泡上盖上盖子。将盖子一个一个地取下，就等于增加点亮小灯泡的数量。因为如果每次都要利用开关控制灯的亮度的话，容易因为电压的变化而使小灯泡的亮度发生变化。

结果 可以知道光源（小灯泡）的亮度（即小灯泡的数量）与照度成正比（图 a）。

② 结果 可以知道照度跟受光面与光源间的距离的二次方成反比（图 c）。

说明 如果将照度与受光面到小灯泡的距离之间的关系用图像来表示，则如图 b 所示：受光面距小灯泡越远，照度越小。为了认识这种关系的规律性，可就图像进行分析，得出以下结论。

数据举例

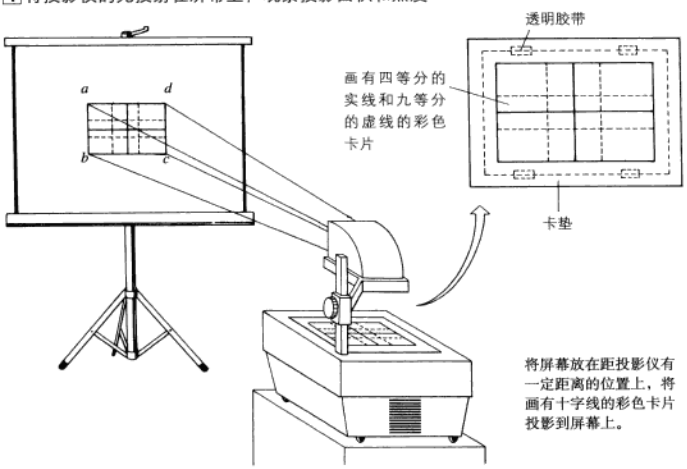
| 受光面到光源的距离/cm | 4 | 8 | 12 |
|---|---|---|---|
| 照度比较器的读数 | 9.9 | 2.4 | 1.2 |

从表中可以看出：距离是二倍、三倍的关系时，照度比较器读数间的关系大约是 1/4 和 1/9，而 1/4 正是$(1/2)^2$，1/9 正是$(1/3)^2$，所以将图 b 中的图像转换成 $y$ 和 $1/x^2$ 的关系时，可以变为图 c 的形式，由此可以看出照度与受光面到光源的距离的二次方成反比。

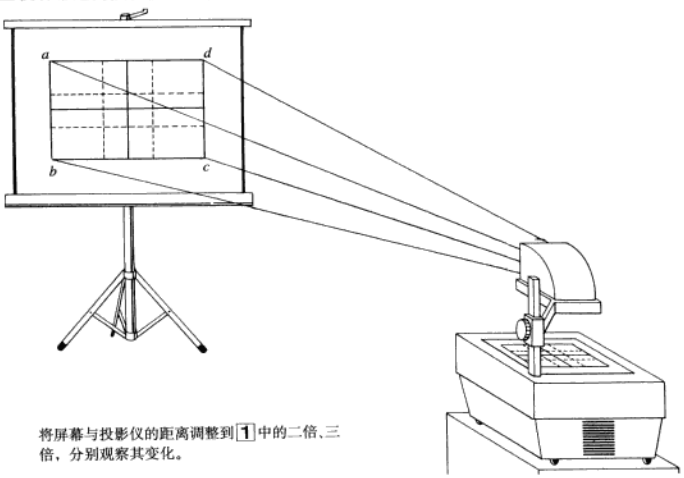
参考 照度比较器是利用太阳能电池的受光电极(半导体硅)感应光的强度并跟输出电流成比例的仪表。照度比较器有两种类型，一种比较器的仪表和受光面相互分离，另一种则是合二为一的。

**【其他方法】使用投影仪的方法**

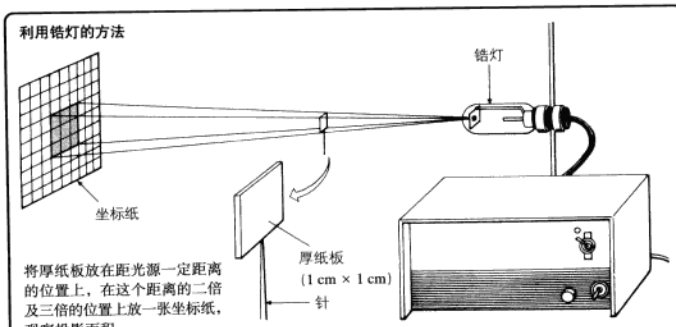
1 将投影仪的光投射在屏幕上，观察投影面积和照度




2 使屏幕远离投影仪，观察投影面积和照度的变化，与 1 中的发现进行比较




**利用锆灯的方法**




**【其他方法】使用投影仪的方法**

说明 照度和受光面距光源的距离之间的关系，用前一页介绍的数学方法有时很难理解，使用投影仪的方法则能将这些关系直观地表示出来。

提示 这个实验不需要在暗室中进行。

1 提示 屏幕上的投影面积，可以用另一块彩色卡片（不是原来那块画有分割线的彩色卡片）来测量。事先调整好投影仪与屏幕之间的距离，使投影面积与测量面积用的彩色卡片大小相同。在这个距离上投影最为方便。

用照度比较器（也可以用照度计）测量屏幕上的照度。此时，要特别注意白色物体及墙壁等的影响，注意减少直射阳光的影响。

如果是带明暗转换开关的投影仪，可以用开关控制屏幕的明暗。

2 提示 可以事先测量屏幕的移动距离，在地板上做上记号。

认真观察：随着距离的增加，屏幕的亮度是否减弱？

说明 屏幕到光源的距离变为原来的二倍、三倍时，屏幕上的投影面积变为四倍、九倍。受到等量光线的照射，面积却变为四倍、九倍，说明照度变为原来的 1/4、1/9。这个结论可以通过照度比较器的测量结果得到验证。

结果 用投影仪的开关切换光源的明暗，观察屏幕的照度就能知道：光源越亮，照度越高。光源亮度一定时，观察屏幕的照度就能知道：照度与受光面到光源的距离的二次方成反比。

参考 这个实验也可用幻灯机代替投影仪来做。幻灯机漏光少，实验效果会更好。

另外，虽然价格比较贵，但如果用锆灯作光源，效果会比用投影仪或幻灯机更好。（实验方法如左面方框里的小图。）

锆灯几乎是真正的点光源，所以将距离变为二倍、三倍……时，投影面积会标准地扩大为四倍、九倍等。

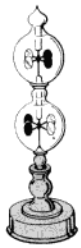
# 110 用热辐射计观察光的作用

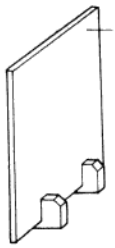
目标 初高 能用热辐射计观察光的作用。能证明光是一种能源。能通过亮度的变化了解光能的表现形式。

热辐射计 白炽灯（60 W，100 W） 灯座 开关 直尺 光屏① 平面镜

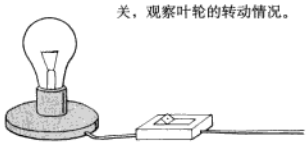
①不透光的光屏。

**1** 隔一定距离，使灯光照射在热辐射计上






将热辐射计放在距白炽灯40 cm的地方。闭合开关，观察叶轮的转动。然后，在热辐射计和白炽灯之间放上不透光的光屏，遮住光或断开开关，观察叶轮的转动情况。



**1** 提示 最好把教室布置成暗室。

如果实验小组较多，其他白炽灯对热辐射计的影响就会增大，这一点要注意。

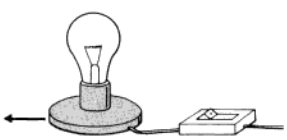
可以用60 W和100 W的白炽灯分别测试。

结果 光线照射在热辐射计上，叶轮便开始转动；遮住光线，叶轮便停止转动。从这个现象可以看出光线对叶轮的转动产生了作用，同时还能知道，光也是一种能。

**2** 使灯光照射在热辐射计上，改变热辐射计与白炽灯之间的距离



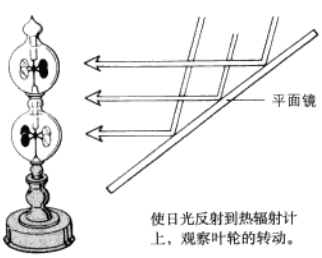
将热辐射计放在距白炽灯1 m的地方，闭合开关，观察叶轮的转动。然后，将白炽灯放在距热辐射计50 cm、30 cm的地方，观察叶轮的转动。



**2** 提示 用60 W和100 W的白炽灯做同样的实验，比较实验结果。

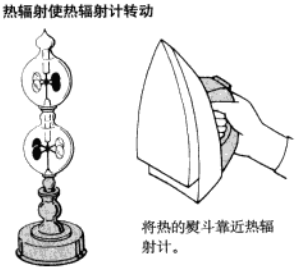
结果 热辐射计和白炽灯的距离越近，白炽灯的电功率越大，叶轮转得越快。

**3** 使日光照射在热辐射计上




使日光反射到热辐射计上，观察叶轮的转动。

**热辐射使热辐射计转动**



将热的熨斗靠近热辐射计。

**3** 提示 要想办法减少来自其他小组的反射光的影响。

用厚纸板或手将光遮住，认真观察叶轮转动情况的变化。

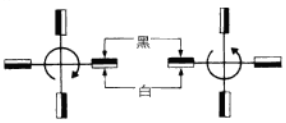
参考 热辐射计也可以用作测量反射热是否存在的工具。因此，使熨斗或电炉等高温物体发出的热射在热辐射计上时，也能看到叶轮转动。如果用光屏等挡住高温物体发出的热，叶轮转动的情况就会发生改变。由此可以看出，热的传播情况跟光相同。

## 关于热辐射计

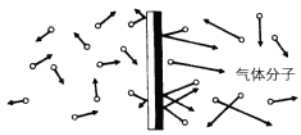
热辐射计是在保留少量空气的准真空玻璃球里，放入上下两组叶轮的装置。每个叶轮由四个叶片组成。叶片的一面涂成黑色，另一面是白色。上下两组叶轮的叶片颜色相反。

这种黑白两色的叶片受到光或热的辐射时，上下叶轮便像图a所示的那样，分别沿顺时针或逆时针方向发生转动。这是因为，此时叶片的黑色一面温度升高，附近的空气分子运动加剧，叶片的两面产生了压强差的缘故（图b）。由此可见，如果玻璃球内部完全真空，叶轮就不会转动；如果空气过多，空气阻力太大，叶轮也不能转动。

图a




图b




所以，玻璃球内只能留下少量的空气。基于同样的理由，叶轮要用很轻的材料制作，以便用很小的力就能使之发生转动。不能使光和热持续作用在热辐射计上。有时候叶轮的转动会停止。转动停止时，稍微冷却之后仍可继续使用。

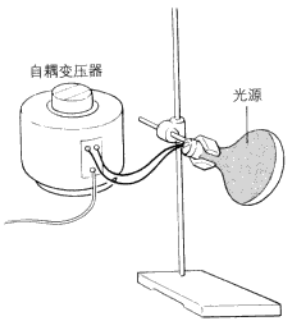
# 111 观察太阳能电池的应用

目标 初 知道太阳能电池能将光能转化成电能。

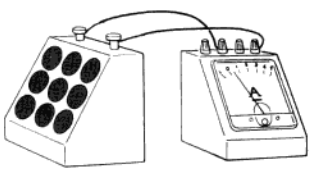
太阳能电池实验装置① 光源(交流，100 W) 自耦变压器 铁架台2个 直流电流表 砝码(不足100 g) 棉线

①带专用电动机和螺旋桨。

## 1 使光照射在太阳能电池上，读取电流的数值




利用自耦变压器，多次改变光源的亮度。




1 提示 将光源（这里为可以提供较强亮度的灯）与太阳能电池按照一定距离放好。

注意各实验小组之间的光源发出的光线，不要互相影响。

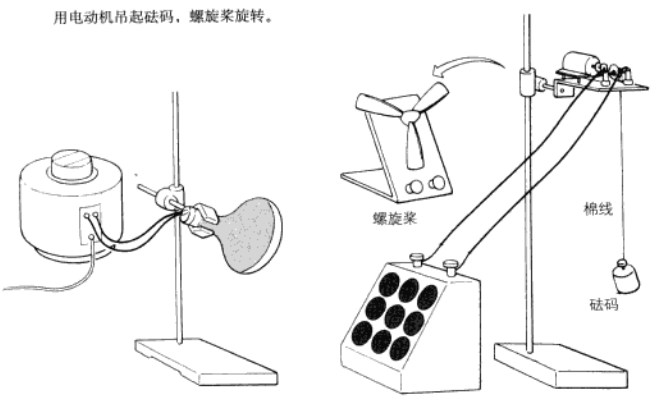
电流表的“－”接线柱使用500 mA挡。

结果 使光照射到太阳能电池上，能够看出电流的流动。

可以知道，光线越强，电流越大。

## 2 使光照射在太阳能电池上，电动机开始旋转

用电动机吊起砝码，螺旋桨旋转。




2 提示 可以将吊有砝码的棉线直接系在电动机的转轴上。

光源和太阳能电池之间的距离为20 cm左右。

多次改变光源的亮度，认真观察砝码被吊起的速度及螺旋桨旋转的速度有何变化。

结果 将太阳能电池跟电动机连在一起，用光照射电池，就能看见电动机旋转。还可以吊上砝码，使螺旋桨旋转。

此外，可以看出：光线越强，砝码被吊起的速度越快，螺旋桨转动的速度也越快。

### 太阳能电池的应用

成功地将太阳能转化成电能之初，转化效率只有1%左右。此后，随着半导体技术的研究和改良，现在已经达到15%左右了，今后一定还会更高。硅和锗是典型的半导体材料。太阳能电池一般多用硅作原料。

太阳能电池跟普通干电池一样，能根据输出的需要变换电池的连接方式（串联、并联），自由改变电压的高低和电流的强弱，所以可以作为电源使用。太阳能电池被广泛应用于大到人造卫星地面大型设备的供电装置，小到自动机器的电源等。

现在，用于同步播出世界大事的绕地球旋转的商用通信卫星上，也装上了570 W的太阳能电池。

1966年12月，国际通信卫星1号首开先河，用装有太阳能电池的静止卫星进行了日美两国间的宇宙转播。另外，在电力网不能覆盖的山里、海上等中继站，以及无人看守的灯塔等地方，太阳能电池也被作为电源使用。太阳能电池作为无公害的商用电源使用的日子也指日可待。

除了用作电源，太阳能电池还可作为光的测量装置而被广泛应用于照相机的曝光装置、根据产品的形状进行分类的机器、测定照射在地球上的阳光的光量测定器中，诸如此类的应用不胜枚举。

在照相机的曝光装置中，太阳能电池被用于受光面，将光能转化成电能，并进一步将电能转化成曝光表指针的动能，从而测出被拍摄的景物的光量。

材料与器具

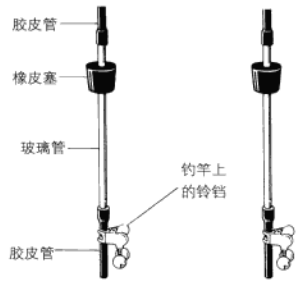
# 112 观察没有空气声音便无法传播的现象

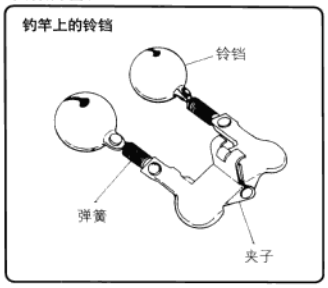
目标 初 知道没有空气声音便无法传播。

钓竿上的铃铛① 橡皮塞 胶皮管 玻璃管 圆底烧瓶(500 mL)2个 弹簧夹 铁架台 水槽 加热器具
【其他方法】真空泵 真空油脂 排气盘② 排气罩
橡皮塞 曲别针 电铃 导线 电源装置

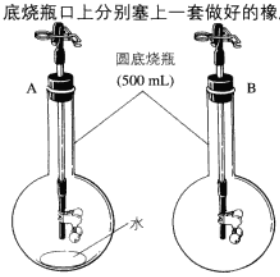
①在钓具商店购买。②如果排气盘上不带水银压强计，还需另外准备一个水银压强计。

1 将玻璃管穿过橡皮塞，套上胶皮管和铃铛（共做两套）

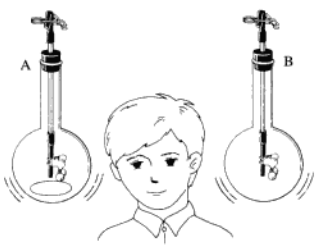


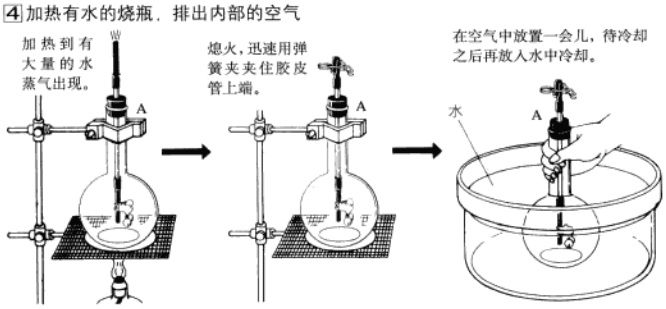

2 在放有少量水的圆底烧瓶和不放水的圆底烧瓶口上分别塞上一套做好的橡皮塞



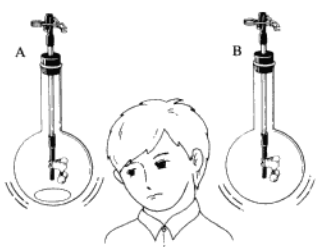

3 晃动两个烧瓶，听瓶内有空气时发出的声音



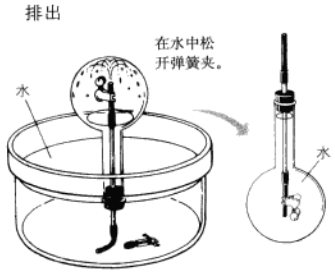

4 加热有水的烧瓶，排出内部的空气




5 晃动两个烧瓶，比较声音




6 确认有水的烧瓶内的空气已被排出




1 提示 选用能与玻璃管紧紧地套在一起的胶皮管（如果使用外径为6 mm的玻璃管，最好使用内径为5 mm的胶皮管）。如果胶皮管的内径大而松，应用橡皮筋扎紧。

要选用声音大而高的铃铛，并应尽量选用声音清脆的。铃铛上的弹簧长度有7 mm和4 mm两种，7 mm的比较响亮。

铃铛装在距玻璃管下端约1 cm远的胶皮管上，以免铃铛的振动通过玻璃管传到外面。另外，将铃铛装在胶皮管上时，不要用铃铛的夹子把胶皮管卡死，否则烧瓶内部的空气就不能排出瓶外。

2 提示 一定要使用圆底烧瓶。

放入烧瓶的水量，以10 mL～15 mL为宜。放水时，若铃铛堵住烧瓶的瓶口而使水不能顺利进入，应拉长一边的弹簧，错开2 mm左右。用弹簧夹夹住胶皮管的时候，应将胶皮管弯过来折成两折之后夹住。

4 注意 加热之后，胶皮管内会有很热的水蒸气通过，胶皮管也会变得非常热。所以，在将胶皮管折起夹上弹簧夹的时候，一定要用小镊子折弯胶皮管。

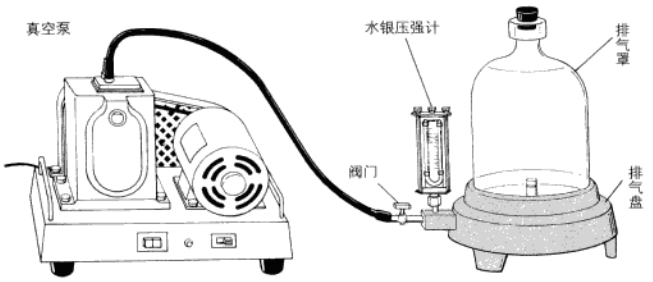
6 提示 在水中松开弹簧夹时，胶皮管会粘在一起，要将胶皮管的口通开。

说明 在烧瓶里，水会升到离橡皮塞1 cm左右的位置，要完全将空气排出是很困难的，不过，可以排出和水等量的空气。

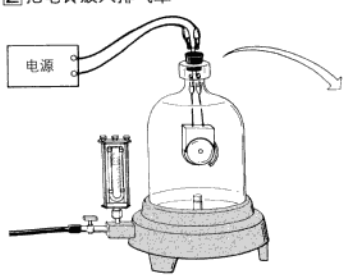
结果 晃动有空气的烧瓶，能清楚地听到铃铛的声音；晃动空气被排出的烧瓶时，却几乎听不见铃铛的声音。由此可以推测：如果没有空气，声音就无法传播。

**【其他方法】使用真空泵观察的方法**

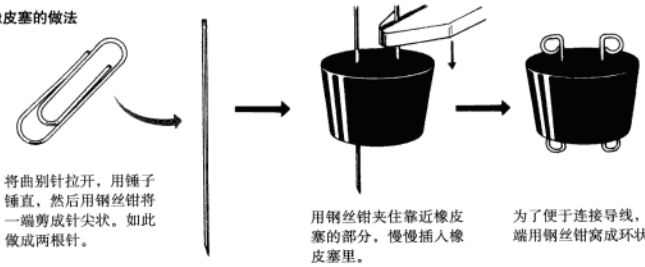
1 在真空泵上接上排气盘等




2 把电铃放入排气罩




**橡皮塞的做法**

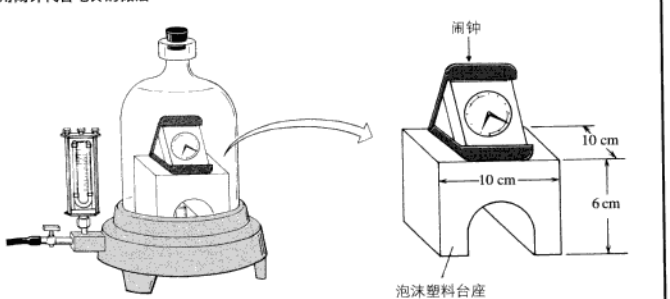


将曲别针拉开，用锤子锤直，然后用钢丝钳将一端剪成针尖状。如此做成两根针。

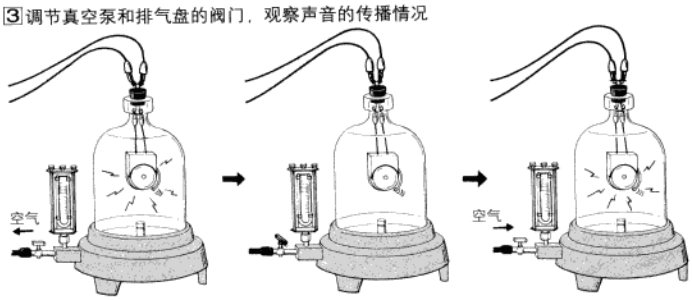
用钢丝钳夹住靠近橡皮塞的部分，慢慢插入橡皮塞里。

为了便于连接导线，两端用钢丝钳窝成环状。

**用闹钟代替电铃的做法**




3 调节真空泵和排气盘的阀门，观察声音的传播情况




使电铃发出声音，启动真空泵，开始排气。

待声音消失之后，关闭阀门，真空泵停止工作。

慢慢拧开阀门，一点一点地放入空气。

**【其他方法】使用真空泵观察的方法**

1 提示 连接装置的时候，应注意以下几点：

- 确认真空泵用油加到油槽窗的中间。太多容易排出，太少则会降低泵的排气效果。
- 注意排气盘的盘面、排气口、排气罩与排气盘密合的一面以及橡皮塞等，保证清洁。
- 在排气罩与排气盘密合的一面以及螺钉、阀门、胶皮管的连接部分等处，涂上真空油脂，这样可以明显提高真空效果。

2 提示 可以用汽笛代替电铃做实验。

连接电铃的导线，一定要像上面方框图中所示的那样，从橡皮塞的中间穿过。如果将导线夹在橡皮塞与玻璃瓶之间，就会导致空气从空隙进入，很难形成真空。

参考 也可以用座钟或闹钟等发声物体代替电铃或汽笛做实验。此时，为了不让声音传到排气盘上，可以用泡沫塑料板或柔软的海绵等作台座，在其上放置发声物体。

3 提示 在启动真空泵之前，应先检查一下运转时声音有没有异常，机器有没有故障。

实验完成之后，将涂在装置上的真空油脂完全擦净。这是为了避免在保管过程中沾上灰尘，防止油脂氧化后凝固在装置上，所以一定要做到。

结果 随着排气罩里的空气越来越稀薄，声音也越来越小，接近真空状态时，声音就听不见了。然后，放入空气，就能重新听见声音，并且声音逐渐加大。由此可知，没有空气，声音便无法传播。

材料与器具

漏斗3个(直径9 cm左右)　塑料管　玻璃管2个①　蜡烛②　大鼓　秒表　塑料薄膜③　橡皮筋　铁架台　煤气管　夹子(用来夹煤气管)　铁丝电话　水槽　勺子2把　空盒④　木条⑤　竹棒⑥

①一个用于连接塑料管，另一个的一端做成尖嘴形状。②五根大小相同的蜡烛。③要足够薄。④与香烟盒大小差不多，带盖。⑤长90 cm左右，横截面边长7 mm～8 mm。⑥直径13 mm，长1 m左右。

# 113 观察声音的传播方式

目标　初

知道声音可以通过空气和水等介质传播。
知道除了空气和水之外，声音还可通过金属、木头之类的介质传播。

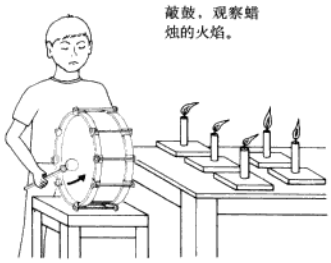
1 观察声音通过空气进行传播的现象

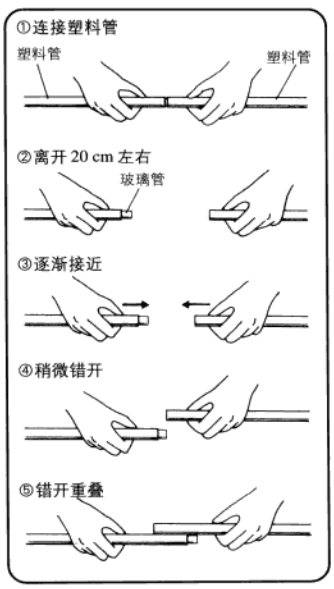
两人通过套有塑料管的漏斗通话，第三人按照步骤①至⑤进行操作，比较声音听起来有何不同。

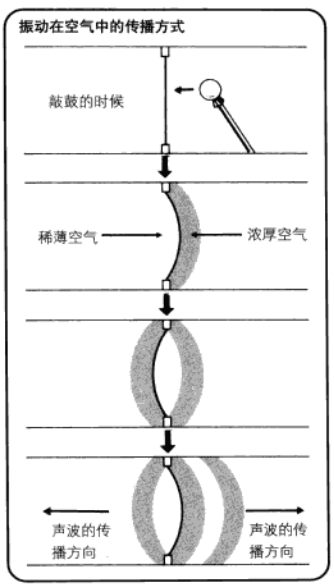



2 通过观察蜡烛的火焰，体会振动在空气中的传播方式

敲鼓，观察蜡烛的火焰。






3 检查能否收集到声音

①把漏斗贴在耳朵上，听秒表发出的声音，与不用漏斗听到的情况作比较




②在漏斗上蒙上一层塑料薄膜，重做①




1 提示　三人一组进行实验：两人通过塑料管进行对话，另外一人操作塑料管。

将漏斗贴在耳朵上听的人，要用手堵住另一只耳朵。

说明　在步骤①中，能清楚地听到声音。

在步骤②中，原来能听到的声音变得很难听清了。

在步骤③中，又渐渐容易听清了。

在步骤④中，声音又难以听清了。

在步骤⑤中，声音听不见了。

从以上实验看出，通过漏斗能够听到声音，主要不是因为塑料管能够传播声音（如果用的是线电话或铁丝电话，则可认为主要不是由于线或铁丝能够传播声音），可以设想是管内的空气在传播声音。

2 提示　最好用较大的蜡烛，因为大蜡烛的火焰大。调整鼓的位置，使蜡烛的火焰与鼓的中心高度相同。

认真观察：蜡烛的位置不同，火焰的晃动情况便不同。

可以看出：用力敲鼓和轻轻敲鼓时，火焰的晃动也有差异。

说明　蜡烛距鼓越近，火焰的晃动幅度越大；越远，晃动幅度越小。由此可以思考声音是如何传播的。

3 提示　听声音的时候，应将另一只耳朵堵住。

在步骤②中，应使用尽量薄的塑料膜。将塑料薄膜蒙在漏斗上时，应一边旋转漏斗一边将塑料薄膜卷上去，然后迅速蒙上，用橡皮筋固定。

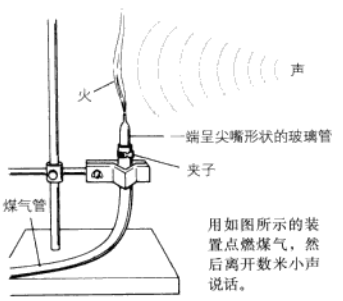
实验前，最好先想象一下能听见怎样的声音。

说明　在步骤①中，能听见比平时更大的声音。这是因为漏斗能使发散到空气中的声音聚集起来，聚集后的声音更加响亮。

在步骤②中，因为蒙上了薄膜，很多人会以为听不见声音了，其实是能听见的。

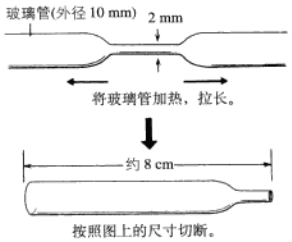
实验之后，根据①和②中的结果，思考声音是怎样传播的。

## 4 利用火焰的振动，观察空气传播声音的现象



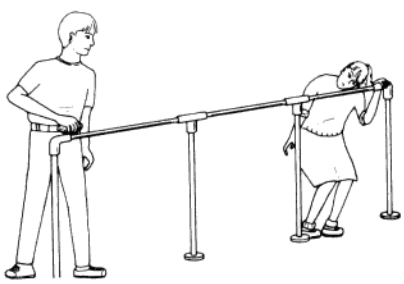

用如图所示的装置点燃煤气，然后离开数米小声说话。

**玻璃管的加工方法**



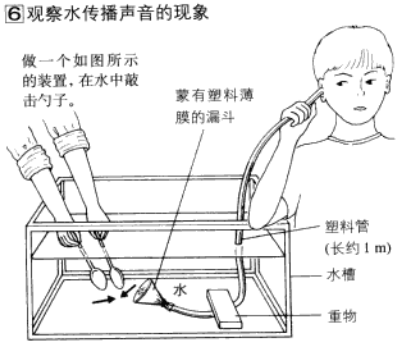

## 5 观察金属传播声音的现象

①将耳朵贴在铁棒上，用石头敲击铁棒的另一端　　②用铁丝电话听各种声音

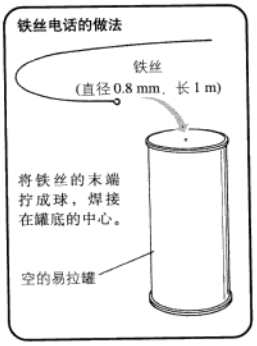





## 6 观察水传播声音的现象




**铁丝电话的做法**




## 7 观察金属器具和木头等传播声音的现象







**4** 提示 使用比煤气管内径稍粗一点的玻璃管。将玻璃管插入煤气管内，用夹子夹紧，在接口处涂上肥皂水，检查是否有煤气泄漏。用手指堵住管口，打开阀门。如有煤气泄漏，就会有肥皂泡沫冒出。

火焰的高度以80 cm左右为好。用阀门调节火焰高度。

一边小声说话，一边从距离火焰 10 m 左右的位置开始，逐步靠近火焰。

除了做实验的人，实验过程中不要发出任何声音或走动。

**5** ① 说明 在铁棒的一端敲打一下，却能听到两声，这是因为铁棒和空气对声音的传播速度不同的缘故。

提示 为了活跃学习气氛，可以用儿童游乐场上常见的攀登架代替铁棒进行实验，可以5～6人同时实验。

② 提示 把铁丝的一端缠在水龙头上，听水滴下的声音，或将铁丝缠在铁棒上，听敲击铁棒的声音。诸如此类，可以进行各种尝试。

说明 即使铁丝电话上的铁丝很松，也可以清楚地听见声音。思考铁丝电话跟线电话在声音传播方式上的不同。

**6** 说明 之所以要在塑料管上接上蒙有塑料薄膜的漏斗，是为了防止水进入塑料管中，同时也能更加明显地感到水的振动。

提示 往漏斗上蒙塑料薄膜时，要将塑料薄膜拉平，先用透明胶带固定，再用橡皮筋扎牢，以防水流入。

除了用两把勺子互相敲击发出声音之外，还可尝试其他各种发声方法。例如，吹用塑料薄膜包裹的汽笛也是一个很好的办法。




**7** 提示 请使用跟香烟盒大小差不多的空盒，因为如此大小的空盒实验效果最好。

要把木条及竹棒贴在耳朵上的那一端的尖角去掉，磨圆。听声音时，要将另一只耳朵堵住。

材料与器具

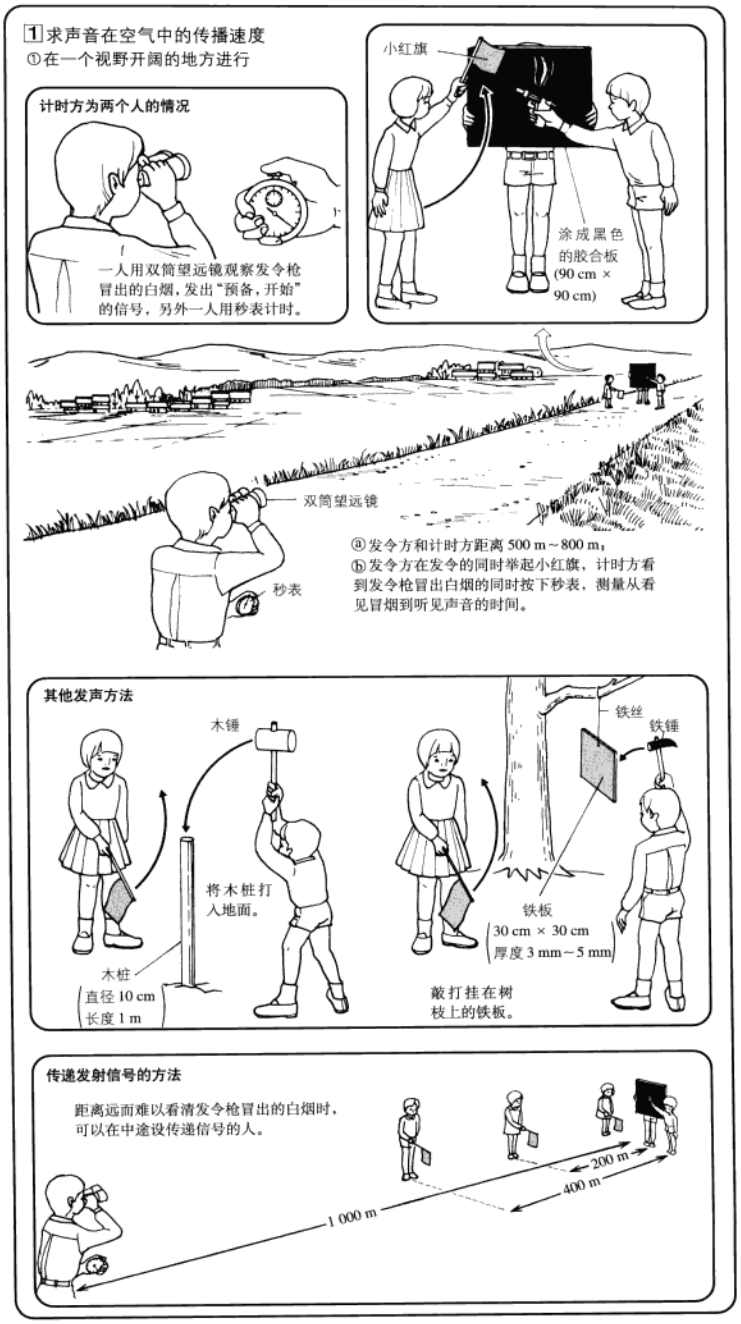
# 114 观察声音的传播速度

目标 初

能求出声音在空气中的传播速度。
知道声音在不同介质中的传播速度不同。

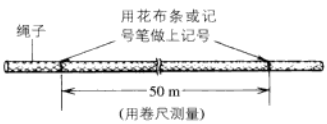
胶合板① 发令枪 小红旗 双筒望远镜 秒表
绳子 卷尺 花布条② 便携式小喇叭 碗 木锤

① 90 cm × 90 cm 左右，用墨汁将一面涂黑。②也可以用记号笔代替。




1 ①提示 实验要在长500 m～800 m、视野开阔的地方进行，例如河岸附近、河堤上等。用绳子准确测量两点间的距离。

用绳子测量的做法




有时因测量距离太远或有风的缘故，可能难以看清发令枪冒出的白烟。为了看清白烟，应在发令枪的后面放上一块涂成黑色的胶合板。

发令方由三人组成：拿胶合板的人、开枪的人和手持小红旗发令的人。拿小旗的人当负责人，发出“预备，开始”的口令，同时将垂下的小红旗迅速举起，与此同时，拿枪的人迅速开枪。但因如果突然开枪，计时方有可能来不及计时，所以，当开枪的准备工作完成之后，发令方应将小旗左右挥动，通知计时方做好准备，然后再开枪。

计时方可以是一个人，也可以是两个人一组：一个人用双筒望远镜确认发令枪冒出白烟，另一个人用秒表计时。

在距离较远的海岸等地做实验时，计时方有可能无法确认开枪的时间。此时，可以在中间设手持小红旗的信息传递者。信息传递者不是听到发令枪的声音后举旗，而是盯着发令人手中的小红旗，做到同时举旗。为此，需要几个人配合默契。另外，距离太远时，如果有风，可能会导致声速不准确，所以应尽可能在没有风的时候做实验。

参考 除了用发令枪发令，还可以采用其他方法。例如，可以利用在地面上打桩的声音，或用铁锤敲击用铁丝吊着的铁板，等等。

发声物体最好是能发出大而短促的声音的物体。建议不要采用会残留余音的物体，因为那样将很难听清声音是何时发出的。

说明 声速可以用下面的公式求出：

$$\text{声速}=\frac{\text{两点间的距离}}{\text{声音传播所用的时间}}$$

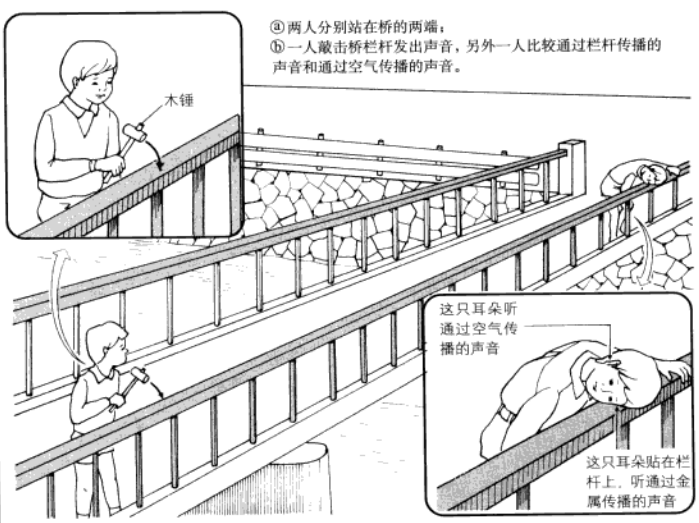



② 提示 手持喇叭的人，位于声音垂直反射的位置。计时者最好用碗或其他物品收集声音，以便准确捕捉声音。

说明 声速可以用下面的公式求出：

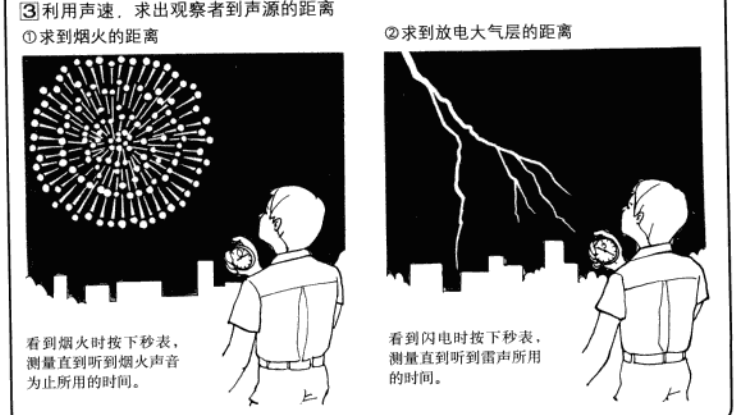
$$\text{声速} = \frac{2 \times \text{观察者到墙壁的距离}}{\text{声音往返所用的时间}}$$

## 2 比较声音在金属和空气中的传播速度




2 说明 能听见两次声音——贴在栏杆上的耳朵先听见声音，另一只耳朵后听见声音，这是因为声音在金属中的传播速度比在空气中的传播速度快。

## 3 利用声速，求出观察者到声源的距离




3 说明 声音在空气中的传播速度，在气温为 0 ℃时是 331 m/s；气温每上升 1℃，传播速度便增加 0.6 m/s。利用此原理，可以求出观察者到声源的距离。

例如：假设气温是 20 ℃，看到烟火之后又过了5 s才听见声音，人到烟火发光位置（声源）的距离大约为：

$(331 + 0.6 \times 20)\text{m/s} \times 5\text{ s} = 1\,715\text{ m}$

参考 声音在不同物质中的传播速度不同。下面的表格给出了一些常见的例子。

| 物质 | 声音的传播速度/(m·s⁻¹) |
|---|---|
| 空气 | 331.45 (0 ℃) |
| 水 | 1 433 (15 ℃) |
| 海水 | 1 513 (20 ℃) |
| 硬木 | 约4 200 |
| 钢 | 约4 900 |
| 玻璃 | 约5 300 |

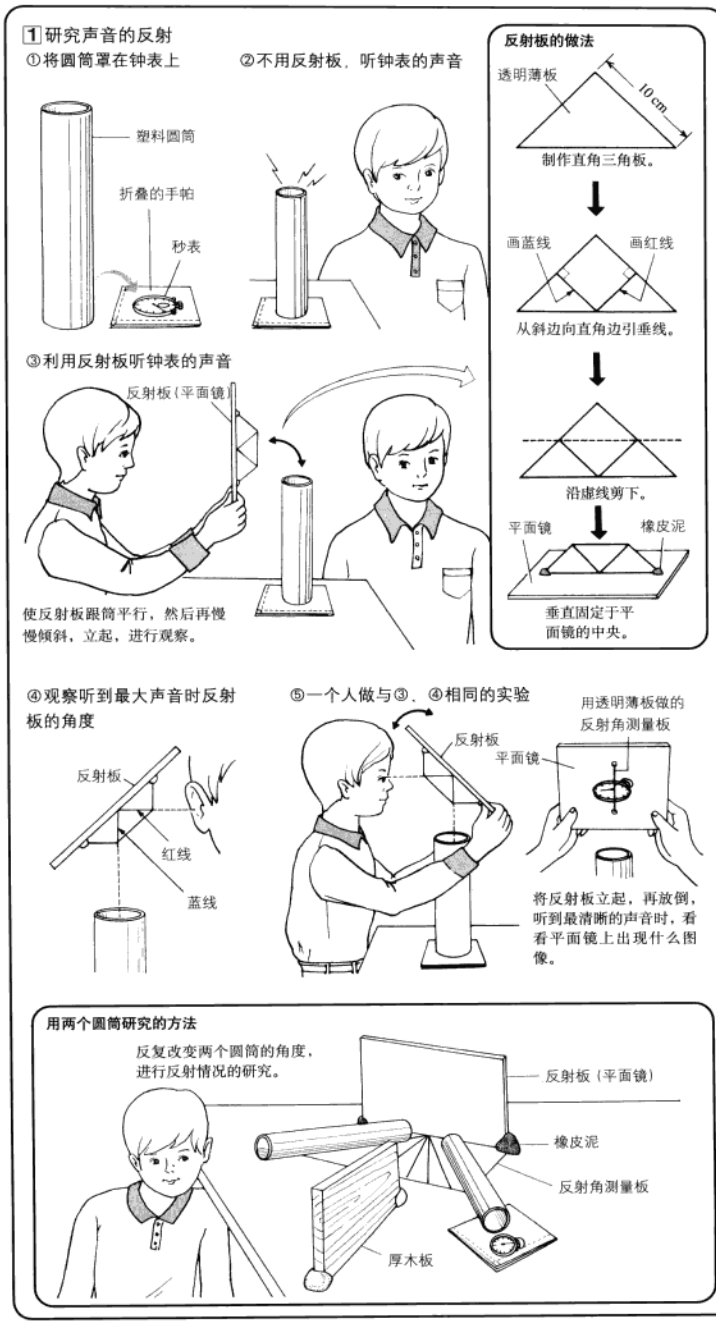
# 115 研究声音的反射

目标 小初

知道声音遇到物体会发生反射；不同物体的反射情况不同。
知道声音遇到物体发生反射时，反射角度是有规律的。

圆筒① 钟表② 手帕 反射板③ 透明薄板 油性记号笔(红、蓝) 橡皮泥 木板 大碗 锥子 便携式小喇叭 雨伞 小碗

①最好是 30 cm 长的塑料筒。②秒表和小座钟各一个。③除了平面镜之外，还可以准备其他材料的反射板，如金属板、塑料垫板、泡沫塑料板、表面光滑的硬木板、建筑纤维板，等等。




1 ①提示 不要把钟表直接放在桌子、书等硬物上，要放在手帕或其他柔软的物体上面。

③提示 两人一组，一人操作反射板，另一人听声音。

在反射板(平面镜)上，装上测量反射角用的透明薄板。固定透明薄板时，不用橡皮泥而用透明胶带也是可以的。

使用装了透明薄板的反射板时，应注意将蓝色的线朝下，并始终对着圆筒的中心。

将反射板立起再放倒时，应在与圆筒平行到与圆筒成直角这个区域中慢慢地反复进行。

在平面镜上蒙上布当做反射板，或用其他材料(如金属板、塑料垫板、表面光滑的硬木板、泡沫塑料板、建筑用纤维板)作反射板，区别各种不同的声音也是可以的。

说明 改变反射板的倾角，声音会变大或变小，这是因为经过反射板反射的声音，有时会射向耳朵，有时则会远离耳朵。用平面镜之外的物体作反射板时，因材质不同，反射后的声音的大小也大不相同，这是因为不同材料的反射(及吸收)方式不同的缘故。

④提示 在③中，听声音的人一旦听到最大的声音便说："停！"并观察此时反射板的角度。

说明 听到最大声音时，反射板的红线刚好对准听的人的耳朵，也就是说，红线水平，蓝线竖直。由此可见，入射角与反射角相等。

⑤说明 这是一个人操作③和④的实验。听到最大的声音时，平面镜的中央会出现圆筒底部秒表的像。此时，反射角测量板的红线水平，蓝线竖直。由此可知入射角和反射角相等。

**2** 观察不同隔音物体对声音强弱的影响

①用木板隔音




②用大碗隔音




③用开有许多小孔的透明薄板隔音，拉近，推远




④将大碗的碗口朝着耳朵，拉近，推远



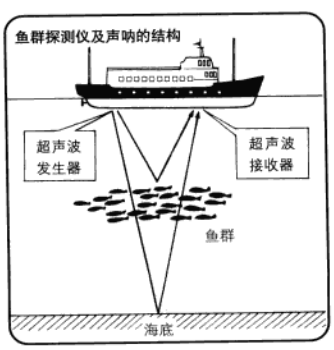

**3** 同时观察声音的反射和回声现象










**2** 提示 在③中，可以用锥子在透明薄板上打孔。

说明 像①和②中这样，在钟表和耳朵之间放上隔音用的物品后，比起什么都不放时难于听清声音。像③中那样，用透明薄板隔音时，因为开有小孔，所以跟没放任何遮挡物时几乎没有区别，这是因为声音能通过小孔传播的缘故。

用大碗像④中那样罩住耳朵时，几乎听不见任何声音，不过仔细听时还是能听见一点点，这是因为存在声音衍射的缘故。

参考 站在建筑物及围墙的后面，也能听见前面的人的说话声或物体发出的声音。另外，声音也可以通过小孔传播。像这样，声音绕过障碍物传播的现象，叫做声音的衍射。

**3** 提示 拿着小喇叭的人应当站在建筑物附近，拿着伞和小碗的人，则应站在离建筑物较远的地方。

拿着小喇叭的人，发声时应尽可能保持音量大小相同。

拿着伞及小碗的人，可以通过改变伞及小碗的朝向、移开伞及小碗等做法，比较各种做法的效果。

参考 山里的回声是声音的反射现象之一。声音的反射被用在各种仪器上，跟我们的生活密切相关，比如用于检查肉眼看不见的金属内部缺陷的探伤仪、鱼群探测仪、测量海洋深度的声呐，等等。这些仪器所用的声波是超声波。

所谓超声波，是一般人的耳朵听不见的高频声波。超声波在水中的传播速度与一般声波在水中的传播速度相同，大约是1 500 m/s。超声波在空气中迅速变弱，不能传得很远。

材料与器具

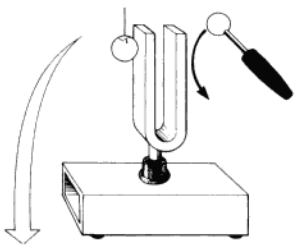
# 116 观察声音的强弱与振幅的关系

音叉　乒乓球　棉线　透明胶带　鼓　沙子　单弦琴　竹签　水槽　钢琴弦(直径 0.5 mm)　钢丝钳　厚纸　旧伞柄　钢锯　锉刀　扁松紧带(宽 8 mm，长 30 cm)　漆包线　电扇　尺(长 1 m 或 30 cm)　小竹棒　底片　铁架台　图画纸　软笔尖　红墨水　硬白纸　示波器　传声器　物理实验用前置放大器

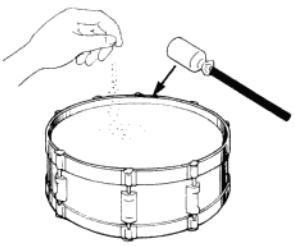
目标　初　知道振幅大的物体产生的声音强，振幅小的物体产生的声音弱。

1 观察物体的振动与发声

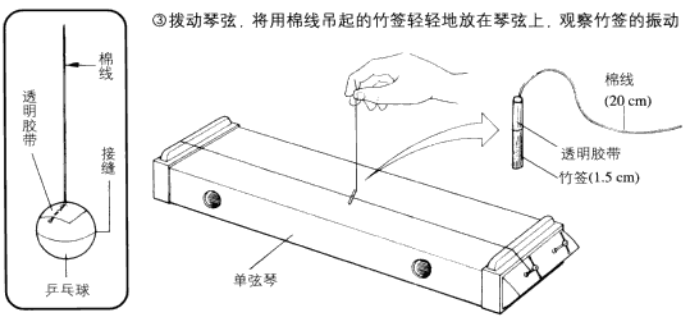
①将用乒乓球做成的摆贴紧音叉。敲击音叉，观察乒乓球的振动



②敲鼓，在鼓面上撒上沙子，观察沙子的振动



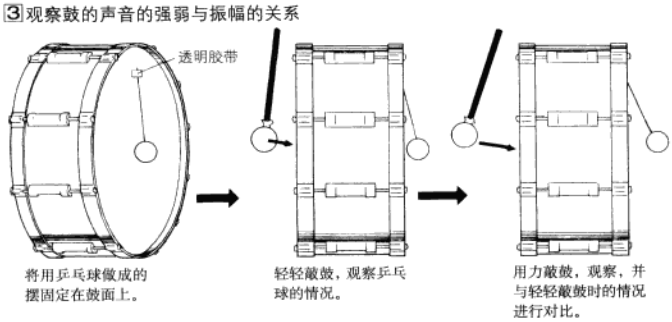
③拨动琴弦，将用棉线吊起的竹签轻轻地放在琴弦上，观察竹签的振动




2 观察音叉产生的声音的强弱与振幅的关系




3 观察鼓的声音的强弱与振幅的关系




1 ①提示 用透明胶带将棉线粘在乒乓球上，同时将棉线的末端打结，以免线从手中脱落。粘线时，注意使乒乓球的接缝水平，与音叉成直角。

② 提示 将沙子用水洗干净，干燥之后使用。往鼓面上撒沙子时，应多次改变敲鼓的力度及节奏，慢慢撒。

③ 提示 应选用最粗的琴弦。

实验在弦的中间部分进行。将竹签斜放在弦上，然后将线拉直。

2 提示 应使用单个音叉（从共鸣箱上拆下来的那种），而不要用共鸣音叉（带共鸣箱的那种）。

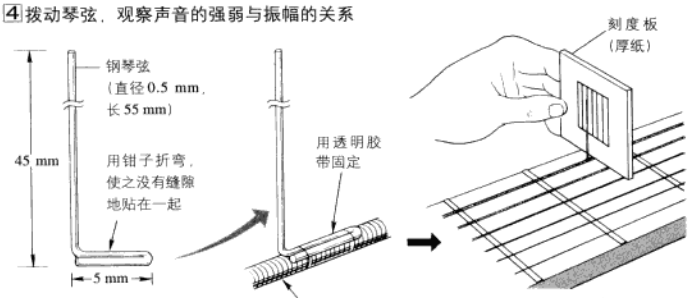
从用力敲击音叉和轻轻敲击音叉引起的水面变化情况，可以知道声音的强弱跟振幅有关系。

实验完成之后，用干布将音叉上的水擦干净，涂上机油后保管。

3 提示 将线头用透明胶带固定在鼓面上，使用乒乓球做的摆位于鼓的中心。乒乓球摆的做法参照1①中的提示。

用力敲鼓和轻轻敲鼓时，乒乓球的振动情况不一样，由此可以思考声音的强弱与振幅的关系。

## 4 拨动琴弦，观察声音的强弱与振幅的关系

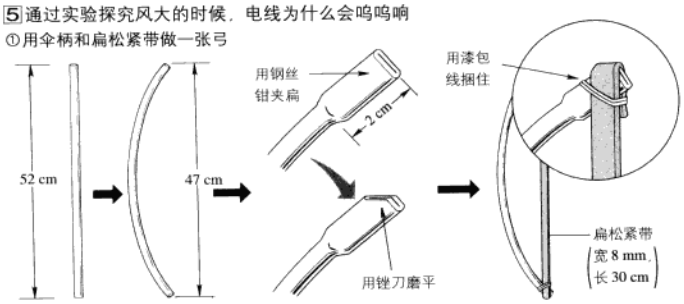



用钢琴弦做成垂直棒，装在吉他弦上。

用力拨动琴弦，比较各条弦的振幅。

## 5 通过实验探究风大的时候，电线为什么会呜呜响

①用伞柄和扁松紧带做一张弓

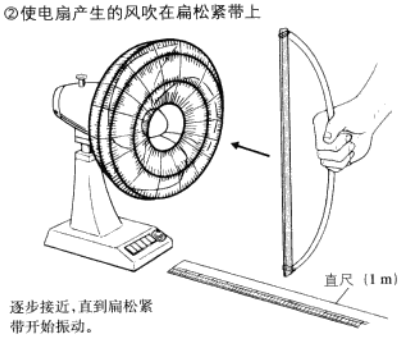



把伞柄窝成弓状。

夹扁两端，去掉尖角。

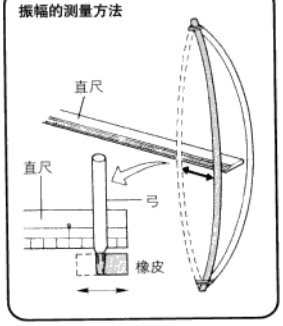
装上扁松紧带。

②使电扇产生的风吹在扁松紧带上



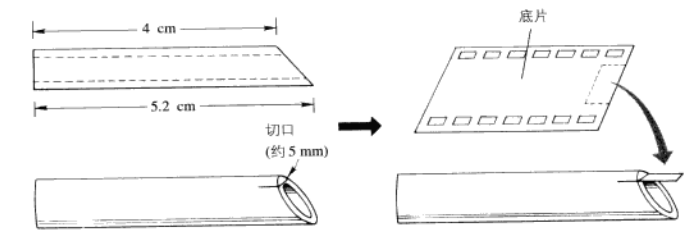

逐步接近，直到扁松紧带开始振动。

**振幅的测量方法**




## 6 观察吹哨的声音强弱与吹哨力度的关系

①制作哨子




按照图中的尺寸将竹子截断，开一个放底片用的切口。

剪下底片，做成振动片，插在切口里。

**4** 提示 用透明胶带牢牢固定垂直棒。

在厚纸上画一组间隔为 1 mm 的线，做成刻度板。

说明 之所以用最粗的吉他弦，是因为用这种弦容易看出声音的强弱与弦的振幅的关系。

也可以将刻度板放在弦的下面；可是如果这样做，用力拨动琴弦时没问题，轻轻拨动时就有可能看不清楚弦的振动。不过，在这个实验中，将用钢琴弦做的垂直棒固定在弦上，即使轻轻拨动也能看得很清楚。

**5** ①提示 可以用钢锯锯断伞柄。因为伞柄中间是空的，所以很好锯。

伞柄很容易折弯，用手就能做到。

用钢丝钳夹扁两端时，夹扁的一面要平行于用伞柄做成的弓。

把松紧带系在伞柄上时，扁平的一面应平行于用伞柄做成的弓。

② 提示 将电扇的风力开到最强挡。拿弓的方法要正确——应使风对着松紧带最宽的地方吹。

如果近到距离为 10 cm 左右时松紧带还不开始振动，可用手指轻轻拨动。

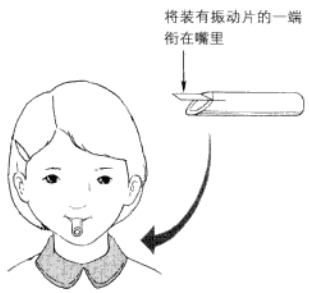
松紧带开始振动之后，将弓靠近，再移远，感受风的强度、声音的强弱与弦的振幅之间的关系。

使直尺的平面平行于地面，刻度对着松紧带，测量振幅。

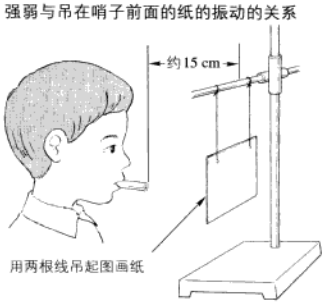
说明 距电扇 30 cm 时，振幅为 3 cm 左右；距电扇 70 cm 时，振幅为 2 cm 左右。

**6** ①提示 用作振动片的底片，需在有药膜的一面蘸上水，用小刀将药膜刮落后使用。

②用力吹哨子，再轻轻吹哨子，观察声音的强弱



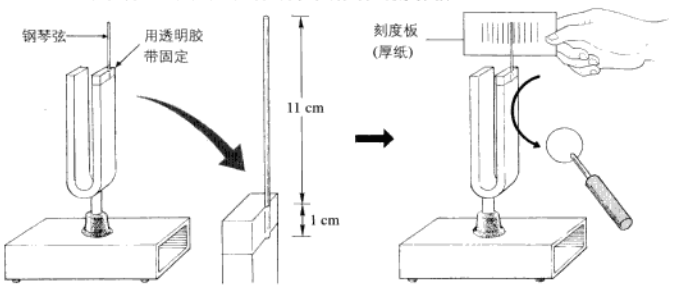

③用力吹哨子，再轻轻吹哨子，观察声音强弱与吊在哨子前面的纸的振动的关系



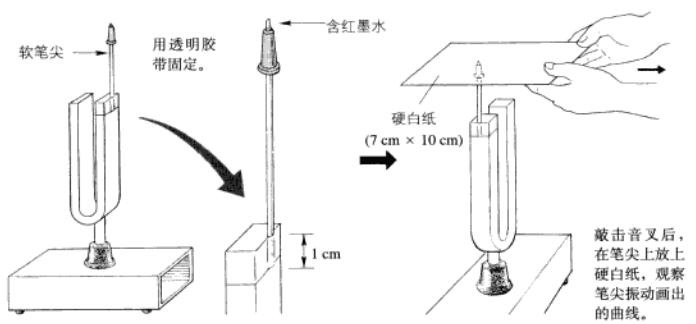

③ 说明 用线把图画纸吊在哨子前面，是为了观察呼气的强度。

## 7 观察声音的强弱与振幅的关系

①将钢琴弦装在音叉上，用力敲击，再轻轻敲击，观察振幅

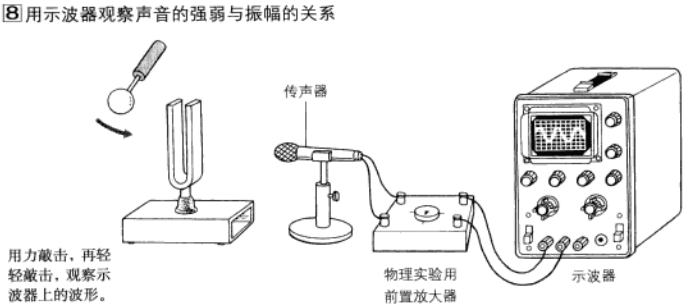



②将软笔尖装在音叉上，用力敲击，再轻轻敲击，记录振幅




7 提示 将钢琴弦和软笔尖固定在音叉上时，固定部分应为 1 cm 左右。如果固定部分过长，就会妨碍音叉的振动，这一点要注意。

## 8 用示波器观察声音的强弱与振幅的关系




8 提示 示波器的用法参照 167 。

# 117 观察声音的高低与振动频率的关系

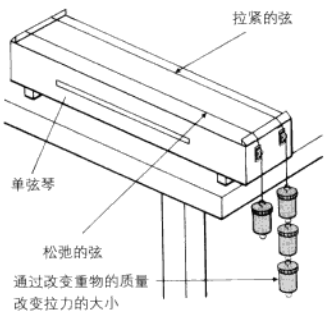
目标 初高 能用单弦琴、锯条、吉他、自行车等观察声音的高低与振动频率的关系。

单弦琴 锯条 台钳 图画纸 竹签 线 曲别针 钢琴弦 透明胶带 自行车 网球 厚纸片 秒表 标准音叉① 传声器 物理实验用前置放大器

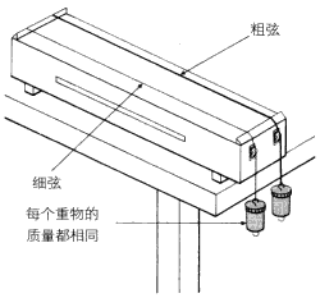
①准备两个标准音叉C1和C2。

**1** 观察声音高低与弦的状态的关系

①拨动松紧不同的弦，比较声音的高低

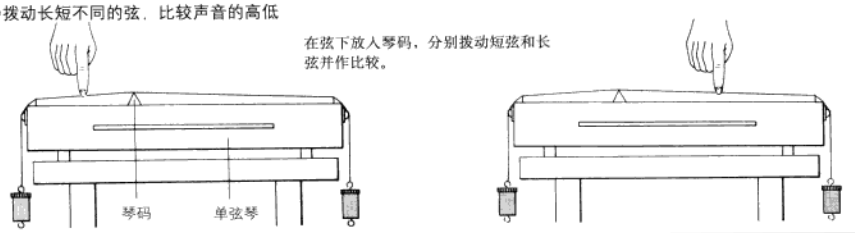



②拨动粗细不同的弦，比较声音的高低

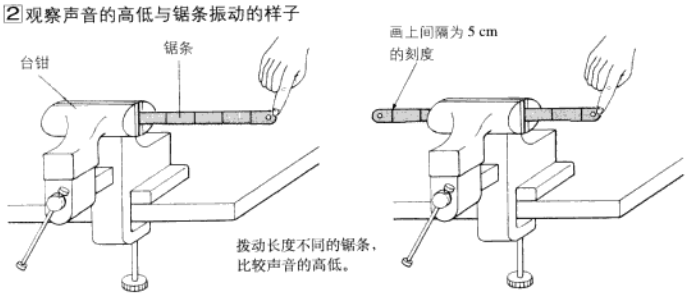



③拨动长短不同的弦，比较声音的高低

在弦下放入琴码，分别拨动短弦和长弦并作比较。

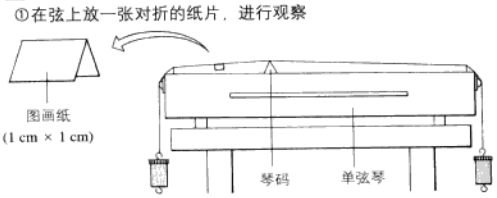



**2** 观察声音的高低与锯条振动的样子




**3** 观察单弦琴的声音高低与弦的振动频率的关系

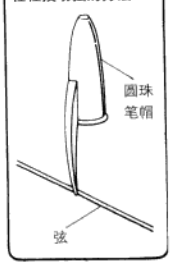
①在弦上放一张对折的纸片，进行观察




ⓐ在短弦部分放一张对折的纸片，拨动弦，观察纸片振动的频率与声音的高低；

ⓑ在长弦部分做与ⓐ相同的实验并与③中的结果进行比较。

轻轻拨动弦的方法




**1** 提示 可以用胶合板和滑轮自制简单的单弦琴，制作方法见【参考】。

① 提示 使用自制的单弦琴时，应把没挂重物的那一端弦上的金属环固定在钩子上。(②中也一样。)

使用两根粗细相同的弦。

说明 增加重物的数量或弦的张力时，能发出比较高的声音。

② 提示 两根弦的张力要一样。

说明 细弦发出的声音比较高。

③ 提示 移动琴码的位置，用各种长度的弦进行实验。

说明 短弦发出的声音较高。

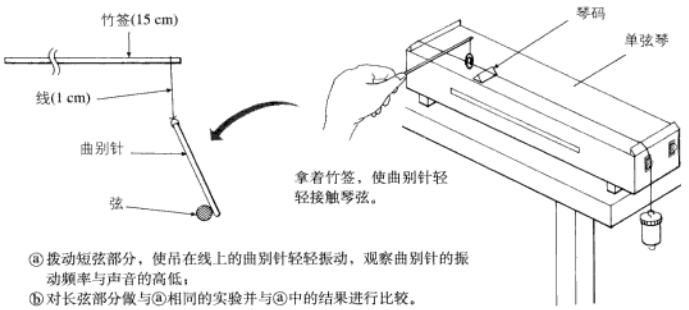
**2** 提示 作为改变振动部分长度时的标准，可以预先用记号笔在锯条上画上间隔为5 cm的刻度。认真观察不同长度的锯条的振动频率，并将此时振动部分发出的声音录下来。然后播放录音，一边回想当时锯条的振动频率，一边比较声音的高低。

说明 振动部分越短，振动的频率越高，声音也越高。

**3** 说明 做完①中的实验之后，做下一页②中的实验。像②中那样使用曲别针测定振动的频率，比①中用纸测定的方法更容易理解。

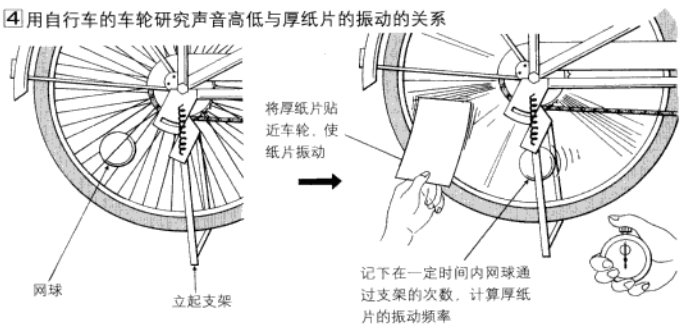
提示 用圆珠笔的笔帽拨动弦，可以拨得更轻。

②用吊在竹签上的曲别针进行研究




ⓐ拨动短弦部分，使吊在线上的曲别针轻轻振动，观察曲别针的振动频率与声音的高低；
ⓑ对长弦部分做与ⓐ相同的实验并与ⓐ中的结果进行比较。

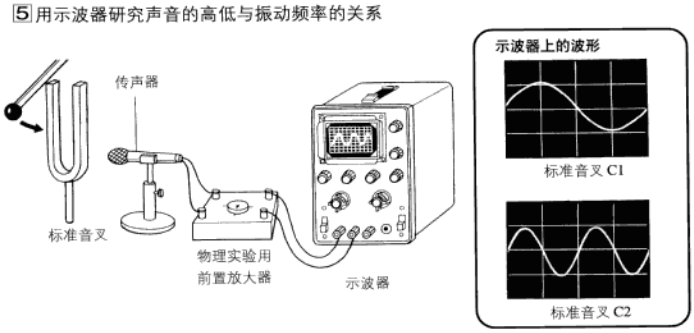
**4** 用自行车的车轮研究声音高低与厚纸片的振动的关系

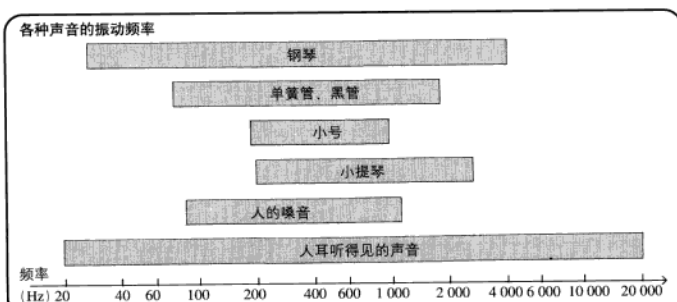



在自行车后轮的辐条之间夹上一个网球。

转动后轮，使厚纸片振动，观察厚纸片的声音高低与振动频率的关系。

**5** 用示波器研究声音的高低与振动频率的关系




**4** 提示 多次改变车轮的旋转速度并进行观察。
说明 车轮转得越快，厚纸片的振动越快，声音也越高。
可以用下面的公式求出厚纸片的振动频率。设在一段时间 $t$ 内网球通过的次数为 $n$，1 s 内车轮的旋转次数为 $n'$，则

$$n'=\frac{n}{t}$$

因此，用车轮在 1 s 内旋转的次数乘以使厚纸片振动的辐条(单侧的辐条)数 $x$，便可求出厚纸片的振动频率 $f$

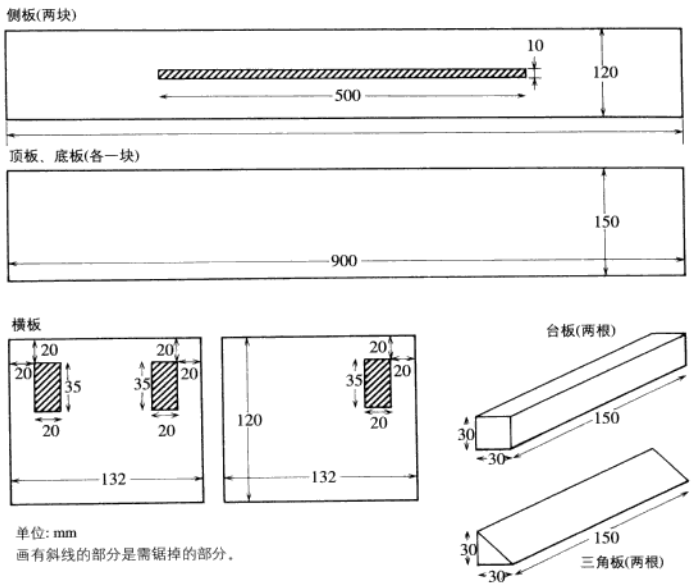
$$f=n'x=\frac{nx}{t}$$

**5** 提示 准备好标准音叉 C1(256 Hz)和 C2(512 Hz)。示波器的用法见【167】。
结果 高一个八度音，与低音振幅相同但振动频率为低音的二倍。

结果 声音的音调高低与发声物体的振动频率有关；振动频率越高，音调越高。
参考 声音的音调高低由发声物体的振动频率决定。振动的频率，用 1 s 内全振动的次数来表示。频率的单位是赫兹，符号是 Hz。例如，1 s 内全振动 1 000 次时发出的声音，叫做 1 000 Hz 的声音。人耳能听见的声音在 20 Hz～20 000 Hz 的范围内。

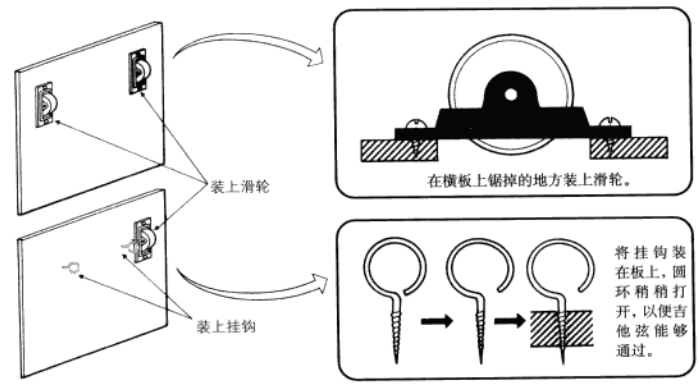
**【参考】单弦琴的制作方法**

1 将胶合板及木料按下列尺寸锯好

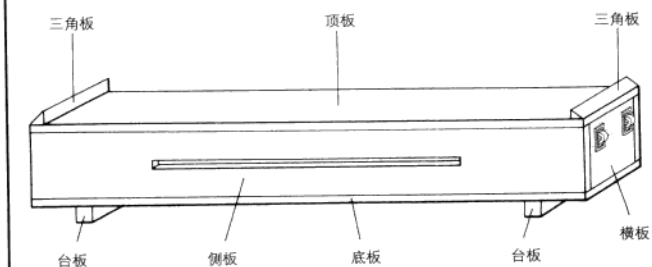



单位: mm
画有斜线的部分是需锯掉的部分。

2 在横板上装上滑轮和挂钩




3 组装




**【参考】单弦琴的制作方法**

1 提示 使用厚度为9 mm左右的胶合板。图中标的尺寸就是针对9 mm胶合板而言的。如果选用不同厚度的板，则需根据板的厚度重新考虑横板(即长 132 mm 的那块板)的尺寸。

2 提示 (黄铜制)挂钩的尺寸要与吉他弦上附带的金属环的大小相符。选用小的挂钩时，需用黏合剂粘一下。



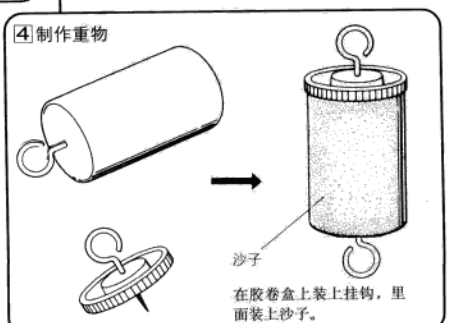

3 提示 可以用钉子组装侧板、顶板、底板和横板。

装三角板和台板时，可以用木工专用黏合剂，同时还可以在顶板上画上间隔为 1 cm 的刻度。这样，在改变弦的长度做实验时会比较方便。

4 提示 在胶卷盒的底和盖上装挂钩时，要装在正中间。为了防止挂钩脱落，可以在装好之后，用黏合剂粘一下。放入胶卷盒内的沙子应先用水洗干净，待干燥之后再用。

放入沙子之后，测定重物的质量，用记号笔记在胶卷盒的侧面。使用相同的重物专用盒子时，最好使每个重物的质量大致相同。

4 制作重物



# 118 观察音色的不同

目标 初高

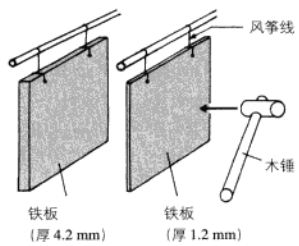
能用示波器观察各种声音的波形。
知道音色的不同可以导致示波器上显示的波形不同。

铁板2块① 不锈钢管3根② 风筝线 木锤 硬币③ 铁丝 示波器 传声器 物理实验用前置放大器 乐器④

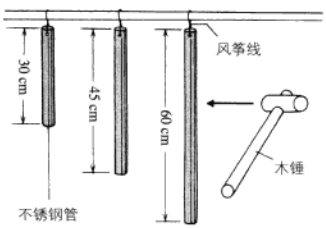
①一块厚度为4.2 mm左右，另一块厚度为1.2 mm左右，大小均为30 cm × 30 cm左右。②直径均为16 mm左右，长度分别为30 cm、45 cm、60 cm。③材质不同的硬币，如铜币、白铜币、银币。④可以用容易找到的乐器，如长笛、小提琴。

1 观察因发声物体的厚度、长度、材质不同导致声音不同的现象

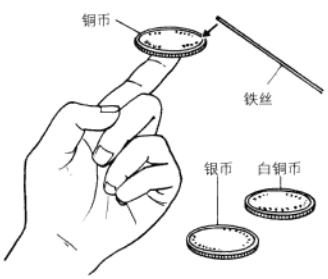
①敲击面积相同但厚度不同的铁板



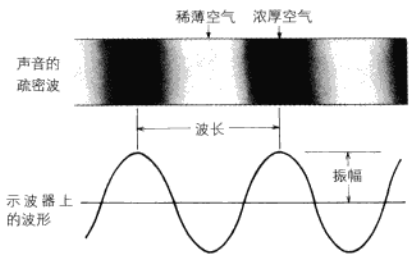

②敲击粗细相同但长度不同的不锈钢管




③敲击材质不同的硬币



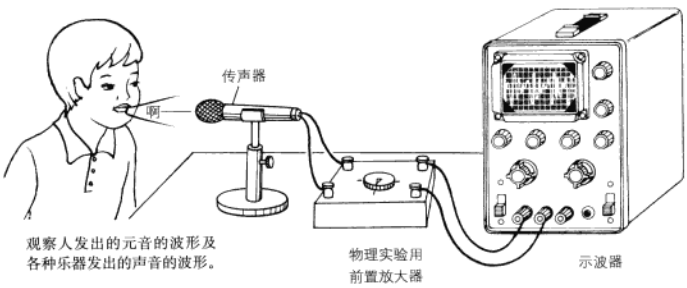

**声音的疏密波和示波器上的波形**




示波器是通过电的作用将声音的疏密波转换为光波的一种仪器。从这种波形上，可以按照下面的说明了解声音的强弱、音调的高低以及音色的不同：

- 波的振幅(宽度)表示声音的强弱；
- 声音的音调高低由振动频率表示；相邻波峰(或相邻波谷)之间的距离(波长)就能表示声音的高低；
- 互不相同的波形显示出音色的差异。

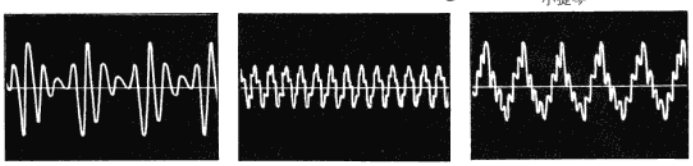
2 用示波器观察各种声音的音色差异









人说“啊——”时的波形　长笛的波形　小提琴的波形

1 提示 在①和②中，用钻在铁板和不锈钢管上钻孔，然后用风筝线吊起铁板和不锈钢管。用木锤敲击铁板和不锈钢管时，要敲击中间部分。

在③中，将硬币放在左手的食指上，右手拿着铁丝敲击。

倾听、比较因发声物体的厚度、长度及材质的不同导致的声音的差异，并用示波器观察波形(示波器的用法参照【167】)。此时，可以在示波器和传声器之间放入物理实验用前置放大器(参照2 中的图)，这样可以提高Y输入的灵敏度。

2 提示 在进行这个实验之前，先观察用力敲击长短两种音叉和轻轻敲击长短两种音叉时产生的波形，了解用波长的不同表示声音高低的不同、用振幅的不同表示声音强弱的不同这种方法。

尽量使噪音及乐器的声音的高低与强弱保持一致。

说明 即使声音的高低和强弱都相同，用不同种类的乐器演奏时，也能听出是哪种乐器发出的声音，这是因为每种乐器发出的声音各具特色，这种声音的特色就叫音色。我们平时能分辨出不同人的嗓音，靠的也是这种音色上的不同。

利用示波器，可以将音色的不同用波形的不同表示出来。可以看出，这些波形各不相同。

# 119 共鸣实验

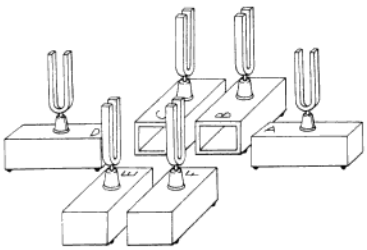
目标 初 能对音叉和气柱的共鸣条件进行研究。
能说出产生共鸣的条件。

音叉[①] 熔丝[②] 量筒[③] 气柱共鸣装置[④]

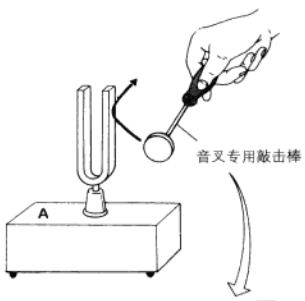
①将振动频率相同的两个音叉作为一组，需要三组以上。②用曲别针也可以。③需要至少五个 200 mL～300 mL 的量筒。④如果没有，可以用直径 2 cm～3 cm、长度 1 m 左右的玻璃圆筒、大型漏斗、胶皮管、铁架台等代替。

1 观察音叉和音叉产生共鸣的现象

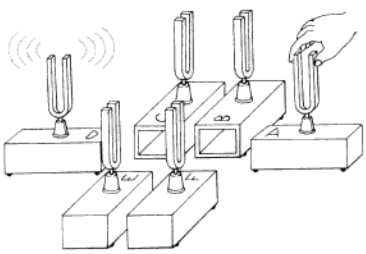
①如图所示，将三组振动频率相同的音叉两两开口相对地排列起来



②敲击 A 音叉

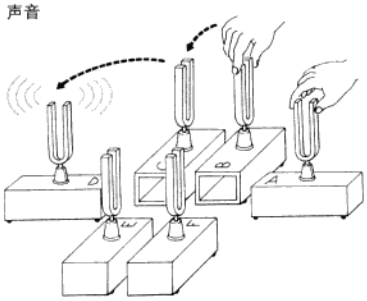



③用手止住 A 音叉的振动

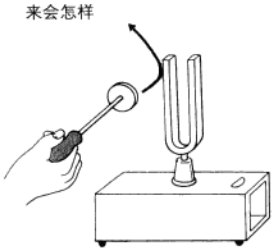





④按顺序触摸A以外的音叉，观察哪些音叉发出了声音



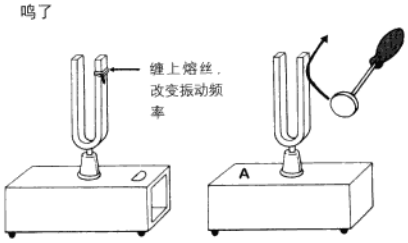
⑤敲击与 A 产生共鸣的音叉，仿照③、④中的实验方法，看看反过来会怎样



⑥对没有跟A产生共鸣的音叉，也按②至⑤中介绍的方法，寻找与这些音叉产生共鸣的音叉



⑦可以证明，当把两个共鸣音叉相对放置时，如果改变其中一个音叉的频率，两个音叉就不再产生共鸣了




1 ① 提示 事先在准备好的音叉上，贴上标有 A 至 F 等记号的纸片。
排列音叉时，应使每组音叉底座的开口相对，但互相不要碰到，也不要碰到音叉以外的其他物体。

② 提示 一定要用专用的敲击棒使音叉发出声音，不能用铁锤或金属棒敲击。

③ 说明 可以看出：即使用手按住A音叉止住声音，其他音叉仍会发出声音。这种现象叫做共鸣，也叫声音的共振。

④ 说明 按顺序触摸 A 以外的音叉，触摸到其中的某一个音叉时，声音就会消失。这说明，声音是从刚才触摸过的那个音叉发出来的；也就是说，这个音叉与A产生了共鸣。
提示 按顺序触摸音叉时，一直到判明共鸣音叉为止，不要将手离开发出声音的音叉，因为当音叉的振动还没有完全停止时，一旦放手，音叉就会再度发出声音。如果不能用手按住音叉，也可以用扁平夹等夹住，或者将音叉放倒。
按与刚才相反的顺序触摸音叉，重新实验，也可以得到相同的结果。

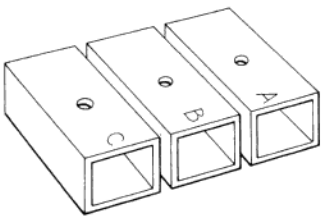
⑤ 说明 敲击与 A 产生共鸣的音叉，看 A 是否产生共鸣。由此思考共鸣的条件。

⑥ 说明 确认没有跟 A 产生共鸣的音叉也和 A 一样，存在自己的共鸣音叉。

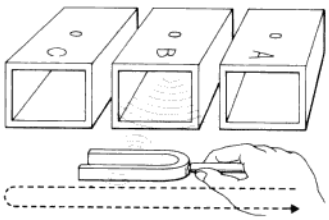
⑦ 说明 确认即使是本来互相共鸣的音叉，如果改变其中一个的振动频率，也会变得不产生共鸣了。由此现象能够清楚地认识共鸣的条件。
说明 改变音叉的振动频率时，可以用曲别针代替熔丝进行实验。

**2** 观察音叉和共鸣箱产生共鸣的现象

①将振动频率不同的共鸣箱排列起来

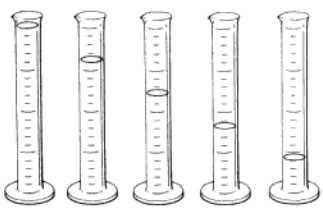



②敲击音叉并在共鸣箱的前面来回移动，寻找使声音变大的箱子

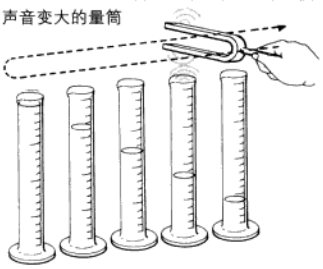



**3** 观察音叉和量筒气柱产生共鸣的现象

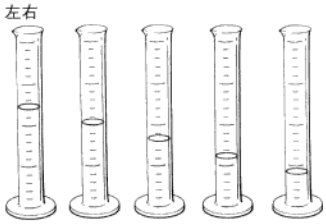
①使五个量筒的水量依次递减 40 mL 左右



②敲击音叉，在量筒上方来回移动，寻找使声音变大的量筒



③以使声音变大的量筒的水位为中心，使左右量筒中的水位依次递增或递减 20 mL 左右

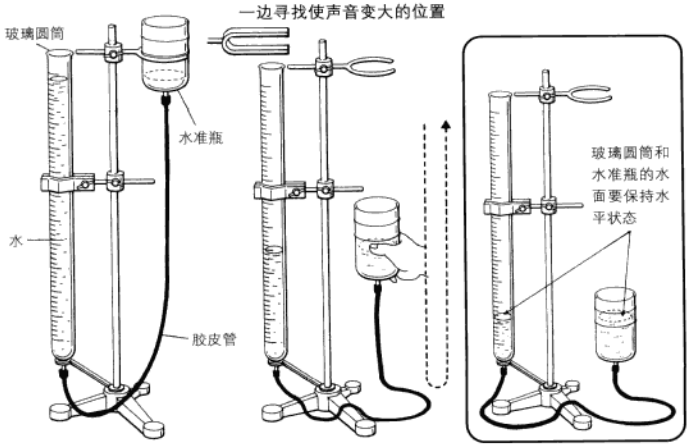


④敲击音叉，与②中一样，寻找使声音变大的量筒



**4** 观察音叉和玻璃圆筒中的气柱产生共鸣的现象

①往气柱共鸣装置里加入水　②敲击音叉并放在玻璃圆筒上方，一边将水准瓶上下移动，一边寻找使声音变大的位置




**2** ①提示 把音叉和共鸣箱分开时，一定要做好记号，防止还原时弄错。摆放共鸣箱时，要注意开口的朝向，且互相不要碰到。

②说明 将音叉拿到与其振动频率相同的共鸣箱前面时，声音会变大，这是因为共鸣箱内的气柱跟音叉产生了共鸣的缘故。

**3** ①提示 使用 200 mL～300 mL 的量筒。这里用的是五个量筒，但实际上量筒的数量越多越好。同时，为了保证实验条件一致，应尽量用容积相同的量筒。

每个量筒的水量依次递减 40 mL 左右，具体情况根据量筒的容量及个数而定。关键的是要使水位呈阶梯状排列。

②说明 声音变至最大的时候，也可以不太严格地说此量筒的气柱跟音叉产生共鸣了。不过，在这个阶段气柱的高度相当不精确，所以还要用小幅递减的方法进一步研究。

③提示 每个量筒的水量依次递减20 mL左右，这仅仅是一个大致的标准，只要将在②中产生过共鸣的水位作为中心，小幅递增或递减，呈阶梯状排列即可。

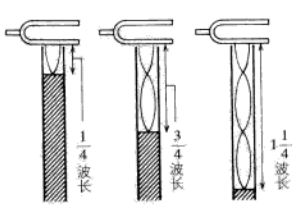
**4** ①提示 将水准瓶的瓶底与玻璃圆筒的上端对齐，往玻璃圆筒里加水，直到几乎加满为止。

提示 有时会发现不止一处能使声音变大。此时就应反复操作，仔细观察。不过，用自制的短玻璃圆筒等装置进行实验时，也有可能只有一处会使声音变大。

说明 逐渐改变玻璃圆筒里的水位，有可能会有使声音突然变大的地方，这是因为玻璃圆筒内的气柱与音叉产生了共鸣。

参考 气柱的高度与声波的波长呈下图所示的关系时，气柱会产生共鸣。圆筒中的波形是把空气中的纵波（疏密波）用横波表示后得到的。

改变圆筒内的水位时，产生共鸣的地方不止一处，其原理也是如此。



# 120 观察声音与物体的振动的关系

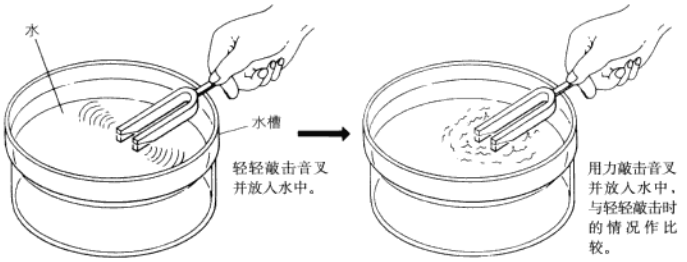
**目标** 初 知道物体发出声音时会发生振动。
理解声音的强弱、高低及音色与物体的振动的关系。

音叉　水槽　圆珠笔芯　橡皮筋　剪刀　纸　沙子　鼓　泡沫塑料球①　线　单弦琴②　各种发声物体③　示波器　传声器

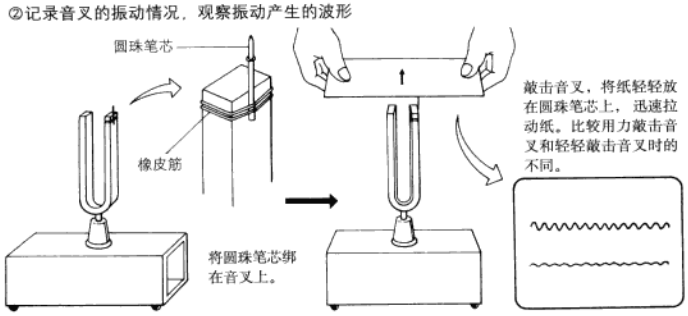
①也可用泡沫塑料碎片。②如果没有，用一块木料，钉上两个钉子，然后在钉子上拉上铁丝作为替代品也可以。③如碗、杯子、锅、木块、乐器。

**1** 观察声音强弱与音叉的振动的关系

①敲击音叉，然后放入水中，观察水面的情况

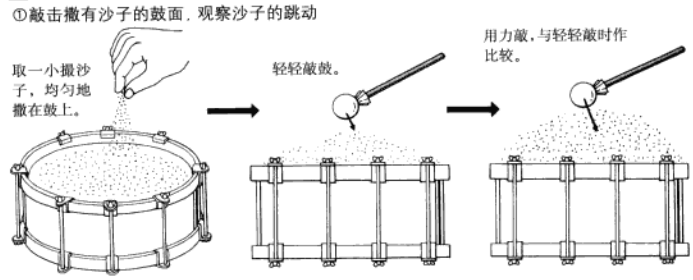



②记录音叉的振动情况，观察振动产生的波形

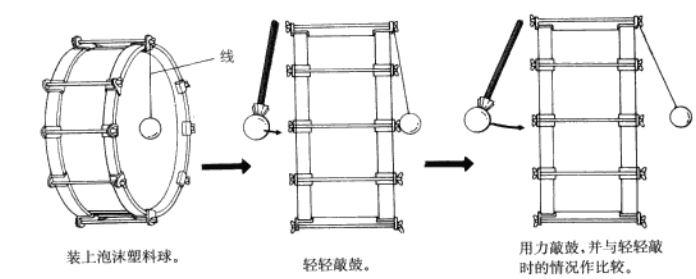



**2** 观察声音强弱与鼓的振动的关系

①敲击撒有沙子的鼓面，观察沙子的跳动




②敲击吊有小球的鼓，观察球的振动




**1** ① 提示 将音叉从共鸣箱上拆下来使用。装水的容器可以用脸盆等。为了防止水花溅出，最好只装半盆水。

敲击音叉时，一定要用音叉专用敲击棒，不能使用铁锤或金属棒。

将音叉放入水中时，只要将音叉的前端放入水中即可。

说明 轻轻敲击音叉时，水面出现小波纹；用力敲击时，水面出现大波纹，水花飞溅。

② 提示 因为实验完成之后，做实验用的圆珠笔芯便不能再用了，所以建议使用快没水的笔芯，这样不会浪费。把笔芯从笔杆中取出，从距离笔尖2 cm左右的地方剪断，尽量使其轻一点。

将笔芯绑在音叉上时，应使笔芯露出音叉上端0.5 cm～1 cm。虽说笔芯在音叉上露出的部分越长，笔尖的振幅越大，但是这样一来，音叉就会变得不易振动，所以要根据实验要求决定露出的长度。固定笔芯用的橡皮筋只要一根就行。

参考 有的笔芯，头朝上时可能写不出来。如果写不出来，可以在装置问题上想想办法。

说明 用力敲击时，记录显示波的振幅大；轻轻敲击时，记录显示波的振幅小。这个实验在操作上有一定的难度，要想得到令人满意的记录，需要反复练习。

**2** ① 提示 沙子的颗粒要足够大，以便眼睛能看清。要选用干燥的沙子。

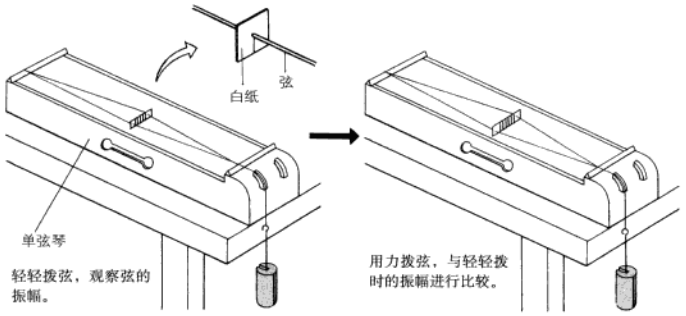
说明 轻轻敲击时，沙子跳得低；用力敲击时，沙子跳得高。

② 提示 如果没有泡沫塑料球，可以用泡沫塑料碎片代替。

用线吊起小球，使小球刚好碰到鼓面。

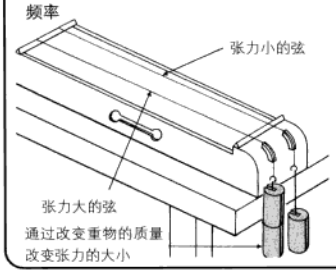
说明 轻轻敲击时，小球振动的幅度小；用力敲击时，小球振动的幅度大。

**3** 观察声音强弱与弦的振动的关系

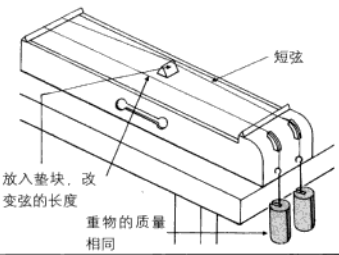



**4** 观察声音高低与弦的振动的关系

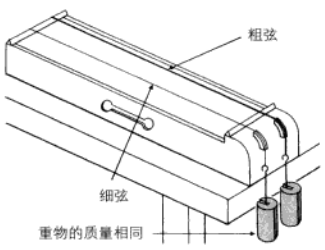
①拨动张力不同的弦，比较弦的振动频率



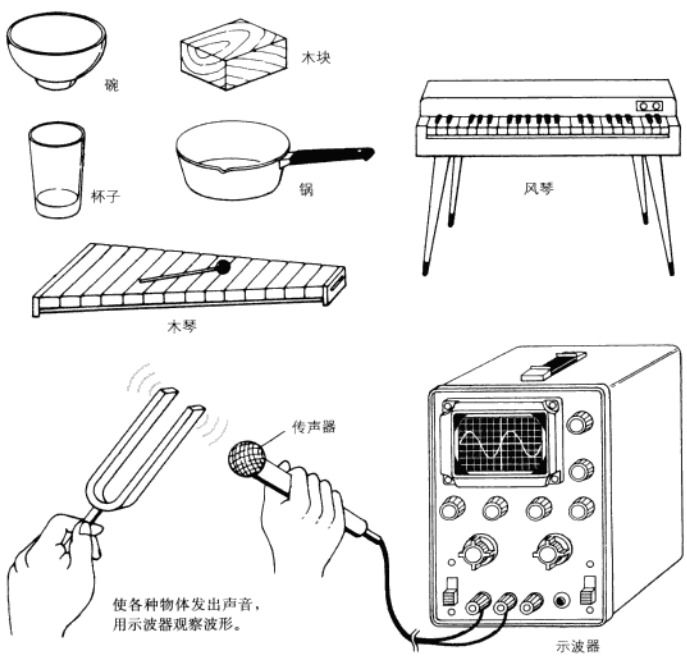

②拨动长度不同的弦，比较弦的振动频率




③拨动粗细不同的弦，比较弦的振动频率




**5** 观察各种物体特有的声音与振动的关系




**3** 提示 将弦用力绷紧，否则会影响声音的效果。

为了便于观察，可以在弦的中间插上一张边长为 1 cm 且一边开口的纸片，也可以在弦下贴一张白纸。

实验时，可以用直尺的一端或其他类似的物品拨动弦的中间部分。

**注意** 拉紧弦的重物用的是以kg为单位的砝码，实验时注意不要砸到脚上。

**说明** 轻轻拨动时，弦的振动幅度小；用力拨动时，弦的振动幅度大。

**4** 提示 为了保持实验条件一致，拨动琴弦时，要尽量保证用力大小相同。

**说明** 在①中，绷紧的弦比松弛的弦的振动频率高。

在②中，短弦比长弦的振动频率高。

在③中，细弦比粗弦的振动频率高。

**5** 提示 示波器的操作方法参照【167】。

**说明** 用示波器观察各种物体发出的声音的波形时，会发现每种声音都有自己特有的波形。

**结果** 通过实验 1 至 5，可以得出以下结论：

- 物体发出声音时，会发生振动；
- 声音的强弱跟振动的幅度(振幅)有关，振幅越大，声音越强；
- 声音的高低跟振动的频率有关，频率越高，声音越高；
- 各种物体发出的声音的特点(音色)，与声音的波形有关。

材料与器具

# 121 研究摆的性质

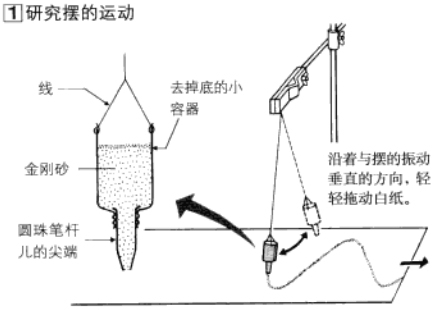
目标 初高

能以时间为横轴，将摆的摆动过程用曲线表示出来。知道摆的速度在两端为零，在中央最快；摆的振动周期跟摆的质量无关，与长度有关。

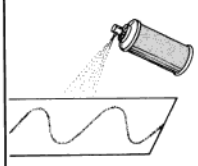
摆球① 碳化硅(金刚砂) 线 白纸 铁架台 装沙子的容器② 金属四棱柱 金属环 摆③

①可以用白色修正液的空瓶和圆珠笔杆儿的尖端等自己制作摆球(参照 1)。另外一种摆球是用漏斗(直径 15 cm)与玻璃管(直径 6 mm)制作的(参照 2)。②用透明塑料板等自己制作(参照 2)。③长度相同、质量不同的摆和长度不同、质量相同的摆。

## 1 研究摆的运动




记录的保存



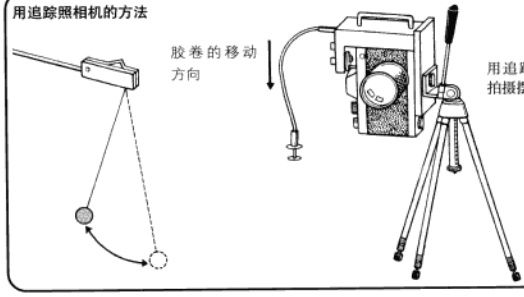
用彩色喷雾器均匀着色，然后去除金刚砂，就会留下一条白色曲线。

1 说明 首先以时间为横轴，观察摆的运动画出的正弦曲线。

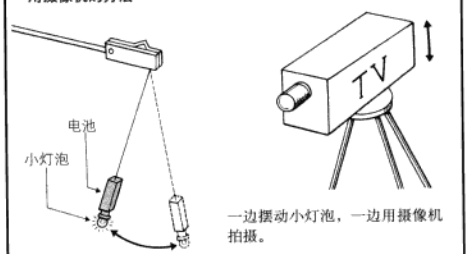
提示 用合适的容器，照图制作摆球。将此摆球用线吊起，当做摆。

参考 如果有能追踪拍摄的照相装置或摄像机，可以用于观察。用摄像机时，可以用电池和小灯泡照图做成摆球，在黑暗的房间里进行实验，效果特别好。

用追踪照相机的方法

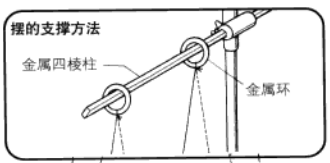


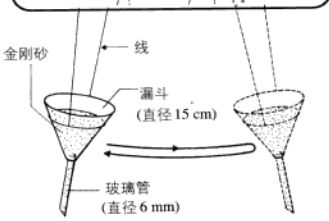

用摄像机的方法

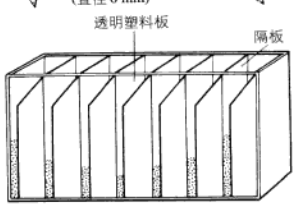



## 2 观察摆的运动速度

摆的支撑方法



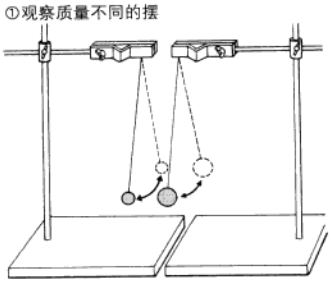



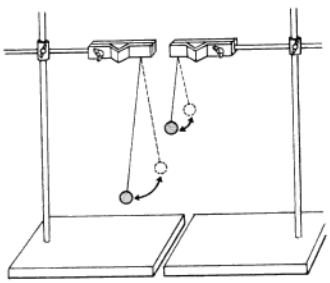

使装满金刚砂的漏斗来回摆动一次，观察落在容器里的沙量。

## 3 观察摆的周期

①观察质量不同的摆



②观察长度不同的摆



2 说明 观察摆在两端停住及在中央速度最快的现象。

提示 如图所示，用漏斗和玻璃管制作摆球。装在漏斗里的沙子，大小应合适，最好是80号的金刚砂。

用两根长约1 m的线吊起摆球。为了减少衰减，在线的末端系上金属环，环吊在金属四棱柱上，与金属四棱柱上的棱角接触。

照图制作装沙子的容器。需要考虑漏斗内的沙量，从而决定容器的大小及形状。

3 说明 同时摆动质量不同、长度相等的摆，比较振动的周期；再同时摆动质量相同、长度不同的摆，同样进行比较。对于长度比为1∶4的摆来说，其周期比为1∶2。

提示 除了①和②之外，还可以做以下实验：利用质量和长度都相同的摆，进行振幅不同的对比实验，观察摆的周期是否与振幅有关。

材料与器具

# 122 摆的共振实验

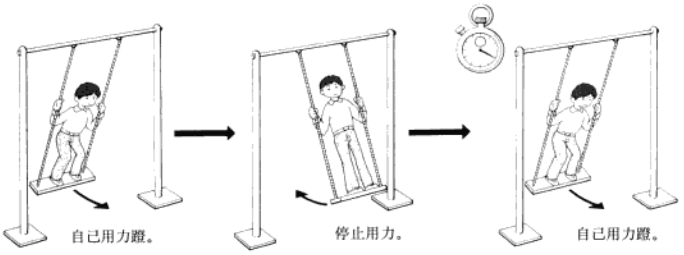
秋千　秒表　木棒①　风筝线②　摆球③　板　钉子　铁架台2个

①最好是长度为80 cm左右的圆棒。如果没有，可用有棱角的木棒代替。②两种，一种是粗的，一种是细的。③最起码要六个质量和体积都相等的摆球。如果没有合适的物品，用金属片或木片代替也行。

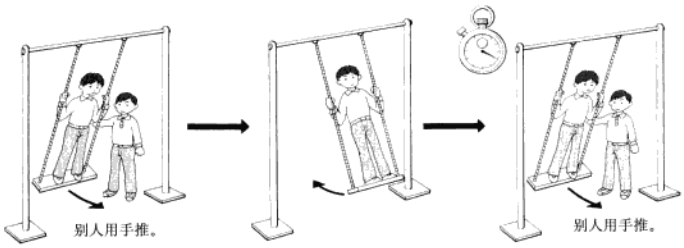
目标 初高　能用实验证明摆的共振条件。
能通过实验证实：摆长不同，共振的频率便不同。

1 观察共振与加在秋千上的力的关系

①加力，使秋千的摆动幅度增大，测量加力的时间间隔




②当秋千向下运动时，请别人用手推，测量用手推的时间间隔




③让胖人荡秋千，做与①相同的实验




④让胖人荡秋千，做与②相同的实验

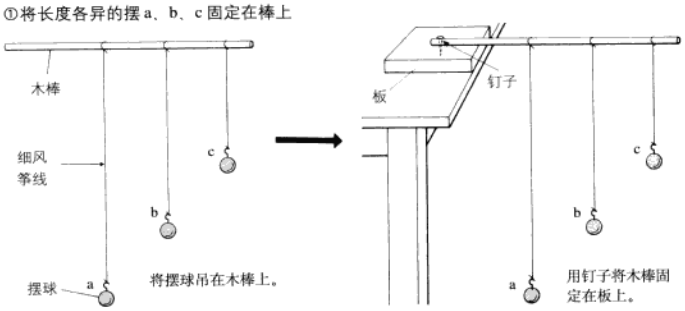



⑤在不同的秋千上，做与①相同的实验




2 观察共振与加在摆上的力的关系

①将长度各异的摆a、b、c固定在棒上




1 提示 三至四人一组进行实验。一人荡秋千，一人从后面推，一人计算用力的次数，一人计时。

计时工具最好用秒表。

测量用力的时间间隔(周期)时，要想测量两次用力之间的时间是很困难的，而且误差很大。因此，最好一次测量10～20次所用的时间总和，进行比较。比如，在②和④中用手推时，任意选择一个时机（既可以是秋千开始下落时，也可以是秋千在最底部时）。而且，不是在秋千的往和返时都用手推，而只朝一个方向推，也就是说，只推后背。

在⑤中，所谓不同的秋千，是指长度不同的秋千。因此，如果能很方便地制作秋千，自己制作一个，再改变长度就行了。

注意 自己制作秋千进行实验时，要使用结实的绳子，并要绑牢。千万注意安全。不要使秋千的摆动幅度过大，否则会很危险。

说明 隔一定的时间用力时，秋千的振幅会变大。秋千的长度不同，用力的时间间隔便不同。比较重的人站在秋千上时，只是用力的力度需要加大，用力的时间间隔不变。

2 提示 这里是用钉钉子的方法将棒的一端固定在板上，实际工作中教师不一定要采用这种办法，而可以在板上钉钉子，用线或铁丝等绑住。最简单的办法是，用厚重的书本之类的东西压住木棒。

使棒左右摆动时，开始要小幅摆动，逐渐增大幅度，仔细观察此时手的摇动节奏及摆的摆动情况。

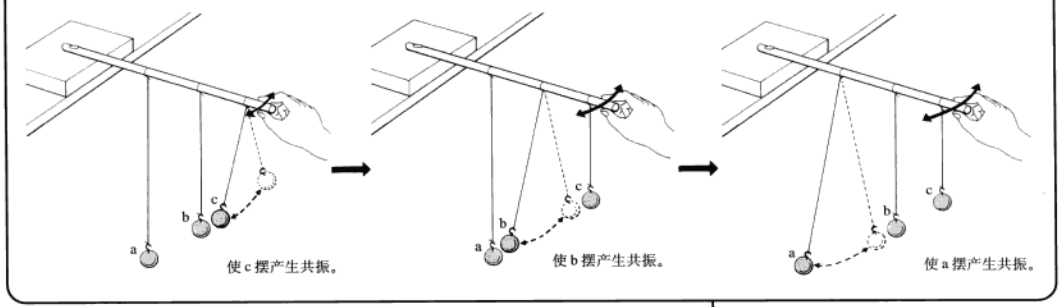
认真观察：当一个摆的摆动幅度逐渐增大时，其他摆的运动会怎样变化？

也可以观察棒的哪种动法能使所有的摆同时摆动。

用手摇动时，幅度不要太大，使摆很快地来回摆动。

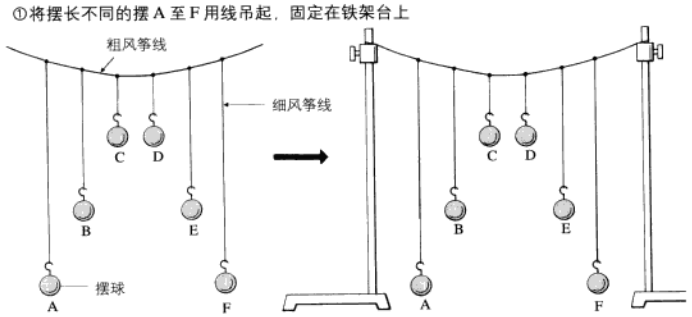
说明 摇动装有三个长度不同的摆的木棒的一端时可以发现：如果一个摆的摆动幅度变大，其他摆有时静止，有时运动，做不规则运动；不可能同时使三个摆大幅度摆动。

②用手摇动棒的一端，使各摆产生共振

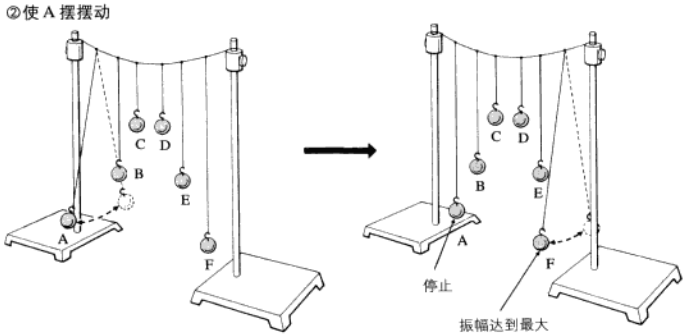



3 观察摆长相同的摆的共振

①将摆长不同的摆A至F用线吊起，固定在铁架台上



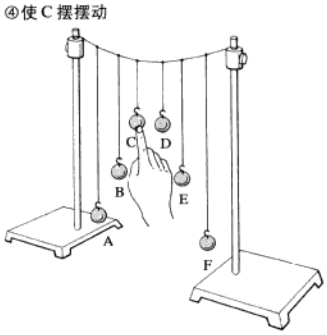

②使A摆摆动




③使B摆摆动




④使C摆摆动




3 提示 使用质量和体积均相同的摆球。A摆和F摆、B摆和E摆、C摆和D摆的摆长分别相同。如果摆球的大小(体积)不同，摆球中心部分的长度应计入摆长。

使A(或B、C)摆摆动时，认真观察其他摆的运动，还要观察随着时间的推移，摆的运动如何变化。

说明 使A摆摆动，与A摆摆长相同的F摆也开始摆动。片刻之后，A摆停止摆动，F摆的摆幅达到最大。然后，A摆重新开始摆动；再过片刻，F摆停止摆动。就这样反复交替。其间，B摆、C摆、D摆、E摆均不动。同样，B摆摆动时只有E摆会动，C摆摆动时只有D摆会动。

参考 摆往返振动一次叫做一次全振动，1 s内的全振动次数叫做振动频率。振动频率相同的摆之间会产生共振。像这样，各摆均有其特有的振动频率(叫做固有频率)，振动频率与摆的摆长有关。

物体因共振而发声的现象叫做共鸣。

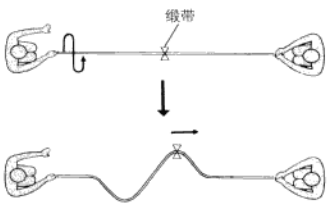
# 123 研究横波与纵波的区别

目标 初高 理解波的传播原理。
知道横波与纵波的区别。

绳索 弹簧 瑞利帘① 缎带

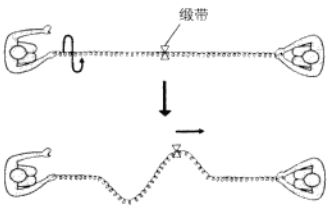
①瑞利是英国物理学家。瑞利帘可以用一次性筷子、塑料带、重物、线等制作。

### 1 左右摇动绳索



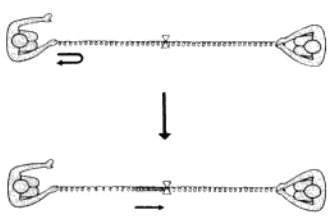

将绳索的一端固定，另一端左右摇动一次(只摇一次)，观察波的传播方式。

### 2 左右摇动弹簧



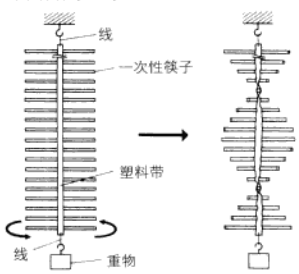

用长弹簧做与1相同的实验，观察波的传播方式。

### 3 前后抖动弹簧



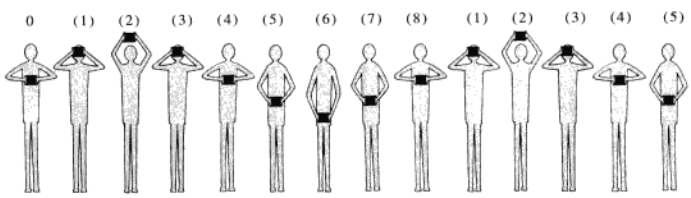
将长弹簧的一端前后抖动一次(只抖动一次)，观察波的传播方式。

### 4 用瑞利帘观察



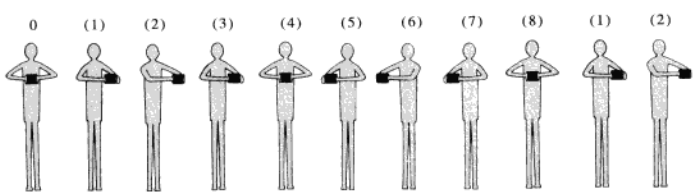

制作瑞利帘。迅速转动下端的筷子，观察波的传播方式。

### 5 用动作表现横波并进行观察




让学生站成一排，然后将教科书举在胸前。把胸的高度当做0位置，从左数第一名学生开始，按照分别慢一拍的节奏，以脸(1)、头顶(2)、脸(3)、胸(4)、腹(5)、腿(6)、腹(7)、胸(8)等八个动作为一个周期，多次重复，观察教科书的运动形成的曲线。

### 6 用动作表现纵波并进行观察




跟5中一样，将图上的八个动作作为一个周期重复多次，观察教科书的运动形成的曲线。

提示 像1至6那样，用各种方法观察波的传播方式，思考其中的共同之处。

1 提示 绳索的长度以4 m～8 m为宜。
实验时两人一组，尽量在光滑的地面上进行。(2和3中也一样。)
在绳索的中间系上缎带之类的标记，认真观察它的运动。(2和3中也一样。)

2 提示 将弹簧拉长到2 m～10 m进行实验。(3中也一样。)

3 提示 将波的样子与2中看到的情况作比较，认真观察什么地方不同(横波与纵波的区别)。

4 提示 瑞利帘的制作非常简单。如图所示，将30～50根一次性筷子用塑料带等间隔(约2 cm)地拴在一起，一端固定在天花板上或其他类似的地方，另一端系上重物即可。也可用其他带子代替塑料带，或在筷子的两端按上图钉改变筷子的质量，观察波的传播速度的变化。

5 提示 将学生分成两组，面对面站立，分开一定的距离，以便互相能看见对面小组的全体成员。一组做动作时另一组观察，交替进行。
一组做动作时，观察的一组用手打拍子，制造节奏。(6中也一样。)

结果 可以知道，所谓波，就是介质中的某点的振动状态一个接一个地传递给相邻点的现象，而不是介质本身发生移动。
理解横波与纵波的不同。

参考 如果有波动演示器，就请在做1至6的同时，利用这种仪器辅助教学。使波动演示器的一端上下往复运动一次，观察波的传播情况。

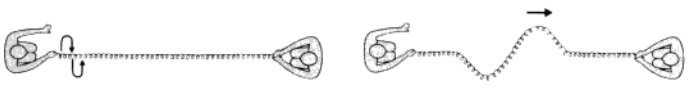
# 124 研究波的传播方式与反射的情况

目标 初高

知道波和振动的图像的区别。
知道波的传播速度与什么有关。
知道自由端和固定端引起的反射波的不同。

长弹簧 细绳

1 使弹簧的一端左右振动，观察波的传播方式

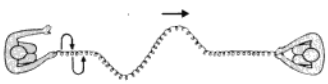


让学生预测，如图所示从左边开始振动时波的传播方式。

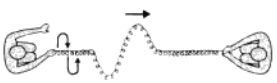
通过实验检验波的传播方式。

2 观察波的传播速度

①改变振幅进行比较



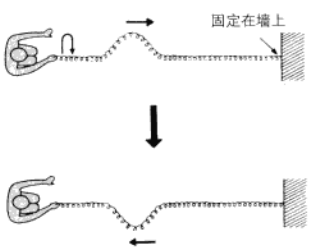
②改变弹簧的拉伸程度进行比较





3 观察反射回来的波

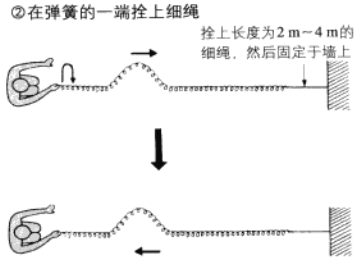
①一端固定

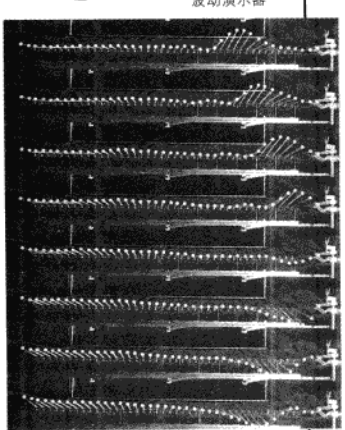




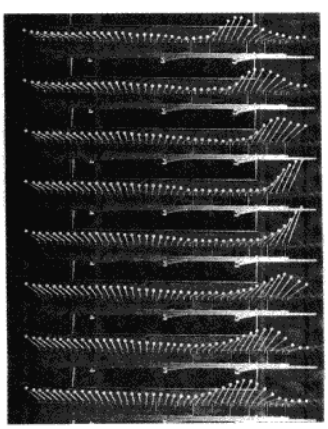

波动演示器

②在弹簧的一端拴上细绳



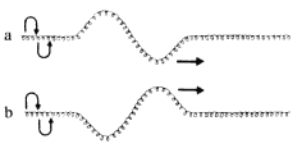



固定端的反射



自由端的反射

1 提示 让学生预测波的传播方式时，可能会遇到下面两种意见：




而且回答a的人格外多，这是因为许多人常会下意识地把横轴设定为时间轴。这一点在教学时要特别加以提醒。

2 提示 既可以将两根条件不同的弹簧并列地进行比较，也可以通过测量一根弹簧上的某点经过一定距离所用的时间来进行比较，还可以利用劲度系数不同的弹簧比较波的传播速度。

3 提示 最好先让学生预测波会如何反射，然后再进行实验。

另外，此时可以使用半波长的脉冲波。

在②中，需要2 m～4 m长的细绳。

说明 在①中，波峰在固定端反射后变成波谷。

在②中的自由端(即能够自由活动的一端)，波峰反射后仍是波峰。

参考 如果有波动演示器，就可用它观察反射回来的波。

材料与器具

# 125 研究波的独立性、波的叠加和驻波

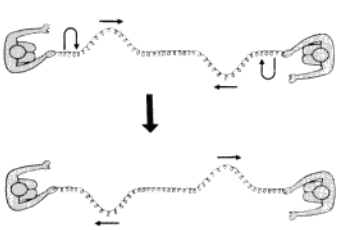
目标 初高 能就两列波相遇时出现的独立性和波的叠加进行研究。
能观察弦的驻波。

长弹簧 弦的驻波实验装置① 频闪观测器

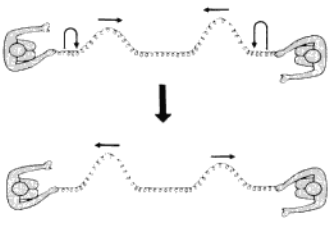
①也可以用振动方式记录定时器，但此时还要准备线、重物和滑轮。

1 使弹簧两端同时振动并发出波，观察两列波如何传播

①发出方向相反的脉冲波

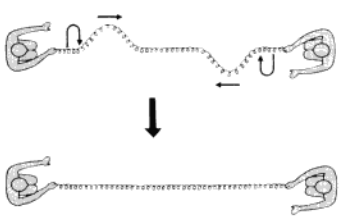


②发出方向相同但振幅不同的脉冲波

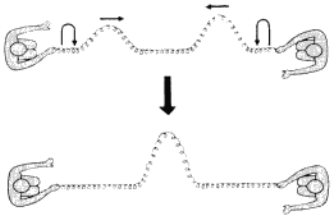


2 观察 1 中的两列波叠加时介质怎样运动

①当两列波的方向相反时



②当两列波的方向相同时

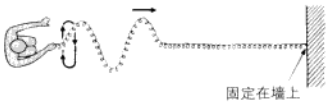


3 用弹簧产生驻波

①从两端同时连续地发出波（两个人一定要动作协调）

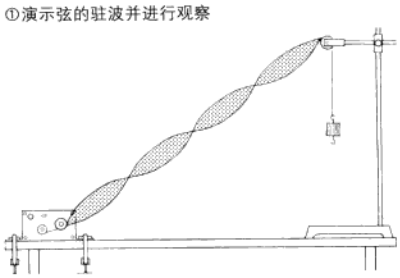


②一端固定，从另一端连续地发出波

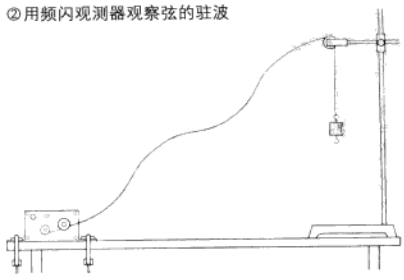



4 用弦的驻波实验装置演示驻波，观察驻波

①演示弦的驻波并进行观察



②用频闪观测器观察弦的驻波



提示 将长弹簧放在光滑的地面上，拉长到8 m左右。
所有实验，都应在对结果进行初步预测之后进行。

1 提示 实验后启发学生思考：波发生叠加时，如果波没有独立性，会发生什么现象？比如，如果波没有独立性，两列波相遇时将会发生反射、抵消，或者变化，等等。如果是这样的情况，声音也是声波，那么人就不能同时说话了。诸如此类，启发学生进行发散性思维活动。

2 提示 除了操作弹簧的人，其他人站在两列波相遇的地方观察，效果会更好。

3 提示 应使学生通过亲身体验认识到，采用某种特定的方式(频率)振动时，能够形成驻波。

4 提示 也可以用振动方式记录定时器代替弦的驻波实验装置。此时，在定时器的振动片上拴上细绳的一端，细绳的另一端拴上重物，挂在滑轮上。然后，给定时器上弦，使细绳振动，调节滑轮的位置，产生驻波。用频闪光源照射时，调节频闪观测器的发光间隔，使驻波看起来静止或者像慢镜头里的动作。

# 126 观察各种驻波

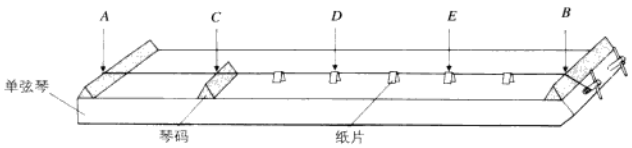
目标 高 能通过观察各种驻波对波产生兴趣。

**单弦琴 纸片 弹簧 扬声器 低频振荡器 铁架台 透明胶带 水波投影装置 变阻器 气柱共鸣装置①直流电源 反射板 软木屑 铁框② 水槽③ 中性洗涤剂④ 甘油**

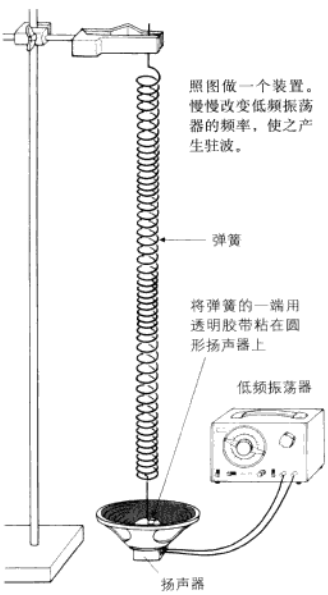
①由玻璃管、扬声器、活塞构成。②用直径6 mm的铁棒做成。③用镀锌薄铁板自己制作。④含有很多表面活性剂的洗涤剂（成分表上会有说明）。

## 1 观察单弦琴的驻波

在下图中，将单弦琴的弦$AB$四等分，分隔点分别为$C$、$D$、$E$。在$C$点放上一个琴码，在$D$、$E$及$C$和$B$之间的适当位置挂上折成V形的小纸片。准备工作完成之后，用指尖轻轻按住$C$点，用手拨动$A$、$C$两点之间的弦，观察弦和纸片的运动。



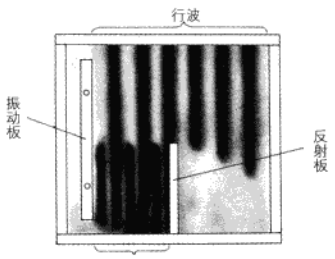

## 2 观察纵波的驻波




照图做一个装置。慢慢改变低频振荡器的频率，使之产生驻波。

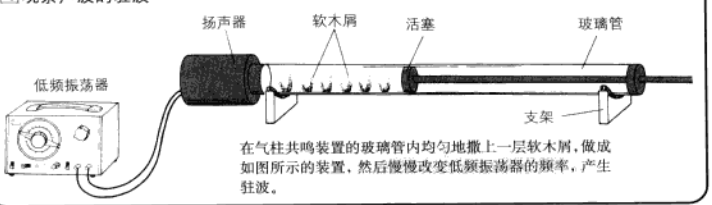
将弹簧的一端用透明胶带粘在圆形扬声器上

## 3 观察水波的驻波




用水波投影装置连续发送平面波，比较有反射板的部分和没有反射板的部分波的不同。

## 4 观察声波的驻波

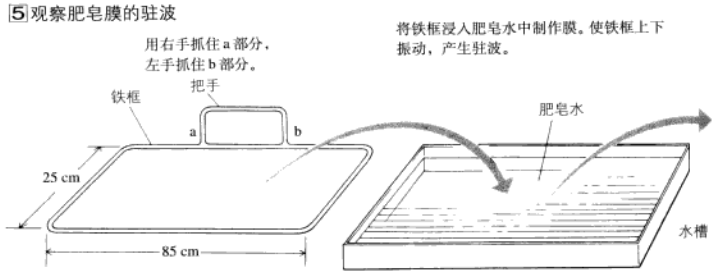


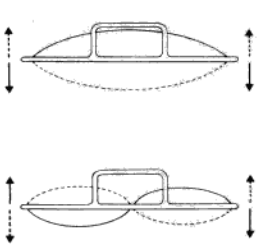

在气柱共鸣装置的玻璃管内均匀地撒上一层软木屑，做成如图所示的装置，然后慢慢改变低频振荡器的频率，产生驻波。

## 5 观察肥皂膜的驻波

用右手抓住a部分，左手抓住b部分。

将铁框浸入肥皂水中制作膜。使铁框上下振动，产生驻波。



左右两侧方向相同地上下振动。

左右两侧方向相反地上下振动。

2 提示 要想产生驻波，也可以使低频振荡器的频率固定，通过调节铁架台的高度改变弹簧的张力。

3 提示 反射板只要有水槽宽度的一半左右就行，这样便于观察。

水波投影装置的原理及基本操作方法参见【128】。

4 提示 软木屑是用锉刀将软木塞磨成颗粒状，然后干燥而成的。

将玻璃管放在实物投影仪上进行实验，可供全班学生同时观看。

5 提示 肥皂水由中性洗涤剂稀释八倍(一份洗涤剂兑七份水)而成，再加入少量甘油即可。空气干燥的季节，肥皂膜的寿命会变短，有时效果不好。因此本实验最好在湿度大的季节做。

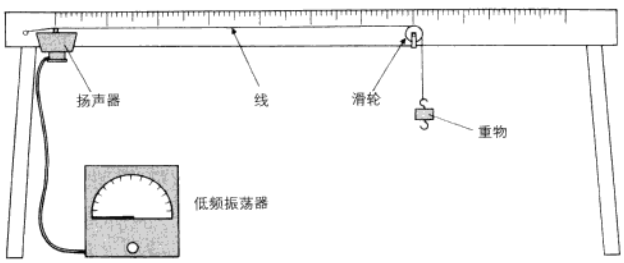
# 127 研究弦的固有频率

弦的驻波实验装置　低频振荡器　重物

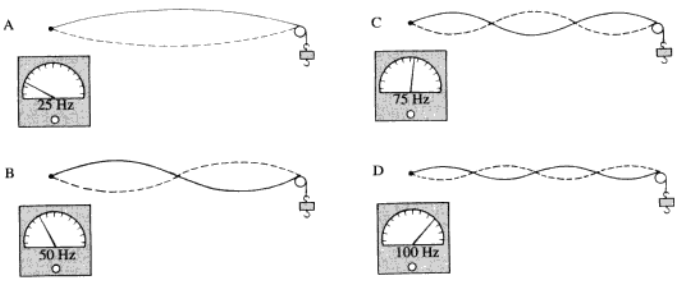
目标 高

知道当弦以某个特定的频率(固有频率)振动时，振动幅度会很大。
知道弦的固有频率不止一个，有基频与大小为其整数倍的倍频。
知道弦的固有频率与弦的张力、粗细的关系。

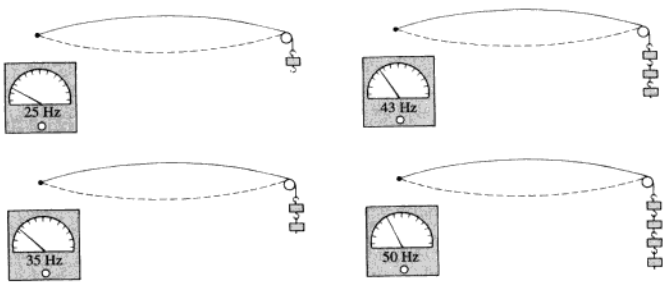
1 调节弦的驻波实验装置



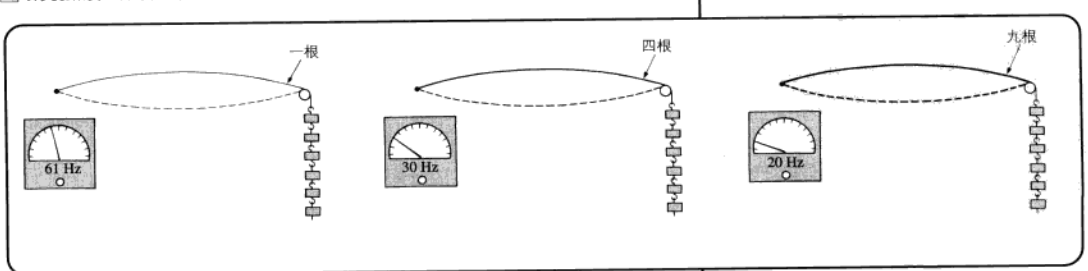

2 改变振动频率，观察基频与倍频的关系




3 研究弦的张力与固有频率的关系




4 研究弦的粗细与固有频率的关系




1 提示 调节定滑轮的位置，使弦保持适当的长度(如 70 cm)。
重物先用适当质量(如 35 g)的物品充当。

2 提示 调节低频振荡器，慢慢提高振动频率，寻找振幅最大（如图 A 那样）的位置。这时的振动频率是基频。
接下来，继续提高振动频率，使得振幅再次达到最大值，寻找像图 B 那样能形成驻波的位置。将此时的振动频率与基频相比，可以知道这时的振动频率是基频的二倍，这就是二倍振动频率。
接下来，继续慢慢提高振动频率，寻找如图 C 及图 D 那样能形成驻波的位置，并对此时的振动频率进行研究。

3 说明 将重物的质量变为原来的二倍、三倍、四倍，研究弦的张力与固有频率的关系。固有频率与弦的张力的平方根成正比。

4 说明 改变弦的粗细（分别将四根、九根弦绞在一起），研究弦的粗细与固有频率的关系。固有频率与弦的粗细的平方根成反比。
提示 如果重物的质量太小，弦的数量增多时，振动频率就会变得过低，从而可能导致用市场上卖的低频振荡器不能进行实验。因此应在实验 2 和 3 的基础上先计算，求出必要的重物质量之后再进行实验比较好。

参考 也可以研究弦的长度与固有频率的关系。改变定滑轮的位置，将弦的长度变为 1/2、1/3、1/4，固有频率就会变为二倍、三倍、四倍。由此可知，固有频率与弦的长度成反比。

材料与器具

# 128 研究波的传播方式

水波投影装置① 变阻器 直流电源 敲击棒② 细棒③

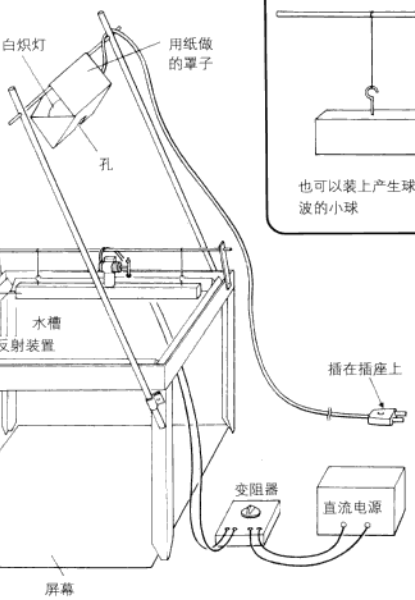
目标 高

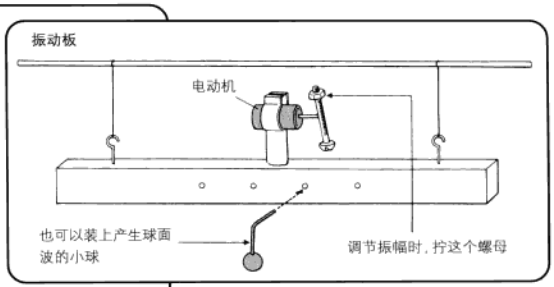
能正确使用水波投影装置。
知道平面波与球面波的不同。
知道波面与波的传播方向的关系。

①如果没有防反射装置，则需网格边长为 2 mm～3 mm 的金属网与纱布绷带。另外，如果没有点光源，则需明亮的白炽灯和厚纸一类的东西。②可以用玻璃滴管代替。③什么都可以，如竹签之类的东西。

## 1 组装水波投影装置，做好实验准备

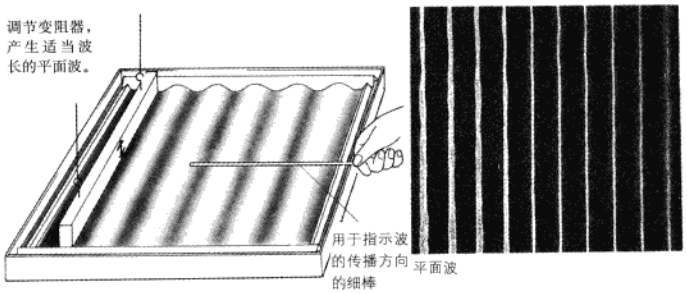


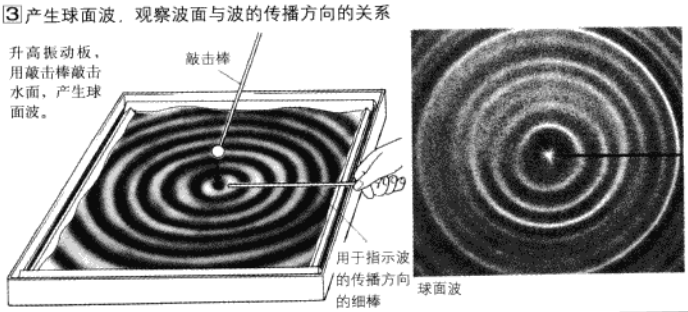




组装如图所示的装置。将水放入水槽，深度大约为 1 cm。调整水槽，使水的深度均匀一致。然后将振动板降至水面，接通光源，闭合电动机的电源开关，确认能出现清晰的波。如果波不清晰，调节电动机螺母的位置，改变波源的振幅。

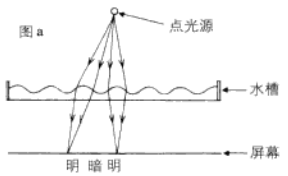
## 2 产生平面波，观察波面与波的传播方向的关系




## 3 产生球面波，观察波面与波的传播方向的关系




**1** 说明 水波投影装置，是让光线透过水波，从而使波面在屏幕上产生明暗相间的条纹，进行观察的装置。像图a这样，水波的波峰具有凸透镜的功能，水波的波谷具有凹透镜的功能，所以能形成明暗相间的条纹。

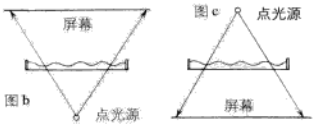



投影的方式有图b、图c两种。

图b是将点光源置于水槽下面，投影于顶上屏幕的方法。因为这种方式能让很多人同时观看，所以很适合用于演示实验。

另外，也可以在投影仪的载物台上放上水槽，把水波形成的条纹投影到屏幕上。

图c是将点光源放在水槽的上面，将波投影于桌上铺的白纸上的方式。因为这种方式允许观察者用铅笔将波面描画出来，而且容易测量，所以很适合用于学生实验。




提示 如果波在水槽的周围产生反射，就不能形成漂亮的水波，所以在水槽的内侧周边一定要放防反射装置。如果有附带的防反射装置，可以使用。

**2** 提示 用细棒指示波的传播方向，明确波面与波的传播方向的关系。(3 中也一样。)

**3** 提示 除了用敲击棒敲击水面以外，还可以用玻璃滴管滴落小水滴的方法代替。

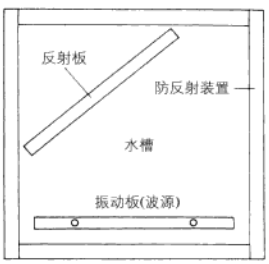
# 129 观察波的反射

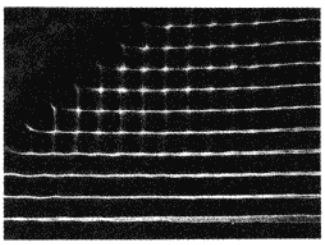
目标 高

观察波的反射现象，知道入射角等于反射角。
观察波在各种形状的反射板上发生的反射现象。

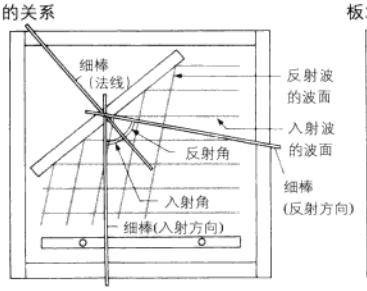
水波投影装置　变阻器　直流电源　各种反射板
细棒(如竹签)3根

1 如图所示，将反射板放在适当的角度，用水波投影装置向反射板发送平面波，观察反射波





平面反射板对平面波的反射

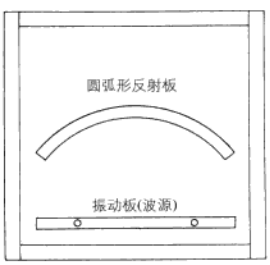
2 借助细棒观察1中入射角和反射角的关系

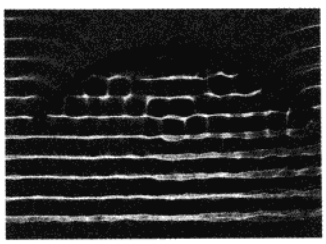



3 与1一样，对放在适当位置的反射板发送球面波，观察反射波

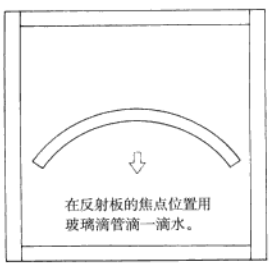


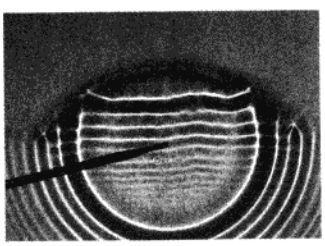

4 向如图所示的圆弧形反射板发送平面波，观察反射波





圆弧形反射板对平面波的反射

5 与4相反，在圆弧形反射板的焦点位置滴一滴水发送球面波，观察反射波





圆弧形反射板对球面波的反射

提示 水波投影装置的基本操作参照【128】。

1 提示 可以用石蜡片及折射实验用玻璃片等物品作反射板。(2和3中也一样。)
如果观察不到反射波，可以不用电动机使振动板振动，而改用手指轻轻按一下，产生脉冲波，这样就容易观察了。

2 提示 在白纸上投影时，可以不用细棒，而在纸上画线并进行分析。
可以多次改变振动频率并进行观察。

4 提示 先在图画纸上画出曲线，再将金属板沿此曲线折弯，就能制作出圆弧形反射板。(其他形状反射板的制作也一样。)

说明 平面波经过圆弧形反射板反射后，变成球面波。这种球面(反射)波集中的地方(圆的中心)就是这个反射板的焦点。

参考 除了上述实验之外，下面的现象也是很有趣的：

- 将环形金属板放入水槽，在环的中心滴一滴水，球面波从中心扩散，反射后又回到中心；
- 将抛物线形状的金属板放入水槽，发送平面波，会发现反射波会聚于焦点。相反，若在焦点滴一滴水，反射波则会变为平面波；
- 将椭圆形的金属板放入水槽，在一侧焦点上滴一滴水时，反射波将会聚于另一侧的焦点。

材料与器具

水波投影装置　变阻器　直流电源　玻璃板3块①
玻璃板支撑台4个②　石蜡片

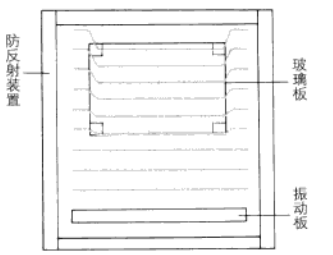
①一块长方形的，一块三角形的，一块凸透镜形状的。②木台或金属台都行。

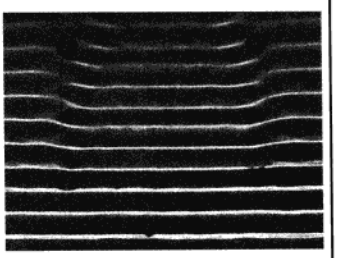
# 130 观察波的折射

目标　高

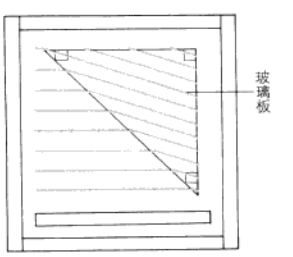
知道水深不同，波的传播速度便不同。
知道波一旦进入传播速度不同的介质，就会在两种介质的界面发生折射。

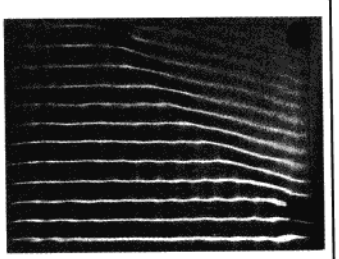
1 如图所示，将长方形的玻璃板放入水波投影装置的水槽，发送平面波，观察波在深水部分与浅水部分传播速度的不同



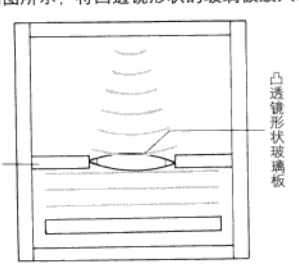



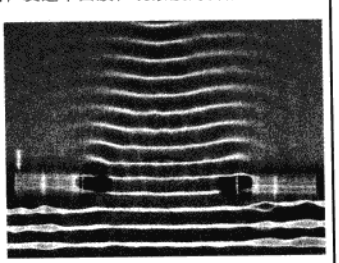
2 如图所示，将三角形的玻璃板放入水槽，发送平面波，观察波的折射



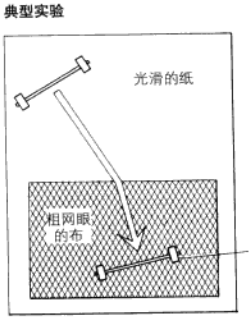



3 如图所示，将凸透镜形状的玻璃板放入水槽，发送平面波，观察波的传播方向

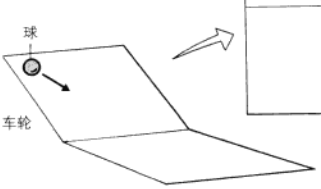


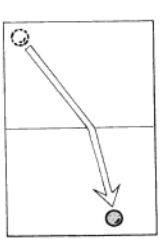



**典型实验**




❶使直径为2 cm左右、两轮间的距离为10 cm左右的车轮，从光滑的纸面斜着滚向粗糙的布面。
❷如图所示，使球斜着滚向倾角不同的斜面。



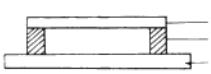
提示　实验之前，可以提出这样的问题：观察拍打海岸的波浪时，会发现波面几乎与海岸线平行。到底是什么原因造成这种现象的呢？

水波投影装置的基本操作参照【128】。

1 说明　观察由于水深的不同造成波的传播速度不同的现象。

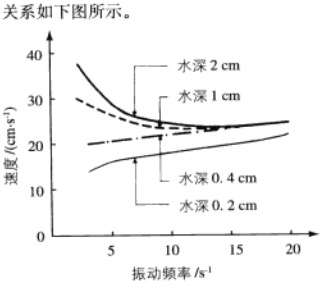
提示　玻璃板应放在合适的木头(或金属)台上，按下图这样放好。(2中也一样。)

水位高出玻璃板2 mm～3 mm。(2中也一样。)




多次改变振动频率，进行实验。

参考　水波的传播速度与振动频率及水深的关系如下图所示。




2 说明　观察波进入传播速度不同的介质时，在界面发生折射的样子。

提示　用电动机连续发送平面波之前，先用手按一下(只按一下)振动板，发送脉冲波，观察折射的样子。

3 说明　与光经过凸透镜发生折射一样，水波也会发生折射并会聚于一点。由此能够说明为什么光会被凸透镜会聚。

提示　如果有凹透镜形状的玻璃板，也可以用它做实验，比较各种不同的情况。

参考　也可用左图所示的典型实验说明波的折射情况。

在球的滚动实验中，为了防止球的运动轨迹明显地呈抛物线形状，需要仔细考虑球的滚动方向、速度及斜面的角度等。

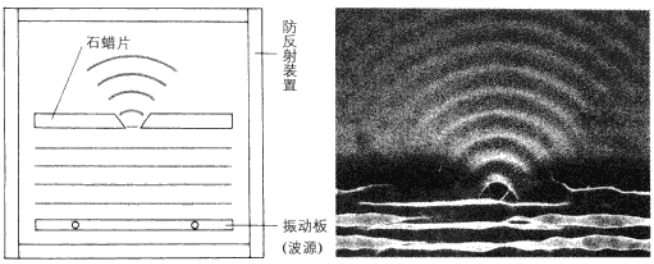
# 131 观察波的衍射

目标 高 了解波的衍射现象(即波能绕到障碍物后面的现象)。
知道狭缝越窄，波长越长，衍射现象越明显。

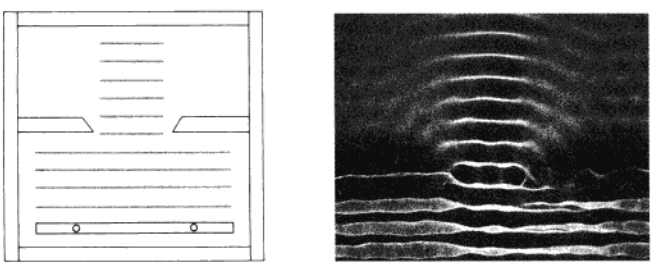
水波投影装置　变阻器　直流电源　石蜡片①

①也可以使用光的折射实验中用过的玻璃片。

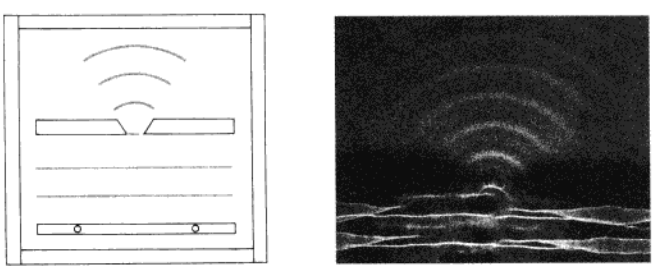
1 如图所示，在水波投影装置里按照适当的间隔放上石蜡片，发送平面波，观察波的变化




2 观察将石蜡片的间隔扩大后会出现什么情况



3 将石蜡片还原到 1 中的状态，改变波长进行观察



【参考实验】观察光的衍射现象

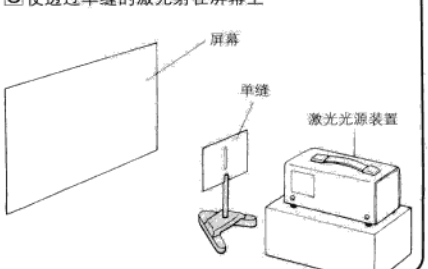
1 从手指的缝隙观看电灯




2 用有狭缝的圆筒观看电灯



3 使透过单缝的激光射在屏幕上




提示 可以从下列日常现象导入实验：

- 如果住处周围新造了一些大型建筑物，电视机的图像效果会变差，可是收音机却不太受影响，这是为什么？
- 光和声音遇到障碍物时，光会形成清晰的阴影，声音却能很容易地绕到障碍物的后面。光和声都是波，为什么会出现这样不同的现象？

1 提示 进行实验前，让学生猜想波会变成什么样。

水波投影装置的基本操作方法参看[128]。

2 提示 将石蜡片的间隔一点一点地扩大。此时，注意衍射现象会逐渐消失。

3 提示 使波长一点一点地变长。此时，注意衍射现象会逐渐增强。

**【参考实验】观察光的衍射现象**

说明 光的衍射现象平时不太明显，但是只要稍微动一下脑筋，还是可以看到的。

1 说明 可以看到光的条纹。

2 提示 可以用各种东西制作圆筒。应鼓励学生自己动手制作。

靠近电灯一侧的狭缝具有会聚光线的作用。用铝箔或其他材料，开 1 mm～2 mm 的狭缝。

靠近眼睛一侧的狭缝，要尽可能地窄。用两个剃须刀片，微微分开，贴在幻灯片框上就能做成狭缝。

3 说明 使单缝的宽度逐渐变窄，光的衍射现象会更明显。

材料与器具

水波投影装置　变阻器　直流电源　低频振荡器
扬声器①　布垫　传声器　扩音机　激光光源装置
光学实验用狭缝　屏幕

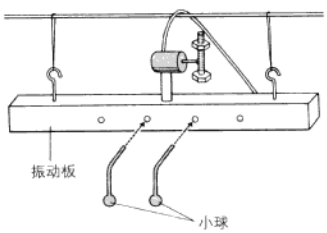
①两个小的，一个普通大小的。

# 132 观察波的干涉

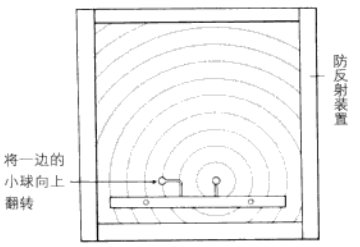
目标　高　能观察从两个波源发出的波，知道它们有时互相削弱，有时互相增强。

**1** 观察水波的干涉

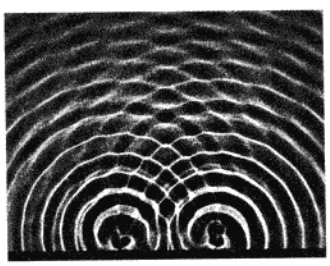
①在水波投影装置的振动板上装上小球



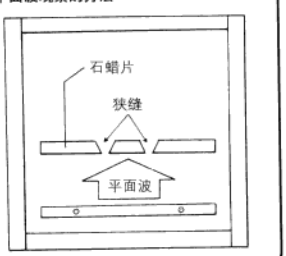

②产生球面波并进行观察




③用两边的小球敲击水面，观察会出现什么样的波

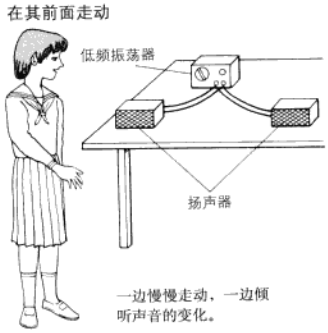


用平面波观察的方法



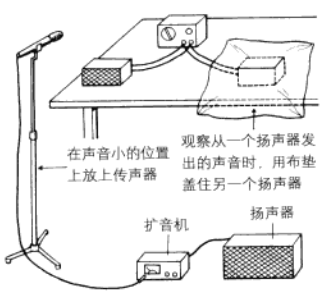

**2** 观察声波的干涉

①将低频振荡器与扬声器如图所示放好，在其前面走动

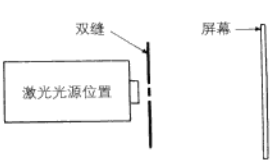



一边慢慢走动，一边倾听声音的变化。

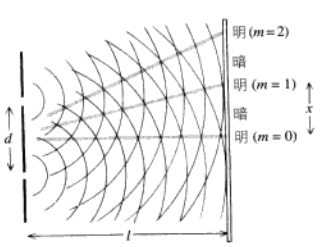
②将两个扬声器发出声音的情况，与只从一个扬声器发出声音的情况进行比较




**3** 观察光的干涉




使激光照在两个狭缝上，观察屏幕上的条纹。




提示　最好先做实验**2**再做实验**1**。在**2**中，两个扬声器发出的声音不一定会比一个扬声器发出的声音大。有时，两个扬声器发出的声音反而小的情况也是有的。有了这个经验，考虑为什么会发生这种现象之后再做实验**1**，理解起来就容易多了。

**1** 提示　水波投影装置的基本操作法参考【128】。

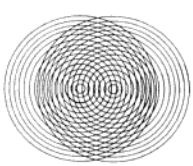
① 提示　将产生波的小球装在振动板上之后，调节振动板的高度，使得小球能够敲击水面。

② 提示　先分别用两个小球进行实验，确认两个小球都能产生球面波。

③ 提示　多次改变振动频率(波长)并进行观察。

参考　按照下面的方法进行说明，可以使学生更加容易理解水波的实验：

将两张画有很多同心圆的透明卡片稍微错开一点重叠，做出波纹图样进行说明。



**2** ①提示　如果声音的频率是2000Hz～4000Hz，扬声器之间的距离最好为1 m左右。

走动的位置最好距离扬声器1 m左右。

② 提示　如果将录音机连接在传声器上，以后还可以通过播放录音进行比较。

**3** 提示　使狭缝与屏幕之间充满烟雾，就能看到光分开的样子。

参考　这个实验叫做杨氏双缝干涉实验。

在这个实验中，能够利用下面的方法求出波长：

设狭缝到屏幕的距离为$l$，双缝之间的距离为$d$，屏幕上某条明线(点)到中央明线间的距离为$x$，光的波长为$\lambda$，它们之间存在着以下关系：

$$\frac{xd}{l}=\frac{\lambda}{2}\times 2m\ (m=0,1,2,\cdots)$$

因此，只要测出$x$，就能很方便地求出$\lambda$。

# 133 用各种物体互相摩擦产生静电

目标 初 能发现各种物体通过互相摩擦产生静电。知道电可以使物体互相吸引或排斥。

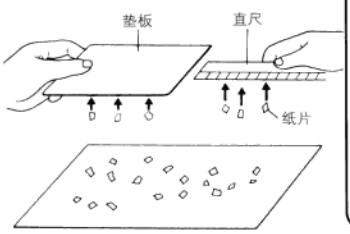
高 知道静电分正负两种，正负是由互相摩擦的物质种类决定的。

塑料垫板 直尺 铝箔 吸管 聚氯乙烯板 气球 保鲜膜 氖管 聚乙烯管 有机玻璃板 有机玻璃棒 泡沫塑料台座 胶木棒 聚乙烯袋 薄纸 尼龙布 毛皮 餐巾纸 线 丝线 大头针 有机玻璃黏合剂(二氯化亚甲基)等

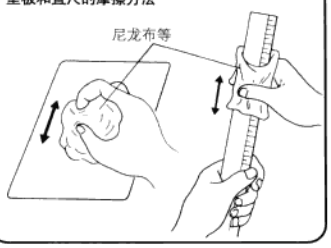
*除以上物品外，还需准备研究带电序列用的各种物品。

**1** 将两种物体互相摩擦，产生静电，然后对其性质进行研究

①在纸片上方摩擦垫板和直尺



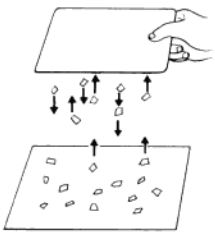

垫板和直尺的摩擦方法




②将垫板拿到耳边



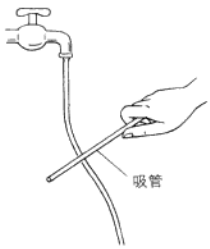
③将垫板放在揉成团的铝箔和餐巾纸上方

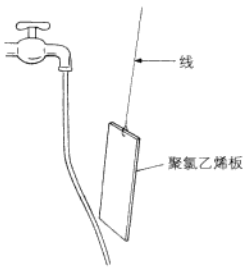


④使吸管靠近浮在水面上的铝箔

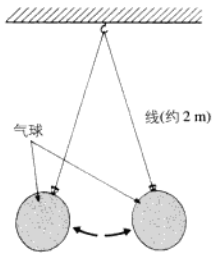



⑤使吸管和用线吊起的聚氯乙烯板靠近水流




⑥将两个气球从天花板上吊下

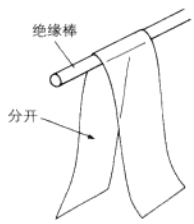



⑦将保鲜膜挂在绝缘棒上，观察吸引与排斥的现象

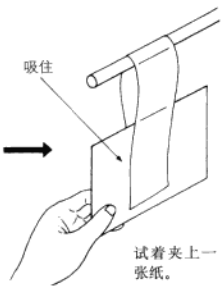
保鲜膜的摩擦方法




在绝缘体上铺上保鲜膜，轻轻摩擦。




将保鲜膜挂在棒上。




试着夹上一张纸。

**1** 提示 实验要在非常干燥的地方进行，实验用的物品也要非常干燥。如果湿度太大，实验效果就不好。

摩擦物体用的布和纸，最好是尼龙布和餐巾纸。为了保证①至⑦的实验效果，要用力摩擦物体，使之带电。

① 提示 事先确认没有经过摩擦的垫板及直尺不能吸住纸片之类的物体。纸片可以用薄纸或报纸剪成边长为 0.5 cm 大小，这样使用起来比较方便。

说明 经过摩擦的垫板及直尺可以吸住纸片等。

② 说明 会感觉汗毛被垫板吸住，有时候还会发出“啪!”的声音，使人感觉很痛。

③ 提示 将铝箔剪成边长为 0.5 cm 大小的碎片，揉成团。

将餐巾纸剪成边长为 1 cm 大小的碎片，揉成团。

除了铝箔和餐巾纸，还可以用香烟灰、橡皮屑之类的做实验。

说明 铝箔等小物体被吸到垫板上，但一接触到垫板，就会带上和垫板相同的电，于是又因同种电荷排斥而落下。落下之后放电，然后被再次吸到垫板上，这样重复往返多次。用香烟灰做实验时，这种往返运动的速度会更快。(试着改变台面和垫板的距离，再做实验。)

参考 也可以用聚乙烯管代替垫板进行实验，这时，被吸住的铝箔等会沿着垂直于管壁的方向飞散。

④ 说明 铝箔被吸引而靠近吸管。此时，不能做让铝箔带电后再排斥的实验。

⑤ 提示 从水管中出来的水流要尽量细一点。

说明 将吸管和聚氯乙烯板用力摩擦会使二者带上很强的静电，因此使带强电的吸管靠近细水流时，水流会被吸到吸管一边。如果使用线吊起的聚氯乙烯板靠近水流，则会发现聚氯乙烯板和水流互相吸引。

⑥ 提示 气球应吹成同样大小。

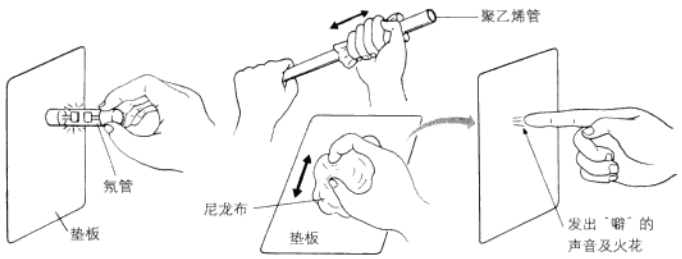
可以用毛衣摩擦气球。

说明 气球互相排斥。

⑦ 说明 保鲜膜从盒子里拉出来时，会吸住、重叠。展开放在绝缘体上，用餐巾纸摩擦，又会吸在手上。挂在绝缘棒上，用手指按住使它不要飞走，手指下的保鲜膜会互相排斥而分开。如果在中间放入手或纸之类的东西，则会被吸在一起。将纸拿开，保鲜膜会再度分开。可以重复操作几次。

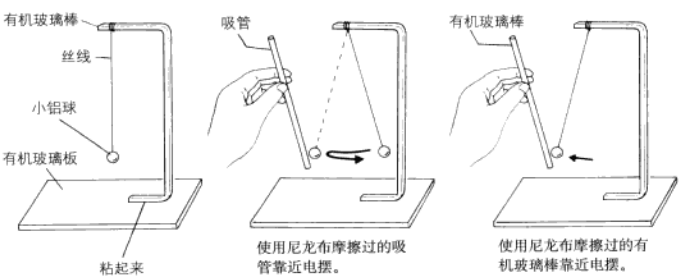
**2** 确认在互相摩擦过的物体上产生的是电

①使氖管靠近经过充分摩擦的垫板　②用力摩擦垫板和聚乙烯管，然后将指尖靠近经过充分摩擦的垫板和聚乙烯管



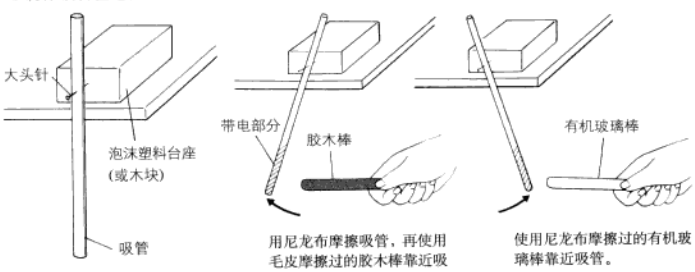

**3** 用电摆确认静电有两种

①制造电摆　②使电摆带电　③接近异种电荷



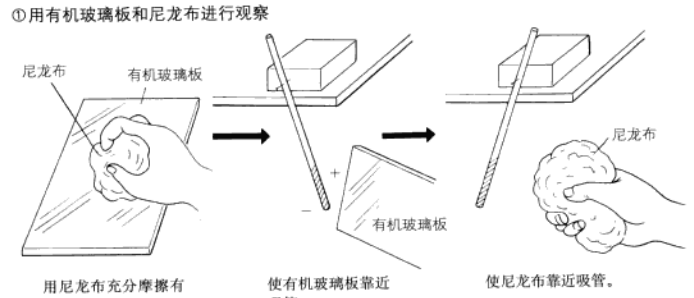

**4** 利用吸管研究静电的正负

①制作吸管验电器　②研究吸管上的电荷　③接近异种电荷




**5** 观察各种物质的带电情况

①用有机玻璃板和尼龙布进行观察




**2** ①提示 在光线比较暗的地方进行实验，会更容易看清。

说明 氖管靠近垫板的一端发光。

②说明 用尼龙布用力摩擦垫板和聚乙烯管时，会发出“啪啪”的声音，这是因为正在放电。如在暗室中进行实验，还能看到蓝白色火花。另外，用指尖靠近用力摩擦过的垫板时，也会感觉到放电。

**3** 说明 用电摆确认同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

① 提示 电摆在市场上也有卖的，不过，因为制作方法并不困难，也可以自己制作。

有机玻璃棒最好是4 mm左右粗细。用打火机慢慢加热后，很容易折弯。

小铝球可用铝箔剪成边长为1 cm大小的方块，揉成团做成。

② 提示 也可以用餐巾纸摩擦吸管。不过，最好不要用毛皮，因为那样会带电过强，不合适。

说明 小铝球被吸管吸住，之后便与吸管带同种电荷，继而又会被排斥而返回。

③ 提示 虽然电荷很弱，但用有机玻璃棒比用玻璃棒的效果好得多。

说明 带电的小球会被有机玻璃棒吸住。可是，跟有机玻璃棒接触之后，便会带上跟有机玻璃棒相同的电荷，所以又变得互相排斥。

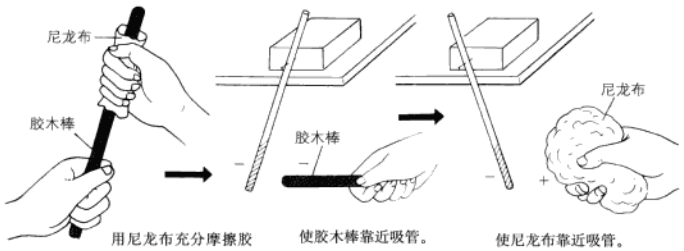
**4** 说明 这是以吸管为基准检验电荷正负的办法。

① 提示 在距顶端1/3处固定吸管。用针穿孔之后，再用牙签等物将孔扩大，这样，穿上大头针之后吸管才能轻轻摇动。

② 说明 用胶木棒接近的时候，吸管会被排斥。因为胶木棒带的是负电。所以可以推断吸管带的也是负电。

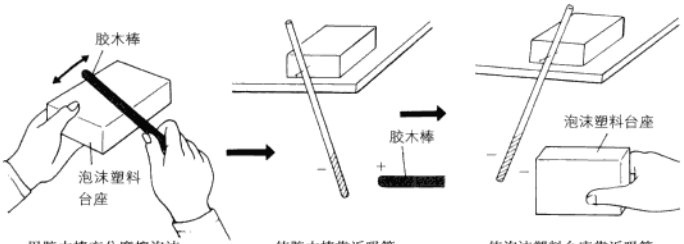
③ 说明 吸管被有机玻璃棒吸引过去，说明有机玻璃棒带的是正电。

②用胶木棒和尼龙布进行观察



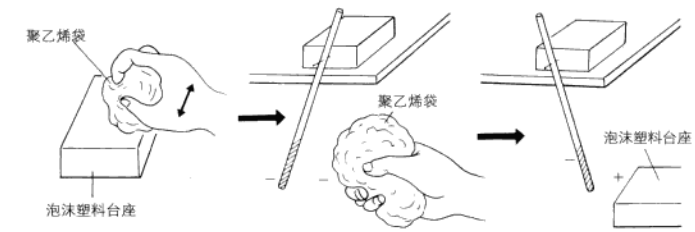

用尼龙布充分摩擦胶木棒。　使胶木棒靠近吸管。　使尼龙布靠近吸管。

③用胶木棒和泡沫塑料台座进行观察



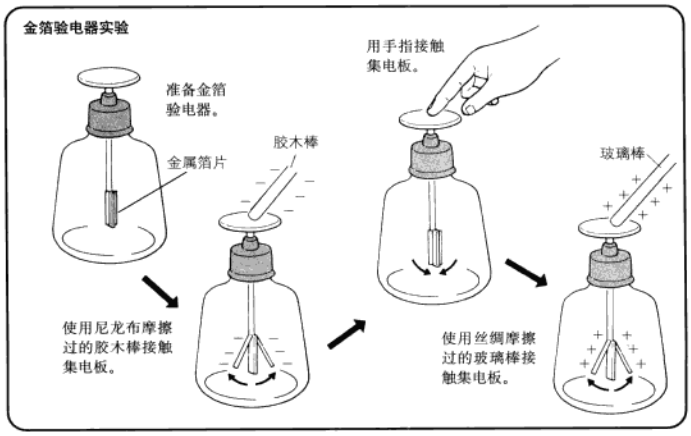

用胶木棒充分摩擦泡沫塑料台座。　使胶木棒靠近吸管。　使泡沫塑料台座靠近吸管。

④用泡沫塑料台座和聚乙烯袋进行观察




用聚乙烯袋充分摩擦泡沫塑料台座。　使聚乙烯袋靠近吸管。　使泡沫塑料台座靠近吸管。

**金箔验电器实验**




5 说明 新的树脂材料层出不穷，研究其带电情况很方便。这里，我们用4中自制的吸管验电器来观察带电情况。

即使是同一种物质，带电情况也会因为摩擦材料不同而不同，既可能带正电，也可能带负电。

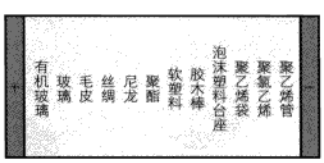
提示 在①至④中，无论哪种情况下，都要先用毛皮充分摩擦吸管，使之带电。

吸管验电器能很方便地检验出带电情况。可是，在接近不带电的物体时，因为吸管自身带电，吸管也会被吸住。因此，在利用这种方法检验带电情况的实验中，需要小心谨慎和耐心。

随着抗静电剂的普及和树脂材料表面状态的不同，带电的情况可能会发生变化。为了取得良好的实验效果，最好先用酒精将实验材料擦一遍。

在将实验材料互相摩擦而使之带电之前，应先了解实验材料的带电情况，使之充分放电。

结果 重复①至④的操作，对12种物体进行观察之后得到的实验数据如下所示：




参考 金箔验电器经常被用于静电实验当中。左面方框中的小图介绍的是使用金箔验电器的基本实验，包括：

- 使用尼龙布摩擦过的胶木棒接触验电器的集电板，胶木棒表面多余的电子便会转移到金属箔上，箔片互相排斥而分开；
- 然后，用手指接触集电板，箔片上的电子通过手指“逃走”，于是箔片又闭合起来；
- 再使用丝绸摩擦过的玻璃棒接触集电板，因为玻璃棒的表面带正电，箔片上的电子转移到玻璃棒上，箔片带正电，于是又互相分开。

除此之外，使用两个金箔验电器，还可以做以下实验：

- 使两个分别带正电和负电的验电器的集电板接触→箔片闭合；
- 使同带正电或同带负电的集电板接触→箔片仍然张开。

材料与器具

各种带电体① 氖管 金箔验电器

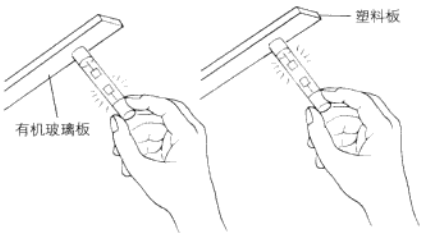
①如塑料板、有机玻璃板、行驶后的汽车。

# 134 研究静电

目标 高 能用氖管及金箔验电器研究静电的性质。

**1** 用氖管验电器检验静电

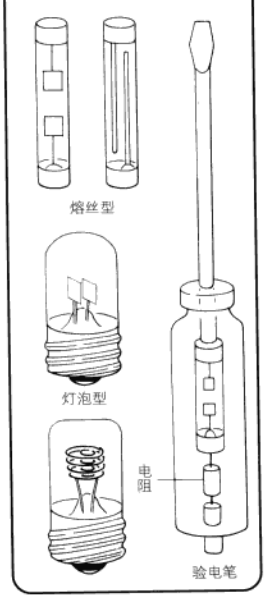
①用氖管接触带电的有机玻璃板及塑料板




②用氖管接触行驶后的汽车

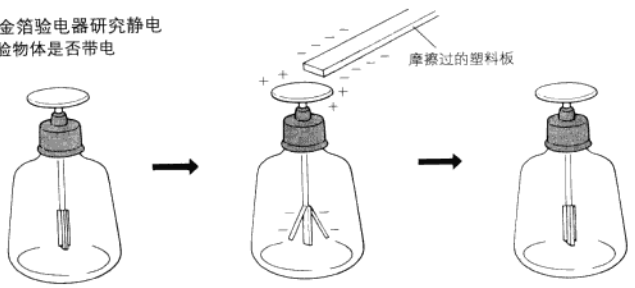


各种氖管验电器



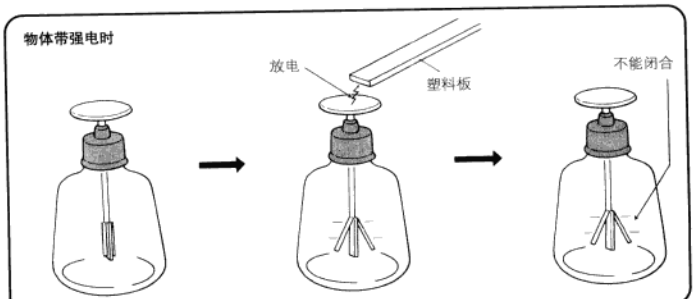

**2** 用金箔验电器研究静电

①检验物体是否带电




准备好金箔验电器。 使摩擦过的物体靠近金箔验电器。 将物体移至远处。

物体带强电时




**1** 提示 用氖管接触带电体时，用手拿着氖管的一端，用另一端接触带电体。

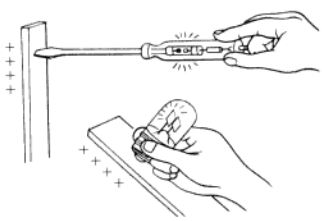
可以用办公桌及地毯上的小玻璃柜等各种物品进行研究。

说明 如果带电体带的是正电，用手拿着的一端会发光；如果带的是负电，接触带电体的一端会发光。也就是说，氖管是负极侧发光。由此可以知道带电体的极性。

参考 氖管是通过抽出空气，封入微量氖气制成的。氖管的品种很多，一般市场上卖的100 V用的氖管，放电起始电压为70 V～75 V，放电持续电压为55 V～60 V的最为普遍。用60 μA左右的电流，就能发出相当明亮的光。只要电流不太大，负极侧就会发光。灯泡型的氖管以前经常用于电源指示灯，随着发光二极管的普及，这种氖管几乎已经不用了，所以可能很难找到。

限流电阻被串联到验电笔里。这种东西可能也比较难找，不过电视机用验电笔(柄长、耐高压)还是可以找到的。

灯泡型和验电笔型氖管验电器的使用方法，原则上跟熔丝型的用法一样。

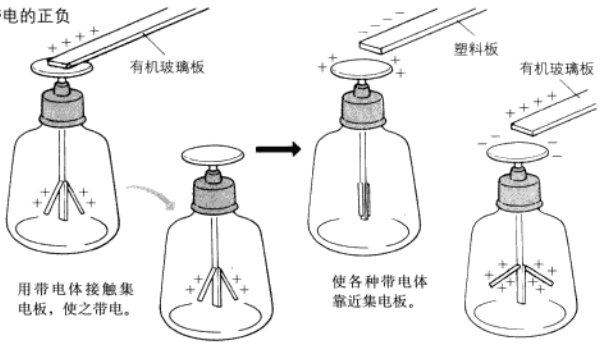


**2** ①提示 可以将各种物体摩擦，然后进行检验。摩擦时，摩擦的强度最好变化多次。

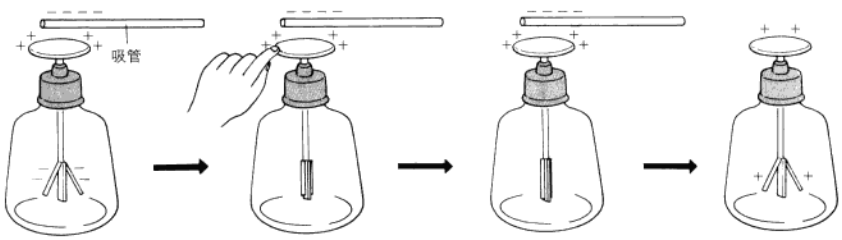
说明 使物体靠近金箔验电器时，如果物体带电，箔片就会张开；将物体拿开时，箔片又会重新闭合。

如果物体带的电很强，靠近验电器时就会发生放电现象。如此一来，便在物体和验电器之间发生电荷转移，此时即使将物体拿开，箔片也不会闭合。

②检验带电的正负

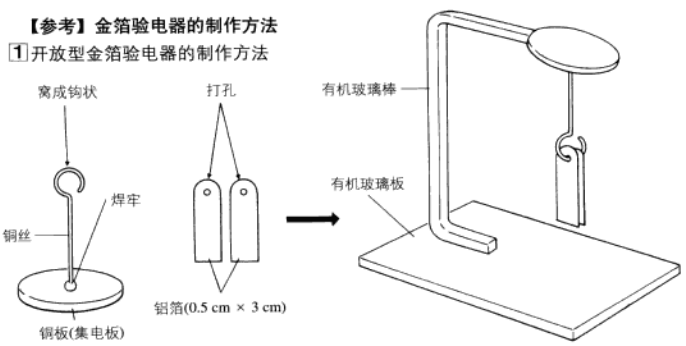



利用静电感应储存异种电荷的方法

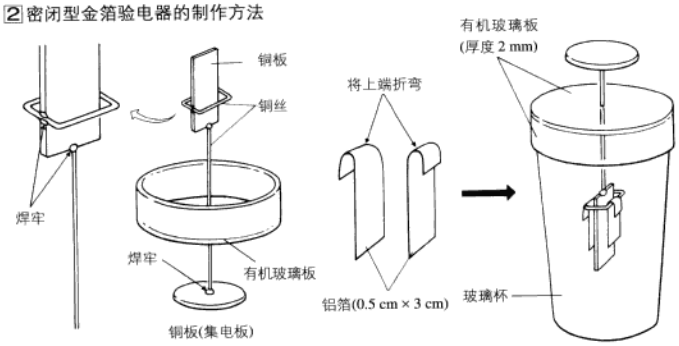



【参考】金箔验电器的制作方法

1 开放型金箔验电器的制作方法




2 密闭型金箔验电器的制作方法




② 提示 可以摩擦各种物体进行实验。

说明 使带电体靠近带电的金箔验电器时，如果带电体与金箔验电器所带电荷符号相反，则箔片闭合；如果二者所带电荷符号相同，则箔片张开幅度更大。

参考 使金箔验电器带电，除了用带电体接触集电板之外，还有静电感应的方法。

利用静电感应的方法，能够储存跟带电体符号相反的电荷。

【参考】金箔验电器的制作方法

说明 金箔验电器的制作很容易，只要在铜丝上吊上两片铝箔就可以制成1中所示的验电器。2中介绍的是将铝箔放入玻璃杯中制成的验电器。

在干燥的室内使用。

1 说明 这种验电器容易放电，所以不能长时间使箔片张开。不过，如果仅仅用于检验物体的带电情况，还是非常实用的。

提示 在铝箔上打孔时，应用牙签将孔打得比铜丝的直径略大，以便铝箔能够轻轻转动。另外，如果铝箔的上端与孔之间的距离太长，铝箔就不能很好地张开了，所以要尽量缩短此距离。最好先打好孔再剪铝箔。

挂钩的直径为 5 mm 左右。

2 说明 将铝箔挂在铜丝窝成的环上时，应调整到能使铝箔轻轻摆动，并使铜板与铝箔之间的距离在 1 mm 以内。

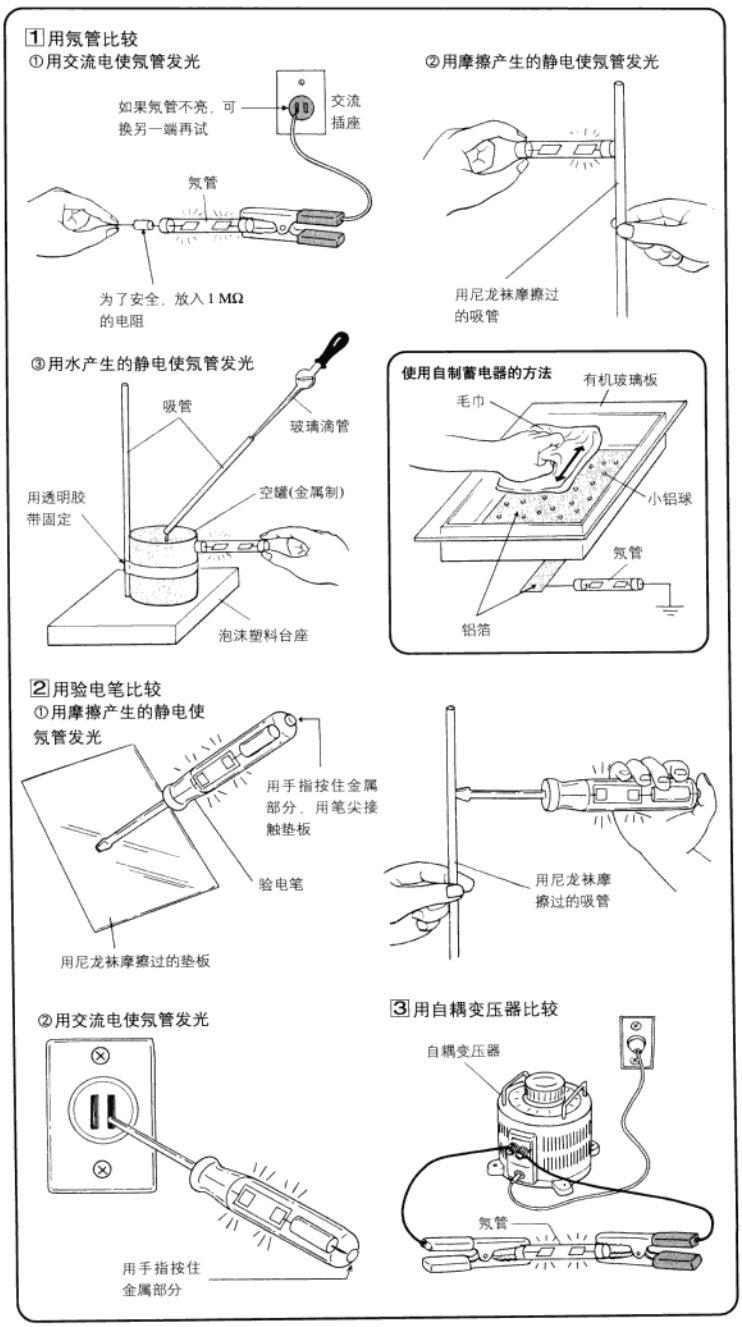
用烧热的铁丝等在有机玻璃板的盖子上打一个能使铜丝通过的孔。

使用之前，应将玻璃杯烘(或擦)干。

# 135 静电与电流的比较

目标 ◎ 知道静电与电流在本质上是相同的。

**氖管 导线 验电笔 自耦变压器 真空管电源装置 吸管(聚丙烯制) 空罐(金属制) 尼龙袜 泡沫塑料台座 毛衣 透明胶带 (带胶皮头的)玻璃滴管 荧光管 塑料板 十字管真空计 克鲁克斯放电管(内有荧光板) 金箔验电器 胶木棒 铝箔 收音机用变压器 叠层干电池 有机玻璃板 有机玻璃棒 铜板 丝线**




1 ① 注意 将导线插入插座以后，与夹子接触的金属部分会造成触电，所以要小心。为了防止发生危险，这个实验不能在暗室里做。

说明 氖管被点亮时会发出红光。

② 提示 当吸管上有脏东西时，很难点亮氖管，所以要选用新的吸管。最好在暗室里进行实验。(③也一样。)

说明 氖管被点亮后会立刻熄灭。如果将氖管与吸管保持接触，并一点一点地挪动位置，就能使氖管持续发光。

用毛巾及塑料板之类的东西摩擦放在蓄电器上的有机玻璃板，可以使氖管在摩擦期间持续发光。另外，使铝箔带电以后，用氖管的接地端接触箱子内侧的铝箔，可以使氖管瞬间被点亮。

③ 提示 要用干燥的吸管。

为了不让静电“逃走”，可以在空罐下面放上泡沫塑料台座，也可以在空罐上用透明胶带粘上吸管，用手固定空罐。

应让水一滴一滴地流下来，而不能像一条线似地流下。

说明 因为水能导电，所以用氖管接触空罐就能发光。

2 ① 提示 实验时应使用家庭用的验电笔(低电压用)。使用时，轻轻按住验电笔后部的金属部分靠近物体。将验电笔在垫板上移动，能使氖管多次发光。

不要用脏的吸管，平时喝饮料用的吸管就行。

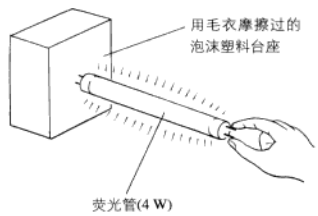
② 注意 不要触摸验电笔的金属部分(非手握部分)，否则会触电。

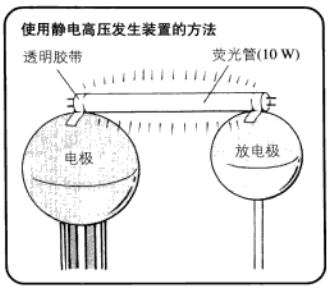
提示 如果氖管不亮，应将插头插入插座的另一个孔内。

3 提示 连线全部完成之后再将插头插入插座。自耦变压器的电压为60 V－70 V时，氖管变亮。

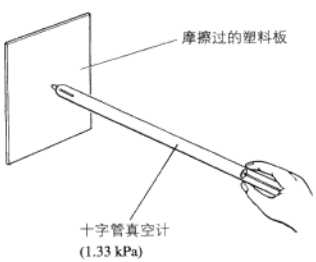
## 4 用静电使荧光管等发光

①使荧光管发光

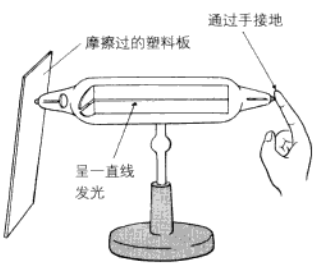



②使十字管真空计发光




③使克鲁克斯放电管发光




## 5 用金箔验电器比较

①用摩擦产生的静电使箔片分开

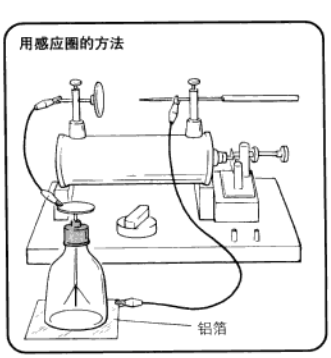



②用交流电使箔片分开




③用直流电使箔片分开




**4** 提示 实验要在暗室里进行。

说明 在①中，荧光管发光。与1②中一样，将荧光管一点一点地挪动位置，就能使荧光管多次发光。

在②和③中，十字管真空计和克鲁克斯放电管等能发光的现象是大家都已知道的，不需要特别说明。

参考 利用静电高压发生装置(范德格拉夫起电机)，能使荧光管连续发光。装置的操作方法参看137。

**5** ② 提示 利用变压器加上200 V～300 V的电压。如果所加电压只有100 V，箔片就只能张开一点点。

注意 将实验器材全部连好之后，再将插头插好。千万不要触电或连线短路。

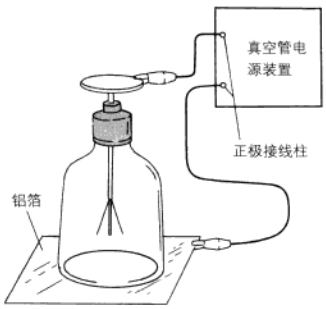
③ 提示 使用高电压的叠层干电池0210 (315 V)或0160 (480 V)都可以。这种电池的电流输出部分呈凹陷状，可以将金属棒插入，用夹子夹住金属棒。

另外，也可以使用频闪观测器用的晶体管升压器。

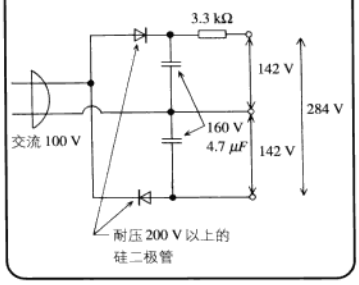
注意 因为电池带高压，使用时要特别注意安全。

参考 也可以用感应圈使箔片张开。

④用真空管电源装置使箔片张开



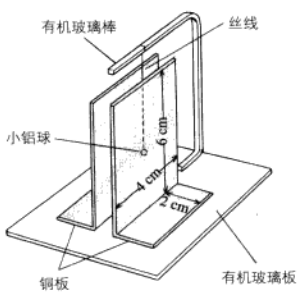

自制直流高压电源装置的电路图



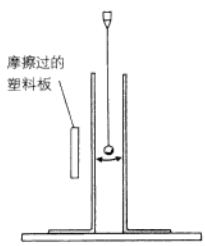

④ 提示 真空管电源装置使用正极接线柱。
注意 因为电压较高，所以应将连线全部整理好之后再接插座。
参考 如果没有真空管电源装置，可以按照左面方框里的电路图自己连线，从而得到大约 280 V 的直流电压。

6 用电摆比较

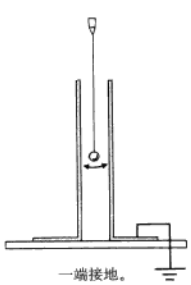
①制作电摆



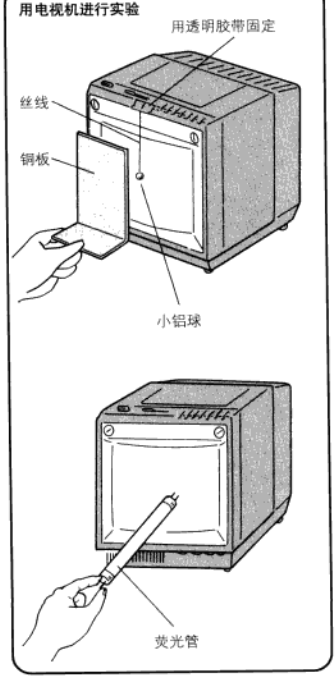

②用摩擦产生的静电使之振动



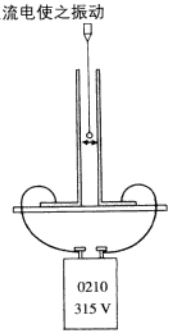

用摩擦过的塑料板接近电摆。




用电视机进行实验




③用直流电使之振动




6 ① 提示 小铝球可以用铝箔制作。
② 提示 极板间的距离最好在 1 cm 左右。
说明 将摩擦过的塑料板等接近极板，小铝球一直振动，直到两极电荷相等为止。振动停止以后将一极接地，可使小球重新开始振动。
③ 提示 使用小铝球，极板间的距离比②中近。与 5 ③中一样，使用叠层干电池。
说明 小铝球振动。
结果 无论在哪种情况下，静电和电流都显示出同样的现象，由此可知两者在本质上是相同的。
参考 利用电视机能够知道电流也能产生静电。
在用电摆进行比较的实验中，使小铝球降至电视画面附近，手持铜板靠近，至距电视机 5 mm 左右的地方。
打开电视机，小铝球振动。关闭电视机时，小铝球的振动最剧烈。
在使荧光管发光的实验中，开机和关机的瞬间，荧光管会发光。也可以用同样的方法使氖管发光。对于氖管来说，手拿的一端只在开机的一瞬间发光，靠近电视机的一端则会在关机的时候持续发光一段时间。
另外，在屏幕前面再装一块有机玻璃板的电视机最近也出现了。如果用这种电视机做实验，则必须取下有机玻璃板，否则小球不会振动。

材料与器具

# 136 储存静电

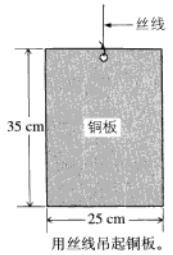
目标 初 能将静电储存在一块铜板上，莱顿瓶里或自己制作的蓄电器(电容器)里。

铜板(25 cm×35 cm) 丝线 塑料板 摩擦用的布(如毛巾) 氖管 莱顿瓶 静电高压发生装置(范德格拉夫起电机) 熔丝 透明胶带 泡沫塑料板 荧光管 保鲜膜 干电池 耳机 导线 绝缘棒 空盒子① 铝箔 有机玻璃板 铜丝

①塑料制的糕点盒之类的都可以。

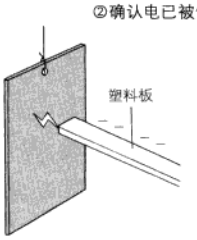
**1** 将静电储存在一块铜板上

①将摩擦产生的静电储存在铜板上

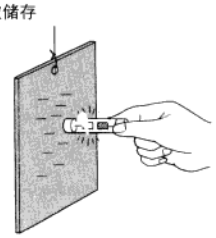



用丝线吊起铜板。

②确认电已被储存



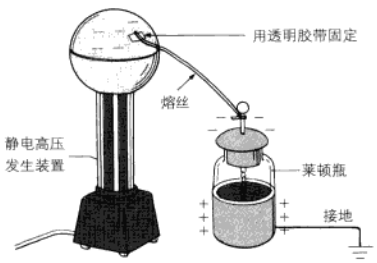

用摩擦过的塑料板接触铜板，进行放电。



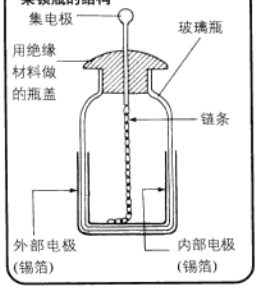
用氖管接触铜板。

**2** 将静电储存在莱顿瓶里

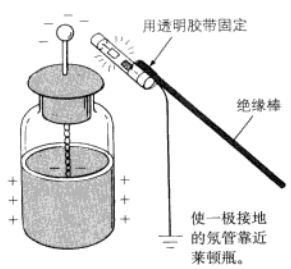
①将静电高压发生装置产生的静电储存在莱顿瓶里



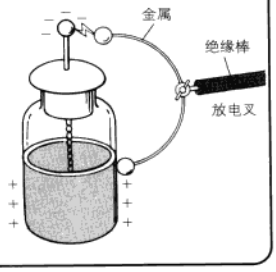

莱顿瓶的结构




②确认电已被储存




用放电叉确认蓄电

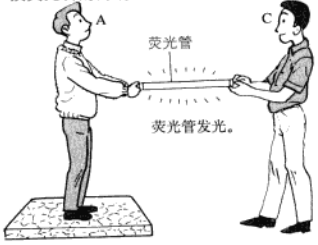



**3** 将静电储存在人体内

①一人站在绝缘台上，另外一人摩擦其后背，产生静电




②站在绝缘台上的人与站在地板上的人触摸荧光管的两端




**1** 说明 这个实验，是为了证明电能储存在被绝缘的导体内。

① 提示 通过放电将电储存在铜板上的操作需重复2～3次。也可以用塑料板以外的其他物体进行各种尝试。

② 说明 通过氖管发光现象，可以知道电已经被储存在铜板上了。

**2** ① 说明 莱顿瓶是在玻璃瓶的内侧与外侧贴上锡箔制成的，能够储存高压电。

提示 莱顿瓶要用经过充分干燥的玻璃瓶制作。

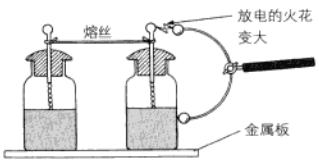
将莱顿瓶的外部电极接地时，只要将莱顿瓶放在接地的金属板上即可。

静电高压发生装置(范德格拉夫起电机)的操作方法见【137】。

② 提示 因为储存在莱顿瓶里的电是高压电，所以要将氖管的一端接地，同时将氖管固定在绝缘棒上之后再接近莱顿瓶。

参考 使用放电叉也是一种确认蓄电的方法。此时，将一边的小球接触莱顿瓶的外部电极，另一边的小球再逐渐接近莱顿瓶的集电极。如果以相反的顺序操作，则有可能损坏莱顿瓶，因此实验时要小心。

另外，如果将两个莱顿瓶并联蓄电，可以储存更多的电。

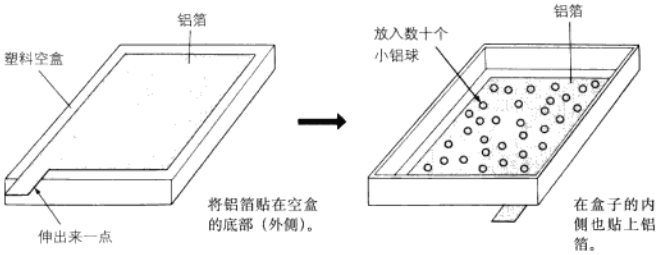



**3** 提示 如果不将遮光窗帘拉上使房内变暗的话，可能很难看清发光现象。如果A和C抓住荧光管的中间，那么只有两人手之间的部分会发光。

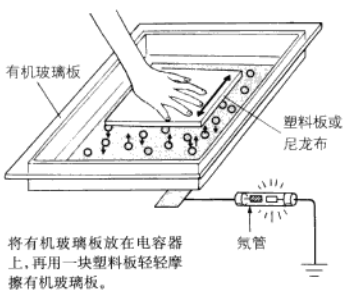
说明 人也是电的良导体。利用图中的方法能很方便地将电储存在人体内，使荧光灯发光。

## 4 制作空盒电容器储存静电

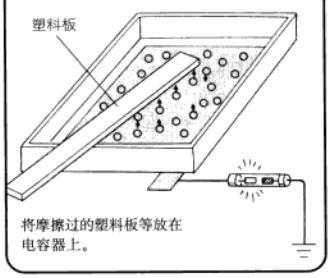
①制作空盒电容器



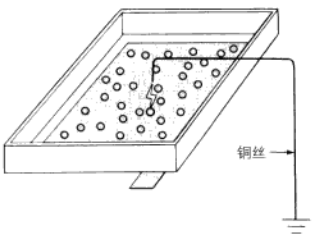

②将摩擦产生的静电储存在电容器内



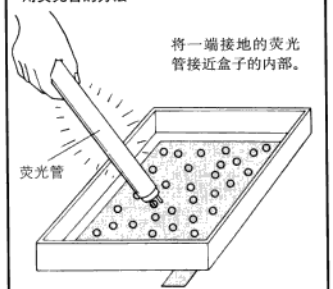

**用带电体接近的方法**




③确认电已被储存

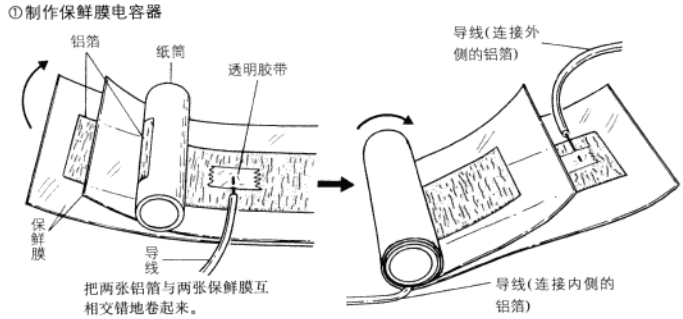



**用荧光管的方法**




## 5 制作保鲜膜电容器，储存静电

①制作保鲜膜电容器




**4** ①**提示** 试着用身边的材料制作蓄电器(电容器)。静电用蓄电器需要很大的耐压能力，所以用于夹极板的物体以及与极板接触的物体(盒子)需要一定的厚度(为了耐压)，而且绝缘性要强，塑料抽屉及糕点盒之类的都可以。

② **提示** 盒子底部的一极接地。此时，为了了解带电情况，可以事先放入氖管。在摩擦产生的静电被积蓄的过程中，随着电压的上升，产生放电现象，蓄电量发生变化。因此，需作多次尝试，以便找到合适的点。

**说明** 在有机玻璃板上放上塑料板并互相摩擦，小铝球会剧烈地跳动并将带电体的电荷转到铝箔上，从而使铝箔上储存有正电荷。如果将塑料板放在下面，移动有机玻璃板，铝箔则储存负电荷。

**参考** 还有一种方法，是将摩擦过的塑料板及垫板之类的带电体放到蓄电器的上面。用这种方法，也能很好地储存电。

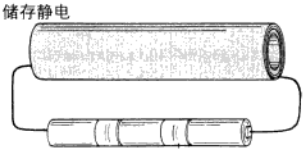
③ **说明** 使一端接地的铜丝靠近电容器时，会引起放电。

**参考** 也可采用使一端接地的荧光管靠近电容器的方法。当二者相距5 cm～6 cm时，荧光管就会发光。

**5** ①**提示** 将包装食品用的保鲜膜与铝箔各两张互相交错地叠放在一起，里面放一个纸筒作为芯，小心地卷起来。用透明胶带将导线的一端固定在内侧的铝箔上，并且伸到外面。铝箔和铝箔之间不能接触，将四张薄膜对齐，不要移动，小心地卷好。

卷好之后，用透明胶带将另一根导线固定在外侧的铝箔上。外侧导线与内侧导线伸出的方向相反。最后，将卷好的薄膜用透明胶带固定。

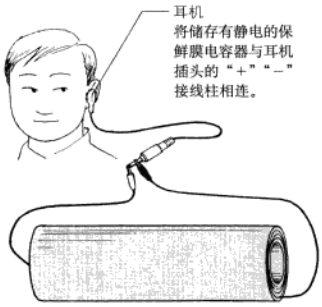
②将保鲜膜电容器与电池连接起来，储存静电



用透明胶带把电池连起来。




③确认静电已被储存起来

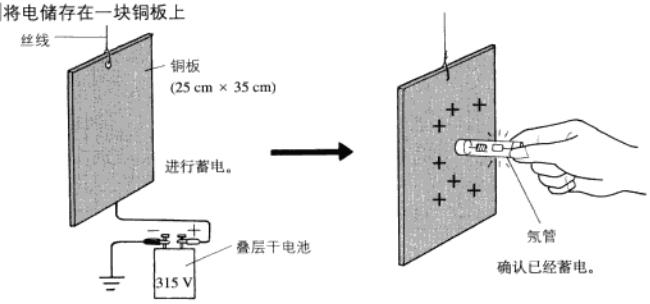



② 提示 将多个电池串联，用透明胶带连接，两端分别与保鲜膜电容器的导线相连。

③ 结果 将电容器的导线连到耳机的两个接线柱上，可以听见“咔嚓”的声音，说明静电已被储存。

**【参考实验】研究电容器的蓄电原理**

1 将电储存在一块铜板上




**【参考实验】研究电容器的蓄电原理**

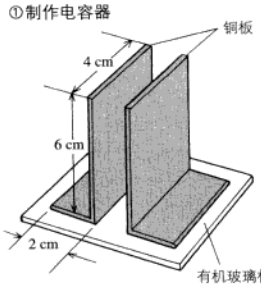
说明 通过这个实验可以知道，平行放置的金属板能够储存更多的电，即使是小的极板也能使氖管发光。

1 提示 用黑色圆筒将氖管罩住，等到变暗后再进行观察。(2 中也一样。)

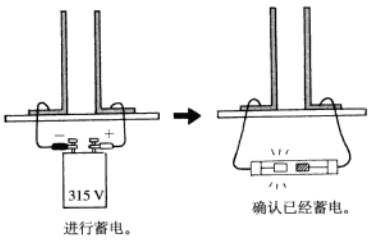
说明 氖管发出的光变暗。

2 将电储存在两块铜板上

①制作电容器




②将电储存在电容器内，与氖管连接

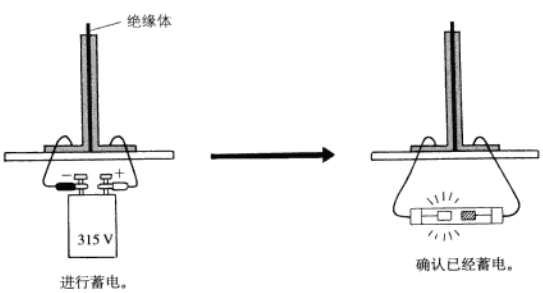



2 提示 用双面胶将极板(即铜板)固定在有机玻璃板上。

在③中，可以用透明胶片或聚乙烯袋作为绝缘体，与极板贴紧。

说明 在②中，仅在将氖管连上的一瞬间，氖管会发出微弱的光，在③中，氖管却会发出明亮的光线。极板之间的距离越小，储存的电荷越多。

③夹住绝缘体，拉近极板间的距离，重做②



材料与器具

# 137 使用静电高压发生装置的实验

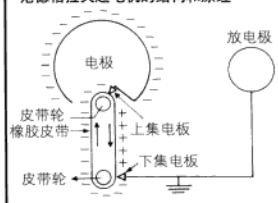
目标 高 可以用范德格拉夫起电机产生静电高压，并对静电的性质进行各种实验研究。

**静电高压发生装置**(范德格拉夫起电机) **薄纸条**① **铜丝**(直径0.5 mm左右) **蜡烛** **十字管真空计** **哈密顿电旋转车** **透明胶带**

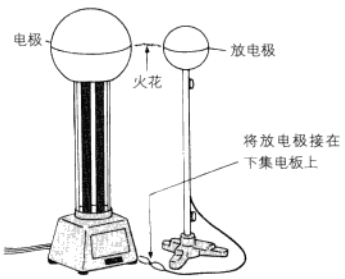
①用丝线也可以。

## 1 观察电极之间的放电现象

**范德格拉夫起电机的结构和原理**




用上集电板将皮带轮和橡胶皮带摩擦产生的电荷收集起来，储存在电极上。




将放电极放在距电极5 cm～10 cm的地方，闭合起电机的开关。

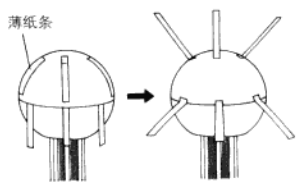
提示 实验要在干燥的房间内进行。湿度超过70%时，起电机几乎不能起电。如果起电机上沾有灰尘等脏东西，就会向空中放电，很难将电荷储存到电极上，所以要擦拭干净。实验后，要把粘在电极上的透明胶带痕迹用酒精擦掉，然后再用干布仔细擦干净。

注意 身体接近高压电时非常危险，所以操作时要十分小心。

1 说明 在电极和放电极之间，能看见火花飞溅。

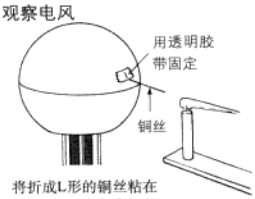
提示 实验结束之后，使电极与放电极接触，充分放电，使电荷完全消失。

## 2 用薄纸条或丝线观察电场线




在电极上粘上细长的薄纸条(或丝线)，闭合起电机的开关。

## 3 观察电风




将折成L形的铜丝粘在电极上，闭合起电机的开关，使点燃的蜡烛靠近电极。

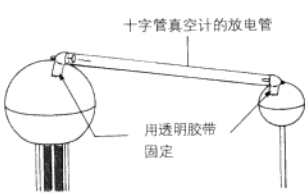
2 提示 要用长约10 cm的薄纸条。如果使用丝线，则需20 cm左右。

说明 纸条或丝线都会与电极表面垂直。此时纸条或丝线的指向就是电场线的方向。

3 提示 铜丝的直径最好为0.5 mm左右。

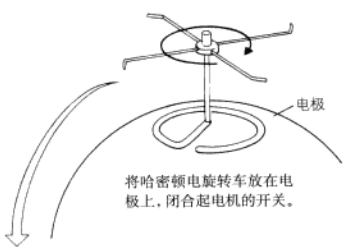
说明 蜡烛的火焰像被风吹倒一样歪到一边，这是因为密集于铜丝尖端的电荷产生了电风的缘故。如果蜡烛距铜丝太近，电风就会吹灭蜡烛。

## 4 观察十字管真空计的放电现象




用十字管真空计的放电管连接电极与放电极，闭合起电机的开关。

## 5 使哈密顿电旋转车旋转




将哈密顿电旋转车放在电极上，闭合起电机的开关。

4 提示 为了使放电情况易于观察，实验要在暗室里进行。

也可以使用克鲁克斯放电管。

说明 能看见放电管内的放电现象。利用这个实验可以知道电极的正负。

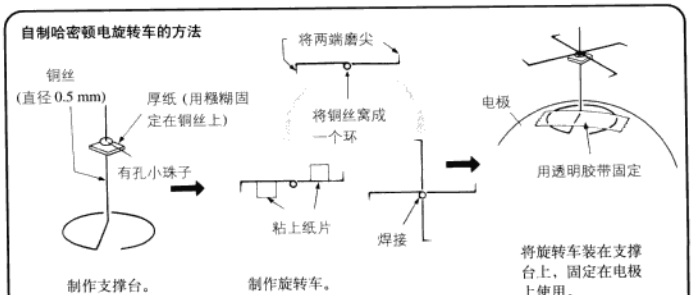
5 提示 将电极接在起电机上时，也可以不将电旋转车放在电极上，而用导线连接电极和电旋转车进行实验。

说明 电荷有集中于曲率半径小的部分的性质，所以会密集于旋转车的尖端，产生电风。旋转车因反作用而旋转。

参考 哈密顿电旋转车，即使制作得比较粗糙也能很好地旋转，所以很容易自己制作。关键是：①两端要磨尖；②保持平衡；③减少旋转部分的摩擦。

也可在旋转车的臂上用纸和透明胶带装上翼，这样旋转起来会很漂亮，能够收到表演的效果。

**自制哈密顿电旋转车的方法**



# 138 用干电池和小灯泡连接电路

目标 小初

能用两节干电池和两个小灯泡连成各种电路。
知道干电池与小灯泡的连接方式不同会造成小灯泡的亮度不同。

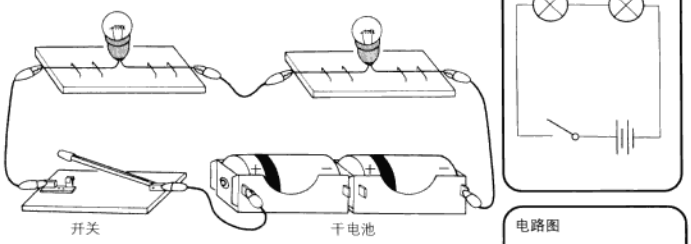
材料与器具

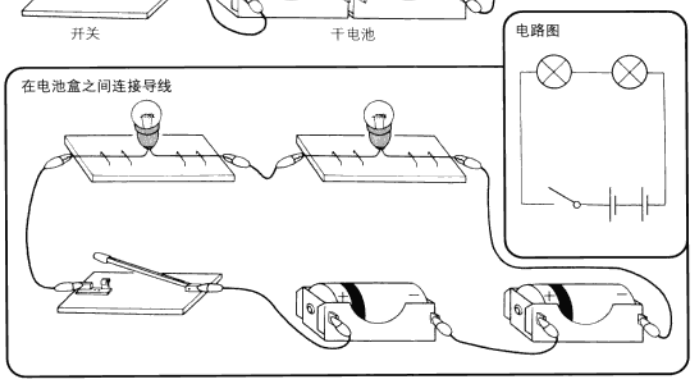
干电池 2 节① 电池盒 2 个② 小灯泡 2 个(2.5 V)
灯座 2 个(带导线) 导线 7 根③ 开关

①1 号（或 5 号）电池，②与干电池的规格相同，③带夹子，七根导线当中，有两根被剥掉了中间的绝缘皮。

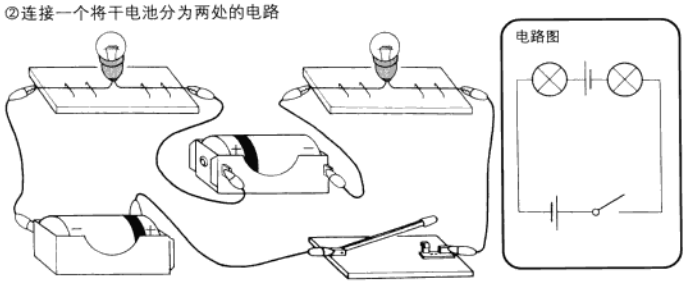
1 连接一个电池和小灯泡都是串联的电路

①连接一个电池串联的电路

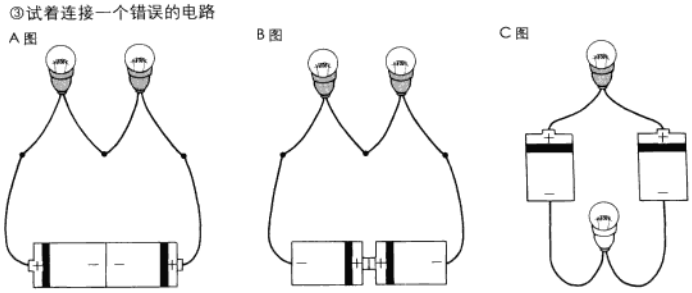



②连接一个将干电池分为两处的电路



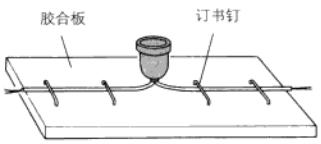

③试着连接一个错误的电路



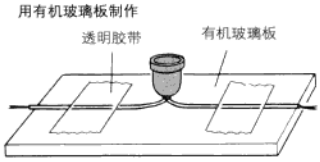

1 ①提示 希望用两种方法做实验：一种是将两个电池盒连在一起的方法，另外一种是在电池盒与电池盒之间连接导线的方法。如果让初中生做这个实验，可以让他们将电路图与实际的连线结合起来思考。为此，让他们试着画一下电路图也是一个很好的活动。

将开关接入电路中。小灯泡不用特别固定，但若用厚度为 3 mm～4 mm 的胶合板或有机玻璃板裁成适当大小，做一个用于固定导线的装置的话，实验时会更加方便。

用胶合板制作




用有机玻璃板制作



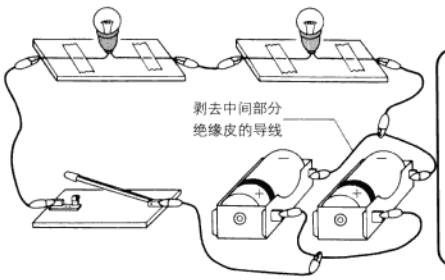

② 说明 通常情况下不这样连线，但是作为电路，它与①中的连线是等效的。当然，小灯泡的亮度也与①中相同。

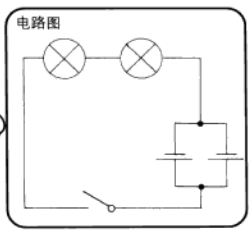
提示 在这个电路中，根据电路图及实际连线的情况，思考电池与小灯泡均为串联的情形。此时，要注意不能抛开电流的流动方向来思考电路。

③ 说明 如果是小学生做这个实验，为了使他们深刻理解电路及电流的流动，需要连接一个错误的电路，让他们通过实验知道在这种电路中小灯泡不会发光。这一点很重要。

提示 连接像 C 图这样的电路时，应引导学生认识到：如果加在电路上的电压的方向不同，就会因为电压间的互相抵消而使电流不能流动。

2 连接一个电池并联、小灯泡串联的电路

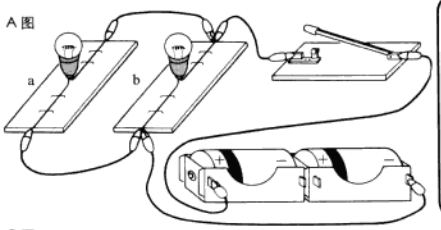


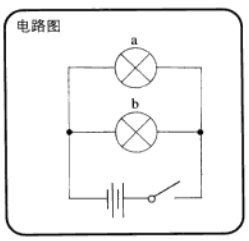




3 连接一个电池串联、小灯泡并联的电路

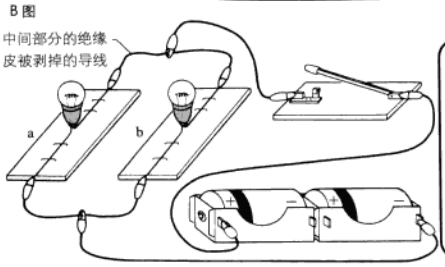
①连接一个将小灯泡集中在一起的电路

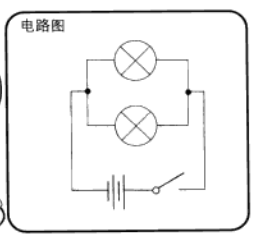
A 图



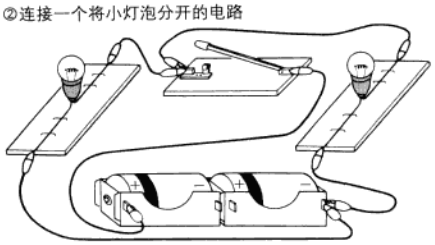



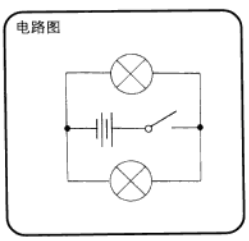

B 图




②连接一个将小灯泡分开的电路

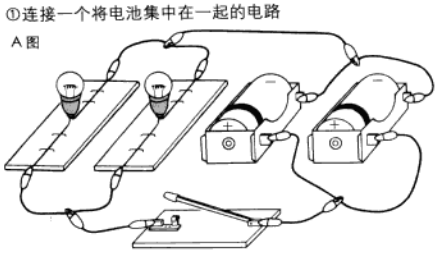


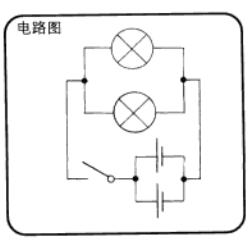



4 连接一个电池和小灯泡都是并联的电路

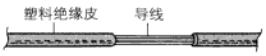
①连接一个将电池集中在一起的电路

A 图






2 提示 将电池和小灯泡并联时，使用剥掉中间部分绝缘皮的导线，能帮助学生更好地理解电路的连接情况。




可以事先准备好像上图这样中间部分绝缘皮被剥掉的导线。如果是塑料绝缘皮，利用钢丝钳、去皮器、老虎钳等工具，就能很方便地剥掉。

3 ①提示 如果是小学生做此实验，将小灯泡如图所示连接时，即使a、b两个小灯泡的性质、结构完全相同，也会有人猜测b灯泡会比较亮。要使学生通过实验真正认识到两个小灯泡的亮度是一样的。

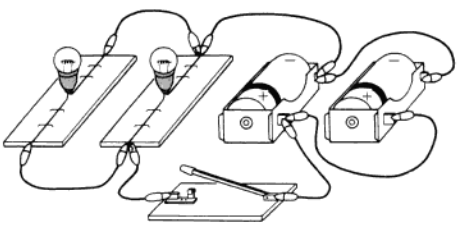
像B图这样连接，比较容易理解小灯泡是并联的，而且小灯泡的亮度跟A图完全一样。

②提示 如果是中学生做此实验，可以启发学生从电流的分合情况（从途中进行分流、合流）来思考两个小灯泡的并联，另外还要确认电灯的亮度跟①中相同。

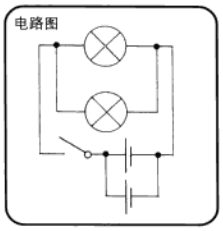
4 ①提示 像A图这样连接小灯泡与电池时，用中间部分绝缘皮被剥掉的导线，比较容易看明白电路的并联情况。

因为小灯泡、电池都是并联，所以B图与A图是完全等效的两个电路，这也可以从两个电路中小灯泡的亮度完全相同的事实得到验证。事先明确这一点，对复杂的连线操作很有用。

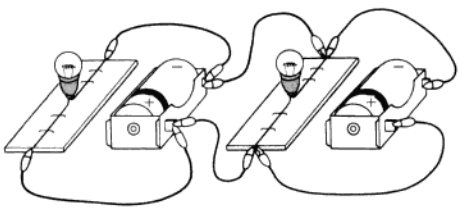
B图



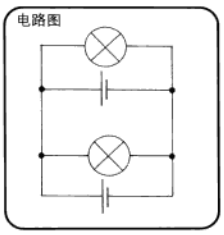
电路图



②连接一个电池分开的电路

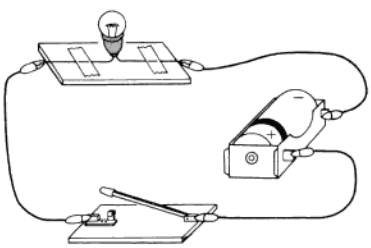


电路图



② 与 1 ② 中的情况一样，这个电路也不是经常使用的电路。这里应启发学生认真思考电池和小灯泡都是并联这一现象，另外还应使学生通过仔细观察，确认小灯泡的亮度与①中相同。

5 连接各种电路，比较小灯泡的亮度



以一节电池和一个小灯泡连接而成的电路中的小灯泡的亮度为基准。

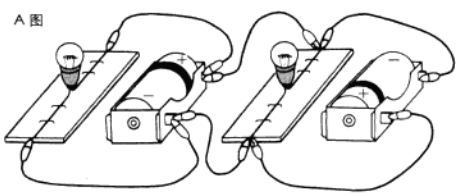
| 小灯泡 / 电池 | 串联 | 并联 |
|---|---|---|
| 串联 | | |
| 并联 | | |

将上面的结果填入表中。

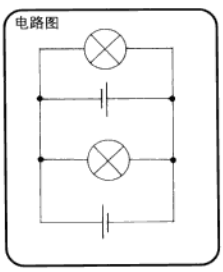
5 以一节电池和一个小灯泡连接而成的电路中的小灯泡的亮度为基准，比较 1 ①、2、3 ①、4 ①中各个小灯泡的亮度，把比较结果汇总在表格中。

【参考】连接一个短路的电路

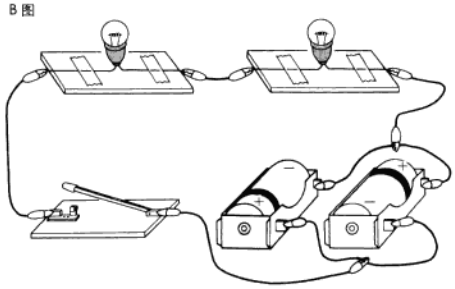
A图



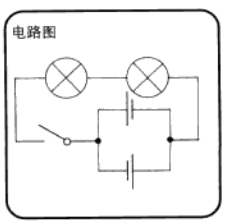
电路图



B图



电路图



**【参考】连接一个短路的电路**

提示 学生有时会按如图所示的方法连接电路，教师不但要提醒他们注意，甚至还可以有意地连接一个这样的电路，告诉他们这样做的危险性，比如小灯泡不亮或损坏电池（持续一段时间就会使电池发热）等。不过，因为这样做会导致电池的消耗过大，只要做确认小灯泡不亮的演示就可以了。同时，还要让学生知道，用干电池做没有危险，但如果用家中的交流电源做短路实验，却是极其危险的。

# 139 用小灯泡研究电路

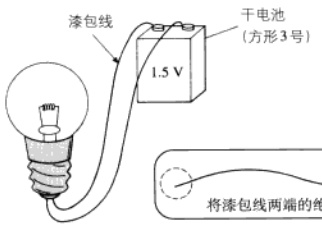
目标 小初 知道电路是由电源、用电器及中间环节三部分组成的电流的通路。
知道小灯泡里面是真空的。

小灯泡① 干电池② 漆包线③ 镊子 加热器具 圆底烧瓶 玻璃管 橡皮塞 真空泵 焊锡 烙铁 砂纸

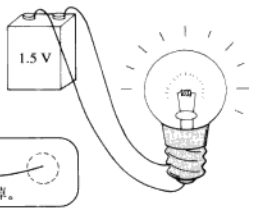
①用额定电压和电流分别为 2.5 V 和 0.3 A 左右的小灯泡。②用 1.5 V 的干电池。③用 0.3 mm 左右粗细的漆包线。

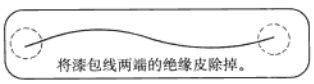
**1** 连接电路

①将两根导线与小灯泡底部的接点相连

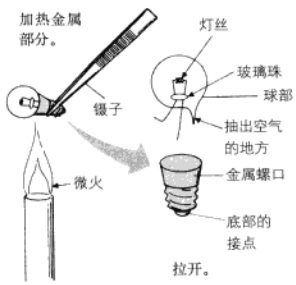



②将导线的一端接到小灯泡底部的接点上，另一端接到小灯泡的金属螺口上

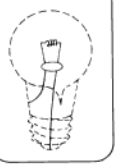


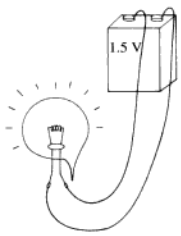

**2** 拆开小灯泡



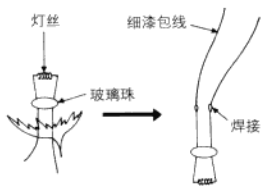

将一根导线接到底部的接点上，另一根导线接到金属螺口上。



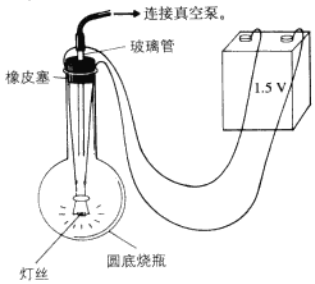
**3** 连接小灯泡



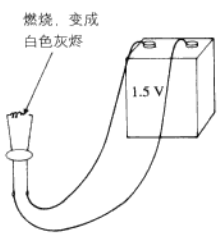

**4** 打破小灯泡的玻璃，焊接导线




**5** 在真空状态下给灯丝通电

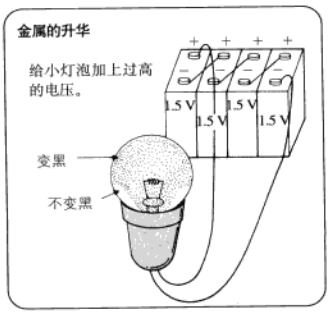



**6** 在空气中给灯丝通电




**金属的升华**

给小灯泡加上过高的电压。




**1** 说明 小灯泡在①中不亮，在②中发光，但对初次连接电路的学生来说，很多人会认为二者一样。因此，为了了解为什么小灯泡在②中发光，而在①中不亮，也就是说了解所谓的电路是怎么回事，接着做**2**及后面的实验。

提示 将导线两端的绝缘皮用砂纸磨掉或用火烧掉，总之需要去除。

**2** 说明 将煤气或酒精灯的火焰调小，烘烤金属螺口，黏合剂熔化。将金属螺口及玻璃珠往相反的方向一拉，就能很容易地拆开灯泡。

拆开小灯泡之后，玻璃珠内部会露出两根导线，能看出一根接在金属螺口上，另一根却接在底部的接点上。再仔细观察，就能看出在金属螺口和底部接点之间填有绝缘材料。如果能做一个导通实验来检验一下二者是否真的被绝缘了，就更好了。

**3** 说明 可以用眼睛看出：这样做时，小灯泡就亮了，电流流经的途径是干电池→导线→灯丝→导线→干电池，这样绕一周。这样就能理解电路是怎么回事了，因此也就能理解小灯泡在**1**①中不亮的原因了。

**4** 说明 将玻璃打破，就能更加清楚地看出小灯泡的结构，也就能知道带有颜色的玻璃珠的作用是为了不让两条导线碰在一起（因为两条线碰在一起就会短路）。

**5** 说明 此时，小灯泡正常发光。

**6** 说明 用**5**中的装置，在电流接通的情况下往烧瓶里输入空气，或者如图所示，从烧瓶里拿出小灯泡，通电。这样一来，灯丝就会立刻燃尽，只留下白色灰烬。由此可知，小灯泡内原本是真空的。实际上，小灯泡是否能用，跟小灯泡内能形成多高程度的真空这项技术有关。

参考 如果给小灯泡加上过大的电流，过一会儿就会像图上画的那样，玻璃变黑，灯丝烧断，这是灯丝（钨丝）升华后附着在灯泡内壁上造成的。

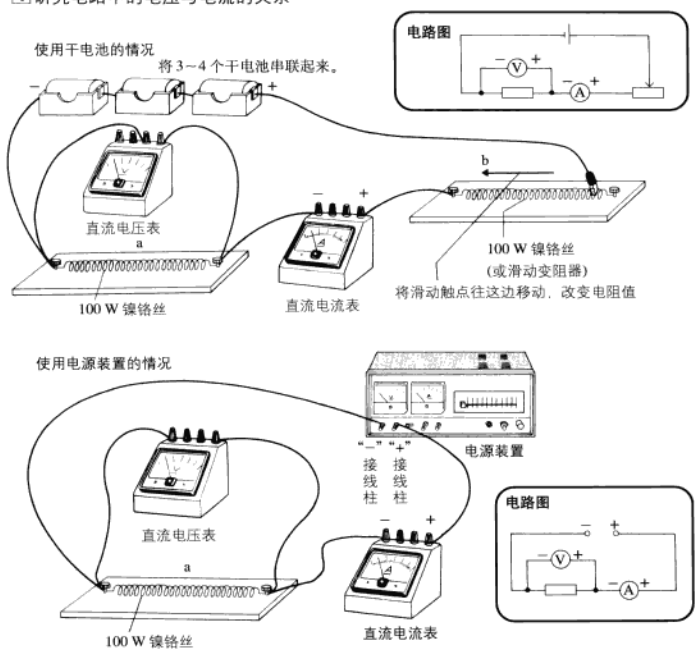
# 140 研究电压与电流的关系

目标 初 知道电阻两端的电压与电流的大小成正比。

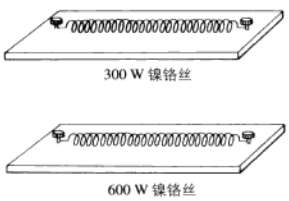
镍铬丝① 板(10 cm × 40 cm) 3个 直流电流表 直流电压表 干电池 电源装置 导线

①准备三根，功率分别为 100 W、300 W 和 600 W。

## 1 研究电路中的电压与电流的关系




## 2 替换 1 a 中的镍铬丝进行测量




## 3 将结果汇总于表格

实验数值举例(100 W 的情况)

| 电流 /A | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 电压 /V | 0.91 | 1.84 | 2.75 | 3.65 | 4.59 | 5.52 |

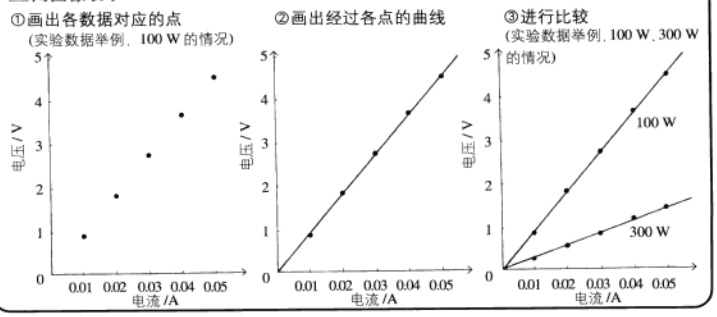
实验数据举例(300 W 的情况)

| 电流 /A | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 电压 /V | 0.27 | 0.55 | 0.86 | 1.15 | 1.38 | 1.71 |

实验数据举例(600 W 的情况)

| 电流 /A | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 电压 /V | 0.15 | 0.29 | 0.43 | 0.59 | 0.72 | 0.88 |

## 4 用图像表示




1 提示 为了便于理解，同时也为了防止接错电压表的"＋"、"－"接线柱及在布线时引起混乱，实验时应尽量将器材放在与电路图相同的位置上。

布线结束后，多次改变电路中的电阻值，读取电流和镍铬丝两端的电压。用干电池作电源时，可通过移动接在 100 W 镍铬丝上的滑动触点改变电阻值；使用电源装置时，则可通过调节电源装置使电流发生变化。

为了便于观察，应尽量将电流按 0.01 A、0.02 A、0.03 A……这样容易比较的数字进行改变。注意电流表、电压表接线柱的使用方法（电压为 3 V～5 V 时，电流的变化范围为：20 mA～50 mA——对 100 W 的镍铬丝而言；20 mA～70 mA——对 200 W 的镍铬丝而言；20 mA～100 mA——对 300 W 的镍铬丝而言）。

原则上，电流表和电压表的接线柱应按照从大单位到小单位的顺序变换挡位。

2 注意 因为电流过大会使镍铬丝发热，所以应用 0.5 A 以下的电流进行实验。

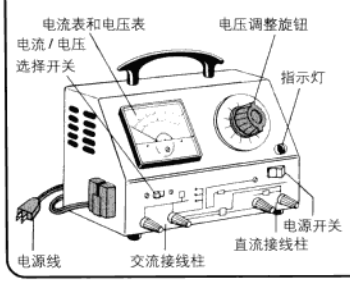
4 提示 为了使变化的情况更加直观而易于理解，这里用图来表示。以自变量（电流）为横轴，因变量（电压）为纵轴。点的分布不严格成直线关系是因为有测量误差存在的缘故。直线通过各点的中心，与原点连成一条直线。与100 W以外的数据进行比较的结果也可以用作参考。因为都是直线，所以可知电压与电流成正比。

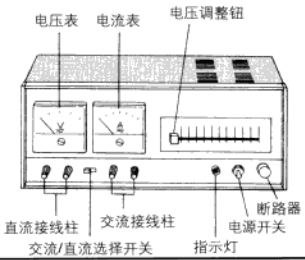
说明 电压 $U$ 与电流 $I$ 之间的关系可以用下面的公式表示：

$U = k \cdot I$（$k$：比例常数＝电阻）

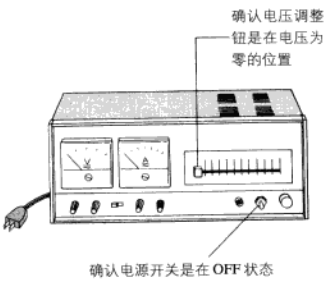
**【参考】电源装置的用法**

**电源装置举例及各部分的名称**

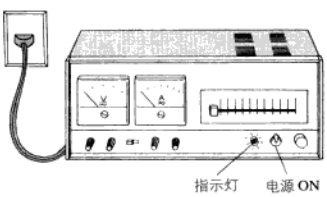



**1** 检查各开关

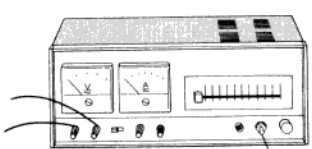



**2** 查看指示灯工作是否正常

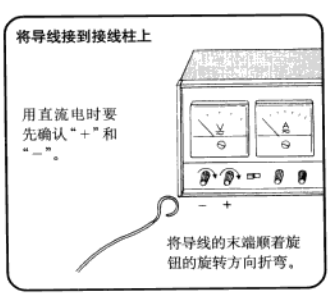



将电源线插入插座，将电源开关拨到ON，确认指示灯是亮的。

**3** 将电源开关再次拨到OFF，连接电路

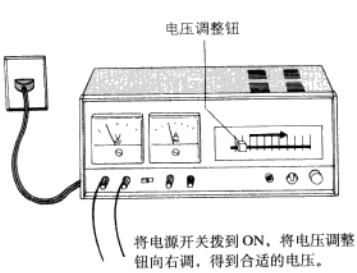



**将导线接到接线柱上**

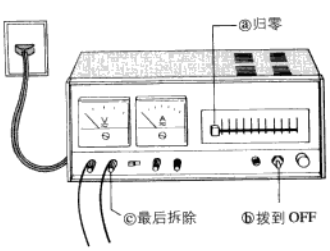



**4** 检查电路的连线，将电源开关拨到ON

**5** 拨动电压调整钮，加大电压




**6** 用完后，先将电压调整钮归零，再将电源拨到OFF，最后拆除电路




**【参考】电源装置的用法**

提示 搬运电源装置时要十分小心。放到桌上时要小心轻放。

电源电压调整钮有两种：一种为旋转式，一种为滑动式。无论哪一种，都是带微调装置的比较好用。

**1** 提示 使用电源装置时，首先需要熟练掌握以下基本操作方法：检查开关是否处于OFF状态，电压调整钮是否在零点位置。

**2** 提示 进行上述操作之后，将电源线插在插座上，将电源开关拨到ON，确认指示灯能亮。如果是电流表和电压表共用一个量表的话，应将选择开关拨到电压表一侧，拨动电压调整钮，确认已经加压。（确认完成之后要将电压归零。）如果指示灯不亮，有可能是熔丝断路、插头没插好、电源线断了或指示灯断路等原因造成的。

**3** 提示 将电源开关拨到OFF之后，连接电路。使用交流电还是直流电，应根据情况将导线牢固地接在正确的接线柱上。不要弄错“+”“−”的极性。养成在电源的“+”侧接红色导线，在“−”侧接黑色导线的习惯。如图所示，导线的末端应顺着接线柱旋钮旋转的方向弯曲。如果朝相反方向弯曲的话，拧紧旋钮时有时会使导线脱落，有时看上去导线是固定在旋钮上了，可是在实验中途也有可能松开脱落。连接电路时，应从“+”侧开始，依照电路图按顺序连接下去。这样不仅便于理解，而且不会出错。

**4** 提示 按照电路图检查导线的连接方式。特别是量表的“+”“−”接线柱的接法（如果弄错极性，有可能在瞬间之内便损坏仪表）。检查之后，将电源开关拨到ON。

**5** 提示 指示灯亮了以后，一边看电压表，一边用电压调整钮使电压升至需要的数值。读数不要出错。

**6** 提示 用完后，一定要将电压调整钮归零，将电源开关拨到OFF之后再拆除导线。

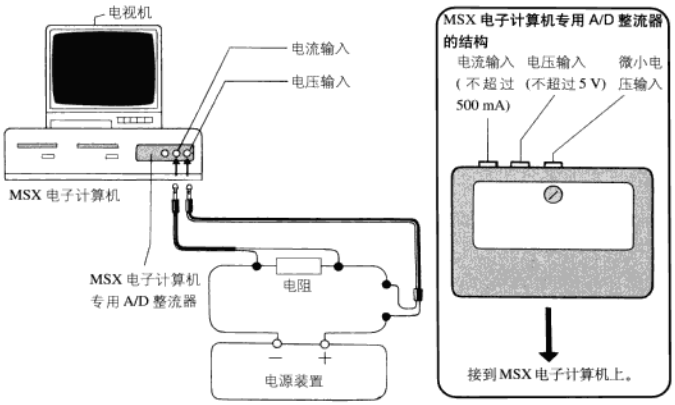
# 141 用电子计算机做欧姆定律实验

目标 初 知道利用电子计算机测量电流和电压能使实验变得更加简单、方便。

MSX 电子计算机① MSX 电子计算机专用 A/D 整流器② 电视机③ 电源装置 电阻(10 Ω, 25 Ω, 50 Ω, 100 Ω) 导线

①一台即可。②许多教学仪器厂有售。③如果有RGB多重输入接线柱就更好了。

**1** 将 MSX 电子计算机专用 A/D 整流器接在 MSX 电子计算机和电源装置上

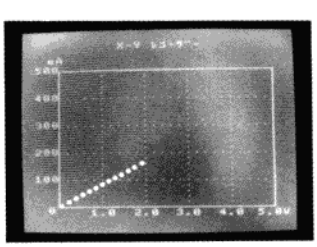


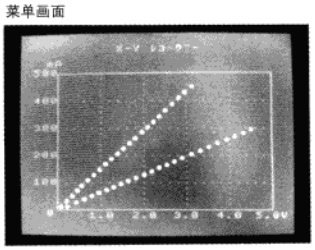

**2** 用电子计算机测量通过各种电阻的电流和电压

①在菜单中选定“X-Y 图像”
②连接 25 Ω的电阻，将电源装置的滑动开关慢慢上调
③改用 10 Ω、50 Ω、100 Ω的电阻，重复②中的操作
④根据需要打印画面

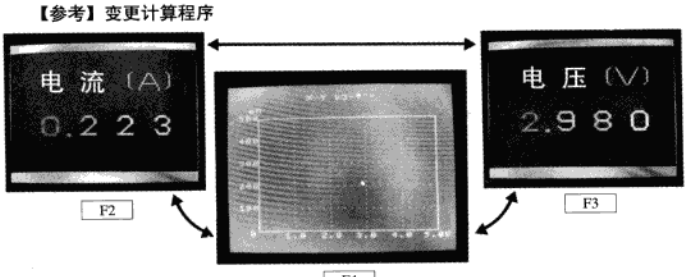


菜单画面


测量 1

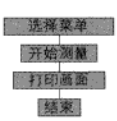

测量 2

**【参考】变更计算程序**




**1** 说明 MSX电子计算机的主机及A/D整流器都很便宜，并且能够接在普通电视机上，很适合作为科学实验室的仪器使用。
NEC用的整流器市场上也有卖的，精度也很高，但是价格很贵。另外还有接在RS-232C接线柱上的通用型，但是较难买到。MSX电子计算机专用整流器附带有计算程序，是用 BASIC 语言编写的，能很方便地变更程序（但这次实验不用变更）。

**2** ②提示 注意电压不能超过 5 V。
③提示 此时不要将画面初始化，但应将数据并列表示，以便进行比较。
**2** 的操作流程如下图所示：




**【参考】变更计算程序**

说明 在原有的计算程序基础上经过以下加工，可以提高图表制作能力：

- 将功能键 F2 至 F4 的插入处理打到ON；
- 在插入处插入，F2 代表电流表，F3 代表电压表，F4 代表X-Y图像。

这样一来，就能确定现在的电流、电压及其数值在图像上形成的点。另外，计算机不是死板的黑盒子，它能给人带来控制操作的快感。

参考 这种整流器和电子计算机的内部有杂音电流通过时，会引起数字显示变动。
使用这种整流器，可以测量各种物理量。比如，用热控管测量温度，也可以用光敏电阻作为照度计及光控开关。

材料与器具

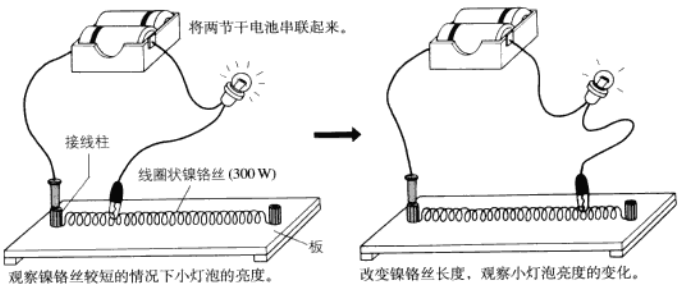
镍铬丝① 板 电线插头 接线柱 小灯泡 干电池 导线 直流电流表 直尺

① 100 W、300 W、500 W 的各一根。

# 142 研究电阻如何随长度而变化

目标 初 知道电流随导线的长度及横截面积而变化的基本规律。

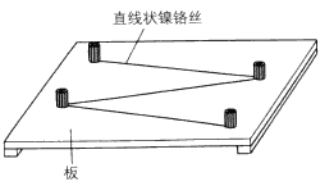
## 1 改变镍铬丝的长度，比较小灯泡的亮度




观察镍铬丝较短的情况下小灯泡的亮度。　改变镍铬丝长度，观察小灯泡亮度的变化。

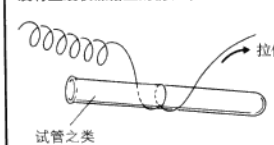
## 2 研究镍铬丝长度与电流的关系

①如图所示，将直线状的镍铬丝拉紧



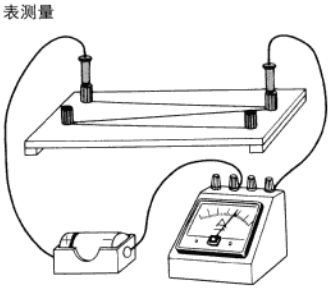

将镍铬丝三等分，拉成三根线。

**没有直线状镍铬丝的情况下**

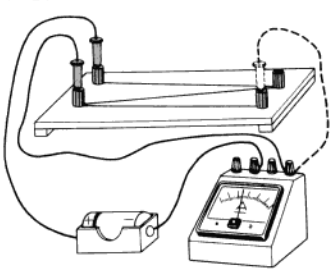



将线圈状的镍铬丝按照与它本身旋转方向相反的方向绕在试管上，一边绕一边拉。

②给三根镍铬丝中的一根通上电流，用电流表测量

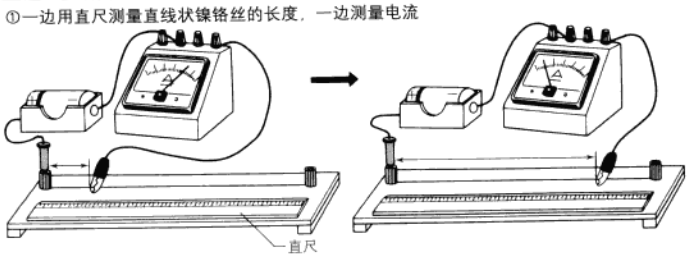


③给三根镍铬丝中的两根，一根接一根地通上电流，用电流表测量



## 3 进一步研究电阻的长度与电流的关系

①一边用直尺测量直线状镍铬丝的长度，一边测量电流




固定镍铬丝的两端，测量从接线柱到夹子所在位置的导线长度和电流。

**1** 提示 用接线柱将额定功率为 300 W、长度为 30 cm 的线圈状镍铬丝固定在板上。把电源导线的一端通过电线插头连在接线柱上；另一端用夹子变换位置，进行移动。比较小灯泡的亮度。

结果 与导线相连的两点间的镍铬丝短（电阻小）的情况下，小灯泡亮；两点间的镍铬丝长的情况下，小灯泡暗。

**2** 提示 将各段镍铬丝的长度定为 40 cm～80 cm。长 15 cm、额定功率为 300 W 的镍铬丝的电阻是 2 Ω～3 Ω。不过，因为发热时电阻值会发生变化，所以这里使用的电压为 0.5 V～2 V 就可以了。

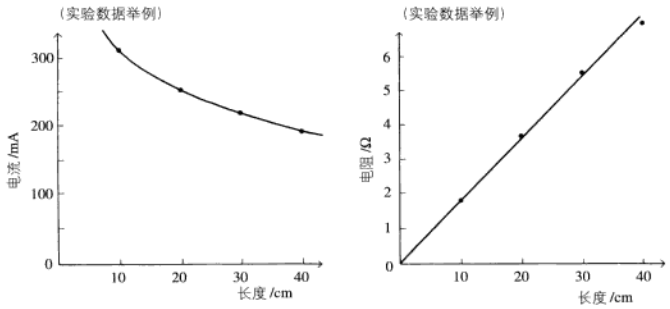
接线柱可以安装在板上。

结果 将镍铬丝三等分，拉成三根直线。比较长度相当于两根的直线状镍铬丝上的电流与一根直线状镍铬丝上的电流，就能知道导线的长度减少 1/2 时，电流增为 2 倍。三根直线状镍铬丝上的电流是一根直线状镍铬丝上的电流的 1/3。

注意 在这个实验中，由于做法不同，接线柱和镍铬丝之间的接触电阻有可能发生很大的变化，所以接线柱部分要尽量拧紧。在这个实验中，用带插头的导线比较好。

**3** 提示 长度为30 cm左右的镍铬丝比较合适。将直尺平行地固定在镍铬丝的旁边，也可以将坐标纸裁成2 cm宽，用透明胶带固定。如图所示，将镍铬丝一端固定，移动另一端的夹子，测量长度与电流。100 W或300 W的镍铬丝都可以。将得到的数据画成图像即可。

②将镍铬丝的电流与长度的关系画成图像　　③将镍铬丝的电阻与长度的关系画成图像



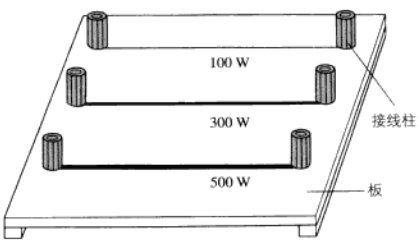

结果 镍铬丝的电流与长度成反比。为了用电阻值表示电流难以流动的程度，可以认为电阻与长度成正比增大。

实验数据举例（200 W 镍铬丝）

| 长度 / cm | 10 | 20 | 30 | 40 |
|---|---|---|---|---|
| 电压 / V | 0.58 | 0.99 | 1.21 | 1.38 |
| 电流 / mA | 312 | 260 | 218 | 197 |
| 电阻 / Ω | 1.85 | 3.80 | 5.55 | 7.00 |

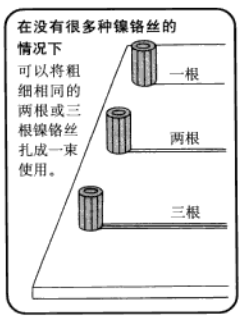
4 研究镍铬丝的电阻与粗细的关系

①将镍铬丝固定在板上




**在没有很多种镍铬丝的情况下**

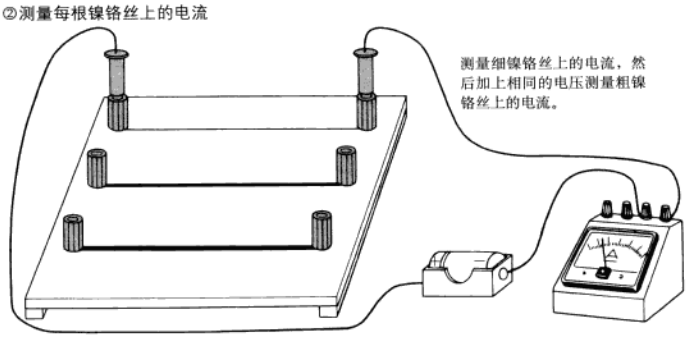
可以将粗细相同的两根或三根镍铬丝扎成一束使用。




4 提示 固定三根同样长度的镍铬丝，加上相同的电压，测量电流的大小。

结果 镍铬丝的粗细变为两倍、三倍时（如果是采用捆扎几根镍铬丝的办法，则为两根、三根镍铬丝并列时），电流大小也变为两倍、三倍。由此可见，对于用同一种材料制成的导线来说，导线越粗，电阻越小。

②测量每根镍铬丝上的电流



测量细镍铬丝上的电流，然后加上相同的电压测量粗镍铬丝上的电流。

**【参考】主要物质的电阻率一览表**

| 物质（金属） | 电阻率 ρ/(Ω · m) | 物质（半导体、绝缘体） | 电阻率 ρ/(Ω · m) |
|---|---|---|---|
| 银 | $1.6 \times 10^{-8}$ | 锗 | 0.47 |
| 铜 | $1.6 \times 10^{-8}$ | | |
| 铝 | $2.8 \times 10^{-8}$ | 硅 | $2.3 \times 10^{3}$ |
| 钨 | $5.5 \times 10^{-8}$ | | |
| 铂 | $10.6 \times 10^{-8}$ | 玻璃 | $10^{10} - 10^{13}$ |
| 铁 | $9.8 \times 10^{-8}$ | 云母 | $2 \times 10^{13}$ |
| 水　银 | $1.1 \times 10^{-7}$ | 橡胶 | $10^{13} - 10^{15}$ |
| 镍铬合金 | $1.1 \times 10^{-6}$ | 胶木 | $10^{15} - 10^{16}$ |

某种物质的电阻 $R$ 与其长度 $l$ 及横截面积 $S$ 之间的关系如以下公式所示：

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中，比例常数 $\rho$ 叫做物质的电阻率，单位是欧［姆］米（符号 Ω · m），数值等于长度为 1 m、横截面积为 1 m² 同种物质的电阻。

材料与器具

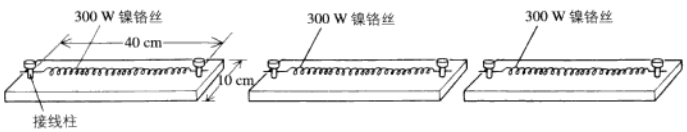
镍铬丝(300 W)3根　板(40 cm × 10 cm 3块，40 cm × 20 cm 1块)　直流电流表2个　直流电压表　电源装置　接线柱(或钉子)12个

# 143 求电路的总电阻

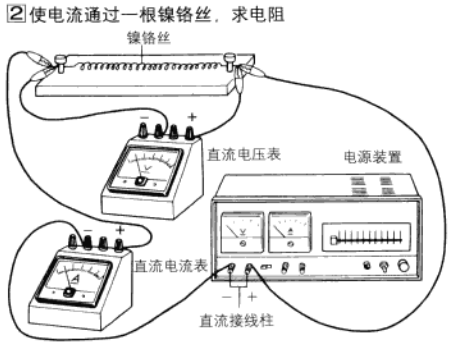
目标 初　知道将镍铬丝串联时，总电阻为各电阻之和。
可以推断，如果将镍铬丝并联，总电阻的倒数为各电阻倒数之和。

## 【A】将电阻串联并进行研究

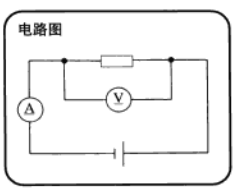
1 将三根长短、粗细都相同的300 W镍铬丝分别固定在三块板上




2 使电流通过一根镍铬丝，求电阻

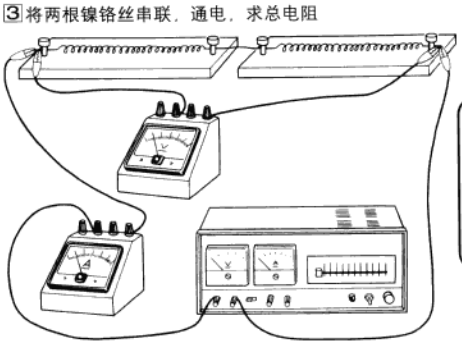



电路图

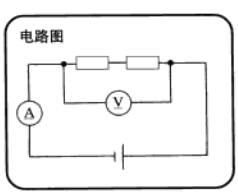



将电压表和电流表放在如电路图所示的位置上，这样比较容易理解。电压在3 V～10 V范围内。注意不要弄错“+”、“−”接线柱。

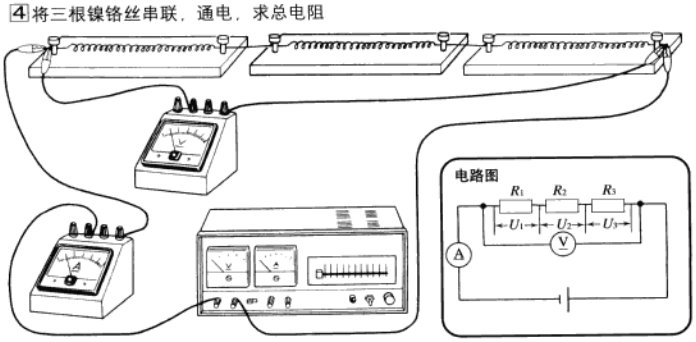
3 将两根镍铬丝串联，通电，求总电阻



电路图




4 将三根镍铬丝串联，通电，求总电阻



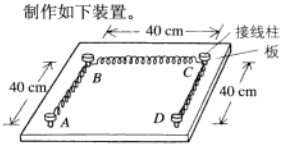
电路图




## 【A】将电阻串联并进行研究

1 提示 将300 W镍铬丝直接使用，也可以三等分后使用(一根300 W镍铬丝的电阻约为30 Ω)。

也可以不用三块板固定镍铬丝，取而代之制作如下装置。




在边长为40 cm的板上装上镍铬丝。

2 相当于测量$AB$间的电阻，3 相当于测量$AC$间的电阻，4 相当于测量$AD$间的电阻。

2 提示 将电压设定为5 V～10 V。将镍铬丝变短(三等分的情况下)使用时，会使电压降为3 V～5 V。

如果电流过大，镍铬丝会被烧红或变长，甚至造成手的烫伤。所以电路中不能通过500 mA以上的电流。

说明 利用镍铬丝两端的电压$U$和通过镍铬丝的电流$I$，可通过下面的公式求出电阻$R$(3 和 4 中也一样)：

$$R=\frac{U}{I}$$

3 提示 电源电压与2 中相同。

结果 两根镍铬丝的总电阻等于一根时的二倍。如果将三根串联，则等于一根时的三倍。从这个现象可以知道：将多个电阻串联时，总电阻等于各电阻之和。

**实验数据举例**(300 W镍铬丝可直接按原样使用)

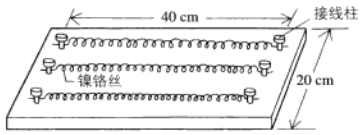
| | 电流/mA | 电压/V | 电阻/Ω |
|---|---|---|---|
| 300 W镍铬丝一根 | 193 | 6.0 | 31.2 |
| 300 W镍铬丝两根 | 95 | 6.0 | 63.1 |
| 300 W镍铬丝三根 | 63 | 5.9 | 93.6 |

4 说明 在左边的电路图中，电路的总电压为$U=U_1+U_2+U_3$。因为电路中各处的电流相等，所以$U_1=IR_1$，$U_2=IR_2$，$U_3=IR_3$。由此可知，总电阻可以从下面的公式求出：

$$R=\frac{U}{I}=\frac{R_1I+R_2I+R_3I}{I}=R_1+R_2+R_3$$

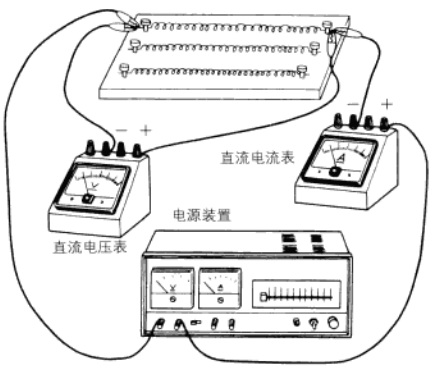
## 【B】将电阻并联并进行研究

1 将长度、粗细都相同的镍铬丝固定在板上

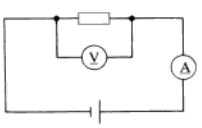



将三根长40 cm、功率为100 W或300 W的镍铬丝平行地固定在板上。

2 给一根镍铬丝通电，求电阻

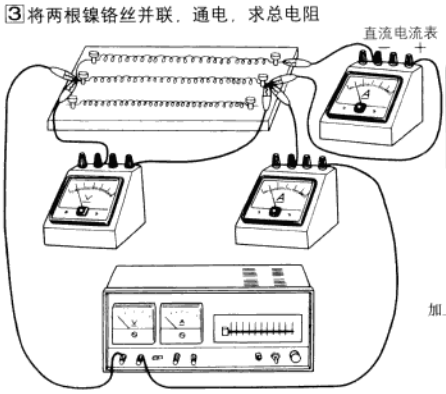



电路图

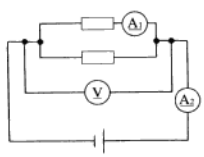



将电流表串联在电路中，电压表并联在电路中。

3 将两根镍铬丝并联，通电，求总电阻

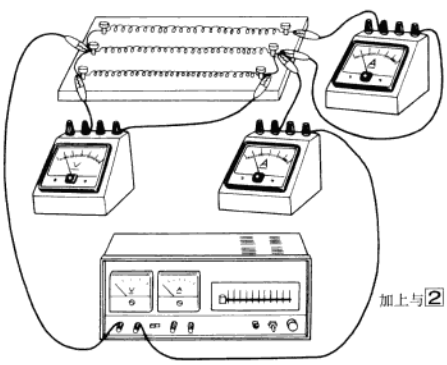



电路图

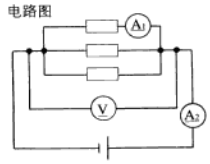



加上与2中相同的电压。

4 将三根镍铬丝并联，通电，求总电阻



电路图




加上与2、3中相同的电压。

## 【B】将电阻并联并进行研究

1 提示 用100 W或300 W的镍铬丝都可以。将三根40 cm长的镍铬丝平行安装。

100 W的镍铬丝很细，操作起来有难度，要注意。

2 提示 按电路图顺序连线，电表的位置也应尽量与电路图保持一致，这样便于理解。

注意 电源电压在3 V～10 V的范围内。将镍铬丝三等分使用时，要降低电压，在1 V～3 V的范围内进行。注意电流不要超过500 mA，过大的电流是安全的隐患。

说明 电阻$R$与【A】中一样用下面的公式求出：

$$R=\frac{U}{I}$$

3和4中的电阻可用同样的方法求得。

3 提示 电源电压与2中相同。

说明 可以知道，将两根相同的镍铬丝并联时，电流加倍。让学生观察一根镍铬丝时的电流与两根时一样地流动。用$A_1$测量一根镍铬丝上的电流，用$A_2$测量比$A_1$大一倍的电流。也就是说，将两根镍铬丝并联时，通过的电流加倍，由此可以预测总电阻变为1/2。

4 说明 用三根镍铬丝做与3中一样的观察。$A_2$上的电流为一根镍铬丝上的电流($A_1$的读数)的三倍。由此可知，将三根相同的镍铬丝并联时，总电阻变为分电阻的1/3。如果将$n$个相同的电阻$R_1$并联，总电阻将变成

$$R=\frac{1}{n}R_1$$

一般来说，$R_1$、$R_2$、$R_3$……并联时的总电阻可以用以下公式求得：

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots\cdots$$

实验数据举例

| | 电流/mA | 电压/V | 电阻/Ω |
|---|---|---|---|
| 300 W镍铬丝一根 | $A_1$ 100 | 3.02 | 30.2 |
| 300 W镍铬丝两根 | $A_2$ 194 | 3.01 | 15.5 |
| 300 W镍铬丝三根 | $A_3$ 288 | 3.00 | 10.4 |

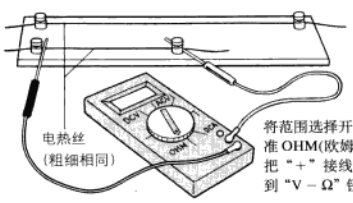
# 144 不同金属材料的电阻

**电热丝**(300 W，500 W) **各种金属丝**(铁、镍铬系耐热合金、铜、黄铜、铝、不锈钢等，30号左右，粗细相同) **多用电表** **电流表** **电压表** **电源装置**(或电池) **导线**

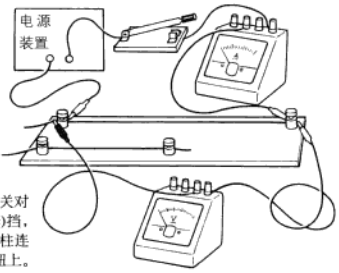
目标 初 知道电阻因金属的长度与粗细（横截面积）不同而不同。可以通过实验发现：即使长度与粗细相同，不同金属材料的电阻也不同。

**1** 研究因长度不同造成的电阻的差异（粗细相同）

①准备粗细（横截面积）相同而长度不同的电热丝，用多用电表测量各电热丝的电阻，确认各电热丝的电阻不同




②电流表、电压表的使用方法

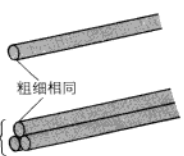



**2** 研究粗细不同的金属材料的电阻（长度相同）




**没有粗细不同的电热丝时**

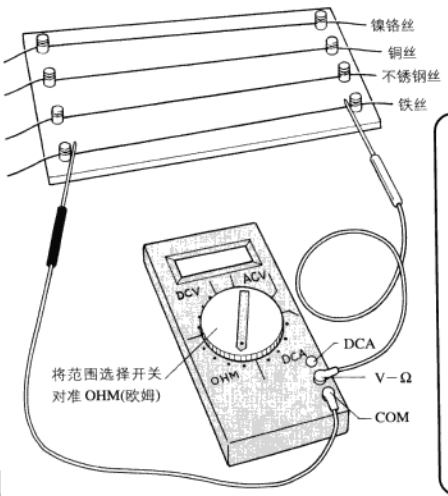
将电热丝扎成一束。




横截面积变为三倍，这一点应让学生认同。

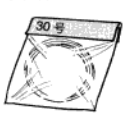
**3** 研究金属材料不同造成的电阻的不同（长度、粗细均相同）

准备粗细、长度均相同但材料不同的金属丝，用多用电表测量电阻，确认电阻是不同的。




**各种金属丝**

最好是30号线左右粗细的。市场上有装在口袋中出售的。

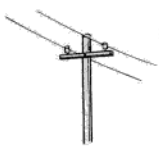



**电线一般使用铜丝、铝丝作芯**

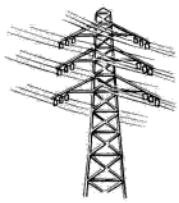
电线用于将电流从电源送到电气设备。电线中也有电阻，因此 $P=RI^2$ 的电能在电线部分被消耗。

从这个公式中可以知道，电阻 $R$ 越小，电线部分消耗的电能就越小。因此，通常用铜和铝制作电线。

横截面积为1 mm²、长度为1 m的金属的电阻随金属的材料不同而不同：铜的电阻是0.017 Ω，铝是0.028 Ω，铁是0.098 Ω，镍铬丝是110 Ω。

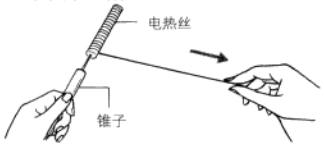


一般电缆及家庭布线用的都是铜芯电线。



将电从远方送过来的电缆里面用的是钢芯铝绞线。

**1** 提示 实验用的电热丝，只要粗细相同，不管是300 W的还是500 W的都可以。电热丝的拉直方法如下图所示——插入锥子，拉其中一端。




将电热丝剪成适当长度，固定在板上。为了简便，也可以不用接线柱，而在几个地方用透明胶带粘在胶合板上使用即可。

① 说明 多用电表的用法参照【8】(见第56页)。

② 说明 测出电流和电压之后，根据欧姆定律 $U=RI$ 求出 $R$。

**3** 提示 这里并不需要求出物质的电阻率，所以测量时，学生不用太在意数值的精度。用螺旋测微器测量30号线的直径，会发现数据分布范围是0.28 mm～0.30 mm，误差相当大。

**实验数据举例**

长度为1 m、直径为0.29 mm (30号线) 的金属丝的电阻举例如下：

| | |
|---|---|
| 镍铬丝 (150 W的电热丝) | 20.0 Ω |
| 铜丝 | 0.7 Ω |
| 黄铜丝 | 1.1 Ω |
| 铁丝（软线） | 2.4 Ω |
| 不锈钢丝 | 11.0 Ω |

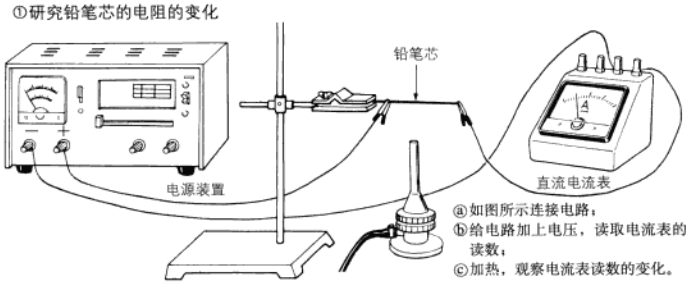
# 145 观察电阻如何随温度而变化

铅笔芯　加热器具　铁架台　电源装置　导线　铁丝
直流电流表　直流电压表　玻璃棒　白炽灯(100 W)
镍铬丝

目标 初高　知道电阻的温度一旦变化，电流与电压的正比关系便不成立。
知道金属的电阻随着温度升高而增大。

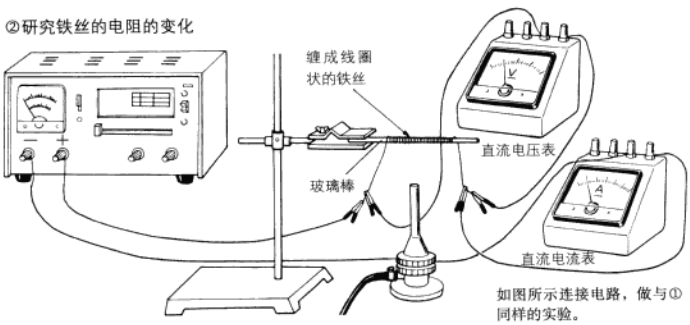
1 研究用火加热金属时电阻的变化

①研究铅笔芯的电阻的变化




ⓐ如图所示连接电路；
ⓑ给电路加上电压，读取电流表的读数；
ⓒ加热，观察电流表读数的变化。

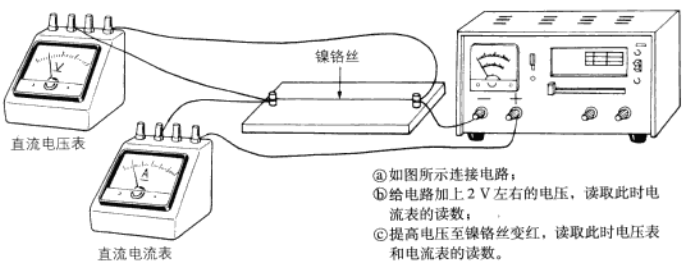
②研究铁丝的电阻的变化




如图所示连接电路，做与①同样的实验。

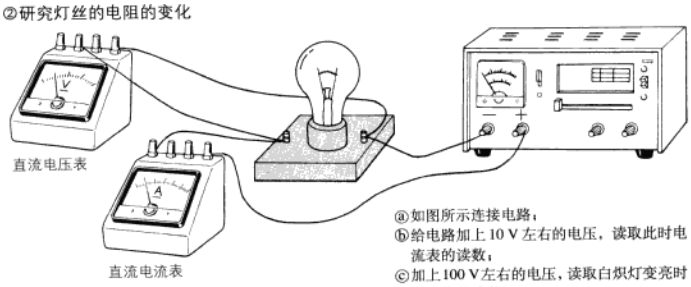
2 研究增大电流时电阻的变化

①研究镍铬丝的电阻的变化




ⓐ如图所示连接电路；
ⓑ给电路加上 2 V 左右的电压，读取此时电流表的读数；
ⓒ提高电压至镍铬丝变红，读取此时电压表和电流表的读数。

②研究灯丝的电阻的变化




ⓐ如图所示连接电路；
ⓑ给电路加上 10 V 左右的电压，读取此时电流表的读数；
ⓒ加上 100 V 左右的电压，读取白炽灯变亮时电流表的读数。

1 ①提示 这里仅仅是要研究温度不同时电阻会如何变化，所以铅笔芯与导线的连接部分只要用鳄鱼夹等连接就可以了。
加热时，不要使鳄鱼夹碰到火焰。
电源电压为 2 V～3 V。
结果 加热时，随着温度升高，电流表的读数逐渐变大。由此可知，铅笔芯的电阻随着温度升高而渐渐变小。

② 提示 用直径为 0.32 mm 左右的铁丝。将铁丝缠在玻璃棒上时，加热部分要缠得特别紧密。缠好的铁丝之间不要互相接触。
因为铁丝与镍铬丝等相比，电阻值很小，所以不要加太高的电压，2 V～3 V 即可。
加热要均匀。
注意 在加热过程中及加热后的一段时间里，不要用手触摸玻璃棒，以免被烫伤。另外，为了尽量避免发生这样的意外，最好在包有石棉的玻璃棒上缠铁丝。
结果 加热时，随着温度升高，电流表的读数逐渐变小。由此可知：随着温度升高，铁丝的电阻逐渐变大。

实验数据举例

| | 电压 / V | 电流 / A | 电阻 / Ω |
|---|---|---|---|
| 加热前 | 2.7 | 2.0 | 1.4 |
| 加热后 | 2.7 | 1.8 | 1.5 |

参考 之所以加热铁丝时电阻会变大，是因为温度上升时铁丝内的晶格正离子热运动加剧，妨碍了电子的流动。一般来说，温度越高，金属的电阻越大。

2 ①提示 用 40 cm～80 cm 长的镍铬丝实验。
结果 以电流和电压的测量值为基础，通过计算求出镍铬丝变红之前与变红之后的电阻可以知道，镍铬丝变红(温度高)时电阻变大。

② 结果 与镍铬丝一样，白炽灯的灯丝也是在温度高时电阻大。

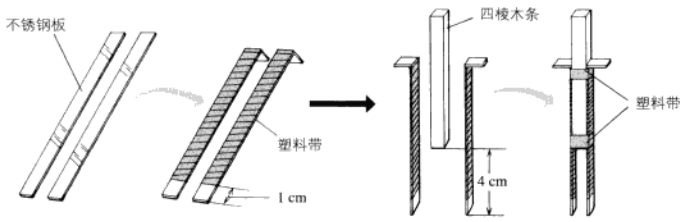
# 146 观察给水溶液加上电压时电流的变化

目标 初 知道给电解质水溶液加上电压时，通过溶液的电流从整体上来说不遵守欧姆定律，但是以分解电压为界，前后两部分的电压与电流均分别成正比关系。达到分解电压时，物质被分解、析出。

不锈钢板(1 cm × 12 cm) 2块① 塑料带 电源装置② 四棱木条(1 cm × 1 cm × 12 cm) 直流电流表 直流电压表 烧杯(50 mL～100 mL) 磁性搅拌器 电解质水溶液③ 坐标纸

①如果可以做到，最好准备18-8号的不锈钢。②电压调整钮为滑动式。③1 mol/L的硫酸铜水溶液及硫酸锌水溶液。

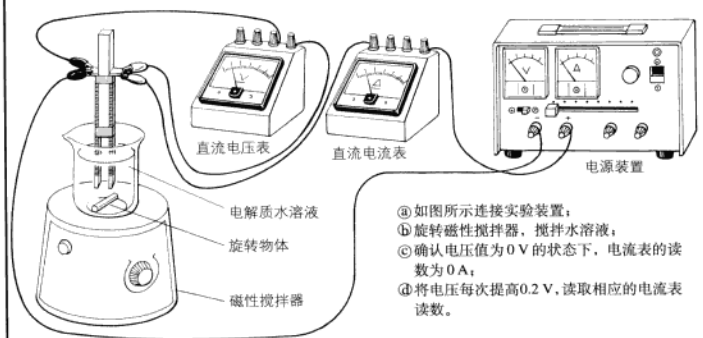
## 1 制作电极




将不锈钢板的一端折起，缠上塑料带。制作两个电极。

用两根不锈钢板夹住一根四棱木条，用塑料带捆好，固定。

## 2 连接实验装置，给水溶液加上电压，读取电流表的读数




ⓐ如图所示连接实验装置；
ⓑ旋转磁性搅拌器，搅拌水溶液；
ⓒ确认电压值为0 V的状态下，电流表的读数为0 A；
ⓓ将电压每次提高0.2 V，读取相应的电流表读数。

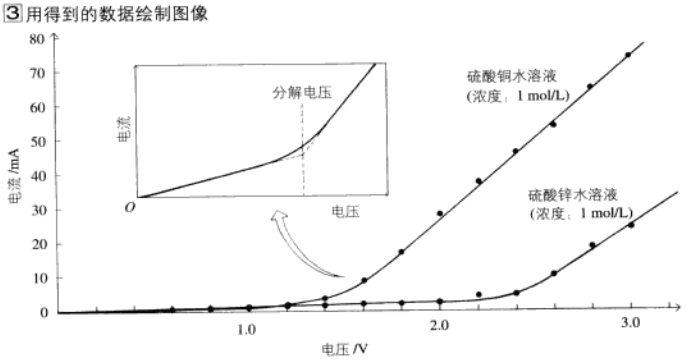
实验数据举例【硫酸铜水溶液〔浓度：1 mol/L〕】

| 电压/V | 0.60 | 0.80 | 1.00 | 1.20 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.20 | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 电流/mA | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 2.0 | 4.1 | 8.5 | 17.5 | 27.5 | 36.8 | 45.7 | 54.5 | 64.5 | 73.5 |

实验数据举例【硫酸锌水溶液〔浓度：1 mol/L〕】

| 电压/V | 0.6 | 0.8 | 1.00 | 1.20 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.20 | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 电流/mA | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 2.0 | 2.9 | 3.6 | 4.1 | 5.0 | 10.5 | 17.5 | 23.2 |

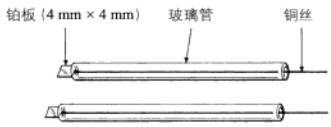
## 3 用得到的数据绘制图像



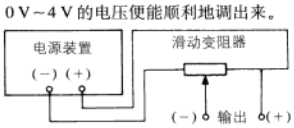

**1** 提示 用力拉紧塑料带，一边拉一边缠。

说明 之所以使四棱木条高出电极三四厘米，是因为四棱木条不能浸在水溶液中。

参考 也可以用铂电极取代不锈钢电极做此实验。




**2** 提示 使用电压调整钮为滑动式的电源装置。如果没有滑动式的而采用切换式(如按0 V、2 V、4 V……这样的挡位进行切换)的话，可将滑动变阻器(30 Ω～40 Ω)接入电路，将电源装置的电压设置为4 V进行实验。这样，0 V～4 V的电压便能顺利地调出来。




电流表和电压表的负极分别接在50 mA和3 V挡上。

用一个电极对各种电解质水溶液进行研究时，要用纯水洗净附着在电极上的水溶液。

说明 即使将电流表的负极接在50 mA挡上，电压为0.8 V以内的电流值也读不出来。

**3** 结果 通过绘制图像可以看出，给电解质水溶液加上电压时，对应某个电压，电流值会急剧上升。因此，从整体上来说，电压和电流的关系不遵从欧姆定律，但是以图像上发生转折的点为界，其前后的电压和电流都是成直线关系的。

说明 图像上发生转折的点的电压由正离子的种类决定。达到这个电压的时候，正离子还原为金属原子、此时的电压叫做分解电压。因此，将电解质水溶液进行电解的时候，必须使用分解电压之上的电压。

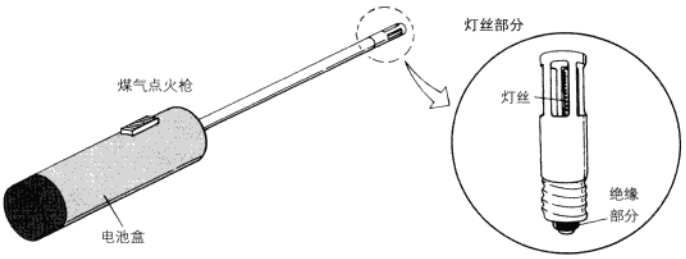
# 147 观察在灯丝上吹气引起的电阻变化

目标 初高 通过观察知道：温度下降，电阻变小；温度上升，电阻变大。

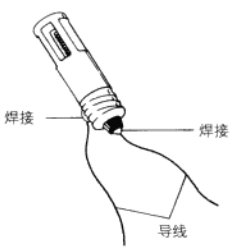
煤气点火枪① 焊锡 导线② 干电池③ 直流电流表
烙铁

①一定要用电池式的，最近的产品中压电式的很多，但压电式的在这个实验当中不起作用。②有塑料外皮的导线。③最好是1.5 V的大电池。如果用3 V做实验，则需要两节。

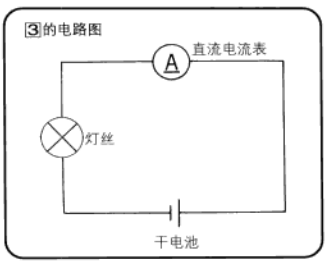
1 从煤气点火枪上拆下灯丝部分



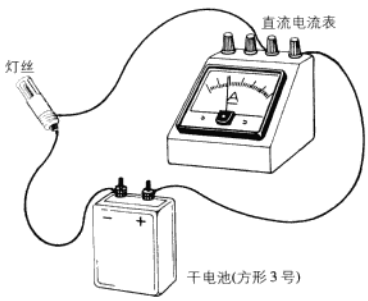

2 焊接导线与灯丝部分



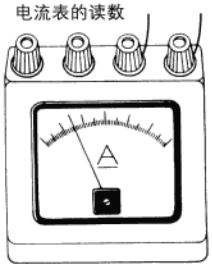

3 的电路图



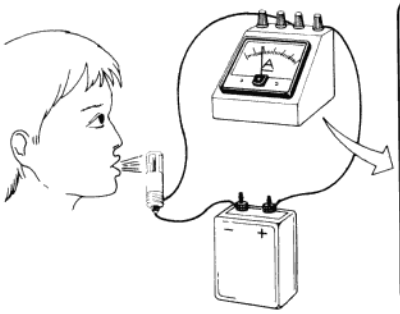

3 连上干电池和电流表

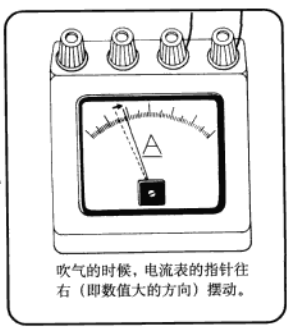



4 待灯丝变至炽热之后，读取电流表的读数




5 用力往灯丝上吹气，观察电流的变化






吹气的时候，电流表的指针往右（即数值大的方向）摆动。

1 提示 也可以到电器店只购灯丝部分。

2 提示 将有塑料外皮的导线，一根焊接在底部的接点上，另外一根焊接在金属螺口上。

3 提示 特别注意，不要把正极和负极接反。电流表的“－”接线柱使用5 A挡(如果有1 A挡更好)。因为指针有可能摆动过大，导致电流表破损，所以绝对不要使用50 mA及500 mA挡。

4 提示 过一会儿，灯丝就会变得炽热。用电流表读取此时的电流，指针应该指在0.4 A～0.5 A。

5 提示 用力吹气时，灯丝的红色会消失。用电流表读取此时的电流，指针应该指在0.7 A～0.8 A。

多次吹气，观察电流的变化情况。

也可以将两节干电池串联，使电压变成3 V。此时，在炽热状态的电流是0.6 A～0.7 A，吹气时是1.2 A～1.3 A，比1.5 V的炽热状态更加明亮而易于观察，所以3 V对此实验来说更合适。不过要注意，不能使用1 A接线柱。

结果 灯丝的温度下降，流经上面的电流变大，说明电阻变小。

说明 虽然用此方法不能直接测量电阻大小的变化，但是因为电流与电压成正比，与电阻成反比，所以当电压一定时，使电流发生变化的原因就只能是电阻了。因此可以知道：电流变大时电阻变小，电流变小时电阻变大。

参考 电阻随温度变化的原因在于，组成金属的离子振动的强弱会受到温度的直接影响。也就是说，金属的正离子按晶格排列，电子在晶格间运动时，一边会受到离子运动的阻碍，一边仍进行自身运动；温度越高，离子的振动越剧烈，电子就越难进行自身的定向运动，也就是说金属的电阻变得越大。

# 148 测量电热丝发出的热量

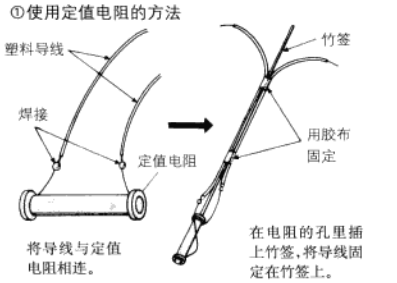
目标 初 知道当电压和电流一定时，发热量与电流通过电阻所需时间的关系。

2 W定值电阻① 塑料导线(铜丝单芯) 焊锡 烙铁 竹签 胶布 泡沫塑料杯 温度计 直流电流表 直流电压表 电源装置 玻璃管 坐标纸

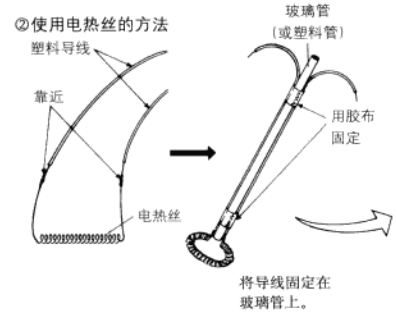
①2 Ω、3 Ω、4 Ω、5 Ω、8 Ω、10 Ω等。也可以不用定值电阻，而准备300 W的电热丝，那样的话，还需准备玻璃棒。

1 制作发热体

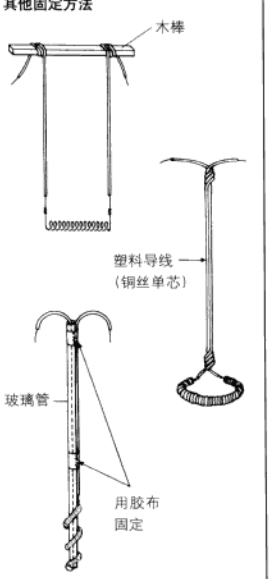
①使用定值电阻的方法



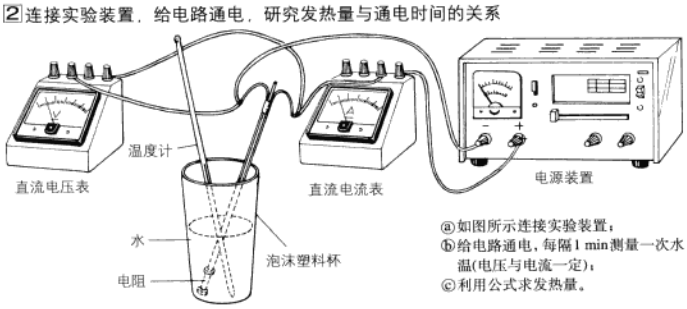

②使用电热丝的方法




其他固定方法




2 连接实验装置，给电路通电，研究发热量与通电时间的关系

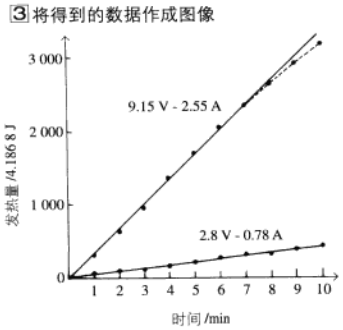



ⓐ如图所示连接实验装置；
ⓑ给电路通电，每隔1 min测量一次水温(电压与电流一定)；
ⓒ利用公式求发热量。

实验数据举例

| 例1 (9.15 V - 2.55 A) | | | 例2 (2.8 V - 0.78 A) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 时间/min | 水温/℃ | 发热量/4.1868 J | 时间/min | 水温/℃ | 发热量/4.1868 J |
| 0 | 18.5 | 0 | 0 | 17.9 | 0 |
| 1 | 21.8 | 330 | 1 | 18.4 | 50 |
| 2 | 25.0 | 650 | 2 | 18.9 | 100 |
| 3 | 28.0 | 950 | 3 | 19.2 | 130 |
| 4 | 32.0 | 1 350 | 4 | 19.6 | 170 |
| 5 | 35.5 | 1 700 | 5 | 20.0 | 210 |
| 6 | 39.0 | 2 050 | 6 | 20.5 | 260 |
| 7 | 42.0 | 2 350 | 7 | 20.9 | 300 |
| 8 | 45.1 | 2 660 | 8 | 21.1 | 320 |
| 9 | 47.9 | 2 940 | 9 | 21.7 | 380 |
| 10 | 50.5 | 3 200 | 10 | 22.0 | 410 |

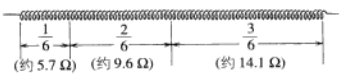
3 将得到的数据作成图像



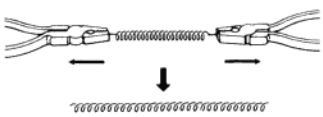

1 提示 塑料导线的长度最好为15 cm～20 cm。

参考 定值电阻用4 Ω、8 Ω等表示，但是这种数值并不是实际的电阻值。要了解电阻的实际数值，必须事先通过测量求出。

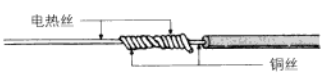
② 提示 将300 W的电热丝剪成整个长度的1/6、2/6、3/6使用。




剪断后，如下图所示从两端拉长，不要用手接触电热丝。



如图所示，将导线连在电热丝上时，二者要紧紧地连在一起，不要脱落或接触不良。




2 提示 如果用带铜制容器的量热器代替泡沫塑料杯，为了防止短路，应将铜制容器拆下，用保温用的泡沫塑料容器直接装水。使用与室内环境温度相同的水。为此，需要在前一天将水储存在桶里。

放入杯子里的水量为100 mL(重约100 g)。测量水温前，先搅拌水，使水温均匀一致。

说明 关于发热量的计算公式，参看【150】3中的说明。

3 说明 用9.15 V - 2.55 A测量时得到的图像，过7 min之后将不再是直线(如虚线所示弯曲部分)。这是因为，水温达到45 ℃左右时，热量开始往外逃逸，水温上升的幅度下降。这种情况下，如果假设热量不向外逃逸，图像就会如实线所示，应为直线。

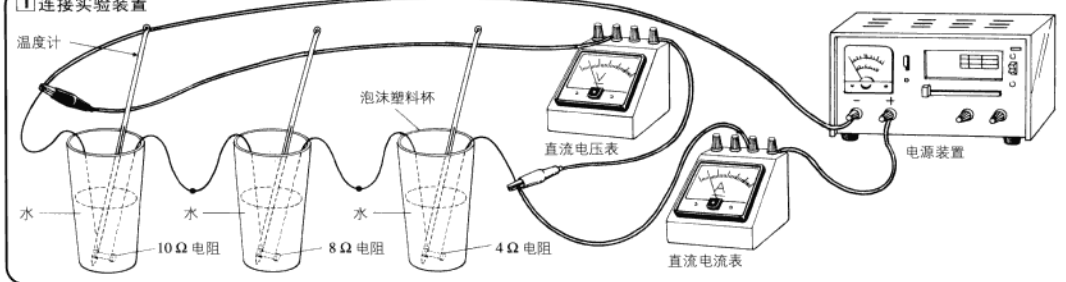
结果 通过作图的方法可以知道，电阻的发热量与通电时间成正比(图表见本页左下角)。

# 149 研究发热量与电压的关系

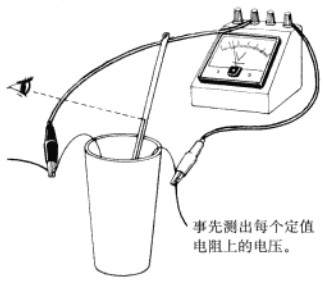
目标 初 能说明如何给三个电阻通上一定的电流，并能连出相应的电路。能通过研究得出电流一定时，发热量与电压的关系。

2 W定值电阻(10 Ω, 8 Ω, 4 Ω) 泡沫塑料杯3个 量筒 温度计3个 直流电流表 直流电压表 电源装置 导线 坐标纸

## 1 连接实验装置



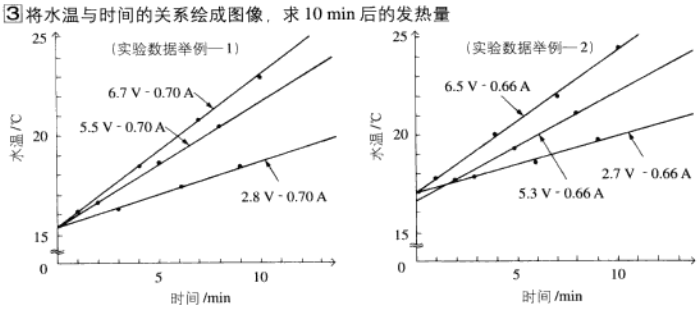

## 2 给电路加上电压，测量时间、水温、电流及电压



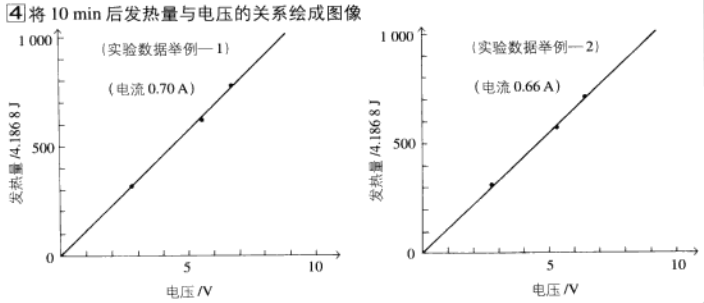

实验数据举例（电压和电流的测量值）

| | 例1 | 例2 |
|---|---|---|
| 总电压/V | 15.0 | 14.3 |
| 总电流/A | 0.70 | 0.66 |
| 10 Ω 电阻上的电压/V | 6.7 | 6.5 |
| 8 Ω 电阻上的电压/V | 5.5 | 5.3 |
| 4 Ω 电阻上的电压/V | 2.8 | 2.7 |

## 3 将水温与时间的关系绘成图像，求10 min后的发热量




## 4 将10 min后发热量与电压的关系绘成图像




1 提示 水温要和室温相同。放入每个杯子的水量以100 mL (重约100 g) 为宜。

关于定值电阻请参看[148]。

2 提示 电路上加的电压以15 V左右为宜。测量水温前，先将水搅拌均匀，使水温一致。一个人做实验的时候，每隔1 min按顺序测量一次每个杯里的水温 (参照3图像中的数值)。

3 说明 一个人做实验的情况下，不能在10 min之后同时测量各个杯里的水温，另外，测量各值肯定会出现误差，所以应像这样画出时间和水温的关系图像，从图中求出温度差，计算发热量 (参照[150]3中的说明)。

设电路加上电压之前的水温为$t_1$，10 min后的水温为$t_2$，每个杯子里水的质量均为$m$，那么各电阻的发热量$Q$就可以用以下公式求出：

$$Q = 4.186\,8\,m\,(t_2 - t_1)$$

下面利用一组实验数据，举例说明10 min后发热量的计算方法：

- 实验数据举例—1

10 Ω 电阻——

4.186 8 × 100 × (23.1-15.4) J ≈ 3 224 J

8 Ω 电阻——

4.186 8 × 100 × (21.6-15.4) J ≈ 2 596 J

4 Ω 电阻——

4.186 8 × 100 × (18.7-15.4) J ≈ 1 382 J

- 实验数据举例—2

10 Ω 电阻——

4.186 8 × 100 × (24.3-17.0) J ≈ 3 056 J

8 Ω 电阻——

4.186 8 × 100 × (22.3-16.5) J ≈ 2 428 J

4 Ω 电阻——

4.186 8 × 100 × (20.1-17.0) J ≈ 1 298 J

4 结果 绘成图像之后便能看出电流一定时，电阻的发热量与电压成正比。

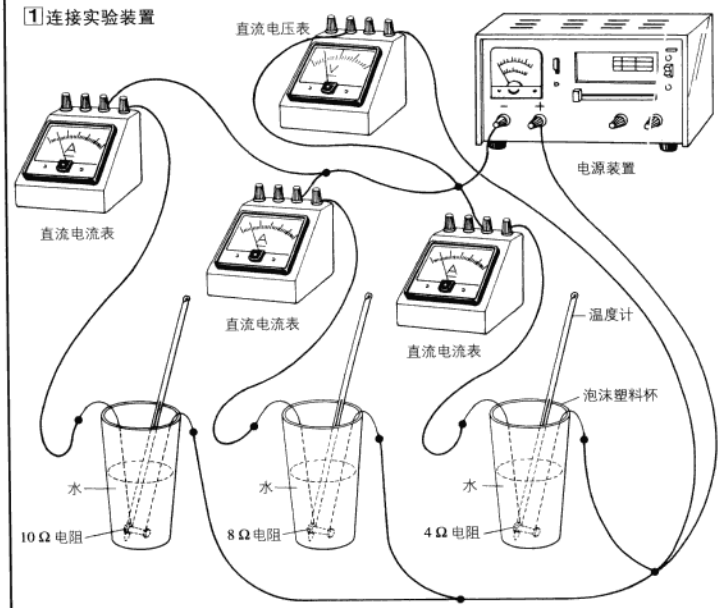
# 150 研究发热量与电流的关系

目标 初 能研究电压一定时，发热量与电流的关系。
能研究电阻一定时，发热量与电流的关系。

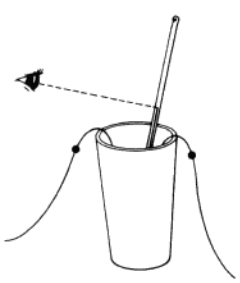
材料与器具：2 W 定值电阻(10 Ω，8 Ω，4 Ω) 泡沫塑料杯 3 个 量筒 温度计 3 个 直流电流表 3 个 直流电压表 电源装置 导线 坐标纸

## 【A】电压一定，研究发热量与电流的关系

1 连接实验装置




2 给电路加上电压，测量时间、水温、电流及电压

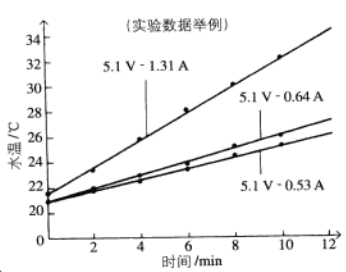


实验数据举例

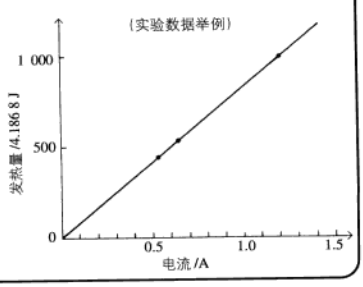
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 Ω 电阻 | 时间 /min | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 温度 /℃ | 21.0 | 21.8 | 22.7 | 23.5 | 24.5 | 25.3 |
| 8 Ω 电阻 | 时间 /min | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 温度 /℃ | 21.0 | 22.1 | 23.1 | 24.0 | 25.1 | 26.1 |
| 4 Ω 电阻 | 时间 /min | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 温度 /℃ | 21.5 | 23.6 | 25.9 | 28.1 | 30.1 | 32.2 |

电压为 5.1 V，通过各电阻的电流分别为：10 Ω 电阻 0.53 A，8 Ω 电阻 0.64 A，4 Ω 电阻 1.31 A。

3 将水温与时间的关系绘成图像，求 10 min 后的发热量




4 将 10 min 后的发热量与电流的关系绘成图像




### 【A】电压一定，研究发热量与电流的关系

1 提示 连接电路之前，先将并联的三个电阻接到电源装置上，加上电压，并用电压调整钮将电压调到 5 V ~ 10 V (在 2 中，只要打开电源开关，就能给电路加上电压)。
水温与室温相等。
每个杯中的水量以100 mL (质量约为100 g)为宜。
关于定值电阻请参看[148]。

2 提示 测量水温前，先将水搅拌均匀，使水温一致。三个或更多的人进行实验时，每隔 2 min 测量一次水温。
一个人做实验的时候，每隔 1 min 按顺序测量一次每个杯里的水温 (参照[149] 3 图中的数值)。

3 说明 一个人做实验的情况下，不能在10 min之后同时测出每个杯里的水温，另外，测量值肯定会出现误差，所以应像这样画出时间和水温的关系图像，从图中求出温度差，计算发热量。如果三个或更多的人进行实验，误差可以忽略时，就不需要这样的图像了，只要测出通电前的水温和通电 10 min 后的水温，从此时的上升温度求出发热量就行了。设电路加上电压之前的水温为 $t_1$，从图上读取的水温为 $t_2$，各个杯里水的质量为 $m$，各电阻的发热量 $Q$ 就可以用下面的公式求出：

$$Q = c_{水} m (t_2 - t_1)$$

下面利用一组实验数据，举例说明 10 min 后发热量的计算方法：

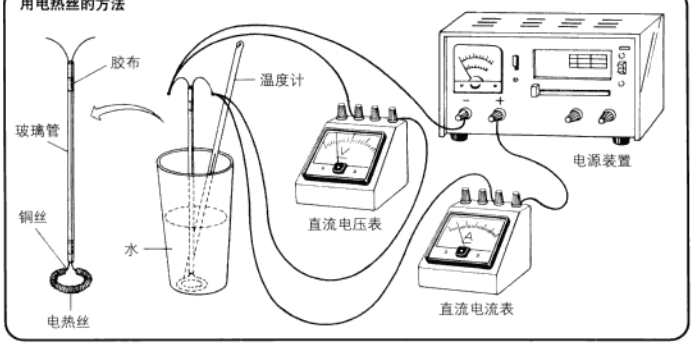
10 Ω 电阻——
4.186 8 × 100 × (25.3-21.0) J ≈ 1 800 J

8 Ω 电阻——
4.186 8 × 100 × (26.1-21.0) J ≈ 2 135 J

4 Ω 电阻——
4.186 8 × 100 × (32.2-21.5) J ≈ 4 480 J

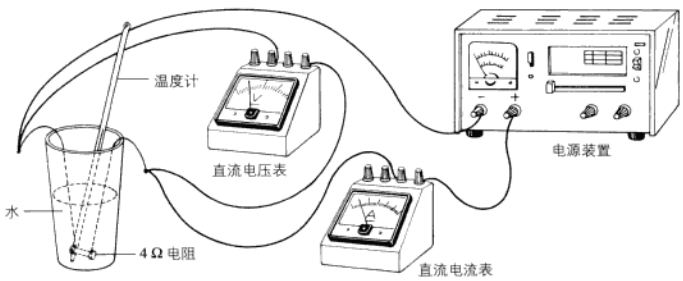
4 结果 绘成图像之后便能看出电压一定时，电阻的发热量与电流成正比。

用电热丝的方法

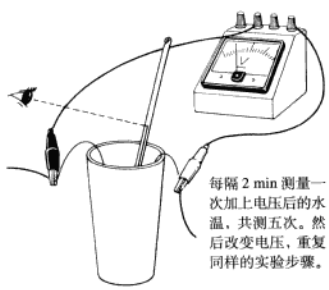



**【B】电阻一定，研究发热量与电流的关系**

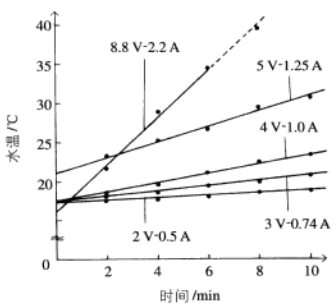
1 连接实验装置



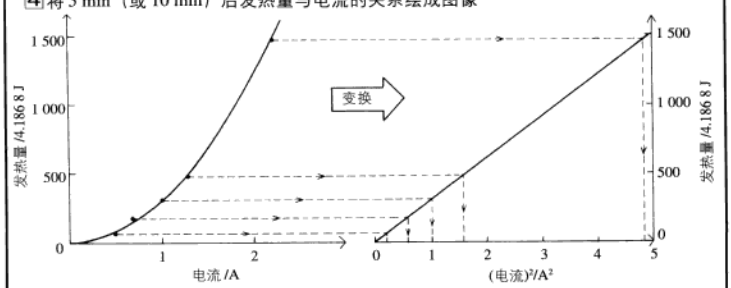

2 给电路加上电压，测量时间、水温、电流及电压




3 将水温与时间的关系绘成图像，求出 5 min（或 10 min）后的发热量




4 将 5 min（或 10 min）后发热量与电流的关系绘成图像




首先，以电流为横轴，以发热量为纵轴，画出图像；然后，以电流的二次方为横轴，变换图像。

参考 可以将电热丝作为电阻使用。将 300 W 的电热丝剪成1/6、2/6、3/6的长度使用。电热丝的处理方法参照【148】。

放入杯子里的水量以 100 mL 左右为宜。

对每根电热丝分别进行测量。加上 10 V 的电压，测量每根电热丝的电流，研究水温与时间的关系。在这个过程中，每当更换电热丝时都需要更换杯子里的水。

测量值的处理方法与用定值电阻测量时是一样的。

**【B】电阻一定，研究发热量与电流的关系**

1 提示 水温要和室温相等。放入每个杯子的水量以 100 mL(重约 100 g)为宜。

关于定值电阻请参看【148】。

2 提示 将初始电压设定为2 V，然后每次提高 1 V，变为3 V、4 V、5 V、6 V。在这个过程中，每次改变电压时都需要更换杯子里的水。

测量水温前，先将水搅拌均匀，使水温一致。

3 提示 增大电流测量水温时，随着水温的升高，电阻发出的热量也会变大。因此，绘制图像的时候，以 2 min、4 min、6 min 等的测量点为标准，画直线。

说明 因为测量值肯定存在误差，所以应像这样画出水温与时间的关系图像，并从图中求出温度差，计算发热量。

下面利用一组实验数据，举例说明5 min后发热量的计算方法(计算公式参照【A】3中的说明)：

2 V-0.5 A ——

4.186 8 × 100 ×(18.1-17.3) J ≈ 335 J

3 V-0.74 A ——

4.186 8 × 100 ×(19.2-17.5) J ≈ 712 J

4 V-1.0 A ——

4.186 8 × 100 ×(20.5-17.4) J ≈ 1 298 J

5 V-1.25 A ——

4.186 8 × 100 ×(26.4-21.5) J ≈ 2 052 J

8 V-2.2 A ——

4.186 8 × 100 ×(30.8-16.0) J ≈ 6 196 J

4 说明 以电流为横轴，以发热量为纵轴，画出的图像呈抛物线状。为了将抛物线变为直线，以电流的二次方为横轴，即可得到右面的图像。

结果 画出图像之后，即可看出电阻一定时，电阻的发热量与电流的二次方成正比。

# 151 研究发热量与电功的关系

坐标纸

目标 初 能利用发热量与时间、发热量与电流、发热量与电压的实验数据，画出发热量与电功的关系图像。
能研究发热量与电功的关系，并将其归纳为公式。

1 将发热量与时间、发热量与电流、发热量与电压的实验数据汇总，计算电功(电流×电压×时间)

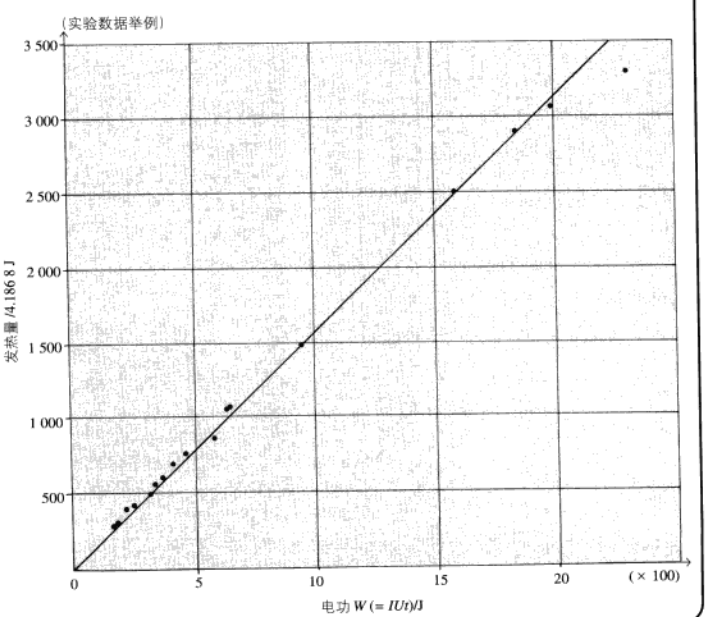
(实验数据举例)

| 时间 $t$/s | 电压 $U$/V | 电流 $I$/A | 发热量 $Q$/4.186 8 J | 电功 $W(=IUt)$/J |
|---|---|---|---|---|
| 600 | 9.15 | 2.55 | 3 380 | 23.33 × 600 |
| 600 | 2.80 | 0.78 | 420 | 2.18 × 600 |
| 600 | 5.10 | 1.31 | 1 080 | 6.68 × 600 |
| 600 | 5.10 | 0.64 | 500 | 3.26 × 600 |
| 600 | 5.10 | 0.53 | 430 | 2.70 × 600 |
| 600 | 10.00 | 0.60 | 880 | 6.00 × 600 |
| 600 | 10.00 | 0.65 | 1 100 | 6.50 × 600 |
| 600 | 10.00 | 0.95 | 1 510 | 9.50 × 600 |
| 600 | 10.00 | 1.62 | 2 560 | 16.20 × 600 |
| 600 | 10.00 | 1.85 | 2 940 | 18.50 × 600 |
| 600 | 10.00 | 2.00 | 3 110 | 20.00 × 600 |
| 600 | 6.7 | 0.70 | 770 | 4.69 × 600 |
| 600 | 5.5 | 0.70 | 620 | 3.85 × 600 |
| 600 | 2.8 | 0.70 | 330 | 1.96 × 600 |
| 600 | 6.5 | 0.66 | 730 | 4.29 × 600 |
| 600 | 5.3 | 0.66 | 580 | 3.50 × 600 |
| 600 | 2.7 | 0.66 | 310 | 1.78 × 600 |

为了便于计算，这里只收集了时间为 600 s (即 10 min) 时的数据。

2 以电功为横轴、发热量为纵轴，画出图像

(实验数据举例)




1 提示 关于数据的测量方法，参照【148】、【149】及【150】。

2 结果 发热量 $Q$ 与电功 $W(=IUt)$ 成正比。
$Q = kIUt$ ($k$ 为比例常数)

# 152 研究金属和碳棒的发热现象

目标 初

知道电流通过任何导体时都会发热。
知道电流越大，发热越多。
知道发热剧烈时会伴随产生发光现象。

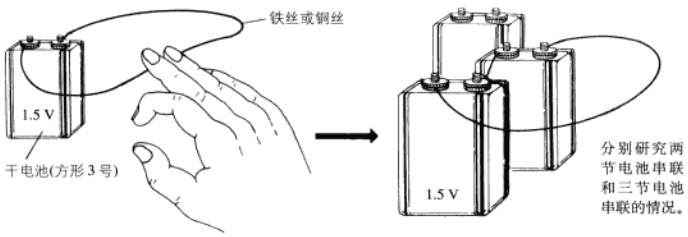
材料与器具

铁丝① 铜丝① 漆包线① 熔丝(1 A) 自动铅笔芯(直径 0.9 mm) 干电池(1.5 V)② 温度计 自耦变压器 交流电流表(10 A) 导线 铁架台 2 个

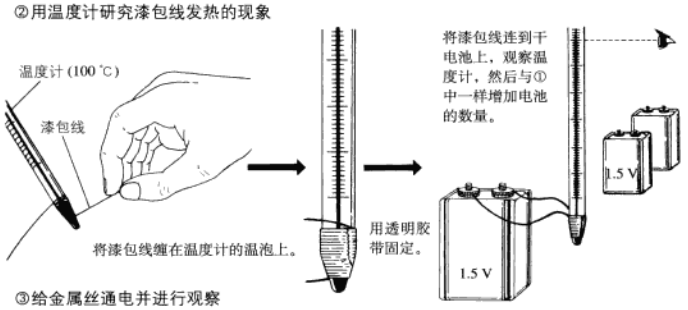
①直径约为 0.2 mm。铜丝可用从电线中剥出来的铜芯。②用方形 3 号电池。

1 给金属丝通电，研究其发热的现象

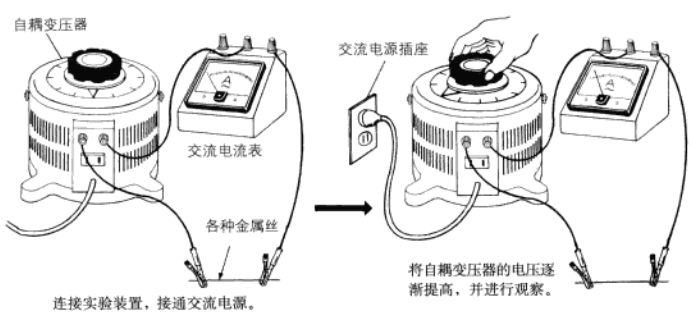
①将金属丝连到干电池上，用手指触摸一下



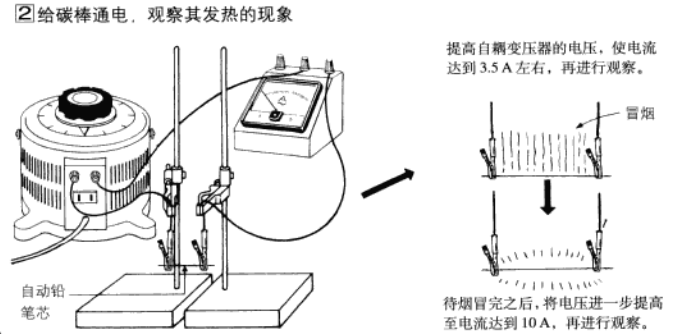

②用温度计研究漆包线发热的现象




③给金属丝通电并进行观察




2 给碳棒通电，观察其发热的现象




1 ①说明 将金属丝接到干电池上之后稍微过一会儿，用手指触摸一下，会发现铁丝(或铜丝)变热了。由此可知，金属丝通电后会发热。进一步研究：串联两节、三节电池时，发热情况将如何变化？

②提示 为了防止漆包线松开，缠好之后，应用透明胶带将漆包线固定。

说明 观察温度计，就能看出漆包线的温度迅速上升。用肉眼就能确认金属丝通电便会发热的事实。

增加串联干电池的数量，从温度上升的现象就能知道：电压越高，发热现象越明显。

③提示 可以用漆包线、铁丝、铜丝、熔丝等进行实验。

说明 一边提高电压一边观察电流表，就会发现：电压增大时电流也变大。由此能够确认电压与电流的正比例关系。

电压升高(即电流变大)时，金属丝会发光，直到最后烧断。由此可知，发热剧烈可以导致发光。发光的程度与电流的大小有关，金属丝烧断时的电流大小随着金属的种类不同而不同。

2 注意 之所以刚开始时将电流设定为 3.5 A，是为了除去固定碳棒用的塑胶。冒烟就是塑胶燃烧时产生的。如果不经过这个程序而直接把电流调为 5 A～10 A 的话，自动铅笔芯就有可能发出爆裂的声音并炸成粉末状，非常危险。

说明 碳棒不再冒烟之后，增大电流，在 10 A 左右发出橙色或白色的光。停止提高电压时，铅笔芯会慢慢变细。因为电阻增大，电流逐渐变小，发出暗红色的光。为了维持 10 A 的电流，必须持续增加电压。

结果 不仅是镍铬丝（即日常生活最常见的电热丝），所有的导体只要有电流通过都会发热。可以看出：电流增大时发热量也会随之变大，发热量大时会产生导体发光的现象。由此可以理解短路的含义及熔丝的作用。

# 153 研究永久磁铁的性质

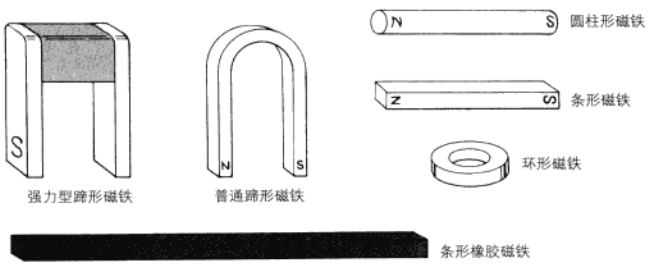
目标 小

知道有的物体会被磁铁吸引，有的不会。
知道磁铁有N极和S极，异名磁极互相排斥，同名磁极互相排斥。
通过观察知道，磁铁被吊起来时，会有两极分别指向南北的现象。

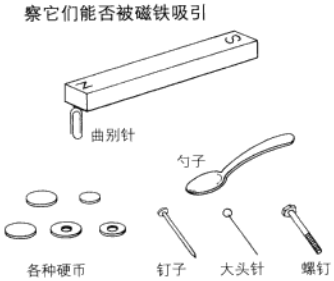
**各种磁铁①　身边的金属制品②　硬币③　铁矿砂(或直径为3 mm左右的钢珠)　线④　纸片　水槽　泡沫塑料板　圆杆铅笔　木板　竹签　试管　圆棒　铁架台　透明胶带　各种板⑤**

①参照1中的图。②参照2中的图。③最好有1元的硬币。④最好是尼龙钓线。⑤笔记本、塑料垫板、玻璃板、铝板、铜板、铁板等。

**1** 准备好各种各样的磁铁

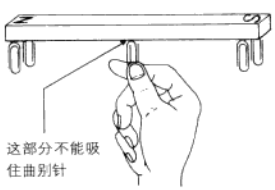



**2** 准备好各种各样的金属制品，观察它们能否被磁铁吸引

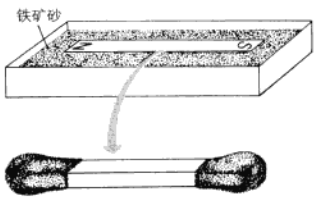



**3** 观察磁铁的哪一部分可以吸住金属制品

①用曲别针在磁铁的各部分试探

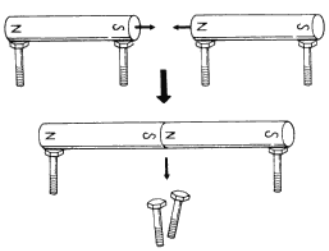



②将磁铁放在铁矿砂(或钢珠)中，再取出

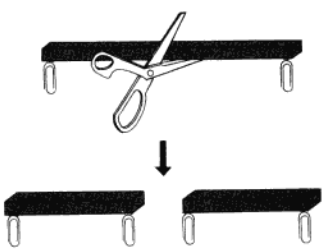



**4** 将两块磁铁连接起来，再断开，观察磁极的变化

①将吸有螺钉的磁铁连接起来

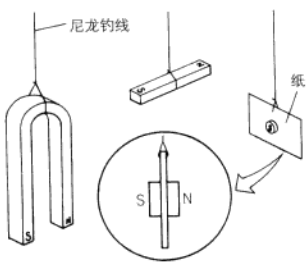


②把橡胶磁铁剪断，看它吸引曲别针的情况

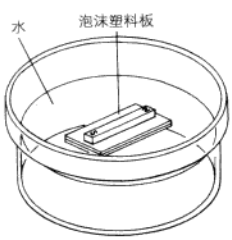


**5** 观察磁铁的指向与地球磁场的关系

①用线将各种磁铁吊起来




②使磁铁浮在水面上




**2** 说明 强磁性材料包括铁、镍、钴。另外，一些非磁性材料的化合物或合金也可以做成强磁体。

因为某些1元硬币是镍制的，所以会被磁铁吸引。不锈钢是在铁里面熔合了少量的铬与镍后形成的合金，其中有能被磁铁吸引的，也有不能被磁铁吸引的。18-8型不锈钢(含铬18%，镍8%)不能被磁铁吸引。

结果 可以知道：在金属当中，有能被磁铁吸引的，也有不能被磁铁吸引的。

**3** 提示 如果用直径为3 mm左右的钢珠代替铁矿砂，做完实验后，收拾起来会比较轻松。

说明 磁铁都有两个吸引磁性材料的部分，叫做磁极。

结果 可以知道曲别针及铁矿砂等会被吸在磁铁的两端，但是不会吸在中间部分(磁极和磁极之间)。

**4** 提示 使用磁极在两端的条形橡胶磁铁。将橡胶磁铁剪断之前，先确认它的中间部分没有吸引曲别针等金属制品的性质。

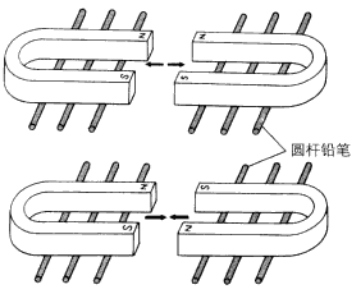
结果 将两块磁铁连接起来时，连接部分的螺钉会掉下来；将一块磁铁剪断时，剪断部分会变得能吸引曲别针等金属制品了。由此可知：将两块磁铁连接起来就会变成一块磁铁，将一块磁铁分开就会变成两块磁铁。

**5** 提示 可以将磁铁的指向与磁针进行比较。

结果 可以知道：无论哪种磁铁，都会指向一定的方向。将其指向与磁针作比较，就会知道所有的N极都指向北方。

**6** 研究磁铁之间的相互作用

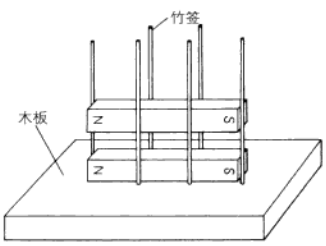
①把磁铁放在圆杆铅笔上

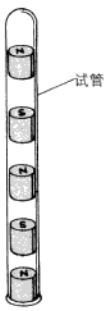


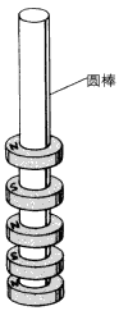

②用其他磁铁接近浮在水面上的磁铁




③将各种磁铁照下列各图那样叠放在一起

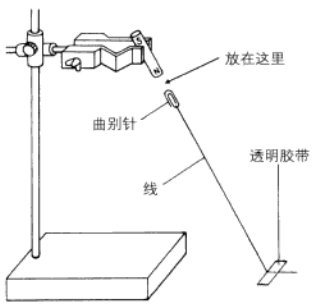


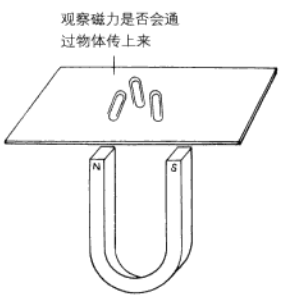




**7** 观察有的物体能让磁力通过，有的不让磁力通过的现象

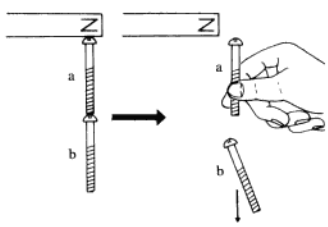
①试着把各种物体放在磁铁与曲别针之间




②在各种物体的上面放上曲别针，在下面移动磁铁



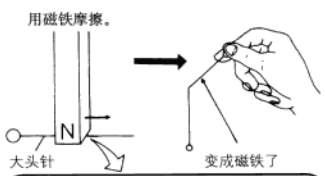

**8** 观察有些物体即使一时变成了磁铁，也会立刻失去磁性的现象




将螺钉a与螺钉b接在磁铁上。

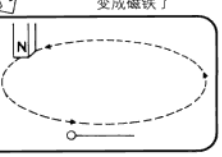
将螺钉a轻轻地与磁铁分开。

**9** 制作磁铁




**摩擦方法**

朝着一个方向画圆，进行摩擦。



**6** 提示 在实验③中用的圆形磁铁，全部选用磁极在上下两面者。

往试管中放入小圆柱形磁铁及往圆棒上套环形磁铁时，都要注意使相邻磁铁的两极同名相对。

结果 可以发现：N极与N极、S极与S极之间相互排斥，S极与N极相互吸引。

**7** 提示 在磁铁与曲别针之间放的东西可以是笔记本、塑料垫板、玻璃板、铝板、铜板、铁板等各种各样的物体。

结果 将实验结果总结起来，可以形成下列结论：

- 放上纸、塑料、玻璃、铝、铜时——在①中没有变化，在②中曲别针跟着磁铁移动。
- 放上铁时——在①中曲别针跌落，在②中曲别针不动。

由此可知：上述物质中，只有铁不能使磁力通过。

**8** 说明 将铁制的螺钉a和b接在磁铁的一极，将螺钉a轻轻地与磁铁分开，则螺钉b跌落。这是因为螺钉a仅仅在接触磁铁的时候，才临时性地变成了磁铁。

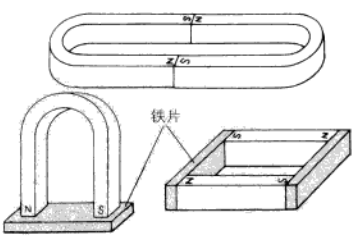
**9** 提示 使之变为磁铁的物体，最好是大头针或钢琴弦。

用磁铁摩擦时，要顺着同一个方向多次摩擦，不要来回摩擦。

说明 用其他大头针接近用磁铁摩擦过的大头针，可以看见其他大头针被吸住的现象，这是因为被磁铁摩擦过的大头针变成了磁铁。

参考 使针长时间接触磁铁，针也会变成磁铁。另外，N、S极混乱的磁针只要接触磁铁，就能很快恢复到正常状态。

参考 **磁铁的保存方法** 使用铁片，或者将异名磁极连接在一起，形成封闭的磁性回路。




**磁铁的磁化方法** 实验时，有时候会遇到磁性较弱的磁铁，使得同名磁极相斥的现象不容易被注意到。应在实验之前用磁化线圈(强磁器)对这样的磁铁及磁性变弱的磁铁进行磁化。

材料与器具

铁粉　玻璃板①　磁铁　胶卷盒　纱布　橡皮筋
有机玻璃板②　重氮感光纸　显影剂　透明胶带
脱脂棉　有机玻璃圆筒③　橡皮塞　液态石蜡
松节油　磁针　1，2二氯乙烷　塑料泡泡隔层

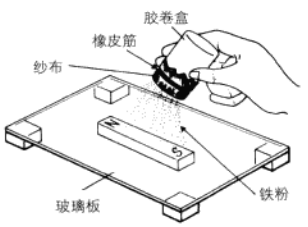
①透明玻璃板。②厚度为 3 mm 的透明有机玻璃板。③内径为 18 mm，厚度为 3 mm。

# 154 观察磁铁周围的磁场

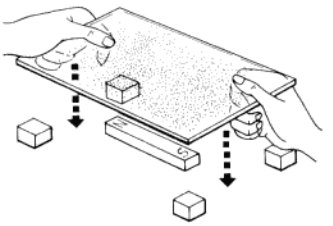
目标 小初　能利用铁粉及磁针证明磁力的存在。

【A】用玻璃板和铁粉观察

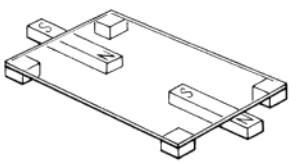
1 在磁铁上方放上玻璃板并撒上铁粉

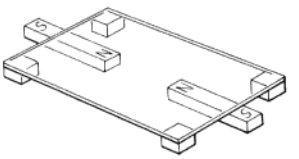


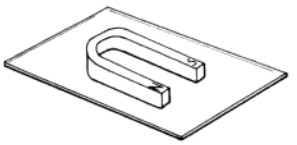

2 把撒有铁粉的玻璃板放在磁铁上

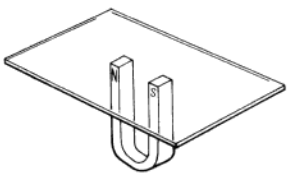


3 改变磁铁的放法，重做 1 和 2










【A】用玻璃板和铁粉观察

提示 将铁粉均匀地撒在玻璃板上。

将铁粉放入胶卷盒中，盒口蒙上纱布，用橡皮筋扎住，这样就能很方便地撒铁粉了。

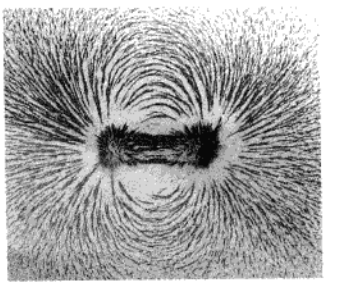
事先在桌子上铺上白纸，以便观察。

最好能将铁粉形成的图案画下来。

1 提示 如果是强力磁铁，玻璃板和磁铁之间需留一点距离。

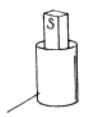
3 提示 考虑各种可能的放法，并分别进行实验。

说明 铁粉沿磁感线形成独特的图案，下图便是其中一例。



铁粉的回收方法

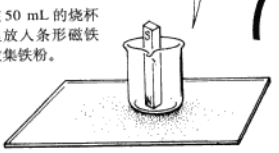
可以用胶卷盒代替50 mL的烧杯。




将 50 mL 的烧杯放入100 mL的烧杯，拔出磁铁。



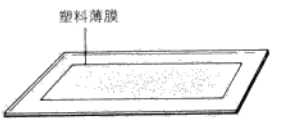
在 50 mL 的烧杯里放入条形磁铁收集铁粉。



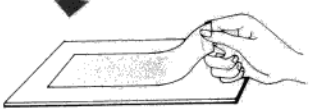

取出50 mL的烧杯。

回收起来的铁粉



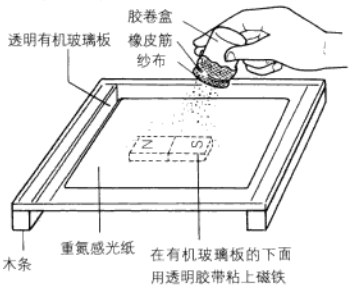



事先将塑料薄膜铺在透明板上，实验后回收铁粉就会变得更加方便。

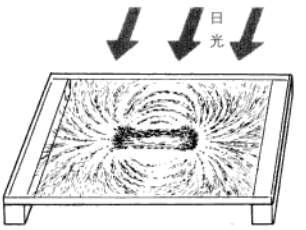


**【B】用重氮感光纸观察**

1 在磁铁上方放上一层重氮感光纸，上面撒上铁粉



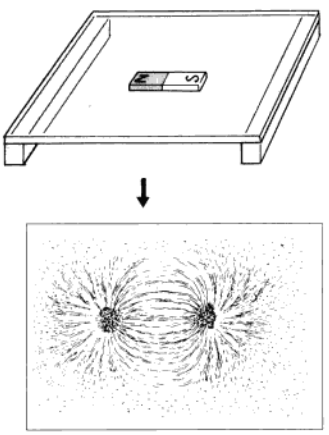

2 铁粉图案形成之后，使日光或灯光照射到感光纸上



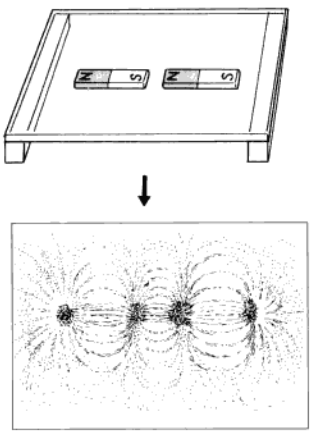

用光照射，直到感光纸的黄色变得发白为止。回收铁粉，用脱脂棉等在感光纸上涂上显影剂。

3 改变磁铁的放法，重做1和2

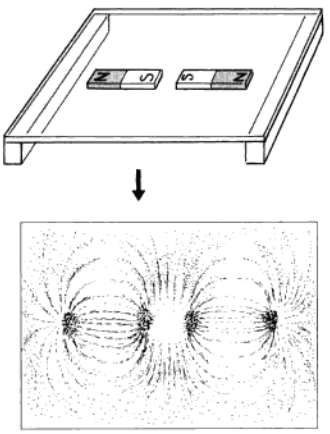
● 一块条形磁铁



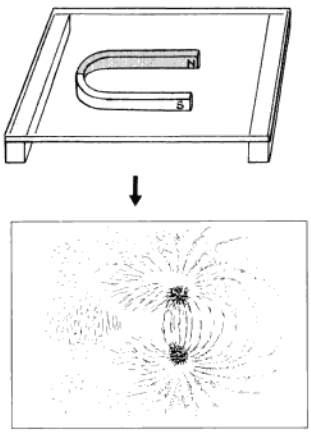

● 两块条形磁铁




● 两块条形磁铁同名磁极之间的排斥现象




● 蹄形磁铁




**【B】用重氮感光纸观察**

1 提示 重氮感光纸可在文具店买到。

使用透明有机玻璃板，厚度为2 cm～3 cm，大小为20 cm × 30 cm。撒铁粉时，不要靠得太近，最好离开有机玻璃板10 cm～20 cm，这样容易撒得均匀。

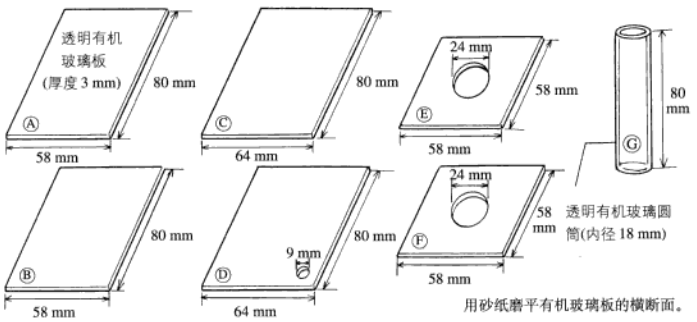
2 提示 光线不同，照射的时间也不同。如果是直射的阳光，需10 s～20 s；如果是20 W的荧光台灯，距离感光纸20 cm，需1 min～2 min。这些只是大致的参考标准。总之，只要照到黄色的感光纸发白就行了。

避免使用感光度高的感光纸，建议选择感光度低的感光纸。

这个实验中，铁粉的回收方法非常简单，只要将感光纸折成 U 形，将铁粉倒回原来的容器中即可。

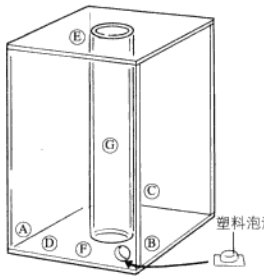
**【C】用自制的立体磁性观察槽观察**

1 裁切有机玻璃板和有机玻璃圆筒

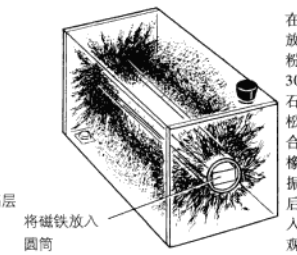



2 组装观察槽

用 1, 2 二氯乙烷黏合各部分。



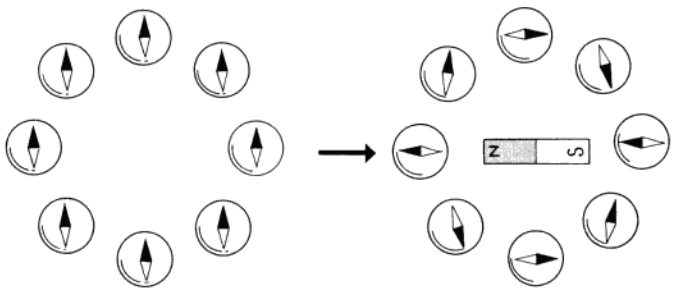

3 观察磁场的情况



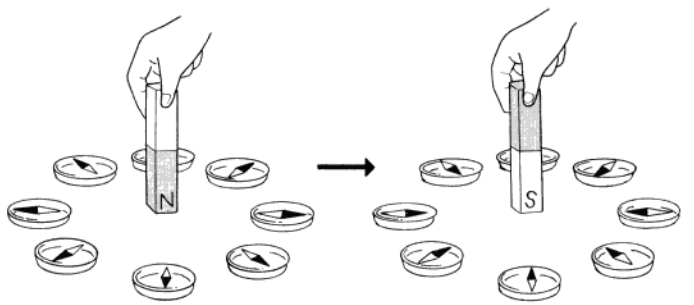

在观察槽里放入 1.5 g 铁粉之后，倒入 300 mL 液态石蜡与 6 mL 松节油的混合液体，塞上橡皮塞，充分振动、混合后，将磁铁放入圆筒进行观察。

**【D】用磁针观察**

1 将磁针摆成一圈，中间放入磁铁




2 改变磁铁的放置方式




**【C】用自制的立体磁性观察槽观察**

1 提示 利用这个观察槽，能够立体地观察磁场的情况。它比市场上卖的同类物品小，如果是自己制作，花钱也不多。需要注意的是，如果有机玻璃板的尺寸不正确，就会造成液体渗漏。

2 提示 黏合时应先组装好有机玻璃板，然后用注射器将 1, 2 二氯乙烷注入接缝使之黏合。如果有机玻璃板之间看上去有空隙，可放入三角柱状加固材料。黏合的时候，要等一部分干燥之后再黏合另一部分。

为了防止因为液态石蜡膨胀造成观察槽的破裂，可以事先放一片塑料泡泡隔层(用于易碎品、糕点等的包装材料)。




3 提示 为了降低液态石蜡的黏度，可加入松节油。

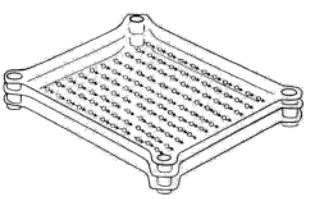
**【D】用磁针观察**

提示 如果把磁针放在强力磁铁附近，有可能造成 N 极与 S 极的方向逆转，这一点要注意。

说明 磁针指向磁感线的切线方向。此时，磁针的 N 极表示磁场的方向。

参考 **磁场的方向** 磁场的方向一定是从 N 极指向 S 极。地球的磁场，南极是 N 极，北极是 S 极，所以地球上磁场的方向是从南极指向北极。也就是说，磁针 N 极所指的方向，就是磁场的方向。在学生当中，经常会出现将磁极与地理上的两极混为一谈的情况。

**磁场说明器** 市场上可以看到将 121 个小磁针装在一起的磁场说明器。利用它能够一眼看出磁感线与磁场的方向。



# 155 观察载流直导线周围的磁场

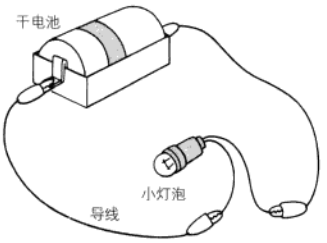
目标 小初 能观察到给导线通电时其周围会形成磁场的现象。
能用磁针观察磁场的存在、强弱和方向。

干电池 小灯泡 导线 磁针4个 金属管 台板 铁架台 电阻器 直流电流表 电源装置 有机玻璃板 接线柱① 实心电阻(100 Ω) 发光二极管2个 镍铬丝(500 W) 不干胶带 鳄鱼夹 黏合剂

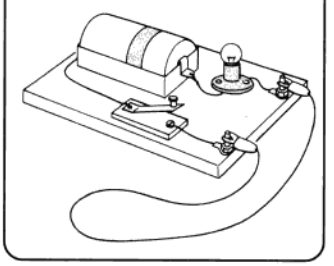
①准备红、黄两色的各两个，黑色的一个。

1 观察电流对磁针的作用

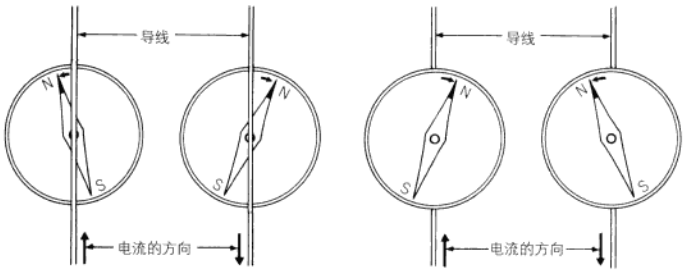
①用干电池、导线、小灯泡连成电路



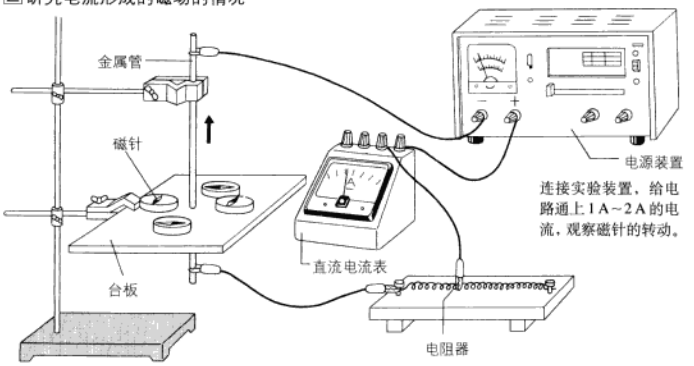

固定在台板上的装置



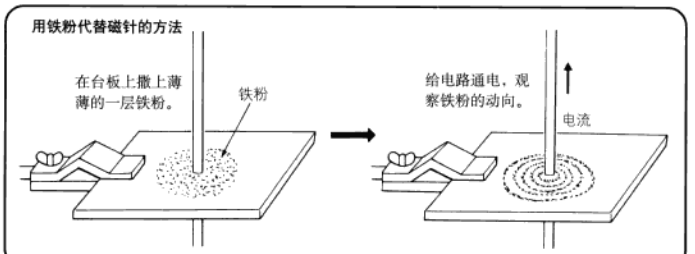
②将导线分别放在磁针的上面和下面，给电路通电，观察磁针的转动




2 研究电流形成的磁场的情况




用铁粉代替磁针的方法



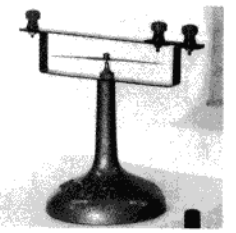

1 ①提示 不要将导线直接连到电源装置上，否则会加快电池的消耗。电路中的电流只要0.5 A左右就足够了，因此可以将小灯泡作为电阻串联到电路中。放入小灯泡之后，一眼就能看出通电情况以及电池的消耗情况。

参考 制作一个实验装置，将电池盒、小灯泡、开关、接线柱等固定在台板上，这样比较方便。这时，若能使用双刀双掷开关，将电路的正负转换一次性完成的话，就会更加方便。另外，制作这样的台板，将实验装置固定起来，还能防止接触不良、断路等故障。

② 提示 将导线放在磁针的上、下方时，一定要使导线沿南北方向放置，与磁针平行。附近不要放磁铁及铁制品。

改变电流的方向，再进行观察。

参考 也可以使用市场上卖的奥斯特实验器。此时，要考虑到电源电压，将适当的电阻串接到电路中。



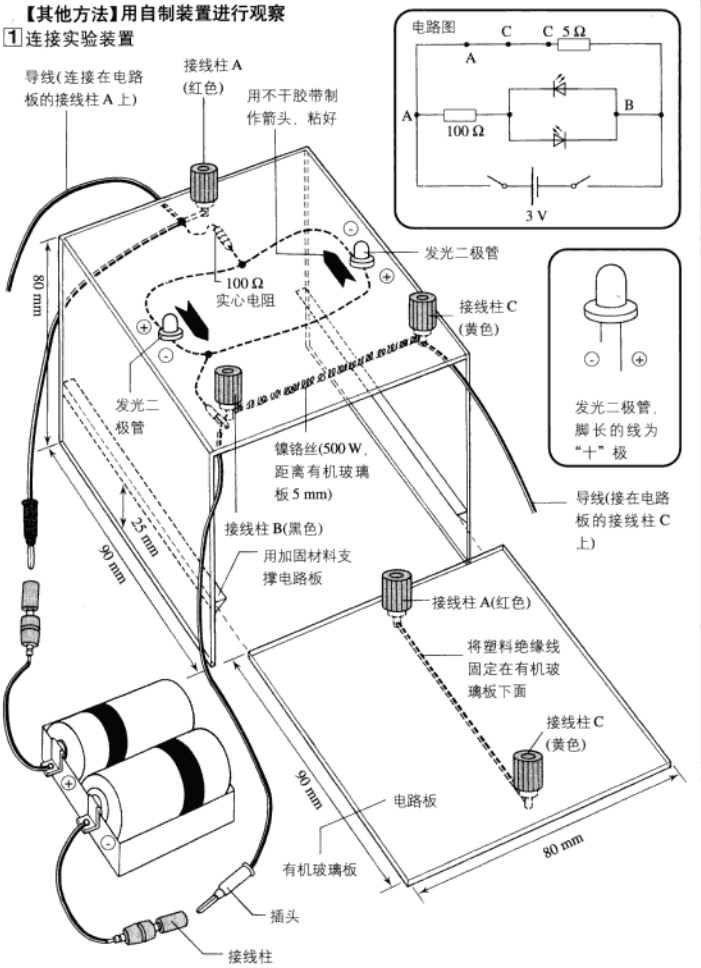
奥斯特实验器

2 提示 需要至少1 A的电流。电流为2 A以上时，要注意电阻。如果用500 W镍铬丝直接装在台板上作电阻器，就有烧坏台板的危险。所以要动脑筋，将镍铬丝缠在瓷制台板(或瓷制线圈骨架)上，或使用3 A的汽车专用灯。

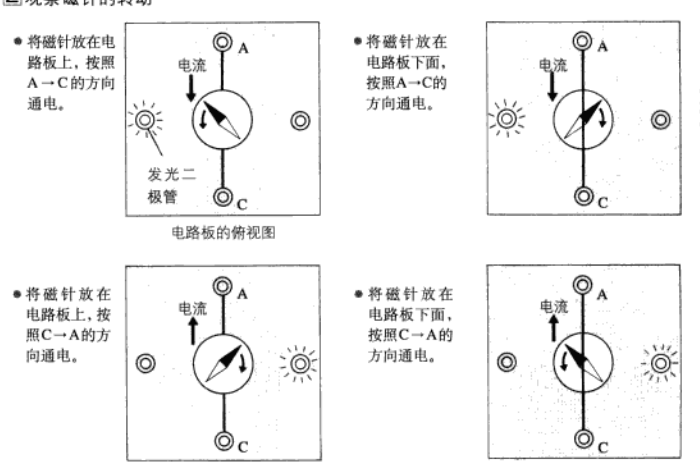
参考 也可以用铁粉代替磁针进行研究。通电时铁粉会形成磁感线。此时，需要10 A左右的电流。因此，使用铁粉时，需要对电路整体(包括电源的额定电流、电阻及导线)的安全性进行全面考虑。

## 【其他方法】用自制装置进行观察

1 连接实验装置




2 观察磁针的转动




## 【其他方法】用自制装置进行观察

1 提示 将 240 mm × 90 mm 的有机玻璃板加热、折弯。

为了防止发热的镍铬丝使有机玻璃板熔化，将镍铬丝固定在距离有机玻璃板5 mm以外的地方。

红色接线柱 A 之间、黄色接线柱 C 之间均用导线连接。

在装置的上面贴上用不干胶带制作的箭头，作用是根据发光二极管的位置，指示电流的方向。

在电路板上除了塑料绝缘线之外，还可以连接线圈之类的元件进行实验。

将两个1号干电池串联起来作电源。在使用电源装置的时候，注意电流不要超过 2 A。另外，因为发光二极管的发光电压在 1.8 V 左右，使用干电池时，需要将两个电池串联起来。

2 提示 使磁针的指向与导线的方向一致，然后通电。电流的方向切换，可以通过改变插头的连接方式来实现。

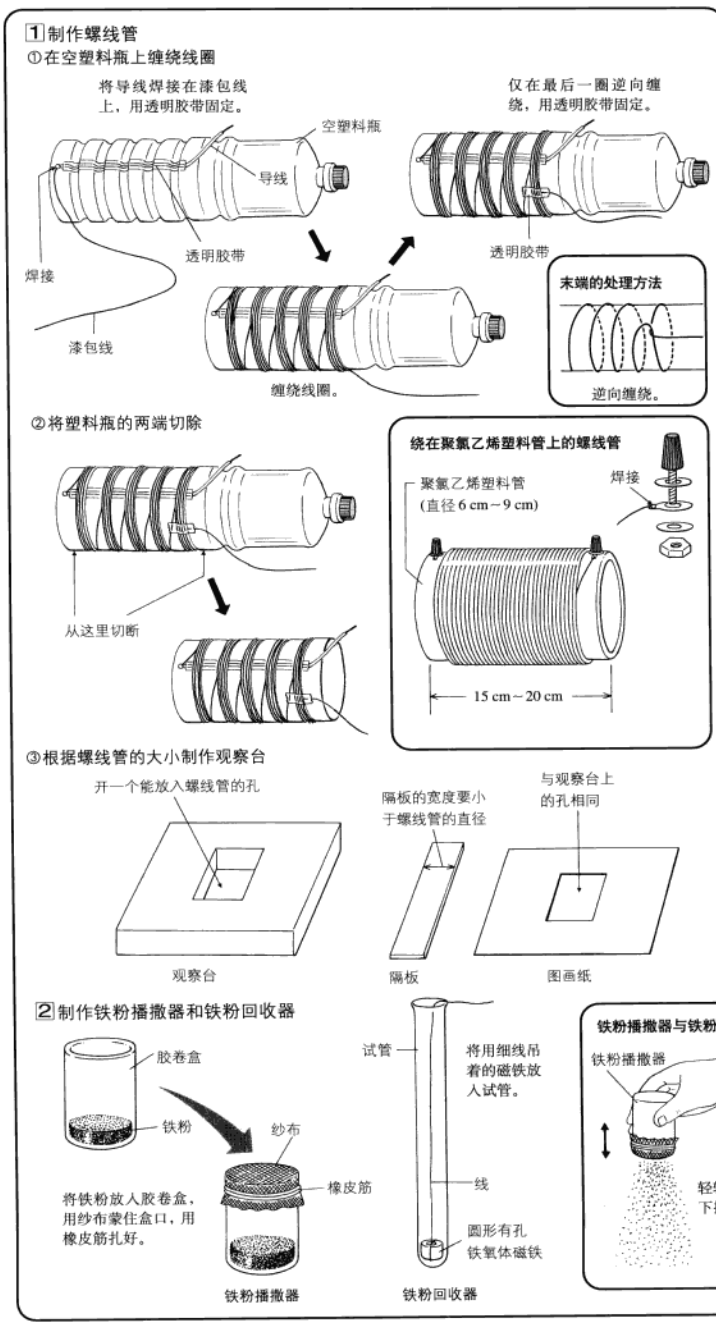
为了避免对磁针产生影响，最好事先拿掉接线柱上的铁制垫圈。

# 156 观察螺线管的磁感线

目标 小初 能借助磁针和铁粉形成的图案观察通电螺线管的磁感线。

空塑料瓶 漆包线 透明胶带 观察台① 隔板① 图画纸 胶卷盒 纱布 橡皮筋 试管 线 磁铁② 电源装置 滑动变阻器 直流电流表 磁针 铁粉 螺线管 记录用具

①用空纸盒、胶合板等制作。②最好是能放入试管的圆形有孔铁氧体磁铁。




**1** ①提示 将导线缠在空塑料瓶的凹槽里，做成螺线管。每个凹槽能缠 50～100 匝。使用空塑料瓶时，不能通过 1 A 以上的电流；如果用聚氯乙烯塑料管（直径6 cm～9 cm），则可以通过 5 A 以上的电流，那时要用直径为 1 mm (No.18) 以上的漆包线。缠 2～3 层线圈时，中间要用绝缘纸隔开。

参考 螺线管的电阻与缠绕匝数的关系如下表所示。

| 缠绕匝数 | | 100 | 250 | 500 |
|---|---|---|---|---|
| 导线长度 /m | | 27 | 68 | 135 |
| 电阻 /Ω | NO.18 | 0.6 | 1.7 | 3.1 |
| | NO.24 | 2.5 | 6.3 | 12 |
| | NO.26 | 4.0 | 9.9 | 20 |

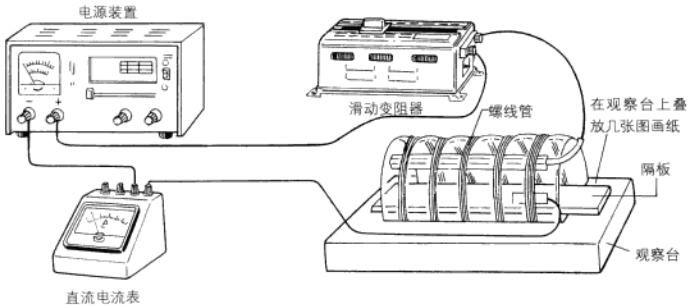
② 提示 可以用炽热的镍铬丝切断塑料瓶。之所以后来才切断，是因为塑料瓶的强度较弱的缘故。

③ 提示 在观察台上开一个能放入螺线管的孔，观察台面要保持水平。

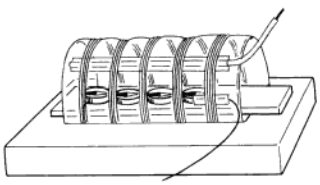
**2** 提示 将纱布叠成2～3层，盖在胶卷盒上，用橡皮筋固定，做成铁粉播撒器。如果使用没有开孔的铁氧体磁铁，可以用透明胶带将线粘在磁铁上，用于制作铁粉回收器。不要使用像条形磁铁那样大的磁铁，以免碰碎试管。

**3** 用磁针和铁粉观察磁感线

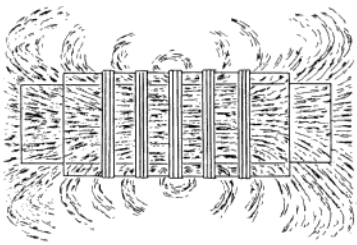
①连接实验装置




②在螺线管中放入磁针，通电，观察N极指示的方向

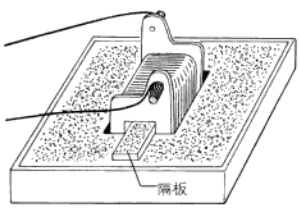


③在图画纸和隔板上撒上铁粉，通电，观察铁粉形成的图案



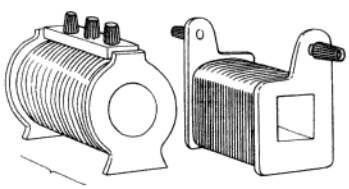
**4** 用市场上卖的螺线管观察磁感线

①用铁粉观察磁感线的情况

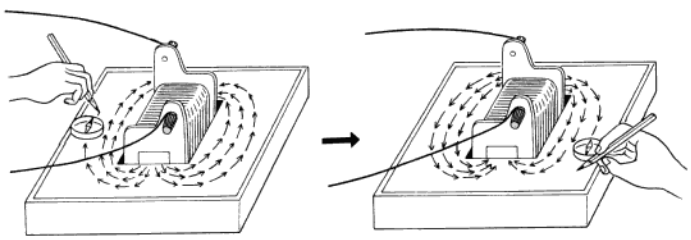



通电，轻轻敲击台子，然后切断电流，拿走螺线管，进行观察。

**市场上卖的螺线管的种类**




②给螺线管通电，在图画纸上记录磁针N极指示的方向



一点一点地移动磁针，记录磁感线情况。

改变电流方向，记录磁感线情况。

**3** ①提示 虽说随着螺线管的匝数、形状及漆包线的种类不同，螺线管的电阻大小也不一样，但是使用左图所示的装置时，螺线管的电阻很小。为了防止电流过大，要在电路中加上变阻器，使螺线管中的电流保持在3 A之后，再观察磁场。

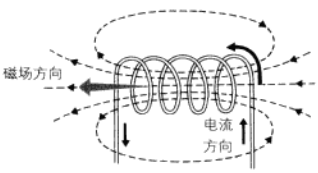
②提示 观察磁场的时候，应尽量用小的磁针，这样能更好地观察它的动向。配置多个磁针，则更容易明白。

说明 磁场的磁感线是从N极指向S极。

③提示 轻轻地、均匀地撒上薄薄的一层铁粉。然后通电，轻轻敲击台子。每次实验完都要回收铁粉，再重新播撒，这样实验形成的图案会比较清晰。

说明 给螺线管通电，铁粉移动，画出磁感线的图案。

螺线管形成的磁场的方向与电流的方向之间具有如下关系：




**4** 提示 市场上卖的螺线管中，双层螺线管比较方便。磁化用的螺线管可以用变压器的次级线圈代替。

观察台的高度以能放入一半螺线管为宜。开一个能容纳螺线管的孔。制作隔板并用来观察螺线管内部的磁场。

虽说因螺线管的形状和匝数不同，能通过的电流也不同，但最好把通过的电流控制在允许的范围之内。

有时候可能会有10 A以上的电流流过，所以需要检查额定电流。额定电流的标准为：电源装置5 A，滑动变阻器2 A，32芯导线7 A。

通电以后，将隔板从螺线管中取出时，注意不要弄洒铁粉。

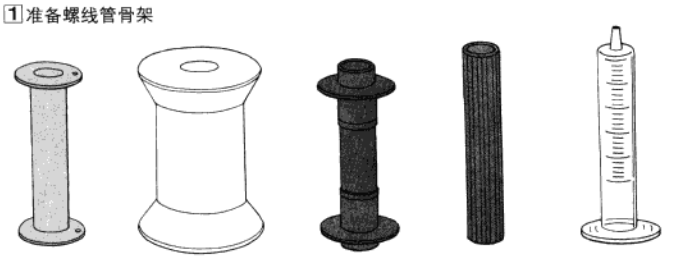
# 157 制作电磁铁

目标 小 能将漆包线缠在螺线管骨架上，制作电磁铁。

螺线管骨架① 漆包线② 透明胶带 砂纸 焊锡 烙铁

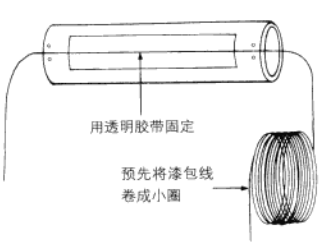
①不限于成品，可以用各种代用品，参看[1]。
② No.24～No.28 的最好。

[1] 准备螺线管骨架

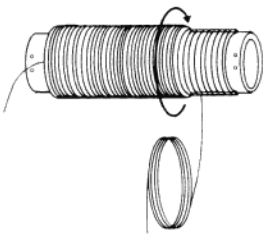



[2] 将漆包线缠在螺线管骨架上

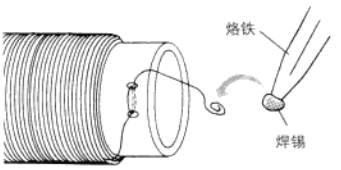
①将漆包线的一端固定在螺线管骨架上




②往螺线管骨架上缠漆包线

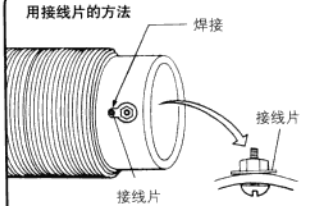


③处理漆包线的末端



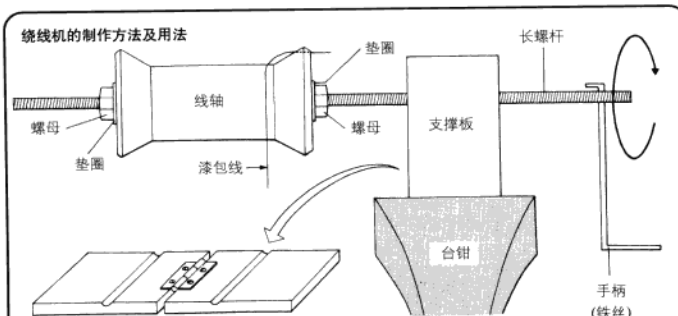

将漆包线在孔里穿两次再伸到外面，然后刮掉漆包线末端的漆皮，窝成圆圈，焊接。

用接线片的方法




刮掉漆包线末端的漆皮，焊接在接线片上，用螺钉和螺母固定。

绕线机的制作方法及用法




说明 也可以采用将漆包线直接缠在绕线机铁心上的方法。在这个实验中将线缠在螺线管骨架上，再套到铁心上进行实验。使用带骨架的螺线管比较方便。另外，还可以用缠在骨架上的螺线管做取出和放入铁心(最好是铁螺杆)的实验，所以用途很广泛。

[1] 提示 除了成品之外，还可以考虑用各种各样的物品代替。在图示的物品当中，无论使用哪种都行。如果选用注射器，要用塑料制的，并且要将前端切掉。

[2] ①提示 No.24～No.28 的漆包线比较好用。用手往螺线管骨架上缠漆包线时，如果缠得太松，有可能使线歪斜，形成线疙瘩。为了防止这种现象发生，事先应计算好线的用量，在 5 m 或 10 m 的地方截断，卷成小圈。

参考 漆包线的号码与直径、电阻的关系如下表所示：

| BS 号码 | 直径/mm | 1 m 的电阻/Ω |
|---|---|---|
| 18 | 1.0 | 0.022 |
| 20 | 0.81 | 0.036 |
| 22 | 0.64 | 0.055 |
| 24 | 0.51 | 0.09 |
| 26 | 0.40 | 0.14 |
| 28 | 0.32 | 0.23 |

③ 说明 焊接漆包线末端的目的是便于用夹子固定。

参考 绕很多圈或者想把线圈缠得漂亮一点时，使用绕线机会更加方便。左面方框里的小图描绘的就是一个简单绕线机的样子。

长螺杆的直径最好为 8 mm，长度为 20 cm 左右。

手柄用铁丝(直径为3 mm，长度为10 cm)制作。在长螺杆上开一个直径为 3 mm 的孔，将铁丝穿过这个孔，然后折弯。

在半圆锥体形的板上，开一条长螺杆刚好能够通过的槽，用合叶连接起来制成支撑板。

左图中是用手来摇动手柄，实际操作时可以用手摇钻代替。用垫圈和螺母将螺线管骨架固定在长螺杆上，再将长螺杆装在台钳上的手摇钻夹口上即可。此时，要事先算好旋转比。绕制螺线管时，一定要边数边绕。

# 158 研究电磁铁的性质

目标 小

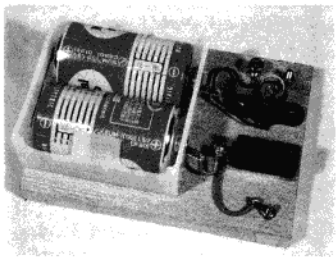
通过研究知道：给螺线管通电时，电磁铁产生磁力；切断电流时，电磁铁停止工作。

通过研究知道：往螺线管中放入铁心，或增加螺线管的匝数，或使电流加大时，电磁铁的磁力会增强。

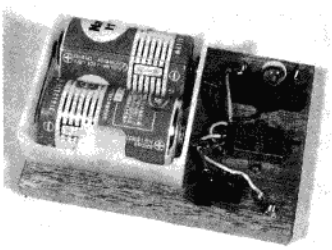
空心螺线管[①] 磁针 直流电源[②] 铅笔[③] 铁棒[④] 曲别针

①有100匝、200匝、400匝等多种。②既可以是电源装置，也可以是电池。利用电池自制电源装置时，参照[1]。③除了铅笔之外，还可以准备玻璃棒、铝棒等各种各样的棒。④如经过退火的铁螺杆、钉子等。

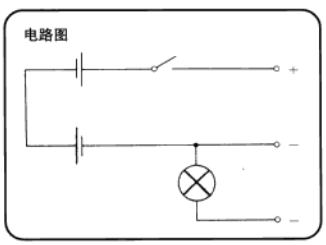
[1] 利用1号干电池，自制电源装置

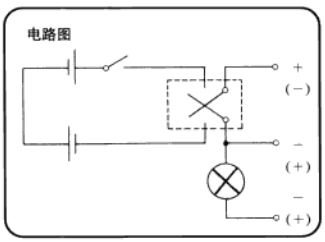


不带正负转换开关的装置



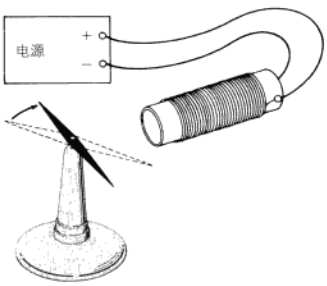
带正负转换开关的装置



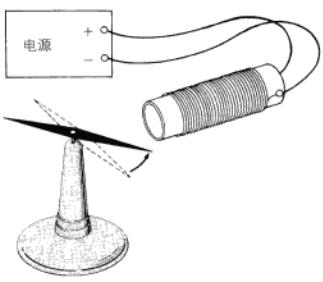




[2] 对用空心螺线管做成的电磁铁进行研究

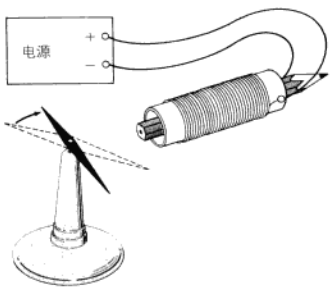
①给空心螺线管通电，观察磁针的摆动



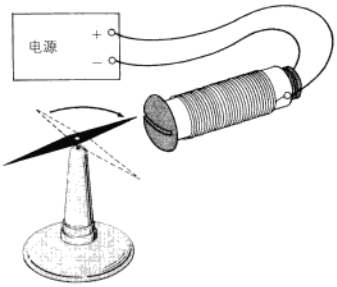

②使电流反向




③在螺线管中放入铅笔之类的物体




④在螺线管中放入铁棒




提示 在电磁铁实验中用干电池作为电源时，要注意以下几点：

使用1号干电池产生的恒定电流最好在0.5 A左右。为此，负荷电阻至少需要3 Ω。可是自己制作的电磁铁，因为导线的直径及匝数的关系，很容易变成低电阻型。这种情况下，可以将小灯泡作为电阻串联在电路中，这样不但可以对通电状态一目了然，还可以了解电池的消耗情况，非常方便。

定量实验情况下，最好使用带变压器的电源装置，用电压表和电流表确认电压和电流。使用相同的电压而使螺线管的匝数增加一倍时，因为电流的变化，磁力不能增加一倍。

[1] 说明 使用1号干电池作为电源时，先制作如图所示的装置，实验时会比较方便。

如果在电路中接入双刀双掷开关，将正负转换一次完成的话，就会更加方便。

中央触点只在不把小灯泡接入电路中时才使用。

提示 使用1.5 V电压时，只放入一节电池，使空电池盒的正负接点短路即可。

[2] ①结果 给空心螺线管通电，磁针摆动。由此可以看出：即使没有铁心，螺线管也具有电磁铁的作用。

② 提示 使用不带正负转换开关的电源装置。改变电流的方向时，只要将触点的连接方式调换一下即可。

结果 磁针的摆动情况与①中相反。

③ 提示 用铅笔、玻璃棒、铝棒等各种物品进行尝试。

结果 在螺线管内放入铅笔之类的物品时，与不放任何物品时的情况相比，磁针的摆动没有任何改变。

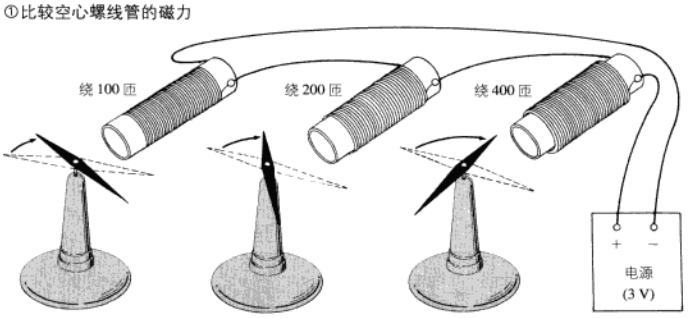
④ 提示 铁棒最好用经过退火的铁螺杆或铁钉。

结果 磁针像被铁心吸住一样旋转，方向与铁心平行。

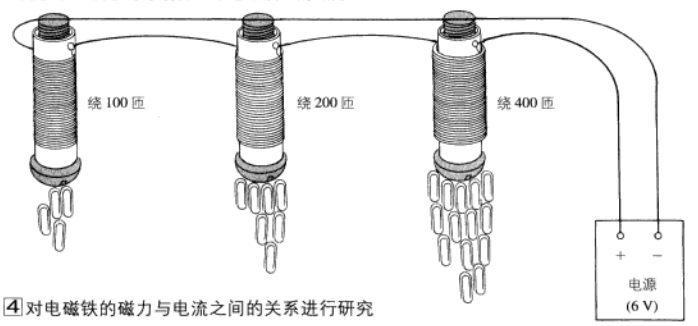
参考 使磁针慢慢地、一点一点地远离螺线管即可。

**3** 对电磁铁的磁力与螺线管的匝数之间的关系进行研究

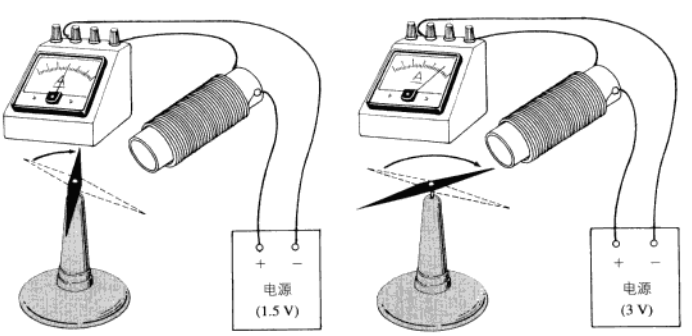
①比较空心螺线管的磁力



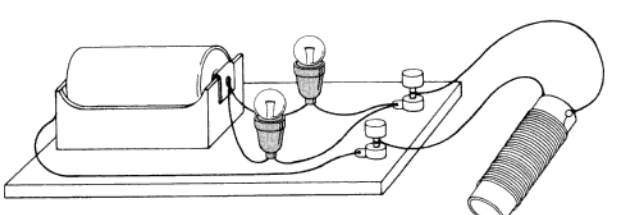

②比较放入铁心的螺线管（即电磁铁）的磁力




**4** 对电磁铁的磁力与电流之间的关系进行研究




**用一节电池改变电流的方法**



在电路中并联接入两个小灯泡，通过控制一个小灯泡的“通”与“断”，能使电流大致变为原来的 1/2 倍。

**3** 说明 为了研究螺线管的匝数造成的电磁铁磁力的差异，必须保证电流的大小不变。即使将各个螺线管先后接在同一个电源上，因为每个螺线管的电阻不同，电流也不相同。为了方便地得到同样大小的电流，可以将电磁铁串联在电路中。

即使电流相同，因为磁感线有泄漏的缘故，磁力之间也不能达到完全正确的比例，但能明白大致的关系。

提示 电源电压以 3 V～6 V 为宜。

在实验步骤②中，可以用直径为3 mm的钢球代替曲别针。

结果 增加螺线管的匝数后，在①中，磁针的摆动幅度变大；在②中，吸引曲别针的数量变多。由此可知：螺线管的匝数越多，磁力越强。

**4** 提示 尽量使用匝数多的螺线管。

用电池作电源时，因为内阻的关系，即使增加两节、三节电池，电流也不一定能增到二倍、三倍。需要在电路中放入电流表测量电流，或者事先用电流表测出。

结果 电流越大，磁针的摆动幅度越大。由此可知：电流越大，电磁铁的磁力越强。

参考 如果想用一节电池改变电流，只要照左面的小图那样，在电路中并联接入两个小灯泡即可。此时，为了减少电源内阻及负荷电阻的影响，最好事先用电流表测出电流值。

材料与器具

# 159 观察磁场对电流的作用

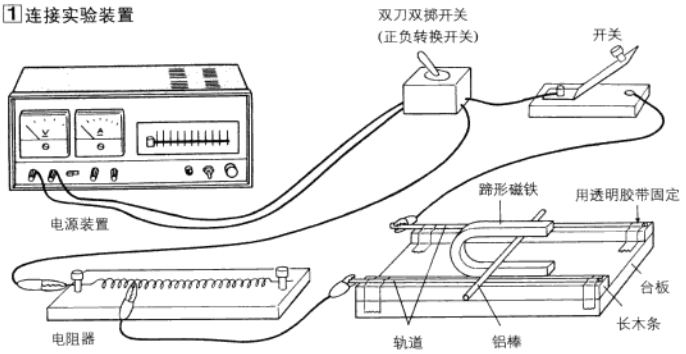
铝棒　铜丝①　台板　长木条　电阻器　开关　双刀双掷开关　电源装置②　蹄形磁铁③　导线　透明胶带

①因为要用来制作轨道，所以其直径应与铝棒的直径相匹配。②干电池也可以。③尽量选用强力型蹄形磁铁。

＊在【其他方法】中，除了上述物品，还需准备木棒(一次性筷子之类)、铁架台及直流电流表。

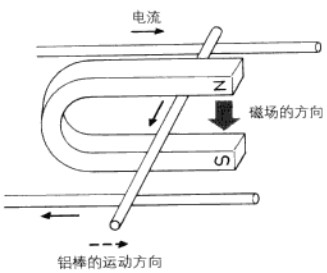
目标　初　知道给磁场内的导线通电时，导线的受力方向能用左手定则确定。

1 连接实验装置

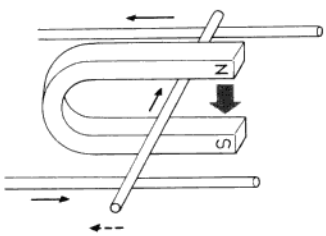



2 给电路通电，观察铝棒的运动

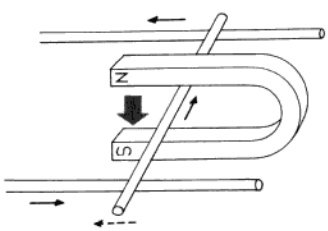
①通电

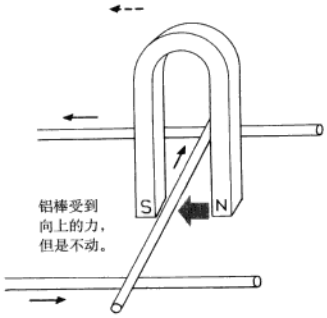



②改变电流的方向



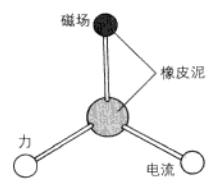

③改变磁场的方向



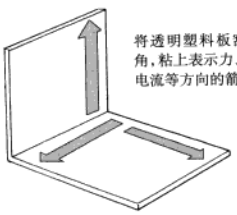




**左手定则说明器**

用下图所示的简单立体模型可以说明磁场、电流及力的方向关系，比在黑板上说明更容易理解。




将一次性筷子等棒状物品插在橡皮泥里制成模型(最好先将力、磁场、电流的方向用颜色区分开)。



将透明塑料板窝成直角，粘上表示力、磁场、电流等方向的箭头。

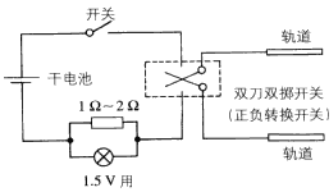
1 提示 用电源装置或干电池作电源都可以。电压为1 V～3 V。

这个实验中用500 W镍铬丝作电阻器，也可以使用1 Ω～3 Ω的定值电阻或1 A～2 A的小灯泡。使用小灯泡时，接触是否有问题及电流的大小都能一目了然，非常方便。使用定值电阻时，电流的大小可以通过控制电压的高低来调节。

轨道可以用铜丝、黄铜丝、镀锡铜丝制作。事先应将轨道及铝棒上的锈迹去除干净。可以用干燥的不锈钢丝刷子去除锈迹。

说明 使用铝棒作为可移动圆棒的理由在于，它是非磁性体而且具有分量轻的特点。实际上，为了便于移动，需要分量轻的物品；为了降低接触电阻，又需要重一点的分量，这是一对矛盾。

参考 将电源、开关、电阻(小灯泡)等固定在台板上，制作一个实验装置。这样，以后再进行实验时就不需要每次都连接实验装置了，非常方便。可以按照下面的电路图自制实验装置。



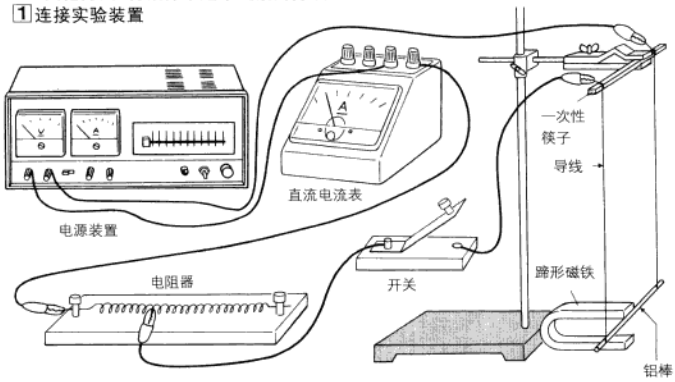

轨道使用直径为2 mm的黄铜丝，可移动圆棒使用直径为3 mm的铝棒和直径为2 mm的黄铜棒。

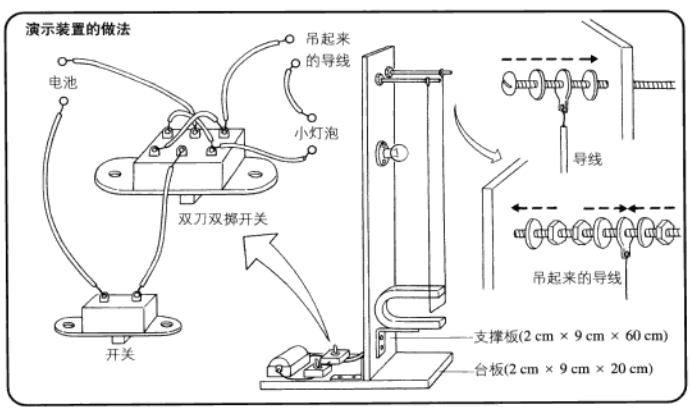
2 提示 这个实验中的工作电流，1 A左右就足够了。操作电阻器时，注意不要调为0 Ω，否则会使电流过大。为此，需要时刻注意电阻值及电源电压。

如果铝棒不能移动，有可能是因为接触不良，此时要检查电路。如果盲目提高电压，就会增大火花放电，加快铝棒的氧化，给下次实验带来麻烦。

**【其他方法】将铝棒吊起来观察的方法**

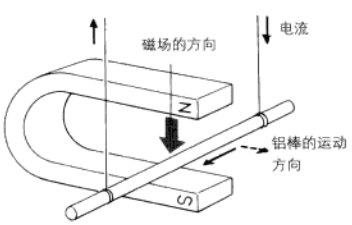
1 连接实验装置



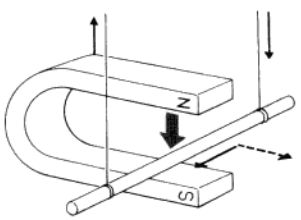




2 给电路通电，观察铝棒的运动

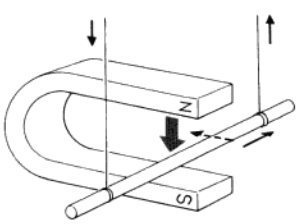
①通电



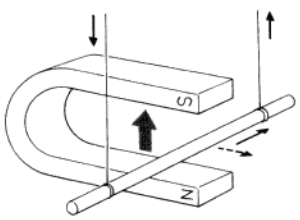

②改变电流的大小




③改变电流的方向




④改变磁场的方向

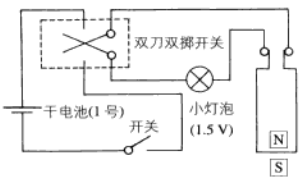



**【其他方法】将铝棒吊起来观察的方法**

1 提示 关于电源及电阻器，参照前一页 1 中的提示。

电流表的“－”接线柱使用5 A接线柱。吊起来的导线尽量选用软线。铝棒与裸导线的结合部分要紧密连接，以便电流容易通过。也可以用铜丝代替铝棒。

参考 将电源、开关、电阻(小灯泡)等安装在台板上做成演示装置，用起来会更加方便。可以参照下面的电路图及左边方框里的图进行制作。




2 提示 这个实验中的工作电流为0.5 A～1 A。如果铝棒不动，有可能是接触不良或磁铁的磁性太弱，需要检查。不要因为铝棒不动就盲目减小电阻或提高电压，那样会导致电流过大，非常危险。

在②中，可以多次改变电流的大小，但要注意不要使电流太大。

在③中改变电流的方向时，可以通过改变铁架台上木棒(一次性筷子)的连接方式实现。如果用改变电源部分的连接方式改变电流的方向，则必须同时改变电流表的连接方式。

材料与器具

漆包线　快速黏合剂　铜丝①　小灯泡　干电池　导线　记号针　磁铁②　订书钉　铁丝　手摇发电机2台　开关

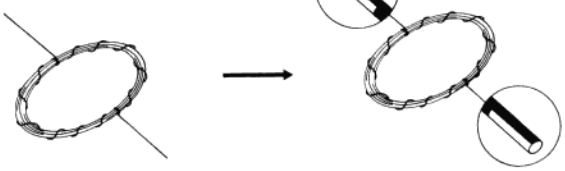
①最好是直径为1 mm左右的镀锡铜丝。②最好是铁磁体或铁氧体磁体。

# 160 制作电动机

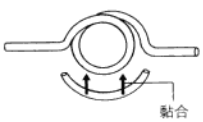
目标 小初　能制作简单的电动机，了解电动机的原理、结构及性能。

## 1 制作简单的电动机

①用漆包线制作线圈

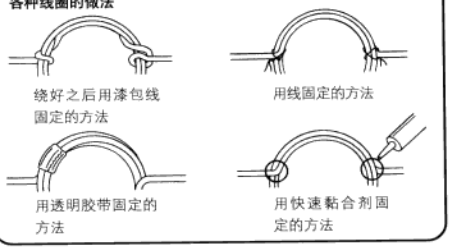


漆包线直径0.5 mm，绕2～20匝。　将引线两端的漆皮刮掉一侧。

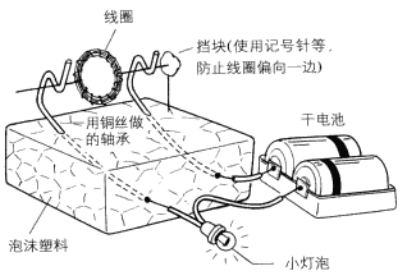



如果线圈比较小，上下重量会不平衡。这时可以在线圈上粘一个用剪下的漆包线做成的重物，保持平衡。

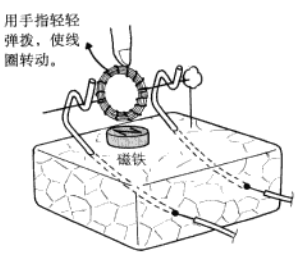
各种线圈的做法



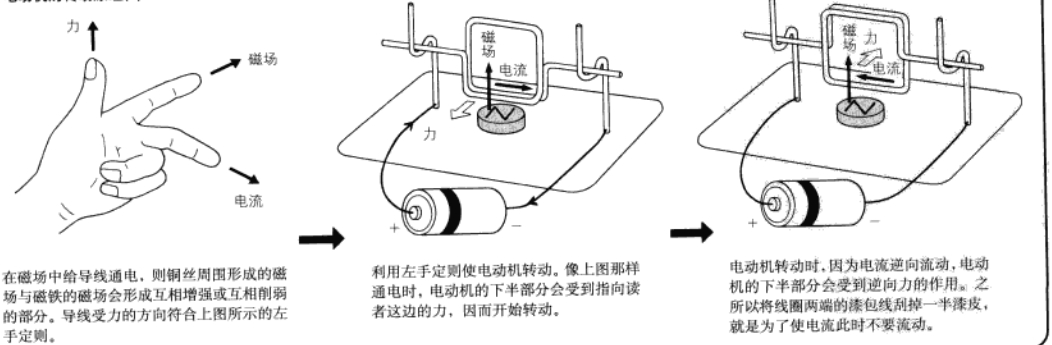

②组装电动机




③把磁铁放在线圈下，使线圈转起来




电动机的转动原理(1)




在磁场中给导线通电，则铜丝周围形成的磁场与磁铁的磁场会形成互相增强或互相削弱的部分。导线受力的方向符合上图所示的左手定则。

利用左手定则使电动机转动。像上图那样通电时，电动机的下半部分会受到指向读者这边的力，因而开始转动。

电动机转动时，因为电流逆向流动，电动机的下半部分会受到逆向力的作用。之所以将线圈两端的漆包线刮掉一半漆皮，就是为了使电流此时不要流动。

1 ①提示 线圈的直径为15 mm～30 mm。太小将难以操作；太大，虽然工作起来力量大，但是难以保持平衡。线圈的匝数在2～20匝之间，可以制作多个这个匝数范围内的线圈。刮去线圈两端的漆皮时，仅用刀片刮去一侧的漆皮。此时，将线圈竖直放置，刮去上侧的漆皮。

如果线圈上下重量不均衡，则不会旋转，因此要调整好。

② 提示 由于转子的重量与轴承角度之间的微妙关系，旋转有可能不顺畅；或者，由于轴上的漆皮刮得太多，以致不能旋转。轴承的形状与刮去漆皮的部分的大小不平衡等都可能造成很多问题，需要注意。

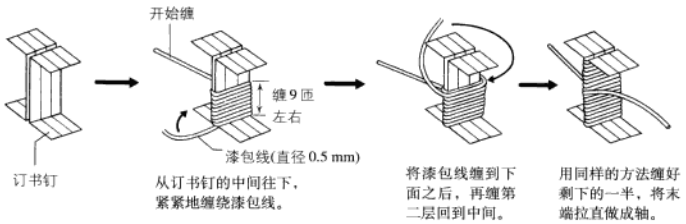
可以事先在电路中放入小灯泡。这样既能防止电流过大，又能看出接触不良及电池的消耗情况，非常方便。

参考 使电动机逆向转动，有以下三种方法：

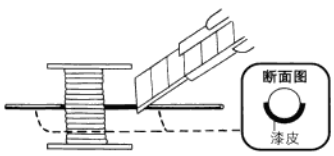
- 掉转磁铁的磁极；
- 使电流方向逆转；
- 刮线圈两端的漆皮时，刮去与①中相反的部分。

**2** 用订书钉制作电动机

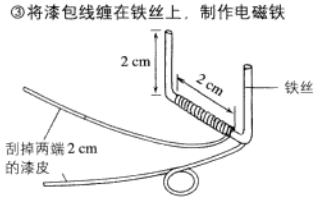
①将漆包线缠在订书钉上，制作电动机转子



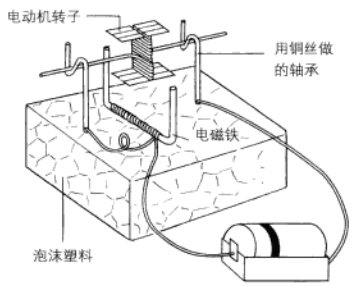

②将电动机转子两端漆包线的漆皮刮掉一面




③将漆包线缠在铁丝上，制作电磁铁




④组装电动机并试着让它转起来




如果连上电池后仍不转动，可用手指轻轻拨一下，使其转动。

**2** ③提示 铁丝越粗越好，不过细的比较容易加工。绕线时，开始部分留出 5 cm，结尾部分留出 10 cm 左右。

④提示 电动机转子的轴承与**1**中一样要注意平衡。将轴承牢牢地插在泡沫塑料台上固定好。电磁铁用透明胶带固定也可以。另外，将电磁铁换成永久磁铁也可以得到同样的结果。

可以根据需要，增添与**1**中的挡块一样的物品。

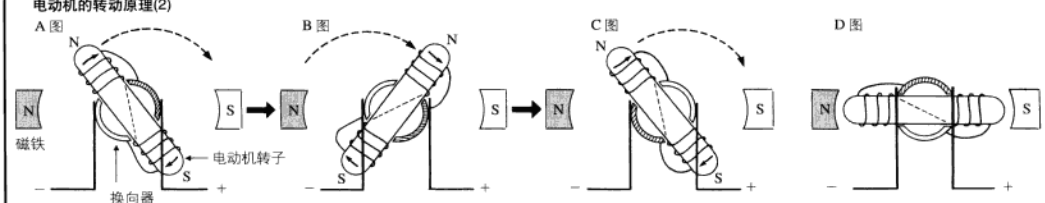
**3** ①参考 也可以用**1**和**2**中制作的电动机代替小灯泡。

说明 手摇发电机既可以作发电机，也可以作电动机，这个现象使得人们能够非常方便地理解电动机和发电机的结构相同这一事实。

接通开关的一瞬间，小灯泡很亮，原来静止的手摇发电机开始转动。随着手摇发电机的转速增加，小灯泡变暗；给旋转中的手摇发电机的轴增加负荷，小灯泡又会变亮，这就是手摇发电机电阻变小，大电流流过的时候。

② 说明 将两台手摇发电机连接起来，两人一组进行实验。摇动手柄时，一台起到发电机的作用，在其带动下发生转动的另一台则相当于电动机。

**电动机的转动原理(2)**




转到这个位置时，在靠近磁铁 N 极的地方会形成电动机转子的 N 极(S 极的情况也一样)。因为同极排斥，异极相吸，所以电动机转子按箭头方向旋转。

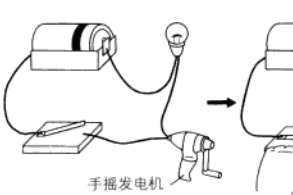
电动机转子转到这个位置时，因为磁铁与电动机转子的 N 极与 S 极的关系没变，所以继续按原来的方向旋转。

到了这个位置，利用换向器使得流经电动机转子的线圈的电流方向逆转，结果变成与 A 图相同的状态，电动机转子继续朝着同一方向旋转。

从这个位置开始就不能启动了。如果电动机在这里停止下来，就不转了。而且，因为电阻减小，还会导致电流过大。这是这种电动机的缺陷(只能靠转动惯性通过这个位置)。

**3** 研究电动机的性质

①研究流经电动机的电流的变化




接通开关，使手摇发电机转动，观察小灯泡亮度的变化。

②将两台手摇发电机连接起来，转动其中一台



按住正在转动的手摇发电机的轴，观察小灯泡亮度的变化。

材料与器具

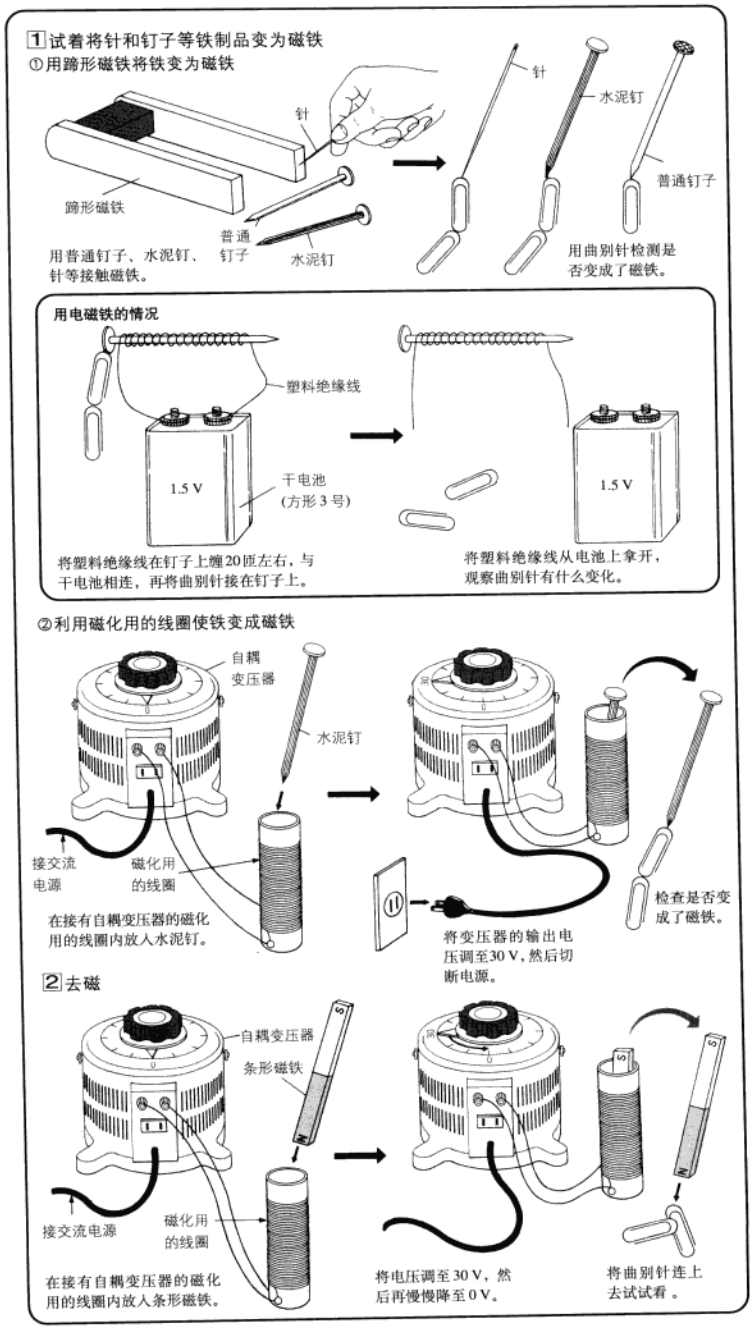
# 161 磁化与去磁实验

普通钉子　水泥钉　针　蹄形磁铁①　曲别针②　自耦变压器　磁化用的线圈　塑料绝缘线③　条形磁铁　干电池④

①最好是永久磁铁。②没有曲别针时，用其他小而轻的铁制物品代替也行。③漆包线也可以。④1.5 V的方形3号电池比较好用。

目标 小初

知道使铁磁化与去磁的方法。
理解磁性的概念；了解材料的磁化和去磁过程。




1 ①结果 可以知道，针及钉子等铁制品接触磁铁后会变成磁铁。另外还可以知道，与针和水泥钉相比，普通钉子的磁性不太强。

说明 使金属接近磁铁时，有的能被磁铁吸引，有的不能被吸引。被吸引的大都是铁、镍、铬系金属，钴也会被吸引。用这样的方法将铁、镍等金属变成磁铁时，有的金属（如针和水泥钉）能持续拥有较强的磁性，被称为硬磁性材料；有的金属（如工程纯铁、电磁铁的铁心等）没有这种特性，被称为软磁性材料。由此可见，仅仅通过接触磁铁就能使铁、镍等金属磁化。但对硬磁性材料来说，这样获得的磁性非常弱，用图中提到的办法很难确认其有磁性。

参考 还可以对电磁铁进行研究，并与永久磁铁进行比较。

将塑料绝缘线从干电池上拿开，电磁铁立刻大幅度丧失磁性。由此可知电磁铁与总是拥有磁性的永久磁铁的区别。

② 提示 因为在①中已经知道硬磁性材料(针和水泥钉)容易变为磁铁，所以这里使用水泥钉。

电压以30 V左右为宜。如果电压太高，磁化用的线圈就会发热或烧坏，要注意。

将自耦变压器的电线从插座上拔下，即可切断电源。不能使自耦变压器的指针打到0 V。

结果 因为能够吸引曲别针，所以能确认其已经变成磁铁了。

2 提示 与1②中不同，这里将电压调至30 V之后，还要慢慢回到0 V。

结果 因为曲别针不能被吸引，所以知道条形磁铁失去了磁性。

说明 进行这样的操作之后，如果还有磁性残留，则需重复相同的操作，直至最后完全消除磁性。

另外，可以用1②中的办法将这样经过去磁的条形磁铁重新磁化。

结果 从上面的情况可以知道，不仅被涂成蓝色或红色的条形磁铁及蹄形磁铁是磁铁，钉子、针等也能变成磁铁。也就是说，吸引铁的性质(磁性)是可以被赋予和消除的。

材料与器具

# 162 用螺线管和磁铁产生电流

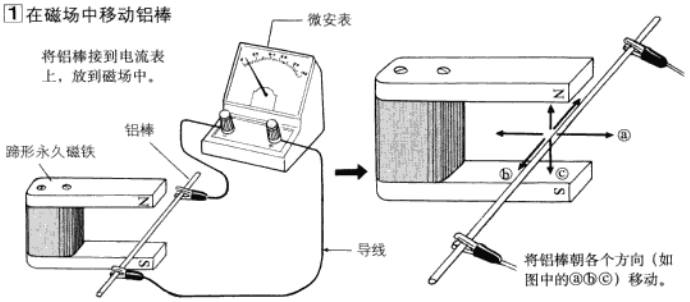
铝棒① 微安表 磁铁② 导线 螺线管③ 直流电流表 竹签 橡皮筋 胶卷盒 漆包线 铁架台 风筝线 透明胶带 手摇发电机

①直径3 mm～6 mm，②蹄形永久磁铁、条形永久磁铁、磁铁棒、钕磁铁等，③在直径为4 cm的线轴上缠上漆包线制成，准备两个：100匝和200匝的各一个。

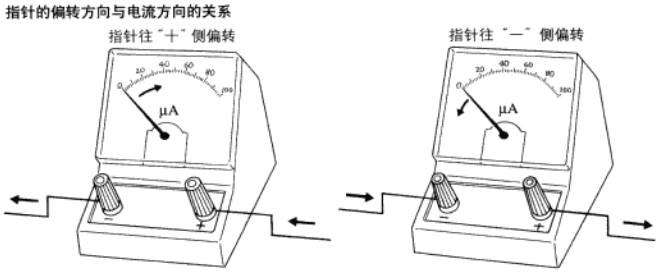
目标 初 知道在螺线管中移动磁铁（改变磁场）时，螺线管中会有感应电流产生。

知道随着条件的改变，感应电流的方向及大小也会改变。

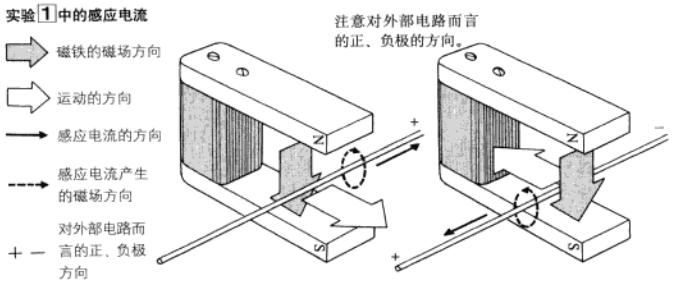
**1** 在磁场中移动铝棒




**指针的偏转方向与电流方向的关系**

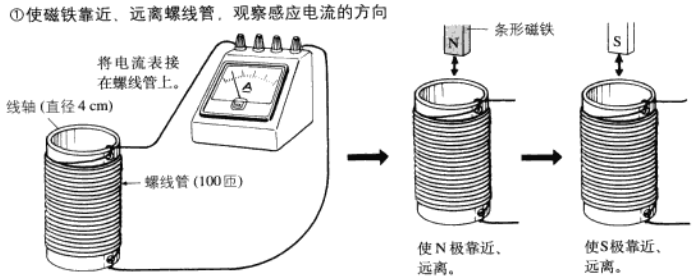



**实验 1 中的感应电流**




**2** 用螺线管和磁铁观察感应电流的方向及大小

①使磁铁靠近、远离螺线管，观察感应电流的方向



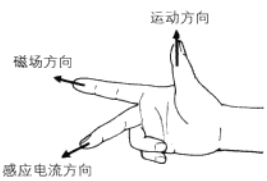

**1** 提示 尽可能选用强力型磁铁。可以用导线代替铝棒。

可以用微安表。如果没有，用直流电流表也可以，但电流的大小应在0.5 mA左右。

也可以将磁极的位置对调并进行观察。

能够证明感应电流的方向遵从右手定则。

**右手定则**




如果不事先掌握指针的偏转与电流的关系，就会招致混乱。参照左图，理解关系之后再进行实验。

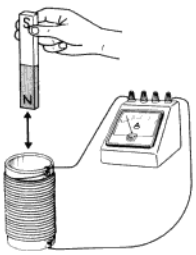
说明 当铝棒的运动垂直于磁场方向而与磁场相切时，会产生感应电流(左图ⓐ)。当铝棒的运动垂直于磁场方向，但沿铝棒的轴向(左图ⓑ)或者平行于磁场方向(左图ⓒ)时，不产生感应电流。

**2** ①提示 在使用螺线管的实验 **2** 和 **3** 中，不用微安表而用电流表也完全可以测定。另外，应再观察一下磁铁固定、螺线管移动的情况。

对反绕的螺线管也应进行观察。

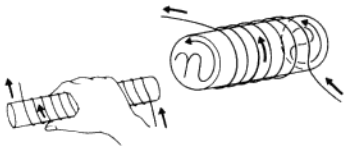
说明 使磁铁靠近、远离螺线管时，螺线管中会产生感应电流。感应电流的方向遵守楞次定律，往阻碍磁场变化的方向流动。

②观察磁铁的移动速度、磁场的强弱、螺线管的匝数等对感应电流的影响




- 改变磁铁的移动速度；
- 改变磁铁的磁性强弱（磁铁棒、条形永久磁铁）；
- 改变螺线管的匝数（100匝、200匝）。

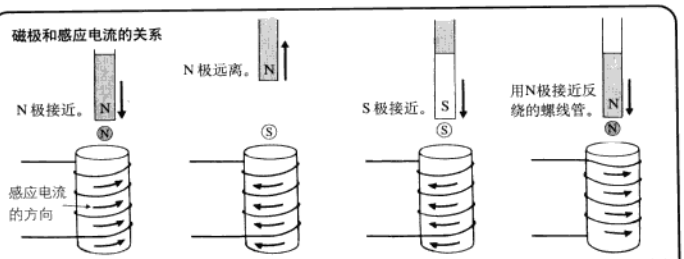
**了解螺线管内感应电流的方向**



右手法则：用右手握住螺线管，当电流沿着除拇指之外其余四指的指根到指尖的方向流动时，拇指所指的方向就是N极。

在螺线管的两端放上N和S符号进行观察（在上图中，S要从内侧才能看见）。

**磁极和感应电流的关系**




感应电流朝着使螺线管上端成为N极的方向流动。

感应电流朝着使螺线管上端成为S极的方向流动。

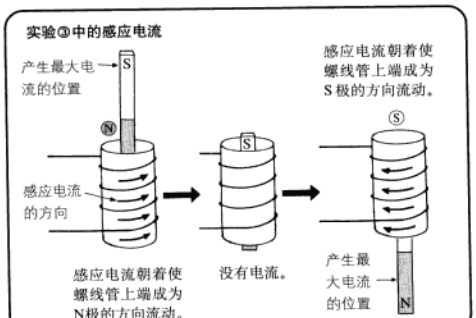
感应电流朝着使螺线管上端成为S极的方向流动。

感应电流朝着使螺线管上端成为N极的方向流动。

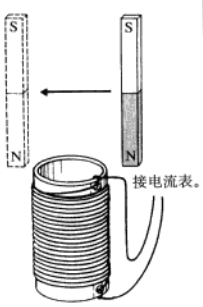
③观察磁铁通过螺线管时产生的感应电流



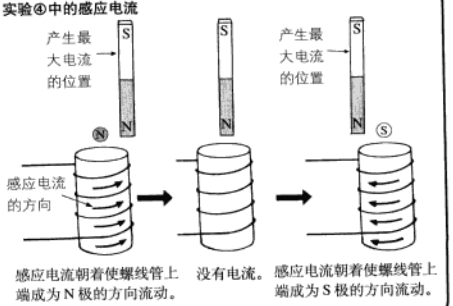

**实验③中的感应电流**




④沿着平行于螺线管横断面的方向移动磁铁




**实验④中的感应电流**




② 提示 可以使用与①中相同的实验装置，但是为了提高测量的精度，最好使用微安表。使用直接用漆包线绕成的螺线管，比使用绕在线轴上的螺线管产生的电流大且易于理解。

说明 移动磁铁的速度越快，磁铁的磁性越强；螺线管的匝数越多，产生的电流越强。

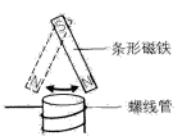
③ 提示 不要使用直径太大的螺线管。

在磁铁上装上竹签等细棒，慢慢移动。

可以分别对磁铁与螺线管的长度相同及磁铁比螺线管的长度短时的情况进行观察。

说明 磁铁比螺线管短的情况下，把磁铁完全放入螺线管中不会产生电流。这是因为，由磁场变化产生的感应电动势，在螺线管内被互相抵消了。

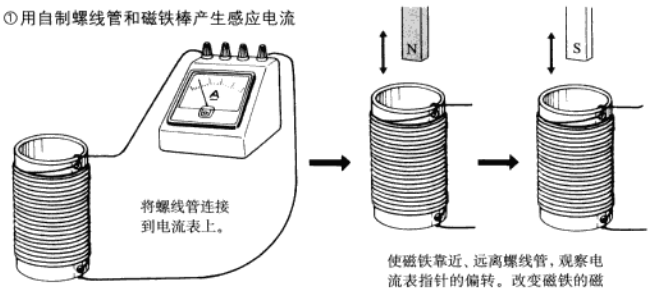
④ 提示 这里，也是使用只用漆包线绕成的螺线管产生的电流大且易于明白。也可以对磁铁做如下图所示的运动时的情况进行观察。



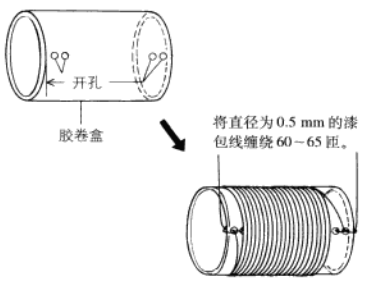

说明 将磁铁沿着平行于螺线管横断面的方向移动时，也会产生感应电流。但是，与将磁铁往螺线管中插入和从螺线管中取出时的情况相比，电流要小得多。此时，电流的方向也遵守楞次定律，这一点没有改变。

**3** 用自制螺线管发电

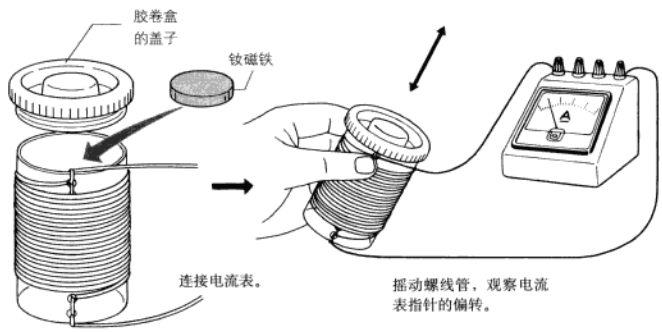
①用自制螺线管和磁铁棒产生感应电流



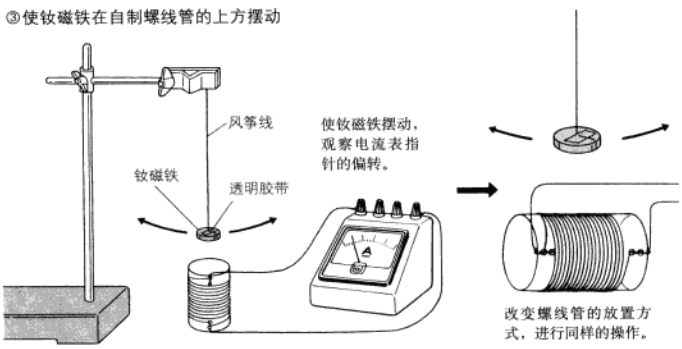

**螺线管的做法**



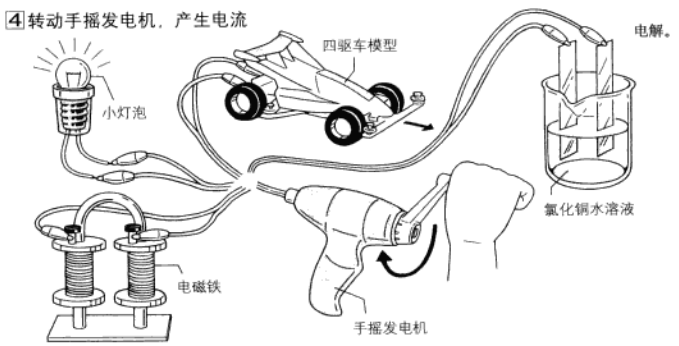

②将钕磁铁放入自制的螺线管中，摇动




③使钕磁铁在自制螺线管的上方摆动




**4** 转动手摇发电机，产生电流




**3** ①提示 这里不需要对电流的方向作太多说明，只要让学生注意到仅在磁铁运动时电流才会产生这一情况就行了。

说明 螺线管中产生感应电流，使得电流表的指针偏转。

② 提示 只要让学生注意到磁铁移动时有感应电流产生这一情况就行了。

说明 在胶卷盒中放入钕磁铁，摇动，可以产生感应电流。

③ 提示 使钕磁铁的两极分别朝着上、下两个方向，用线吊起。用多种方法改变螺线管的放置方式。此时，因为感应电流很小，应尽量缩短螺线管和磁铁间的距离。

**4** 说明 这里，应让学生领会：磁铁和螺线管在动能转化成电能时起到了媒介的作用。让学生理解电能可以被转化成其他形式的能而做各种功。

提示 钕磁铁能得到大至12 V × 1 A的电功率。另外，如果转动方向相反，电流的方向也会相反。因此，电解时要特别注意电流的方向。

材料与器具

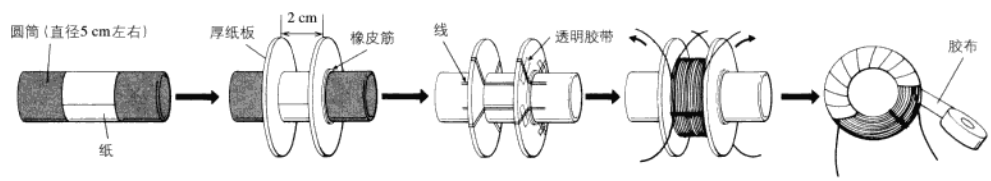
# 163 研究感应电流的方向

目标 初 可以用发光二极管研究并发现：在线圈中移动磁铁时，磁场发生改变，线圈内会有感应电流产生。
能观察感应电流的方向。

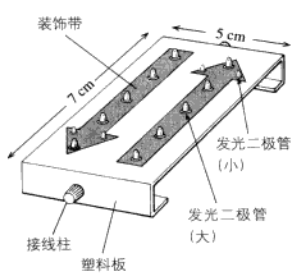
圆筒① 纸 厚纸板 橡皮筋 线 透明胶带 漆包线(直径0.2 mm～0.4 mm) 胶布 塑料板② 装饰带(红色) 发光二极管(大10个，小4个) 接线柱2个 导线 蹄形永久磁铁 工具

①直径5 cm、长15 cm左右的塑料圆筒或玻璃瓶。②有机玻璃板、聚氯乙烯塑料板等。厚纸板也可以。

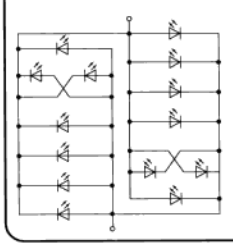
## 1 制作线圈




## 2 用发光二极管制作检流计

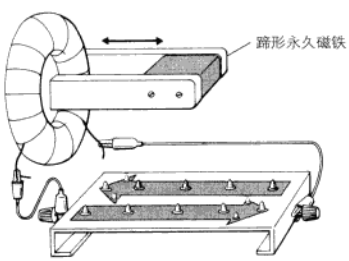



**电路图与发光二极管的极性**

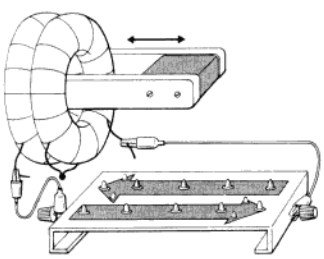



## 3 在线圈中移动磁铁，观察电流的方向

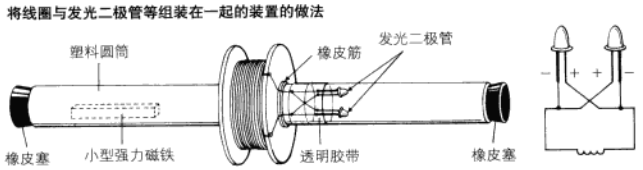
①在一个线圈中移动磁铁




②在两个并联或串联的线圈中移动磁铁



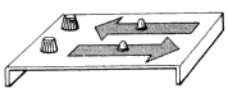
**将线圈与发光二极管等组装在一起的装置的做法**




ⓐ 在用绝缘胶木或硬塑料制成的光滑圆筒（直径1.5 cm，长20 cm左右）里，放入铁氧体之类的小型强力磁铁，两端塞上橡皮塞；
ⓑ 在中间部分间隔2 cm套上两个用厚纸板做的轮子，两端用橡皮筋固定；
ⓒ 在两个用厚纸板做的轮子中间绕1 000匝漆包线；
ⓓ 将两个发光二极管反向连接，用透明胶带固定。

1 提示 缠绕1 000匝时使用直径为0.4 mm的漆包线，缠绕3 000匝时使用直径为0.2 mm左右的漆包线。尽可能细心缠绕，以保证实验效果。
预先准备好1 000匝、2 000匝、3 000匝等匝数不同的线圈。

2 提示 发光二极管当中，有红、黄、绿等各种颜色的，其中红色的容易观察，效果好。装饰带是铝制的(背面有胶，红色)。为了防止短路，事先要剪掉接在发光二极管脚周围的装饰带。
这里，五个大二极管、两个小二极管组成一组，共使用两组这样的发光二极管。也可以使用如下简单装置。



3 说明 在使用500匝的线圈和蹄形永久磁铁的情况下，快速移动时，七个一组的二极管会瞬间发光。使用1 000匝以上的线圈时，发光效果更好。到了3 000匝，即使慢慢移动，二极管也能发光。将两个1 000匝的线圈，绕法和电流方向均相同地串联在一起，比一个时更亮。但是，如果两个线圈的绕法相反，则不会发光。并联情况下，因为两个线圈的电压达到最大值的时间有差异，会发出非常复杂的光线。

参考 像左面方框里的图那样，最好制作一个将线圈和发光二极管等组装在一起的实验装置。此时，用手握住两端，剧烈摇动，会使发光二极管交替闪亮。

# 164 制作发电机

目标 初 能应用电磁感应原理，用线圈和磁铁制作发电机。
知道发电机和电动机的结构基本相同。

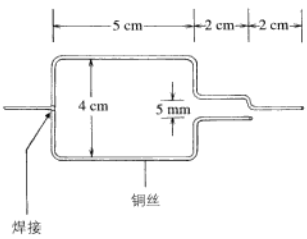
材料与器具

铜丝 焊锡 烙铁 胶合板 磁铁① 交流电流表 直流电流表 透明胶带 竹签 铜板 线 黏合剂 图钉 胶卷盒 橡皮塞(2号) 铝棒 导线 模型专用电动机3个 小灯泡 干电池 开关

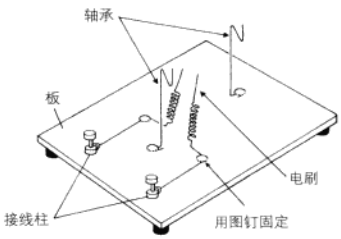
①准备两块磁铁，一块是永久磁铁，一块是钕磁铁。

## 1 制作单线圈发电机

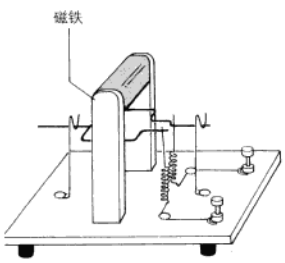
①制作发电机转子



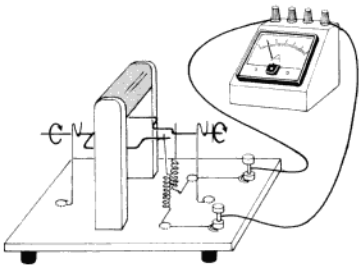

②将轴承与电刷装在板上




③将发电机转子放在轴承上，放好磁铁

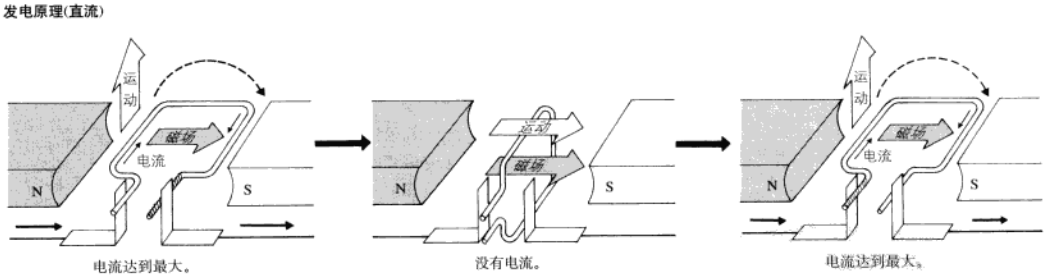



④连接电流表，用手指拨动发电机转子



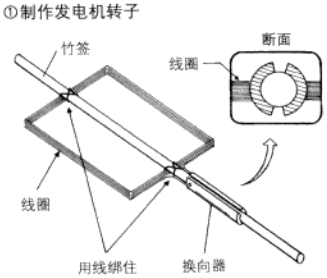
1 ①说明 这个发电机转子，是靠铜丝的一部分起到换向器作用的。
提示 不要将发电机转子做得太重，建议使用直径1 mm左右的铜丝。
② 提示 轴承可以用直径1.2 mm左右的铜丝制作。
电刷可以用直径0.3 mm的铜丝制作。将下部做成线圈状，使之具有弹性。板最好是7 cm × 12 cm左右的胶合板。胶合板的下面最好装上橡胶垫脚。
在电流的引出口装上接线柱。
③ 提示 尽量选用强力磁铁。
④ 说明 使用蹄形永久磁铁时，用微安表(量程100 μA)能看到指针偏转1 μA左右。如果用普通的电流表测量，则即使接到50 mA接线柱上，指针也只会轻微摆动。

发电原理(直流)

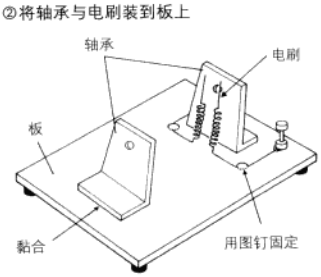



## 2 制作直流发电机

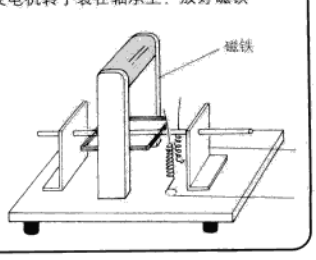
①制作发电机转子




②将轴承与电刷装到板上



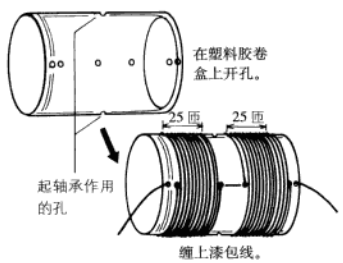

③将发电机转子装在轴承上，放好磁铁



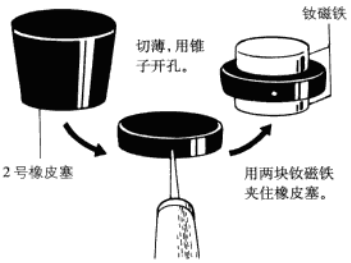
**3** 制作交流发电机

①在线圈中转动磁铁

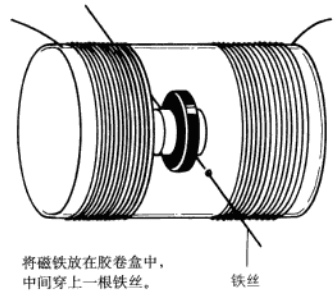
ⓐ制作线圈



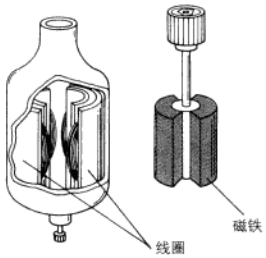

ⓑ将钕磁铁装在橡皮塞上




ⓒ组装发电机

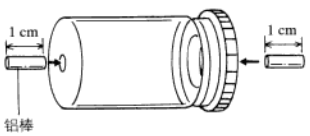



**电动自行车专用发电机的结构**

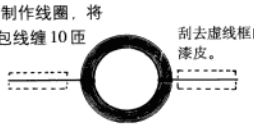



②在磁场中使线圈转动

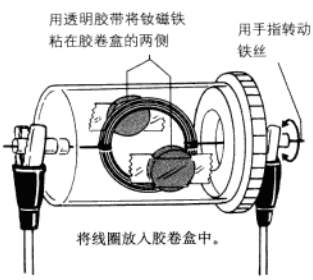
ⓐ在胶卷盒上开孔，插入铝棒



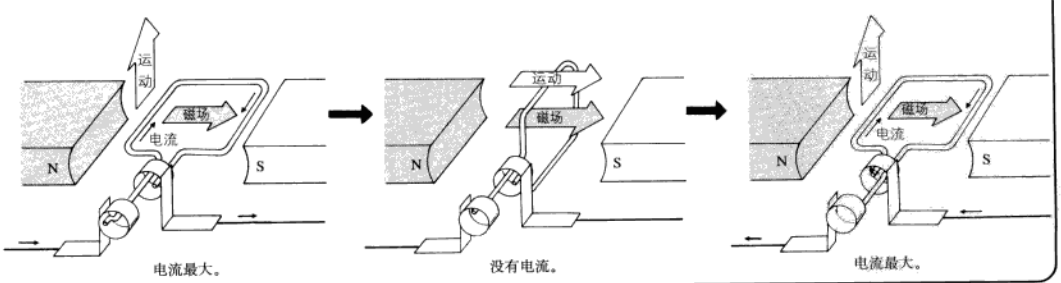

ⓑ制作线圈，将漆包线缠 10 匝




ⓒ组装发电机




**发电原理(交流)**




**2** 说明 这是一种使用密绕线圈的装置，比**1**中的发电机性能稍微好一点。

① 提示 线圈用直径为0.2 mm的漆包线缠绕10匝左右制成。

可以用两块长度为2 cm左右的细长铜板制作换向器，并用黏合剂固定在竹签上，将线圈的线焊上。

② 提示 用铝板制作轴承，并用黏合剂粘在板上。

用直径为0.6 mm的铜丝制作电刷，并将下部做成线圈状，使之具有弹性。关于板，参照**1**②中的提示。

③ 提示 完成之后，与**1**④中一样，连接电流表，用手指轻轻拨动发电机转子。

说明 因为是只缠了10匝的线圈，发电能力很弱，但是如果接在电流表的50 mA接线柱上，就能观察到20 mA～30 mA的电流。

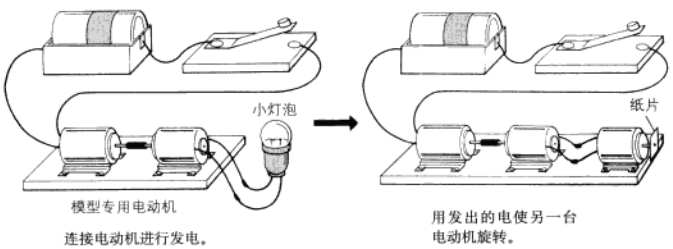
**3** ① 提示 线圈分别绕25匝左右就行。用锥子在橡皮塞上开孔，然后切成5 mm～10 mm厚的薄片，并在上面和下面装上磁铁，放入胶卷盒中，中间穿上一根铁丝。

② 提示 直径为0.5 mm以上的漆包线就足够了。在适当大小的圆柱体形物体上缠上10匝左右的漆包线，将两端固定，便可做成线圈。事先刮掉线圈两端漆包线的绝缘皮。

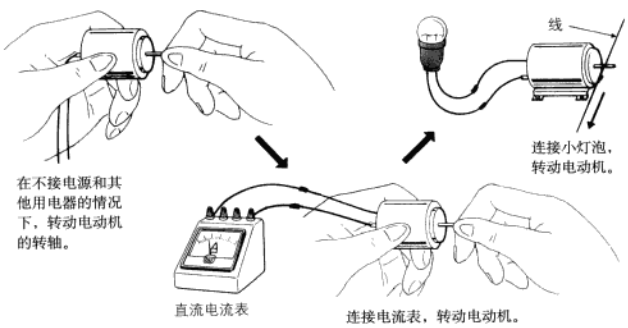
说明 用在线圈中转动磁铁的方法做成的发电机，无须制作从线圈中获得电流用的接点，所以结构简单，容易制作。能够得到的电流，是频率与转数相应的交流电。自行车上的发电机也是这样的结构。需要直流电时，在外部装上二极管整流器即可。

**4** 研究发电机的性质

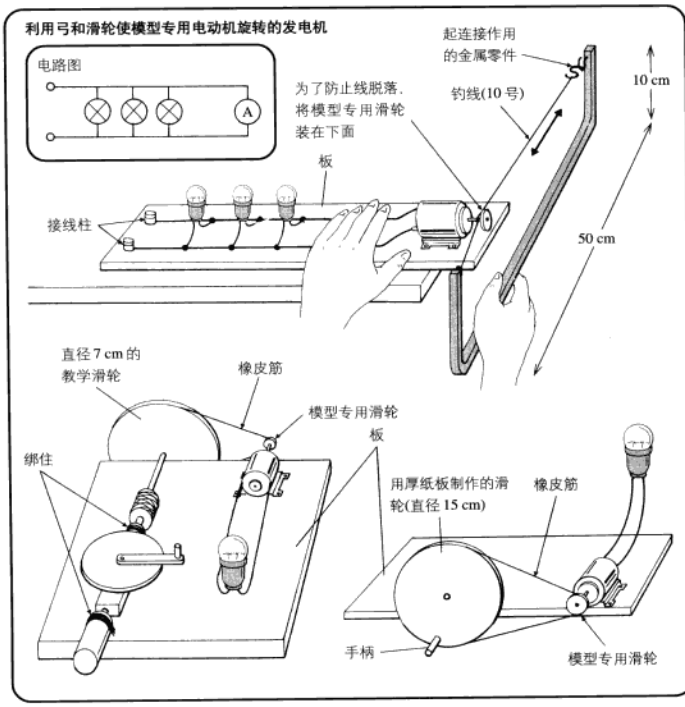
①通过研究知道发电机与电动机的结构基本相同




②用电动机发电




**利用弓和滑轮使模型专用电动机旋转的发电机**




**4** ①提示 连接电动机的转轴时，最好使用柔软的接头，可以用比转轴粗一点的塑料导线的绝缘外套。

说明 第一台电动机接在干电池上，第二台电动机接在第一台上。当第二台电动机旋转时，小灯泡发光。如果用另外一台电动机取代小灯泡，该电动机也会旋转。这种实验方法的缺点是：因为第一台电动机是接在干电池上的，所以有的学生会误以为第二台电动机也是在干电池的驱动下发生转动的。还有一个缺点就是，很难看出电动机的功转变为电流这一情况。

②提示 连接小灯泡并使电动机转动时，不要用手摇，而要用线拉。将线在转轴上绕紧，左手轻轻按住一端，右手用力拉另一端。

说明 用指尖转动电动机的轴，在不接电源和小灯泡的时候，因为是空转，所以很轻。但是接上电流表之后，如果让电路短路，就不再是空转状态，电动机的轴也便随之变重。这是因为电动机的功转化成了电能。将线在转轴上绕一圈拉一下，小灯泡发光。接上电流表时能够流过2 A～3 A的短路电流。

参考 将模型专用电动机作为发电机使用时，利用弓或者滑轮容易发电(参照左面方框里的图)。

用弓发电时，在电动机上并联三个小灯泡的灯座，一个，两个，三个，这样一个接一个地增加小灯泡的数量。如此一来，拉弓就会越来越费力。并联一个小灯泡的时候，如果弓的移动太快，灯丝有可能烧断，要注意。然后，拆除小灯泡，将电流表接在接线柱上，测量短路电流，就会知道大约流过了3 A的电流。整个过程中，人能感觉到拉弓越来越费力了。同样，用电压表测量电压时，能看出电压值为2 V。此时，因为推弓和拉弓产生的电流方向不同，所以要注意弓的移动方式。从这个意义上说，在转轴上接上带有纸片等物品的其他电动机，或者接上用发光二极管确认电流方向的装置(参看【163】)进行实验，能清楚地看到电流方向随着弓的移动方向而改变的现象。

在使用滑轮的方法中，使用手摇钻能使工作变得简单，耐久性也好。直接转动滑轮时，滑轮的轴很难固定。可以用厚纸板制作滑轮。

材料与器具

# 165 研究感应电流的大小

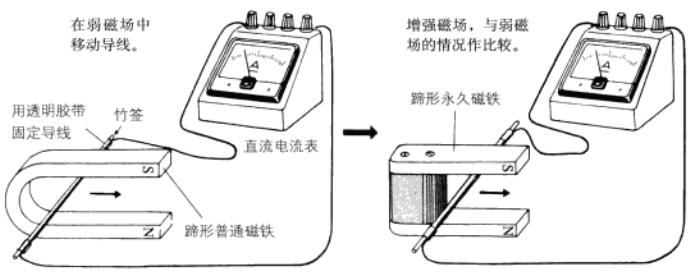
目标 初高

知道感应电流的大小与磁场强度、线圈的匝数、线圈的横截面积、线圈内有无铁心、磁场变化的速度等因素有关。

**磁铁**(蹄形普通磁铁、蹄形永久磁铁、条形磁铁) **竹签** **导线**① **透明胶带** **直流电流表** **塑料管**② **漆包线**(直径 0.3 mm) **铁丝**(直径 2 mm)

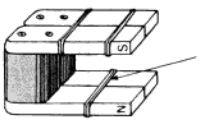
①塑料单芯导线最好。②外径分别为 1 cm、2 cm、3 cm 等不同规格的管。

## 1 研究电流与磁场强度的关系




1 提示 改变磁场强度时，不要改变导线的移动速度。

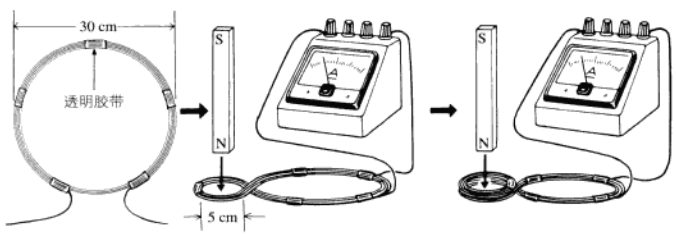
再用两个蹄形永久磁铁做实验。




说明 增强磁场，则感应电流变大。

参考 用10匝的线圈代替导线，会更加容易明白电流的变化。

## 2 研究电流与线圈匝数的关系




用细的塑料单芯导线制作10匝的线圈。

将磁铁放入一层线圈(10 匝)中。

将磁铁放入两层线圈(20匝)中，与一层时作比较。

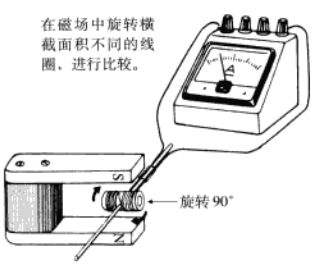
2 提示 也可以用三层线圈(30 匝)、四层线圈(40 匝)进行实验。

将线圈扎起来改变匝数时，注意不要改变有磁铁通过的线圈围成的面积。

说明 增加线圈的匝数，则感应电流变大。

用三层线圈(30匝)、四层线圈(40匝)进行实验，将数据制成图像就能看出感应电流的大小与线圈匝数成正比。

## 3 研究电流与线圈横截面积的关系



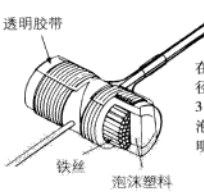

**用塑料管作轴的线圈的做法**




3 提示 改变线圈的横截面积时，不要改变线圈的旋转速度。

说明 增大线圈的横截面积，则感应电流变大。

4 提示 使用3中的线圈就行。按照下面的方法在线圈中间放入铁心。

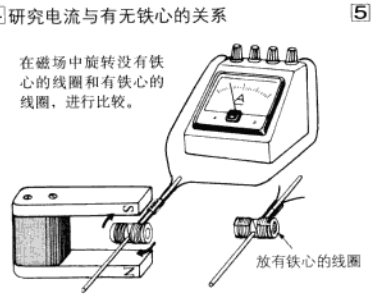



多次改变放在塑料管里的铁丝的数量，进行实验。

旋转放有铁心的线圈时，注意铁心不要被磁铁吸住。可以用手扶着线圈旋转。

说明 即使线圈的条件相同，放入铁心时感应电流也会急剧增大。

## 4 研究电流与有无铁心的关系




## 5 研究电流与线圈移动速度的关系




5 提示 使用2中的线圈即可。

说明 线圈的移动速度越快，感应电流越大。

# 166 研究直流电与交流电的区别

目标 初

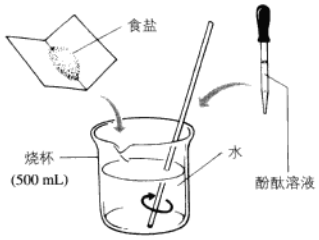
能根据电流发生的化学变化、白炽灯的发光情况、电流的磁力作用等方面说明电流的作用。
能利用交流电与直流电实验结果的不同，说明交流电与直流电的区别。

烧杯(500 mL) 搅拌棒 食盐 酚酞溶液 滤纸 金属板① 多用电表的检验棒 电源装置 导线 频闪观测器 白炽灯 荧光灯 真空管用电源装置 氖管 开关 无线电用电阻(10 Ω左右) 铁架台 旋转镜 镍铬丝电阻器 小灯泡 扼流圈 电容器(5 μF～10 μF) 镀锌铁板 钉子 漆包线 铝棒 磁针 一次性筷子 条形磁铁 示波器

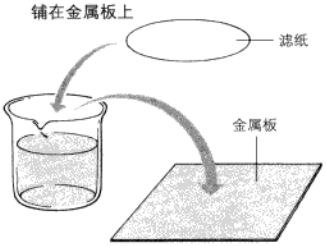
①镀锌铁板、铜板等。

**1** 利用食盐水的电解过程进行研究

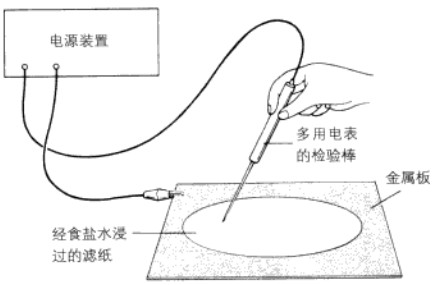
①制作浓食盐水，加入酚酞溶液

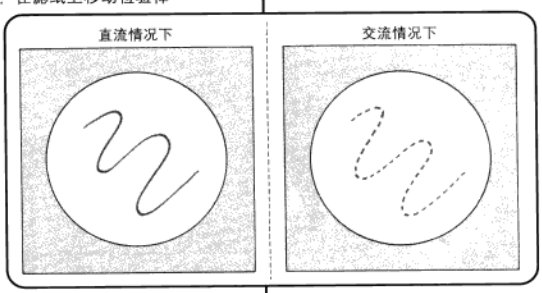



②将滤纸浸在食盐水中，取出后铺在金属板上

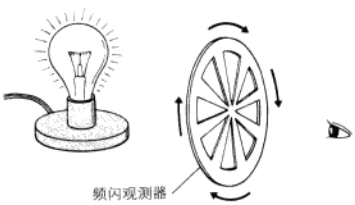



③将金属板与多用电表的检验棒连接到直流及交流电源上，在滤纸上移动检验棒

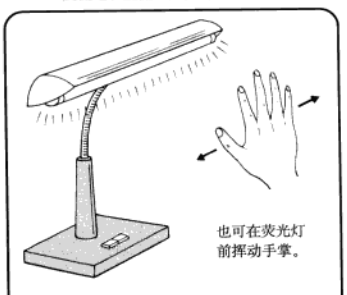


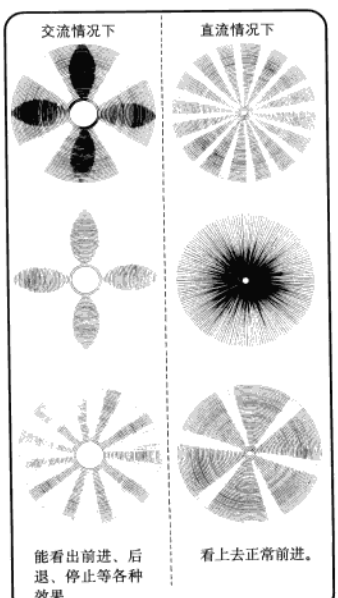




**2** 利用频闪观测器进行研究




用旋转的频闪观测器，分别观察用交流电和直流电点亮的白炽灯。




**1** ①提示 加入10滴左右的酚酞溶液即可。

②提示 将在食盐水中浸过的滤纸铺在金属板上时，应使滤纸紧贴在金属板上。

③提示 不用电源装置作为电源时，可以用干电池作为直流电源，用自耦变压器作为交流电源。不管是哪种电源，工作电压均应在3 V～5 V的范围内。

接在直流电源上时，把金属板接在电源的“＋”接线柱上，把检验棒接到“－”接线柱上。

在滤纸上移动检验棒时，动作要快。如果动作太慢，用交流电做实验时就不能得出令人满意的实验结果。

结果 检验棒的移动轨迹，在直流情况下是红色的实线，在交流情况下是红色的虚线。

说明 检验棒的移动轨迹之所以变为红色，是因为电解后的食盐水在负极产生了氢氧化钠，因为碱性的作用，酚酞溶液就变成红色的了。

**2** 提示 也可以用电扇代替频闪观测器。使用电扇时，通过转动的叶片观看即可。在交流情况下，对白炽灯和荧光灯分别进行测试。此时，使用一根灯管的荧光灯比两根灯管的荧光灯要好。

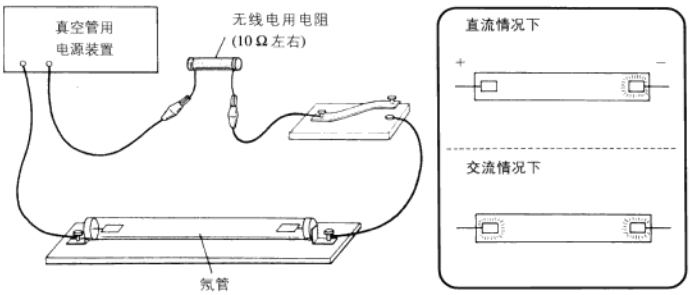
注意 绝对不要将手指及检验棒伸入旋转的电扇中。

结果 直流情况下，影子看上去跟平时一样正常旋转，但在交流情况下，影子既会前进，也会后退，还会停止，看到的现象很复杂。这种图像，因频闪观测器的旋转速度不同而不同。

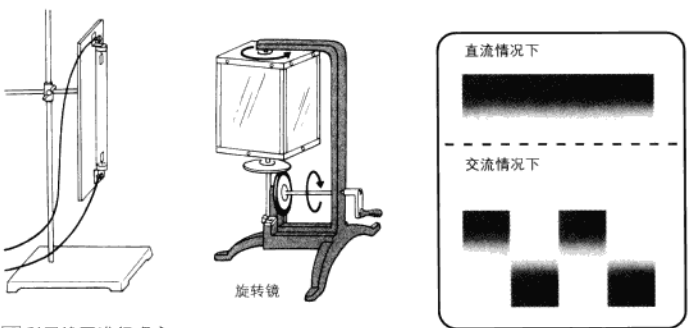
参考 即使不使用频闪观测器，也可以进行同样的测试。在用交流电发光的物体(如荧光灯、电视机等)及用直流电发光的物体(如实验用的小灯泡)前面挥动手掌，在交流的情况下，能看见手指闪动，但在直流情况下就看不见这种闪动。

**3** 利用氖管进行研究

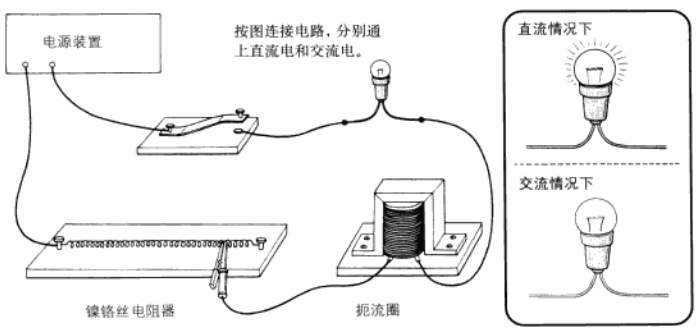
①将氖管接在真空管用电源装置上，分别通上直流电和交流电



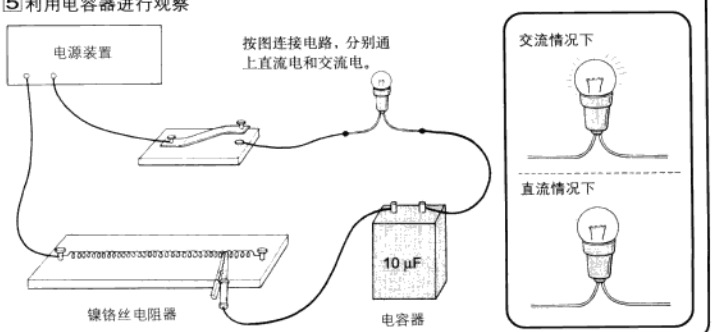

②使氖管发出的光照射在旋转镜上




**4** 利用线圈进行观察




**5** 利用电容器进行观察




**3** ①**提示** 在电路中事先串联10 Ω左右的无线电用电阻。

**结果** 可以看出：通交流电时，氖管两端都发光；通直流电时，只有负极发光。

② **结果** 通过旋转镜观看发光的氖管可以发现：即使在两极都发光的交流情况下，也不是两极同时发光，而是交替发光。也就是说，可以知道在交流情况下，正负极在相互交替地变化着。

**4** **提示** 连接电路时，先将镍铬丝电阻器(或变阻器)的电阻调至最大。

连好电路之后，首先用直流电进行实验。给电路通上直流电，然后一点一点地减小电阻；一旦小灯泡发光，就停止减小电阻。维持这样大小的电阻，观察用交流电能否点亮小灯泡。如果电阻过小，小灯泡的灯丝就会烧断，这一点要注意。

**结果** 直流电能点亮小灯泡，交流电却不能，这是因为交变电流难以通过线圈的缘故。

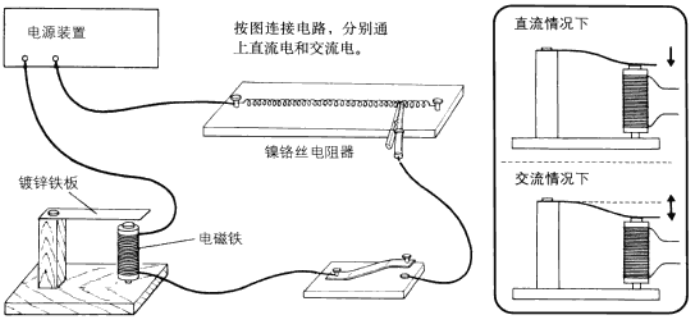
**5** **提示** 采用与**4**中相同的电路，但把扼流圈换成电容器进行实验。

电容器以5 μF～10 μF为宜。

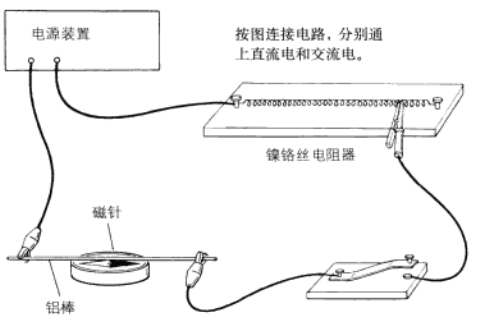
连好电路之后，与**4**中相反，先用交流电进行实验。关于此后的操作方法等内容，参看**4**中的提示。

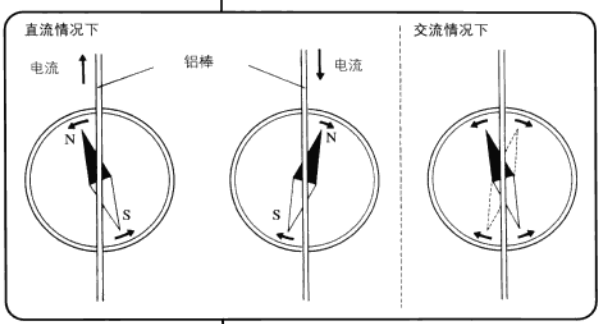
**结果** 通交流电时，小灯泡发光；通直流电时，小灯泡不亮。这是因为直流电不能通过电容器。

**6** 利用电磁铁进行观察

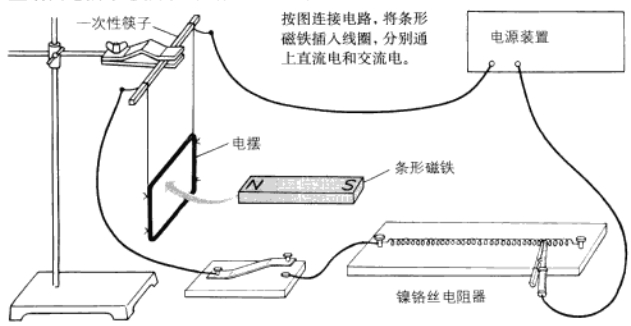


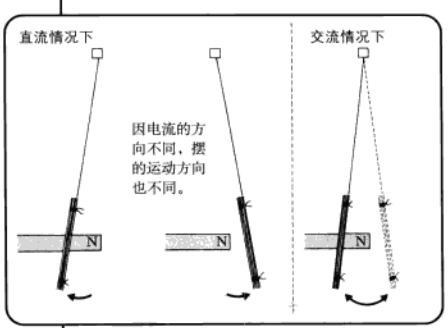

**7** 利用磁针和电流的磁力作用进行观察



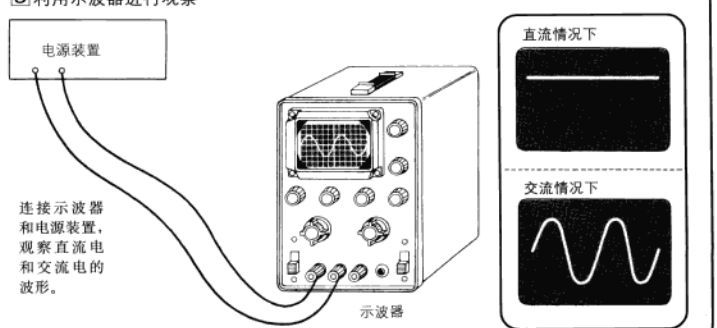




**8** 利用电摆与电流的磁力作用进行研究




**9** 利用示波器进行观察




**6** 说明 在长度为 10 cm 的钉子上，缠上漆包线，做成电磁铁，然后将此钉子钉在板上。通电确认变化之后，不要使开关长时间接通，要马上断开。(**7** 和 **8** 中也一样。)

结果 通直流电时，镀锌铁板始终被吸住；通交流电时，镀锌铁板时而被吸住，时而分开，发生振动。交流时发生振动，这一点与汽笛的工作原理相同。

**7** 提示 在磁针上放置铝棒(铜丝也可以)时，应使棒和磁针平行。

直流情况下，将电流的方向逆转再进行研究。(**8** 中也一样。)

结果 通直流电时，磁针偏转到一定的角度就会停下来，可以看出磁针的偏转方向会因电流方向的不同而不同；通交流电时，磁针左右摆动。

**8** 提示 用直径为 0.5 mm 左右的漆包线缠绕 10 匝左右做成电摆。

结果 通直流电时，电摆摆动到一定角度之后便停下来，运动方向因电流的方向不同而不同；通交流电时，摆会左右摆动。

**9** 提示 示波器的操作方法参照【167】。

结果 通直流电时，波形是一条平行于水平轴的直线，这是因为电压和电流的方向是固定的；通交流电时，波形则是一条以水平轴为中心的正弦曲线，这是因为电压和电流的方向随着时间的变化而变化的缘故。

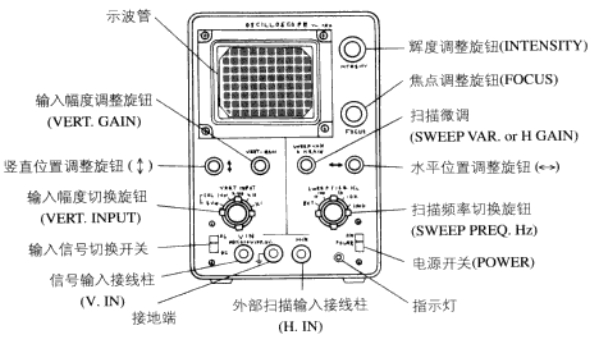
# 167 用示波器观察直流电和交流电的波形

示波器　电源装置　导线

目标　初

学会操作示波器。
将交流电压和直流电压加到示波器上，可以用示波管观察到二者的不同。

## 1 调整示波器




ⓐ 接通电源，检查指示灯是否亮；
ⓑ 预热 5 min；
ⓒ 使用扫描频率切换旋钮调整到直线图像出现（此时不能变为 EXT）；
ⓓ 利用水平位置调整旋钮和竖直位置调整旋钮将直线图像调整到画面的中央；
ⓔ 使用辉度调整旋钮和焦点调整旋钮调整图像的辉度及焦点。

**1** 说明 示波器有多种类型，左图是其中的一例。关于各开关及旋钮的操作方法请参照方框中的说明。

提示 设置示波器时，为了看清图像(波形)，要避免日光或荧光灯发出的光线直射在电子束管上。

使用时，应尽可能将外壳接地。

接通电源，光点仍不出现时，操作水平位置调整旋钮和竖直位置调整旋钮。

注意 接通电源则出现光点。此时，不能将扫描频率切换旋钮一直置于 EXT 挡，否则光点可能会损坏屏幕。

**辉度调整旋钮**　调整图像的亮度。

图像暗，看不清楚。 ⇨ 使之变亮，变清晰。

**水平位置调整旋钮**　使水平居中。

太偏左。 ⇨ 居中。

**输入幅度调整旋钮**　微调输入电压。

输入电压太高。 ⇨ 得到适中电压。

**焦点调整旋钮**　调整图像的焦点。

图像模糊。 ⇨ 使之清晰。

**竖直位置调整旋钮**　使竖直居中。

太靠上。 ⇨ 居中。

**输入幅度切换旋钮**　将输入电压切换成适中的电压。例如：用 CAL 打开输入电压开关，如果使之 × 100，输入电压应低于 1/100。

**扫描微调**　微调水平扫描频率。

图像左右移动、重合。 ⇨ 正确

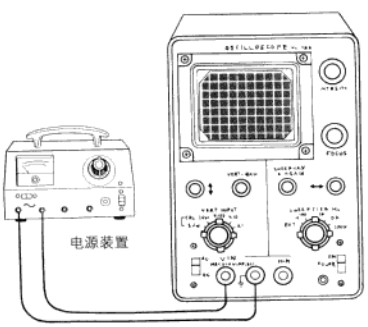
**扫描频率切换旋钮**　切换扫描频率。

低 ⇔ 中 ⇔ 高

**输入信号切换开关**　根据观察目的，切换DC和AC。

- DC——观察直流、交流、直流和交流重合等信号。
- AC——从直流和交流重合信号中导出交流成分时使用。

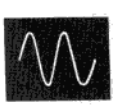
## 2 将电源装置接到示波器上，观察交流电和直流电的波形




ⓐ 利用示波器的信号输入接线柱和接地端连接示波器的输入接线柱和电源装置的交流输出接线柱。
ⓑ 接通电源，将电源电压调到 5 V。
ⓒ 调整输入幅度(将输入幅度切换旋钮打到CAL，则输入电压被显示。根据此数值，将旋钮切换到能得到竖直轴上适当显示的位置。然后，用输入幅度调整旋钮调出适当的显示)。
ⓓ 调整频率，使波形的运动停止，进行观察。
ⓔ 用与交流电相同的方法对直流电进行观察。

**2** 注意 刚开始时应尽量用输入幅度旋钮将幅度变小，然后一边监视图像一边慢慢调大。如果最初就将幅度调得很大，可能会引起机器故障。

结果 用示波器观察交流电和直流电的波形，就会发现二者分别呈下列形状：


交流电


直流电

# 168 研究变压器的原理

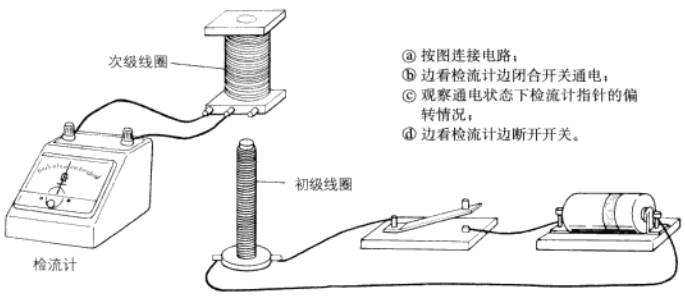
目标 初 能够看出：给相对的两个线圈中的一个接通交流电，另一个线圈中便会随之产生交变电流。
能够知道：在次级线圈中产生的电压的大小，与线圈的匝数成正比。

线圈① 检流计 干电池 开关 导线 铁心 放入内铁型铁心的变压器 放入外铁型铁心的变压器 铁丝(直径0.5 mm) 钢丝钳 纸 透明胶带 漆包线(直径0.5 mm) 电源装置 交流电压表2个 交流电流表2个

①各种匝数的线圈，也可使用靠接线柱改变匝数的线圈。

1 将两个线圈相对放置，给其中一个接通直流电

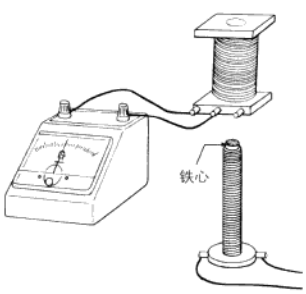
①给初级线圈通上直流电，观察连接在次级线圈上的检流计指针的偏转情况




②增加次级线圈的匝数，重做①

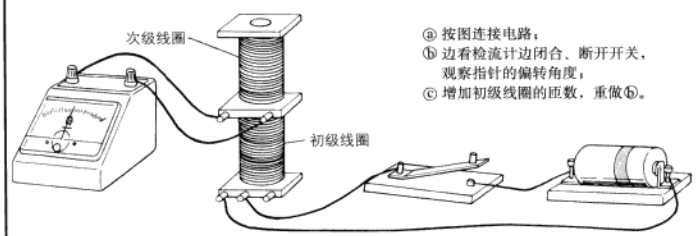



③在初级线圈里放入铁心，重做①

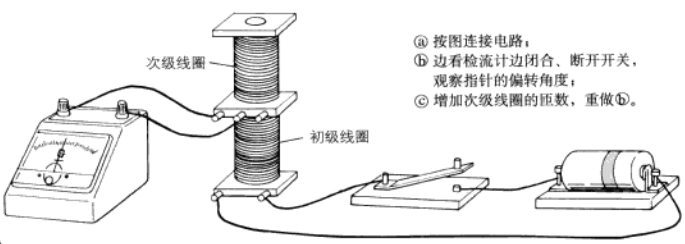



2 研究复绕变压器的原理

①改变初级线圈的匝数，比较检流计指针的偏转角度




②改变次级线圈的匝数，比较检流计指针的偏转角度

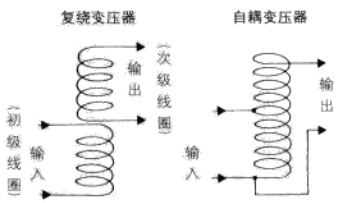



1 ① 说明 两个线圈中的任何一个都可以作为初级线圈使用。在这个实验中我们把通电的线圈作为初级线圈，另一个作为次级线圈。
提示 仔细观察闭合开关和断开开关的瞬间检流计指针的偏转方向。
将通到初级线圈上的电流方向逆转，再进行研究。
结果 可以知道，在闭合开关和断开开关的瞬间检流计的指针发生了偏转。开关保持闭合的时间内，也就是说电流持续流动期间，指针不动，只有在闭合开关和断开开关的瞬间(这时电流的大小发生变化)次级线圈中才会产生电压。

② 提示 如果用不带中间抽头的线圈作为次级线圈使用，只要将次级线圈换成匝数多的线圈即可。
结果 增加次级线圈的匝数时，检流计的指针偏转角度会变大。

③ 结果 在初级线圈里放入铁心时，检流计的指针偏转角度变大。

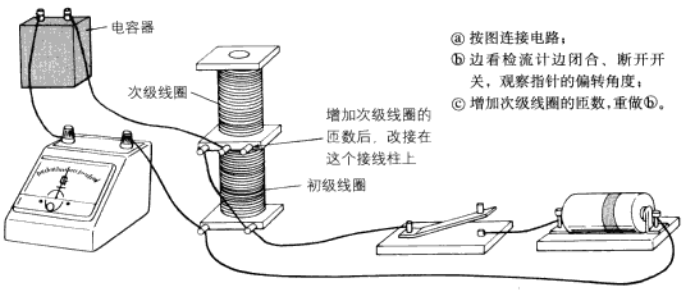
2 提示 实验开始之前，应让学生充分理解复绕变压器和下面3中提到的自耦变压器在结构上的不同。复绕变压器是初级线圈和次级线圈完全分开的变压器，自耦变压器则是一个线圈既作初级线圈又作次级线圈的变压器。




① 结果 增加初级线圈的匝数，检流计的指针偏转角度减小。

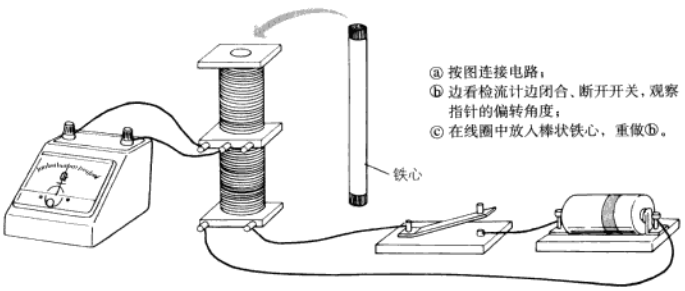
② 结果 增加次级线圈的匝数，检流计的指针偏转角度变大。这表明次级线圈匝数越多，产生的电压越大。

### 3 研究自耦变压器的原理

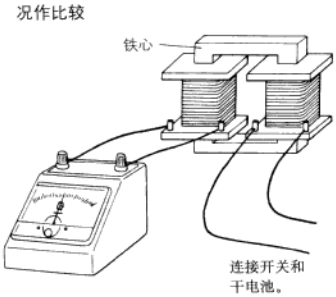



### 4 研究在变压器的线圈中放入铁心的效果

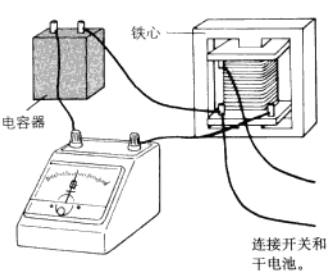
①比较在线圈中放入铁心和不放铁心时，检流计指针的偏转角度




②将线圈换成放有内铁型铁心的线圈，将指针的偏转角度与①中的情况作比较

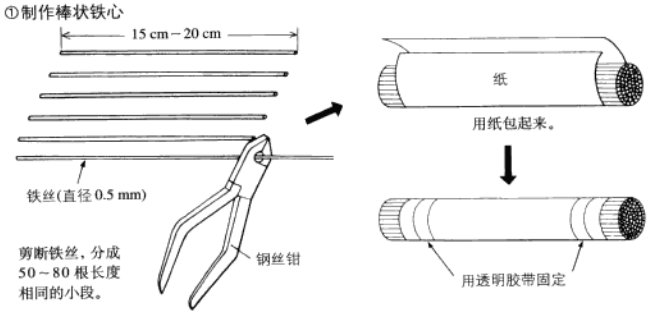



③将线圈换成放有外铁型铁心的线圈，与①和②中的指针偏转角度进行对比

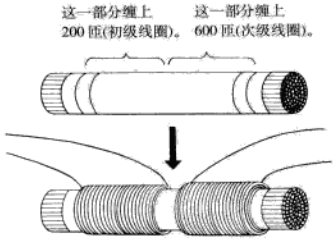



### 5 自制简单的变压器，研究其功能

①制作棒状铁心




②在铁心上缠上漆包线，制作变压器




**3** 提示 检流计是测量微小电流的仪表，如果与电流表同样使用的话，会破损，这一点要注意。为了确保安全，应在电路中串联接入电容器。

同时参照 2 中的提示。

结果 增加次级线圈的匝数，则检流计的指针偏转角度变大。

**4** 结果 在 1 ③中，仅仅在初级线圈中放了铁心，这里则在初级线圈和次级线圈中都放了铁心。比较不同形状的铁心产生的不同效果。

提示 这是一个对线圈中放入形状各异的铁心产生的效果进行比较的实验。为了保证条件统一，在①至③中使用相同匝数的初级线圈和相同匝数的次级线圈。

在③中，为了保护检流计，一定要在电路中放入电容器。

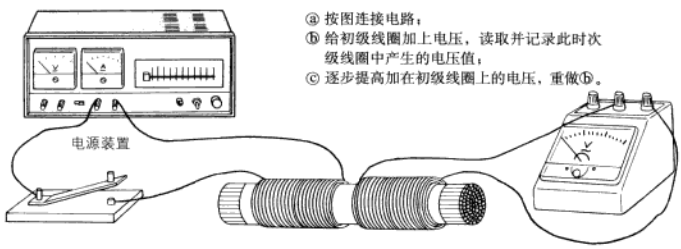
结果 通过 4 ③可以明白：如果在线圈中放入铁心，与不放铁心时相比，指针的偏转角度会变大；而且，放入内铁型铁心比放入棒状铁心时指针偏转角度要大，放入外铁型铁心则比放内铁型铁心时的偏转角度还要大。

**5** ① 提示 先将铁丝拉直再剪断。

注意 用钢丝钳剪断铁丝后，因为切口很锋利，操作时要注意，不要受伤。绝对不能用铁丝插人。

② 提示 缠好线圈之后，为了防止漆包线的末端松开，最后一圈要逆向缠绕并用透明胶带固定。

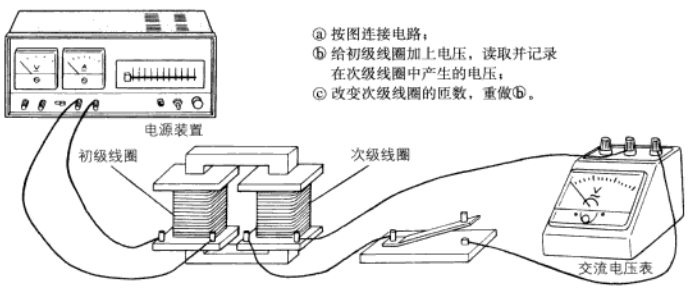
③研究线圈的电压与匝数的关系




ⓐ 按图连接电路；
ⓑ 给初级线圈加上电压，读取并记录此时次级线圈中产生的电压值；
ⓒ 逐步提高加在初级线圈上的电压，重做ⓑ。

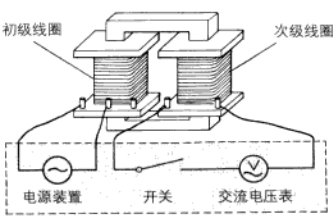
**6** 研究初级线圈与次级线圈的电压比与匝数比的关系

①改变次级线圈的匝数，测量电压



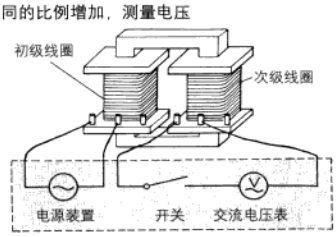

ⓐ 按图连接电路；
ⓑ 给初级线圈加上电压，读取并记录在次级线圈中产生的电压；
ⓒ 改变次级线圈的匝数，重做ⓑ。

②改变初级线圈的匝数，测量电压



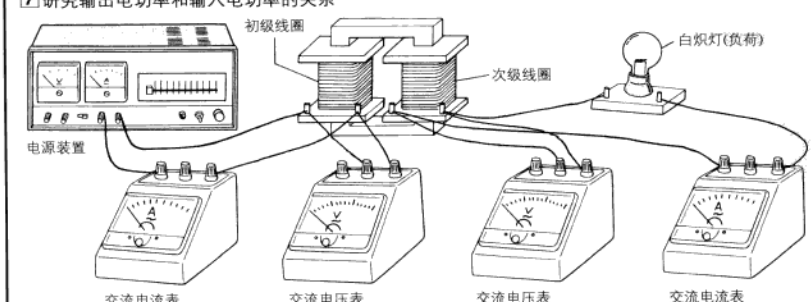

ⓐ 按图连接电路；
ⓑ 给初级线圈加上电压，读取并记录次级线圈中产生的电压；
ⓒ 改变初级线圈的匝数，重做ⓑ。

③将初级线圈和次级线圈的匝数按相同的比例增加，测量电压




ⓐ 按图连接电路；
ⓑ 给初级线圈加上电压，读取并记录在次级线圈中产生的电压；
ⓒ 按相同比例增加初级线圈与次级线圈的匝数，重做ⓑ。

**7** 研究输出电功率和输入电功率的关系




ⓐ 按图连接电路；
ⓑ 给初级线圈通电；
ⓒ 分别测量初级线圈和次级线圈中的电流和电压，求得各自的电功率并进行比较：
电功率＝电压×电流
ⓓ 逐步提高电源装置的电压，重做ⓒ，并以输入电功率为横轴，输出电功率为纵轴画出电功率的图像，研究二者的关系。

③ **提示** 在初级线圈上加的电压以2 V～6 V为宜。刚开始时调到2 V，然后以1 V的幅度递增。

**结果** 汇总测量值，求出初级线圈和次级线圈上的电压比，就可以知道该比值大致等于线圈的匝数比，即：

$$\frac{\text{初级线圈上的电压}}{\text{次级线圈上的电压}} \approx \frac{\text{初级线圈的匝数}}{\text{次级线圈的匝数}}$$

**6** **说明** 在**2**和**3**中已经研究过线圈匝数的不同所带来的电压的变化，这里则使用交变电流准确测量在次级线圈上产生的电压，然后求出电压比与匝数比的关系。

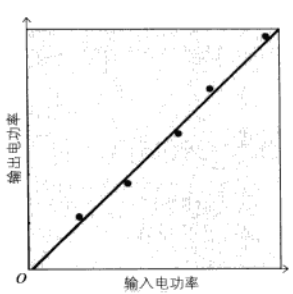
**提示** 在次级线圈中接入开关。注意电压不能超过电压表的额定电压。

**结果** 从①至③中的实验，可以知道线圈的电压与匝数成正比。

**参考** 将线圈和铁心组合起来的实验用变压器使用起来很方便。

**7** **提示** 加在次级线圈上的负荷，可以是灯泡，也可以是电热丝。

**结果** 可以知道，次级线圈上的电压与电流的积(输出电功率)，与加在初级线圈上的电压与电流的积(输入电功率)基本相等，且二者成正比关系。



# 169 研究阴极射线的性质

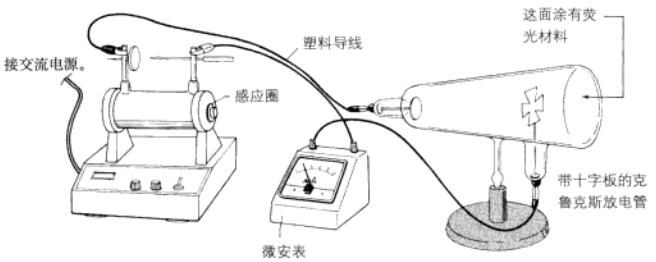
目标 初 能用各种克鲁克斯放电管研究阴极射线，并由此理解阴极射线的各种性质。

各种克鲁克斯放电管① 感应圈 微安表 直流电源② 导线 蹄形磁铁 真空管用电源装置

①带十字板的、带偏向极板的、带旋转车(或叶轮)的、等等。②能得到直流6 V电压的电源，使用电源装置很方便，用电池(蓄电池或将两个方形5号干电池串联起来)也可以。

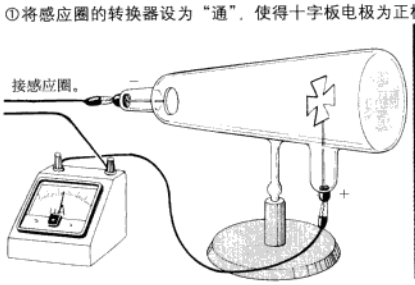
**【A】用带十字板的克鲁克斯放电管进行实验**

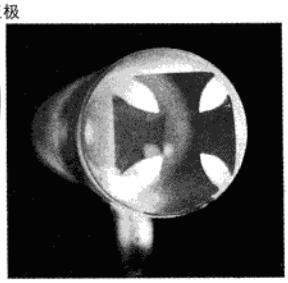
1 连接实验装置



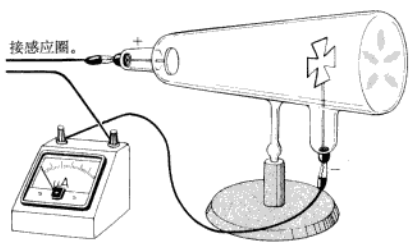

2 发出阴极射线，观察十字板的影子

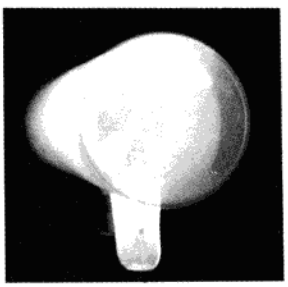
①将感应圈的转换器设为“通”，使得十字板电极为正极



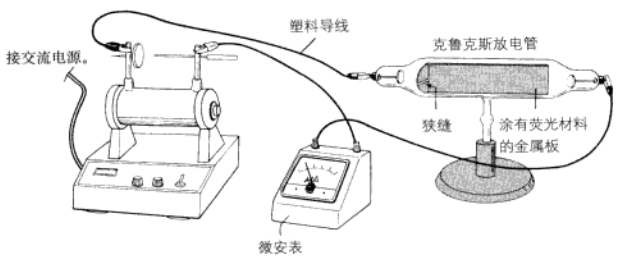
②切换感应圈的转换器，使得十字板电极为负极



**【B】用克鲁克斯放电管研究磁场的影响**

1 连接实验装置




**【A】用带十字板的克鲁克斯放电管进行实验**

1 提示 为了观察电流的方向，将微安表接入电路，连接实验装置。

2 ①提示 如果映在荧光材料上的影子不是十字形(而是像②中那样的影子)，就说明极板的正负接反了，所以应该利用感应圈的转换器修正电流的方向。此时，也可以不用转换器，而将连在克鲁克斯放电管上的导线对调一下，这样学生就更容易明白“的确是电流的方向弄反了”这一事实。

如果是没涂荧光材料的克鲁克斯放电管，玻璃本身也会发出荧光，但是光线很弱。这时，要将室内调得暗一点才便于观察。

② 说明 不仅要观察像①中那样电流方向正常的情况，还要观察电流反向的情况，因为这样学生才更容易明白阴极射线的确是从负极射出的。

结果 克鲁克斯放电管的十字板电极为正极时，加上电压后荧光材料会发光，同时出现十字板的影子；与此相反，如果十字板电极为负极，则即使加上电压也不会形成十字板的影子。通过这个现象思考阴极射线的性质，便能明白下面的结论：

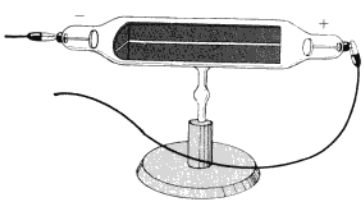
- 阴极射线从负极射出(与电流方向相反)；
- 阴极射线具有沿直线传播的性质；
- 阴极射线能使荧光物质发光(或使玻璃板发出荧光)。

**【B】用克鲁克斯放电管研究磁场的影响**

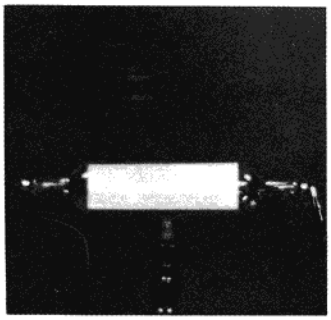
1 提示 为了研究电流的方向，在电路中接入微安表。因为塑料导线容易扭曲而且比较硬，实验时很难使克鲁克斯放电管按照想象的方向放置，这一点需要注意。

说明 注意克鲁克斯放电管的电极：有缝一端为负极，另一端为正极。

**2** 观察阴极射线放电的情况

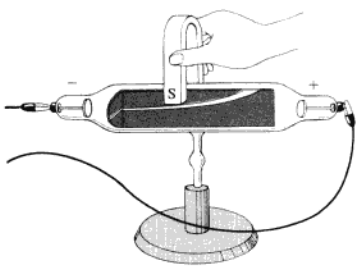


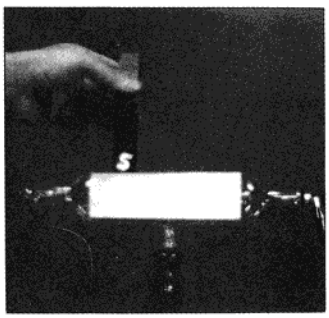

将感应圈的转换器转到“通”，使有狭缝一侧的电极为负极。



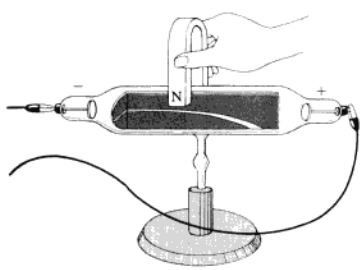
**3** 观察磁场带来的影响

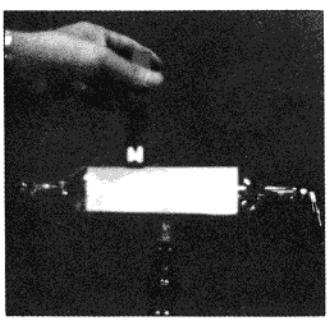
①移近蹄形磁铁，使之跨在克鲁克斯放电管上



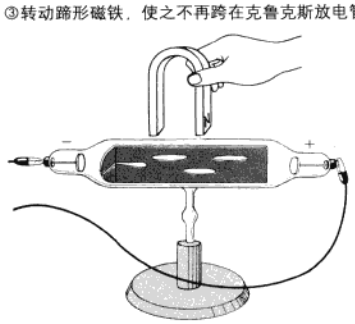



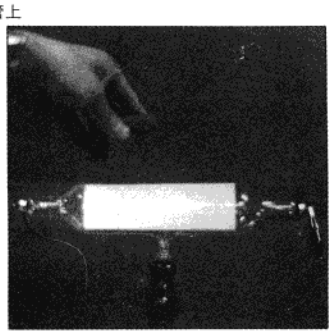

②使蹄形磁铁的磁极放法与①中相反




③转动蹄形磁铁，使之不再跨在克鲁克斯放电管上



**2** 提示 如果在涂了荧光材料的荧光板上看不到线状的发光现象，而只看到荧光板整体不规则地发光，就说明极板的正负接反了。此时，既可以通过操作感应圈的转换器改变电流的方向，也可以将克鲁克斯放电管的接线对调(参照 **【A】2** ②中的提示)。

观察到直线状的发光现象之后，使电流的方向逆转，确认不再出现直线状的发光现象(参照 **【A】2** ②中的说明)。

结果 使克鲁克斯放电管有缝一侧的电极为负极，加上电压，荧光板呈直线状发光；相反，使克鲁克斯放电管有缝一侧的电极为正极，则即使加上电压也看不到明显的发光现象。从这些现象可以认识阴极射线的一些性质，除了能得出 **【A】** 中的结论之外，还能知道阴极射线不能穿透金属。

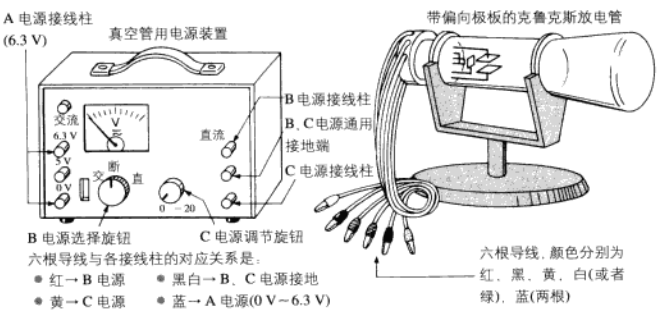
**3** 提示 因为多数初中学生没有学过左手定则，所以在①和②中可以不考虑阴极射线的偏转方向。

采用像③中这样的方式移近磁铁时，阴极射线的传播方向会变得十分复杂，很难解释清楚，所以可根据情况省略③。

结果 阴极射线因为磁场(磁铁)的影响，传播方向发生偏转。磁场方向相反时，偏转方向也会随之反转。

**【C】用带偏向极板的克鲁克斯放电管进行实验**

1 将克鲁克斯放电管的六根导线连接在真空管用电源装置上

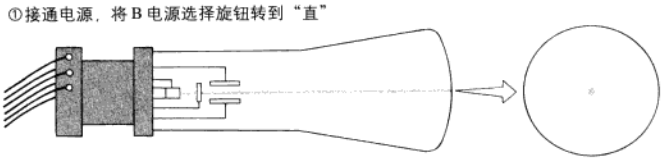



六根导线与各接线柱的对应关系是：

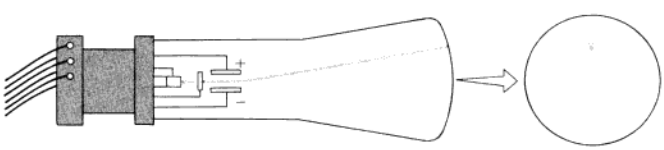
- 红→B 电源
- 黑白→B、C 电源接地
- 黄→C 电源
- 蓝→A 电源(0 V～6.3 V)

2 观察电场的影响

①接通电源，将 B 电源选择旋钮转到“直”



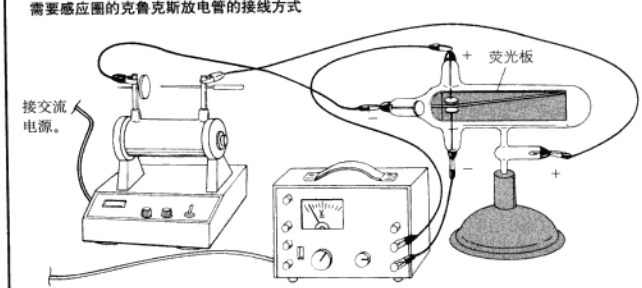
②顺时针旋转 C 电源调节旋钮，给偏向极板加上电压




③对调黄色和白色导线，使加在偏向极板上的电压反向




**需要感应圈的克鲁克斯放电管的接线方式**




**【C】用带偏向极板的克鲁克斯放电管进行实验**

1 说明 带偏向极板的克鲁克斯放电管，用不同的颜色区分连接在各个电极上的导线，它们之间的对应关系如下：

- 电热器(加热阴极)——蓝色
- 电容器板(使电子加速)——红色
- 阴极(放出电子)——黑色
- 偏向极板(给阴极射线加偏向电压)——黄色和白色

这种克鲁克斯放电管内装有氩气，因此能看见阴极射线沿着传播方向发光的现象。另外，与其他放电管一样，阴极射线碰到的地方也能看见荧光。

真空管用电源装置有许多类型，但它们的基本原理是相同的。图上显示的是其中一种，各接线柱的功能规定如下：

- A 电源——电热器用（交流 6.3 V）
- B 电源——电容器用(直流 0 V～400 V)
- C电源——电池的极板用(直流－20 V～0 V)

除此之外，作为输出用的接线柱，还有交流 5 V、交流 0 V～170 V、直流 B、C 电源通用接地端（C 电源接地，阴极接线柱)。

2 提示 把电源装置的电源线插入插座之前，先检查 B 电源选择旋钮和 C 电源调节旋钮是否已分别转到“断”和“0”上。

阴极射线发出的光比较弱，所以最好将房间调暗观察。

从正面和侧面两个方向进行观察。

在②和③中，给偏向极板加电压时，应先标出电极的正负，也可以用电池作为偏向极板的电源。同时可观察加在偏向极板上的电压的大小对阴极射线偏转角度的影响。

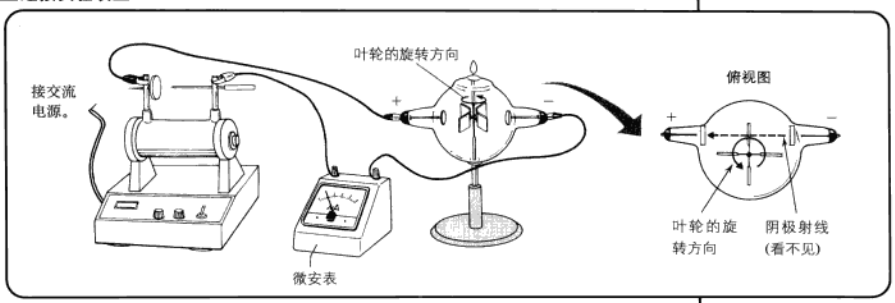
结果 像①中那样不加偏向电压时，阴极射线沿直线传播，像②、③中那样从阴极射线传播方向的旁边加上电压时，传播方向往所加电压的正极侧偏转。

从侧面加的电压越大，偏转角度越大。

参考 有的克鲁克斯放电管必须使用感应圈才能产生阴极射线。在这种情况下，同样可以使用真空管用电源装置的 C 电源或者电池作为偏向极板的电源。

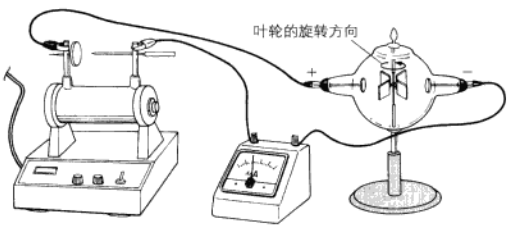
**【D】用带叶轮的克鲁克斯放电管进行实验**

1 连接实验装置

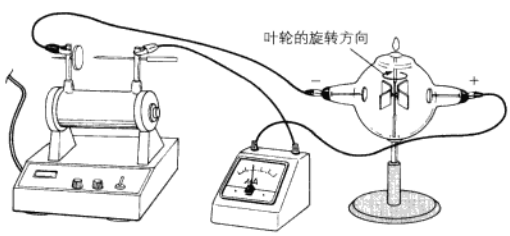



2 发出阴极射线，观察叶轮的转动

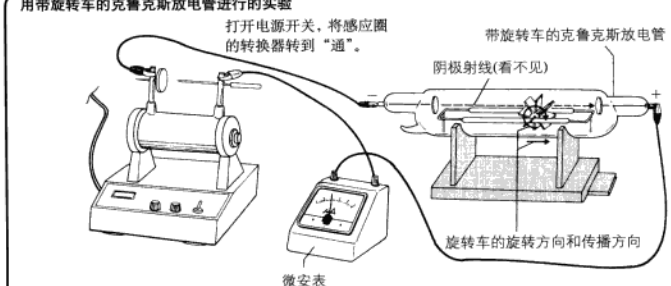
①打开电源装置的开关，将感应圈的转换器转到“通”




②利用转换器使阴极射线的方向逆转




**用带旋转车的克鲁克斯放电管进行的实验**




**【D】用带叶轮的克鲁克斯放电管进行实验**

1 提示 将带叶轮的克鲁克斯放电管水平放置，使转轴处于竖直状态。

为了使学生理解叶轮旋转的原因，可以让学生从侧面和正上方观察克鲁克斯放电管，确实把握其结构，这是很重要的。

说明 带叶轮的克鲁克斯放电管及带旋转车的克鲁克斯放电管均没有固定的正极和负极。

2 提示 让学生观察叶轮的旋转方向，同时观察电流表指针的摆动情况，将叶轮的旋转方向和电流方向之间的关系跟克鲁克斯放电管的结构联系起来加以认识。另外，应让学生观察将电流方向逆转时叶轮的旋转方向。

说明 阴极射线射在叶轮上时，叶轮就会旋转，由此思考阴极射线的性质，可以得出以下结论：

- 阴极射线由负极射出(与电流方向相反)；
- 阴极射线是肉眼看不见的、小质量粒子的流动。

这里，我们认为叶轮和旋转车旋转是因为受到了阴极射线(电子的流动)的作用。但是，也有人认为：产生于内部的气体负离子间的碰撞带来的影响，远远大于电子间的碰撞带来的影响。

参考 使用带旋转车的克鲁克斯放电管时，如果叶轮旋转的平台不是完全处于水平状态，那么即使阴极射线照在叶片上，叶轮也不能顺利旋转，所以在连接克鲁克斯放电管的实验装置时，要特别注意。

材料与器具

# 170 观察真空放电现象

目标 初 观察真空放电的情况，了解气体的压强和放电状态的关系。

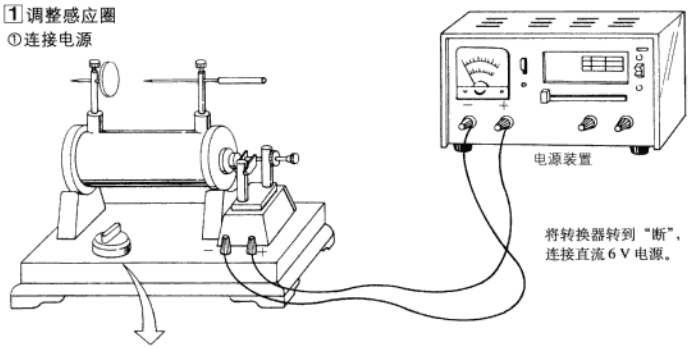
感应圈 直流电源① 真空泵 水银压强计 铁架台 放电管(带活塞) 直流电流表 导线 厚胶皮管

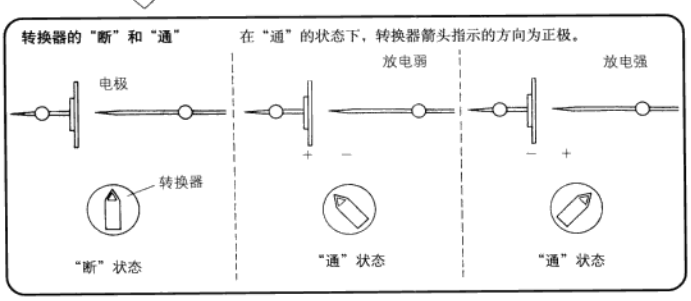
①只要能得到6 V直流电就行，电源装置很方便，不过6 V的蓄电池或将两个方形5号干电池串联起来使用也可以。

＊【其他方法】除了上述物品，还需要十字管真空计。

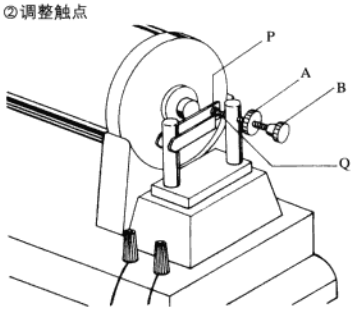
1 调整感应圈

①连接电源

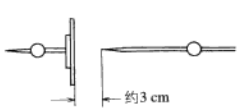



②调整触点

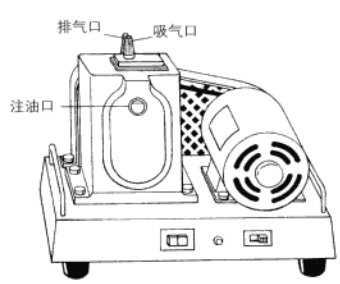



ⓐ 先将螺钉A松开，再将螺钉B松开，使P和Q两触点分开。
ⓑ 将转换器转到“通”。
ⓒ 拧紧螺钉B，使触点P和Q接触，放电。此时，电极间的距离约为3 cm。

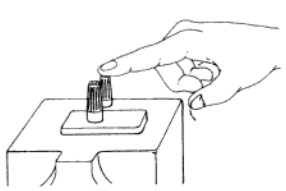



ⓓ 在放电正常的位置，拧紧螺钉B，固定。
ⓔ 使转换器回到“断”的位置。

2 观察真空泵工作是否正常



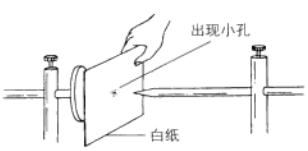

ⓐ 接通电源；
ⓑ 闭合开关，电动机开始旋转；
ⓒ 用手指轻轻触摸吸气口和排气口，检查吸气、排气是否正常进行。



1 ① 提示 注意电源，要避免电流不足。感应圈的形式不同时，电流也会有差异，但一般来说能流过3.5 A～4.0 A的电流。如果使用充电不足的蓄电池或已经消耗了很多的干电池，有可能因为电流不足而难以产生高压。使用电源装置的时候，应把工作电压调到6 V。接通电源之前，一定要先检查转换器是否在“断”的状态。

② 提示 触点P和Q的接触过紧或者过松都不行。听到“啪叽啪叽”的声音并且看到火花四溅时，应拧紧螺钉。放电状态不好时，可以用砂纸将触点磨光。

在放电过程中，如果在电极之间放上白纸，可以看到纸上出现小孔。可以将纸罩在电灯上，让学生看孔的样子。




参考 在感应圈中，已经出现了没有触点的新品种，这使操作变得简单多了。

2 提示 连接电源时，应确认开关处于OFF状态。

如果发现油量太少，要事先补充油。

注意 用手指触摸吸气口时，动作要轻。如果用力触摸，手指会被吸住。

3 提示 连接感应圈和放电管电极的导线，应是有完整绝缘外层的塑料导线。

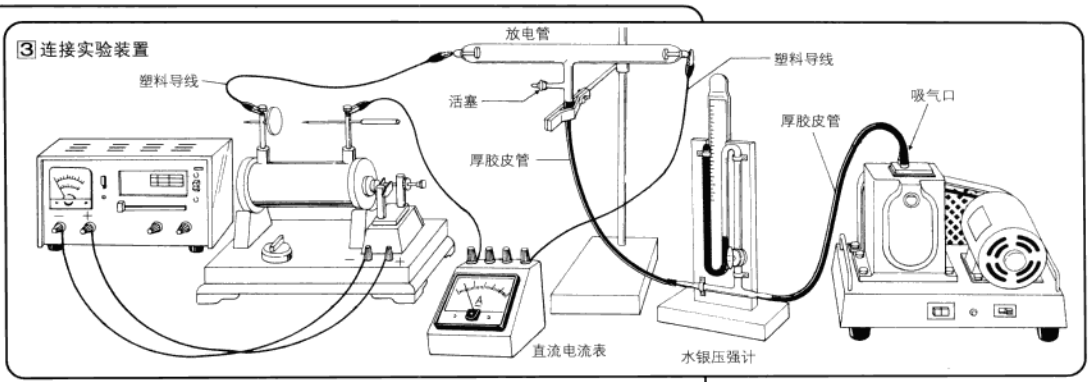
导线和胶皮管的连接要牢固。

对比放电状态和真空度的关系时要用到水银压强计。

4 ① 说明 这个实验的目的是证明空气不抽出就不会产生放电现象。这是认识真空放电现象的重要步骤，一定要做。

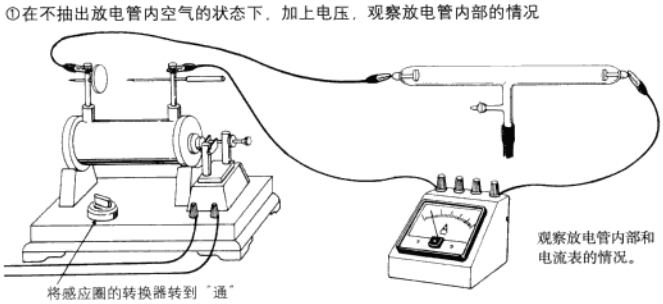
提示 事先确认不放电时电流不会流动。

**3** 连接实验装置

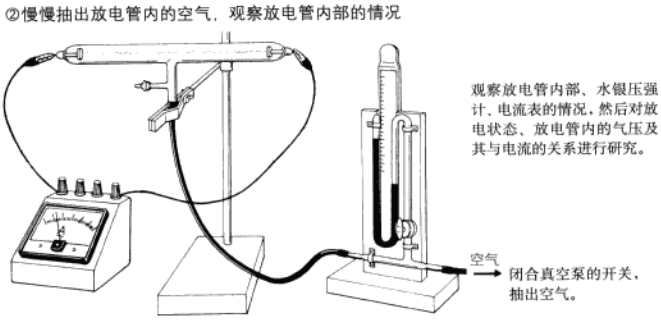



**4** 观察真空放电现象

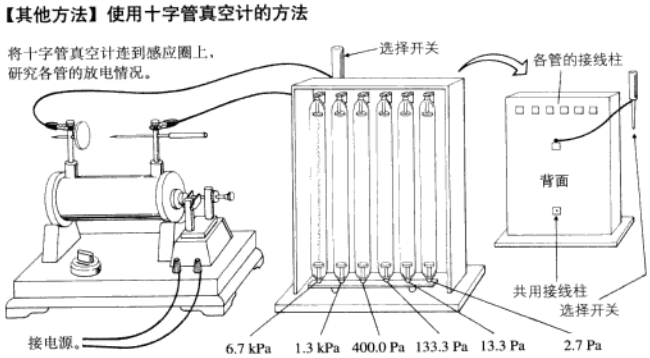
①在不抽出放电管内空气的状态下，加上电压，观察放电管内部的情况




②慢慢抽出放电管内的空气，观察放电管内部的情况




**【其他方法】使用十字管真空计的方法**




② 提示 因为放电过程中只流过2m A～3m A的电流，所以最好用毫安表测电流。房内应暗一点，这样能更清楚地看到放电现象，实验效果更好。

仔细观察随着放电管内部气压的下降放电状态的变化。

可以确认，如果在实验过程中打开放电管的活塞，将空气放入管内以增大气压，放电现象就会停止。

说明 如果给放电管的电极加上高电压，抽出管内的空气而降低气压，就会产生放电。这种现象就叫真空放电。

管内的气压不同时，放电状态会有如下变化：

- 细绳状放电(6.7 kPa)
- 带状放电(1.3 kPa)
- 全管发光的带状放电(666.7 Pa)
- 条纹状放电(66.7 Pa)
- 克鲁克斯放电(1.3 Pa)

普通真空泵能使管内气压降至1.3 Pa左右，所以直到克鲁克斯放电现象为止，从理论上来说都应该能够观察得到，但在实际操作时很难达到这种状态。

放电现象参看卷首彩色插图。

**【其他方法】使用十字管真空计的方法**

说明 这种方法不需要使用真空泵，实验方法也很简单。但是，如果不先做使用真空泵进行的放电实验，就很难理解管内气压和放电现象之间的关系。因此，这个实验应该放在使用真空泵的实验之后进行。

注意 操作选择开关时，注意不要触电。握着选择开关的绝缘部分(柄)操作比较安全。

提示 观察克鲁克斯放电现象时，房内光线要足够暗，否则很难看清荧光的样子。

# 171 观察用射线使胶片感光的情况

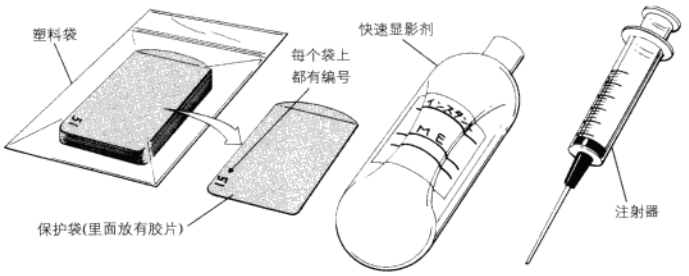
目标 初高

知道射线能穿过包在胶片外面的塑料袋。
知道射线具有使胶片感光的性质。

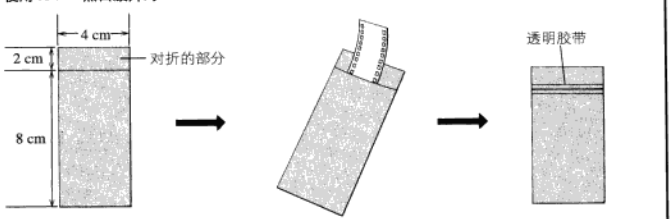
**射线感光胶片组合①　实验用放射源②　含放射性元素的矿物质③　铅板　透明胶带　搪瓷盘　夹子**

①可以用 35 mm 黑白胶片，此时还需要装感光纸的黑色塑料袋和胶片显影用具，②密封型放射源，云室用附属放射源等，参看【174】。③装有铌钇矿、人形石、磷灰铀石、硝酸铀矿石等的小瓶子及用于比较目的的矿物(花岗石等)。铌钇矿的来源可以参看【173】。

**1** 准备射线感光胶片组合

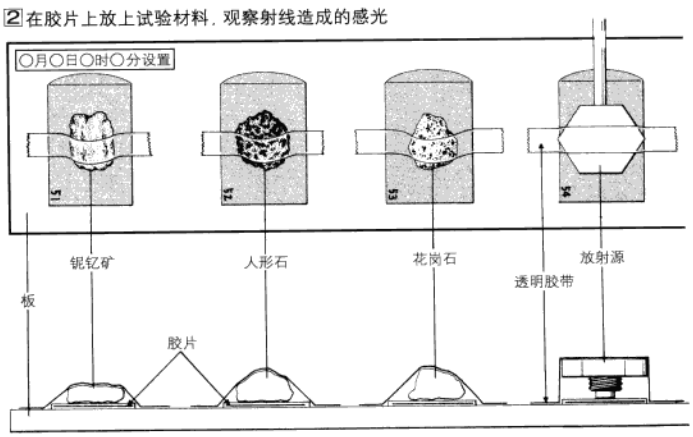



**使用 35 mm 黑白胶片时**



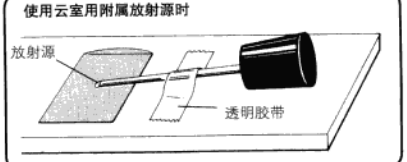

用黑色塑料制作放胶片的袋子。　在暗室里将胶片剪成适当长度，放入袋中。　将对折部分折好，再用透明胶带封好。

**2** 在胶片上放上试验材料，观察射线造成的感光




ⓐ 将装有胶片的保护袋正面朝上，放在板上；
ⓑ 在保护袋上放上放射源及想研究的物质(如含放射性元素的矿物质)，用透明胶带固定；
ⓒ 放置一定时间，将放在保护袋上的放射源等移开。

**使用云室用附属放射源时**




**1** 说明 射线感光胶片组合，搜集起来并不特别费力，用医院用的X射线照相胶片即可。将胶片一张一张地放入厚的塑料保护袋里。保护袋的白色一面是正面，淡蓝色一面是背面。正面印有胶片编号(从正面的上方用X射线或其他射线照射时，就能在胶片上印上编号)。

利用快速显影剂，显影时间只需1 min左右。

参考 也可以使用普通的 35 mm 黑白胶片。此时，在黑色塑料袋中放入剪成适当长度的胶片。

黑塑料袋最好使用装照相底片的塑料袋，也可以使用装复印纸的内袋(黑塑料袋)；不过，因为后者质地较薄，最好使用两层。用起绒厚纸制作时也最好用两层。

口袋的黏合全部使用透明胶带。

在放入胶片的口袋上，事先用彩色塑料带记上编号。胶片的显影参照下页**3**中的显影操作(跟普通胶片的显影方法相同)。

**2** 提示 实验用放射源因为放射性很强，只要曝光几小时至半天就行。

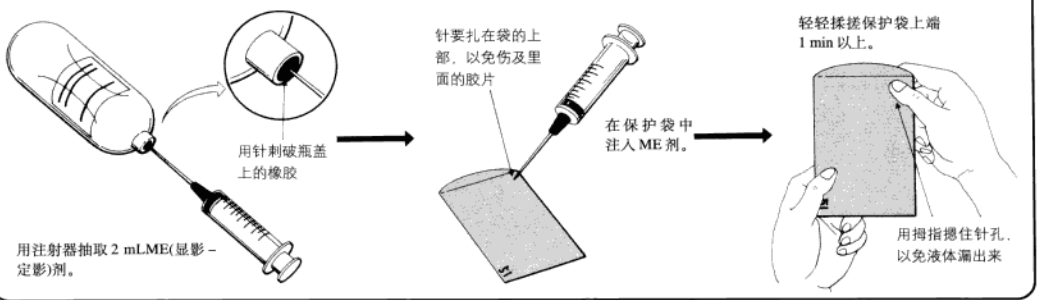
人形石、铌钇矿等含放射性元素的矿物，因为放射性弱，需要曝光数天。

将胶片保护袋上的编号、试验材料的名称、各种试验材料的曝光时间等记在本上。将记有设置日期的纸条贴在放置胶片和试验材料等物品的板上，这样便于记录。

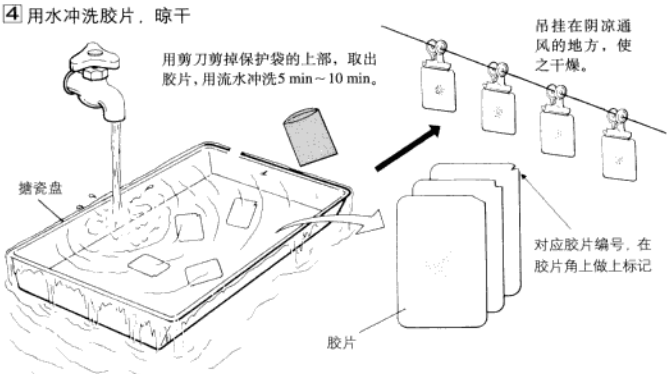
说明 用花岗石是为了与人形石及铌钇矿进行比较。

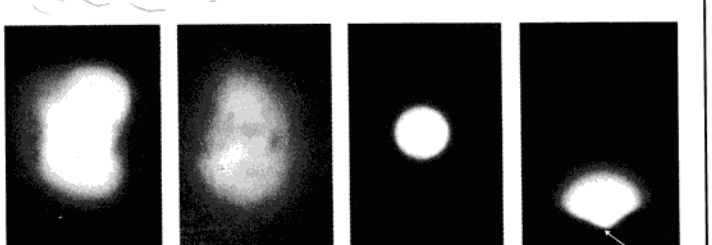
注意 因为使用云室用附属放射源时，有可能发生放射性物质接触人体或放射性物质泄漏等意外情况，所以在这个实验中尽量不要使用。如果一定要用，操作时要特别注意，避免人形石、铌钇矿等碎片洒落。

## 3 胶片显影




## 4 用水冲洗胶片，晾干



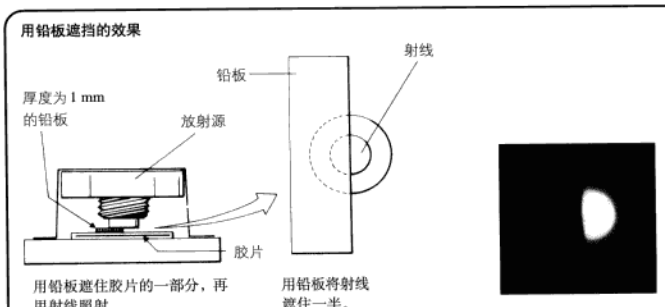



铌钇矿　人形石　密封型放射源　云室用附属放射源

放射源的位置

＊曝光时间均为 24 h。

### 用铅板遮挡的效果






＊曝光时间为 9 h。

**3** 说明　ME 剂，是使显影与定影同时进行的药液。

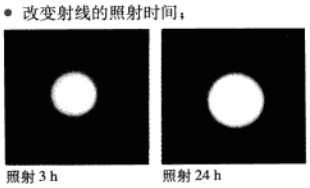
提示　用注射器刺穿保护袋时，注意不要穿透背面。揉搓保护袋时，不用太在意温度。即使手指的热量传到上面，也只有大约 25 ℃。

**4** 提示　如果使用医用 X 射线照射，保护袋上的编号会印在胶片上，但在本实验中，因为射线没有照射到胶片的所有部分，所以保护袋上的编号不会印在胶片上。因此，用水冲洗的时候，需在胶片角上做上标记，用于区分不同的胶片。

结果　左边是一个利用射线使胶片感光的例子，是将显影的胶片印在感光纸上。

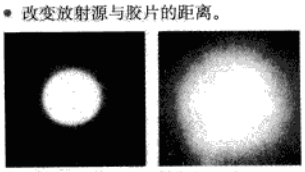
参考　除了以上实验，还可以做以下实验：

- 用铅板遮住胶片的一部分，观察遮挡效果(参照左边方框里的小图)；
- 改变射线的照射时间；



照射 3 h　照射 24 h

- 改变放射源与胶片的距离。



使之紧密接触时　距离 1 cm 时

# 172 利用α-径迹法确定放射性核的分布及其位置

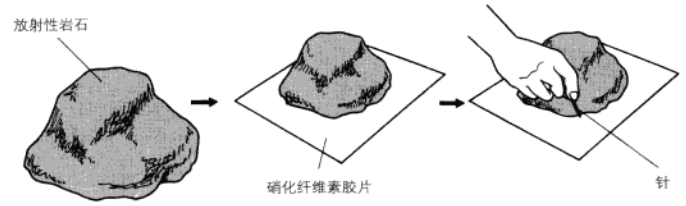
目标 初高

能探测发出α射线的核的分布与位置。
能很方便地检出并测定α射线。

试验材料(放射性岩石) 硝化纤维素胶片 针 温度计 烧杯 镊子 水槽 搪瓷盘 圆形夹子 显微镜 胶片①

①最好是缩微复制胶片。

1 将试验材料放在硝化纤维素胶片上，使两者紧密接触，放置一段时间

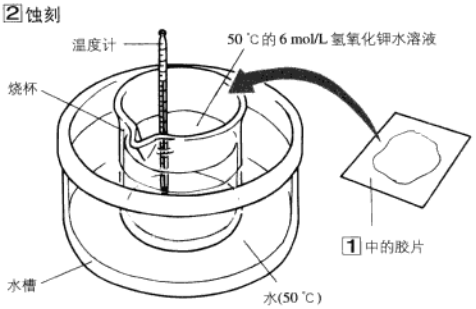



如果材料本身没有平滑表面，可以用刀削出或经研磨得到。

使试验材料与硝化纤维素胶片紧密接触。

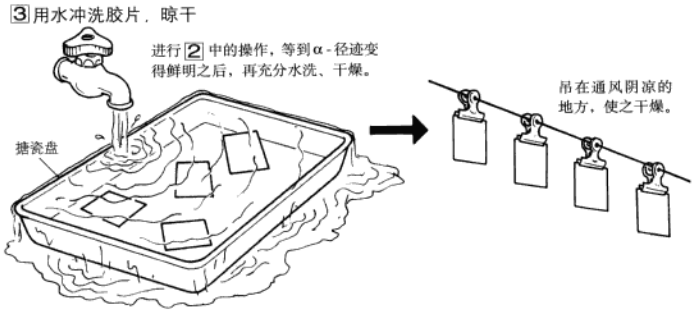
用针尖描下试验材料的轮廓，放置适当的时间(有的需要几个月)。

2 蚀刻




将与试验材料紧密接触了适当时间的硝化纤维素胶片放入50 ℃的6 mol/L氢氧化钾水溶液中，浸泡10 min～20 min(蚀刻)。经常用镊子搅拌一下，以免胶片粘连。

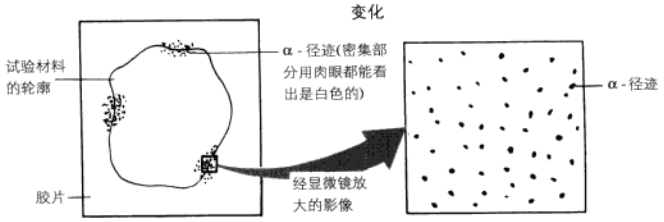
3 用水冲洗胶片，晾干




4 整理结果

①将试验材料的轮廓与胶片上的α-径迹对比，确定发出α射线的核的分布及位置

②利用经过显微镜放大的胶片，求出每个单位面积上的α-径迹的数量及径迹密度的变化




1 说明 射线探测计可以测定试验材料整体的辐射能，却难以测定辐射能是从试验材料的哪一部分释放出来的以及分布状态如何。但是，利用α-径迹法就很容易确定这种分布状态。

利用α-径迹法能够判断各种岩石中是否存在放射源。用射线探测计检测出有辐射能的岩石后，再用α-径迹法就能测出释放辐射能的位置。

关于径迹的生成机理有很多种说法，弗莱雪(Fleischer)的离子激发(ion explosion spike)理论这样解释道：带正电荷的粒子通过晶格时，因为激烈的离子化，原子中的电子会被“扭下”，于是原子变成裸露的高荷电离子。这些高荷电离子因为彼此间的库仑力作用，爆发性地排斥，使晶格受到损伤。对于自由电子密度很高的金属和电子相当容易移动的半导体来说，离子会被电子迅速中和，不会出现径迹形式；仅在绝缘体中才能观察到粒子径迹。

4 ① 提示 使其他硝化纤维素胶片也与试验材料紧密接触，复制下来就可以形成很多教学材料。

② 提示 使用缩微胶片进行指定显影处理，可以使径迹鲜明地出现。

参考 作为本实验的拓展活动，可将云母薄片在室温下浸在浓度为48% 的氢氟酸(HF)中30 min，然后用水冲洗，结果不仅能观察到核分裂片的径迹(裂变径迹)，还能进一步运用裂变径迹法(需要热中子照射)测定试验材料的年代。本实验可以作为该实验的准备实验。

# 173 观察镭等放射出的射线

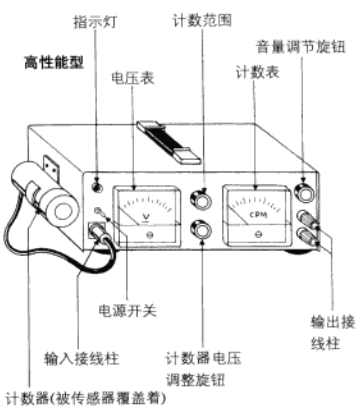
目标 高 通过观察知道镭等放射性元素放射出的射线(α射线、β射线、γ射线)具有穿透力等各种性质。

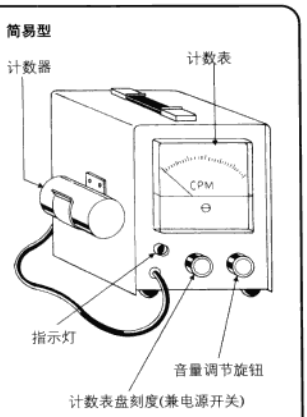
实验用放射源① 含放射性物质的矿物② 遮挡物③ 辐射能探测装置 铁架台2个 放大镜 α射线检测计 电子计数装置 导线 直尺 秒表 磁铁

①镭226，镅241等。②铌钇矿、人形石、磷灰铀石、用于比较的矿物(花岗岩、安山岩等)。铌钇矿等放射性矿物可以从岩石标本店买到，但比一般的岩石标本贵一些。③纸、布、木板、塑料板、金属板等。

## 【A】观察射线

### 1 辐射能探测装置及其操作方法

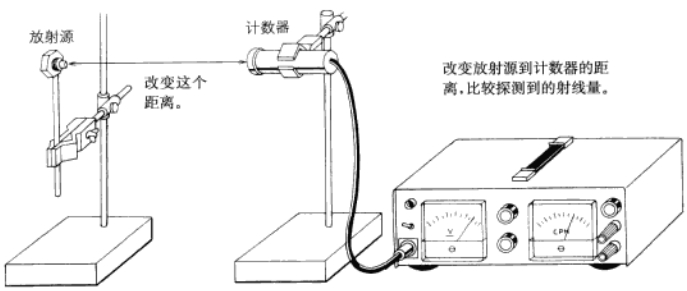


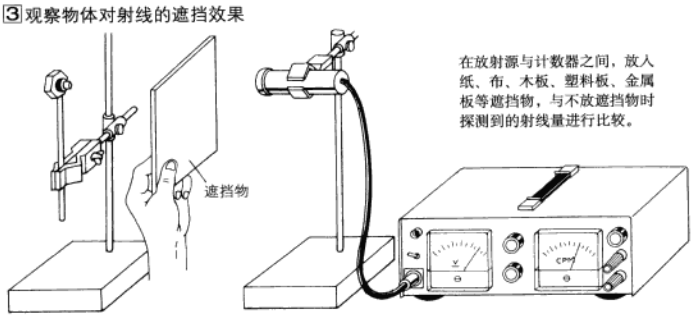

ⓐ 将电源线插到交流插座上；
ⓑ 从金属架上取下计数器并打开电源开关；
ⓒ 将计数器电压调至500 V；
ⓓ 使计数器靠近放射性物质，选择适当的计数范围，将音量调到适当大小。

ⓐ 从金属架上取下计数器；
ⓑ 打开电源开关，进行蓄电池检测；
ⓒ 使计数器靠近放射性物质，选择适当的计数范围和音量。

### 2 观察探测到的射线量与计数器到放射源的距离的关系



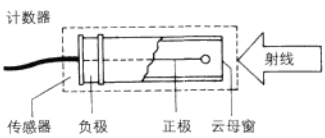

### 3 观察物体对射线的遮挡效果




## 【A】观察射线

**1** 说明 当射线照到计数器上时，不仅辐射能探测装置的计数表指针会发生摆动，从侧面(或者背面)的扬声器里也会发出“咔啦咔啦”的声音，这一点对高性能型和简易型辐射能探测装置都一样。

计数器要放在传感器中保护起来。传感器前面带有用薄塑料板(或云母)做成的窗口。




α射线的穿透力小，用一张纸就能遮挡住，所以用这样的计数器能探测出穿透力大的β射线和γ射线，但是不能探测出α射线。

提示 高性能型计数器不使用交流电源，而使用电池。使用电池时，要进行蓄电池检测。启动装置时，即使没有任何放射性物质，扬声器也会发出声音，仪表的指针也会摆动，这是因为有自然射线(也叫本底辐射)存在的缘故。

**2** 提示 实验时，除了将计数器放在放射源的正面，还应放在斜对面，从而确认从放射源放射出来的射线会发散。此时，使用云室附带的放射源(放射性物质接近裸露状态)，学生更容易明白。

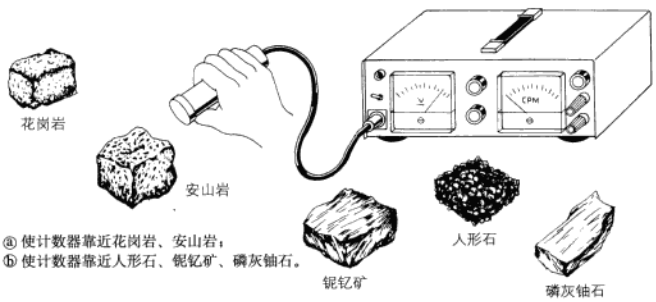
结果 将放射源和计数器的距离拉得越远，探测到的射线量越小。

**3** 提示 为了使放射源和计数器的距离固定，保证条件相同，应将它们分别固定在两个铁架台上。可以自由选择各种物品作遮挡物。

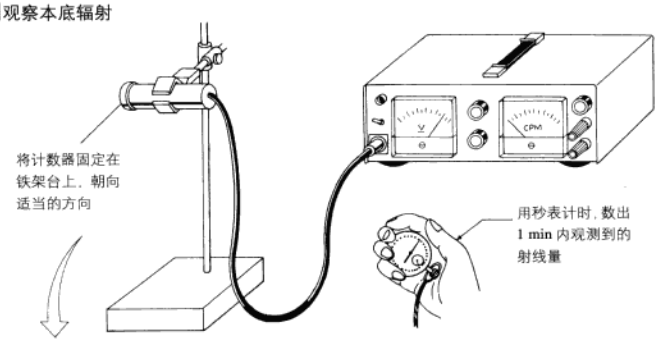
同时还应比较改变遮挡物的厚度时射线量的变化。

结果 β射线用纸和布几乎遮挡不住，但是用木板、塑料便能挡住。金属的遮挡效果比木板更好，并且是越厚效果越好。γ射线的穿透力非常强，纸及木板等不能挡住。

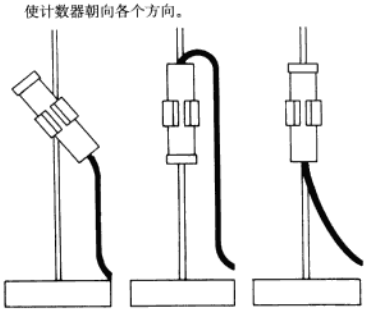
## 4 观察各种矿物，看它们是否放射出射线




## 5 观察本底辐射



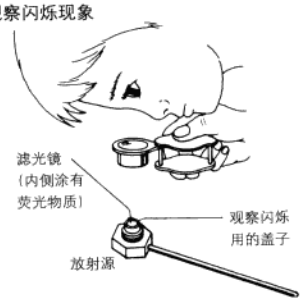

使计数器朝向各个方向。



实验数据举例

| | 1 min内观测到的射线量/次 | |
|---|---|---|
| | 计数器朝侧面 | 计数器朝下 |
| 1 | 19 | 14 |
| 2 | 13 | 18 |
| 3 | 19 | 15 |
| 4 | 22 | 27 |
| 5 | 29 | 17 |
| 6 | 22 | 25 |
| 平均 | 21 | 19 |

## 6 观察闪烁现象




在放射源上装上观察闪烁用的盖子，使焦点对准滤光镜，用放大镜观察。

**简便方法**




4 说明 花岗岩和安山岩不放射出射线，但使计数器靠近时，也不是完全不能探测出射线，有时候从扬声器也会发出“咔嗒”的声音，仪表的指针也会摆动，这是因为存在本底辐射的缘故。人形石、铌钇矿、磷灰铀石等会放射出射线，因而会引起仪表指针摆动，扬声器也会发出“咔嗒咔嗒”的声音。

5 提示 本底辐射总是变化无常，所以要测量多次，求出平均值。

不要在计数器周围放置放射性物质。

说明 无论将计数器朝向哪边，都能探测到本底辐射。本底辐射因场所不同而有所差异，在室内一般是20 cpm～30 cpm。所谓cpm，是指计数器在1 min内探测到的射线的数量，是count per minute的缩写。

参考 除了想要观测的射线之外，其他入射射线全部叫做本底辐射，包括宇宙射线以及地表附近的自然射线(从地表及其附近的物体所含的微量放射性物质中射出)。因此，为了准确了解从某种物质中射出的辐射量，需要事先测定其附近的本底辐射，再从求出的辐射量中减去本底辐射量。

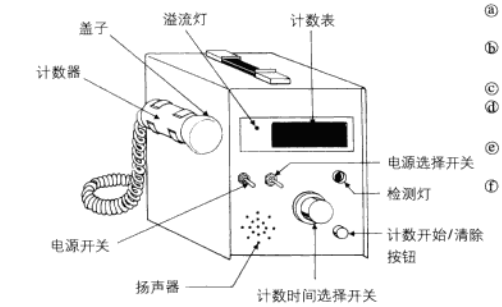
6 提示 观察应在暗室里进行。

说明 用放大镜观察时，能看见微微闪烁的蓝色光线(闪烁现象)。所谓闪烁现象，是指α射线等射线遇到物质时，从物质中被激发的原子中射出的极其微弱的光线。因为这种光线非常微弱，所以只能在暗室中待眼睛充分适应之后才能看见。在荧光物质(如硫化锌ZnS)中，经常能看见这种闪烁现象。

参考 对于没有附带观察闪烁现象用的器具的放射源，也能观察到闪烁现象。将人形石等放射性物质研成粉末，拌入荧光物质中，再将这种粉末用透明胶带固定，用放大镜观察即可。

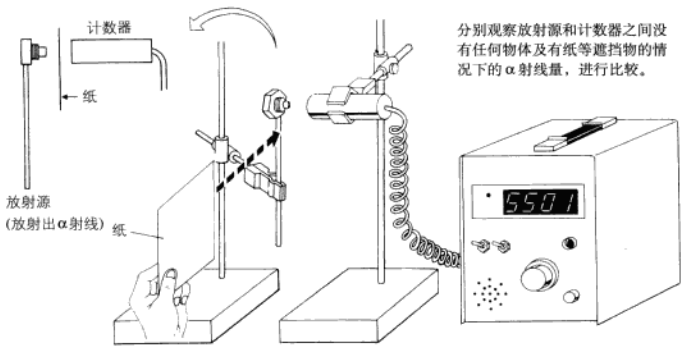
**【B】观察α射线**

**1** α射线检测计及其操作方法



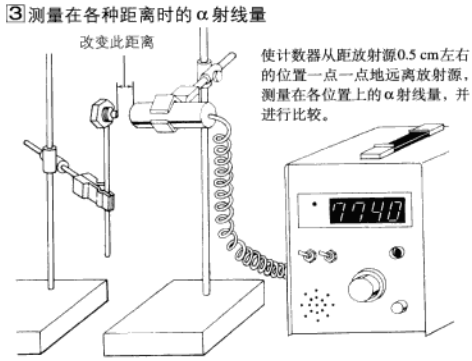

ⓐ 拆下计数器的盖子，把计数器固定在铁架台上；
ⓑ 选定电源(使用交流电源时，将插头插在插座上)；
ⓒ 打开电源开关；
ⓓ 如果需要报警声音，则需打开背面的报警开关；
ⓔ 将被测物放在计数器的前面，按下计数开始按钮；
ⓕ 读取计数值，即α射线量(如果计数时间单位为1 min，计数值的单位就是cpm)。

**2** 调整α射线的遮挡效果




分别观察放射源和计数器之间没有任何物体及有纸等遮挡物的情况下的α射线量，进行比较。

**3** 测量在各种距离时的α射线量




使计数器从距放射源0.5 cm左右的位置一点一点地远离放射源，测量在各位置上的α射线量，并进行比较。

实验数据举例

| 距离/cm | 计数值/cpm |
|---|---|
| 0.5 | 7 740 |
| 1.0 | 7 355 |
| 1.5 | 5 905 |
| 2.0 | 2 238 |
| 2.5 | 48 |
| 3.0 | 0 |

**【B】观察α射线**

**1** 说明 因为α射线的穿透力很小，所以用普通计数器附带的辐射能探测装置探测不出来，要用α射线检测计等专门的装置探测。

提示 计数器的前面有硅障碍型探测器，很微小，注意不要用手触摸或损坏。如果不用交流电源而用电池作电源，要进行电池检测。这种机型的检测灯在背面。如果超过1万计数单位，溢流灯就会闪亮，此时要切换计数时间。

**2** 提示 放射源使用能放射出α射线的物质。计数器距离放射源不要太远 (1 cm～2 cm最好)，否则即使不放入遮挡物也探测不到α射线。

除了纸，还可以用塑料片、铝箔等各种物体作遮挡物。

结果 只要在放射源和计数器之间放入一张纸，α射线就几乎探测不出来了。

**3** 结果 放射源和计数器的距离越远，探测到的α射线数越少。放射源和计数器的距离达到3 cm左右时，α射线就几乎探测不出来了。

说明 在压强为101.3 kPa的空气中，α射线的射程由α射线的动能决定，α射线的动能则由放射核决定。

参考 用云室的径迹及荧光膜能够观察到的闪烁现象主要是由α射线产生的。因此，实验时可以同时对闪烁现象进行观察(参照【174】)。

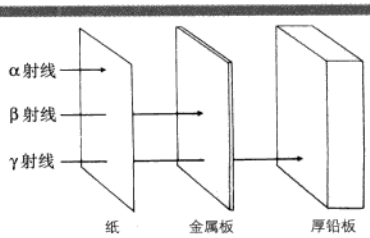
要想观察磁场对α射线的影响，不将装置抽真空就很难明白，所以在一般学校的实验室里很难进行。

**射线的穿透力**

在射线(因放射性物质的衰变射出的粒子流)中，有α射线、β射线和γ射线。其中，α射线是α粒子(氦原子核)的粒子流，穿透力小，在空气中的射程只有几厘米，用一张图画纸就能完全挡住。

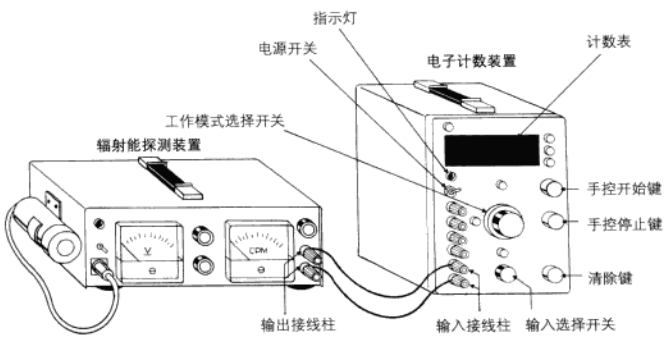
β射线是β粒子(电子)的粒子流，粒子的质量比α粒子小，所以β射线的穿透力大，在空气中的射程可以达到几十厘米至几米，用1 cm厚的铝板或塑料板可以挡住。

γ射线是电磁波，穿透力非常大，几厘米厚的铅板也不能把它完全挡住。



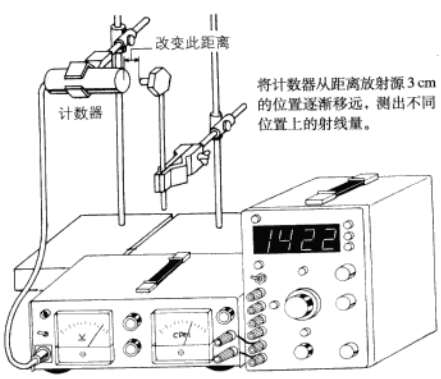
## 【C】观察β射线和γ射线

### 1 电子计数装置及其操作方法




ⓐ 用导线连接辐射能探测装置的输出接线柱和电子计数装置的输入接线柱；
ⓑ 启动辐射能探测装置；
ⓒ 打开计数装置的电源开关；
ⓓ 将工作模式定为手控；
ⓔ 调整放射源和计数器之间的距离；
ⓕ 如果输入超过该挡量程，指示灯亮，则需将输入接线柱换到高一级的挡位；
ⓖ 按下清除键，计数归零；
ⓗ 按下开始键，同时用秒表开始计时；
ⓘ 1 min之后，按下秒表，读取计数值(即射线量)。

### 2 测量不同位置上的射线量



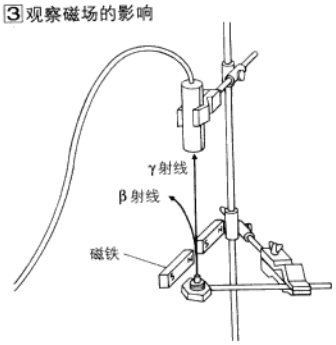

将计数器从距离放射源3 cm的位置逐渐移远，测出不同位置上的射线量。

**实验数据举例**

| 距离/cm | 计数值/cpm |
|---|---|
| 3.5 | 2 604 |
| 4.5 | 1 402 |
| 6.5 | 782 |
| 8.5 | 450 |
| 13.5 | 176 |

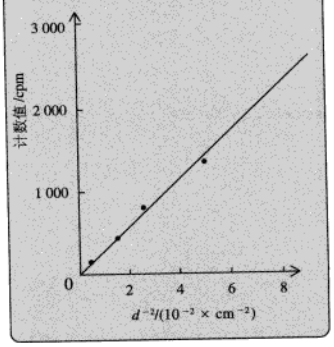
这里的计数值已经减去了20 cpm的本底辐射。

### 3 观察磁场的影响




将计数器与放射源的距离固定，测量加上磁场后的射线量，与不加磁场时的射线量进行比较。

处理得到的数据并作出图像(横轴上的$d$是从放射源到计数器的距离)。




## 【C】观察β射线和γ射线

1 说明 β射线和γ射线能用普通的计数器探测出来。但是，一般辐射能探测装置的内部没有计数器，射线少的时候，还能将其一一数出，求出cpm值；射线多时，则只能从指针的摆动求出大致的cpm值。因此，要想准确计数，就需要如图所示，把辐射能探测装置与电子计数装置组合起来使用。

图中的机型也能与时基设备组合起来使用，这里就手控式操作进行说明。如果使用时基设备则不需要秒表，仪器能从0.01 s到99.99 s之间自动计时。

这个计数装置仅供交流用。

提示 如果输入过少，计数就会产生错误，要注意。最好让它越级一次之后再退回。

2 提示 放射源最好是能发出α射线、β射线、γ射线的镭226。因此，用计数器探测出来的射线量(即计数)是β射线和γ射线的计数之和。(3中也一样。)

结果 处理测量值，将其作成图像即可看出：射线量与测量位置至放射源的距离的二次方成反比(反比二次方定则)。

3 提示 最好使用永久磁铁等强力型磁铁，这样效果好。在垂直于射线传播路径的方向上加上磁场。

结果 加上磁场之后，与不加磁场时相比射线减少，这是因为β射线在磁场的作用下，传播路线会发生偏转，入射到计数器内的射线就只剩下γ射线的缘故。

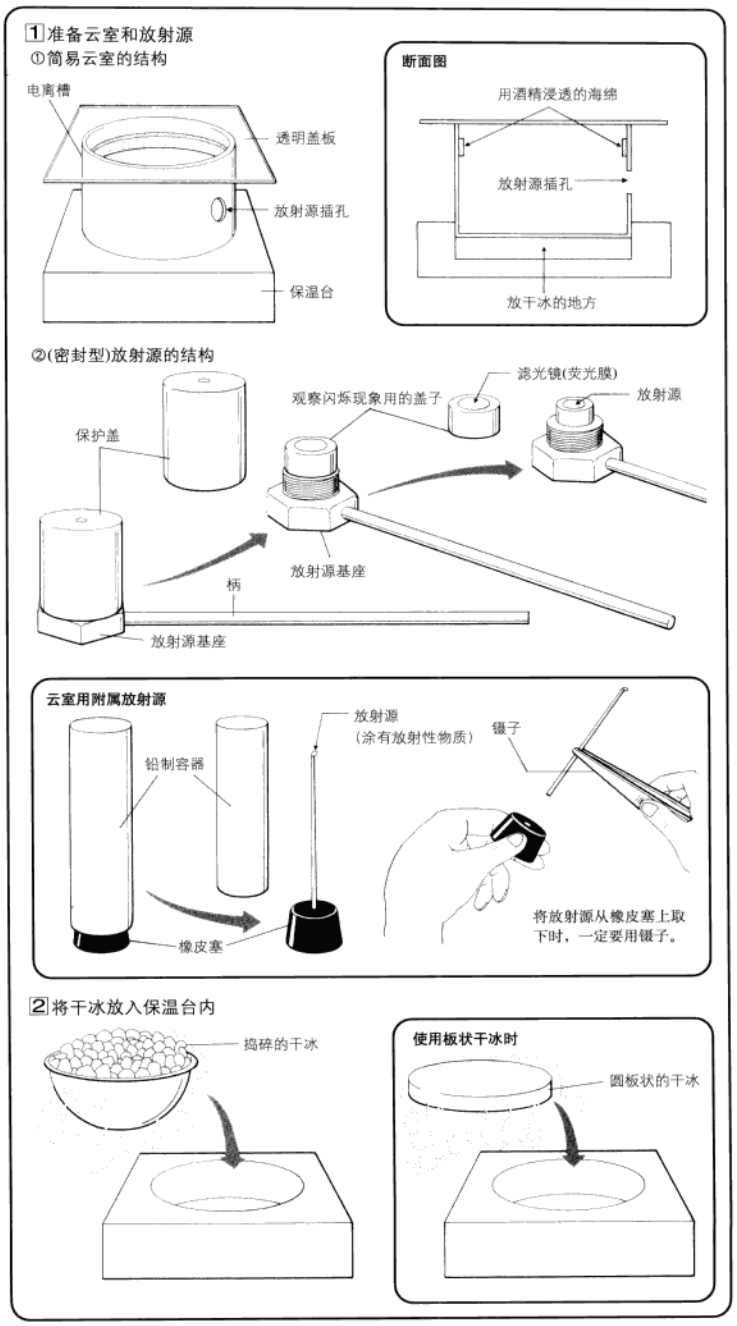
参考 除此之外，可以用【A】3中的方法分别测出放入金属板等遮挡物和不放遮挡物时射线量的变化。放入遮挡物时射线减少，这主要是因为β射线被挡住的缘故。

# 174 用云室观察射线的径迹

目标 初 利用云室观察射线(α射线)的径迹，由此能够理解从放射源有射线射出的说法。

干冰　酒精　云室　实验用放射源(镭226)　捣碎干冰的工具①　手套(棉纱手套)　玻璃滴管　电灯②

①根据需要，可以使用锯条、螺丝刀、锥子、木锤等。
②台灯、手电筒之类。




1 ① 说明 云室有两种：一种是如图所示在干冰上放电离槽的结构；一种是将干冰放在下面并用海绵压住电离槽的结构。前者比后者的效果好一些。

为了便于观察射线的径迹，应将电离槽的底部涂黑。

② 说明 用云室能看见α射线的径迹。放射源使用镭226。为了提高安全性，应使用密封型的放射源，即将放射源安装在基座上，用螺钉拧上保护盖保存。另外，为了防止遗失，还需装上15 cm长的柄。拆下保护盖，可以看见附在放射源上观察闪烁现象用的盖子。这个盖子不是用螺钉拧上的，而是直接盖在上面的。拆下观察闪烁现象用的盖子，就能看见放射源。但是，为了安全起见，放射源上一般都封有薄薄的一层金箔。与密封型放射源相比，放在铅制容器里的云室用附属放射源的安全性要差一些。

注意 云室用附属放射源是将放射性物质涂在特制的钉子或记号针的顶端，放射性物质几乎呈裸露状态。因此，绝对不能用手直接接触放射源。将放射源从橡皮塞上取下或进行其他操作时，一定要用镊子或尖嘴钳。

另外，注意不要让放射性物质掉出来。

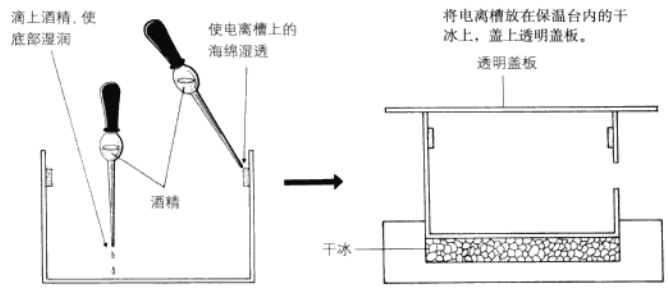
2 提示 可以用螺丝刀、锥子、木锤等捣碎干冰。

将干冰放入保温台时，要使之与电离槽紧密接触，上面要平整。

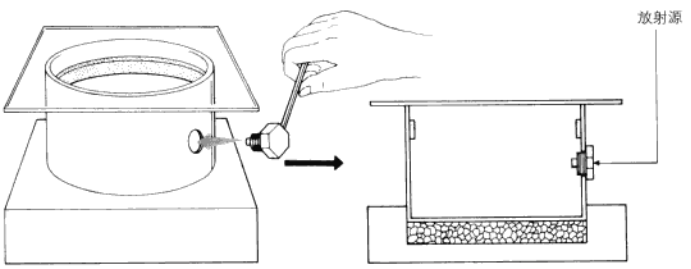
另外，市场上有板状干冰出售。用这种干冰做实验时，不用捣碎，而用锯条锯成能放入台子的大小和形状后使用。板状干冰跟电离槽的接触更加紧密，效果更好。

注意 处理干冰时，一定要戴手套，以免冻伤。

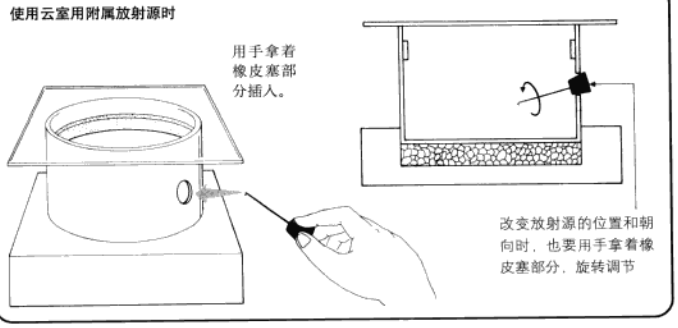
3 在电离槽里放入酒精，然后把电离槽安装在保温台上



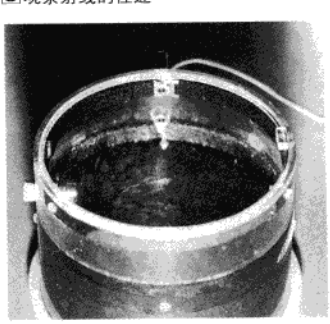

4 将放射源插入电离槽的放射源插孔



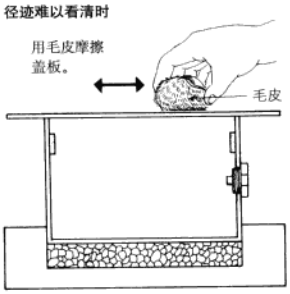

使用云室用附属放射源时




5 观察射线的径迹



径迹难以看清时




3 提示 用酒精充分浸透电离槽内壁及底部的海绵。

将电离槽放在干冰上时，要尽量使二者紧密接触。

4 提示 将放射源上观察闪烁现象用的盖子取下，然后用手拿着放射源的手柄部分，将放射源小心地插入电离槽侧面的放射源插孔。

如果插在孔里的放射源不太稳定，可以用透明胶带轻轻固定。

注意 使用云室用附属放射源时，千万不要用手直接接触放射源(参看前一页1②中的注意事项)。

调节装在电离槽内的放射源的朝向及位置时，不要让放射性物质接触电离槽的内壁及底部。

5 提示 尽可能从电离槽的正上方观察射线的径迹。观察时，如果距离稍远一点，就有可能看不见径迹，所以一次最多只能让3～4人观看。为了看清径迹，可以用电灯等在电离槽中照明。如果这样仍然看不见，可用毛皮或其他物品摩擦盖板，除去内部多余的离子。

说明 在电离槽中，以黑底为背景，能看见淡淡的白色直线状的云(即径迹)。

径迹仅在一瞬间出现，马上便会消失。

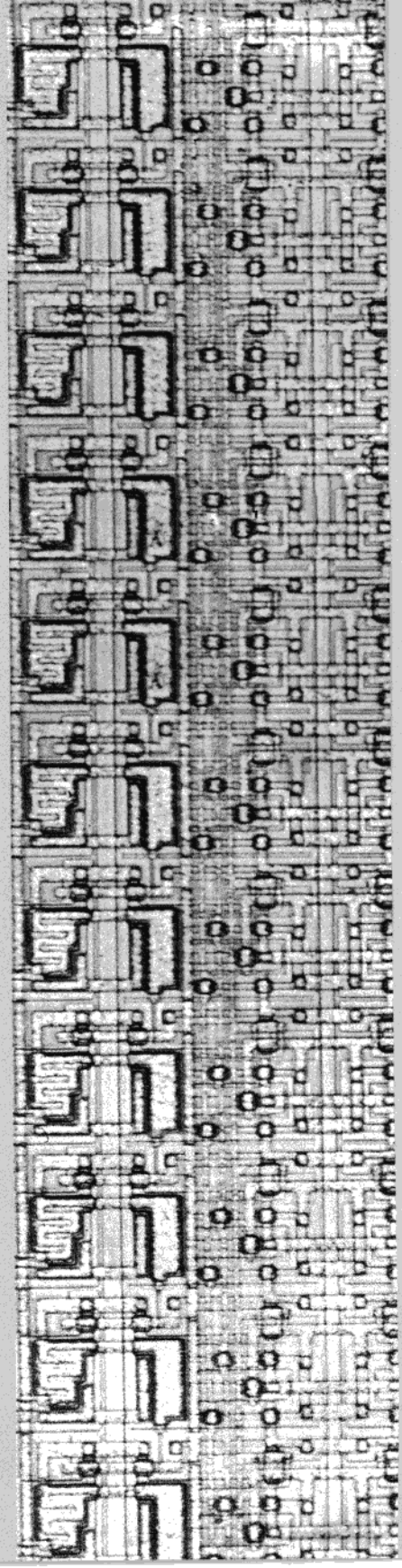
如果电离槽内的条件好，能一个接一个地看见新的径迹。

能看见径迹从放射源呈放射状射出。

参考 居里(符号Ci)是放射性活度的单位。1 Ci的放射源每1 s内产生$3.7 \times 10^{10}$次衰变。市场上出售的放射源，全都被控制在0.5 μCi(微居)以下。

物理实验用

# 电子设备的制作



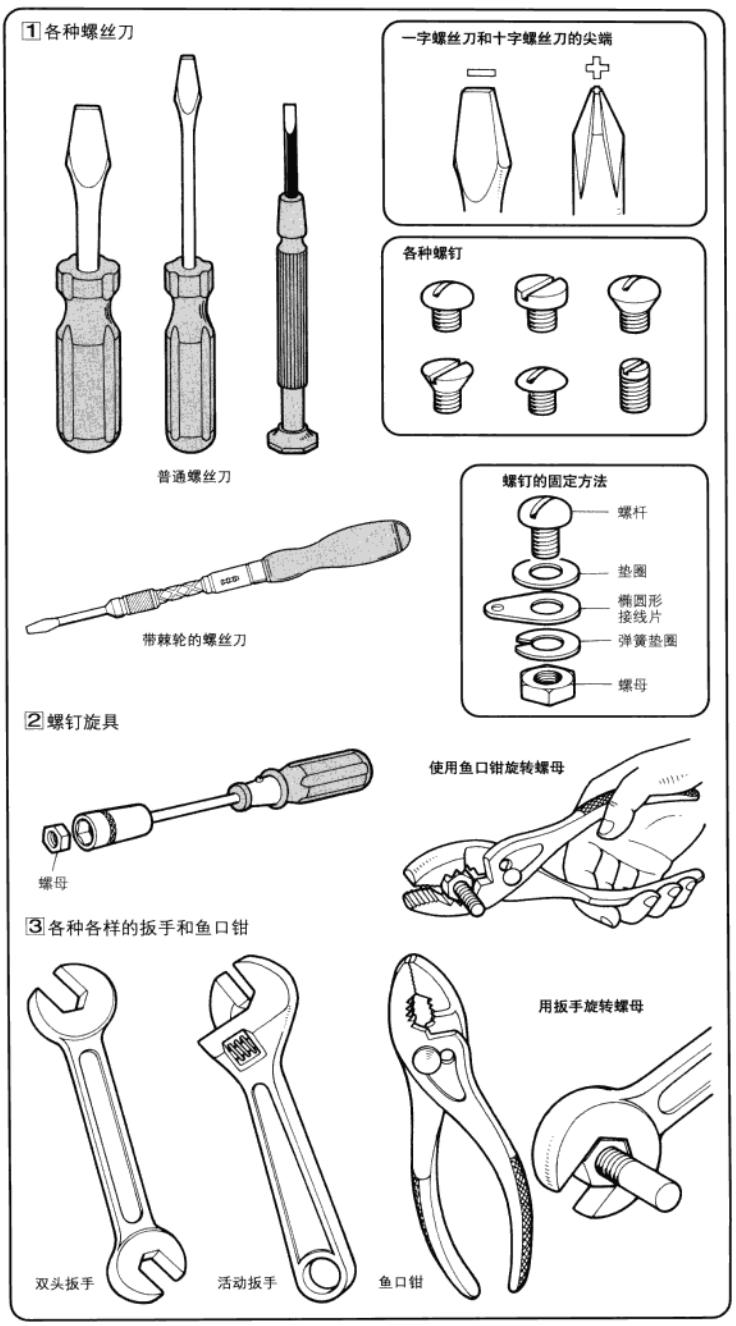
# 175 主要工具的用法

**螺丝刀　螺钉旋具　扳手　钢丝钳　剪切钳　电烙铁　钢锯　剪板钳　钻头　铰刀等**

目标

电子设备的制作主要包括金属箱体的加工、底板的加工、用螺钉组装、焊接、布线等。为了进行上述工作，需要好用的工具。在这一章里能够学到相关的知识。

*除此之外，还需要在金属板上画记号用的画线工具、冲子、镊子等。更重要的是，使用工具时一定要勤于动脑，善于思考。




1 提示 应根据螺钉的大小和螺钉头上槽的形状，选择合适的螺丝刀或螺钉旋具。

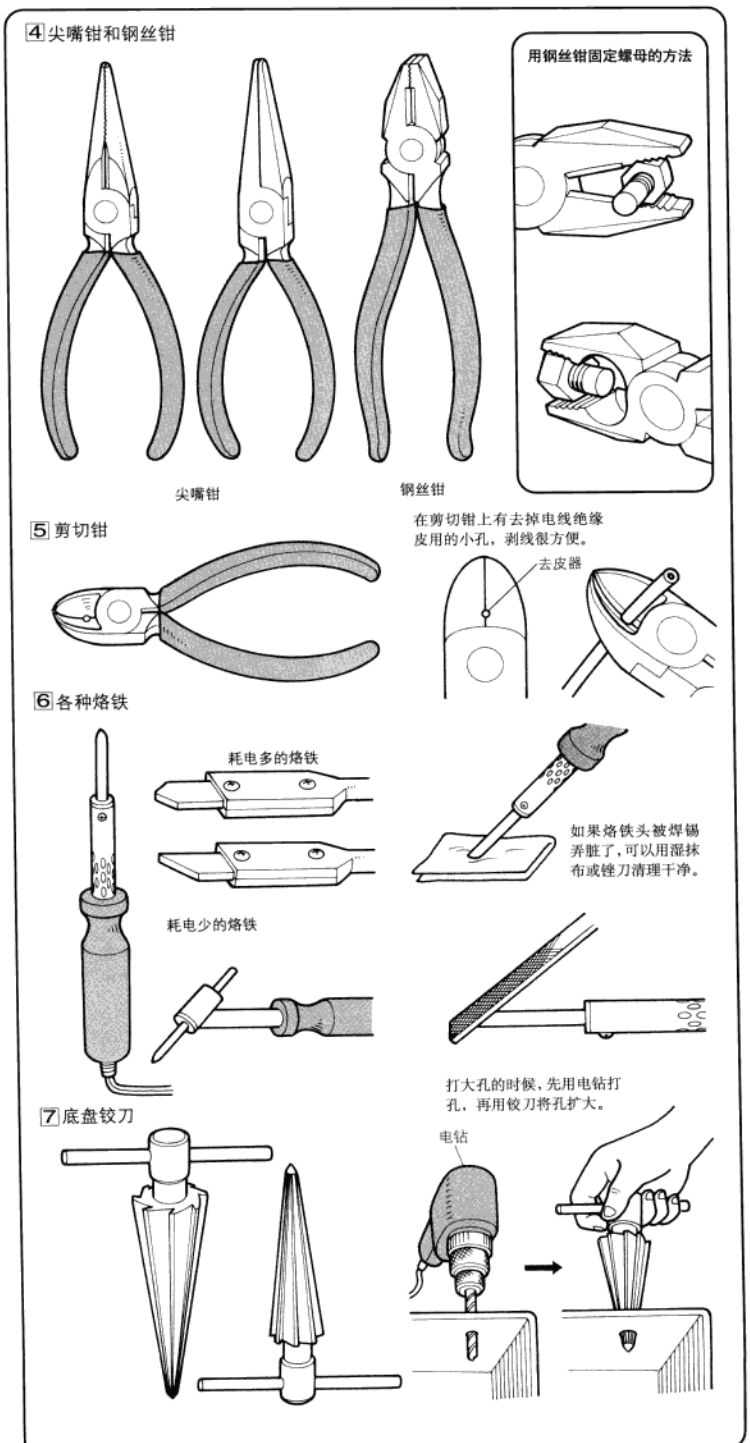
平时一般使用 2 mm～3 mm 粗的螺钉和固定分度盘旋钮时常用的细螺钉。螺钉头上的槽，大部分是类似一字或十字的两种形状；个别情况下，也有没槽的方头螺钉和有六角形槽的螺钉。螺丝刀不仅要与槽的形状相符，还要与槽的宽度相符。尖端太厚的螺丝刀插不进槽里；太薄则会因为用力不均匀而损坏槽体。该用十字螺丝刀时却用一字螺丝刀代替，会由于同样的原因损坏螺钉头上的槽，这一点要注意。

螺钉是根据粗细、长短、头上的槽以及头的形状来分类的，有圆头螺钉、平头螺钉、盘头螺钉、圆柱头螺钉等多种类型。在固定用螺钉中还有六角螺钉以及要用硬币代替螺丝刀旋转的大型螺钉。

2 提示 固定螺钉的方法可以根据具体情况而定，一种是用螺丝刀在金属板上攻丝，但是一般情况下是用螺母固定。仅仅旋转螺母或用螺丝刀旋转螺钉时，要防止螺母跟着旋转，就要使用螺钉旋具。

在底板及控制盘上固定螺钉时，一定要拧紧。为了防止螺钉松动，可以在螺杆与螺母之间加入垫圈和弹簧垫圈。为了方便布线，还可以使用椭圆形接线片。

3 提示 旋转大型螺母时需要使用扳手或鱼口钳。扳手有双头扳手和平头扳手等，需根据螺母的大小进行选择；还有可以根据螺母的大小调整尺寸的活动扳手。鱼口钳也可以根据螺母的大小调整尺寸。




4 提示 尖嘴钳和钢丝钳被广泛应用于折电线、剥去绝缘外皮、按住螺母、夹住零件等各种工作中。尖嘴钳适用于夹持小螺母、小零件等要求细致的工作，钢丝钳则被用于折弯金属片、剪导线、拧螺钉等需要力气的工作。

参考 像晶体管、二极管之类的半导体器件，一旦遇热就有可能受到损坏。焊接时，用尖嘴钳将这些器件的引线夹住，可以达到通过尖嘴钳散热、防止器件受损的目的。

5 提示 剪切钳除了可以剪断电线和剥掉电线外面的绝缘皮之外，还可以剪断底盘及印制电路板，或用于打孔工序。不管是钢丝钳还是剪切钳，手握的地方都有厚厚的橡胶绝缘外套，这样操作起来既方便又安全。

6 提示 电子设备的布线主要采用焊接的方式。焊接全部采用电烙铁。使用时应根据需要焊接的物品选择烙铁的大小和电功率。大型电烙铁的电功率是 30 W－60 W，给晶体管或集成电路布线时，只要 15 W左右的电烙铁就行了。在MOS、FET 等晶体管的布线过程中，要用烙铁头绝缘性能好的电烙铁。

烙铁头要保持干净。使焊锡发白闪亮地附着在烙铁上，是使用烙铁的诀窍之一，要注意避免将烙铁长时间加热或放置不用而使烙铁氧化。如果烙铁头被焊锡弄脏了，要用湿抹布、海绵等擦去污渍，或用锉刀锉掉焊锡。

7 提示 加工金属时，需要钢锯、剪板钳等，也可以使用不太常见的底盘铰刀将用钻头打好的孔扩大，使之达到预定的大小，起到与锥子相同的作用。底盘铰刀有小型、中型和大型，可以根据需要选择使用，在金属板上打出大小合适的孔。

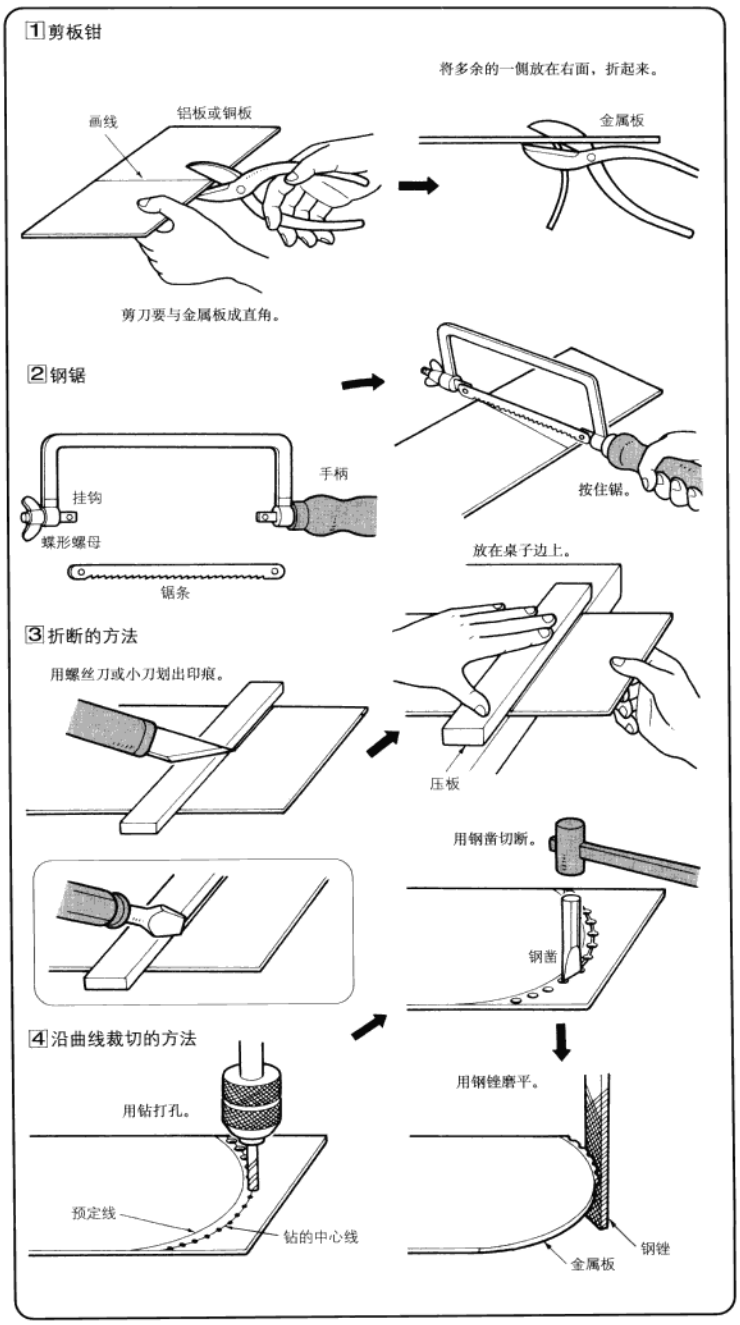
# 176 金属板的加工方法

目标

许多电子设备都是先在组装电路用的印制电路板上安装金属底盘，再放入金属箱里。学生在这一章里应学会各种工具的用法及裁切金属箱、打孔等方法。

钢锯　剪板钳　剪切钳　手摇钻　底盘铰刀　底盘打孔机　钢锉　冲子　平头钢凿　金属底座　锤子　剪切机　钢丝锯　铝板　铁板　钻①

①准备 2.2 mm、2.8 mm、3 mm、3.2 mm 等规格的钻头。



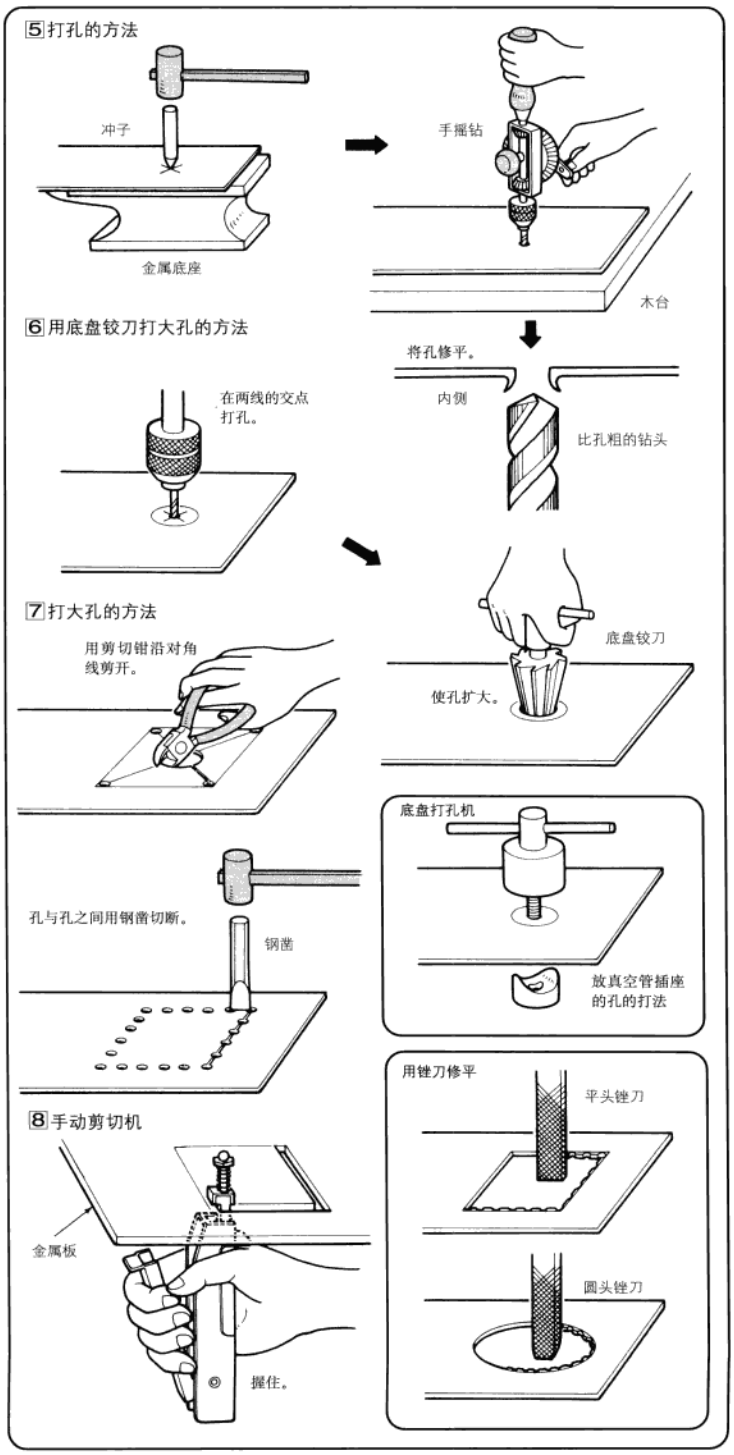

1 提示 薄的铝板或铜板用一般的剪刀就可以剪断。厚度为1 mm左右的金属板则要用剪板钳剪断。使用时，剪板钳的刀刃一定要与金属板成直角，两个刀刃之间不能有空隙，注意手势和力度。剪的时候，将准备留用的部分放在剪刀的左侧，随着剪刀向前推进，将右侧的板一点一点地折起来，最后剪下，扔掉，这样比较好剪。

2 提示 如果金属板较厚，就要使用钢锯。钢锯的锯条应随着要锯的金属种类不同而更换，锯软的金属时使用细的锯条。

将锯条装在弓端的挂钩上，拧紧蝶形螺母，使之固定。需要注意的是，如果拧得太紧，锯条就容易折断。其实，只要将钢锯的锯条按在物体上时能锯就行。这种锯条容易折断，所以不要从侧面胡乱加力。

3 提示 将金属板沿一条直线裁断时，可以采用折断的方法。首先在金属板上画出一条直线，沿着这条线用工作小刀反复划刻，使之成为印痕(正反两面都要划出印痕)，然后顺着印痕把金属板放在桌子边上，利用压板，上下窝几次，就能沿着印痕将板折断。

4 提示 将厚金属板沿曲线裁切或打较大的圆孔时，可以使用缝纫打孔法。首先，在想要裁断的预定曲线外侧，超过钻头半径以上的地方画线，在线上用冲子做上记号；然后，沿着记号用钻头一个一个地打孔，将孔与孔之间的板用钢凿或剪切钳切断，再将切好的粗糙边缘用锉刀磨平。




5 说明 铝板常被用于电子设备与实验器材的制作。直接使用买来的箱子也可以，但仍需自己打孔。

提示 小孔可用钻打。首先在需要打孔的位置用冲子做上记号。用钻打孔时，金属板内侧的边缘会打卷，这时可用粗一点的钻头从内侧修平。

6 提示 为了打出比钻头直径大一点的孔，可将底盘铰刀插入钻孔内旋转，使之扩大。底盘铰刀有各种型号，实验时可以根据需要选择大小适当的底盘铰刀。

7 提示 想打更大的圆孔时，可以使用底盘打孔机等类似的打孔工具。

打放置变压器及仪表等较大物体的方孔时，可以使用前面说过的折断法及缝纫打孔法。用折断法时，在四角和中央，用钻头打孔，用剪切钳剪出对角线之后折弯，也可以用钢丝锯锯断。放变压器的孔最好稍微大一点。

8 提示 打任意形状的孔时，使用手动剪切机非常方便。像用剪刀一样操作手动剪切机的手柄部分。如果是剪厚度为 1.5 mm 左右的铝板，每次能剪 5 mm，这样一点一点地剪下去即可。能自由选择剪断的路线。

# 177 塑料的加工方法

各种塑料样品　钢锯　切割刀　镍铬丝　自耦变压器　手摇钻　扁圆锉

目标

在电子设备中，除了金属之外，塑料因其对电的绝缘性能好，也被经常使用，所以学生不但要了解塑料的性质，还要学会塑料的加工方法。

## 1 塑料的种类

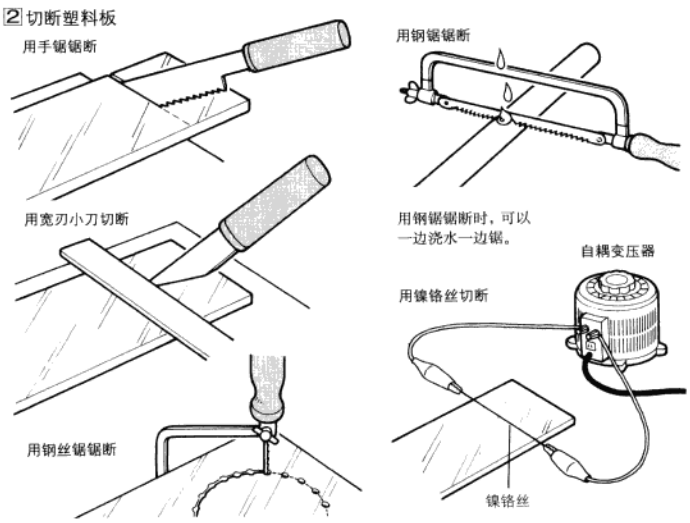
热塑性塑料

| 名　称 | 性质·用途 | 名　称 | 性质·用途 |
|---|---|---|---|
| 聚氯乙烯(PVC) | 不耐热(55 ℃)　绝缘线 | 尼　龙 | 电线外皮<br>衣料　齿轮 |
| 有机玻璃 | 透明度高　容器<br>耐热 60 ℃～90 ℃ | 聚碳酸酯 | 耐热性好　水壶<br>抗冲击性好　钉子 |
| 聚苯乙烯 | 高频绝缘性好　电路板<br>线圈骨架 | 聚甲醛 | 结实牢固　齿轮 |
| 聚丙烯 | 耐热 135 ℃～160 ℃<br>电线外皮 | 聚醋酸乙烯酯 | 硬泡沫制品 |
| 聚二氯乙烯塑料 | 耐热 190 ℃　网<br>包装薄膜 | 聚四氟乙烯 | 耐酸 耐碱　绝缘材料<br>餐具表面处理耐腐蚀容器 |
| ABS 树脂 | 抗冲击性好　安全帽<br>耐热 120 ℃ | 聚乙烯 | 耐热 100 ℃　容器<br>食品包装薄膜<br>不能黏合　绝缘材料 |

热固性塑料

| 名　称 | 性质·用途 | 名　称 | 性质·用途 |
|---|---|---|---|
| 苯酚甲醛(酚醛树脂) | 耐热 145 ℃　电气器具<br>印制电路板 | 聚酯 | 薄片 结实　录音带<br>绝缘 强度高<br>电容器用绝缘材料 |
| 尿素甲醛树脂 | 着色漂亮　电气器具<br>耐热 75 ℃　餐具 | 聚氨基甲酸酯 | 有各种状态　电线外皮<br>海绵 |
| 密胺树脂 | 耐热性好　硬装饰板 | 环氧树脂 | 耐腐蚀　黏合剂<br>黏合力强　密封 |

## 2 切断塑料板



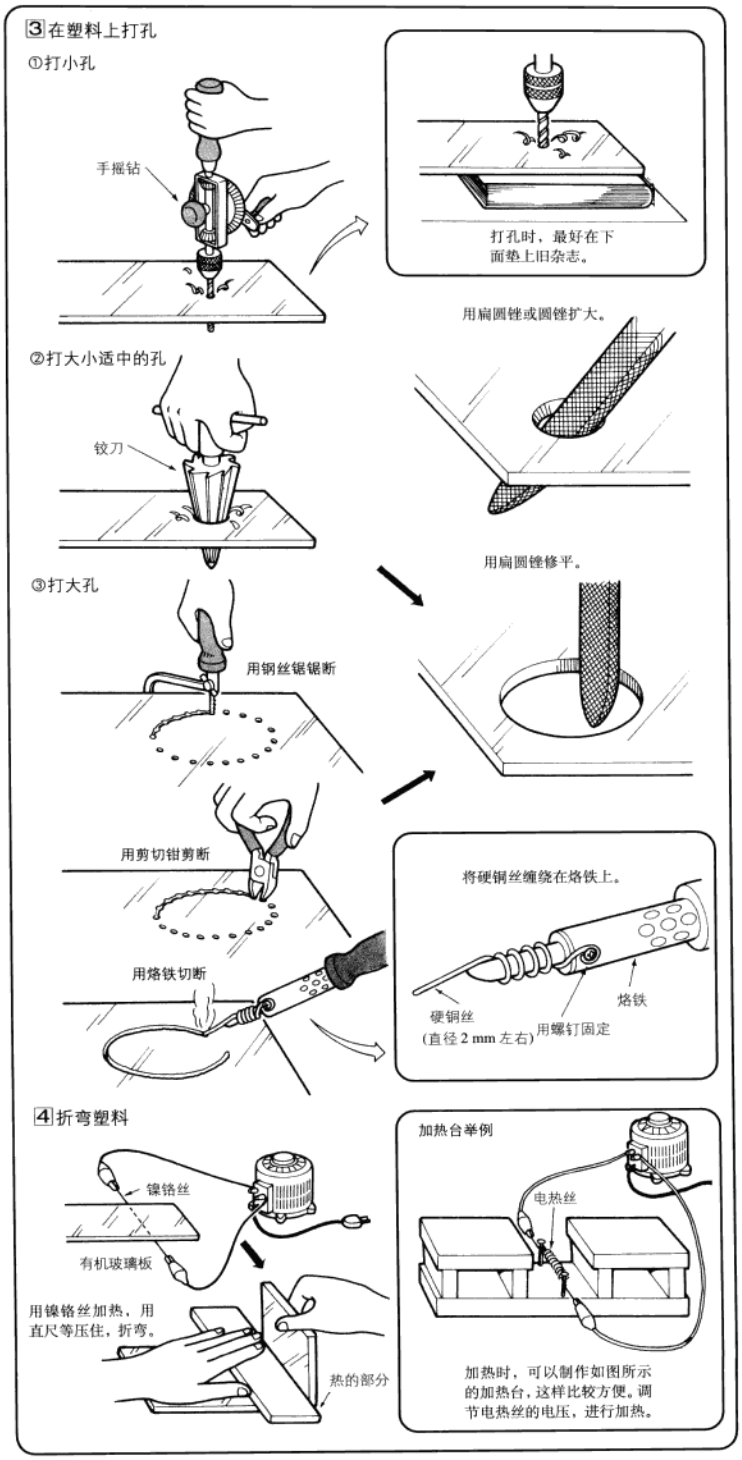

1 说明 塑料有很多种类。无论哪种塑料都具有可塑性，即加热时能像黏土那样变成与模型一致的形状。这种自由变形的性质叫做可塑性，塑料的名字就是由此而来的。

塑料可以分为两大类：一类是加热时会变软并且能自由变形的热塑性塑料；一类是加热成形后再次加热不会变软的热固性塑料。热塑性塑料，如用来制作电线外皮的聚氯乙烯、聚丙烯等，不会随着烙铁的温度而发生化学变化，但是会熔化；热固性塑料，如用来制作印制电路板的酚醛树脂，成形后再加热也不变形。热固性塑料成形前是粉末，将此粉末放在模型中加热、加压，于是成形，此时其化学结构发生了变化，硬化了，于是就没有可塑性了。

2 提示 如果是薄而柔软的塑料板，就可以用剪刀剪断；如果是绝缘胶木或聚苯乙烯、有机玻璃之类的硬塑料，则需用钢锯锯断，或用宽刃小刀或钢锯的锯条等反复划线，划出一道沟后再切断。

按照预定的曲线切断塑料板时，在准备留用的一侧(同时距多余的一侧有一定距离的地方)，用钻头钻几个孔，然后用钢丝锯沿着这些孔锯断，再用锉刀修平。用钢锯切割热塑性塑料时，切下的碎屑可能会因受热熔化而变得难以切除，此时可以一边浇水一边切除。

将有机玻璃板、聚苯乙烯板、有机玻璃棒、聚苯乙烯棒等沿直线切断时，可以用自耦变压器降低电压，然后加热镍铬丝，再用加热后的镍铬丝按在塑料上进行切除，效果很好。




3 提示 在聚丙烯及聚酯这样柔软的塑料上打孔是非常容易的，在硬塑料上打孔时却要注意用力不能过猛，否则冲击力太大，会导致裂缝产生甚至破碎。小孔可用钻打，操作时为了不损坏台板，要在下面垫上木板或旧杂志之类的东西。

为了在容易产生裂缝、破碎的塑料上打出直径小于 4 mm 的小孔，打孔时下压的力量不要太大。然后，为了扩大这个孔，使用底盘铰刀，将孔扩大到所需大小。在此过程中不要胡乱用力，要一点一点地扩大，也可以用扁圆锉刀代替底盘铰刀来扩孔。

在仪表和扬声器上打孔时，可以用钢丝锯将钻头打出的孔锯断，或者在留用一侧靠近多余一侧的板上(稍微离开一点距离)，用钻打几个孔，然后用剪切钳剪断，再用扁圆锉修平。

如果是热塑性塑料，可以采用在烙铁尖上缠上直径为2 mm左右的硬铜丝，然后将塑料热切的方法。热切之后，再用锉刀修平。

4 提示 折弯像有机玻璃板这样硬的热塑性塑料时，可以先用电热丝等使之变热、软化，再趁机压上压板，折弯。

加热时，制作如图所示的加热台会非常方便。电热丝采用镍铬丝。通过调节电热丝的电压，可以把塑料加热至适当温度。

材料与器具

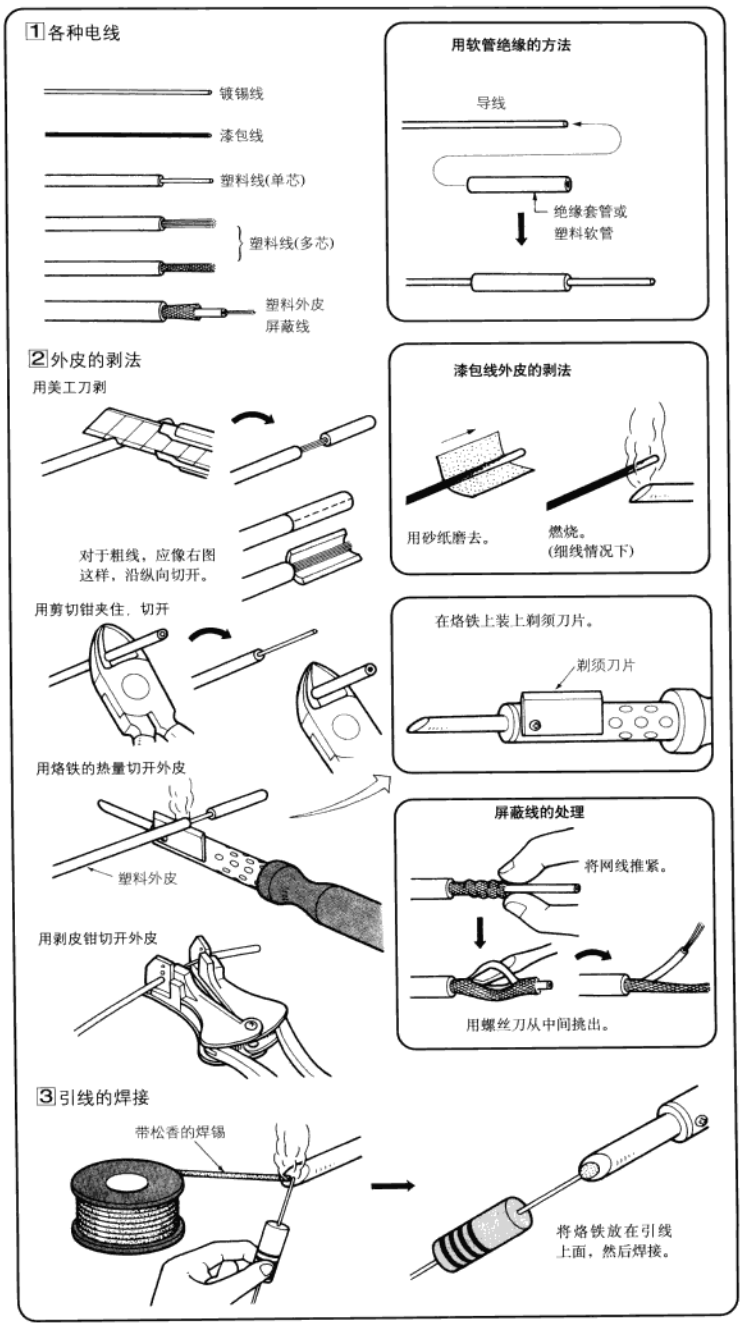
# 178 布线的技巧

目标

制作电子设备时，外箱、底盘的工作完成之后，还需要焊接、安装元器件及电线等。这里可以学习布线时需要注意的事项、顺序等要领。

宽刃小刀　烙铁　剪切钳　镊子　砂纸　带松香的焊锡

*实际操作时，还需要剥须刀片、放烙铁的架子、擦拭烙铁用的海绵等小工具或物品。



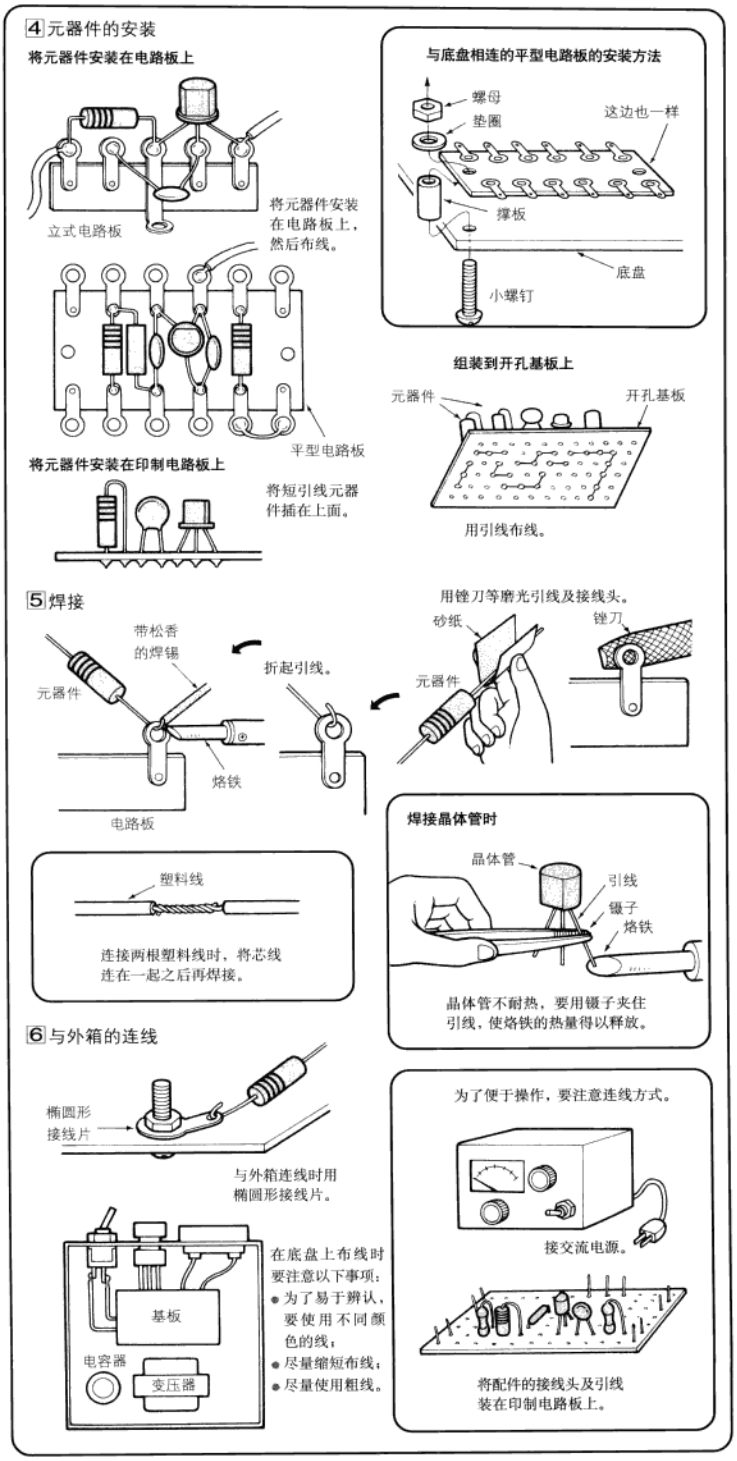

1 说明 铜线、镀锡线用于无须担心短路的地方。为了防止短路，需要套上绝缘软管使用。经常使用的是塑料线，必要时也可以根据电流的大小和拉线的情况选择芯线的种类。也有将两根线合起来用作电源线的交流线以及将几根塑料线合起来的带状电缆。为了防止杂音从外部进入，屏蔽线等经常被用在电话线路上。高频电路则使用同轴电缆及平行馈电线。

2 提示 剥去电线外皮时，用力不要过大，以免损伤里面的芯线。外皮的剥法因线的粗细及外皮材料不同而不同。像交流线这样的粗塑料线要用宽刃小刀切除，细塑料线则用剪切钳将外皮部分夹住，一边转动一边拉着切除。如果有带冲孔模板的剪切钳，就可将芯线夹在冲孔模板的圆孔中间，一边转动剪切钳，一边拉着去除外皮。

利用塑料外皮不耐热这个特点，还可以在烙铁上用螺钉固定剃须刀片，用热的刀片剥去外皮。另外还有一种专门剥去外皮用的工具，不过，它的价格可能要贵一点儿。

在屏蔽线的布线过程中，要小心地松开外侧的网线，像图上那样处理。将这种屏蔽线的网线整齐地归到一起，不要与芯线发生短路。

3 提示 将电线连接到接线片上之前，要在元器件的引线、电线的末端、接线柱等处抹上一点儿焊锡，这样下面进行的布线工作就会比较顺利。然后，在元器件的引线及铜线上面抹一些带松香的焊锡，用电烙铁加热，焊接到其他已经抹有焊锡的物体上即可。




**4 提示** 可以使用电路板排列元器件并进行布线。电路板有立式的和平型的。将电路板排列在各个电路上进行布线。立式电路板与底盘相连的那只脚是接地用的。使用平型电路板时，为了使电路板悬在底盘上方，必须使用撑板或螺母，这样可以避免接线头与底盘接触。

在印制电路板及开孔基板上安装元器件时，要尽量使各元器件的引线缩短。若想将元器件汇集起来、小型化，对竖起的电阻等进行布线时，就要使用朝同一方向伸出的电容器和引线，竖起来使用。

焊接完成之后，要剪断多余的线，确认没有在不必要的地方留有焊锡。

**5 提示** 焊接的时候，如果被烙铁熔化了的焊锡与要焊接的元器件及接线头的温度不同，就不能做到焊接牢固；如果元器件和线比较脏，也会影响焊接效果。元器件上事先附有焊锡时，虽然容易焊接，但如果生锈或沾上油渍，就很难焊接，这时要先用砂纸磨掉油渍之后再焊接。焊接仅仅是电力上的连接，为了使引线与接线头部分或引线之间紧密结合，一定要使之机械性连接牢固。对于半导体器件之类不耐热的元器件，要用镊子夹住脚进行散热，才能焊接。

**6 提示** 为了使用方便，要考虑好线的布局。正面板的焊接要考虑到操作时便于手和视线的移动等因素。一般来说，外箱通常利用椭圆形接线片连接电路的接地点。底盘内的配线要用不同颜色的塑料线，以便看得清楚。使用短而粗的线或绞线，是为了避免线路中出现杂音而采取的措施。

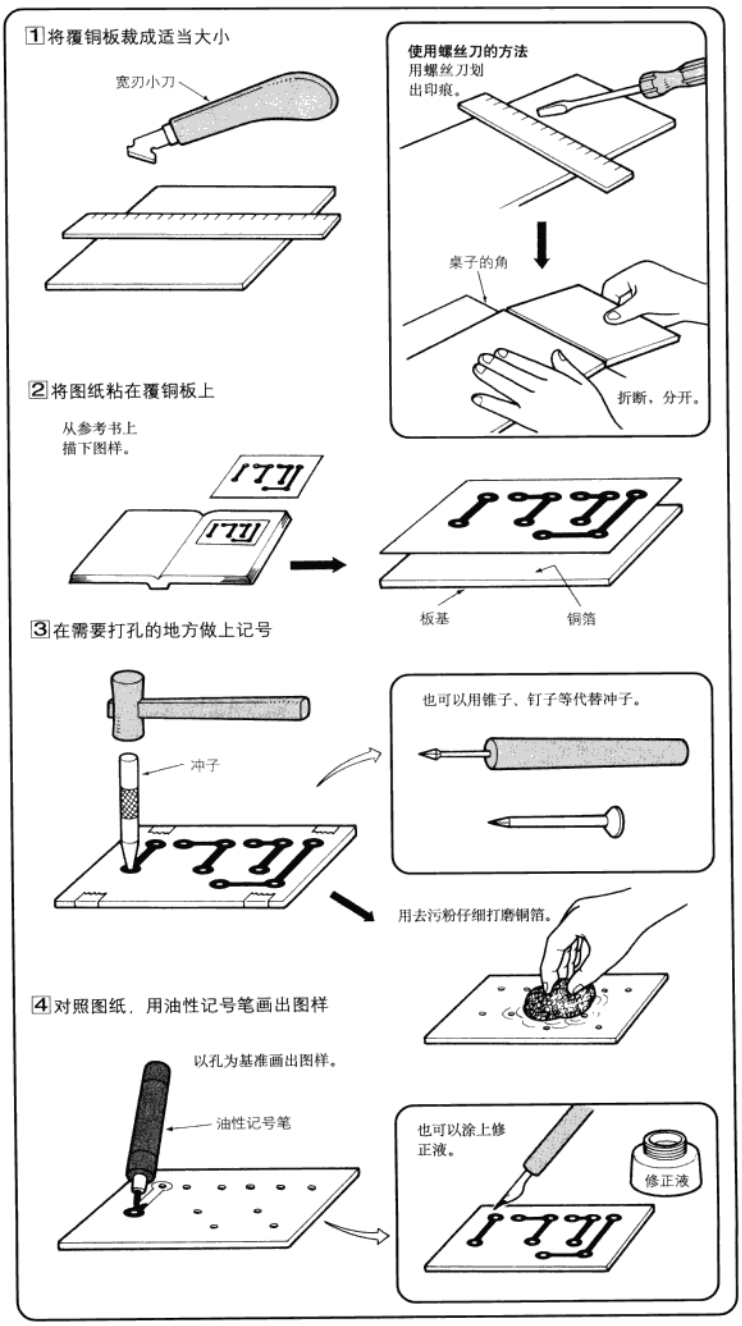
# 179 印制电路板的制作方法

目标

组装有晶体管和半导体集成电路的电路时，可以采用安装在接线片上的方法，但若自己能够制作印制电路板，将电子元器件安装在印制电路板上，电路的错误就会减少，电路也更稳定。本章的教学目标就是要学会这种印制电路板的制作方法。

覆铜板　油性记号笔　三氯化铁　宽刃小刀　冲子　手摇钻　复写纸　透明胶带　搪瓷盘　锤子　溶剂　助焊剂

*除此之外，还要准备桌子、泡沫塑料板、钢丝球、布、砂纸等。

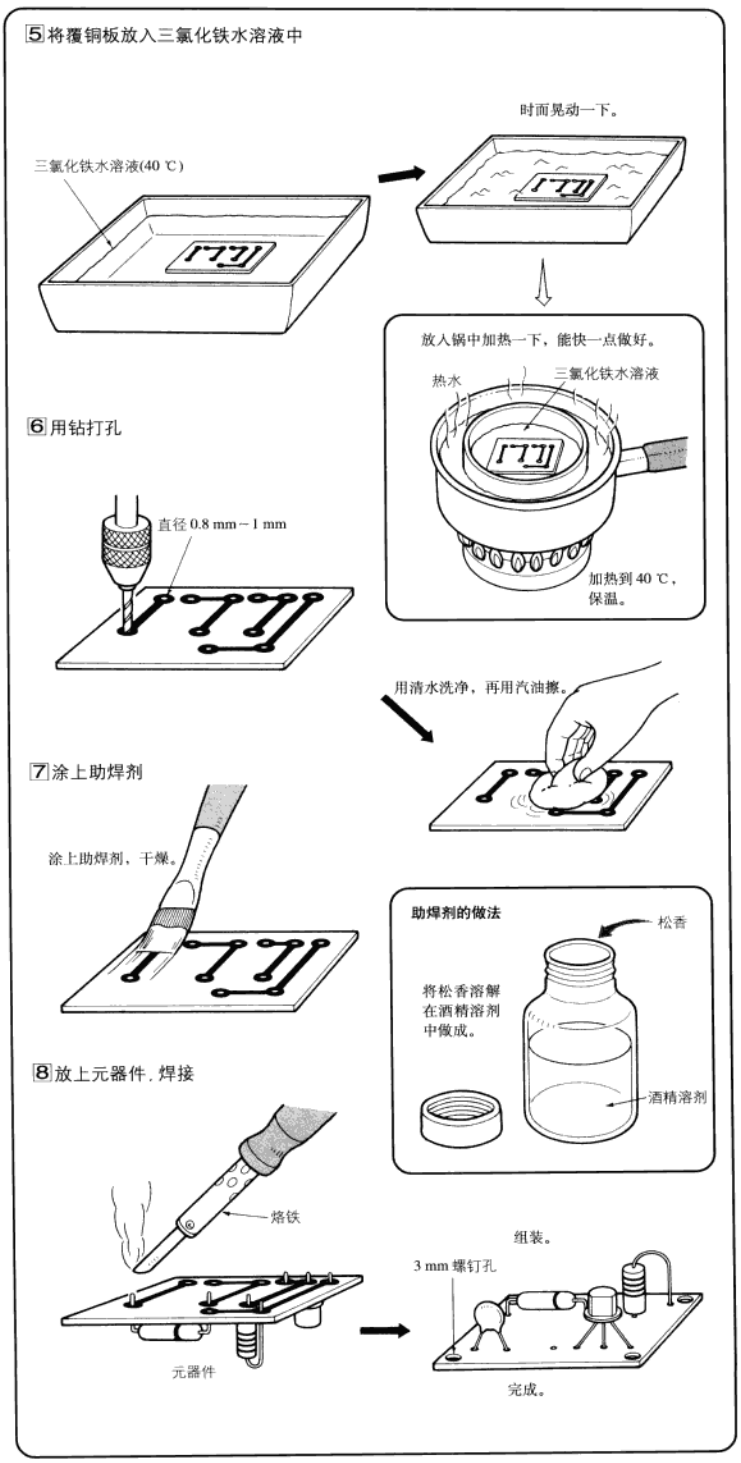



1 提示 用宽刃小刀将覆铜板裁成适当大小。也可以不用宽刃小刀，而用螺丝刀在覆铜板的正反两面划出印痕，将此划痕对齐桌子的边沿，就能很方便地折断。然后将切口用锉刀磨平。

2 提示 将图样画到复写纸上，然后用透明胶带粘在覆铜板上有铜箔的一面。如果书上有与实物一样大的图形，就将此图形描到复写纸上。图纸要参考电路图、元器件的大小、位置等因素来设计，要注意半导体集成电路脚的方向等。设计时要尽量留出铜箔。

3 提示 在复写纸上用冲子对准孔的位置做上记号，也可以用锥子、钉子等代替冲子。做好记号之后，用钢丝球蘸上去污粉，将覆铜面打磨干净。

4 提示 以冲子打出的孔为基准，将图样画到覆铜板上。此时可以使用印制电路板专用笔、油性记号笔或修正液等。画好之后，要晾干。这样，涂有墨水或修正液部分的铜箔就可以留下来了。




5 提示 搪瓷盘的大小应以放入覆铜板后还有活动空间为准。在搪瓷盘里放入三氯化铁水溶液，浸没覆铜板。将三氯化铁溶解在40 ℃左右的热水里，制成浓度大约为 10% 的水溶液。也可以将搪瓷盘放入锅内，将锅内的水加热到 40 ℃左右，进行间接加热。要经常晃动一下搪瓷盘或覆铜板，用药液清洗覆铜面，尽早溶解多余的铜箔。

6 提示 待没画图样部分的铜箔全部溶解之后，将覆铜板拿出来，用水冲洗，然后用汽油擦去油性墨水，图样就会清晰地显现出来。在用冲子做过记号的位置，用钻打孔(0.8 mm～1 mm)。

用钻打孔时，在覆铜板下面垫上泡沫塑料板会更容易。

7 提示 在打好孔的覆铜板的铜箔上，用毛笔或刷子涂满助焊剂，以防铜箔氧化，并且有利于焊接。涂好助焊剂之后，干燥。

8 提示 在做好的印制电路板上，按照电路图安装电子元器件，焊接。剪短元器件的引线，使元器件不会摇晃。使用含有松香的、细腻的优质焊锡，能使焊接的效果更好。

电路板上用于安装底盘的螺钉孔，最好在 6 中打好。

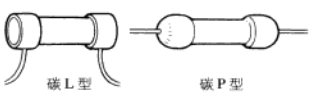
# 180 电子元器件及其符号

目标　了解主要电子元器件的特性，认识电路图上的符号，知道布线时必须注意的事项。

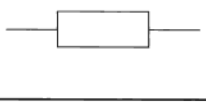
各种工具

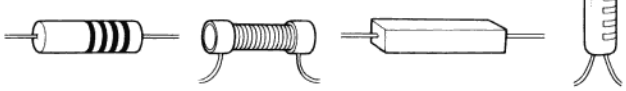
## 1 定值电阻器

碳膜电阻器

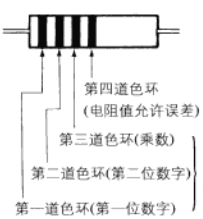



电路图符号



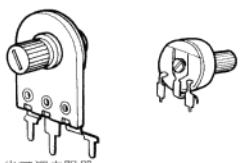



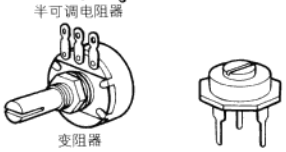

电阻值的读法



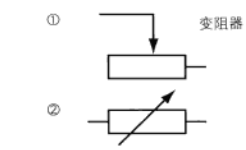

| 颜色 | 第一道色环 | 第二道色环 | 第三道色环 | 第四道色环 |
|---|---|---|---|---|
| 黑 | 0 | 0 | 1 | |
| 褐 | 1 | 1 | 10 | |
| 红 | 2 | 2 | $10^2$ | ± 2 |
| 橙 | 3 | 3 | $10^3$ | |
| 黄 | 4 | 4 | $10^4$ | |
| 绿 | 5 | 5 | $10^5$ | |
| 蓝 | 6 | 6 | $10^6$ | |
| 紫 | 7 | 7 | $10^7$ | |
| 灰色 | 8 | 8 | $10^8$ | |
| 白 | 9 | 9 | $10^9$ | |
| 金 | | | $10^{-1}$(0.1) | ± 5 |
| 银 | | | $10^{-2}$(0.01) | ± 10 |
| 无色 | | | | ± 20 |

## 2 变阻器

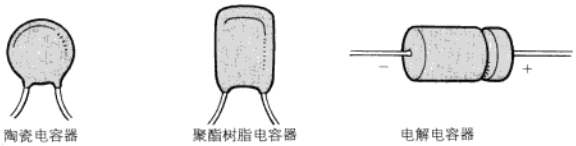


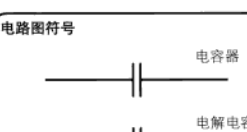

电路图符号




## 3 电容器




电路图符号




1 说明　电子设备仪器上经常使用的电阻器有碳膜电阻器和用混和碳粉等制作的立体电阻器。需要准确的电阻值时，最好使用金属膜电阻器。流过的电流大，消耗的电功大而使温度上升时，使用线绕电阻器或者水泥电阻器。

定值电阻器的符号跟电阻器的种类及电阻值的大小无关，全部用同一符号表示。符号旁边标有电阻值。

水泥电阻器、线绕电阻器、碳膜电阻器等的表面，通常都印有表示电阻值的数字，但小型立体电阻器和金属膜电阻器一般都是在其表面印有色环，用颜色区别电阻值，这种方法叫做彩色代码法。

如图所示，彩色代码位于电阻器的侧面，由四道色环构成，第一道色环到第三道色环表示电阻值，第四道色环表示允许误差的百分率。例如，色环依次是黄、紫、红、银色的情况表示电阻值为 $47 \times 10^2\,\Omega$，也就是 4.7 kΩ，误差范围在10%之内。定值电阻器的数值都是符合国家统一标准的标准值。常见的定值电阻值有下面24种：

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 1.6 |
| 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.7 | 3.0 |
| 3.3 | 3.6 | 3.9 | 4.3 | 4.7 | 5.1 |
| 5.6 | 6.2 | 6.8 | 7.5 | 8.2 | 9.1 |

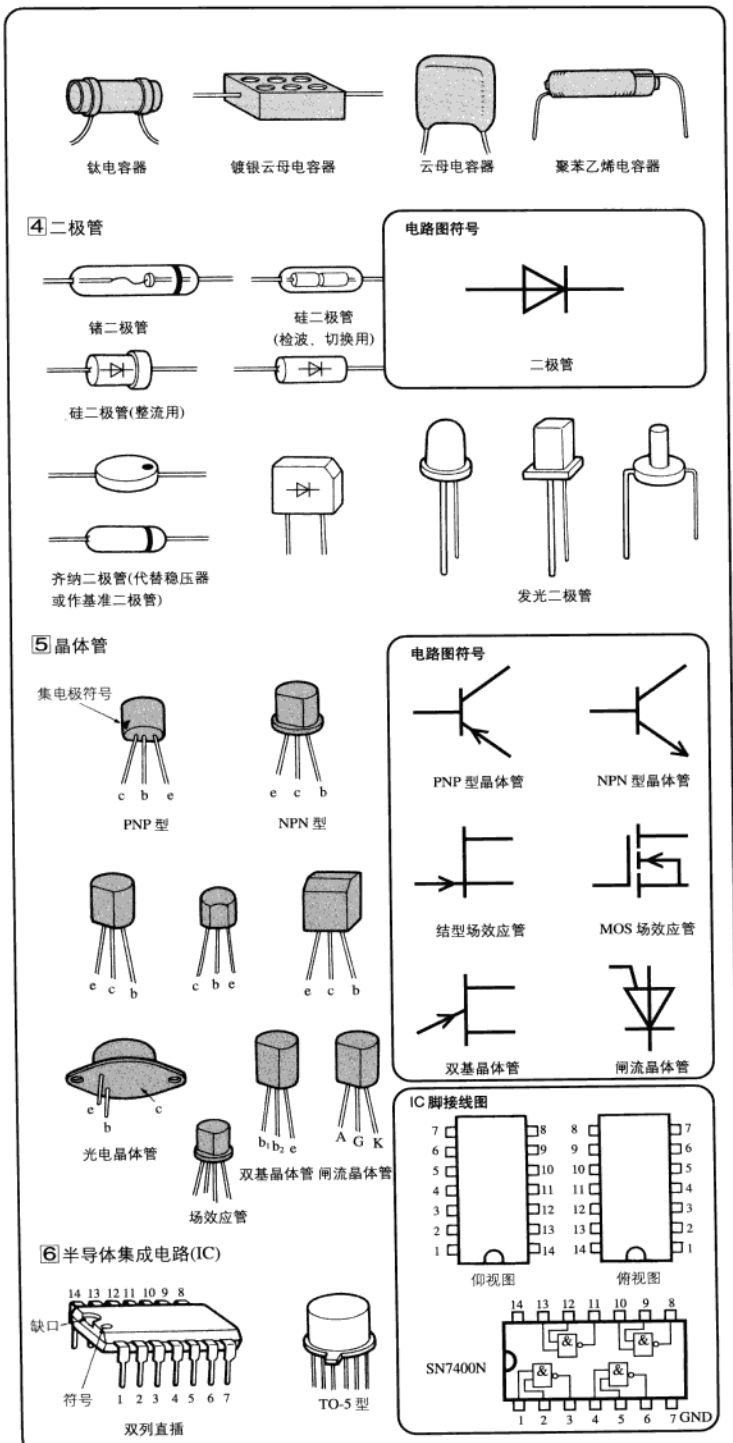
2 说明　还有一种变阻器叫电位器。线绕型、碳膜型是从制法上分类的，此外还可以根据旋钮的旋转角度引起的阻值变化比率的不同来分类，这是阻值以外的重要因素。还有易于安装在印制电路板上的半可调电阻器。

变阻器的符号，有把可调部分表示为滑动触点型的和用符号表示电阻值的变化的两种。

3 说明　在电阻率高的绝缘材料上附着电极的陶瓷电容器，从几皮法至几千皮法的都有，又小又便宜，经常被使用。

使用聚酯树脂作为绝缘体的聚酯树脂电容器，具有适应高频电路的特性。适用于高频电路的还有云母电容器、聚苯乙烯电容器和钛电容器。

电解电容器，是在铝箔之间填有糊状电解液，在箔的表面产生薄的氧化膜作为绝缘体。这种电容器的容量大，用于直流电路和低频电路。电解电容器的电极有正负极性，注意不要反向加压。还有一点需要注




意的是，电解电容器使用的电压是固定的，注意不要超过此电压。

4 说明 半导体二极管有许多种。按照用途的不同，可以分为用于高频检波和小功率整流的普通二极管和有某种特殊用途的整流二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管(LED)等。无论哪种二极管，其主要部分都是一个 PN 结。PN 结是由半导体材料锗或硅中掺入一些杂质制成的。根据掺入杂质的种类不同，半导体材料可以分为含电子多的 N 型半导体和含空穴多的 P 型半导体，两种半导体的交界层叫做 PN 结。

5 说明 晶体管也有很多种。根据工作原理分类有 PNP 型、NPN 型和场效应管(FET)。作为特殊用途的，还有光电晶体管、双基晶体管和闸流晶体管等。这些晶体管形状不同，连接方式各异。MOS 场效应管不耐静电，要注意。

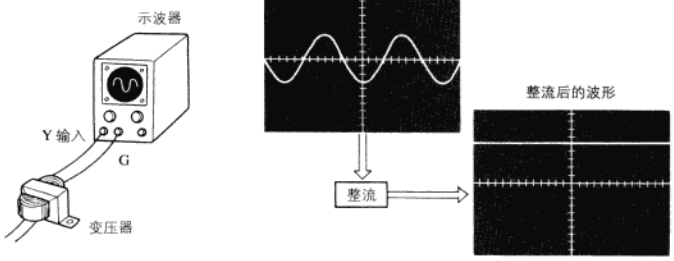
6 说明 半导体集成电路(IC)分为线性集成电路和数字集成电路。脚的接线图，从上面看有俯视图，从下面看有仰视图，要注意。识别引脚时，将外形结构标志(缺口)置于左侧(如 6 中的小图所示)，由左下角起按逆时针转，依次为 1，2，3…

# 181 整流电路的结构和应用

目标　能理解整流的概念，知道整流电路的结构。

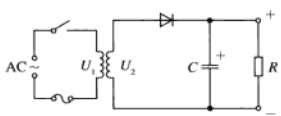
各种工具

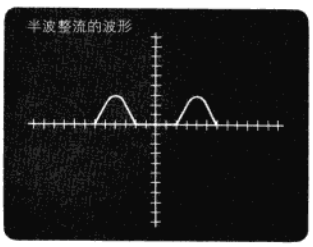
## 1 整流




## 2 半波整流

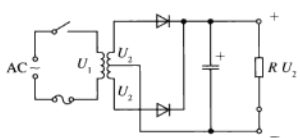
**单相半波整流电路**

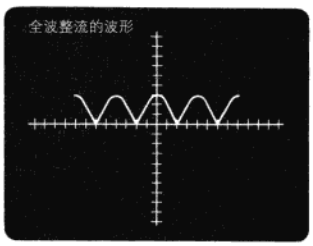


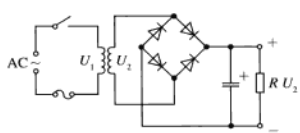



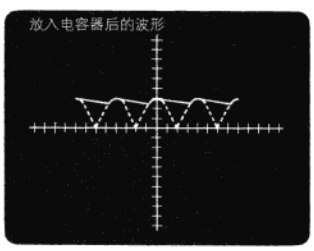

## 3 全波整流

**单相全波整流电路**

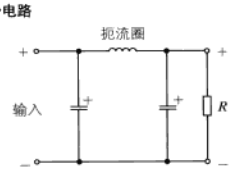



**平滑电路**




平滑电路利用大容量的电容器和扼流圈使脉动电流变为更加完善的直流。左图表示的是平滑电路的一个例子。

1 说明 电子电路的电源一般都是直流的。直流电从蓄电池及干电池中很容易得到，但是其电流及电压的大小都是有限的，能够使用的时间也很有限。

如果用示波器显示，家庭配电用的交流电的波形如左图所示。这是以时间为横轴、以电流(或电压)为纵轴得到的波形。交流情况下，电流(或电压)的大小和方向随着时间而变化。

将交流电转换为大小和方向时刻相同的直流电的过程，叫做整流。

2 说明 最简单的整流电路，是采用一个二极管的单相半波整流电路。由于二极管的单相导电性，只有当变压器的次级线圈上的感应电压 $U_2$ 处于正半周时，二极管上才会有电流流过。

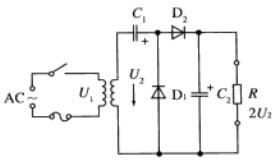
用示波器观察流经二极管的电流，可以看到如图所示的波形。使用大容量的电容器 $C$，可以将这种波形(脉动电流)改为平稳的直流电流。此时，必须注意交流电压不能超过二极管的最大反向耐压的 1/2.8。

3 说明 左面的电路图是单相全波整流电路的例子。上面的电路图是在变压器的次级线圈上采取中心抽头的办法，使得电流每半个周期交替流向二极管的正方向时得到的。拆下电容器后得到的波形，就是将半波整流的波形错开半个周期再反向加上的形状。放入电容器后，因为充电的电压不会马上放电，所以会形成如图所示的小幅脉动电流。加大容量之后，这种脉动电流的脉动幅度会更小，几乎变为直线。

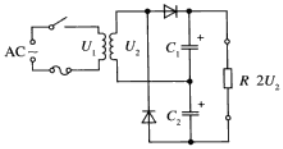
下面的电路图是采用没有中心抽头的变压器，将四个二极管变成电桥的全波整流电路的例子。

## 4 倍电压整流

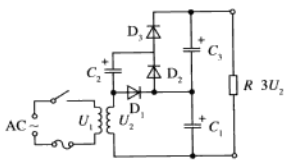
①二倍电压(半波型)




②二倍电压(全波型)

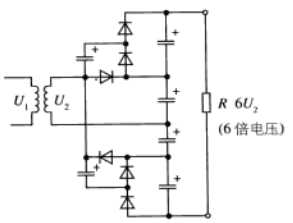



③三倍电压



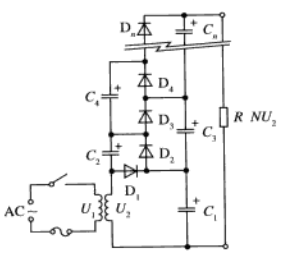

偶数倍的电路

(将奇数倍正负延长的电路)

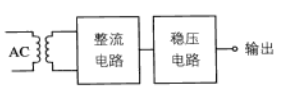



要得到偶数倍的电压，将奇数倍的电路正负延长即可。

④ $N$ 倍电压($N$ 为奇数)

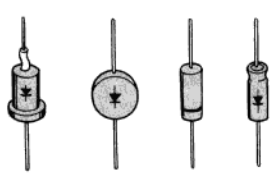



普通电源的电路结构




半导体电路中使用的电源，为了避免电压发生波动，一般会在整流电路的后面加一个稳压电路。

经常用于电源电路的硅二极管



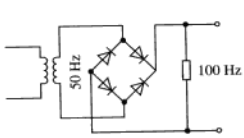
电解电容器的耐压　　注意极性



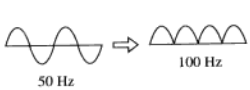
大容量的电容器一般使用电解电容器。电解电容器有极性，布线时要注意。另外，使用超过耐压限度的电压时，会有爆炸的危险。

「25 WV」 Working Voltage
工作电压→使用时的电压

## 5 应用到脉冲电路中




脉冲的递增倍数




(0.01 s脉冲)

**4 说明** 把变压器次级线圈的端电压变为升压几倍的直流电，这种整流电路叫做倍电压整流电路。

① 在被称为半波型的整流电路中，如果变压器的次级线圈按箭头方向接通电流，$D_1$ 就会变为正方向，$C_1$ 被充电。然后，按与箭头相反的方向接通电流，$U_2$ 和 $C_1$ 的电压之和便会加在 $D_2$ 上，$C_2$ 被充电。

加在 $D_1$ 和 $D_2$ 上的反向电流，最大值同样是将次级线圈的端电压 $U_2$ 和 $C_1$ 的电压之和加在 $D_2$ 上，$C_2$ 被充电。

加在 $D_1$ 和 $D_2$ 上的反向电压，最大值同样是次级线圈端电压 $U_2$ 的 2.8 倍(有效值)。

另外，与 $C_1$ 相比，$C_2$ 需要耐二倍最大电压。

② 这是得到二倍电压的全波整流电路。这个电路将两个半波组合起来，导出二倍电压。在这个电路中，$C_1$、$C_2$ 可以是相同耐压的电容器。

③ 这是能得到三倍电压的电路。因为要在 $C_3$ 上加二倍电压，所以要注意耐压的问题。

④ 这是一个在奇数倍的情况下，延长由二极管、电容器组成的电路从而得到倍电压的电路。

**5 说明** 整流电路，一般作为电源，用全波整流，可以将脉冲提高至二倍。另外，如果是高频电路，频率能够递增好几倍。

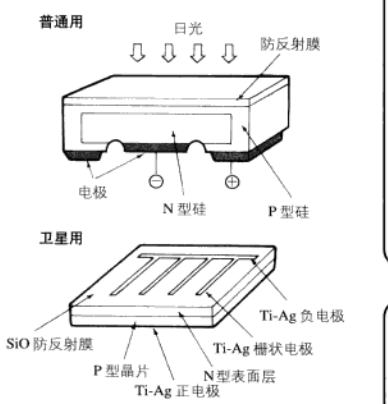
# 182 太阳能电池的利用

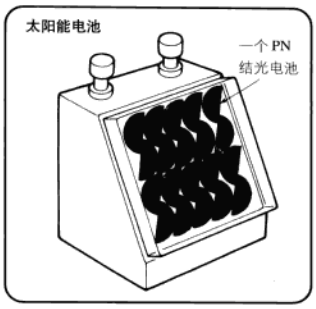
目标

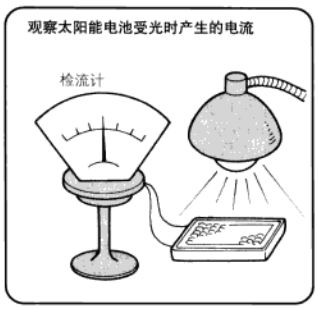
知道太阳能电池将光能直接转化为电能，是人造卫星、孤岛、袖珍电子计算机等的理想电源。
能说明太阳能电池的原理和包括低电压输出处理法在内的使用方法。

检流计　台灯　玩具用直流电动机　电池5节　烧杯
碳棒　氯化铜　配线

1 太阳能电池的结构

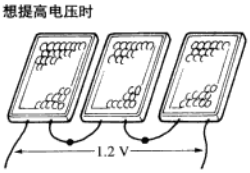


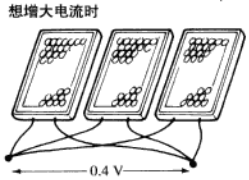

2 太阳能电池的连接

想提高电压时




$E = E_1 + E_2 + E_3$

想增大电流时



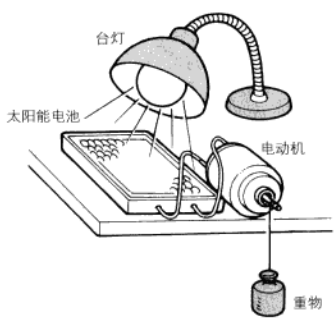

$I = I_1 + I_2 + I_3$

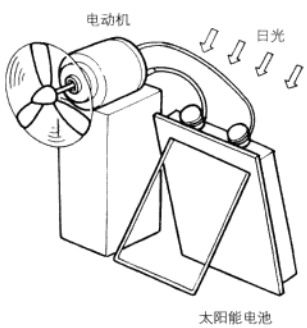
太阳能电池的特性

| 型　号 | SEG-35PG | 3-300R |
|---|---|---|
| 受光面 | 直径 50.8 mm | (76.2 × 44.5) mm² |
| 输出电压/V | 0.4 | 0.40～0.55 |
| 电流/mA | 300 | 300 |

以上数据是在100 mW/cm² 辐射能照度下测到的(25 ℃)。

3 观察光能所做的功



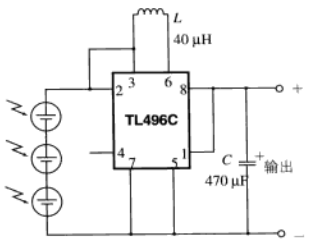




1 说明 太阳能电池是受光后会产生电动势的元件，原来有用于照相机曝光表的硅光电池，现在使用效率更高的PN结的产品在市场上也出现了。
用于人造卫星的太阳能电池，结构与一般的太阳能电池不同，但也是PN结型。
现在有各种形状的太阳能电池，在日光照射的情况下，一个太阳能电池的平均输出电压是一定的，约为0.4 V。
太阳能电池受光时，输出电压基本一定，但是光线强时输出电流会增大。如果想进行光能转化为电能的演示，则需连上检流计。

2 说明 利用一个太阳能电池，得到的电压很小。要想提高电压，可以将多个太阳能电池串联起来使用。此时，电流的大小由太阳能电池的大小决定。想增大电流时，将多个太阳能电池并联使用。此时，电压与一个太阳能电池的情况没有区别。
左边是输出电流约为300 mA的太阳能电池的特性举例。

3 说明 这是一个用于演示将光能转化为电能进而又转化为动能的例子。
提示 一个太阳能电池的输出电压只有0.4 V，不能带动电动机或点亮小灯泡，所以要将几个太阳能电池串联起来进行实验。不过，现在市场上已经出现了在内部就已串联好的太阳能电池。

## 4 提高太阳能电池电压的装置

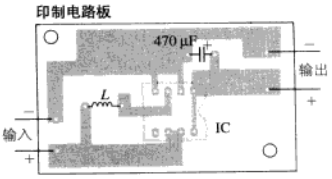



串联三个太阳能电池。

TL496C 的特性

| | |
|---|---|
| 输入电流 | 无负荷时　125 μA<br>$R_l$=120 Ω 时　525 mA |
| 输出电压 | 7.2 V |
| 输出电流 | 40 mA |
| 效　率 | 66% |

**印制电路板**

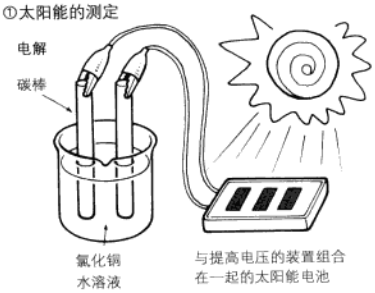



**元器件表**

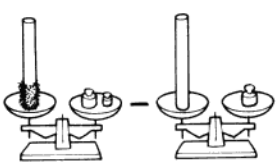
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 集成电路 (IC) | TL496C (转换调节器) | 1 |
| 太阳能电池 | SEG-35PG | 3 |
| 线　圈 | 40 μH(T8-40D TDK防杂音线圈) | 1 |
| 电容器 | 470 μF 50 W(电解电容器) | 1 |
| 基　板 | 自制印制电路板 | 1 |
| 其他　配线用线若干 | | |

## 5 使用提高电压装置的实验及其应用

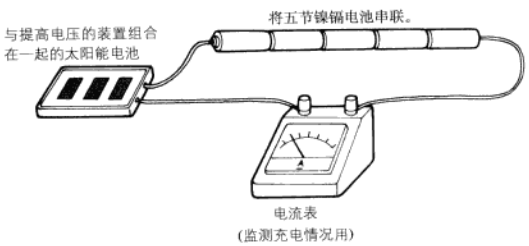
①太阳能的测定



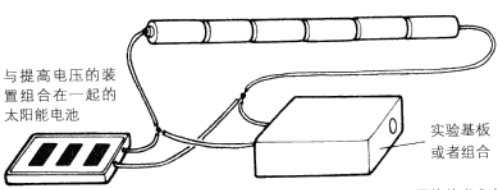

测量附着在碳棒上的物质的质量，观察其与时间、地点、照度、天气之间的关系。



②给镍镉电池充电




③电子设备用稳压电源




应用于野外的半永久性电子设备

**4** 说明 如果不将几个电池串联起来使用，用太阳能电池得到的电压就没有实用价值。左图是将 1.2 V 的输入电压提高到 7.2 V 的电路。TL496C 是充当转换调节器的八引线、二重线型集成电路。$L$ 使用 40 μH 的铁氧体电缆芯线的线圈。尽量使用大线圈。TL496C 的输入电压是 1.2 V，能得到的输出电压和电流分别是 7.2 V 和 40 mA。

提示 制作图样时要注意：用于提高电压的装置上的印制电路板，要尽量多留一点铜箔。

将三个太阳能电池串联起来，与基板一起固定在外箱上即可。

**5** 说明 这里列举了三个在实验中使用提高太阳能电池电压的装置的实例。

**①太阳能的测定**　氯化铜水溶液电解时会在一极析出铜，且析出量与电荷量成正比，所以用铜的析出量可以测定太阳能电池的电荷量。进行电解质水溶液的电解时，分解电压由溶质决定。利用一个太阳能电池(0.4 V)达不到分解电压的要求；如果使用提高电压的装置，利用三个太阳能电池就能进行实验了。这种装置的输出电压是一定的，输入电流会随着入射光线的量而变化。

**②给镍镉电池充电**　从提高电压的装置输出的电压是 7.2 V，所以需将五节镍镉电池(1.2 V)串联起来充电。充好电的镍镉电池可以用于实验或电子设备。

**③电子设备用稳压电源**　在用于野外作业的半永久性电子设备电路上并联镍镉电池以后就能作为稳压电源来用了。根据提高电压装置的不同，有时即使太阳能电池的个数很少，也能用来进行很多实验。

# 183 计时器的制作

各种工具

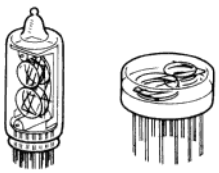
目标　能制作计时器。

## 1 计时器的种类

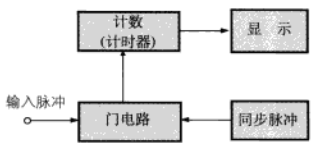
①输入脉冲的计时器



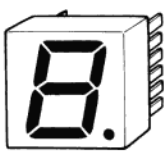

显示放电管(数码管)



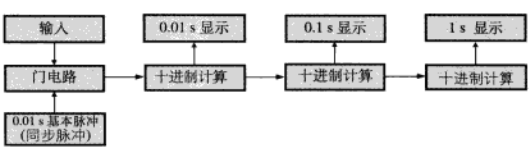
②输入脉冲的转换



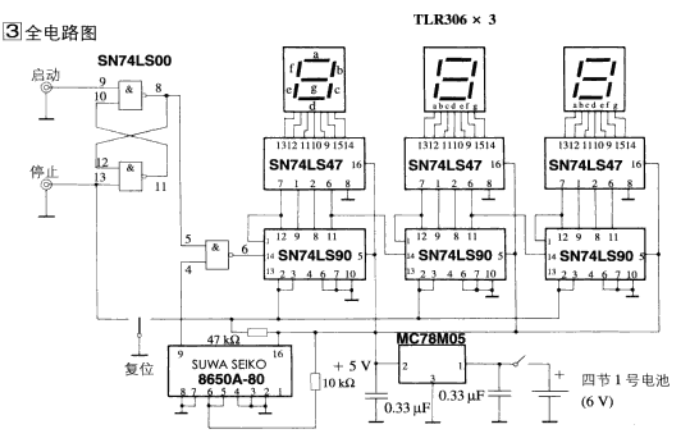

显示器(七段)




## 2 计时器的框图




## 3 全电路图




**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 集成电路 | SN74LS90 | 3 | 电阻器 | 47 kΩ 1/4 W | 1 |
| 集成电路 | SN74LS47 | 3 | 电　池 | 1 号 UM-1 1.5 V | 4 |
| 集成电路 | SN74LS00 | 1 | 电池盒 | 一个能放四节电池的(或两个能放两节电池的) | 1 |
| 集成电路 | 8650A-80 | 1 | 印制电路板 | 自制. 显示器 95 × 45. 计时器 95 × 60 | 各 1 |
| 集成电路 | MC78MO5 | 1 | 开　关 | 小型拨钮开关. 两个触点 | 2 |
| 显示器 | TLR306(七段) | 3 | 引线插头 | 插头. 插孔 | 各 2 |
| 电容器 | 0.33 μF 16 WV(钽) | 2 | 外　箱 | 铝制 | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/4 W | 1 | 其他 | 布线用线若干. 螺钉. 螺母. 透明有机玻璃板 | |

**1 提示** 脉冲计数的计时器，有二进制、十进制、十二进制计数等多种类型。

计时器有两种：一种是像①中这样的，对输入脉冲计数时，显示计数跟时间无关；一种是像②中这样的，设置一定的时间，对输入脉冲进行计数。

②通过选择同步脉冲，能对频率计数或计时。

数字显示器可以使用数码管、荧光显示管、镶嵌光电阴极型显示管，等等。

市场上可以买到各种显示器，其中使用发光二极管的镶嵌光电阴极型显示器(七段)比较好用。

最近，液晶七段显示器也被广泛应用于数字钟表上。这种显示器消耗的电流很小，效果很好。

**2 说明** 这是一个用输入脉冲打开门电路时，计数 0.01 s 的同步脉冲计时器的框图。

计数是用十进制表示 0.01 s、0.1 s、1 s。

**3 说明** 这是用 TTL 的数字集成电路制作的计时器的电路图。

在这个电路中，8650A-80 的时间标准集成电路发出 100 Hz 的脉冲，通过 SN74LS00 的门电路用 SN74LS90 的十进制计数器来计数。SN74LS47 用七段液晶显示器来表示 SN74LS90 的 BCD 输出的译码器驱动器。

输入用的是 RS 触发电路，输入各个 L 级别，进行操作。

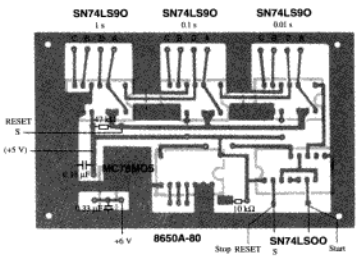
TTL 集成电路需要电源 +5 V，所以用三个触点的调节器作为稳压装置。

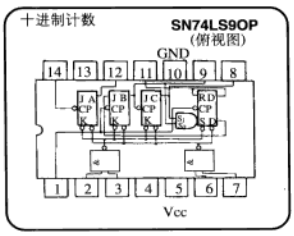
消耗电流中，液晶显示器占大部分，为 150 mA～200 mA。

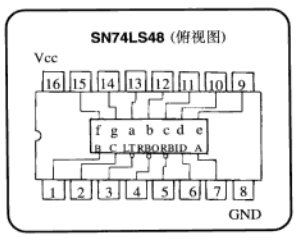
电源可以使用 5 号电池，但最好使用 1 号电池。

如果同步脉冲的频率为 10 Hz，则可计数到 99.9 s。

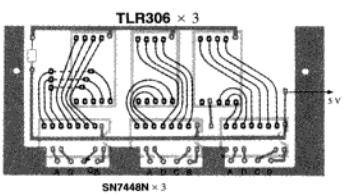
4 印制电路板(计数部分)

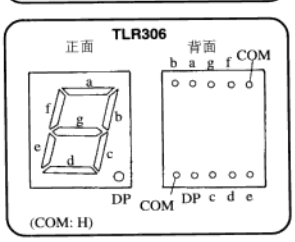



5 印制电路板(显示器)




6 同步脉冲用时间基准集成电路

| | 100 kHz ($\frac{1}{10^7}$ s) | 10 kHz ($\frac{1}{10^6}$ s) | 1 kHz ($\frac{1}{10^5}$ s) | 100 Hz ($\frac{1}{100}$ s) | 10 Hz ($\frac{1}{10}$ s) | 1 Hz (1 s) | 0.1 Hz (10 s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 引线 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 6 引线 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 7 引线 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

0 代表接地，1 代表接到 +5 V。

跳线的接法



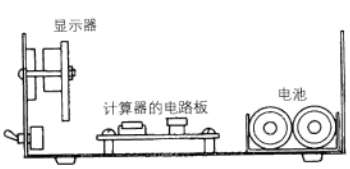


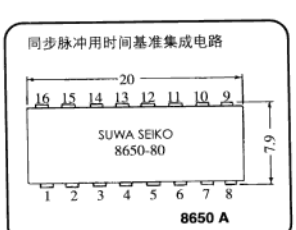


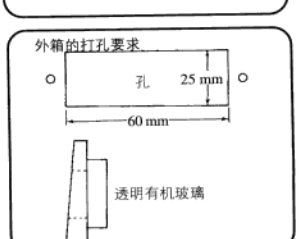
7 往外箱的布线




表盘的正面




4 提示 这是启动脉冲电路和十进制计数印制电路板。集成电路是TTL的，为了保险起见，最好用集成电路插座。

SN74LS90N的BCD输出分别用跳线接在显示器基板上的SN74LS47A～D上面。

SN74LS90N的引线的布线图是俯视图，所以从印制电路板的内侧(覆铜侧)来看时，引线方向相反，这一点要注意。

5 提示 这是七段液晶显示器及其解码器驱动装置的印制电路板。SN74LS47是七段用解码器驱动装置，是正极通用型的，所以液晶显示器也要使用正极通用型的。另外，SN74LS90N和SN7447都是LS类型的并且是可改变的，所以从减少消耗电功这一角度来说，也最好使用LS类型。

如果TLR306是正极通用的液晶显示器，那么无论哪种类型的七段液晶显示器都可以用(不过，不同类型显示器的脚的接法有可能不同，这一点要注意)。

7 提示 用三个基板组装成稍微大一点的外箱。液晶显示器的窗户上可以用透明的有机玻璃板。

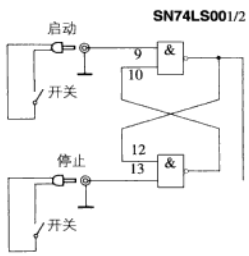
# 184 计时器的用法

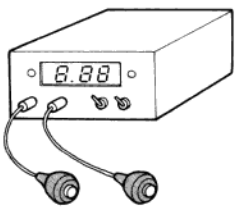
目标

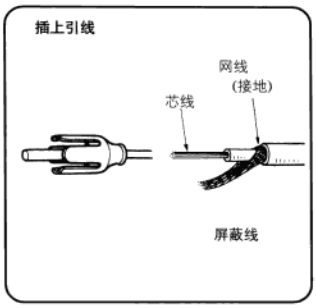
实验中需要准确测量时间的场合很多，这时只要将适当的启动、停止开关组装到计时器上即可。这里能够学到根据目的选择开关的知识。

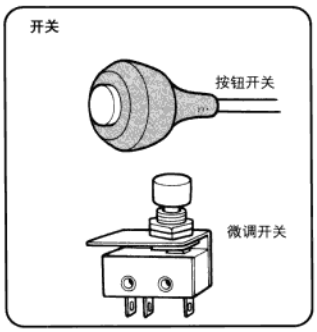
计时器　单刀单掷开关 2 个　微调开关　按钮开关　CdS 光敏电阻 2 个　SN7400 型引线插孔和插头各 2 个　方材　厚纸板　铁丝

## 1 计时器的用法

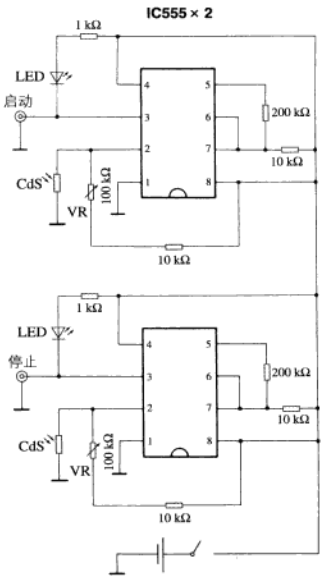


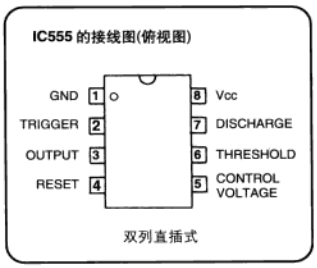



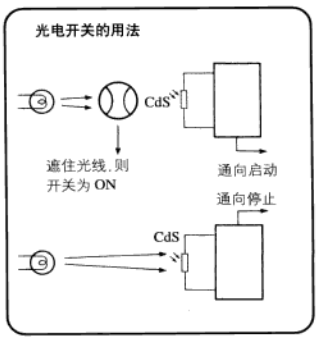




## 2 光电开关




1 提示 计时器的门电路根据 NAND(与非门)的触发电路采取 ON/OFF 设置。

启动开关和停止开关分别是 L 级别时变为 ON。开关一旦变为 ON 就不再改变，直到其他开关也都变为 ON，即使改变级别也不发生变化。

启动开关和停止开关的输入接线柱可以使用引线插孔，这样很方便。

使用屏蔽线连接引线接线柱时，应注意芯线和网线不要接触，网线要接地。

根据实验要求选择好用的开关。

可以使用按钮开关和微调开关。但是要想用同一个开关控制启动和停止，则需使用连锁式开关或重新考虑电路的设计。

2 提示 计时器除了手动开关之外还可以使用光电开关。这种开关不仅速度快而且能通过移动的物体进行“闭合”与“断开”之间的转换，很方便。

光电开关可以用发光二极管(LED)和光敏电阻(CdS)组合起来制成。左图中的电路是利用CdS光敏电阻和时间传感器IC555制成的高灵敏度光电开关。

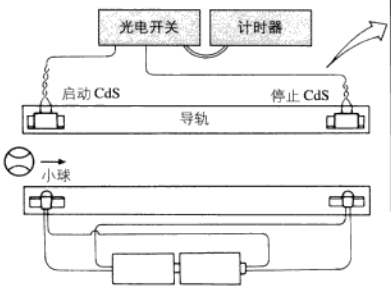
用自然光或小灯泡发出的光照射 CdS 光敏电阻时，用 100 kΩ 的变阻器调整级别。

在三引线输出的情况下，光照在CdS光敏电阻上时，是 H 级，遮住光就变成 L 级。此时，因为发光二极管亮着，所以能够确认。

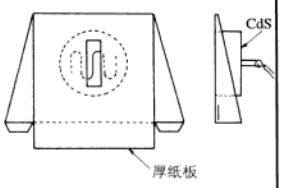
双列直插式的IC555比较容易买到，无论是哪个厂家的产品都可以。

光电开关启动侧的 CdS 光敏电阻和停止侧的 CdS 光敏电阻之间的距离要固定。

## 3 速度的测量

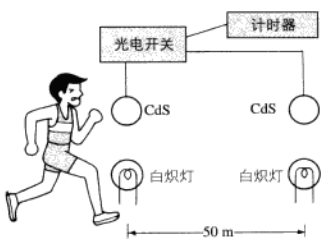



**CdS 光敏电阻受光窗**

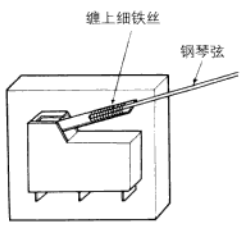



在厚纸板上划出刻痕，用黏合剂黏合。

**50 m 跑的时间测量**

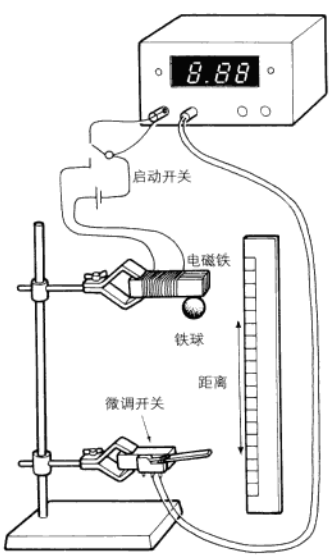



**微调开关的工作**




用于启动的开关

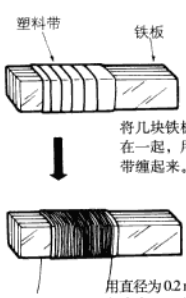
## 4 重力加速度的测定



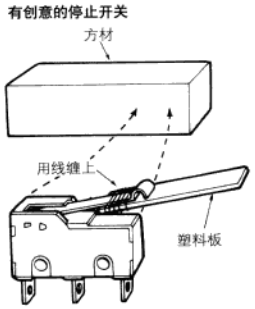

$$\text{距离} = \frac{1}{2} \times \text{重力加速度} \times (\text{时间})^2$$

$$\text{重力加速度} = \frac{2 \times \text{距离}}{(\text{时间})^2}$$

**电磁铁的制作方法**




**有创意的停止开关**




3 提示 这是测量运动物体速度的一种方法。

光电开关启动用CdS光敏电阻和停止用CdS光敏电阻之间必须有一定的距离，以便物体能在其间运动，然后才能测出时间，计算速度。

用球作运动物体时，可以设置轨道，使球做直线运动。

如图所示，将厚纸板折起来，使CdS光敏电阻的受光面变小，同时使光线照射到小球上。

两点间的距离一定，利用在其间运动的物体将开关拨到ON。只要能做到这一点，任何物体的速度就都可以测量了。

左图是自动测量50 m跑时间的装置，跑步者可以自己测量。

也可以用微调开关代替光电开关。将微调开关的棒接在钢琴弦上，通过触动钢琴弦使开关拨到ON。

4 提示 这个实验可以通过测量物体短距离下落所用的时间，测定重力加速度。

启动开关可以使用有两个触点的微调开关。用启动开关使吸在电磁铁上的铁球落下并刚好落在停止开关的棒上。将几块铁板叠放在一起，缠上塑料带，再绕上300匝左右的漆包线，制成电磁铁。还可以将铁板仔细打磨，中间夹上干木板，吸住铁球的时候，用它作为接触开关。(此时，需要对启动开关的电路动一番脑筋。)

可以在方材上装上微调开关，做成停止开关。在微调开关的棒上装上轻塑料板，使得铁球落在塑料板上时开关变为ON。

在多次测量的基础上进行计算。

# 185 定时器的制作

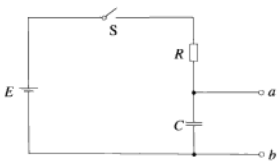
各种工具

目标

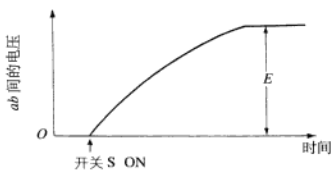
定时器是一种可以根据需要定时断开或闭合开关的装置，在现实生活中非常有用。通过这里介绍的实验，学生应能利用各种集成电路做出时间固定的定时器、能连续变化的定时器、能按照等级改变的定时器以及能长时间使用的定时器。

## 1 定时器电路基础

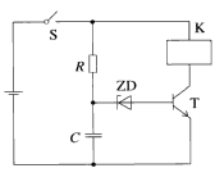
① *CR* 串联电路



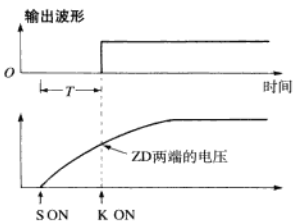

输出波形



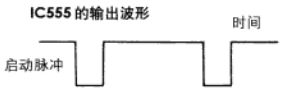

②使用齐纳二极管的定时器



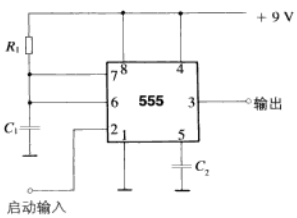

输出波形

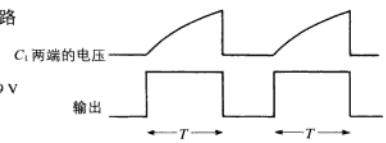



IC555 的输出波形




## 2 用集成电路 IC555 作为定时器的电路



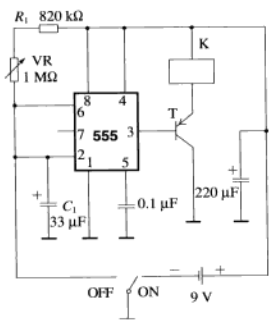




钽电容器




这种电容器是有极性的，要注意。

## 3 能够设定以任意时间为单位的定时器




| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 集成电路 | IC555 | 1 |
| 晶体管 | 2SB172 | 1 |
| 电阻器 | 820 kΩ 1/4 W(碳类) | 1 |
| 变阻器 | 1 MΩ(半可调型也可以) | 1 |
| 电容器 | 0.1 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 电容器 | 33 μF 16 WV(钽) | 1 |
| 电容器 | 220 μF 25 WV(电解电容器) | 1 |
| 继电器 | 6 V～9 V 用小型继电器 | 1 |
| 基　板 | 开孔基板 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，一个电路两个触点 | 1 |
| 干电池 | 006P 9 V | 1 |
| 电池盒 | 006P 用 | 1 |
| 外　箱 | | 1 |
| 其他　布线用软线，小螺钉，螺母 | | |

**1** 说明 ①中的电路，闭合开关S时，流经电阻器*R*的电流会逐渐充到电容器*C*上，*C*两端的电压随之上升，上升的情况因*C*和*R*的大小不同而不同。

因为*ab*间的电压达不到一定的值就不能工作，所以这样的电路可以当做计时器使用。

②中的电路，是使用齐纳二极管ZD的简单定时器电路。在这个电路中，当电压小于齐纳电压时(直到*C*两端的电压上升为止)，ZD上不会有电流通过，电压超过齐纳电压之后，T的集电极上便有电流通过，继电器K开始工作。

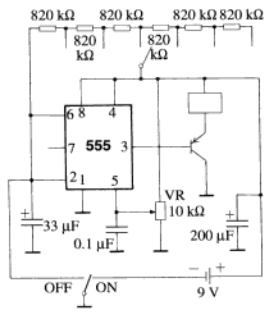
②中的电路，时间*T*由齐纳二极管的齐纳电压和*C*、*R*决定。

**2** 说明 这是用市场出售的集成电路IC555作为定时器的基本电路。这种集成电路，在2号引线上加上触发电路脉冲时，输出的3号引线就会变成H级，电容器$C_1$开始充电，达到电源电压的2/3之后，3号引线变为L级。定时器的时间随着$R_1$和$C_1$的变化而变化。触发电路脉冲在L级时工作。此时，电路一旦被触发，在一定时间*T*过去之前，即使往3号引线上加上触发，跟输出也没有关系。

**3** 说明 这是使用集成电路IC555且实用性很强的定时器电路。

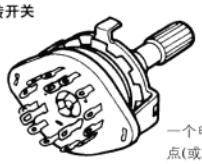
提示 基本电路与**2**中的电路相同，但是这里可以用变阻器VR(variable resistor)在30 s和1 min之间任意设定。需要延长时间时，可以增大$C_1$的容量，将电阻$R_1$在100 MΩ之内任意调节。$C_1$使用漏电少的钽电容器。不过，必须注意$C_1$不能超过100 μF。

## 4 能够设定以 30 s 为单位的定时器




| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 集成电路 | IC555 | 1 |
| 晶体管 | 2SB172 | 1 |
| 电阻器 | 820 kΩ 1/4 W(碳型) | 6 |
| 变阻器 | 10 kΩ(半可调型也可以) | 1 |
| 电容器 | 0.1 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 电容器 | 33 μF 16 WV(钽) | 1 |
| 电容器 | 220 μF 25 WV(电解电容器) | 1 |
| 继电器 | 9 V～12 V 用小型继电器 | 1 |
| 基　板 | 开孔基板 | 1 |
| 开　关 | 旋转开关，一个电路六个触点 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，一个电路两个触点 | 1 |
| 干电池 | 006P 9 V | 1 |
| 电池盒 | 006P 用 | 1 |
| 外　箱 | | 1 |
| 其他　布线用软线，小螺钉，螺母 | | |

旋转开关



一个电路六个触点(或 12 个触点)

舌簧继电器

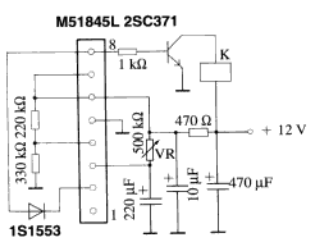


4 说明 这是使用旋转开关、能够设置以 30 s 为单位的定时器的电路。将820 kΩ的电阻串联接入电路，用旋转开关选择，由此进行时间设定。VR 是用于修正电容器误差的可变电阻。

提示 使用一个电路六个触点的旋转开关。如果使用 12 个触点的旋转开关，与 820 kΩ 一样串联接入电路，能够按 30 s 的间隔设置到 6 min。

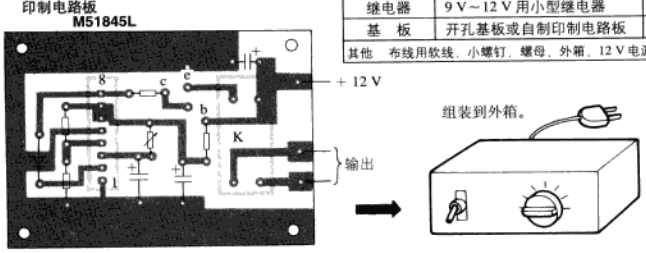
使用小型的舌簧继电器能使继电器小型化，最好是适用于 9 V～12 V 工作电压的。

## 5 长时定时器




| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 集成电路 | M51845L | 1 |
| 晶体管 | 2SC371 | 1 |
| 二极管 | 1S1553 | 1 |
| 电阻器 | 470 Ω 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 220 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 330 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 变阻器 | 500 kΩ(半可调型也可以) | 1 |
| 电容器 | 10 μF 25 WV(电解电容器) | 1 |
| 电容器 | 220 μF 16 WV(钽) | 1 |
| 电容器 | 470 μF 25 WV(电解电容器) | 1 |
| 继电器 | 9 V～12 V 用小型继电器 | 1 |
| 基　板 | 开孔基板或自制印制电路板 | 1 |
| 其他　布线用软线，小螺钉，螺母，外箱，12 V 电源 | | |

印制电路板
M51845L



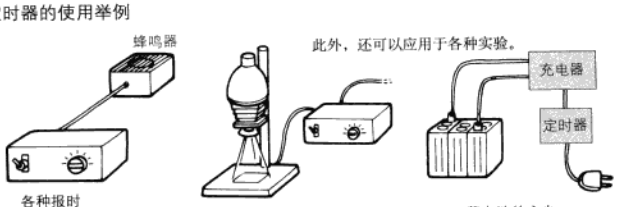

5 说明 这是使用集成电路M51845L的长时定时器的电路。在这个电路中，通过调整 VR 的阻值，可以进行 12 h～16 h 的定时设置。M51845L 内部有相当于 IC555 的电路和 11 段的分频器。这种集成电路可以将由VR和 220 μF 电容器设定的定时数延长 1 024 倍。

提示 M51845L是单列直插式八引线集成电路，内部有稳压电源电路，所以最好用12 V 左右的电源。

利用电容为 220 μF 的钽电容器，通过改变 VR 和电容器的值，能够制作长达50 h 的定时器，但这种定时器在准确性上稍差一点。

继电器可以使用 NRH-12 型。

## 6 定时器的使用举例




6 说明 使用集成电路的定时器可以应用于各种实验。

能设置以 30 s 为单位的定时器，连接蜂鸣器或指示灯后可以用于短时间的报时，还可以用于暗室中的显影和定影。可以用显影器直接控制指示灯。

用长时定时器进行蓄电池的充电等也很方便。

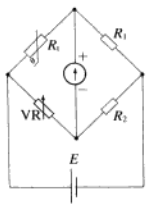
# 186 微小温差探测器的制作

目标

能制作检测微小温度变化的温度计。
能测定化学反应的发热、吸热及空气的绝热膨胀等引起的温度变化。
能利用电路制作恒温装置。

各种工具

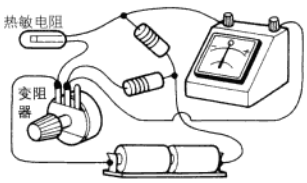
1 用电桥电路制作温度计



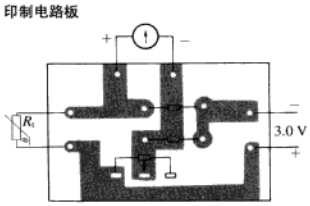

热敏电阻的种类



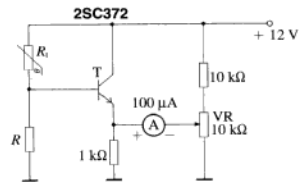

实物电路图

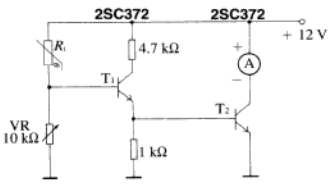



印制电路板




2 使用晶体管的温度计

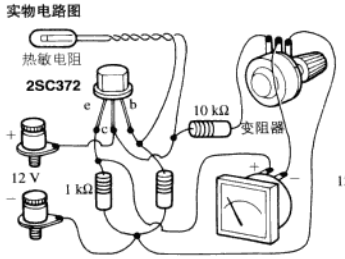


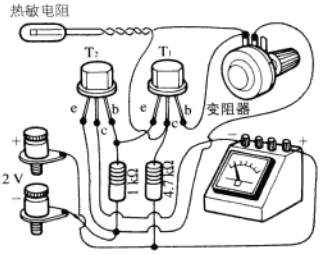

| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 晶体管 | 2SC372 | 1 |
| 热敏电阻 | 最好是珠形，0℃～100℃，10 kΩ～500 kΩ 的 | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 由热敏电阻的阻值决定 | 1 |
| 变阻器 | 10 kΩ (B)(调整电流表用) | 1 |
| 电流表 | 100 μA | 1 |
| 接线柱 | 红色一个，黑色一个 | 2 |
| 其他　布线用软线若干 | | |

| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 晶体管 | 2SC372 | 2 |
| 热敏电阻 | 珠形 | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(视热敏电阻的阻值而定) | 1 |
| 电阻器 | 4.7 kΩ 1/4 W(视热敏电阻的阻值而定) | 1 |
| 变阻器 | 10 kΩ (B)(调整用) | 1 |
| 电流表 | 50 mA (实验用电流表就可以) | 1 |
| 接线柱 | 红色一个，黑色一个 | 2 |
| 其他　布线用软线若干 | | |

实物电路图




热敏电阻




1 说明　这是利用电流表和电桥电路测量微小温度变化的装置。电路中所用电阻的阻值由所用的热敏电阻决定。VR是为了使初始温度与电流0 A一致而使用的调零电位器，阻值由关系式 $R_1 \times R_2 = VR \times R_3$ 决定。

热敏电阻是由铁、钴、镍、铜、锰、铬等金属氧化物混和起来做成的半导体元件，具有电阻大小随着温度而变化的性质。热敏电阻的品种很多，但小型的用起来更方便。

也可以用100 μA的电流表取代一般的电流表。

热敏电阻可以通过软线延长以便与任意的被测物体接触。

在这个电路中，温度上升时，电流表指针往正侧摆动；温度下降时，指针往负侧摆动。通过研究温度变化与电流变化的关系，可以测定温度。

这是一个电桥电路的印制电路板的图纸。

2 提示　这里介绍的是两个使用晶体管的微小温差探测器。

左侧的电路能用变阻器调整电流表的读数。将发射极的1 kΩ电阻减小，就能提高电流表的灵敏度。

右侧的电路是使用两个晶体管的电路，电流表可以用 50 mA 左右的。

NPN 型晶体管基本上都适用。

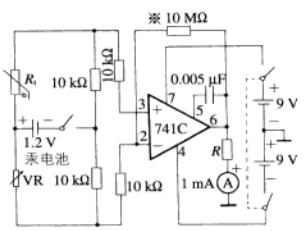
电源是直流 12 V，但也可以使用 006P 9 V 的叠层干电池。

这些电路都可以做成印制电路板。

右侧的电路能够通过减小变阻器的阻值减小电流表指针的摆动幅度。

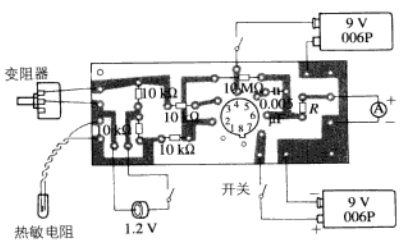
最好使用 1/8 W～1/4 W 的电阻。

## 3 使用运算放大器的温度计

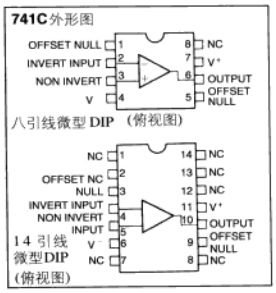



| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 集成电路 | μA741C(运算放大器) | 1 |
| 热敏电阻 | 珠形 | 1 |
| 电容器 | 0.005 μF 50 V(补偿用) | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/4W(碳型) | 4 |
| 电阻器 | 10 MΩ 1/4W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ (保护电流表用) | 1 |
| 变阻器 | 500 kΩ(B)(大小视热敏电阻值而定) | 1 |
| 电流表 | 1 mA(建议用实验用电流表) | 1 |
| 汞电池 | 如果没有1.2V的，用1.5V的5号干电池也行 | 1 |
| 电　池 | 006P 9 V　叠层干电池 | 2 |
| 开　关 | 拨钮开关，两个电路两个触点 | 1 |
| 电池子母按扣 | 006P | 2 |
| 其他　布线用软线 | | |

**印制电路板(背面)**

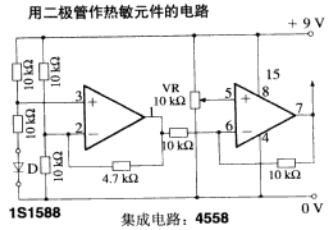



**741C**外形图

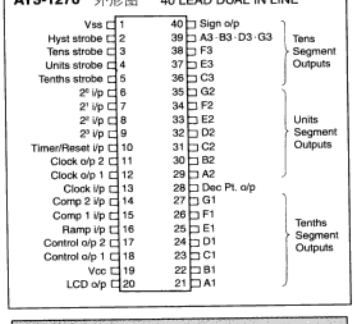



## 4 数字电子温度计

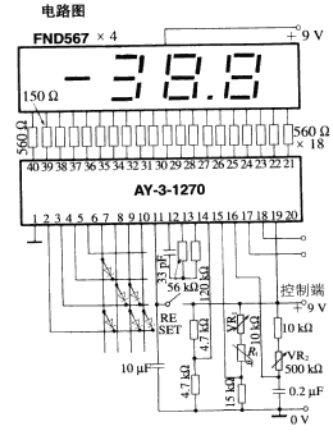
**用二极管作热敏元件的电路**




**AY3-1270** 外形图　40 LEAD DUAL IN LINE




**电路图**




| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| LSI | AY-3-1270(General Instrument) | 1 |
| 显示器 | FND567(正极通用) | 4 |
| 热敏电阻 | 珠形 | 1 |
| 二极管 | 1S1588(任意硅二极管) | 6 |
| 电容器 | 33 pF(陶瓷电容器) | 1 |
| 电容器 | 0.2 μF 50 V(钽电容器) | 1 |
| 电容器 | 10 μF 16 WV (电解电容器) | 1 |
| 电阻器 | 560 Ω 1/8 W~1/4 W(碳型) | 18 |
| 电阻器 | 4.7 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 2 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 15 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 56 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 120 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 |
| 半可调电阻器 | 10 kΩ | 1 |
| 半可调电阻器 | 500 kΩ | 1 |
| 集成电路插座 | 40 引线(LSI 用) | 1 |
| 插头和插孔 | 电源用 | 1 |
| 其他　装在基板(开孔)上，直流电源 9 V | | |

**3** 提示 在各种测温元器件中，要想迅速捕捉微小的温度变化，热敏电阻是效果最好的。热敏电阻是温度系数较高的元件，但是微小的温度变化会造成信号输出减少。为了使电流表指针摆动，需要高灵敏度的电流表。因此，利用热敏电阻使电桥电路信号放大的电路能放大微弱信号。左面的电路使用了运算放大器。有※记号的 10 MΩ 电阻在反转输入(－)上加上了负反馈。通过改变这个电阻值，能够改变运算放大器的放大倍数。

这是一个使用运算放大器电路的印制电路板的例子。运算放大器 741C 使用了金属环(TO-5 型)，也可以使用其他运算放大器(使用时，不要忘记观察脚的连接方式)。

741C 中，除了 TO-5 型之外，还有八引线微小 DIP 型和 14 引线 DIP 型。

**4** 提示 Generai Instrument 公司生产的 AY-3-1270LSI，作为数字温度计的集成电路在市场上出售。这种集成电路能够显示出－399 ℃～＋399 ℃范围内的温度变化，带有七段的 LED 译码器。通过改变从二引线到九引线的矩阵变换电路，能够改变温度显示。

利用控制端，能够通过调整温度进行控制。在左面的电路图中，用热敏电阻检测温度。$VR_1$ 是零点调整用的变阻器，$VR_2$ 是满刻度调整用的变阻器。

电源使用稳定的 9 V。

这个电路产生的测温误差在－2 ℃～＋3 ℃范围内。

使用体温计或水银温度计比较温度调整。

消耗电功率约为 800 mW。

AY-3-1270 的配线使用有 40 条引线的集成电路插孔布线。

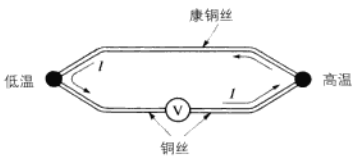
# 187 热电偶的用法

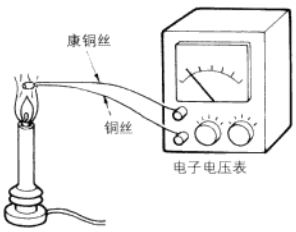
**电子电压表　铜丝　康铜丝　加热器具　烧杯　玻璃管　温度计2个　各种工具**

**目标**

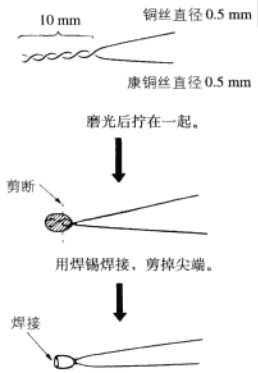
知道用两种金属丝做成一个环，使两个接点产生温度差，就能产生电动势。能理解这种热电偶的工作原理。
能制作使用热电偶的温度计及温度调节器。

## 1 热电偶的工作原理

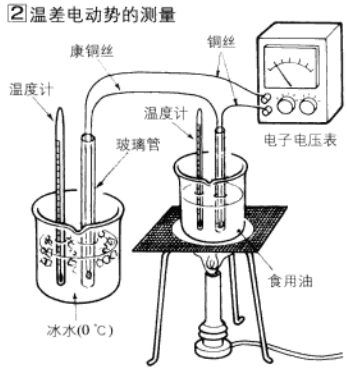


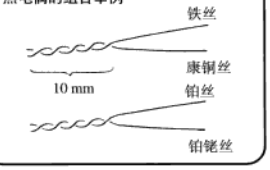

**热电偶接点的连接方式**




## 2 温差电动势的测量




**热电偶的组合举例**

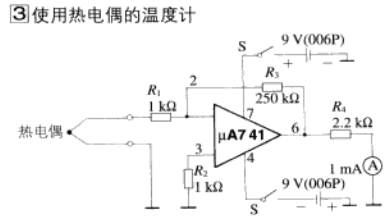



**如何得到康铜丝**

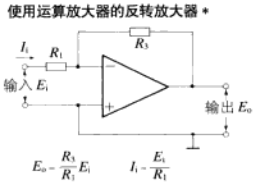
折下1 W～5 W的线绕电阻器上的绕线。




## 3 使用热电偶的温度计




**使用运算放大器的反转放大器＊**



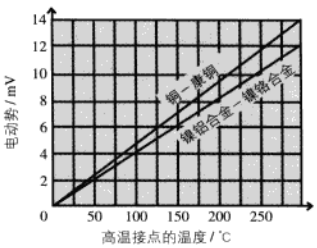

**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 集成电路 | μA741(运算放大器) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 250 kΩ 1/4 W(碳型)<br>(如果需要改变放大倍数，请参照＊) | 1 |
| 电阻器 | 2.2 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电流表 | 1 mA(尽量使用大型电流表) | 1 |
| 干电池 | 006P 9 V | 2 |

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 电池子母按扣 | 006P用 | 2 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，两个电路两个触点 | 1 |
| 基　板 | 50 cm × 25 cm 自制基板 | 1 |
| 热电偶 | 自制(铜－康铜) | 1 |
| 接线柱 | 小型接线柱 | 2 |
| 外　箱 | 铝制小型外箱 | 1 |
| 其他 | 配件用线，小螺钉，螺母，玻璃管，瓷管等 | |

**1** 说明 将两种金属作环状连接，加热其中的一个接点，冷却另一个接点，这样便会产生电动势，电流呈环状流动。像这样选择两种不同金属，使之产生温差电动势的元件叫做热电偶。

热电偶的电动势

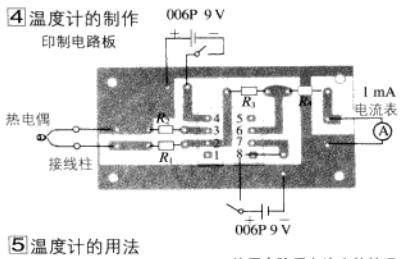



提示 一般的电压表都是并联接入电路，电子电压表却可以串联接入。如图所示接入电压表，就能确认产生了温差电动势，其大小与两接点间的温度差成正比，与金属的组合类型有关。

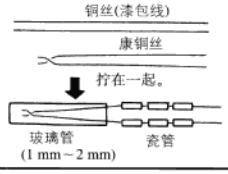
**2** 提示 准备好温差电动势大的金属丝组合，用砂纸打磨尖端的20 mm～30 mm，拧在一起，用烙铁焊接接点，制成热电偶。将它接在多用电表的mV挡，加热拧在一起的部分。因为康铜丝、铂丝很难找到，可以将线绕电阻器上面的康铜丝拆下使用。

**3** 提示 可以用电子电压表检测热电偶的工作。要观察其特性，可将两个接点放入玻璃管中，熔化其尖端部分，封好，然后将一端放在冰水中，另一端浸在油中加热。可以一边测量冰水和油的温度，一边测量温差电动势。

### 4 温度计的制作



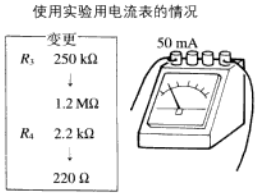

**热电偶的接点封入法**




### 5 温度计的用法

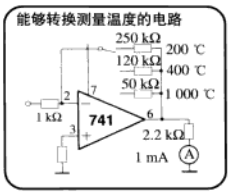



使用实验用电流表的情况

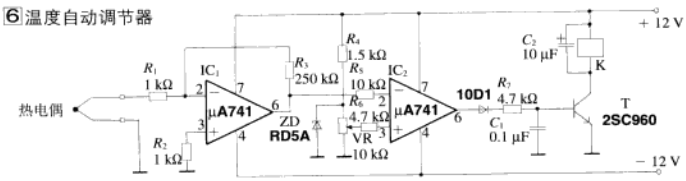



50 mA 接线柱使用 ……50 mA，200 ℃

**能够转换测量温度的电路**




### 6 温度自动调节器




**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 集成电路 | μA741(运算放大器) | 2 |
| 晶体管 | 2SC960(任意PA用1W左右的) | 1 |
| 二极管 | 10D1 保护晶体管用 | 1 |
| 齐纳二极管 | RD5A | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 250 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1.5 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 4.7 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 4.7 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 变阻器 | 10 kΩ | 1 |
| 电容器 | 0.1 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 电容器 | 10 μF 25 WV(电解电容器) | 1 |

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 继电器 | 9 V－12 V 用 小型继电器 | 1 |
| 基　板 | 开孔基板或自制印制电路板 | 1 |
| 热电偶 | 自制(铜－康铜) | 1 |
| 接线柱 | 小型接线柱 | 2 |
| 变压器 | 初级线圈端电压100V，次级线圈端电压12V×2 | 1 |
| 二极管 | 10D1 × 4 或者硅电桥 | |
| 电容器 | 1 000 μF 25 WV(电解电容器) | 2 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，一个电路两个触点 | 1 |
| 熔　丝 | 1 A 熔丝 | 1 |
| 交流插头 | | 1 |
| 交流软线 | 2 m 左右 | 1 |
| 外　箱 | 任意大小 | 1 |

其他　布线用软线，小螺钉，螺母，符合使用条件的功率继电器

### 7 温度自动调节器的应用

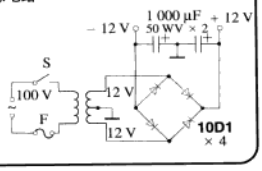
**烙铁的温度控制**



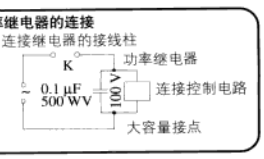

**高温装置的温度调节**




**电源电路**




**功率继电器的连接**




**4 提示** 因为温差电动势产生的电压很小，可以用运算放大器进行放大。运算放大器的电压放大倍数可以由图上$R_3$和$R_2$的比值确定，很方便。在这个电路中，输出电压是输入电压的250倍。

运算放大器741是使用二重嵌入式的印制电路板。即使是TO-5型的741，其性能也不会改变。电流表使用1 mA的。通过改变$R_3$和$R_4$，就能设定温度的调节范围。

使用实验用电流表时，用50 mA接线柱。要想得到最大值为200 ℃的温度计，需要$R_3$为1.2 MΩ，$R_4$为220 Ω。

**5 提示** 减小$R_3$，就能制成测量高温的温度计(参照 3)。能够直接测量火柴的火焰温度及蜡烛的外焰和内焰的温差。

切换温度计的电路的一部分，改变运算放大器的放大倍数，使之能够切换温度的测量范围，这样很方便。

**6 提示** 这个温度自动调节器的电路，使用了带热电偶的温度计的电路。

用集成电路IC$_1$放大热电偶的输出，用集成电路IC$_2$的比长仪将这个电压与齐纳二极管的基准电压进行比较。热电偶的温度低时，继电器K工作；温度高时，K切断。温度设定通过调节变阻器进行。

**7 提示** 温度自动调节器能调整烙铁等物体的温度，也被用于电热器的定温。准备好运算放大器用的有＋12 V、－12 V、0 V接线柱的电源电路，根据使用温度选择市场出售的热电偶。

如果需要控制的加热器是大型加热器，因为会有大电流通过接点，所以要使用功率继电器作为二次继电器，用小型继电器K控制此二次继电器的初级。

# 188 发光二极管的应用

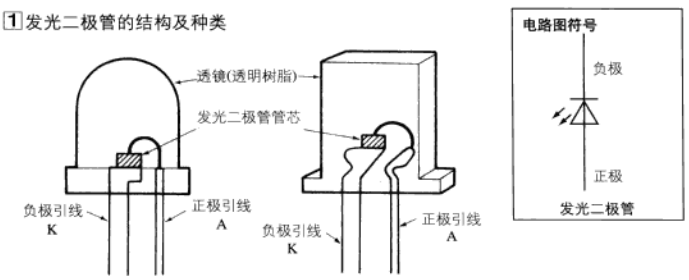
目标

知道发光二极管 (LED) 作为半导体的发光器件用于电子设备的工作显示。
在了解发光二极管的特性的基础上，能将它用于简单的实验电路，学习其使用方法，体会其方便之处。

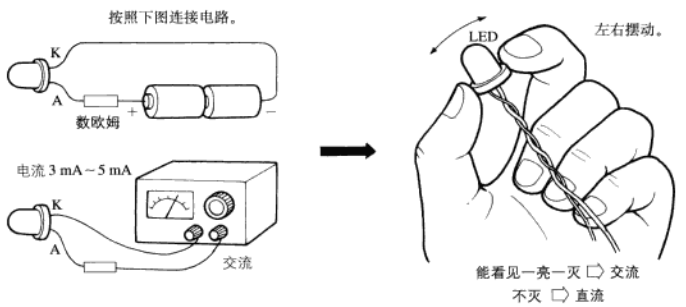
发光二极管数个　干电池(006P)2 个　不锈钢片 2 片　晶体管(2SC372)　集成电路(μA741C)　开关　多用电表表笔(1 红，1 黑)　接线柱 2 个　电阻(100 Ω 2 个，47 kΩ，10 Ω，1 MΩ)　变阻器(4.7 kΩ)　玻璃棒　电容器(0.001 μF)　漆包线 1 卷　配线　黑纸

* 除此之外，还需要条形磁铁、瓷盘及各种金属片。

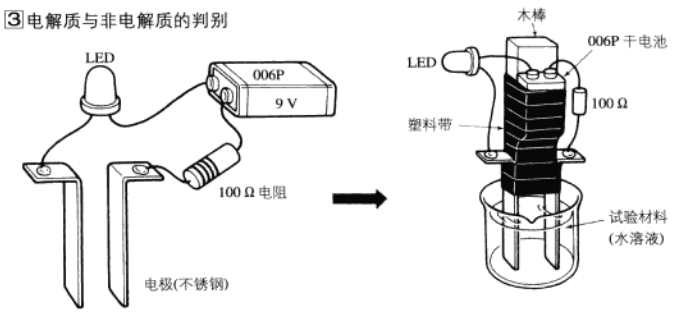
## 1 发光二极管的结构及种类



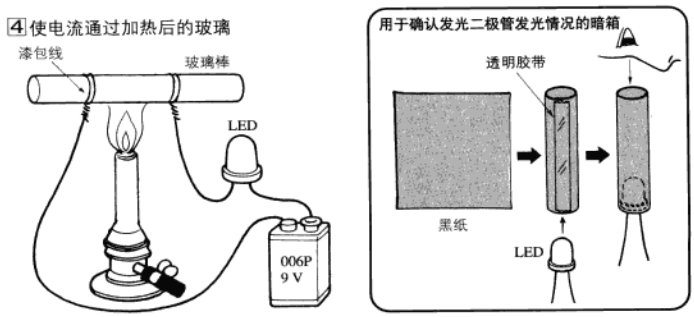

## 2 交流电与直流电的判别




## 3 电解质与非电解质的判别




## 4 使电流通过加热后的玻璃




**1** 说明　顺着电流的方向加上电压，则电路导通，发光二极管(LED)发光。

发光二极管的结构与一般的结型二极管没有本质上的不同，使用砷化镓(GaAs)、磷化镓(GaP)等化合物作为原材料。

提示　发光时的颜色为红色的发光二极管被经常使用，另外还有绿色、黄色的二极管以及含有大量红外线的红外线发光二极管。

**2** 说明　发光二极管具有与普通指示灯相同的功能。交流发光时快速左右摆动发光二极管，则光呈点线状闪亮，这是因为二极管仅在交流电压是正方向时才发光。直流状态下，发光二极管会一直发光。

利用发光二极管的这个特点，能够方便地判别交流电和直流电。而且，因为发光二极管只在正方向时发光，所以还可用于确定直流电的方向。

不同种类的发光二极管上流过的电流有所不同，不过通常都在 2 mA～5 mA 范围内，所以要根据电压串联合适的电阻。

**3** 提示　如上所述，因为流过几毫安的电流时发光二极管就会发光，所以可以用于判别是否有微小电流流过。

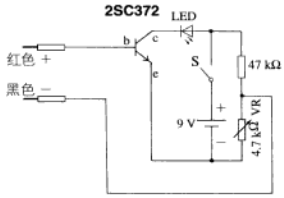
原理如左图所示，材料的组装则如右图所示。用木棒或塑料棒将左图所示的元件组装在一起，放入未知的液体中。如果是非电解质溶液，二极管就不发光；如果是电解质溶液，二极管就会发光。

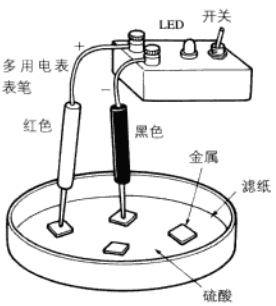
**4** 提示　玻璃在常温及常温以下是很好的电绝缘体，但当温度上升或熔化时则会导电。这种特殊现象可以用发光二极管检测出来。将仔细磨过的漆包线分别在玻璃棒的两端缠几圈，用煤气燃烧嘴加热玻璃棒的中间部分，发光二极管就会发光。由此可知玻璃棒上有电流通过。

确认用微小电流能使发光二极管发光时，可以用黑纸卷成圆筒作为暗箱使用。

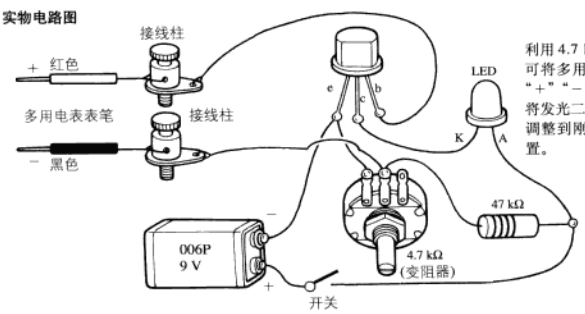
## 5 电离倾向判别器

**电路图**




**实物电路图**




利用4.7 kΩ的变阻器可将多用电表表笔的“+”“−”两端短路，将发光二极管（LED）调整到刚刚点亮的位置。

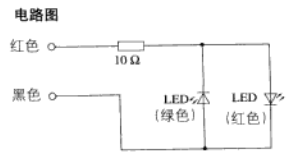
**5 说明** 这是通过发光二极管的发光情况观察电离倾向的装置。在晶体管2SC372的基极上加上正向电压，则有电流流到PN结上。将加在这个基极上的电压变成通过电解液中的金属电离而产生的物质中的电流，即可判别电离倾向。

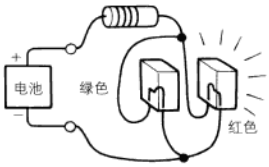
**提示** 电路中接入47 kΩ的定值电阻和4.7 kΩ的变阻器(VR)的目的，是使多用电表表笔的负极电压比发射极高将近1 V。这样，晶体管在不工作的0.6 V以内就不必使用了，在此情况下即使是0.1 V左右的电动势也能发生反应。

用多用电表的表笔接触两种金属时，如果发光二极管变亮，就说明此时多用电表的黑色表笔(负极)接触的那种金属电离的倾向大。

## 6 极性判定器

**电路图**



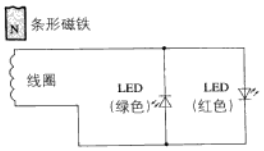



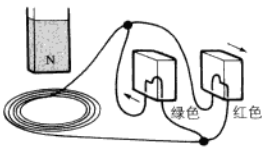

**6 说明** 这是用于判断电源哪侧为正的极性判断电路。

**提示** 因为发光二极管仅在加上正向电压时才发光，所以在图示的电路中，红色接线柱一侧有正电压时，红色的发光二极管发光；有负电压时，绿色的发光二极管发光。如果两个发光二极管同时发光，则为交流。如果是高压电路，电阻要换成大电阻。

## 7 应用于电磁感应①

**电路图**



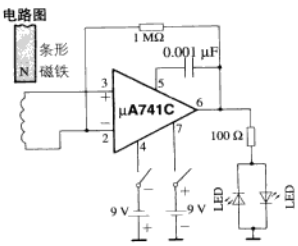

匝数为50以上。

**7 说明** 这是在电磁感应实验中确定电流方向的电路。

**提示** 应使用匝数多的线圈和磁性强的磁铁。条形磁铁的移动越快，灯越亮。加在发光二极管上的电压低、电流小时，发光二极管不发光，所以需要尽量增加线圈的匝数。

## 8 应用于电磁感应②

**电路图**




**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 集成电路 | μA741C(运算放大器) | 1 |
| 发光二极管 | 红色、绿色　直径5 | 2 |
| 电容器 | 0.001 μF　50 V(补偿用) | 1 |
| 电　阻 | 100 Ω　1/4 W　碳 | 1 |
| 电　阻 | 1 MΩ　1/4 W　碳 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，两个电路两个触点 | 1 |
| 线　圈 | 将直径为0.1 mm的漆包线在线圈骨架(直径约10 cm)上缠绕100匝左右 | 1 |
| 电　池 | 006P 9 V(叠层电池) | 2 |
| 电池子母按扣 | 006P用 | 2 |
| 其他　若干布线用软线 | | |

**8 说明** 对于匝数少的线圈，仅用电磁感应不能得到使发光二极管发出强光的电动势，所以要使用运算放大器进行放大。用其输出电流使发光二极管发光。左图就是说明以上情况的电路。

**提示** 100匝左右的线圈就能使电灯足够亮。如果想提高灵敏度，可将1 MΩ的电阻进一步放大。

# 189 照度计的制作

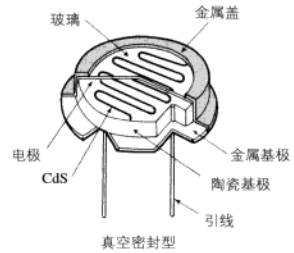
目标

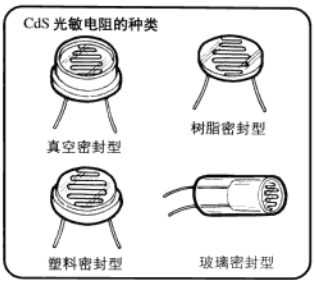
能用光导电池制作各种照度计，并由此体会光敏电阻的性质和电桥电路、运算放大器、集成电路等的灵活运用。与此同时，能了解照度的概念。

微安表　标准照度计①　标准光源　各种工具

①除了标准照度计之外，还可用照相机的曝光表进行比较。

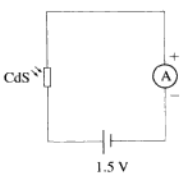
## 1 光敏电阻(CdS)的结构



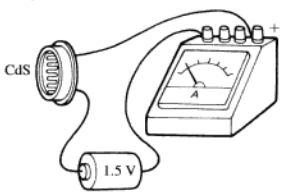




## 2 基本电路

电路图

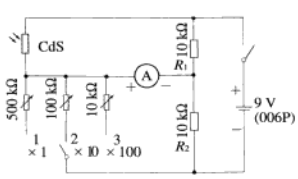



实物图




## 3 实用照度计的制作

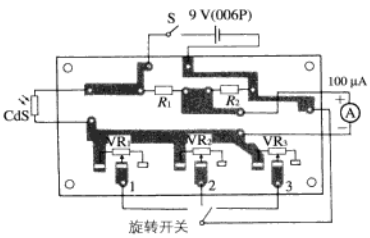
电路图



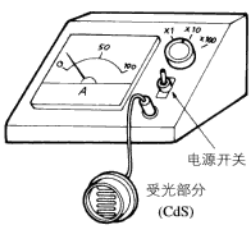

用照度计校正时，调整 $VR_1$～$VR_3$（×1，×10，×100）。

| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| CdS 光敏电阻 | 尽可能选择直径大的 | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/8W~1/4W(碳型) | 2 |
| 半可调电阻器 | 10 kΩ | 1 |
| 半可调电阻器 | 100 kΩ | 1 |
| 半可调电阻器 | 500 kΩ | 1 |
| 电流表 | 100 μA | 1 |
| 旋转开关 | 一个电路三个触点 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关 | 1 |
| 电池子母按扣 | 006P 用 | 1 |
| 电　池 | 9 V 006P | 1 |
| 外　箱 | 铝制外箱(设计成合适的形状) | 1 |
| 引线插头 | 插头和插孔(CdS 受光部分用) | 1 |
| 印制电路板 | 自制 | |
| 其他　若干布线用塑料线 | | |

印制电路板




组装到外箱上更易操作。




1 提示　硫化镉(CdS)、硒化镉(CdSe)、硫化铅(PbS)等被用于遇光则电阻值改变的光敏电阻中，其中最为常用的是 CdS。

对应光的不同强度，CdS的电阻值会发生改变，但是受光后电阻值发生变化的反应时间有点长。光电晶体管与光敏电阻的作用非常相似。两者相比，光电晶体管的反应时间短一些，但CdS光敏电阻的感光度要比光电晶体管高出100倍以上。市场上卖的CdS光敏电阻的种类如图所示，无论哪一种都能防止外界气体和水分的影响。

CdS 和 PbS 对红外线的反应很灵敏，特别是 PbS 反应速度很快，经常被用于红外线通信。

2 提示　观察 CdS 光敏电阻遇光时电阻值如何变化。因为 CdS 光敏电阻是电阻与光照度成比例下降的一种变阻器，所以将干电池和 100 μA 左右的直流电流表与 CdS 光敏电阻串联，增减照在 CdS 光敏电阻上的光线，观察表针的摆动就能理解其特性。

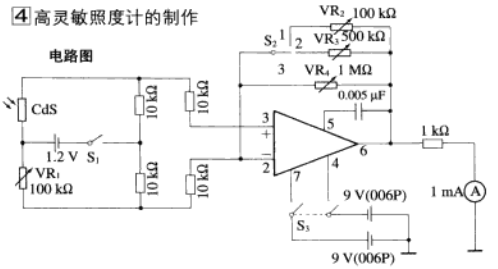
3 提示　这是使用 CdS 光敏电阻的实用照度计。在这个电路中，CdS光敏电阻和半可调电阻器在一边，定值电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 在另一边，用 100 μA 的直流电流表作为电桥连接。根据亮度切换 $VR_1$ 至 $VR_3$，与标准的照度计对比，进行校正。

受光面越大，CdS光敏电阻的反应越明显。使用一个电路三个触点的旋转开关。

注意正确连接电池的正负极和电流表的“＋”“－”接线柱。

除了开关、多用电表和 CdS 光敏电阻，其余元件都需安装在印制电路板上，然后装在外箱内使用。

## 4 高灵敏照度计的制作



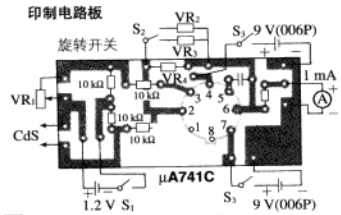

| 元器件表(4) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 集成电路 | μA741C(运算放大器) | 1 | 开　关 | 三个电路两个触点(小型拨钮开关) | 1 |
| CdS 光敏电阻 | 尽可能选用直径大的 CdS | 1 | 汞电池 | 1.2 V 电桥用电源 | 1 |
| 电容器 | 0.005 μF 50 V(陶瓷电容器) | 1 | 电　池 | 9 V 006P | 2 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 | 电池子母按扣 | 006P 用 | 2 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 4 | 电流表 | 1 mA | 1 |
| 变阻器 | 100 kΩ(B) | 1 | 印制电路板 | 自制 | 1 |
| 半可调电阻器 | 100 kΩ | 1 | 外　箱 | 铝制外箱 | 1 |
| 半可调电阻器 | 500 kΩ | 1 | 引线插头 | 插头和插孔(CdS 受光部分用) | 1 |
| 半可调电阻器 | 1 MΩ | 1 | 其他　布线用塑料线 | | |

4 提示 这是为了测出照度的微小变化，比较细小差异而用的灵敏照度计。使用汞电池(1.2 V)作为含有 CdS 光敏电阻的电桥电路的电源。光线照在CdS光敏电阻上，使电桥的平衡受到破坏时，产生的电压经运算放大器μA741C放大，使电流表的指针摆动。$VR_1$是用标准照度的光线照射时，为了配合电流表指针的摆动而使用的调整用变阻器。$VR_2$至$VR_4$是用于调整灵敏度的变阻器，有×1、×10、×100等三个挡，用开关$S_2$选择。

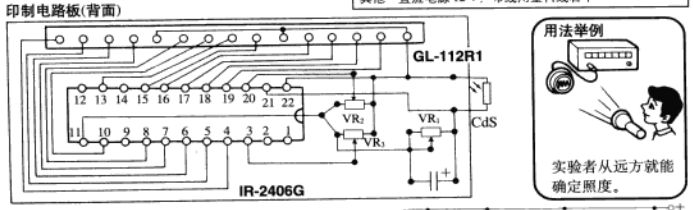
电源开关$S_2$使用三个电路一个触点的，使得三个电源能够同时开关。

与μA741C同类的器件很多，使用哪一种都可以。使用μA741C时，印制电路板要放在TO－5型外箱中。

## 5 使用电平测量器的照度计




| 元器件表(5) | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 集成电路 | IR-2406G(电平测量器用驱动器) | 1 |
| 发光二极管 | GL-112R1(LED 阵列) | 1 |
| CdS 光敏电阻 | 尽可能使用直径大的 | 1 |
| 电容器 | 1 μF 16 WV(电解电容器) | 1 |
| 半可调电阻器 | 4.7 kΩ | 1 |
| 半可调电阻器 | 10 kΩ | 2 |
| 基　板 | 开孔基板或自制基板 | 1 |
| 外　箱 | 大小适当的塑料箱或铝制外箱 | 1 |
| 其他　直流电源 12 V．布线用塑料线若干 | | |

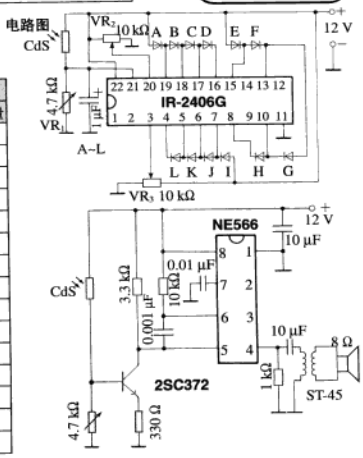



5 提示 这是用发光二极管(LED)的电平测量器代替电流表因而更加清楚的照度计。

由于CdS受光时会产生电阻的变化，半可调电阻$VR_1$的电压也会发生变化。将此变化输到电平测量器用驱动器IR－2406G的输入接点(21引线)上，再将IR－2406G的输出接到LED阵列GL-112R上。按照光量，可以把灯点亮12个挡。

$VR_1$用于灵敏度设定，$VR_2$用于最小输入挡次的设定，$VR_3$用于最大输入挡的设定。

## 6 利用声音了解照度变化的照度计




| 元器件表(6) | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 集成电路 | NE566(电压控制振荡器) | 1 |
| 晶体管 | 2SC372 | 1 |
| CdS 光敏电阻 | | 1 |
| 电容器 | 0.001 μF 50 V(陶瓷电容器) | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF 50 V(陶瓷电容器) | 1 |
| 电容器 | 10 μF 16 WV(电解电容器) | 2 |
| 电阻器 | 330 Ω1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 3.3 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/8 W~1/4 W(碳型) | 1 |
| 半可调电阻器 | 4.7 kΩ | 1 |
| 变压器 | ST-45 | 1 |
| 扬声器 | 小型 8 Ω(电动式扬声器) | 1 |
| 基　板 | 开孔基板或自制基板 | 1 |
| 其他　直流电源 12 V．布线用塑料线若干 | | |

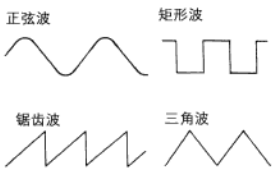
6 提示 这是通过声音的变化了解照度变化的一个电路，不需要用眼睛一次一次地看仪表，通过声音的高低就能判断照度的大小，在距离稍微远一点的地方操作也很方便。通过CdS和半可调电阻的组合，将导出的电压加在NE566这个集成电路的输入端(五引线)上。NE566是电压控制振荡器，振动频率与输入电压成比例变化，扬声器的声音因此而改变。

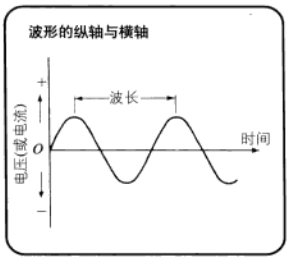
# 190 波形发生装置的制作

目标　能制作波形发生装置。

各种工具

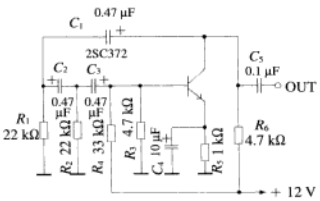
## 1 波形的种类

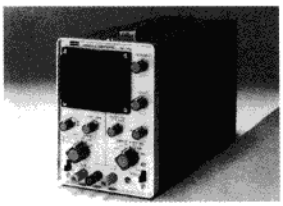


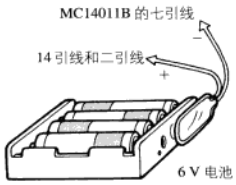

## 2 简单的波形发生装置

①正弦波

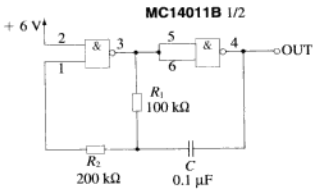


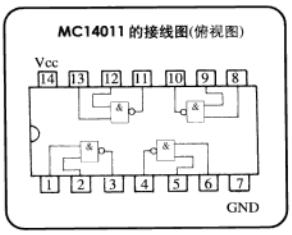



MC14011B 的电源连接方式

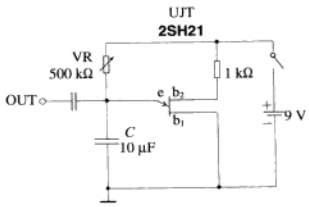


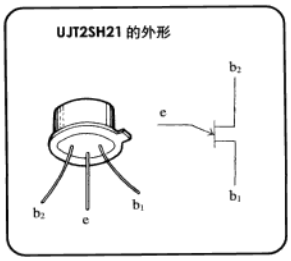

②矩形波




③锯齿波




**1** 说明　电子设备中涉及电流及电压周期性变化的有很多。电流和电压的周期性变化用波形显示，种类很多，有的还很复杂。下面介绍几种具有代表性的波形。

**正弦波**　也叫正弦曲线，测定低频放大器的频率特性时要用到这种波。

**矩形波**　也叫方波，经常用于数码电路的脉冲波。

**锯齿波**　用示波器、电视机等的阴极射线管(CRT)水平扫描电子束时，经常使用这种波。

**三角波**　是两边相等的等边三角形的波形。用示波器可以看到这些波形。

**2** 说明　显示产生各种波形的简单电路。①至③中的发生装置全是低频振荡器。

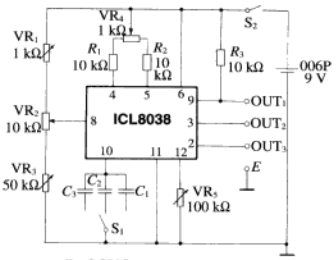
① 这是使用一个晶体管产生正弦波的电路，可以通过改变 $R_1$ 至 $R_3$、$C_1$ 至 $C_3$ 的值来改变波的频率。

② 这是使用C-MOS的MC14011B的矩形波发生电路。MC14011B是含有四个NAND启动脉冲的集成电路。振荡波的频率由 $R_1$ 和 $C$ 决定($f = 1/2.2RC$)。

③ 这是使用一个UJT(单结晶体管)的电路，通过改变VR来改变振荡频率。

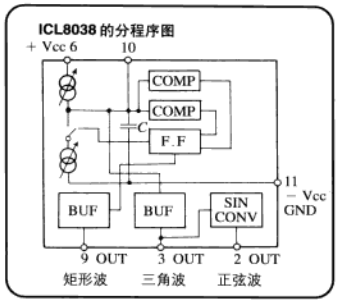
提示　这些发生装置既可以集中安装在开孔基板上，也可以组装在其他电路上。TTL集成电路通常在电路图上省略电源符号，但是一定要进行连线。如果是C-MOS，电源电压不到5 V也可以，但用TTL集成电路时就一定要提供5 V的稳恒电压。

## 3 使用集成电路的波形发生装置的电路




$C_1$：0.0015 μF (2 kHz～20 kHz)
$C_2$：0.015 μF (200 Hz～2 kHz)
$C_3$：0.15 μF (20 Hz～200 Hz)

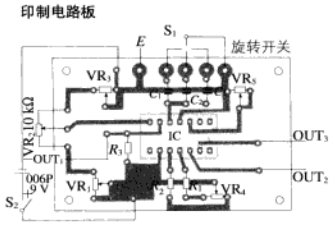
**ICL8038 的分程序图**



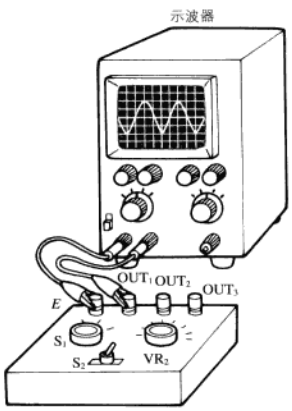

**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 集成电路 | ICL8038(英特西路公司) | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/8W(碳型) | 3 |
| 变阻器 | 1 kΩ 半可调电阻器 | 1 |
| 变阻器 | 10 kΩ 变阻器 B 型 | 1 |
| 变阻器 | 50 kΩ 半可调电阻器 | 1 |
| 变阻器 | 1 kΩ 半可调电阻器 | 1 |
| 变阻器 | 100 kΩ 半可调电阻器 | 1 |
| 电容器 | 0.0015 μF 50 WV(钽) | 1 |
| 电容器 | 0.015 μF 50 WV(钽) | 1 |
| 电容器 | 0.15 μF 50 WV(钽) | 1 |
| 干电池 | 006P 9 V | 1 |
| 电池子母按扣 | 006P 用 | 1 |
| IC 插头和插孔 | 14 引线用 | 1 |
| 基　板 | 自制印制电路板 60 mm × 40 mm | 1 |
| 外　箱 | 大小适当的铝制外箱 | 1 |
| 旋　钮 | | 2 |
| 旋转开关 | 至少四个触点 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关 | 1 |
| 接线柱 | 小型接线柱 | 4 |
| 其他　布线用软线，小螺钉，螺母 | | |

**印制电路板**

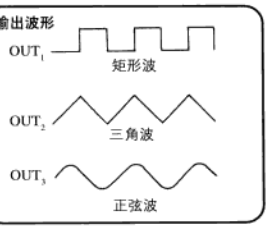



## 4 波形发生装置的用法

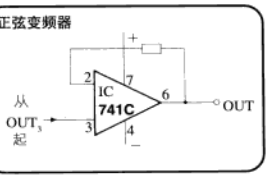



波形发生装置

**输出波形**




**正弦变频器**




## 5 波形发生装置的应用

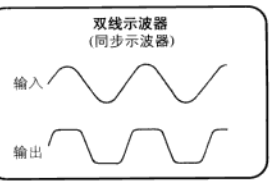
**低频振动的声源**




**频率特性保真度的测定**




**双线示波器**
(同步示波器)




**3** 说明　这是使用能同时发生矩形波、三角波、正弦波的集成电路，能通过 $C_1$～$C_3$ 和 $VR_2$ 改变频率。

ICL8038 是英特西路公司生产的 14 引线集成电路，用 $VR_2$ 决定低频，$VR_3$ 决定高频，$VR_1$ 则用于上述情况的调整。$VR_4$ 用于调整各波形的周期。

提示　使用 $OUT_1$ 时，输出波形为矩形波；使用 $OUT_2$ 时，输出波形为三角波；使用 $OUT_3$ 时，输出波形为正弦波。

用旋转开关 $S_1$ 选择 $C_1$～$C_3$，输出频率为 200 Hz～2 kHz。如果要扩大选择范围，用开关选择 1/10 的容量即可。

因为有半可调电阻器，印制电路板要做得大一点。

用于调整频率的变阻器 $VR_2$ 和旋转开关 $S_1$ 应安装在外箱的板上。

电源用“006P 9 V”的干电池即可。如果使用稳压电源，需要使用被充分直流化的电源。

接线使用 14 引线集成电路插座。不要直接加热集成电路。

外箱最好用足够大的金属箱（塑料箱也可以，但要注意静电感应现象）。

**4** 提示　波形发生装置要连在示波器上使用。输出将 Y 接线柱和 $OUT_1$～$OUT_3$ 连接起来，接地端连接在 $E$ 上，增益调整用示波器进行振幅调整。

要想使 $OUT_3$ 输出更加完美的正弦波，可以装上使用运算放大器的正弦变频器。

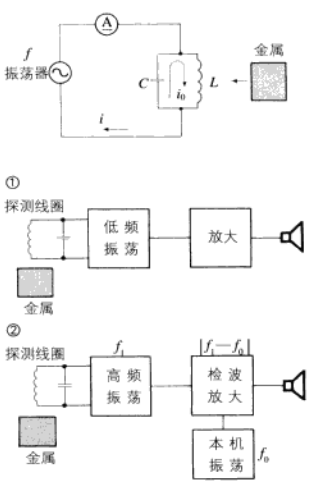
**5** 说明　这个装置可以作为低频振荡器的声源及测定频率特性、波形的失真度等的信号源使用。

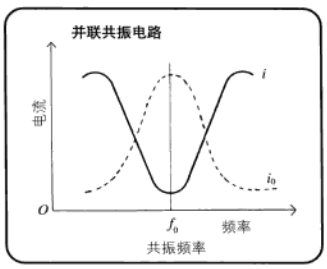
# 191 金属探测器的制作

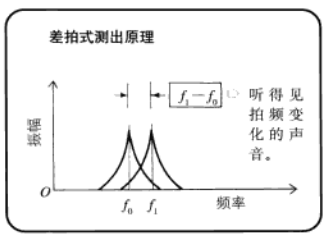
**目标** 知道当$LC$共振电路的线圈接近金属时，共振频率会随着金属的种类、大小而发生变化。能制作金属探测器并理解金属与电感的关系以及两频率产生差拍的情况。

**各种工具**

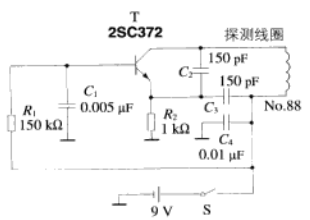
1 金属探测器的原理

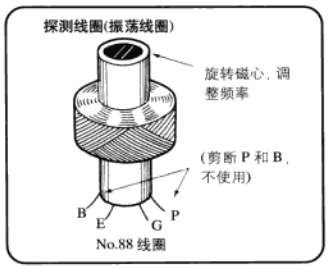


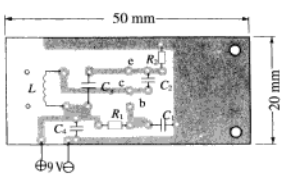




2 简单的金属探测器

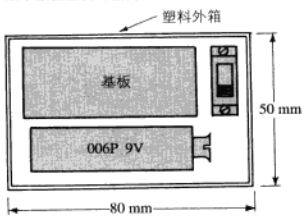



印制电路板




集中放在塑料外箱内




**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 晶体管 | 2SC372 | 1 | 电容器 | 0.01 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 探测线圈 | No.88(小型振荡线圈) | 1 | 开　关 | 小型滑动开关，一个电路两个触点 | 1 |
| 电阻器 | 150 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 基　板 | 自制印制电路板(50 mm × 20 mm) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 干电池 | 006P 9V | 1 |
| 电容器 | 0.005 μF 50 WV(陶瓷) | 1 | 电池子母按扣 | 006P 用 | 1 |
| 电容器 | 150 pF 50 WV(陶瓷) | 1 | 外　箱 | 塑料外箱(80 mm × 50 mm × 20 mm以上) | 1 |
| 电容器 | 150 pF 50 WV(陶瓷) | 1 | 其他 | 布线用软线若干，小螺钉，螺母 | |

1 说明 将电感为$L$的线圈和电容为$C$的电容器并联的电路连到频率为$f$的交流电源上，电路中就会有交流电流$i$流过。使电源电压一定，变化频率为$f$，当$2\pi fL=\frac{1}{2\pi fC}$时，电路中的电流$i$最小，$L$和$C$并联电路的阻抗最大，流经$L$、$C$内的电流$i_0$最大。此时的频率$f$叫做$L$、$C$并联电路的共振频率。使金属接近线圈时，电感$L$发生变化，共振频率也发生变化。将交流电源的频率设置到最初的共振频率$f_0$，再使金属接近线圈，电流$i_0$就会发生变化。利用这种变化能够探测金属的存在。金属探测器的工作有两种方式：一种是像①中的方式，直接用振荡器可听频率的变化进行探测；一种是像②中的方式，使高频振荡频率$f_1$发生变化，将它与本机振荡频率$f_0$的差作为拍频，通过检波放大，用拍频的变化探测。

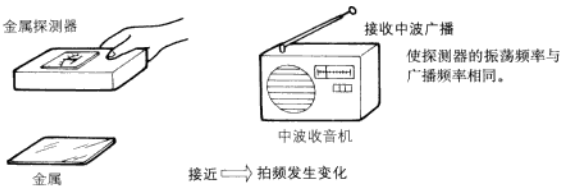
2 说明 这个金属探测器，采用中波段的无线电代替1②中的本机振荡和检波放大的部分。

提示 电路本身就是中波段的振荡器，探测线圈使用No.88这样小型的带磁心的振荡线圈。

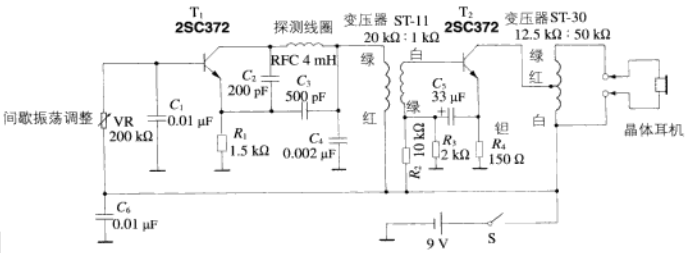
探测线圈使用初级侧(G，E)。旋转磁心，使频率与广播频率一致。

将印制电路板与干电池(006P 9 V)一起集中放在塑料外箱内，这样更容易操作。

## 3 简单金属探测器的制作

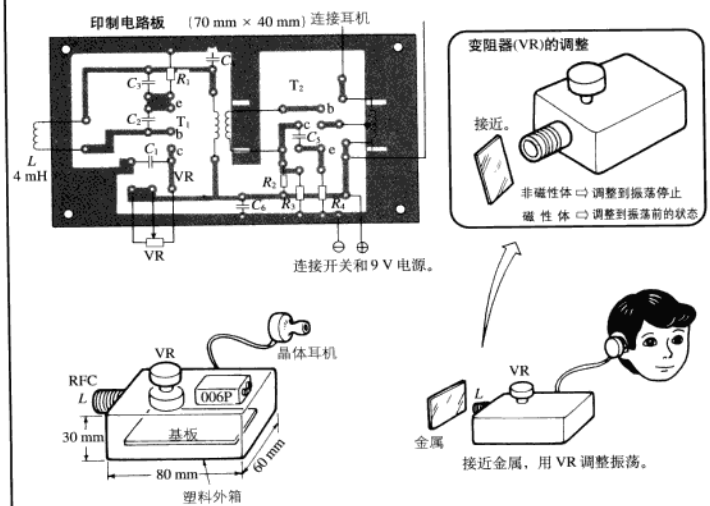



## 4 用两个晶体管制作的金属探测器




**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 晶体管 | 2SC372 | 2 | 变压器 | ST-11(初级侧 20 kΩ，次级侧 1 kΩ) | 1 |
| 探测线圈 | 4 mH RFC | 1 | 变压器 | ST-30(12.5 kΩ : 50 kΩ) | 1 |
| 电阻器 | 1.5 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 变阻器 | 200 kΩ B 型 | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 基　板 | 70 mm × 40 mm 自制印制电路板 | 1 |
| 电阻器 | 2 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 干电池 | 006P 9 V | 1 |
| 电阻器 | 150 Ω 1/4 W(碳型) | 1 | 电池子母接扣 | 006P 用 | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(陶瓷) | 1 | 开　关 | 小型拨钮开关，一个电路一个触点 | 1 |
| 电容器 | 200 pF 50 WV(陶瓷) | 1 | 外　箱 | 80 mm × 60 mm × 30 mm 以上的塑料外箱 | 1 |
| 电容器 | 500 pF 50 WV(陶瓷) | 1 | 耳　机 | 晶体耳机 | 1 |
| 电容器 | 0.002 μF 50 WV(陶瓷) | 1 | 旋　钮 | 变阻器用 | 1 |
| 电容器 | 33 μF 50 WV(钽电容器) | 1 | | | |
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(陶瓷) | 1 | 其他　连线用软线若干，小螺钉、螺母数组 | | |




**3** 提示 2中的金属探测器用收音机接收中波段的广播时，必须使振荡线圈的频率与广播频率一致。用金属接近探测线圈(振荡线圈)时，振荡频率发生变化，所以和广播电波的拍音也发生变化。利用这个变化探测金属。使用不强的广播电波就行。

**4** 说明 这是用两个晶体管制作的金属探测器的电路图。晶体管 $T_1$ 用于产生振荡，用变阻器(VR)调整偏压点，发出间歇振荡。探测线圈 $L$ 使用 RFC 用 4 mH，装在基板的外面。晶体管 $T_2$ 是低频放大器，通过小型变压器 ST-30 接到晶体耳机上。

提示 因为用于振荡调整，VR应装在基板外面。

印制电路板做成 70 mm × 40 mm 大小，外箱应尽可能做得大一点。

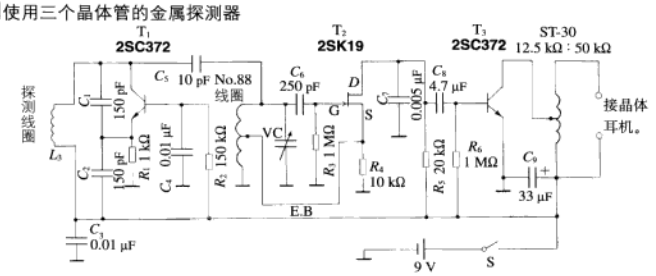
在基板上布线时应将元器件的引线剪得短一点。

连线时注意不要接错晶体管和电解电容器的引线。

连线完成之后，闭合开关通电，在VR的位置上有一个产生“嘟——”的声音的间歇振荡点。

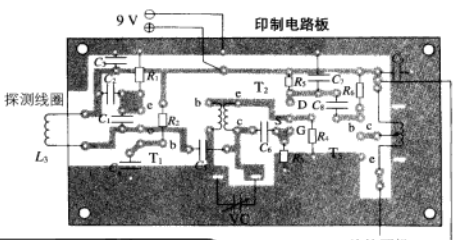
在 VR 的旋钮上对应产生振荡的位置做上记号。在非磁性材料的探测中，将VR的位置设置在产生振荡的位置附近(靠近停止的方向)；在磁性材料的探测中，将 VR 的位置设置在停止位置附近(靠近产生振荡的方向)。无论哪种情况，都是当物体接近探测线圈时，通过振荡 ⟷ 停止的变化探测金属的。

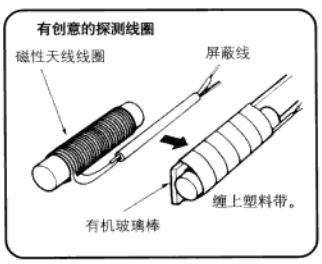
## 5 使用三个晶体管的金属探测器

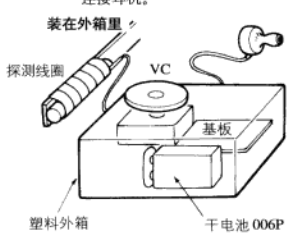



**元器件表**

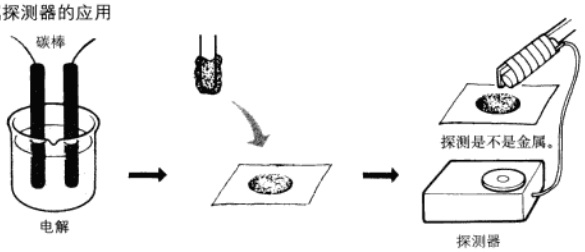
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 晶体管 | 2SC372 | 2 | 电容器 | 250 pF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 晶体管 | 2SK19 (FET) | 1 | 电容器 | 0.005 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 探测线圈 | 小型磁性天线线圈 (中波用) | 1 | 电容器 | 4.7 μF 50 WV(电解电容) | 1 |
| 线　圈 | No.88 | 1 | 电容器 | 33 μF 50 WV(电解电容) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(P 型) | 1 | 变压器 | ST-30 (12.5 kΩ : 50 kΩ) | 1 |
| 电阻器 | 150 kΩ 1/4 W(P 型) | 1 | 可变电容器 | 单一有机薄膜可变电容器 | 1 |
| 电阻器 | 1 MΩ 1/4 W(P 型) | 1 | 基　板 | 70 mm × 40 mm 自制印制电路板 | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/4 W(P 型) | 1 | 干电池 | 006P 9 V | 1 |
| 电阻器 | 20 kΩ 1/4 W(P 型) | 1 | 电池子母按扣 | 006P 用 | 1 |
| 电阻器 | 1 MΩ 1/4 W(P 型) | 1 | 开　关 | 小型拨钮开关，一个电路一个触点 | 1 |
| 电容器 | 150 pF 50 WV(陶瓷) | 1 | 外　箱 | 塑料外箱(80 mm × 60 mm × 30 mm 以上) | 1 |
| 电容器 | 150 pF 50 WV(陶瓷) | 1 | 耳　机 | 晶体耳机 | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(陶瓷) | 1 | 有机玻璃棒 | 或塑料棒 | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(陶瓷) | 1 | | | |
| 电容器 | 10 pF 50 WV(陶瓷) | 1 | 其他　布线用软线若干，小螺钉、螺母数组 | | |




## 6 金属探测器的应用




**5** 说明 这是用了三个晶体管、与 1 ②中方式相同的金属探测器。

提示 晶体管 $T_1$ 用于产生振荡，频率随着探测线圈的电感而变化，振荡频率为中波段。晶体管 $T_2$ 是 N 型沟道结型场效应管，用于产生振荡、检波，通过调整可变电容 VC (variable capacity)使之与晶体管 $T_1$ 的振荡频率一致。晶体管 $T_3$ 是低频放大器。

探测线圈使用小型磁性天线线圈，用屏蔽线导出箱外，在有机玻璃棒(或塑料棒)上缠上塑料带制成线圈。

基板放入塑料外箱内。给调整用的可变电容器 VC 装上大型分度盘。

接近金属时会形成拍音，由此可以探测出金属。

# 192 简单电子乐器的制作

**目标**

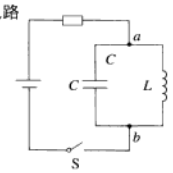
能制作简单的电子乐器。
能理解*CR*振荡器的工作原理、频率的决定因素、频率与声音高低的关系、电阻的特性等。

**各种工具**

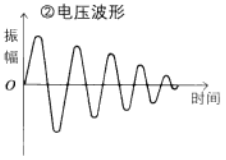
• 除了元器件表中列出的，还应准备笔芯比B型铅笔还要软的软芯铅笔和厚纸。

**1** 低频振荡器的原理

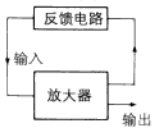
①电路




②电压波形

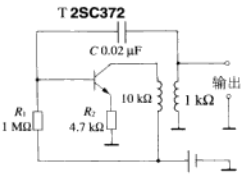



③振荡器的原理

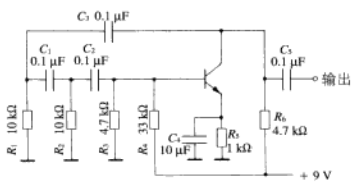



**2** 低频振荡器的电路

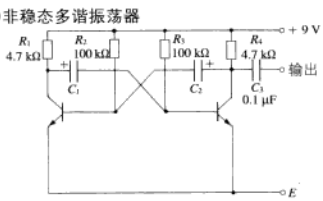
①变压器耦合的振荡器



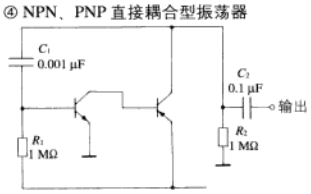

②正弦波振荡器



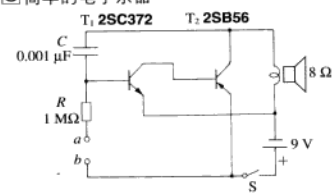

③非稳态多谐振荡器



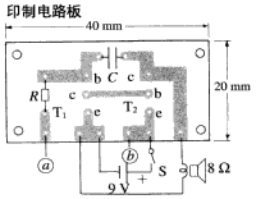

④ NPN、PNP 直接耦合型振荡器




**3** 简单的电子乐器



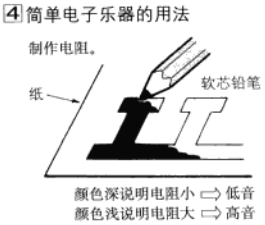

印制电路板

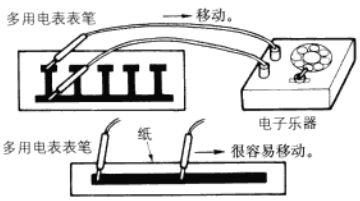



**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 晶体管 | 2SC372(任意 NPN) | 1 | 开　关 | 小型拨钮开关，一个电路一个触点 | 1 |
| 晶体管 | 2SB56(任意 PNP) | 1 | 接线柱 | 小型接线柱 | 2 |
| 电阻器 | 1 MΩ 1/8 W～1/4 W(P 型) | 1 | 仪表导线 | | 1 |
| 电容器 | 0.001 μF 50 WV(陶瓷) | 1 | 基　板 | 40 mm × 20 mm 自制印制电路板 | 1 |
| 扬声器 | 8 Ω 小型电动扬声器 | 1 | 外　箱 | 小型塑料外箱 | 1 |
| 干电池 | 006P 9 V | 1 | | | 1 |
| 电池子母按扣 | 006P 用 | 1 | 其　他 | 布线用软线若干，小螺钉、螺母 | |

**4** 简单电子乐器的用法




**1** 说明 像①中的电路，在线圈 *L* 和电容器 *C* 并联的电路上，闭合开关通电，在 *LC* 电路的两端 *ab*，会形成如②中所示的电压波形。这种电振动因线圈 *L* 的电阻逐渐衰减，最终会停止。

振荡器的作用就是让这种电振动不衰减，而是按照一定的振幅持续振动。

像③中图示的那样，将放大器输出的一部分用同位相反馈回去，则输出出现电振动(交流)。

如果能用反馈电路使得输出电压保持一定，振动就会持续下去，这就是振荡器的原理。

**2** 说明 电子乐器多使用能发出可听频率的低频振荡器。这里给出了四种低频振荡器的电路：

① 这是从输出变压器的初级线圈通过反馈到基极，使之振荡的电路，频率由 *C* 和 $R_1$ 决定。

② 这是输出波形为正弦波的振荡器的电路，频率由 $C_1$～$C_5$ 和 $R_1$～$R_5$ 决定。

③ 这是非稳态多谐振荡器的电路，频率由 $C_1$、$C_2$、$R_2$、$R_3$ 决定。

④ 这是更为简单的直接耦合型的振荡电路。

**3** 提示 这个电路的振荡频率由 *C* 和 *R* 决定，是由串联在 *R* 上的电阻改变频率，成为乐器的电路。

因为印制电路板上的元器件数量少，用开孔基板也可以。

扬声器使用 8 Ω 的小型电动扬声器。

**4** 提示 用软芯铅笔在纸上制作电阻，用多用电表的表笔接触，便能发出类似乐器演奏的声音。也可以选用定值电阻发出正确的音阶。

利用笔迹深浅、粗细不一的“电阻纸”直观地了解电阻与长度、粗细的关系，也很有趣。

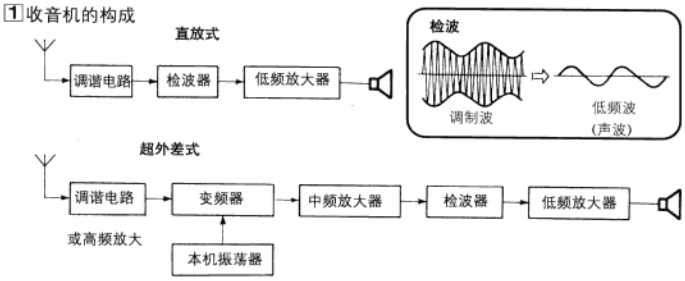
# 193 简单收音机的制作

**目标**　能理解中波收音机的信号接收原理。能用线圈和电容器组合而成的调谐电路选择合适的电波，进行检波、放大，使收音机发出声音。能通过制作简单的收音机理解以上过程。

**各种工具**

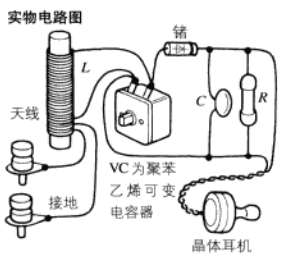
＊除了元器件表中列出的元器件之外，还要准备实验用的电池，铝箔、塑料板等，另外还需准备连线用的工具。

## 1 收音机的构成



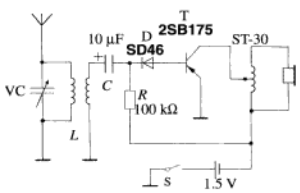

## 2 锗收音机

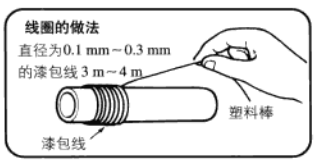


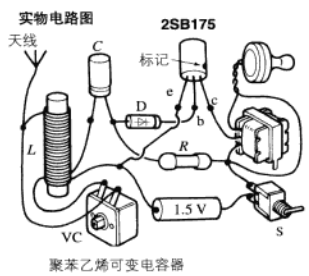




| 元器件表 2 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 锗二极管 | 1N60(或 SD46) | 1 |
| 线　圈 | 中波用天线线圈 | 1 |
| 可变电容器 | 单联聚苯乙烯可变电容器，2 cm 方形 | 1 |
| 电阻器 | 470 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电容器 | 0.002 μF 50 WV(陶瓷型)，没有也可以 | 1 |
| 耳　机 | 晶体耳机 | 1 |
| 接线柱 | 天线，接地用，小型接线柱 | 2 |
| 其他　布线用、天线用塑料线数米 | | |

## 3 使用一个晶体管的晶体管收音机




| 元器件表 3 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 晶体管 | 2SB175(任意低频放大电路用) | 1 |
| 锗二极管 | SD46(或 1N60) | 1 |
| 线　圈 | 中波用天线线圈(0840TR 等) | 1 |
| 电容器 | 单联聚苯乙烯可变电容器，2 cm 方形 | 1 |
| 电阻器 | 100 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电容器 | 10 μF 16 WV(电解电容器) | 1 |
| 变压器 | ST-30 | 1 |
| 耳　机 | 晶体耳机 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，两个触点(或小型滑动开关) | 1 |
| 干电池 | 5 号电池 1.5 V(或 7 号电池 1.5 V) | 1 |
| 电池子母按扣 | 5 号电池用(或 7 号电池用) | 1 |
| 其他　布线用、天线用塑料线数米 | | |

**1 说明** 收音机的构成，从大的分类来说，可分为直放式和超外差式接收两种。

收音机的要素有三个：灵敏度、选择性和保真度。超外差式收音机能满足这三个要素。无论哪种方式，从选择发送频率的调谐电路到调制波(高频波)导出声音(低频波)的检波电路，都需要低频放大电路。

具有收音机最根本的调谐电路、检波电路和低频放大电路的最简单的电路就是超外差接收方式。

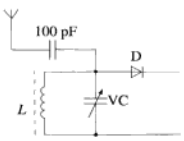
**2 说明** 锗收音机的电路是最简单的收音机电路。

**提示** 锗二极管可以使用 1N60 或 SD46。

耳机要用高灵敏度的晶体耳机。

天线应尽可能长，也可以利用电线。直接接在电线上很危险，所以应如图所示，在插头的一侧放入 100 pF 的电容器。

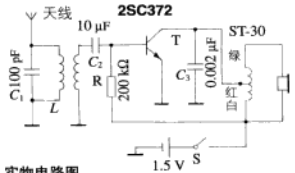
另外，使用没有次级线圈的装置时，应如下图所示连接100 pF的电容器之后再连天线。



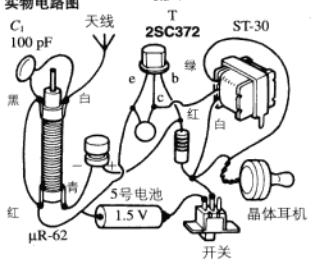

**3 说明** 这是将调谐电路所选电台的高频电流通过锗二极管检波，得到音频信号，再经过一个晶体管低频放大器的收音机电路，用耳机收听。

**提示** 晶体管使用 PNP 型。为了使晶体管的输出阻抗和耳机的阻抗匹配，使用变压器。如果使用自制线圈，应在空心的绝缘胶木棒或塑料棒上缠上0.1 mm～0.3 mm粗的漆包线 200～300 匝。将两张塑料垫板与铝箔叠放起来，通过改变重叠的面积便可代替聚苯乙烯可变电容器 VC 进行实验。

## 4 μ调谐收音机(电感调谐收音机)

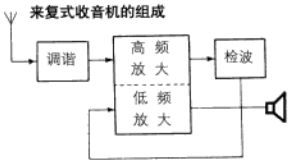



实物电路图

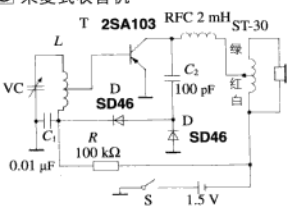



| 元器件表 4 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 晶体管 | 2SC372(任意 NPN) | 1 |
| 线　圈 | μ调谐线圈(μR－62) | 1 |
| 电阻器 | 200 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电容器 | 100 pF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 电容器 | 10 μF 16 WV(电解电容器) | 1 |
| 电容器 | 0.002 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 变压器 | ST-30 | 1 |
| 耳　机 | 晶体耳机 | 1 |
| 开　关 | 小型滑动式开关, 2~3个触点(或小型拨钮开关) | 1 |
| 干电池 | 5号 1.5 V(或 7 号) | 1 |
| 电池子母按扣 | 5号电池1个用(或7号电池1个用) | 1 |
| 其他　布线用、天线用塑料线数米 | | |

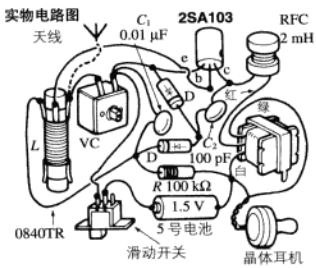
来复式收音机的组成



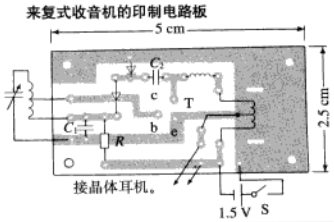

## 5 来复式收音机




实物电路图

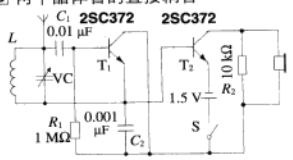



来复式收音机的印制电路板

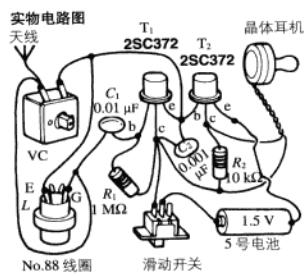



| 元器件表 5 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 晶体管 | 2SA103(任意 PNP 型锗二极管) | 1 |
| 锗二极管 | SD46(或 1N60) | 2 |
| 线　圈 | 中波用天线线圈(0840TR 等) | 1 |
| 可变电容器 | 聚苯乙烯可变电容器, 2 cm 方形 | 1 |
| 电阻器 | 100 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 电容器 | 100 pF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 高频扼流圈 | 2 mH | 1 |
| 变压器 | ST－30 | 1 |
| 耳　机 | 晶体耳机 | 1 |
| 开　关 | 小型滑动开关2~3个触点(或小型拨钮开关) | 1 |
| 干电池 | 5号电池 1.5 V(或 7 号电池 1.5 V) | 1 |
| 电池盒 | 1 个 5 号电池(或 7 号电池)用 | 1 |
| 基　板 | 自制印制电路板(50 mm × 25 mm) | 1 |
| 其他　布线用塑料线若干 | | |

## 6 两个晶体管的直接耦合




实物电路图




| 元器件表 6 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 晶体管 | 2SC372(任意 NPN 型) | 2 |
| 线　圈 | 中波用线圈(No.88) | 1 |
| 可变电容器 | 聚苯乙烯可变电容器, 2 cm 方形 | 1 |
| 电阻器 | 1 MΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 电容器 | 0.001 μF 50 WV(陶瓷) | 1 |
| 耳　机 | 晶体耳机 | 1 |
| 开　关 | 小型滑动开关2~3个触点(或小型拨钮开关) | 1 |
| 干电池 | 5 号 1.5 V(或 7 号 1.5 V 汞电池) | 1 |
| 电池盒 | 1个5号电池用(或1个7号电池用, 自制电池盒等) | 1 |
| 其他　布线用、天线用塑料线若干 | | |

**4 说明** 不用聚苯乙烯可变电容器 VC 而使线圈的电感发生变化从而获得调谐的电路，叫做μ调谐电路。左面的电路是使用μ调谐晶体管检波的收音机电路。

**提示** 自制线圈时，参照 **3** 中提示的要领缠上漆包线，通过改变线圈中铁心的位置获得可调电感线圈。在平型电路板上焊上各元器件进行组装布线。另外，利用开孔基板进行布线可以使之小型化。

如果与锗收音机一样安装天线，听起来会很清晰。

消耗电流约为 0.3 mA。

**5 说明** 用一个晶体管同时承担高频放大和低频放大两个功能的方式叫做来复。左面的电路用晶体管将 $L$和VC选台的高频波进行高频放大，用锗二极管SD46通过电容器$C_2$检波。

这种收音机将检波为低频的信号再次返还到晶体管基极，使低频放大，通过 RFC 使得耳机发出声音，可以称为实用的收音机。

**提示** 因为有高频放大，使用磁性天线线圈时，外部天线可以使用1 m左右的塑料线或什么都不接，即使这样也能听得清楚。

在给来复式收音机的印制电路板布线时，要特别注意二极管及晶体管的极性。

**6 说明** 这是元器件数量少、使用两个晶体管的高灵敏度直接连接型晶体管收音机的电路。直接连接型收音机在接收电波强度大的广播电台信号时，声波有时候会发生扭曲。只要给这种收音机接上1 m左右的塑料线作天线，就能听得很清楚。

这种收音机的消耗电流约为 1 mA。如果组装为小型收音机的话，只要 7 号干电池或汞电池(1.2 V)就可以了。

组装时，使用平型电路板和开孔基板很方便。另外，如果动脑筋用糕点盒或笔筒等空盒组装，则能做出外形有趣的收音机。

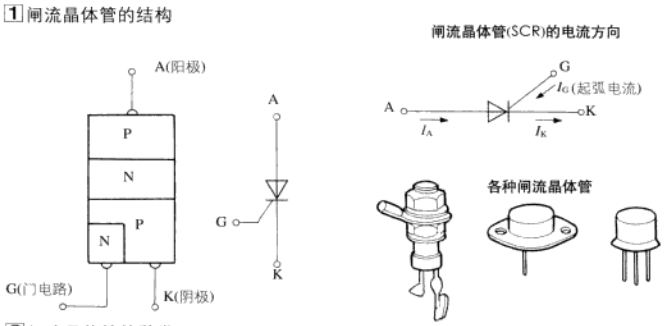
# 194 闸流晶体管控制电路

**各种工具**

**目标**

理解闸流晶体管的结构和原理。
能做出各种使用闸流晶体管的控制电路。

## 1 闸流晶体管的结构

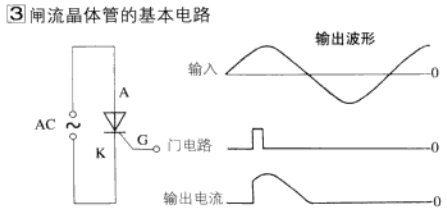



## 2 闸流晶体管的种类

| 种　类 | 通　称 | 结　构 | 符　号 |
|---|---|---|---|
| 普通型 | SCR | 四层结构三接点 | |
| 高速型 | 交换器用SCR | 四层结构三接点 | |
| 门电路断开型 | GTO | 四层结构三接点 | |

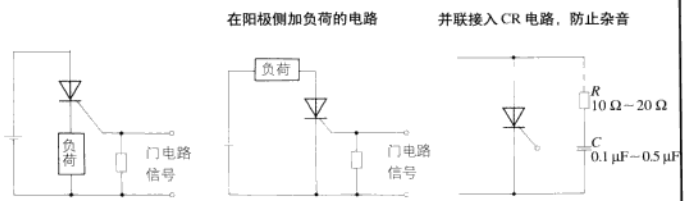
| 种　类 | 通　称 | 结　构 | 符　号 |
|---|---|---|---|
| 光控闸流晶体管 | LASCR | 四层结构二接点 | |
| 双向闸流晶体管(有门电路) | TRIAC | 五层结构三接点 | |
| 双向闸流晶体管(无门电路) | SSS | 五层结构二接点 | |

## 3 闸流晶体管的基本电路

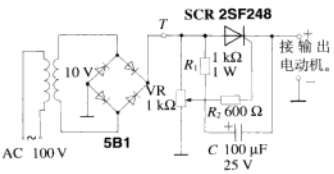



一般来说，A、K间加交流电压时，最好用开关电路产生半周电波。

## 4 闸流晶体管的基本控制电路




## 5 电动机的转速控制




| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 闸流晶体管 | 2SF248 | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 600 Ω 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电容器 | 100 μF 25 V(电解电容器) | 1 |
| 变阻器 | 1 kΩ | 1 |
| 变压器 | 100 V-10 V(额定电流大的变压器) | 1 |
| 二极管 | 硅电桥 5B1 | 1 |
| 交流软线 | 带插头 1.5 m～2 m | 1 |
| 接线柱 | | 2 |
| 外　箱 | 金属外箱(同时充当散热器) | 1 |
| 其他　布线用电路板，布线用塑料线，几组小螺钉，螺母及其他 | | |

**1 说明** 闸流晶体管自从1958年被发现以来，主要用于电力系统，即闸流晶体管整流电路。左图显示了一种闸流晶体管(SCR)的基本结构。SCR是P型半导体和N型半导体分别进行四层结合的结构。

在PN结上，给P型侧加上正电压，给N型侧加上负电压，则电流按正方向流动。SCR是从阳极(A)指向阴极(K)的四层结合，即PNPN，所以中间的PN结对于电流而言变为反方向，即使给阳极加上正电压，给阴极加上负电压，电流也不会流动。给门电路G加上正电压，在G-K之间流过电流时，在A-K之间的NP结也产生电子流动，变为导通状态。G-K之间的电压(起弧电压)即使很小，也能使A-K间导通(接通)。

**2 说明** 闸流晶体管根据结构及用途，如表中所示有这些分类。一般来说，在PNPN结的四层结构中，把三接点的普通型叫做SCR或直接叫做闸流晶体管。另外，被称为交流闸流晶体管的五层三极双向闸流晶体管，也叫做双向开关(TRIAC)。

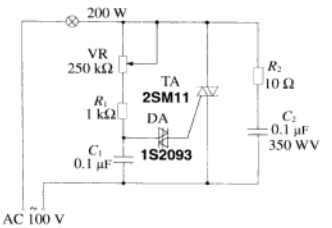
**3 说明** SCR，即使在阳极和阴极之间加上电压，只要门电路和阴极间不加正向电压，电流就不会流动。在门电路上加上正向电压，A-K间就会有电流流动；然后，即使切断门电路上的电压，或者加上反向电压，电流也会持续流动。要想切断这个电流，必须将A-K间的电压降到一定电压(保持电压)以下。

**4 说明** 这个图是基本操作电路图。加上与门电路正方向一致的电压时，阳极和阴极间呈导通状态。如果是直流电源，除去门电路上的电压也能维持导通状态；但如果是交流电源，则仅在阳极对阴极是正电位的时候才导通。通过改变加在门电路上的电压的大小，可以控制通过的电流。

**5 说明** 这是利用SCR使直流电动机的转速实现无级变速的电路。也可以在$T$点的左侧接上实验用的电源装置。

**提示** 因为最大电流为5 A左右，所以需要在SCR上装散热板。

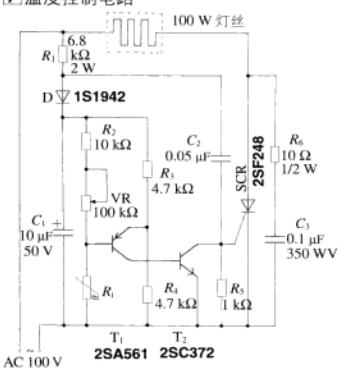
## 6 使用双向闸流晶体管的调光器



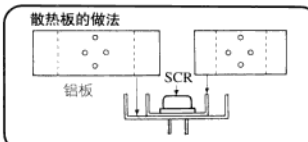

| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 双向闸流晶体管 | 2SM11 | 1 |
| 启动二极管 | 1S2093 | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 10 Ω 1/2 W(碳型) | 1 |
| 电容器 | 0.1 μF 50 WV(屏蔽云母) | 1 |
| 电容器 | 0.1 μF 350 WV(MP 电容器) | 1 |
| 变阻器 | 250 kΩ B 型 | 1 |
| 交流软线 | 带插头 1.5 m～2 m | 1 |
| 交流插座 | 控制用 | 1 |
| 外　箱 | 金属外箱(同时充当散热器) | 1 |
| 其他　布线用电路板，布线用塑料线，几组小螺钉，螺母及其他 | | |

**6 说明** 这是使用双向闸流晶体管的调光器电路。在双向闸流晶体管的门电路上，利用$R_1$、$C_1$和启动二极管能够得到启动脉冲，使得双向闸流晶体管导通。减小$R_1$，则$C_1$的充电速度加快，双向闸流晶体管的导通角(时间)增大，电灯两端的电压变大。

## 7 温度控制电路



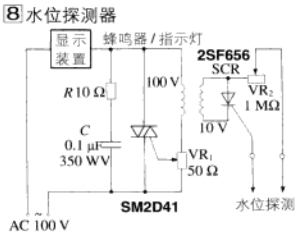

散热板的做法




| 元器件表 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 闸流晶体管 | 2SF248 | 1 | 电容器 | 10 μF 50 WV(电解电容器) | 1 |
| 晶体管 | 2SA561(只要是 PNP 就行) | 1 | 电容器 | 0.05 μF 50 WV(屏蔽云母) | 1 |
| 晶体管 | 2SC372(只要是 NPN 就行) | 1 | 电容器 | 0.1 μF 350 WV(MP 电容器) | 1 |
| 二极管 | 1S1942 | 1 | 热敏电阻 | 50 kΩ 以上(工作温度) | 1 |
| 电阻器 | 6.8 kΩ 2 W(L 型) | 1 | 变阻器 | 100 kΩ 以上(调整温度用) | 1 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/2 W(碳型) | 1 | 交流软线 | 带插头 1.5 m～2 m | 1 |
| 电阻器 | 4.7 kΩ 1/2 W(碳型) | 1 | 外　箱 | 金属外箱 | 1 |
| 电阻器 | 4.7 kΩ 1/2 W(碳型) | 1 | 交流插座 | 控制用 | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/2 W(碳型) | 1 | 接线柱 | 热敏电阻用 | 1 |
| 电阻器 | 10 Ω 1/2 W(L 型) | 1 | 其他　布线用电路板，布线用塑料线，几组小螺钉，螺母及其他 | | |

**7 说明** 这是使用 SCR 的温度控制电路。热敏电阻$R_i$的电阻值随着温度而变化，将随$T_1$、$T_2$放大的电流变化加在门电路上，控制流经灯丝的电流。

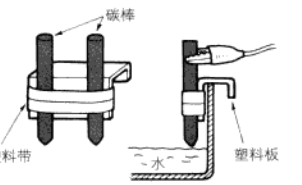
## 8 水位探测器



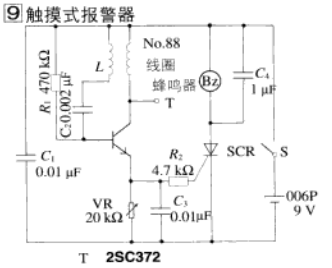

| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 双向闸流晶体管 | SM2D41 | 1 |
| 闸流晶体管 | 2SF656 | 1 |
| 电阻器 | 10 Ω 1/2 W(L 型) | 1 |
| 电容器 | 0.1 μF 350 WV(MP 电容器) | 1 |
| 变阻器 | 50 Ω B 型(调整灵敏度用) | 1 |
| 变阻器 | 1 MΩ B 型(调整灵敏度用) | 1 |
| 变压器 | 100 V-10 V | 1 |
| 交流软线 | 带插头，数米 | 1 |
| 交流插座 | 控制用 | 1 |
| 外　箱 | 金属外箱 | 1 |
| 接线柱 | 小型接线柱(探测水位用) | 2 |
| 电　极 | 自制 | 1 |
| 其他　布线用电路板，布线用塑料线，几组小螺钉，螺母及其他 | | |

**8 说明** 这是测出水位进而导致蜂鸣器鸣叫或指示灯发光的电路。需制作如下图所示的电极。

**电极的制作方法**



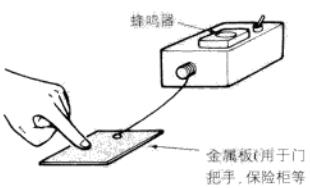

## 9 触摸式报警器




| 元器件表 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 闸流晶体管 | SFOR2B41 | 1 | 变阻器 | 20 kΩ(调整灵敏度用) | 1 |
| 晶体管 | 2SC372 | 1 | 蜂鸣器 | 小型蜂鸣器 3 V～6 V 用<br>直流用(电压式电子蜂鸣器) | 1 |
| 线　圈 | No.88 振荡线圈 | 1 | 干电池 | 006P 9 V | 1 |
| 电阻器 | 470 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 电池子母按扣 | 006P 用 | 1 |
| 电阻器 | 4.7 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 开　关 | 小型拨钮开关 | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(屏蔽云母) | 1 | 外　箱 | 最好是金属外箱 | 1 |
| 电容器 | 0.002 μF 50 WV(屏蔽云母) | 1 | 接线柱 | 小型接线柱(探测用) | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(屏蔽云母) | 1 | 其他　布线用电路板，布线用塑料线，几组小螺钉，螺母及其他 | | |
| 电容器 | 1 μF 25 WV(电解电容器) | 1 | | | |

**9 说明** 用手触摸振荡线圈的探测端，则晶体管T的振荡减弱，发射极电流增大。这个电路将这种变化加在普通闸流晶体管的门电路上，使得蜂鸣器鸣叫。按下图这样使用。

**触摸式报警器的用法**

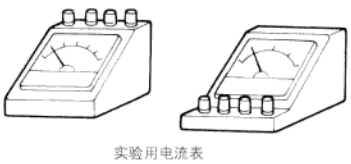


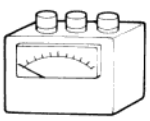
# 195 高灵敏度电流表的制作

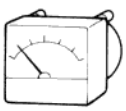
各种工具

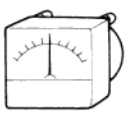
**目标**　能理解电流放大电路的原理，能制作高灵敏度电流表。
能理解高灵敏度电流表的用法。

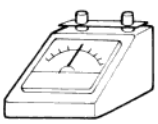
## 1 电流表的种类


实验用电流表

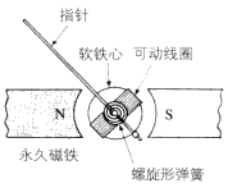

带镜子的电流表


微安表


零点在中间的指针式灵敏电流表


测量极微小电流的检流计

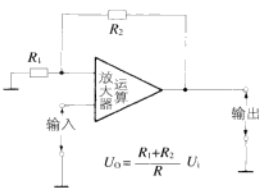
**可动线圈型仪表的结构**



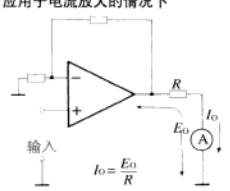

**仪表的符号**



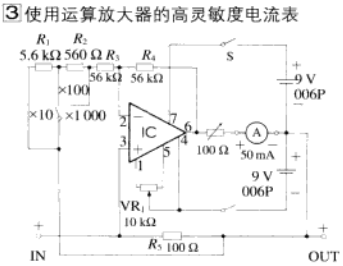

## 2 使用运算放大器的电压放大器(非反相放大器)



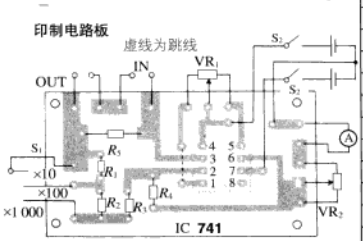

**应用于电流放大的情况下**




## 3 使用运算放大器的高灵敏度电流表




**印制电路板**




| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 集成电路 | 运算放大器 741 | 1 |
| 电阻器 | 5.6 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 560 Ω 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 56 Ω 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 56 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 100 Ω 1/4 W(碳型) | 1 |
| 变阻器 | 10 kΩ 半可调型 | 1 |
| 变阻器 | 100 Ω 半可调型 | 1 |
| 电流表 | 50 mA(或 100 μA、500 mA)用 | 1 |
| 开　关 | 三个触点，旋转开关 | 1 |
| 开　关 | 两个电路两个触点小型拨钮开关 | 1 |
| 接线柱 | 小型接线柱 | 4 |
| 干电池 | 006P 9 V | 2 |
| 电池子母接扣 | 006P 用 | 2 |
| 基　板 | 印制电路板(自制)(55 mm × 30 mm) | 1 |
| 外　箱 | 铝制或塑料制 | 1 |
| 其他　布线用软线若干，四组小螺钉、螺母及其他 | | |

**1** 说明　电流表的种类很多，根据被测电流的种类，可分为直流电流表、交流电流表、高频电流表等。

直流电流表又可以分为实验用电流表、带镜子的电流表、微安表、指针式灵敏电流表(零点在中间)、测量极微小电流的检流计(galvanometer)等。

从结构上分，有利用电流磁效应的可动线圈型和可动铁心型，有内含氧化亚铜整流器和可动线圈型仪表的整流型，还有使用电流的热效应发热，将热电偶与可动线圈型仪表组合起来测量高频电流的热电偶型，等等。

仪表的结构和用途，用左边图中的符号表示在表盘上。除此之外，直流用“—”，交流用“~”，高频用“⩘”表示。使用时，必须选择与被测电流及电功率相匹配的仪表。

**2** 说明　测量微小电流需要高灵敏度的电流表。测量 1 μA 以下电流的电流表很难找。左面是使用运算放大器使输入电压 $U_I$ 放大，产生输出电压 $U_O$ 的电路，放大率由负反馈电阻 $R_2$ 和输入电阻 $R_1$ 决定。用于电流放大器时，在输出端上串联电阻和电流表即可。

**3** 说明　这是使用运算放大器 741 的高灵敏度电流表的电路。产生于 $R_5$ 两端的电压用 741 放大，在变阻器 $VR_2$ 上加上输出电压，用电流表测量流过的电流。放大率可以通过单刀三掷开关 $S_1$ 切换。印制电路板可以与电流表分别组装在外箱上。

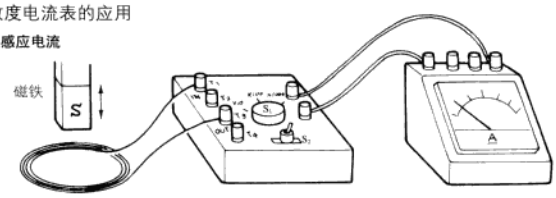
**电流表的种类与最大输入的关系**

| $S_1$ \ 电流表量程 | 100 μA | 50 mA | 500 mA |
|---|---|---|---|
| × 10 | 10 μA | 5 mA | 50 mA |
| × 100 | 1 μA | 500 μA | 5 mA |
| × 1 000 | 0.1 μA | 50 μA | 500 μA |

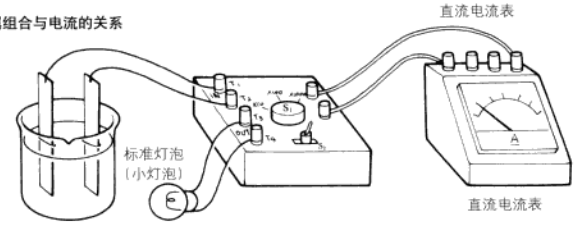
实际上，电流表的量程 100 μA、50 mA、500 mA 就是电流表所能显示的最大输入值。改变 $R_5$ 也可改变电流输入最大值，所以可用这种方法取代电流表。

## 4 高灵敏度电流表的应用

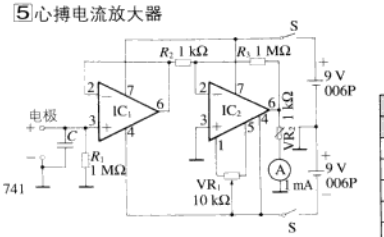
**检测感应电流**



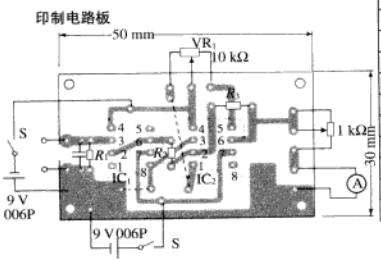

**金属组合与电流的关系**




## 5 心搏电流放大器



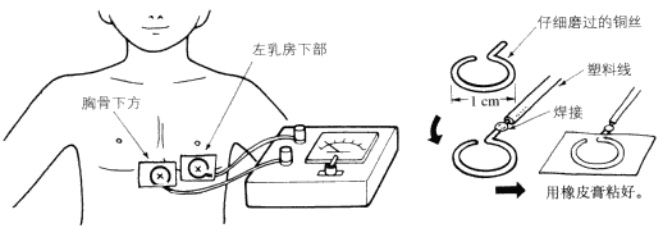

**印制电路板**



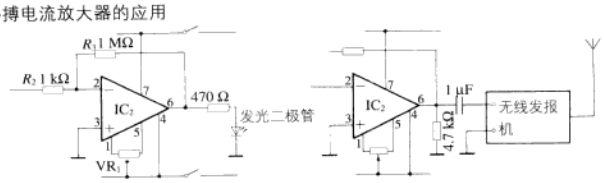

**元器件表**

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 集成电路 | 运算放大器 741 | 2 |
| 电阻器 | 1 MΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1 MΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 变阻器 | 10 kΩ 半可调型 | 1 |
| 变阻器 | 1 kΩ 半可调型 | 1 |
| 电流表 | 1 mA 用直流电流表 | 1 |
| 开　关 | 两个电路两个触点小型拨钮开关 | 1 |
| 接线柱 | 小型接线柱 | 2 |
| 干电池 | 006P 9 V | 2 |
| 电池子母接扣 | 006P 用 | 2 |
| 基　板 | 自制印制电路板(50 mm × 30 mm) | 1 |
| 外　箱 | 铝制或塑料制 | 1 |
| 电容器 | 0.047 μF 50 WV(屏蔽云母) | 1 |
| 其他 | 直径为0.5 mm～1 mm的铜丝及布线用软线若干，小螺钉、螺母及其他 | |

## 6 心搏电流放大器的用法




## 7 心搏电流放大器的应用




**4 提示** 高灵敏度电流表能应用在很多地方，在探测微小电流方面非常有用，所以最好制作一台供实验用。另外，高灵敏度电流表也可以用于探测电磁感应的感应电流(此时，必须注意电流方向)。如果是指针式灵敏电流表(零点在中间)，电流可沿正负两个方向流动。

也可以用于测量因电离倾向及异种金属的组合而产生的电池电动势。

**5 说明** 这是高灵敏度电流表的应用电路，测出心搏电流，放大，使电流表的指针摆动。集成电路 $IC_1$ 和 $IC_2$ 使用了运算放大器741。$IC_1$ 是通过增大输入电阻，效率更高地接受来自电极的微小电流的缓冲电路；$IC_2$ 用反相放大器将来自缓冲电路的输出电压进行放大，使得和 $VR_2$ 串联的电流表的指针摆动。$VR_1$ 用于偏置调整，使电极短路，将电流表调整到显示为“0”。

心搏电流表的印制电路板，从 $IC_2$ 的1号引线用跳线连接到 $VR_1$ 上，再从3号引线用跳线连接到接地线上。将1 mA的电流表、接线柱及小型拨钮开关装在外箱内，做成电路即可。

**6 提示** 使用心搏电流放大器测出心搏电流的最简单的方法，就是将正电极放在胸骨下方，将负电极放在左乳房的下部进行测量。如图所示，将0.5 mm～1 mm粗的铜丝做成一个圈，焊上塑料线就能制成一个简单的电极。电极不能直接接触皮肤。

**7 说明** 也可以不用电流表，而用发光二极管或无线发报机测出心搏电流。

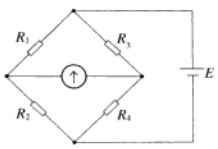
# 196 电阻计的制作

各种工具

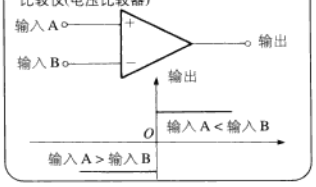
目标

能用最基本的惠斯通电桥与运算放大器这种高灵敏度的半导体器件组合起来，做出用发光二极管检测平衡的电阻计。

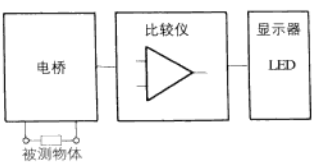
1 惠斯通电桥



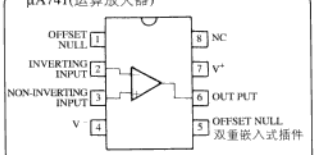

比较仪(电压比较器)




2 电桥电阻计的构成




μA741(运算放大器)

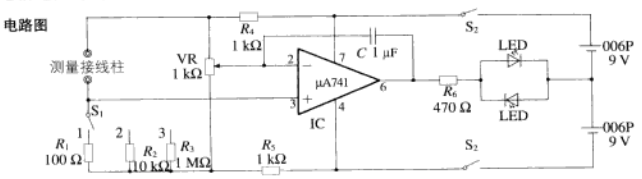



**元器件表**

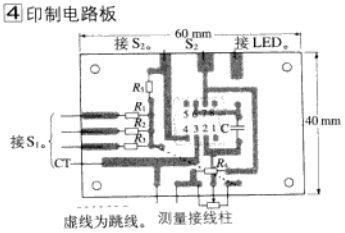
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 | 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 集成电路 | μA 741(运算放大器) | 1 | 开　关 | 两个电路两个触点小型按钮开关 | 1 |
| 发光二极管 | SEL151R(带支架的显示器) | 2 | 电容器 | 1 μF(纸介质电容器) | 1 |
| 变阻器 | 1 kΩ B 型绕线 | 1 | 干电池 | 006P 9 V | 2 |
| 电阻器 | 100 Ω 1/4 W1%(金属覆膜) | 1 | 电池子母按扣 | 006P 用 | 2 |
| 电阻器 | 10 kΩ 1/4 W1%(金属覆膜) | 1 | 基　板 | 自制印制电路板(60 mm × 40 mm) | 1 |
| 电阻器 | 1 MΩ 1/4 W1%(金属覆膜) | 1 | 接线柱 | 大型的 | 2 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 旋　钮 | 最好是大型的 | 2 |
| 电阻器 | 1 kΩ 1/4 W(碳型) | 1 | 外　箱 | 塑料外箱 | 1 |
| 电阻器 | 470 Ω 1/4 W(碳型) | 1 | 带软线的鳄鱼夹 | 带 20 cm 左右塑料线 | 2 |
| 旋转开关 | 四个电路三个触点 | 1 | 其他　布线用软线，若干小螺钉、螺母，外箱 | | |

3 电桥电阻计的电路

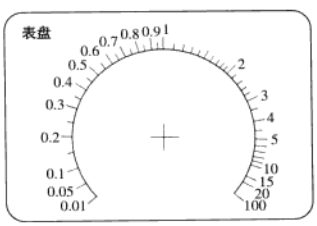
电路图



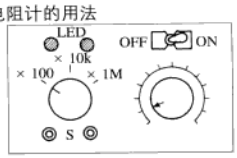

4 印制电路板

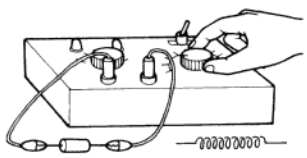



表盘




5 电阻计的用法




1 说明 这是使用惠斯通电桥测量电阻值的电路。电桥中的$R_3$和$R_4$之比，与$R_1$和$R_2$之比相等时，检流计的指针就不摆动了。

这种状态下，等式$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$成立。因此，用电阻值未知的导体代替$R_1$，将$R_3$作为VR，调整VR使电桥达到平衡，将VR和$R_2$、$R_4$的值代入上述公式，就能求出未知电阻的值。

2 说明 这是一个用运算放大器取代检流计，与比较仪组合，用发光二极管(LED)显示器确认平衡状态的电阻计。在比较仪中，输入有反相输入和非反相输入两种，用运算放大器使这个差放大。因为放大倍数有点儿高，电路稍有一点儿不平衡就会产生输出。

3 说明 这是使用μA741的电桥电阻计。运算放大器可以是TO-5型，也可以是双列直插式插件。VR可以使用绕线型的B曲线板(电阻值与旋转角度成正比)。$R_1$～$R_5$使用确定电阻量程用的标准电阻，误差在1%以内。VR的值从表盘上读取。将这种表盘与VR组合在一起的成品市场上也可以买到。最好利用圆形的坐标纸，用已知的电阻进行校正、制作。

4 参考 这是一个使用双重嵌入式插件的μA741的印制电路板。

5 说明 可以把发光二极管一侧闪亮的地方看做是大致取得平衡之处。此时读取的VR值和量程切换读数之积就是被测物体的电阻值。

# 197 稳压电源的制作

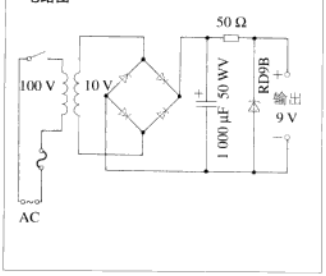
**目标** 能制作使用晶体管和集成电路的稳压电源——从最简单的电路，到使用一个晶体管、两个晶体管，与集成电路组合成越来越复杂的高性能电路。能理解各部分的功能。

**各种工具**

＊只要是NPN型，特性相似，无论什么晶体管都行。电解电容器和硅二极管都要用耐压值高的，变压器要用额定电流大的。

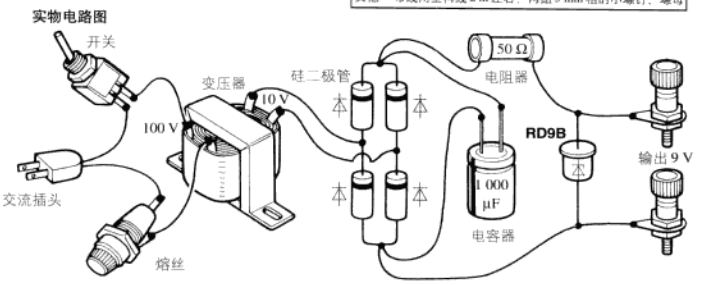
## 1 使用齐纳二极管的稳压电源的制作

电路图



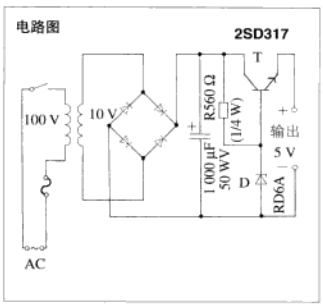

| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 硅二极管 | 10D1(1S1885 等) | 4 |
| 齐纳二极管 | RD9B(1W) | 1 |
| 电阻器 | 50 Ω(1 W L 型) | 1 |
| 电容器 | 1 000 μF 50 WV(电解电容器) | 1 |
| 变压器 | 初级线圈 100 V 次级线圈 10 V(0.5 A 左右) | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，两个触点 | 1 |
| 熔丝 | 0.5 A | 1 |
| 熔丝插座 | | 1 |
| 交流软线 | 带插头，2.5 m 左右 | 1 |
| 接线柱 | 最好是大型的 | 2 |
| 外　箱 | | 1 |
| 其他　布线用塑料线 2 m 左右，两组 3 mm 粗的小螺钉，螺母 | | |

实物电路图



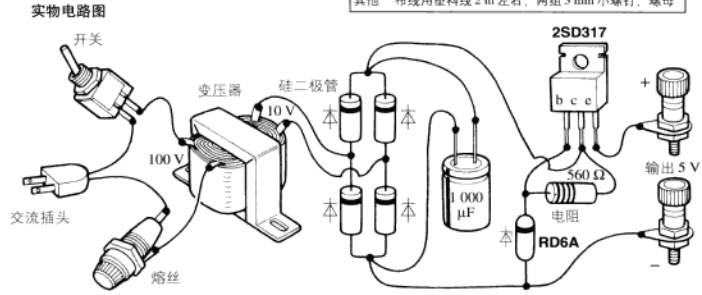

## 2 使用一个晶体管的稳压电源的制作

电路图




| 元器件表 | | |
|---|---|---|
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
| 硅二极管 | 10D1(1S1885 等) | 4 |
| 齐纳二极管 | RD6A(250 mW) | 1 |
| 晶体管 | 2SD317(NPN 型的功率晶体管) | 1 |
| 电阻器 | 560 Ω(1/4 W 碳型或 L 型) | 1 |
| 电容器 | 1 000 μF 50 WV(电解电容器) | 1 |
| 变压器 | 初级线圈 100 V 次级线圈 10 V(0.5 A 左右) | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关 | 1 |
| 熔丝 | 0.5 A | 1 |
| 熔丝插座 | | 1 |
| 交流软线 | 带插头，2.5 m 左右 | 1 |
| 接线柱 | 最好是大型的 | 2 |
| 外　箱 | 也可以用 1 中的外箱 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关 | 1 |
| 其他　布线用塑料线 2 m 左右，两组 3 mm 小螺钉，螺母 | | |

实物电路图




**1 提示** 这是使用齐纳二极管作为9 V叠层干电池(006P)的代用电源的稳压电源。输出电压由齐纳二极管的特性决定。RD9B的稳定电压范围为7.5 V～10 V，输出电压也有相应的差异。

整流用的二极管可以是500 mA左右的，使用1 000 μF以上的电解电容器，能完全直流化。

导出的电流在80 mA以内。如果导出电流太大，50 Ω的电阻就会发热受损，电压的稳定程度也会降低。

使用电路板能够方便地布线。需要注意的是不要将二极管及电解电容器等有极性的元器件的方向接错。

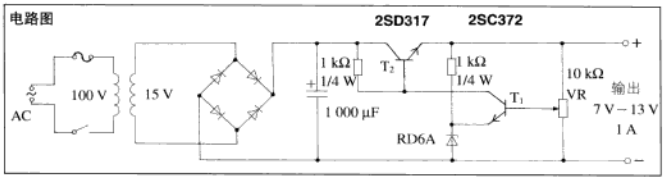
**2 说明** 这是电子设备中常用的利用TTL型数字集成电路及一个晶体管将导出的电流提高一倍的稳压电源。利用齐纳二极管RD6A可以得到稳定的电压。利用这个电压，将功率晶体管的基极电压保持一定，晶体管的发射极会产生比用RD6A得到的电压低0.6 V左右的电压。

**提示** RD6A因产品不同，产生的稳定电压多少也会有所不同。电阻的改变会带来电压的改变。功率晶体管是NPN型的，只要能使整流器输出2 W～3 W的电功率，什么型号的都可以。输出电压为5 V，电流不超过200 mA。为了防止功率晶体管发热，可以装上小的散热板，或在金属外箱上装上绝缘片进行电绝缘。

使用将四个硅二极管做成一个组件的电桥整流器能使设备小型化。与电源相连的变压器要用输出10 V左右的变压器。如果电压过高，晶体管的发热就会增大，不合适；电压过低则不能得到合适的电流。

## 3 使用两个晶体管的稳压电源的制作

电路图

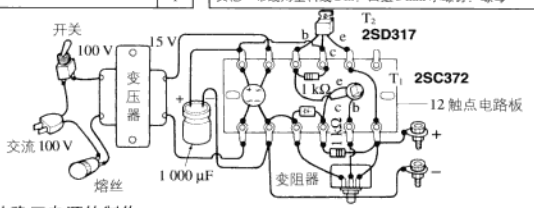



元器件表

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 二极管 | KBL02(GI) | 1 |
| 齐纳二极管 | RD6A | 1 |
| 晶体管 | 2SC372 | 1 |
| 晶体管 | 2SD317 | 1 |
| 电阻器 | 1 kΩ(1/4 W) | 2 |
| 变阻器 | 10 kΩ(B) | 1 |
| 电容器 | 1 000 μF　50 WV(电解电容器) | 1 |
| 变压器 | 初级线圈 100 V 次级线圈 15 V，1 A 左右 | 1 |
| 熔丝 | 0.5 A | 1 |

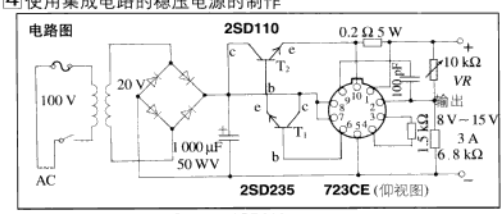
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 熔丝插座 | | 1 |
| 交流软线 | 带插头，2.5 m 左右 | 1 |
| 接线柱 | 大型 | 2 |
| 电路板 | 12 触点平型电路板 | 1 |
| 隔　板 | 带螺钉(直径 3 mm)，20 mm，塑料制 | 2 |
| 外　箱 | 小型外箱(铝制或塑料制) | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，两个触点 | 1 |
| 旋　钮 | | 1 |
| 其他　布线用塑料线 2 m，四组 3 mm 小螺钉、螺母 | | |

实物电路图




## 4 使用集成电路的稳压电源的制作

电路图



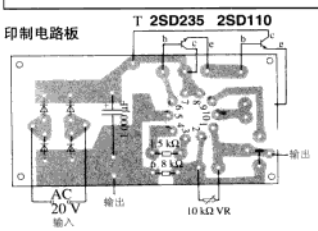

接线柱接线情况示意图

723CE

仰视图



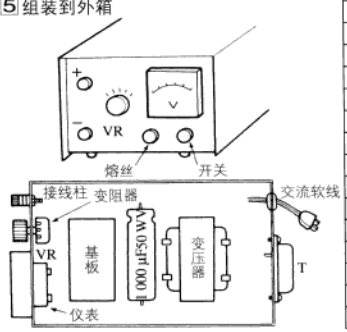

印制电路板




元器件表

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 二极管 | 3OD1(3A 以上的硅电桥也可以) | 4 |
| 晶体管 | 2SD235 | 1 |
| 晶体管 | 2SD110 | 1 |
| 集成电路 | 723CE(TO-5 型) | 1 |
| 电阻器 | 6.8 kΩ(1/4 W 碳型) | 1 |
| 电阻器 | 1.5 kΩ(1/4 W 碳型) | 1 |
| 电阻器 | 0.2 Ω(5 W) | 1 |
| 变阻器 | 10 kΩ(B) | 1 |
| 电容器 | 1 000 μF　50 WV(电解电容器) | 1 |
| 电容器 | 100 pF (陶瓷) | 1 |
| 变压器 | 初级线圈 100 V 次级线圈 20 V(3 A 左右) | 1 |
| 熔丝 | 2.0 A | 1 |
| 熔丝插座 | | 1 |
| 交流软线 | 带插头，2.5 m 左右 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关，两个触点 | 1 |
| 印制电路板 | 自制 80 mm × 40 mm 玻璃环氧 | 1 |
| 隔　板 | 带螺钉(直径 3 mm)20 mm 塑料制 | 4 |
| 接线柱 | 大型的，一黑一红 | 2 |
| 外　箱 | 铝制外箱 PS-14(引线) | 1 |
| 软线绝缘管 | 小型 | 1 |
| 旋　钮 | | 1 |
| 其他　布线用塑料线 2 m 左右，3 mm 小螺钉、螺母、电压表(15 V～20 V) | | |

## 5 组装到外箱




**3 说明** 这是使用两个晶体管、能改变输出电压的可变稳压电源。

晶体管 $T_1$ 用于探测输出电压的变化，对齐纳二极管与变阻器VR导出的电压与齐纳二极管的基准电压进行比较，并用此结果控制 $T_2$，从而导出稳定电压。能得到 7 V～13 V 的输出电压和 1 A 左右的电流。

晶体管 $T_2$ 的发热量大，所以必须遵守前页提到的发热注意事项。

如图所示，将各元器件焊接在电路板上进行接线。

为了保证 $T_2$ 散热，安装在外箱上时，要用引线从晶体管的脚连接，并且在流有较大电流的硅二极管周围使用直径为1 mm粗的接地线，$T_2$的发射极和PN结部分的接线也要用直径为 1 mm 粗的线。

**4 说明** 这是使用稳压电源用集成电路的723CE 的电路。

如前所述，稳压电源用的集成电路是简单电路。这是将此简单电路集成化的装置。这个 723CE 使电压的变化更小，因此即使发生短路，也能自动控制电流，保护电路。

**提示** 通过输出电压调整变阻器，能够在 8 V～15 V 的范围内改变，能得到 3 A 以下的电流。

与前面一样，给$T_2$装上散热板，或想办法使热转移到外箱上。有大电流通过时，0.2 Ω (5 W)的电阻也会发热，所以最好用水泥电阻。

有的厂家把723CE叫做723C、SN72723等。这里显示的是使用印制电路板时的原型。应尽可能多地保留铜箔部分，特别是大电流通过的地方要加宽。

**5 提示** 稳压电源在实验中经常用到，所以不要使它经常处于暴露状态，而要装在外箱里面(如图所示)。考虑到散热的需要，外箱要做得大一些，以便能将前面提到的仪表及所需元器件都装进去。

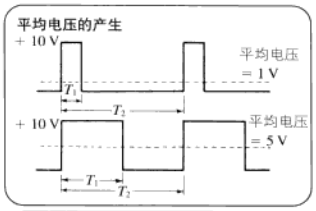
# 198 直读式电容计的制作

**目标** 通过改变单稳态多谐振荡器 *CR* 的时间常数，能制作直读式电容计。

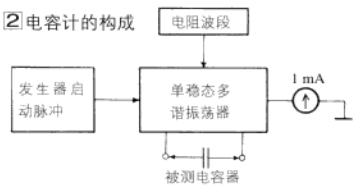
**各种工具**

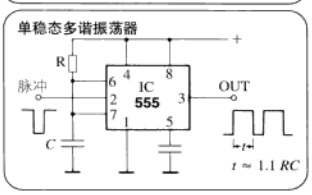
1 单稳态多谐振荡器



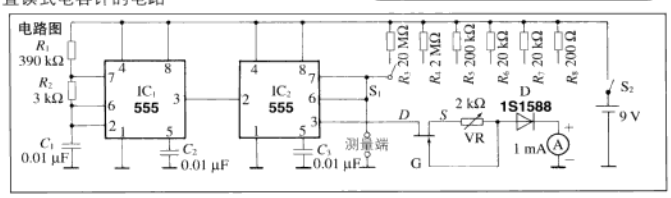




2 电容计的构成




3 直读式电容计的电路

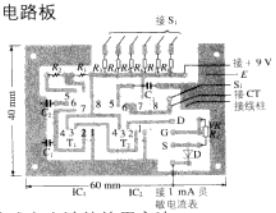



**元器件表**

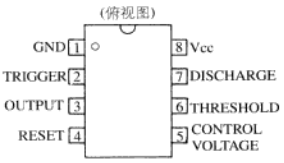
| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 集成电路 | IC555(任意同类型器件均可) | 2 |
| 场效应管(FET) | 2SK30(任意 2SK 类型均可) | 1 |
| 电阻器 | 390 kΩ 1/8 W(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 3 kΩ　1/8 W1%(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 20 MΩ　1/8 W1%(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 2 MΩ　1/8 W1%(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 200 kΩ　1/8 W1%(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 20 kΩ　1/8 W1%(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 20 kΩ　1/8 W1%(碳型) | 1 |
| 电阻器 | 200 Ω　1/8 W1%(碳型) | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF　50 WV(聚苯乙烯电容器) | 1 |
| 电容器 | 0.01 μF　50 WV(云母电容器) | 1 |

| 元器件名称 | 规　格 | 数量 |
|---|---|---|
| 电容器 | 0.01 μF 50 WV(云母电容器) | 1 |
| 变阻器 | 2 kΩ 半可调 | 1 |
| 二极管 | 硅二极管 1S1588(任意) | 1 |
| 电流表 | 1 mA | 1 |
| 旋转开关 | 一个电路六个触点 | 1 |
| 开　关 | 小型拨钮开关 | 1 |
| 接线柱 | 小型接线柱(黑和红) | 2 |
| 干电池 | 006P 9 V | 1 |
| 电池子母接扣 | 006P 用 | 1 |
| 基　板 | 自制印制电路板(60 mm × 40 mm) | 1 |
| 外　箱 | 根据仪表的大小而定 | 1 |
| 其他　布线用软线、几组螺钉、螺母、旋钮一个、带软线的鳄鱼夹两组及其他 | | |

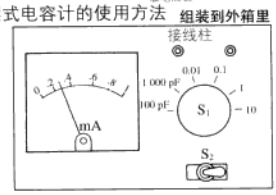
4 印制电路板

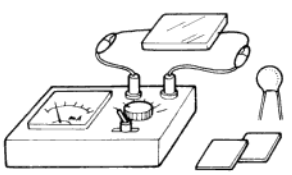



IC555 脚的接线




5 直读式电容计的使用方法　组装到外箱里



1 说明 启动脉冲(输入脉冲)进来后，产生一定时间幅度的脉冲再回到稳定状态的电路，叫做单稳态多谐振荡器电路。输出脉冲的脉冲时间幅度与输入的启动脉冲的时间幅度无关，由单稳态多谐振荡器电路内的电阻和电容器控制的时间常数决定。

2 说明 输出脉冲的电压大小一定，所以在一定的周期 $T_2$ 内产生输出脉冲时，一个周期内的平均电压由输出脉冲的幅度 $T_1$ 决定。把启动脉冲作为一个周期，使单稳态多谐振荡器等效电阻保持一定，仅改变电容，就会发现在 $T_2$ 一定的情况下，$T_1$ 随着电容而变化。由此便能从平均输出电压反推出 $C$ 的大小。

3 说明 以 2 中的构成图为基础，左侧的集成电路 $IC_1$ 作为非稳定多谐振荡器，在一定的间隔内产生启动脉冲，用右侧的集成电路 $IC_2$ 产生根据被测电容 $C$ 的大小而定的时间幅度决定的脉冲。$IC_2$ 的平均输出电压通过场效应管(FET)供给额定电流为 1 mA 的仪表。测量范围是 100 pF～10 μF。

4 参考 这里提供了一个印制电路板的例子，基板大小是 60 mm × 40 mm。

5 提示 如图所示组装到外箱里，测量端用接线柱直接与被测物体相连。使用鳄鱼夹时，事先需要了解所用导线的电容。

参考 测量未知电容器的电容及用金属板夹着某种绝缘材料的装置的电容，理解电容的概念。

# 索引


A

阿基米德原理 …… 49
暗室秒表 …… 38
凹面镜 …… 248
凹透镜 …… 240，244，246
奥斯特实验器 …… 323

B

白光 …… 237
摆
——摆的共振 …… 273
——摆的性质 …… 272
——摆的运动 …… 119
——摆的周期 …… 272
——单摆的等时性 …… 144
——单摆的周期与摆长 …… 144
扳手 …… 367
半波整流 …… 379
半导体集成电路 …… 378
饱和食盐水 …… 113
饱和蒸气压 …… 117
倍电压整流 …… 380
倍频 …… 279
本底辐射 …… 359
比热容 …… 189
变阻器 …… 377
标准温度计 …… 39
标准质量原器 …… 46
表面张力 …… 95
冰的熔点 …… 193
冰的熔化热 …… 195
并联电路 …… 298
波
——波的传播方式 …… 276，280
——波的传播速度 …… 282
——波的传播原理 …… 275
——波的叠加 …… 277
——波的独立性 …… 277
——波的反射 …… 276，281
——波的干涉 …… 284
——波的衍射 …… 283
——波的折射 …… 282
波动演示器 …… 275，276
波纹图样 …… 284
波形
——交流电的波形 …… 346
——声波的波形 …… 267
——直流电的波形 …… 346
波形发生装置 …… 397
玻璃的折射率 …… 231
玻璃管的加工方法 …… 256
玻璃管的折弯方法 …… 161
不锈钢 …… 318
布线 …… 373

C

彩虹 …… 237
测量
——长度的测量 …… 35
——电流的测量 …… 51
——电压的测量 …… 53
——气压的测量 …… 57
——时间的测量 …… 37
——速度的测量 …… 386
——体积的测量 …… 48
——温度的测量 …… 39
——质量的测量 …… 43
——重量的测量 …… 47
测量比较大的力的简便方法 …… 154
测量轻物体用的天平 …… 82
测量值
——测量值的表示方法 …… 59
——测量值与误差 …… 59
长时定时器 …… 388
超声波 …… 260
串联电路 …… 297
磁场 …… 320，323
——磁场的方向 …… 322
——磁场对电流的作用 …… 330
——磁场对射线的影响 …… 362
——磁场对阴极射线的影响 …… 351
磁场强度 …… 342
磁感线 …… 320，325，326
磁化 …… 334
磁极 …… 318，322
磁力 …… 319
磁铁 …… 318
——磁铁的保存方法 …… 319
——磁铁的磁化方法 …… 319
——磁铁的力 …… 64
——磁铁与地球磁场的关系 …… 318
——磁铁之间的相互作用 …… 319
——磁铁周围的磁场 …… 320
次数曲线 …… 62

D

大气压 …… 106
——沸点与大气压的关系 …… 117
带状放电 …… 355
单摆 …… 144，176
——单摆的运动 …… 119
单色光 …… 237
单稳态多谐振荡器 …… 412
单弦琴 …… 264
——单弦琴的制作方法 …… 266
——单弦琴的驻波 …… 278
倒立像 …… 242
灯丝 …… 300
低频放大电路 …… 403
低频振荡器 …… 279，402
底盘铰刀 …… 368
地球的磁场 …… 322
点光源 …… 250
碘 …… 202
电摆 …… 286，345
电场力 …… 64
电场线 …… 296

电磁打点计时器 …… 38
电磁铁 …… 327
——电磁铁的磁力 …… 71，328
——电磁铁的性质 …… 328
——电磁铁的制作方法 …… 163
电动机
——电动机的功率 …… 156
——电动机的转动原理 … 332，333
——电动机与发电机 …… 341
电动机的转速控制 …… 405
电动秒表 …… 37
电风 …… 296
电功 …… 316
电解质的判别 …… 393
电解质水溶液 …… 310
电离槽 …… 363
电流
——磁场对电流的作用 …… 330
——电流的测量 …… 51
——电流所做的功 …… 163
——电流形成的磁场 …… 323
——电压与电流的关系 …… 301
——发热量与电流的关系 …… 314
电流表 …… 51，407
电路 …… 297，300
电桥电阻计 …… 409
电热丝的发热量 …… 190，312
电容器 …… 377
电势差 …… 54
电线 …… 373
电压
——电压的测量 …… 53
——电压与发热量的关系 …… 313
电压表 …… 53
电压放大器 …… 407
电源装置 …… 302
电子计数装置 …… 362
电子计算机
——用电子计算机分析机械能守恒定律 …… 176
——用电子计算机分析物体的运动 151
电子元器件 …… 377
电子乐器 …… 402
电阻 …… 301，308
电阻计 …… 409
电阻率 …… 305
电阻器 …… 377
定时器 …… 387
定值电阻器 …… 377
动摩擦力 …… 90
动能 …… 166
对流 …… 210，211
多用电表 …… 56
E
二极管 …… 378
二力平衡 …… 72
F
发电机 …… 339
——发电机与电动机 …… 341
发电原理 …… 339，340
发光二极管 …… 338，393
发热
——电功与发热的关系 …… 316
——发热量与电流的关系 …… 314
——发热量与电压的关系 …… 313
——发热量与通电时间的关系 312
——金属和碳棒的发热现象 … 317
发声物体的振动 …… 265
砝码 …… 43，46
反射波 …… 281
反射光 …… 247，248
——反射光的颜色 …… 236
反射角 …… 221，259，281
范德格拉夫起电机 …… 293
范德格拉夫起电机的结构和原理 … 296
放大镜的倍率 …… 242
放电 …… 286，288，296，354，355
放电叉 …… 293
放电管 …… 355
放电极 …… 296
放砝码的方法 …… 43
放射性核 …… 358
放射性物质 …… 363
放射源 …… 363
肥皂膜的驻波 …… 278
肥皂泡 …… 94
沸点 …… 192
——沸点与大气压的关系 …… 117
沸腾 …… 192，200
分光镜 …… 237
分解电压 …… 310
分力 …… 77
分子间的引力 …… 96
风车的旋转力 …… 71
风力 …… 71
浮标 …… 114
浮力
——物体在空气中受到的浮力 … 115
——物体在液体中受到的浮力 … 111
辐射能 …… 180
辐射热 …… 203
附着力 …… 92
复绕变压器 …… 347
傅科摆 …… 145
G
干冰 …… 127
干涉 …… 284
感应电流 …… 335，342
——感应电流的方向 …… 335，338
感应圈 …… 354
钢锯 …… 369
杠杆 …… 85
高灵敏度电流表 …… 407
铬灯 …… 250

工具
——工具的用法 …… 367
——功与工具的关系 …… 155
功 …… 153
——电流所做的功 …… 163
——光做功的现象 …… 160
——热所做的功 …… 161
——热与功的关系 …… 157
功率 …… 156
共鸣 …… 268，274
共鸣箱 …… 269
共振 …… 273
共振频率 …… 399
固体
——固体的膨胀 …… 183
——固体的体积 …… 48
固有频率 …… 274，279
惯性 …… 149
惯性实验器 …… 130
光
——功与光的关系 …… 160
——光的传播方式 …… 215—217
——光的反射 …… 221，224
——光的干涉 …… 284
——光的色散 …… 233
——光的颜色与温度 …… 236
——光的衍射 …… 283
——光的折射 …… 227，230
——光的作用 …… 251
——光路的可逆性 …… 231
——光在玻璃中的全反射 …… 232
——光在水和玻璃中的传播方式 216
——光在弯曲界面上的反射 … 222
光的颜色 …… 237
光电开关 …… 385
光敏电阻 …… 395
光谱 …… 180，233
光学实验台 …… 215
光学水槽 …… 222
光源装置 …… 223，249
轨道实验器 …… 165
滚动摩擦 …… 154
国际标准质量原器 …… 46
H
哈密顿电旋转车 …… 296
合力 …… 77
赫兹 Hz …… 265
黑体 …… 180
横波 …… 275
红外线 …… 235
滑动变阻器 …… 310
回声 …… 260
惠斯通电桥 …… 409
J
机械能 …… 172，176
基频 …… 279
极性判定器 …… 394
计时器 …… 383
加热器的制作方法 …… 211
加速度 …… 135
——加速度与力的关系 …… 138
——加速度与质量的关系 …… 143
检波电路 …… 403
剪板钳 …… 369
剪切钳 …… 368
简单天平 …… 80
简易分光镜 …… 234
简易透镜 …… 242
交流电
——交流电的波形 …… 346
——交流电与直流电的判别 … 393
——交流电与直流电的区别 … 343
交流电流表 …… 52
交流电压表 …… 55
焦点 …… 238，240，248
焦距
——凹面镜的焦距 …… 248
——凹透镜的焦距 …… 240
——凸面镜的焦距 …… 247
——凸透镜的焦距 …… 238
接触面与摩擦力 …… 89
接线柱 …… 51—53
节拍器 …… 123
金箔验电器 …… 289
金属
——金属的比热容 …… 190
——金属的电阻 …… 309
——金属的热传导 …… 207
——金属的升华 …… 300
金属板的加工 …… 369
金属棒膨胀实验器 …… 184
金属棒式热传导对比实验装置 … 210
金属球膨胀实验器 …… 183
金属探测器 …… 399
晶体管 …… 378
——晶体管收音机 …… 403
——使用晶体管的温度计 …… 389
静电 …… 285，290，293
——储存静电 …… 293
——静电的力 …… 64
——静电的性质 …… 288
——静电的正负 …… 286
——静电与电流 …… 290
静电感应 …… 289
静电高压发生装置 …… 296
静摩擦力 …… 89
静止物体的惯性 …… 149
酒精的膨胀率 …… 186
酒精的汽化热 …… 198
酒精温度计 …… 39
居里（Ci） …… 364
矩形波 …… 397
锯齿波 …… 397
绝对误差 …… 59

绝热膨胀 …… 205
绝热压缩 …… 205
K
科里奥利力 …… 148
可见光谱 …… 235
克鲁克斯放电管 …… 350—353
空气
——光在空气中的传播方式 … 215
——空气的对流 …… 213
——空气的力 …… 63
——空气的膨胀 …… 187
——声音在空气中的传播速度 … 258
——物体在空气中自由下落的运动 …… 131
空气阻力 …… 131
L
来复式收音机 …… 404
莱顿瓶 …… 293
烙铁 …… 368
棱镜 …… 233
冷却管 …… 191
冷却剂 …… 199
楞次定律 …… 335
离心力 …… 148
力
——磁铁的力 …… 64
——加速度与力 …… 138
——静电的力 …… 64
——空气的力 …… 63
——力的大小 …… 70
——力的平衡 …… 72，75，78
——力的作用 …… 65
——摩擦力 …… 68
——水的力 …… 63
力矩 …… 85
力学小车 …… 118
连通器（水压机） …… 102
量热器 …… 179，182
螺丝刀 …… 367
螺线管 …… 325
螺旋测微器 …… 36
螺旋弹簧 …… 70
M
脉冲波 …… 277
脉冲电路 …… 380
毛细管 …… 91
毛细管的制作方法 …… 92
毛细管修正 …… 57
毛细现象 …… 91
秒表 …… 37，38
明视距离（25 cm） …… 242
N
钠灯 …… 237
钠灯发出的光 …… 237
氖管 …… 288
萘的熔化热 …… 196
萘的三态变化 …… 201
内插法 …… 61
内聚力 …… 92
能量 …… 172
——动能 …… 166
——势能 …… 164
——弹性势能 …… 169
能量守恒 …… 172
镍镉电池 …… 382
镍铬丝的电阻与长度 …… 305
镍铬丝的电阻与粗细 …… 305
凝固 …… 199
凝固热 …… 196
凝结热 …… 197
扭摆的运动 …… 119
P
帕斯卡实验 …… 101
帕斯卡原理 …… 102
拍频 …… 399
排气罩 …… 254
盘秤 …… 47
抛体运动 …… 120
膨胀
——表观膨胀 …… 185
——固体的膨胀 …… 183
——气体的膨胀 …… 187
——液体的膨胀 …… 185
频率 …… 264，274，279
频闪观测器 …… 343
频闪照片 …… 126
平衡 …… 72，75，78，85，178
平滑电路 …… 379
平均值 …… 59
平面波 …… 280
平面镜 …… 221，225
平面上的运动 …… 118
平行光 …… 215
普朗克辐射定律 …… 180
Q
起火装置 …… 157
气垫导轨装置 …… 128
气体
——气体的膨胀 …… 187
——气体的体积 …… 50，109
——气体的压强与体积 …… 109
——气体的压强与温度 …… 105
——气体分子运动模拟实验器 … 105
——气体压强 …… 104
气压
——沸点与大气压 …… 117
——气压的测量 …… 57
气柱共鸣装置 …… 269，278
汽化 …… 192，200
汽化热 …… 197
潜望镜 …… 225
球面波 …… 280
去磁 …… 334
全波整流 …… 379

全反射 …… 232
R
热
——电热丝发出的热量 …… 312
——热传递 …… 178
——热的不良导体 …… 209
——热的良导体 …… 209
——热与功 …… 157
热传导 …… 207，209
热传导对比实验装置 …… 210
热导率 …… 209
热电偶 …… 391
热电偶温度计 …… 391
热辐射 …… 210，251
——热辐射计 …… 251
——热辐射温度计 …… 204
热固性塑料 …… 371
热敏电阻 …… 389
热敏电阻温度计 …… 40
热敏剂 …… 208，212
热平衡 …… 178
热塑性塑料 …… 371
人的反应时间 …… 142
日光的辐射热 …… 203
熔点 …… 193
熔化 …… 199
熔化热 …… 195
熔丝 …… 66
瑞利帘 …… 275
S
三角波 …… 397
三力平衡 …… 75
三态变化 …… 199，201
沙漏 …… 38
闪烁现象 …… 360
射线 …… 356，359
射线的穿透力 …… 361
升华 …… 201
声波 …… 255
声波的驻波 …… 278
声呐 …… 260
声音
——声波的干涉 …… 284
——声音的传播方式 …… 255
——声音的传播速度 …… 257
——声音的反射 …… 259
——声音的高低 …… 264，271
——声音的共振 …… 268
——声音的强弱 …… 261，270
——声音的衍射 …… 260
——声音与物体的振动的关系 … 270
实像 …… 242，243
示波器 …… 267，346
势能 …… 164
收音机 …… 403
疏密波 …… 267
输出电功率 …… 349
输入电功率 …… 349
双金属片 …… 162
水
——流水的力 …… 71
——水的表面张力 …… 95
——水的对流 …… 211
——水的沸点 …… 191
——水的凝固与冰的熔化 …… 199
——水的膨胀 …… 185
——水的汽化热 …… 197
——水的汽化与水蒸气的液化 … 200
——水的三态变化 …… 199
——水的折射率 …… 232
——水的质量的测量方法 …… 113
——水蒸气的凝华 …… 200
水波的驻波 …… 278
水波投影装置 …… 280
水滴 …… 95，142
水黾和表面张力 …… 95
水压机 …… 102
水银气压计 …… 57
水银温度计 …… 39
塑料的加工 …… 371
T
太阳能电池 …… 252，381
弹簧测力计 …… 47，70
弹簧具有的能量 …… 169
弹力小车 …… 122
弹性势能 …… 169
碳棒的发热现象 …… 317
天平 …… 43，80—83
调谐电路 …… 403
铁粉播撒器 …… 325
铁粉的回收方法 …… 320
铁粉回收器 …… 325
铁丝电话 …… 256
同时下落实验仪器 …… 129
同种电荷 …… 286
透镜 …… 242
凸面镜 …… 222，247
凸透镜 …… 238，243，245
图像的画法 …… 61
W
外插法 …… 61
玩具 …… 68，122
万花筒 …… 226
微小温差探测器 …… 389
温差电动势 …… 391
温度 …… 178
——表面张力与温度的关系 … 95
——不同温度的水混合 …… 181
——光的颜色与温度 …… 180，236
——温度的测量 …… 39
——温度引起的电阻变化 … 309，311
温度修正 …… 57
稳压电源 …… 410
无液自记气压计 …… 58

物理天平 …… 44
误差 …… 59
X
下落 …… 129，131
下落时间 …… 142
下落物体的运动 …… 125
弦 …… 264
——弦的固有频率 …… 279
——弦的振动 …… 271
线圈
——线圈的电压比和匝数比 … 349
——线圈和感应电流 …… 342
——自制线圈 …… 338
相对误差 …… 59，177
相对运动 …… 121
向心力 …… 147
像
——凹面镜成像 …… 248
——凹透镜成像 …… 244
——成像作图 …… 245，246
——平面镜成像 …… 225
——凸面镜成像 …… 247
——凸透镜成像 …… 243
——像的亮度 …… 243
——针孔照相机所成的像 …… 218
像的分辨率 …… 220
小灯泡 …… 300
斜面上的运动 …… 118，137
斜面上力的平衡 …… 78
心搏电流放大器 …… 408
修正 …… 39，40，57
虚焦点 …… 240，247
虚像 …… 242，243
蓄电 …… 293
蓄电器 …… 290，293
旋转板上物体的运动 …… 148
旋转灯笼 …… 162
旋转开关 …… 388
Y
压强 …… 97，98，102
——大气的压强 …… 106
——气体的压强与体积的关系 …… 104，109
——水的压强 …… 99
——压强的传递 …… 101
衍射
——波的衍射 …… 283
——光的衍射 …… 283
——声音的衍射 …… 260
衍射光栅 …… 234
验电笔 …… 288
焰色反应 …… 234
杨氏双缝干涉实验 …… 284
液体
——物体在液体中受到的浮力 … 111
——压强在液体中的传递 …… 101
——液体的表面张力 …… 96
——液体的膨胀 …… 185
——液体的体积 …… 49
液体温度计 …… 39
仪器误差 …… 39
异种电荷 …… 286
阴极射线 …… 350—352
音叉
——声音的强弱与音叉的振动 270
——音叉的共鸣 …… 268
音色 …… 267
印制电路板 …… 375
永久磁铁 …… 318
游标卡尺 …… 35
右手定则 …… 335
圆周运动 …… 120，147
远程力 …… 64
云室 …… 363
匀加速运动 …… 125
匀加速直线运动一般公式 …… 137
匀速运动 …… 125，129
匀速直线运动 …… 127
运动 …… 118
——运动的方向 …… 118
——运动的记录 …… 123
——运动的速度 …… 118，123
运动物体的惯性 …… 149
Z
载流直导线周围的磁场 …… 323
闸流晶体管 …… 405
照度 …… 249
折射 …… 282
折射率 …… 231
储收音机 …… 403
针孔照相机 …… 218
真空泵 …… 117，254，354
真空放电 …… 354
振荡器 …… 402
振动 …… 274
——发声物体的振动 …… 265
振幅 …… 144，261
——声音的强弱与振幅 …… 261
——振幅的测量方法 …… 262
蒸发 …… 192
蒸汽涡轮模型 …… 161
整流电路 …… 379
正加速度 …… 135
正立像 …… 242
正弦波 …… 397
直方图 …… 62
直流电 …… 343
——直流电的波形 …… 346
——直流电与交流电的判别 … 393
——直流电与交流电的区别 … 343
直流电流表 …… 51
直流电压表 …… 53，54
直视分光镜 …… 234，237
重力加速度 …… 132，141，386

重力修正 …… 57
周期 …… 144，272
驻波 …… 278
驻波实验装置 …… 277，279
紫外线 …… 235
自耦变压器 …… 236，317，334，348
自由落体 …… 129
——水滴的自由落体运动 …… 142
——自由落体公式 …… 141
总电阻 …… 306，307
纵波 …… 275
最大静摩擦力 …… 89
左手定则 …… 332

α-径迹法 …… 358
α射线 …… 359，363
α射线检测计 …… 361
β射线 …… 359，362
γ射线 …… 359，362