

STONE KNOWS

混知

半小时漫画宇宙大爆炸

半小时读完138亿年宇宙史，
一口气搞懂大爆炸、奇点、黑洞、引力波、暗物质……

陈磊·半小时漫画团队 著



浙江科学技术出版社



半小时
漫画宇宙大爆炸

陈磊·半小时漫画团队 著

浙江科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

半小时漫画宇宙大爆炸 / 陈磊・半小时漫画团队著.
— 杭州 : 浙江科学技术出版社, 2021.10
ISBN 978-7-5341-9879-3

Ⅰ. ①半… Ⅱ. ①陈… Ⅲ. ①“大爆炸”宇宙学-通俗读物 Ⅳ. ①P159.3-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第197691号

书　　名　半小时漫画宇宙大爆炸
著　　者　陈磊・半小时漫画团队

出　　版　浙江科学技术出版社
地　　址　杭州市体育场路347号
邮政编码　310006
发　　行　读客文化股份有限公司
网　　址　www.zkpress.com
联系电话　0571-85176593
印　　刷　河北中科印刷科技发展有限公司

开　　本　880mm × 1230mm　1/32
字　　数　45 000
版　　次　2021年10月第1版
书　　号　ISBN 978-7-5341-9879-3
印　　张　9.25
印　　次　2021年10月第1次印刷
定　　价　49.00元

责任编辑　卢晓梅　　责任校对　赵　艳　　责任美编　金　晖　　责任印务　叶文炀

版权所有，侵权必究
如有装订质量问题，请致电010-87681002（免费更换，邮寄到付）

陈磊·半小时漫画团队介绍



总策划：陈磊



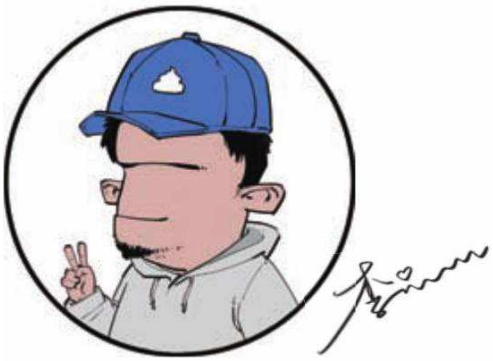
颜紫霞

荆楚理科女



吴钟铭

理性乐观派



李翔

蒙古王



赵瑞丽

手冲速溶大师



张华

绍兴爱因斯坦



周文心

二次元死宅



林爱珍

火锅爱好者



邹雪

黑泡高级跩少女



左康泽

文案绘画两栖人才



马乙洋

快乐的骚包



江炜

混知第一高度



唐宇翔

爱好历史的游戏迷



李可

AVG狂热爱好者



徐雷凤

七宝池中妙晓莲



潘阔

铁岭潘安



闫宏凯

不喝可乐



庞志龙

耳机依赖症患者



宋淑宁

直击灵魂的画手

目录

陈磊·半小时漫画团队介绍
一、宇宙到底是啥？
二、宇宙究竟是怎么来的？
三、恒星的诞生→生命的可能
四、宇宙的终局，可能在于暗物质与暗能量的博弈
五、怎么证明宇宙是大爆炸产生的？
六、恒星真的“永恒”吗？
七、如何“看见”暗物质和暗能量？
八、人类在宇宙中的“眼睛”——探测器一览
番外一、引力波就是你俩还没开打，杀气就喷了我一脸
番外二、霍金到底干了啥？
参考书目

一、宇宙到底是啥？



宇宙到底是啥？你可能会回答：每个人眼里的宇宙都不一样。果然机智！但是，如果发出那个直击灵魂的拷问：

宇宙是什么？

宇宙从哪里来？

宇宙要到哪里去？





有混子哥在，这都不是事儿。这本**《半小时漫画宇宙大爆炸》**就来告诉你答案。还等啥？赶紧上车！

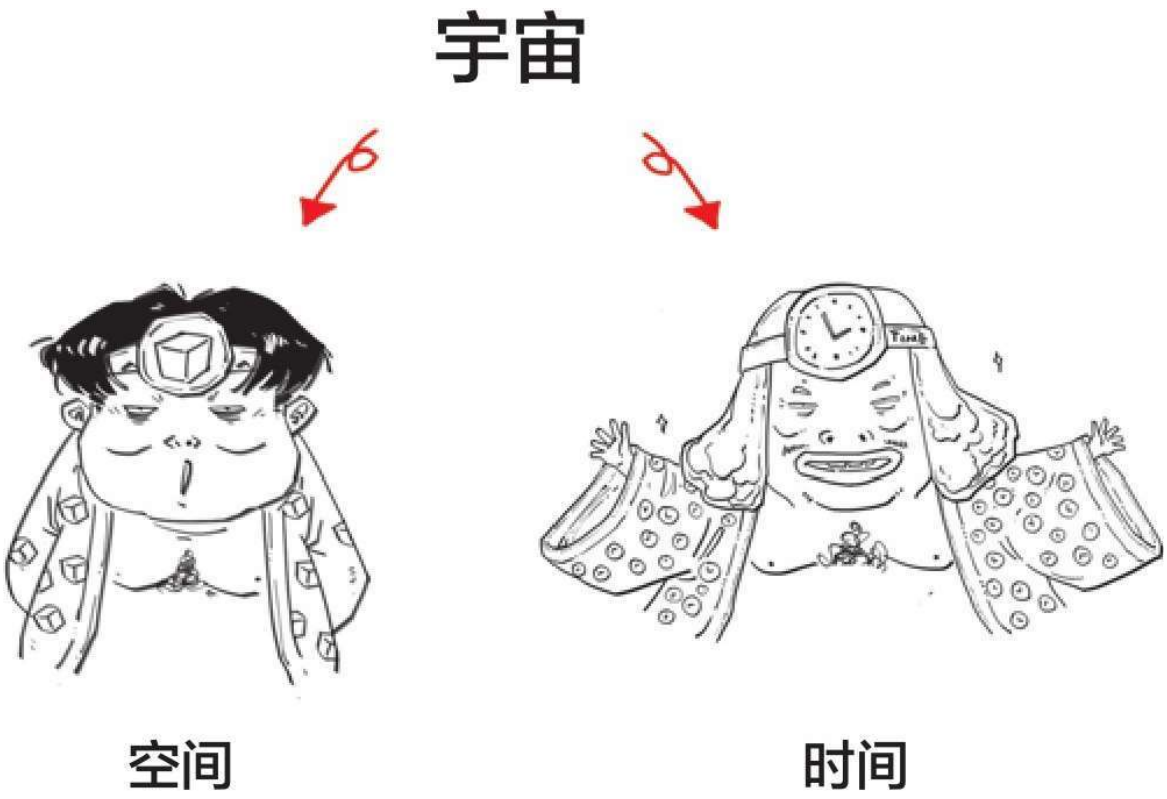


第一章，我们先来点儿基础的，就聊一个话题：**宇宙到底是什么？**

古人发现，宇宙其实不仅仅是一堆星星，还和**空间、时间**有关。自古就有一种对宇宙的定义：

往古来今谓之宙，四方上下谓之宇。

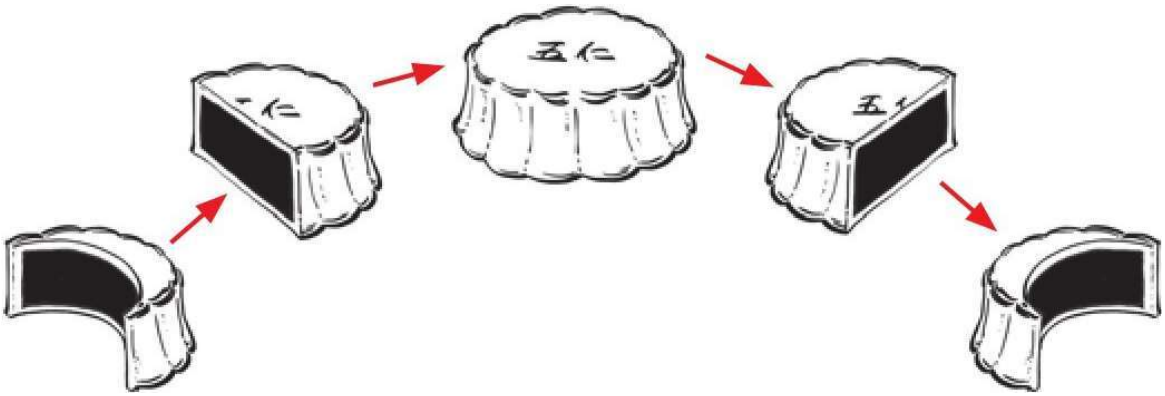
翻译成现代文就是：



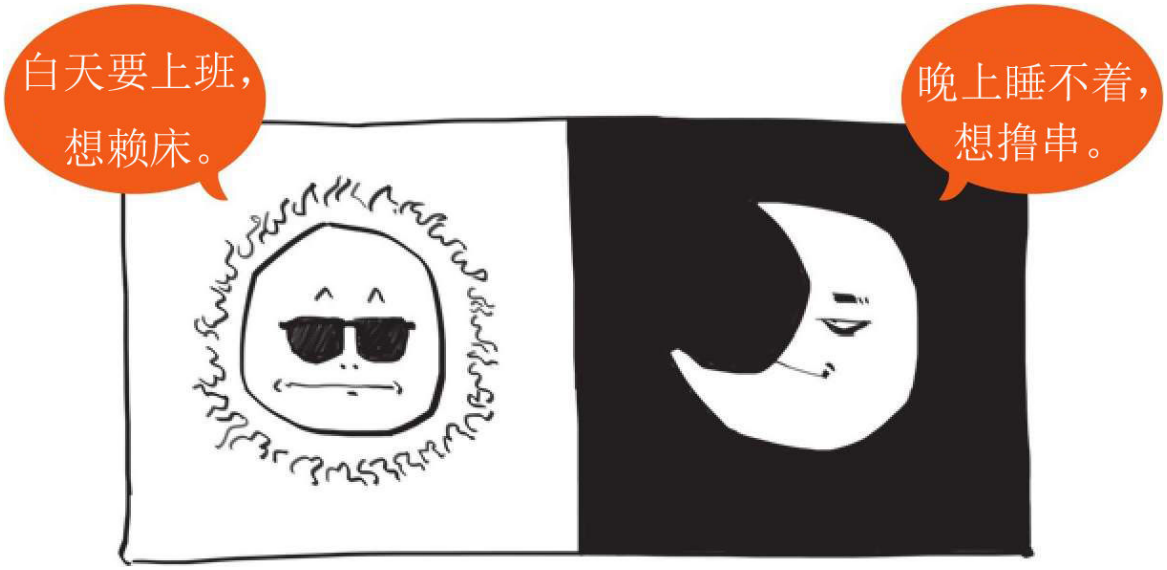
宇宙和空间的关系还好理解，可是宇宙和时间到底有什么关系呢？

1. 时间

古人用天象作为计时的工具。他们通过大量观测发现，月亮运转变化的周期约为29.53天，于是就规定30天为一个“月”。



“月”是指月相变化一个周期的时间。



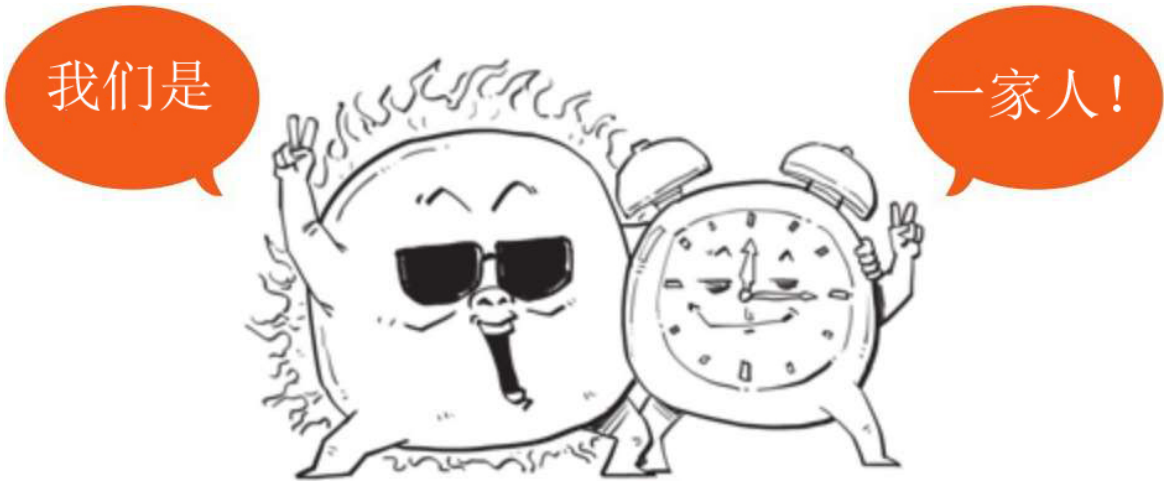
而一天就是一个昼夜。

古人认为：一“年”就是太阳沿着天球运转一圈的时间。现在“年”一般是指地球绕太阳公转一周的时间。



天球就是在天文学上想象出的与地球有相同球心、相同自转轴而且半径无穷大的一个球体。

对于古代人而言，太阳和月亮的运行变化就对应着时间的变化，所以，时间是宇宙的一部分。



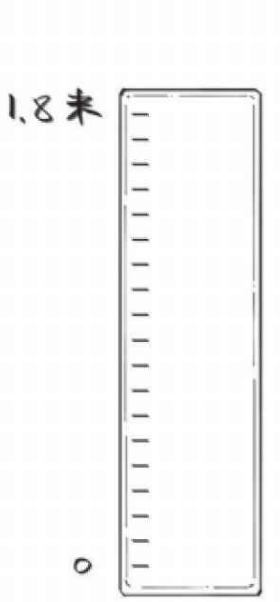
这也解释了为什么霍金的科普书明明是一本讲宇宙的书，却可以叫作“时间简史”。



2. 空间

虽然空间也是宇宙的一部分，但有一个谜团一直深深地困扰着人类：

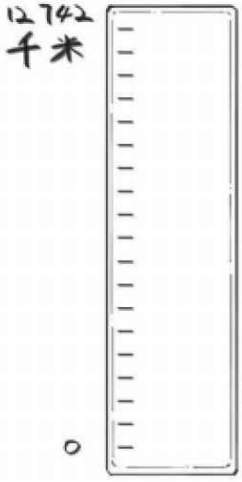
宇宙空间到底有多大？





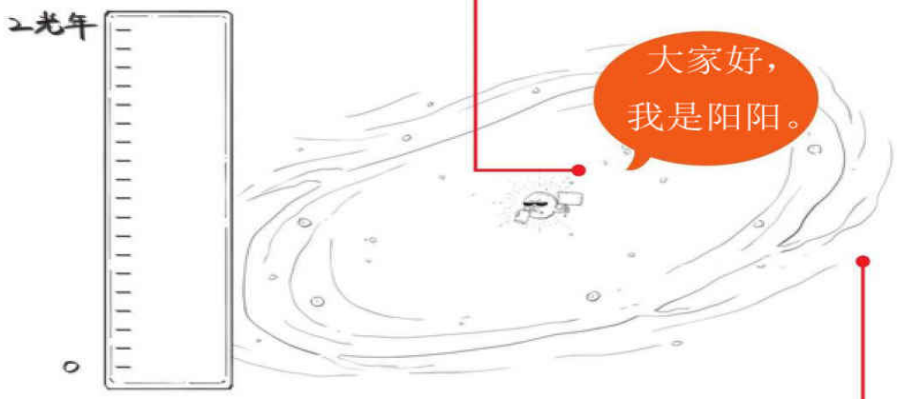
人类是地球上的智慧生物，

对于人类而言，**地球**很大。



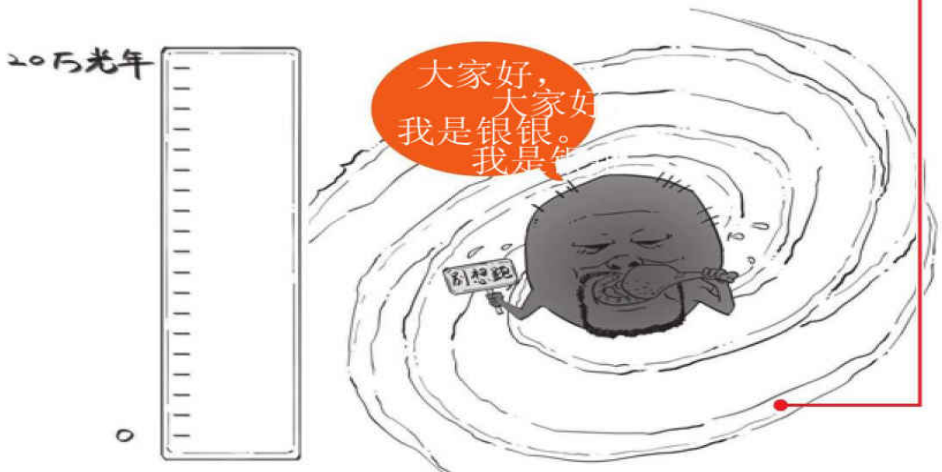


地球是**太阳系**八大行星之一，**太阳**是太阳系的主宰，是距离我们最近的恒星，在太阳系中，地球几乎是可以忽略不计的存在。

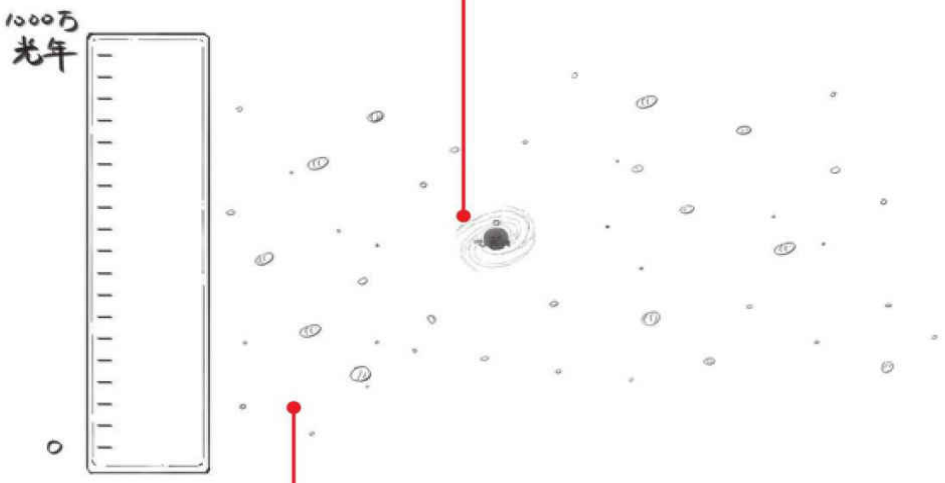


光年：光在真空中一年走过的直线距离，是长度单位，约为9 460 730 472 580 800米。

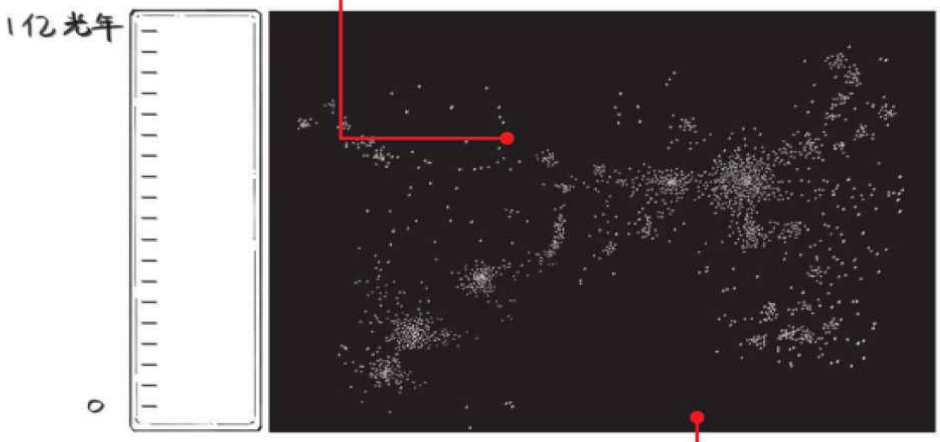
太阳系位于**银河系**中，银河系中的恒星超过1000亿颗，太阳住在银河系的郊区，小到几乎可以忽略不计。



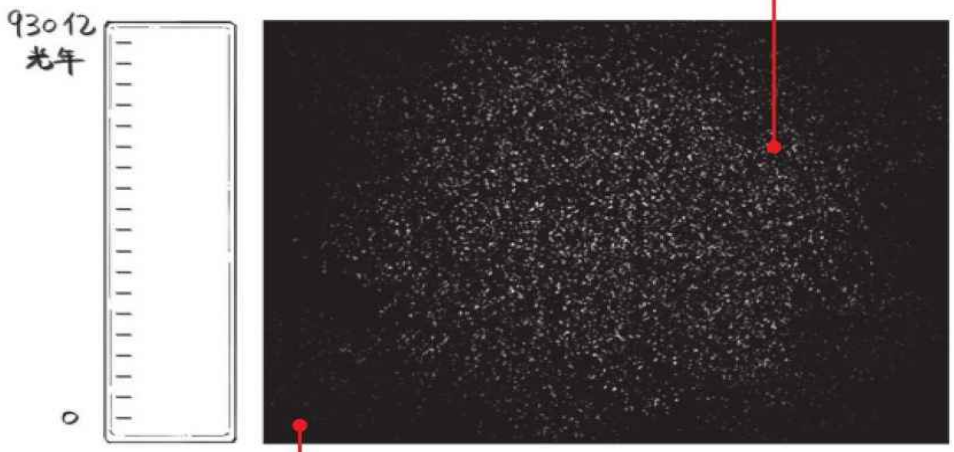
银河系位于**本星系群**当中，本星系群中有几十个类似于银河系的星系，银河系是本星系群中第二大的星系。



本星系群位于**室女座超星系团**中，室女座超星系团中有一百多个类似于本星系群的星系群和星系团。

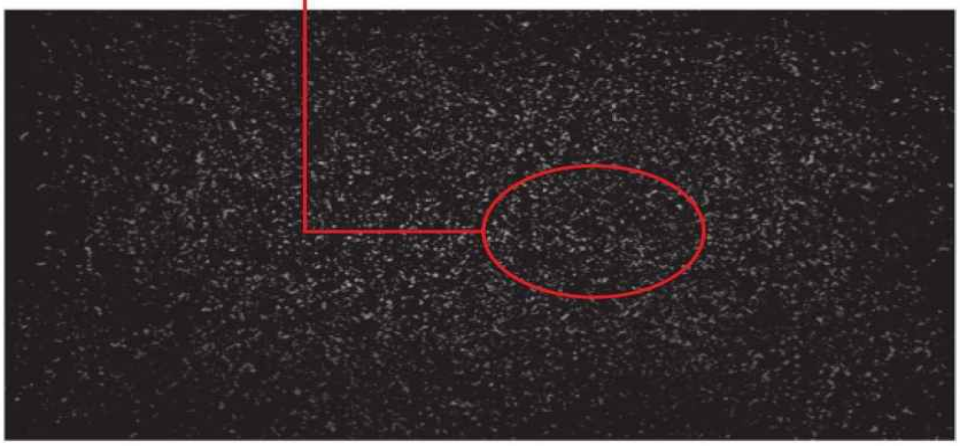


室女座超星系团位于**可观测宇宙**中，可观测宇宙中有数百万个超星系团。



可观测宇宙的直径接近930亿光年，时速120千米的小汽车至少需要8.3×10^{17}年，也就是83亿亿年才能走完。

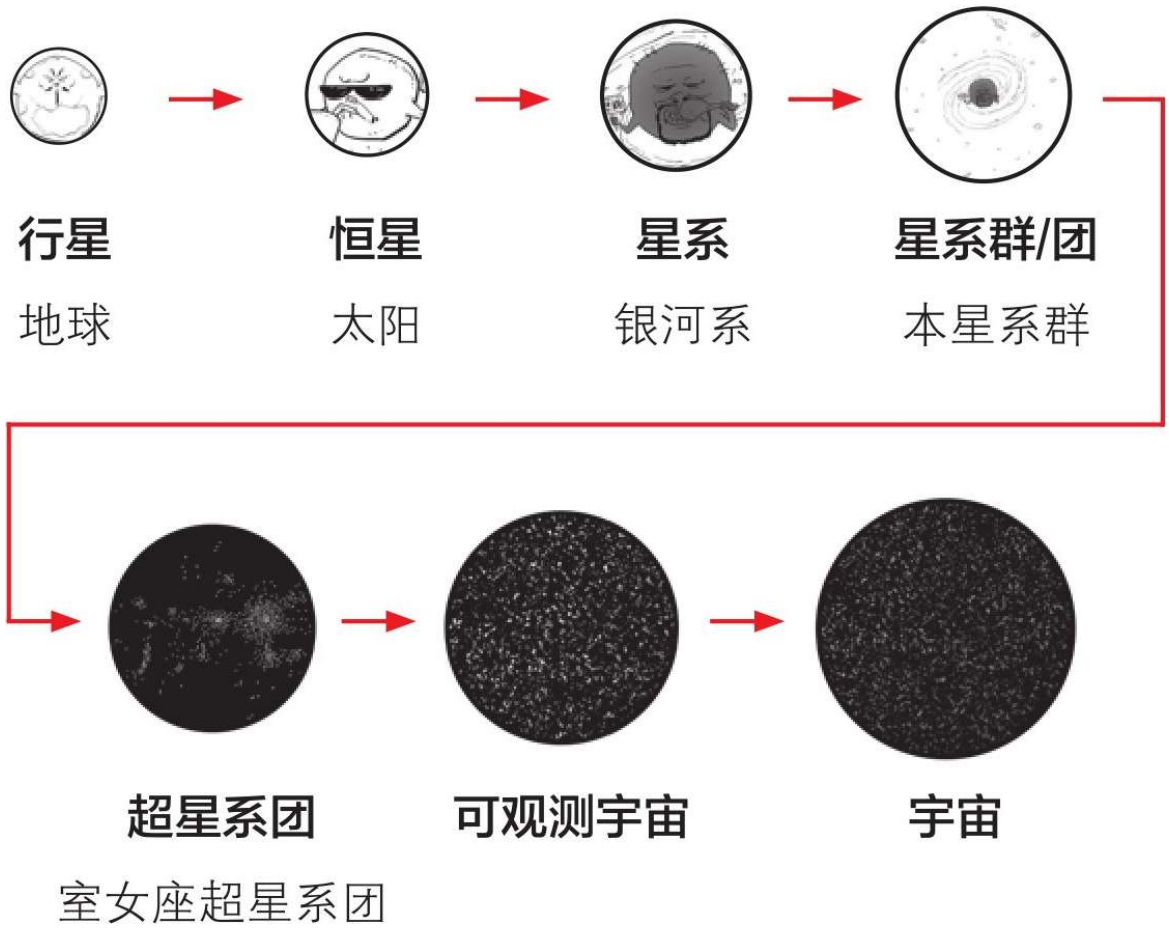
可观测宇宙是指人类理论上能够观测到的**宇宙**最大范围，实际上它只是宇宙的一小部分。



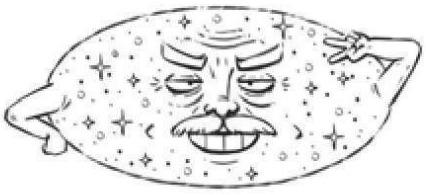
目前一些科学家认为：**宇宙很可能是无限大的。**



我们来总结一下，宇宙中从小到大的天体结构：



现在我们知道，宇宙不只包含时间和空间，还包含了**各种物质**，比如行星、恒星等。

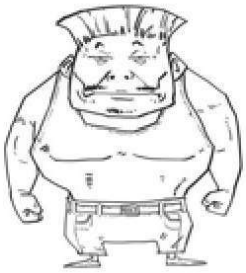


宇宙

时间　　空间　　物质









那么问题又来了，**宇宙中的这些物质是咋来的呢?**

3. 宇宙里的主角——基本粒子

要想弄明白这个问题，我们就得换个角度，往小了看。



天文学家怎么也弄不清楚的物质组成问题，被粒子物理学家一顿捣鼓，得出了惊天结论：

物质都是**粒子抱团**抱出来的！



下面我们就来看看，究竟是哪些粒子抱团，竟能抱出整个宇宙。

真的都是很小很小的粒子！



早在古希腊时期，**泰勒斯**就开始研究万物的本原，并指出**万物的本原是水。**

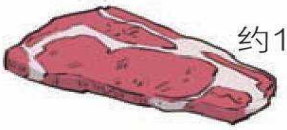


探究万物是怎么组成的，泰勒斯是全宇宙头一份，他明明白白地给大家指好了道，堪称——

宇宙最强指路人！



沿着指好的道，科学家们又勤勤恳恳工作2000多年，终于弄明白了物质的本原。

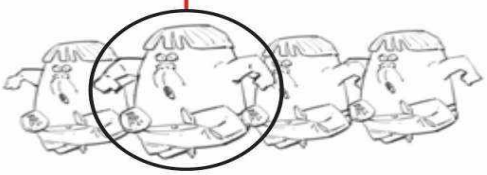


约10^{-1}米

物质都是由原子构成的。

原子

约10^{-10}米



把原子放大，
里面有原子核和电子。

电子

$<10^{-22}$米



原子核

约10^{-14}米



再仔细看看，
原子核里面有质子和中子。

质子

约10^{-15}米

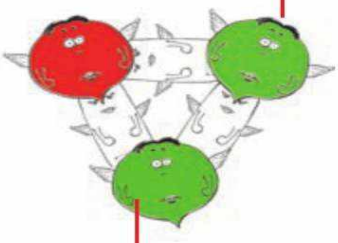


中子

约10^{-15}米

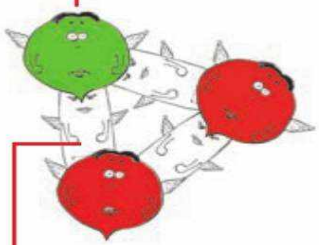


质子和中子都由3个夸克组成，靠胶子“连”在一起。



夸克

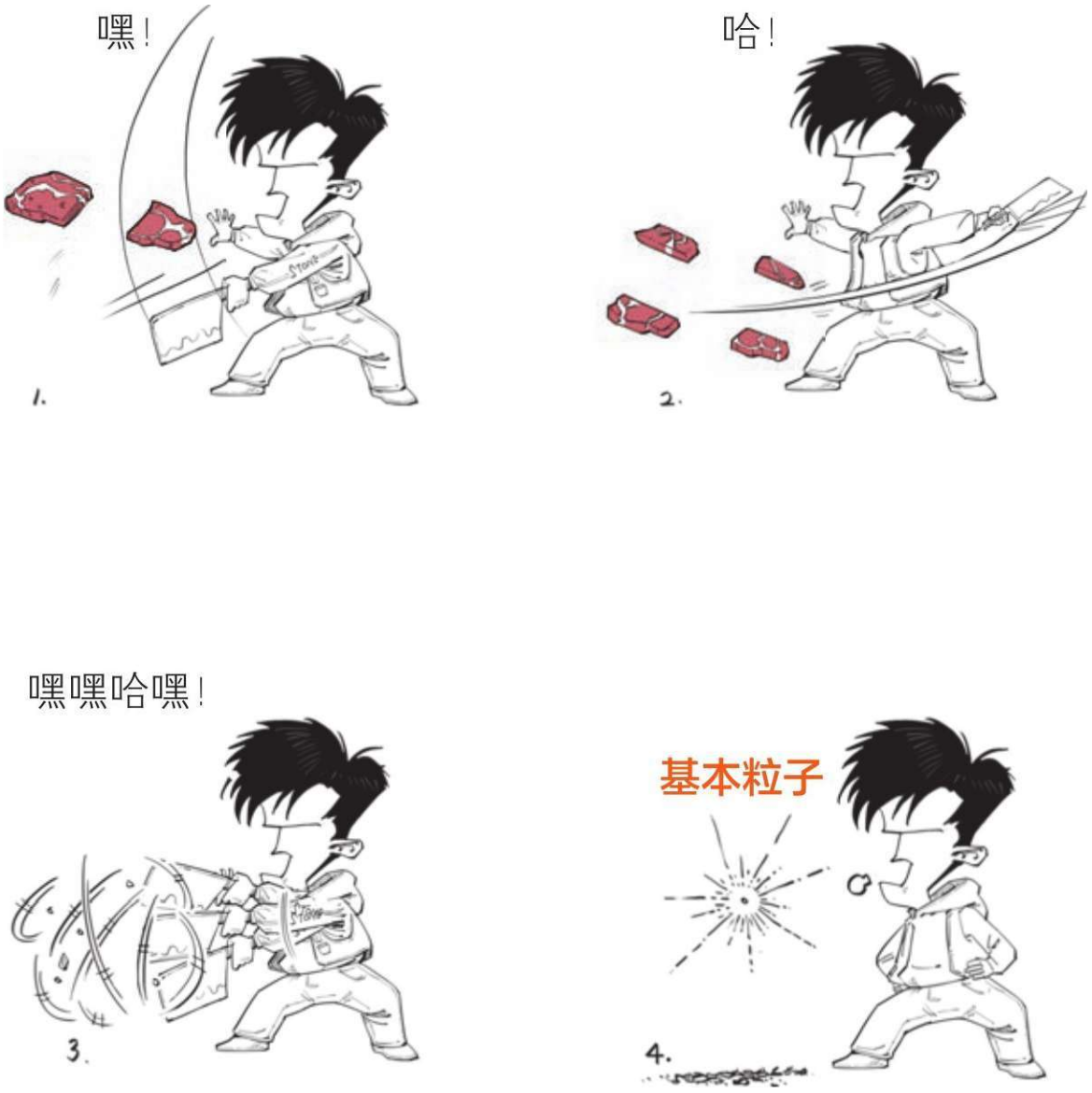
$<10^{-19}$米



胶子

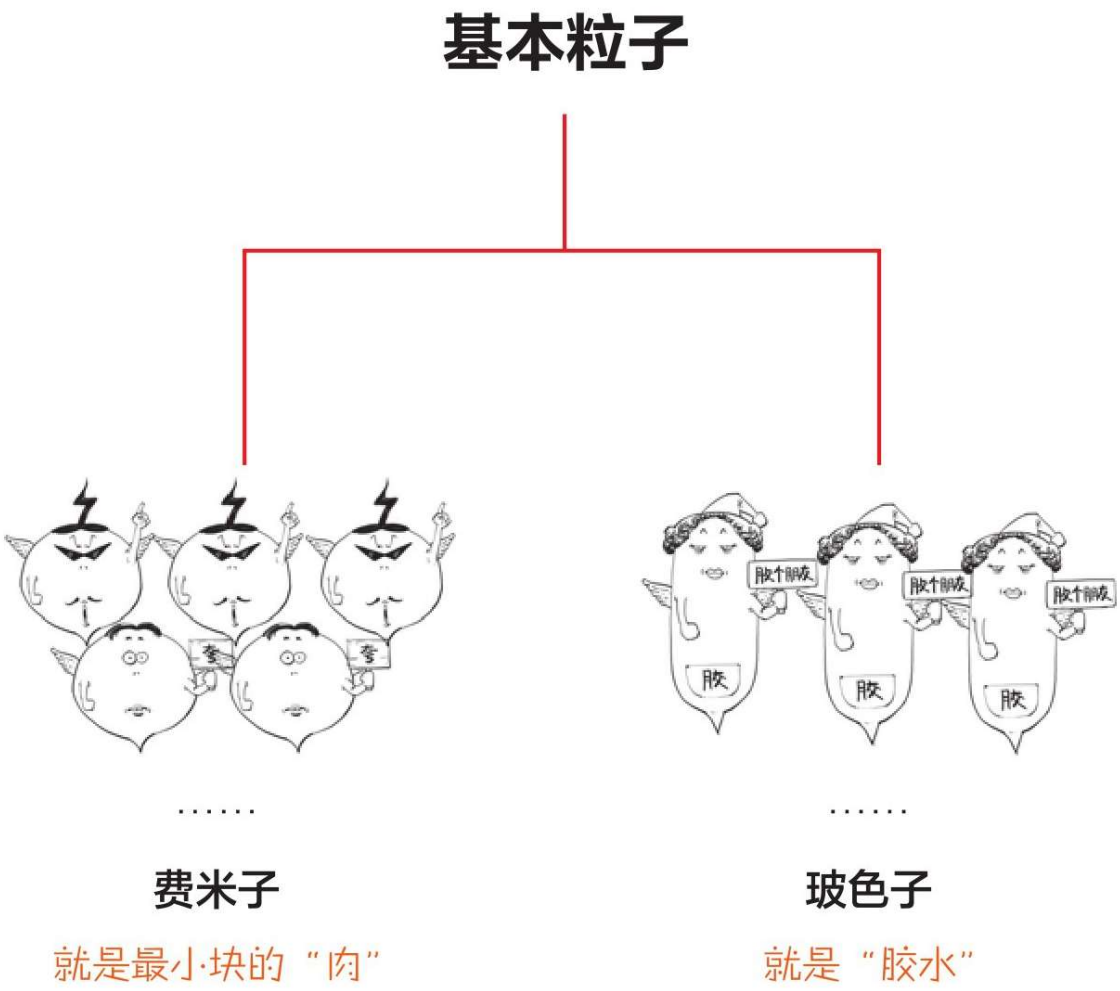
被打开的原子，里面原来还有这么多的“小字辈”，科学家们认为，像**夸克**、**电子**、**胶子**等不能再分的、宇宙第一号的小字辈，就是构成物质的最小粒子，叫作**基本粒子**。

这些粒子就是宇宙中抱团的主角。



那这些基本粒子究竟是怎么抱团的呢？

为了方便理解，可以把它们分成两大类：

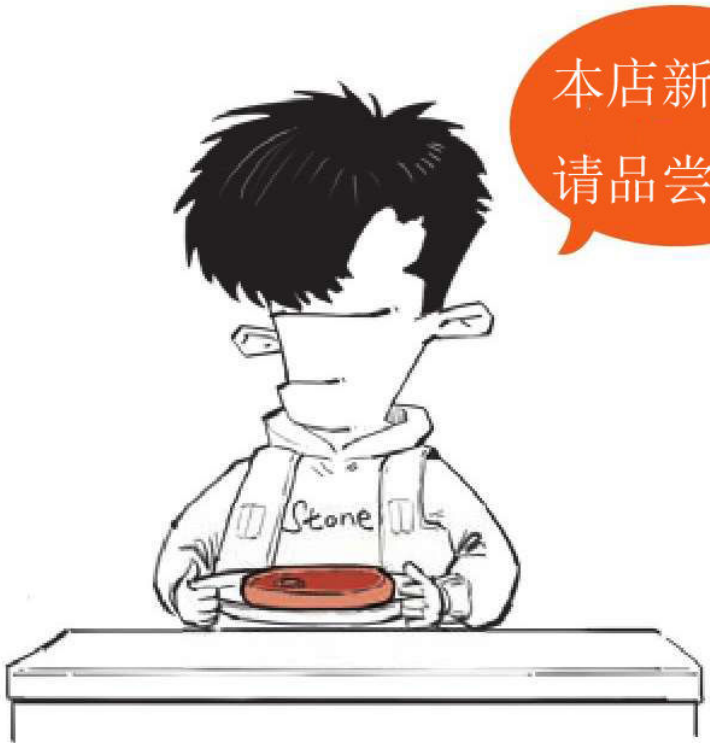


在“胶水”的作用下，小块的“肉”被粘起来，变成大的物质。

“肉”



“胶水”





温馨提示：

玻色子的作用是传递相互作用，让费米子之间产生联系。自然界中存在4种基本相互作用，也叫4种基本力，它们是**引力、电磁力、弱核力、强核力。**

科学家们已经找到参与3种相互作用的基本粒子，但还没有找到传递引力的基本粒子“引力子”。





费米·子

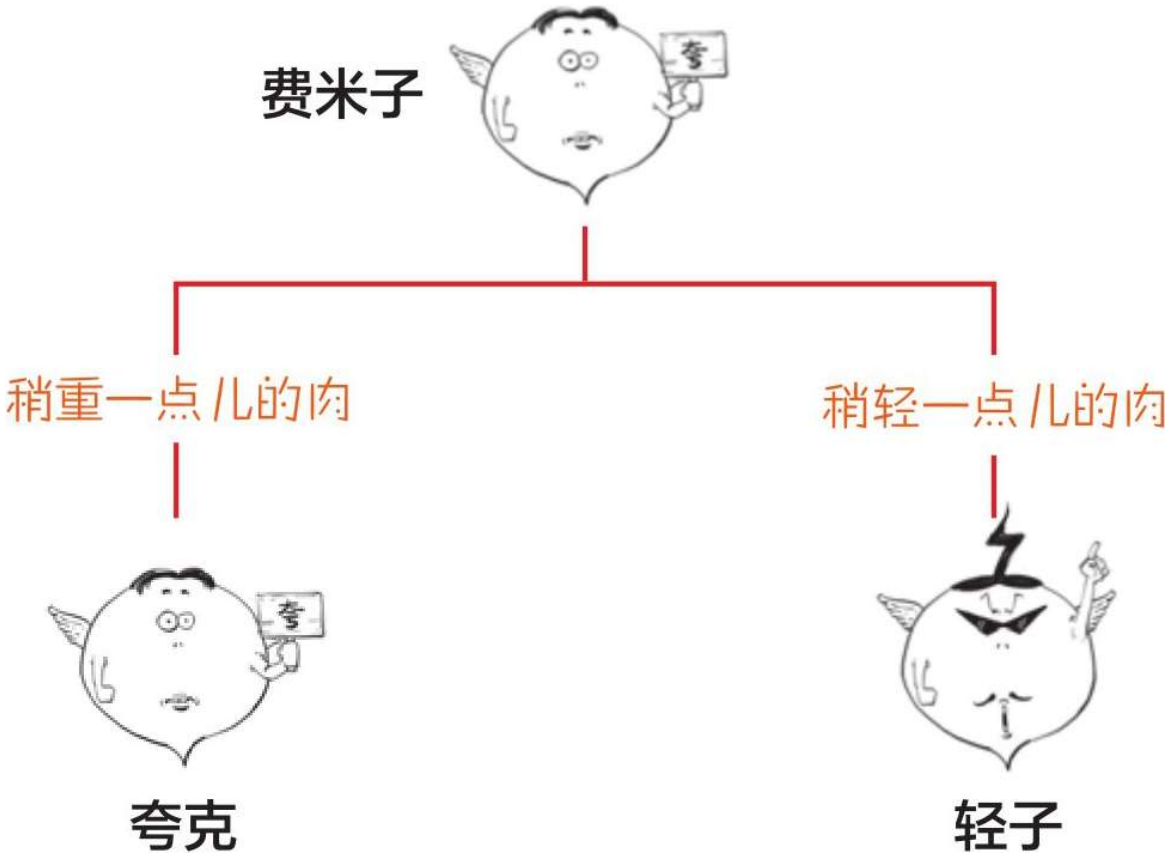
为了纪念费米的科学贡献，一类基本粒子叫作**费米子**。



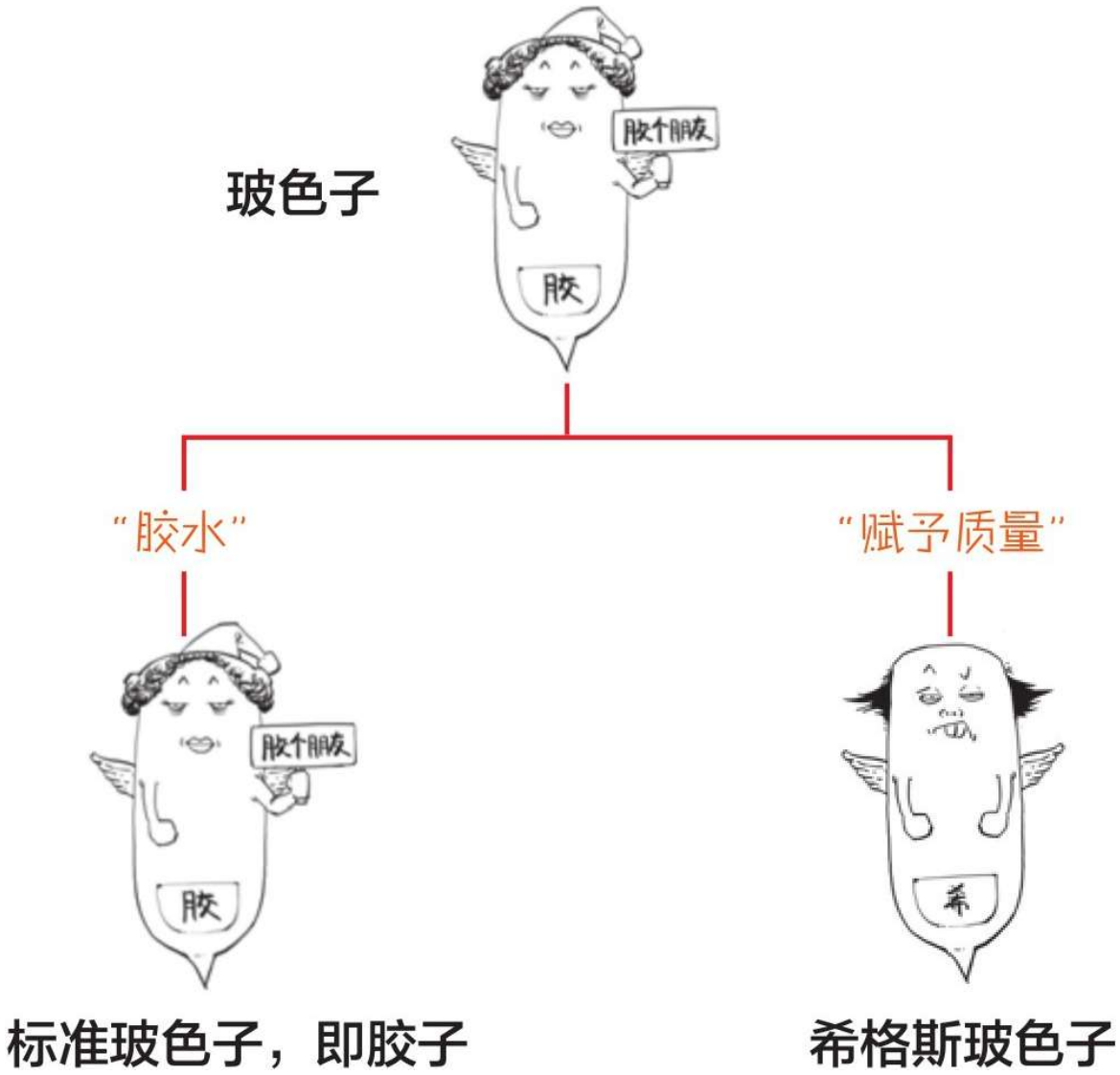
玻色·子

为了纪念玻色的科学贡献，一类基本粒子叫作**玻色子**。

在费米子的大家族中，又分出了两类：

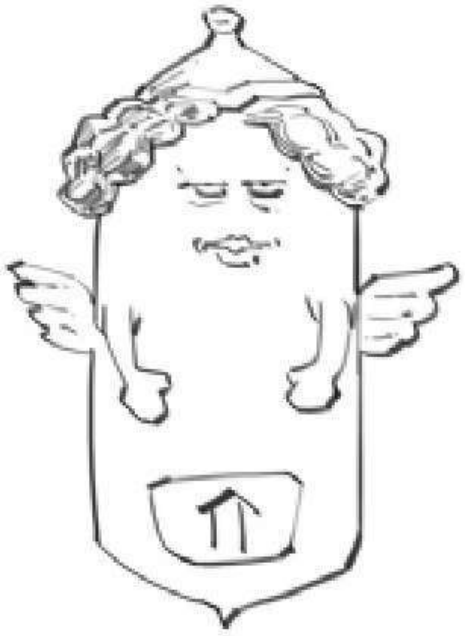


在玻色子的大家族中，也分出了两类：



也就是说，把物质切到最后，就剩下一堆夸克和轻子，以及起到粘贴和稳定作用的玻色子。

自然界中还存在着非标准玻色子，比如：



介子

介子是由2个夸克构成的，它并不属于基本粒子，因为它可以再分。

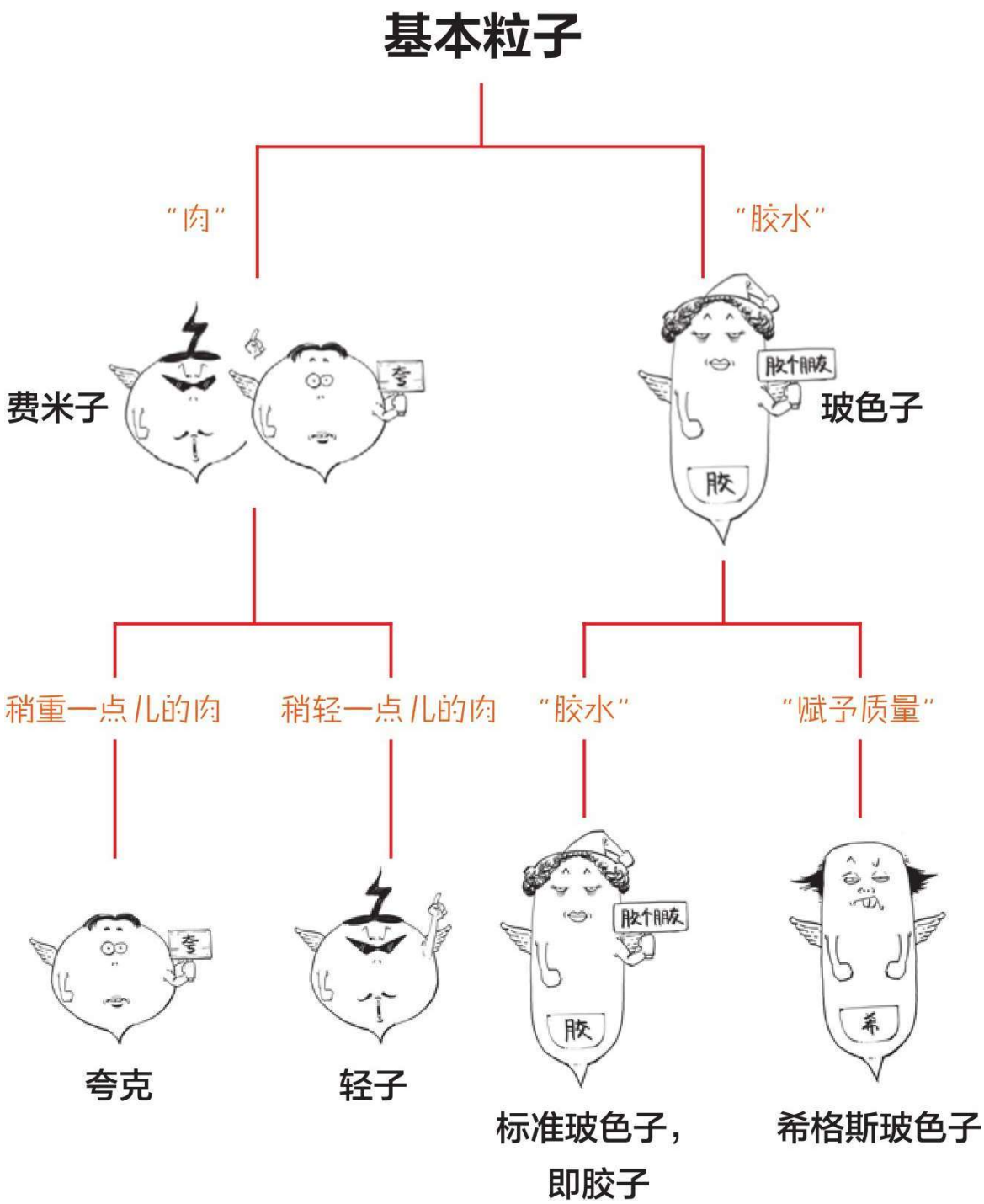
这种认为所有物质都由基本粒子组成的理论，也叫作“粒子物理标准模型”，是现在的主流理论。



温馨提示：

关于宇宙的最基本结构，现在科学家们又有了新的想法，认为宇宙的最基本结构是**弦**，这种理论也叫**弦理论**。但是现在还无法验证，我们也就暂不多说。

敲黑板复习一下，宇宙中除了时间和空间，还有一堆主角：基本粒子。它们抱团构成不同的物质，宇宙中的基本粒子大概可以这样分：



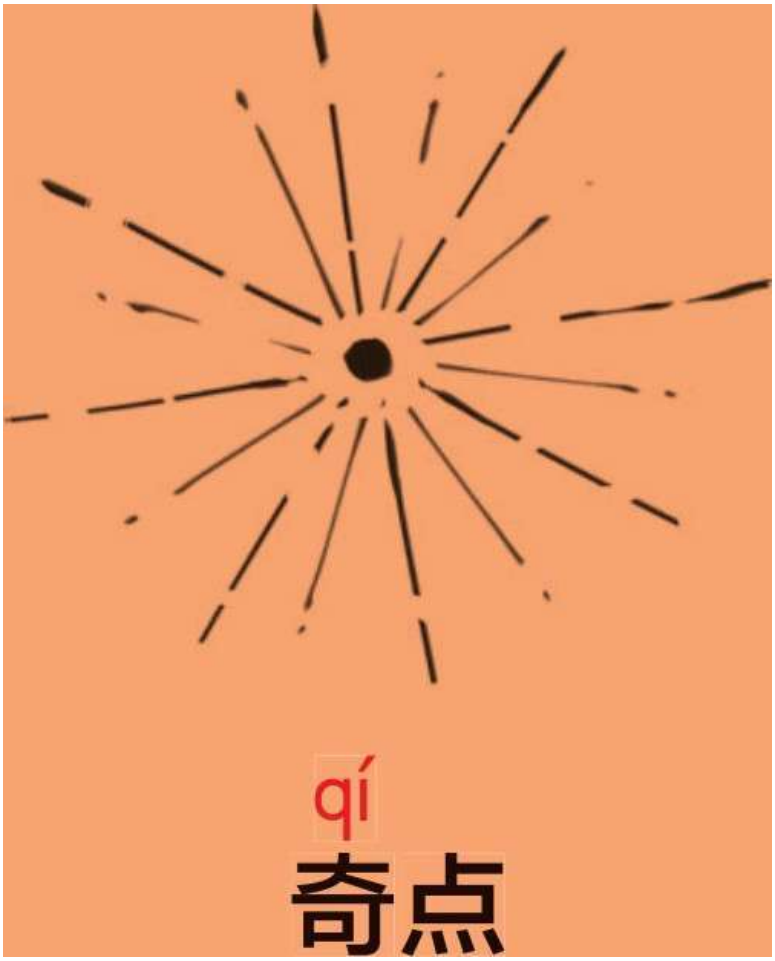
好了，抱团的主角就先介绍到这里，至于各种粒子抱在一起会发生什么？



请看下一章：

宇宙究竟是怎么来的？

二、宇宙究竟是怎么来的？



宇宙究竟是怎么来的？

面对这个终极问题，不同的人有不一样的脑洞。如今科学家们终于搞清楚了这个问题，并提出了著名的——

大爆炸宇宙论。



作为一个非常复杂的理论，大爆炸宇宙论有自己的骄傲，姿态摆得相当高，如果你想靠自己去搞懂它，那绝对是：

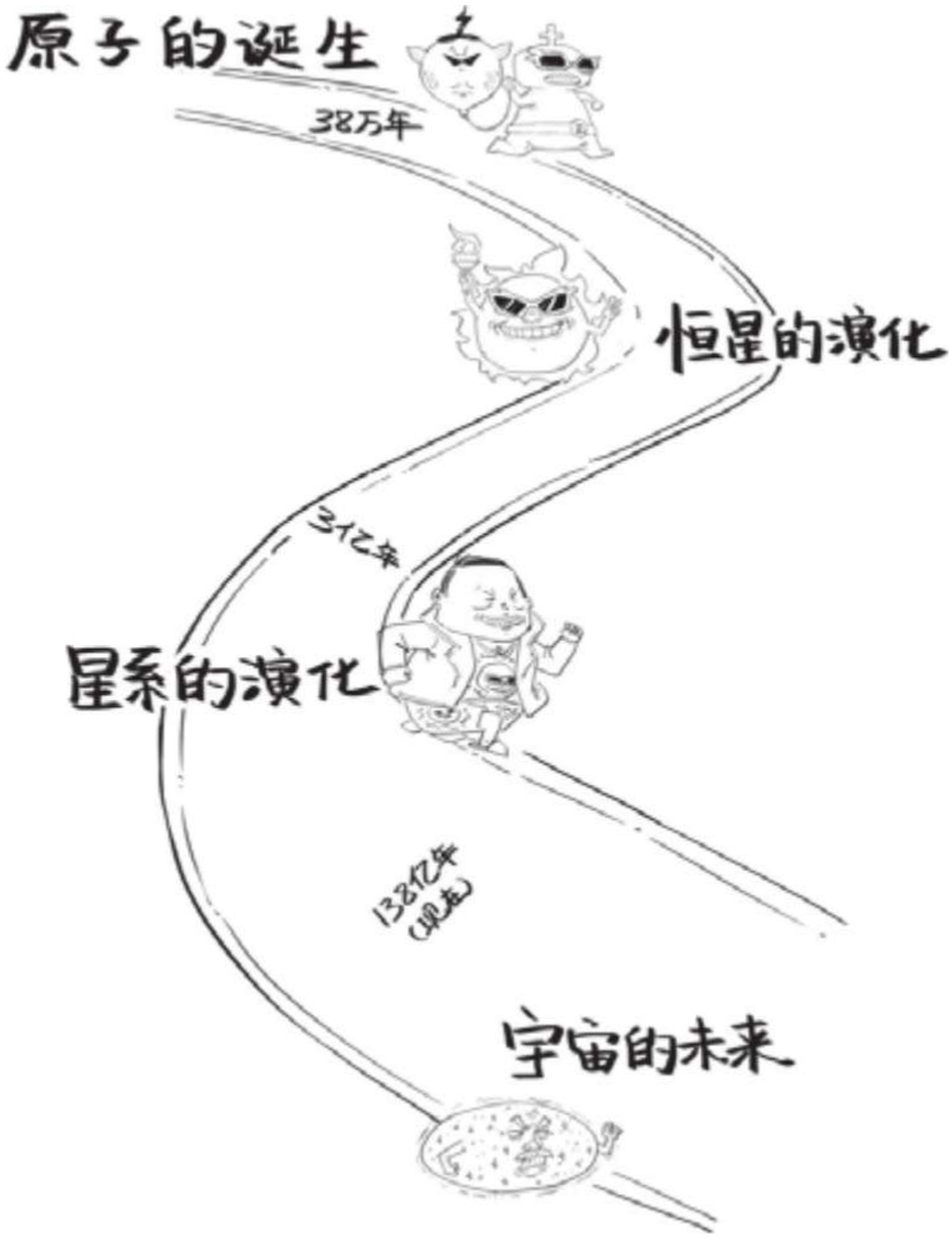
一波多折、荡气回肠



不过有了混子哥，这都不是事儿！哥就直接告诉你，这个理论其实只说了一件事：



宇宙从诞生至今已经有138亿年的历史了，它的一生大致可以分为4个阶段：

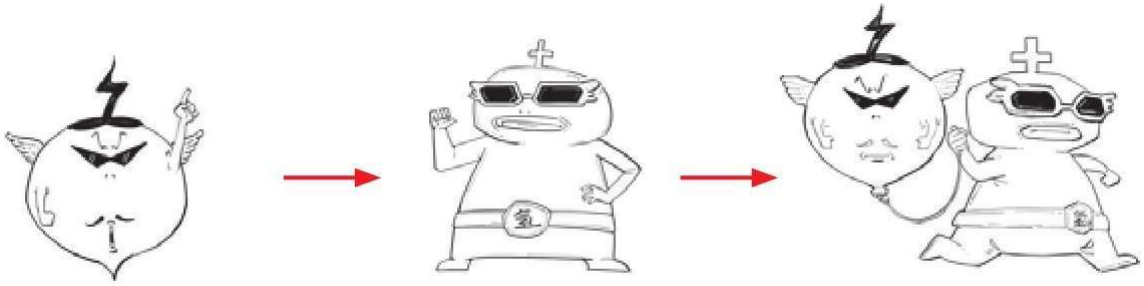

原子的诞生
38万年
恒星的演化
3亿年
星系的演化
138亿年
(现在)
宇宙的未来



接下来，我们就按照这4个阶段来说一说宇宙的故事。首先，我们要聊的是：

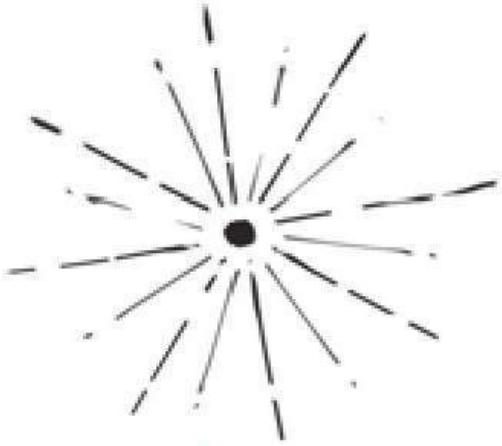
原子究竟是怎么诞生的？

宇宙从什么都没有到原子的出现，中间发生了太多的故事，如果把这些故事用一条线串起来，大概就是：



1. 基本粒子怎么就出现了？

话说在138亿年前，有那么一个平淡却不甘平凡的“点”，我们把它亲切地叫作：



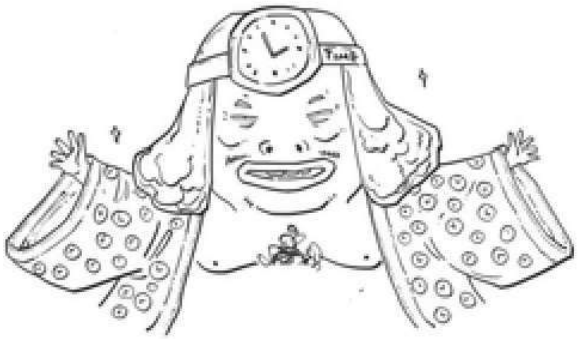
qí

奇点。

这个人类目前还搞不清楚的点，也不知道是什么原因，突然就爆炸了！



奇点这一炸，就产生了宇宙和宇宙里的一切，包括：





时间 和 **空间**

宇宙刚炸出来的时候，跟现在完全不一样。

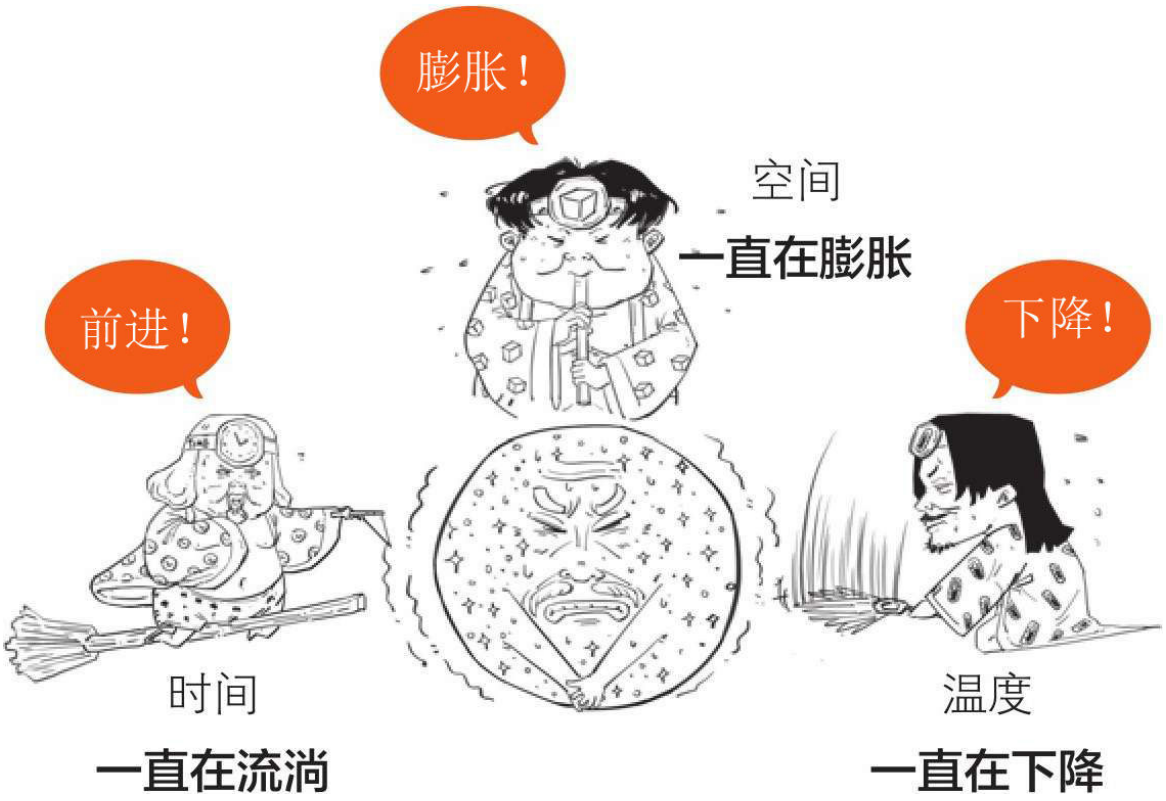


密度贼大

温度贼高

体积贼小

在海陆空，哦，错了……在时间、空间、温度的全方位无死角的刺激下，宇宙内部的组织结构一步步迭代升级，一直演化成如今的模样。



宇宙刚诞生的时候，像一锅热粥，锅里是满满的~~正~~能量。

随着温度降低，锅里面的能量开始变化，慢慢变成了夸克、胶子、希格斯玻色子等**基本粒子**。





根据爱因斯坦的质能等价理论，质量和能量是可以相互转化的，所以具有质量的物质粒子可以从超高能量中“变”出来。

所以，**基本粒子是从超高能量中“冒”出来的。**

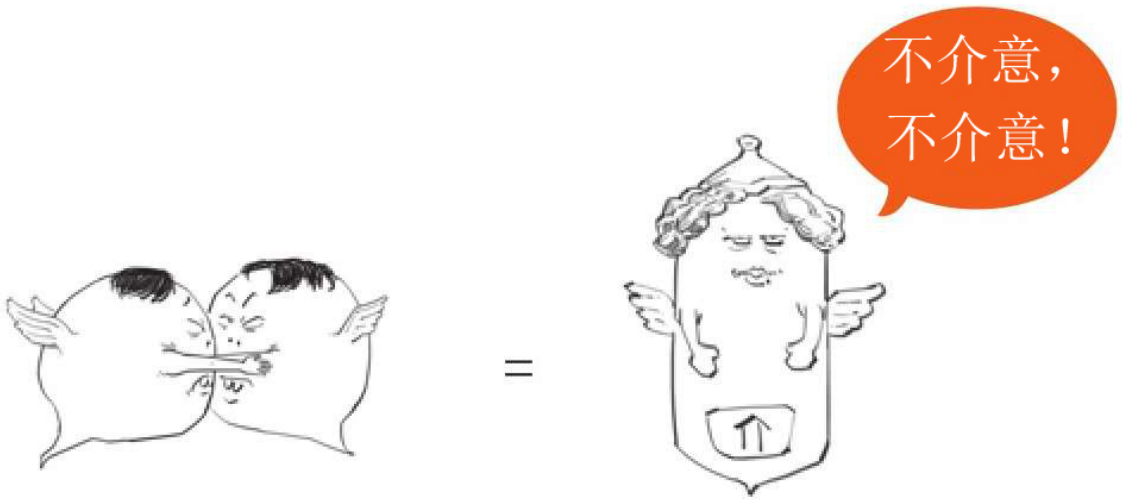
2. 从基本粒子到原子核

随着空间的膨胀和温度的下降，基本粒子们慢慢达成了一个共识：



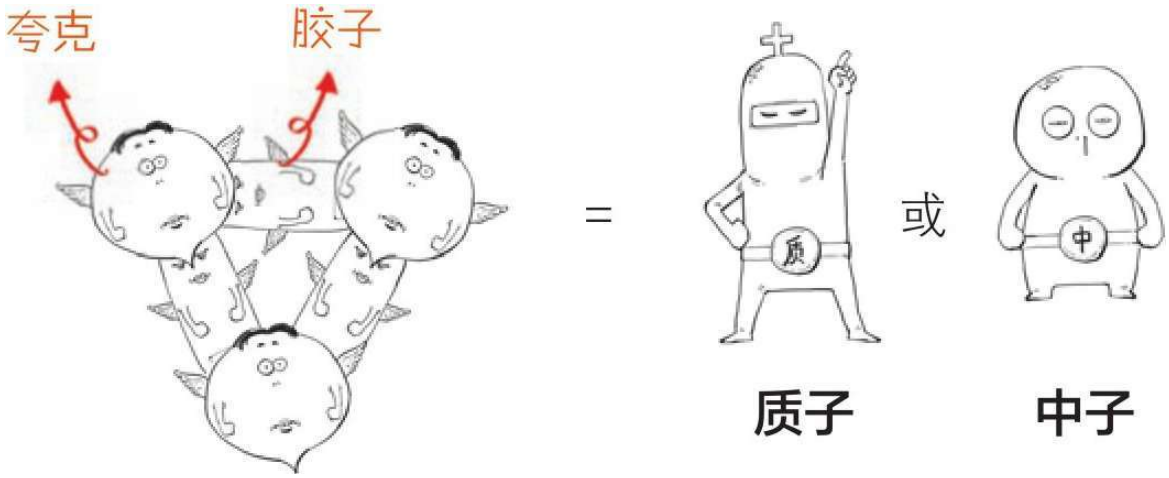
那究竟咋抱呢？最先扛不住冻的基本粒子是**夸克**，它们内部商量了一下，觉得可以两个凑双，也可以三个抱团。

比如：2个夸克在胶子的帮助下，形成1个介子。



夸克　　介子

再比如：3个夸克在胶子的帮助下，形成1个质子或者中子。



质子　　中子

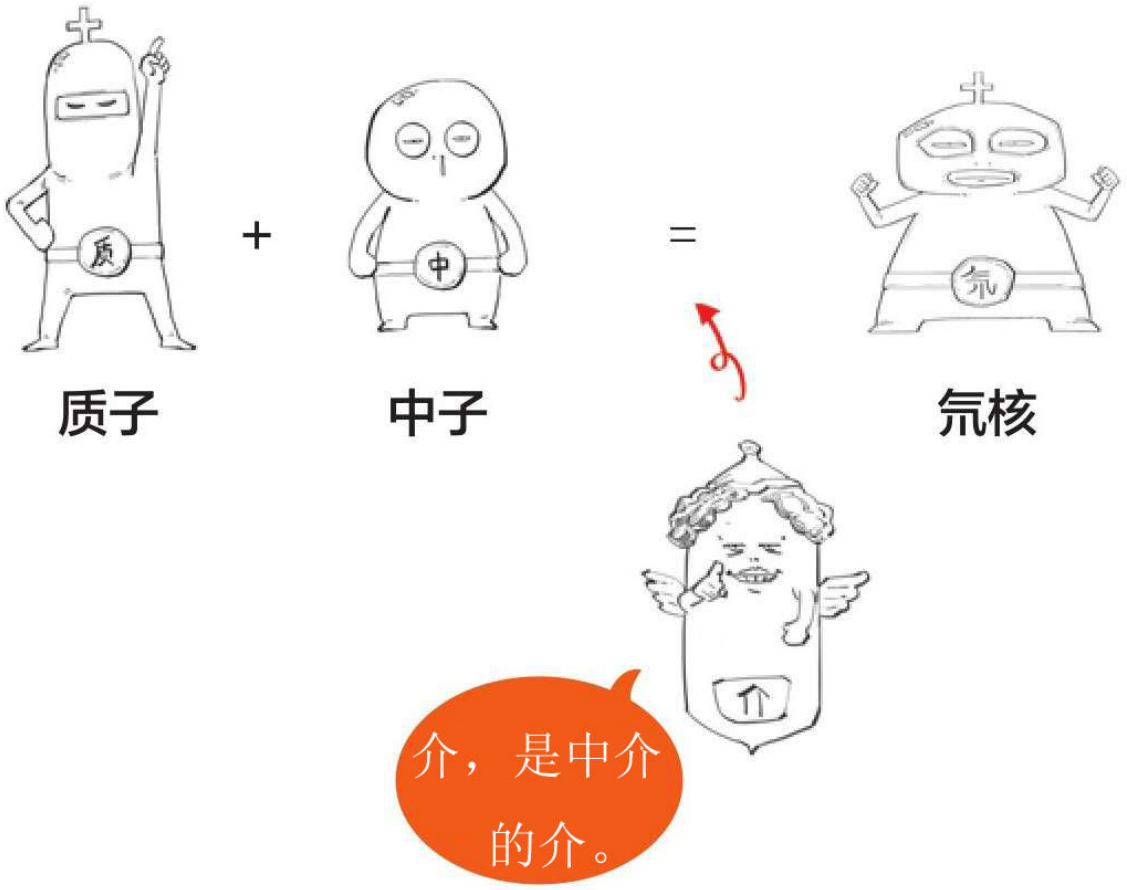
夸克有不同的种类，所以同样是3个夸克抱团，形成的可以是质子，也可以是中子。



这里多说一句，只有1个质子的原子核叫作氢核。

随着宇宙继续膨胀，温度继续下降，质子和中子也觉得头顶凉飕飕的，于是它们也开始抱团。

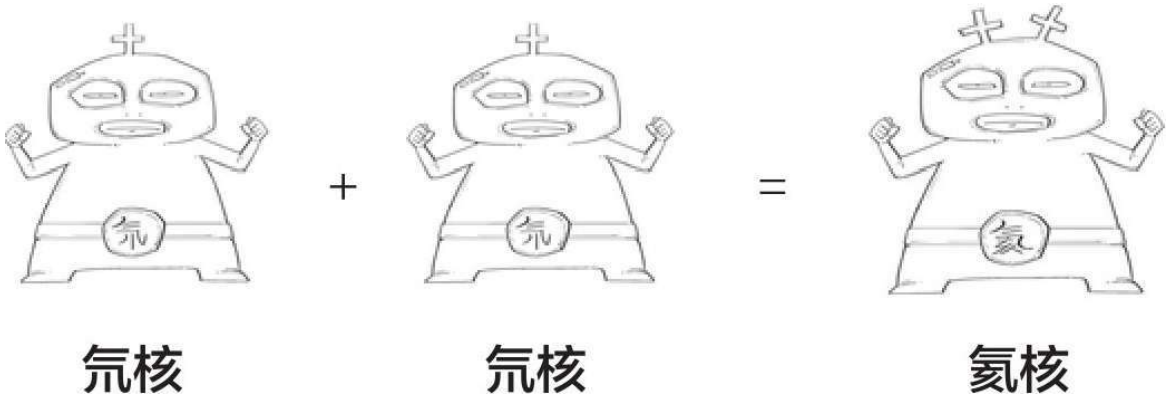
1个质子和1个中子，会在介子的帮助下，抱团形成氘核。





氘核指的是由1个质子和1个中子组成的原子核。

现在的宇宙温度下，氘核自带活跃属性，一点儿也不稳定，刚一出现就启动了天赋技能，迅速**抱团**形成稳定的氦核。





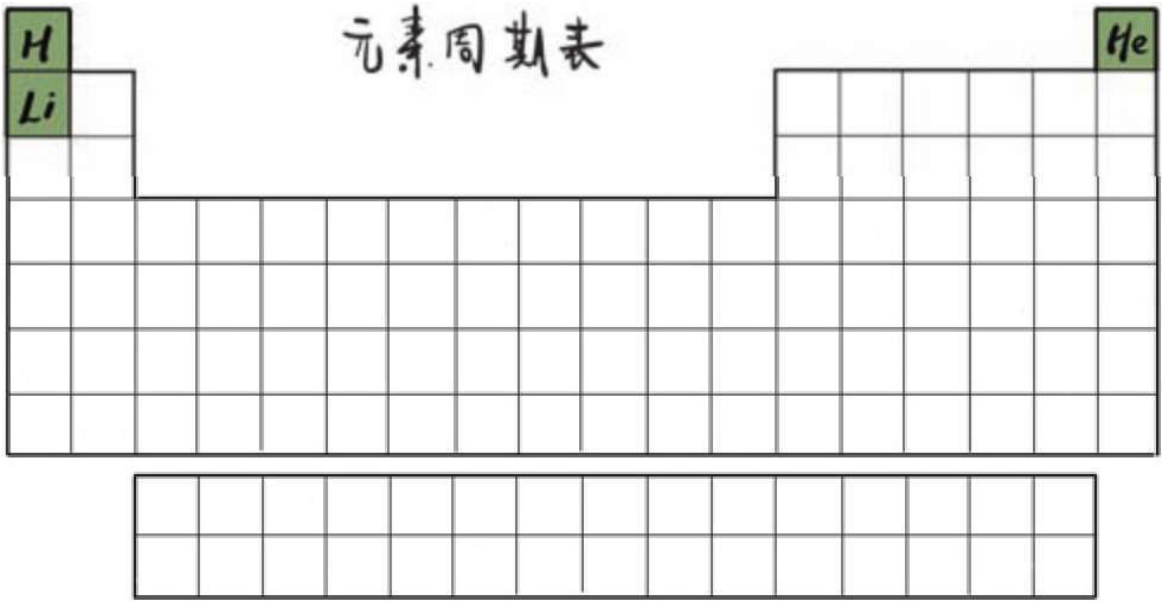
氦核指的是内部有两个质子和两个中子的原子核。

此时，宇宙中就出现了**氢**和**氦**，它们也是元素周期表中头两号的元素。

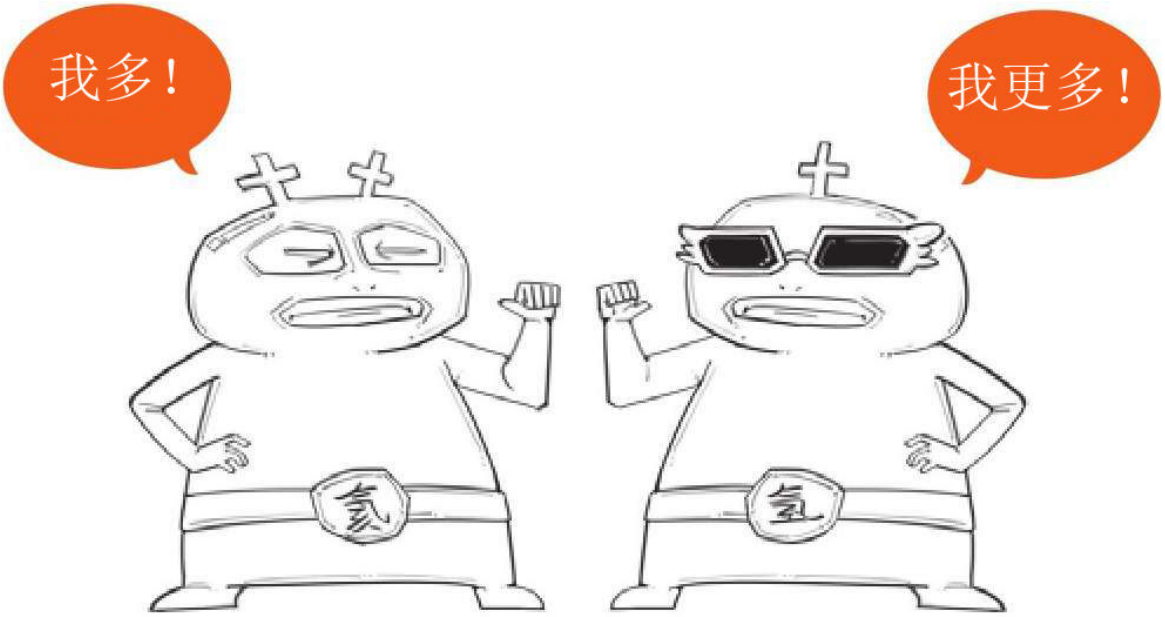


温馨提示：

氢、氦形成的过程中，也会出现少量的锂，锂是元素周期表中的第三号元素。



从大爆炸中产生原子核的过程，到这里就基本结束了，但还有个问题：**氢核和氦核谁多谁少呢？**



氦核　　氢核

要弄清楚这个问题，我们要回过头去看。之前，夸克两个或三个抱团的时候，因为机会均等，形成的质子和中子其实一样多。但后来中子就比质子少了。而这个相爱相杀的过程，其实是一个中子队**自我团灭**的故事。

话说很早很早以前，宇宙中存在两个超级战队，这两个战队旗鼓相当，实力也不悬殊。



中子队

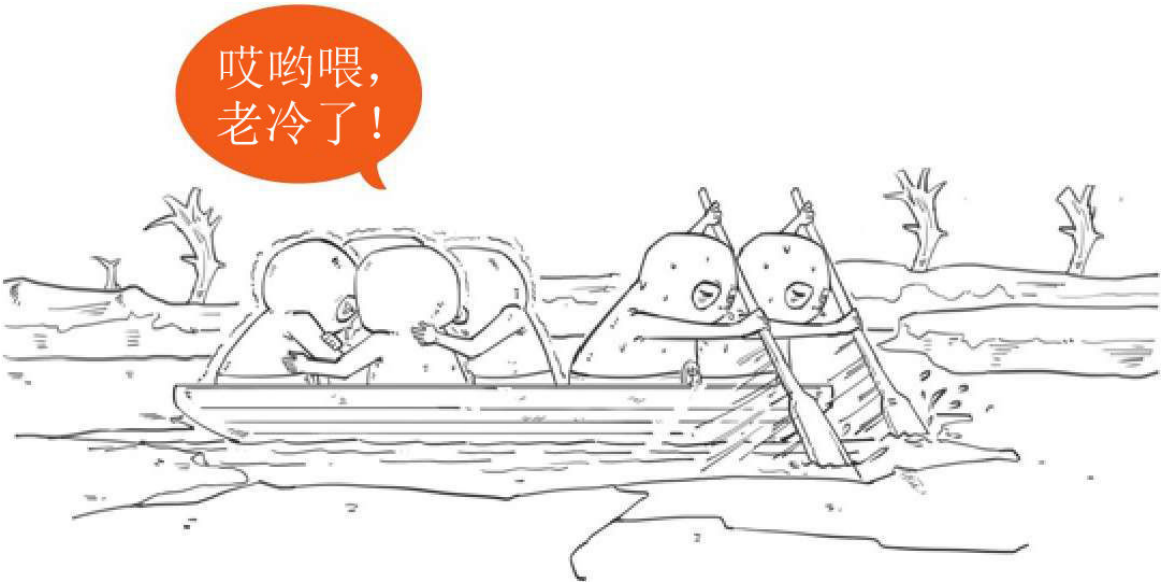


质子队

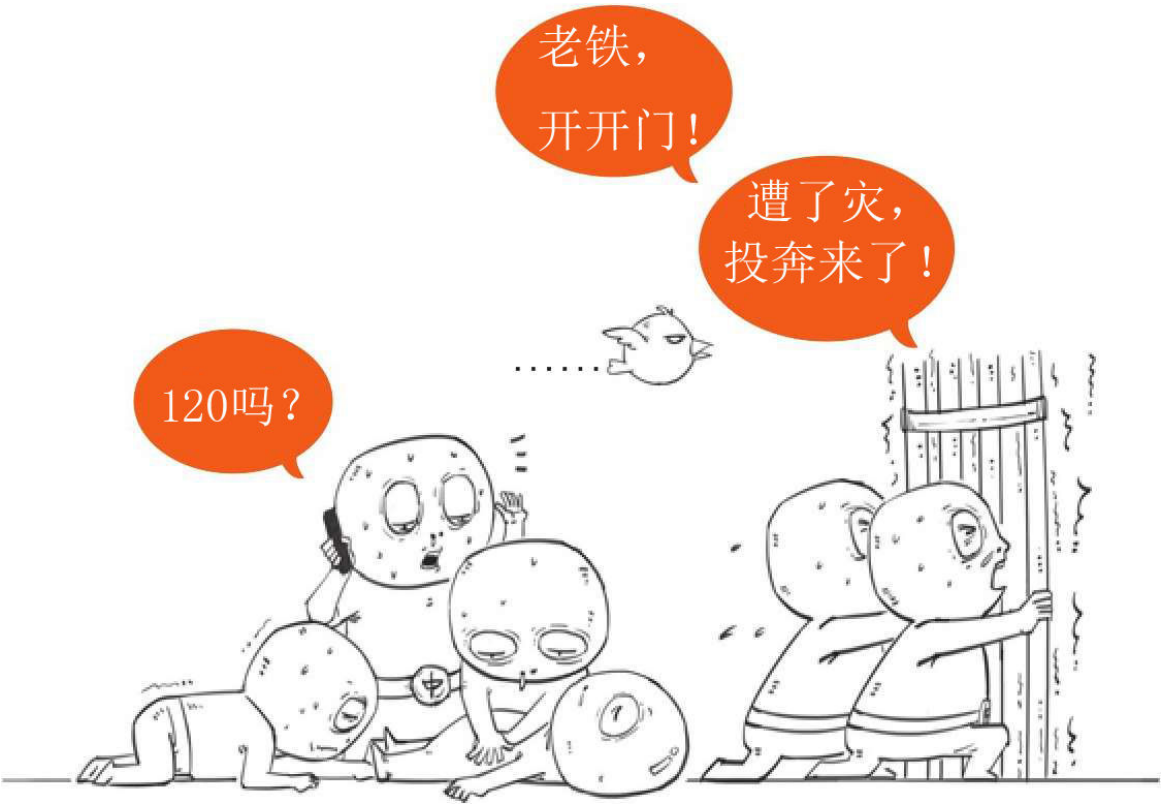


由于质子和中子的数量刚开始一样多，为了方便理解，我们把质子和中子的数量姑且看成各有8个。

有一天，中子队决定远征质子队的老巢，一共派出了6个中子，剩余2个中子留守，可是走着走着，派去的队伍发现……



眼看打不成了，几个人一合计，自己改了剧本，从攻打质子队，变成了加入质子队。



质子队清点人数时发现还少了2个中子，于是，质子队派遣2个质子，去中子的老巢探个究竟。

结果，派去的2个质子和留守的2个中子一见面，4个人就看对了眼，抱团过起了自己的小日子。

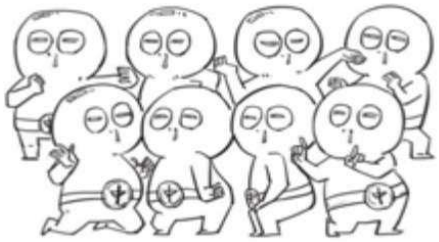


这4个人组团后，被称为**氦核**。从此江湖上再也没有了中子的消息，中子队成功**团灭了自己**。

中子的悲剧早已命中注定，因为宇宙空间一直在膨胀，温度一直在下降，对怕冷的中子不够友好。它们只有两个选择：要么叛变成质子，要么和质子抱团组对，实实在在地践行了那句话：



不用管剧情多么狗血，混子哥主要关注的，是这个故事中战斗人员的情况。



中子队：8人



质子队：8人

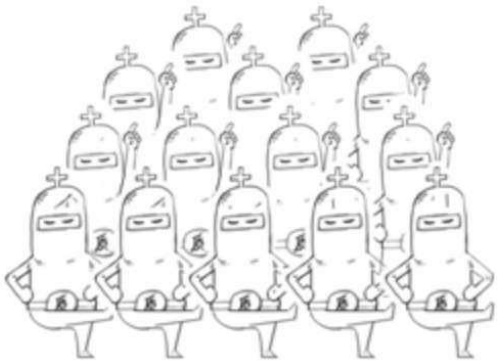
中子队远征后

−6

+6



中子队：2人



质子队：14人

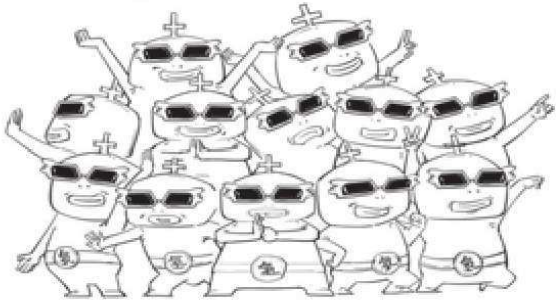
质子队派人后

+2

−2



氦核：1人



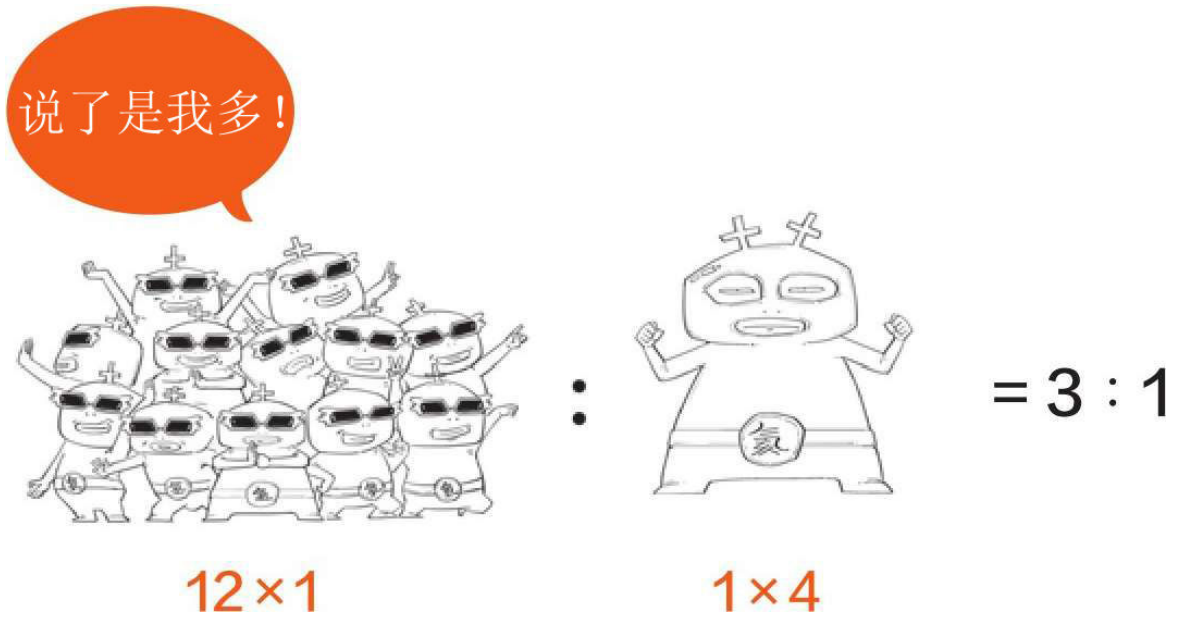
质子=氢核：12人

人数已经清楚了，还要看看单个人的体重，也就是粒子的质量。

因为中子和质子的质量接近，氦核中有2个质子和2个中子，所以一个氢核与一个氦核的质量比约为1：4。

我们再用小学的数学知识计算一下，

总质量=人头数×单个原子核的质量



因此，宇宙中**氢核和氦核的质量比就是3：1**。这个质量关系也被称为**氦丰度**，是支持大爆炸宇宙论的证据之一。

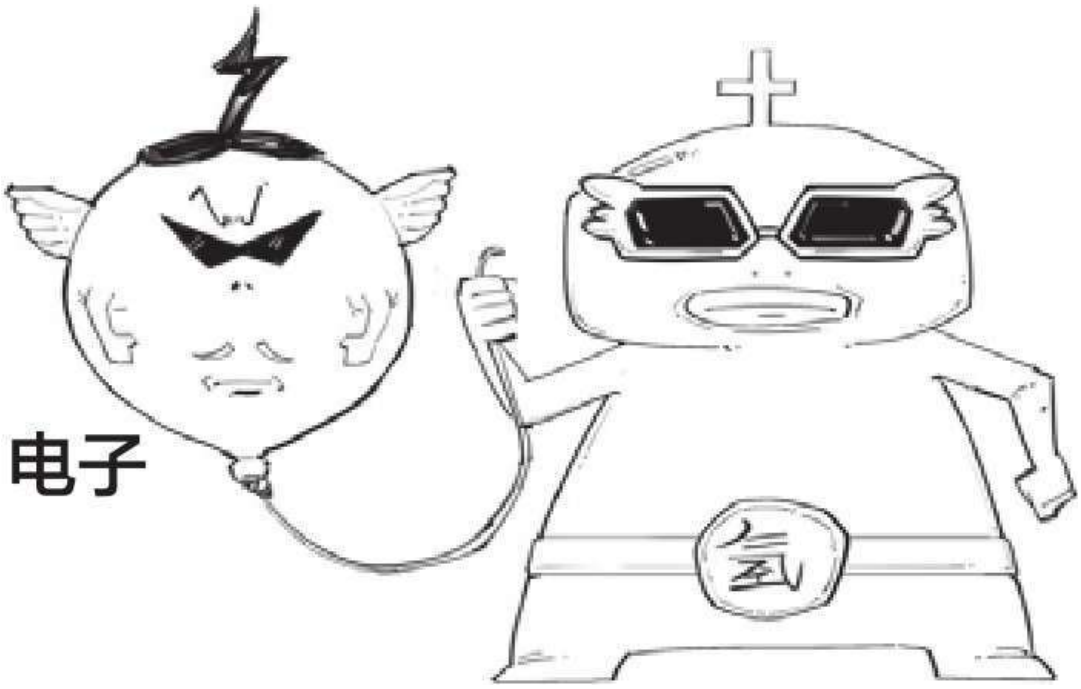


到这里，宇宙大爆炸后大概3分钟的故事，我们就讲完了。

也就是说，因为夸克和夸克的抱团，质子和中子的抱团，大爆炸后大约3分钟的时候，宇宙中就充满了氢核和氦核。

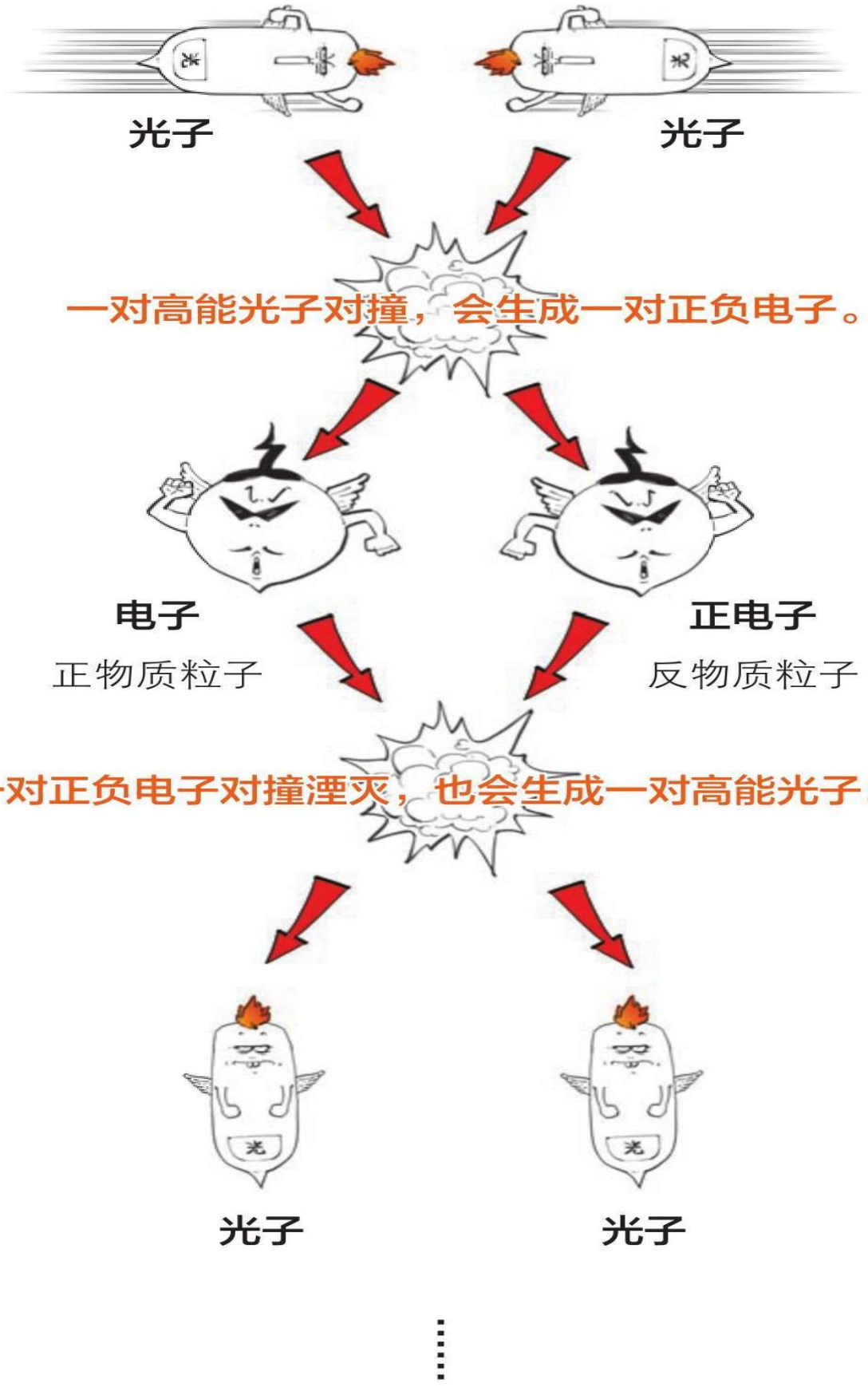
3. 原子终于诞生了

按照抱团的逻辑，物质都是要越抱越大，从夸克到质子、中子，再到原子核，接下来进一步发展壮大，变成**原子**。而发展的对象，当然就是原子核的真命天子——**电子**。



作为基本粒子的一种，电子又是什么时候、从哪儿冒出来的呢？

电子的出现我们也要回过头去看。跟夸克相比，电子更喜欢待在冷的地方，只有夸克抱团形成质子和中子后，宇宙降到了电子的心仪温度，它才会从高能光子的对撞中跑出来。


光子
光子
一对高能光子对撞，会生成一对正负电子。
电子
正电子
正物质粒子
反物质粒子
一对正负电子对撞湮灭，也会生成一对高能光子。
光子
光子

在上面这个循环往复的过程中，每10亿对正负电子会留下一个电子，也就是正物质粒子。



至于为什么只会留下一个电子，科学家们也还没有搞清楚。



温馨提示：

宇宙中不仅有正负电子，还有正反质子、正反夸克等**正反物质粒子**。

知道了电子的来头，我们接着说——

原子的诞生。

大爆炸3分钟以后，宇宙中充满了氢核和氦核，但电子还是觉得太热，特别躁动，一心要去外面撒欢儿。

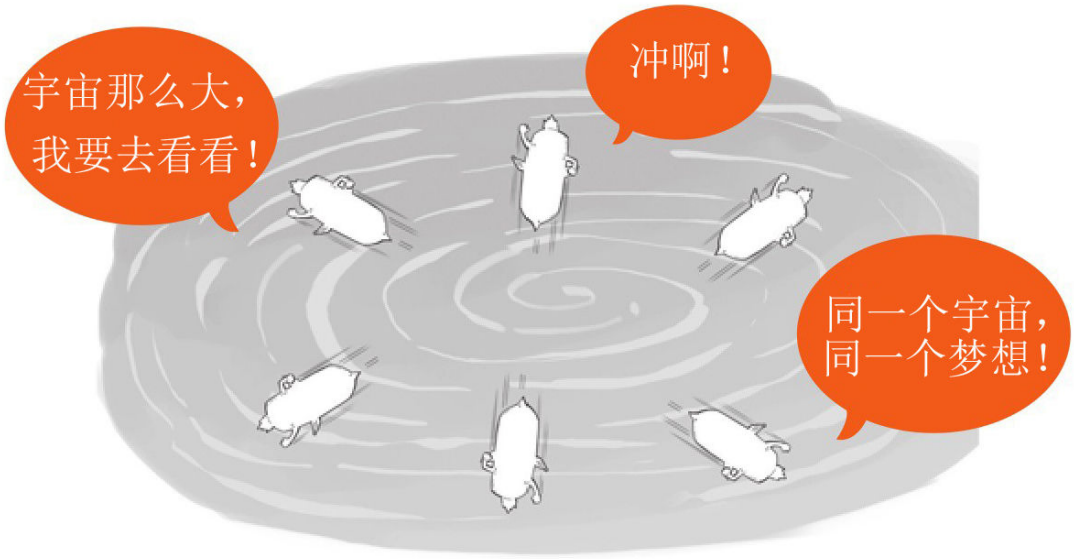
在相当长的时间里，宇宙里主要是由电子、氢核、氦核构成的粒子海洋，光子也和这些粒子挤在了一起。



直到38万年以后，温度降到了2700摄氏度，电子终于意识到外面的寒冷后，决定回到原子核的怀抱里，和原子核亲近，形成了**原子**。

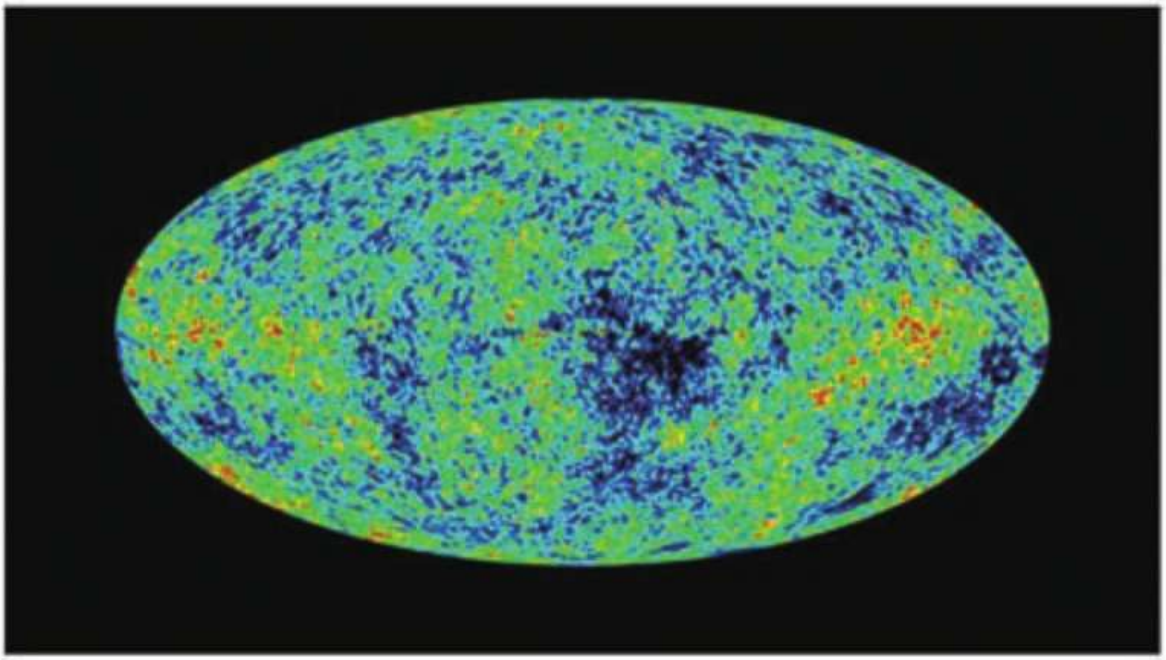


原子诞生的同时，看到机会的光子，一股脑儿地跑出去透气，在宇宙中传播开来。



作为宇宙大爆炸的产物，这批光子至今还留有余温，我们还能用探测器探测到它们，这就是——

宇宙微波背景辐射。



来源：NASA

这些光子的存在也支持了大爆炸宇宙论。

最后，我们来回顾一下，从宇宙大爆炸到原子诞生的全过程：



0秒

奇点大爆炸。

〈JC〉

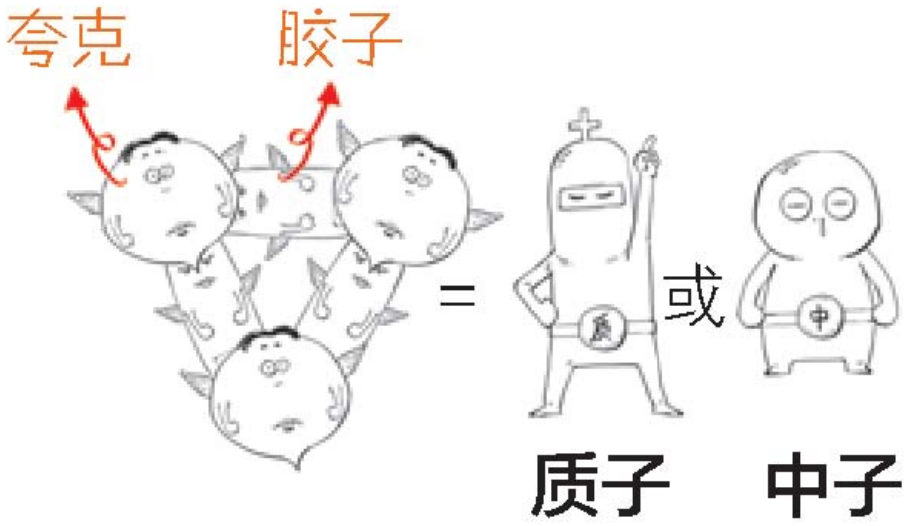


约10^{-32}秒

从宇宙能量中涌现出了

夸克、胶子，

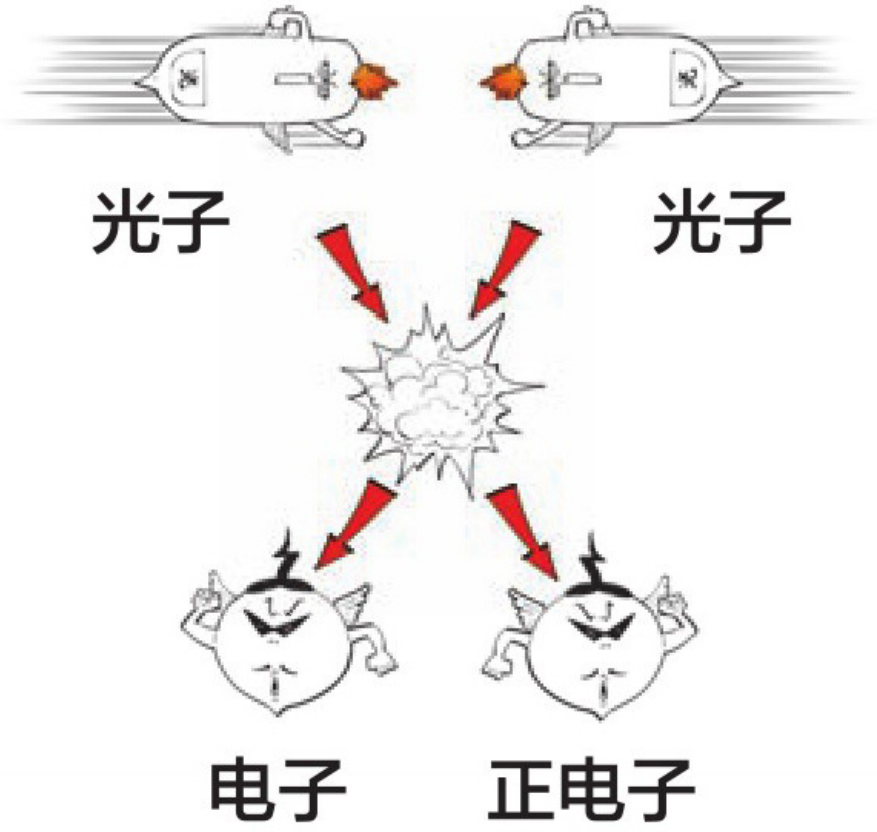
可能还有希格斯玻子。〈/JC〉



约10^{-6}秒

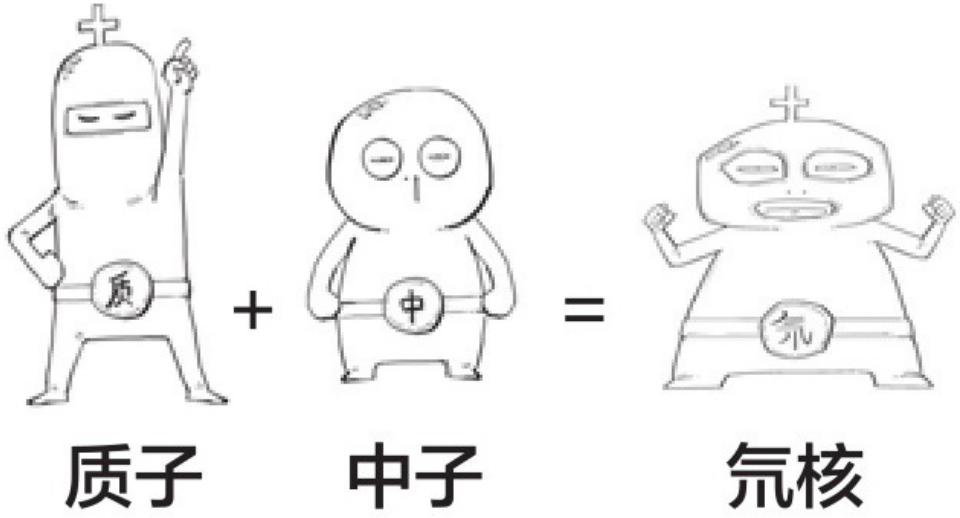
夸克在胶子的作用下抱团，

形成质子、中子、介子。



约10^{-3}秒

高能光子对撞产生电子。



约1秒～3分钟

质子和中子在介子作用下抱团，形成原子核。



约38万年

电子和原子核抱团形成原子，

第一束光开始在宇宙中传播。

关于原子的诞生，我们就聊到这里，接下来，宇宙又会发生什么呢？



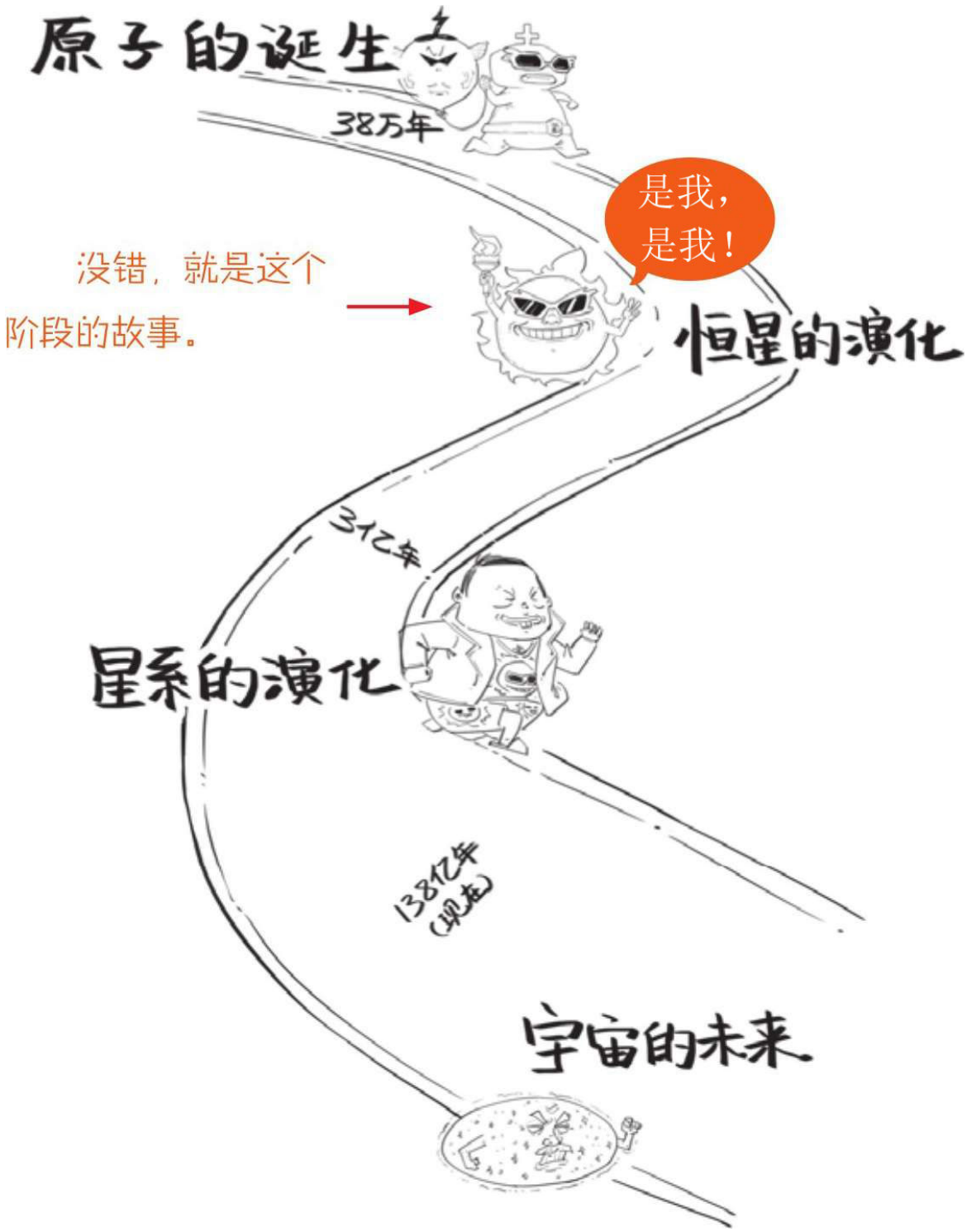
请看下一章：

恒星的诞生→生命的可能。

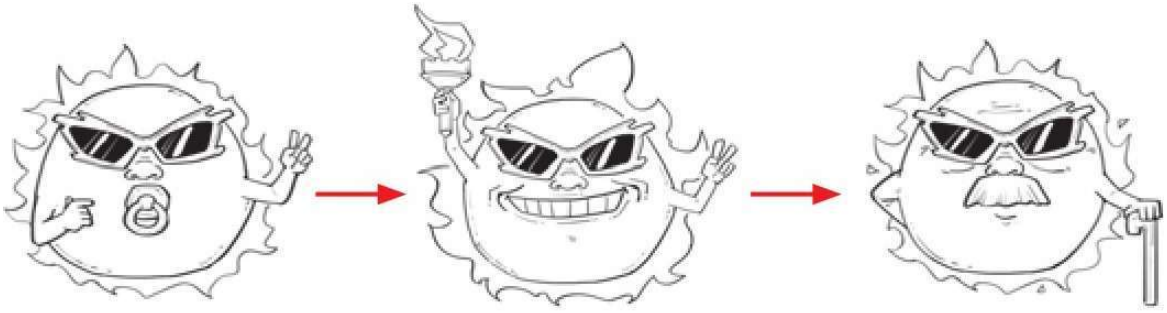
三、恒星的诞生→生命的可能



之前我们聊到，宇宙诞生之后38万年，原子诞生了。接下来，宇宙又发生了一件大事：**恒星的诞生以及演化**，这个阶段发生在宇宙出现38万年到3亿年之间。



我们有自己的人生，恒星也有它们的“星生”，也会生老病死。恒星一生大体上分为3个阶段：



恒星的诞生　　恒星的演化　　恒星的晚年

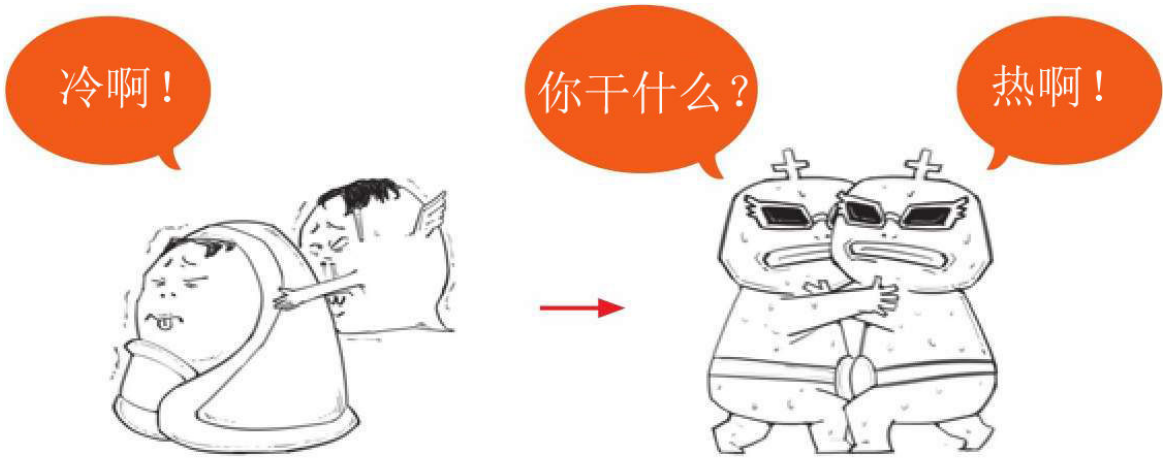
接下来，我们就来好好聊聊恒星的一生。

1. 恒星的诞生

话说原子诞生，靠的是抱团，那恒星诞生靠的是什么？依然是——

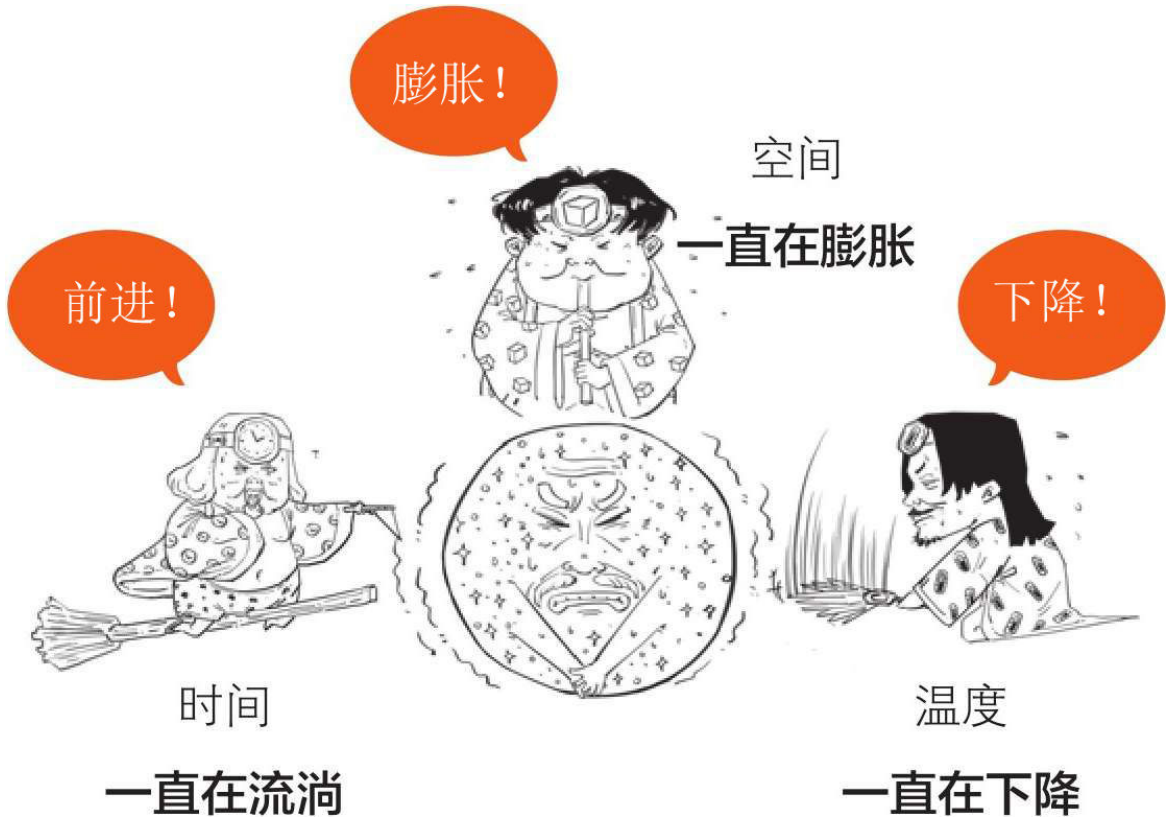
抱团！

不过，这次的抱团也抱出了点儿特色，有了两个不同点：首先，**抱团的主角**变了，从基本粒子变成了**原子核**。其次，基本粒子是因为冷而抱团，原子核却是因为太热，误打误撞地抱了团。



基本粒子　　原子核

上一章我们说到，随着时间流逝，宇宙空间在膨胀，温度在下降。这是整个宇宙的大背景，一直持续至今。



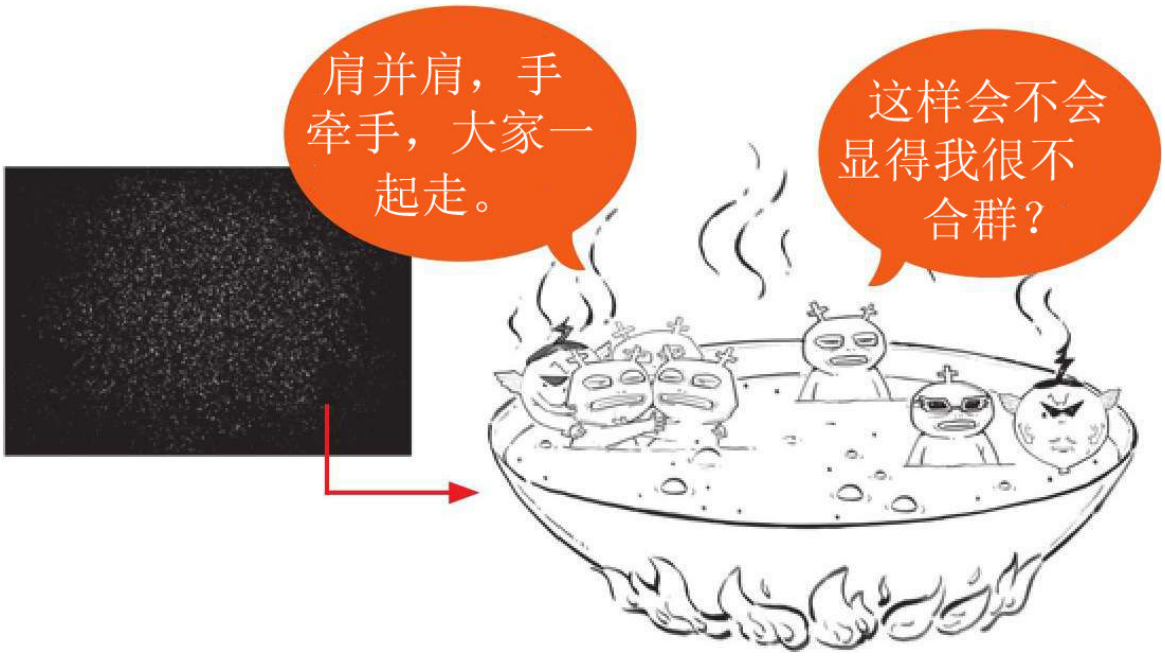
虽然宇宙**整体**温度一直在下降，但**局部**地区却热了起来。

这究竟是怎么回事呢？

宇宙诞生38万年后，氢、氦原子是宇宙的主角，以气体星云的形式，几乎均匀地分布在宇宙空间中，大家的相处也是一片和谐。



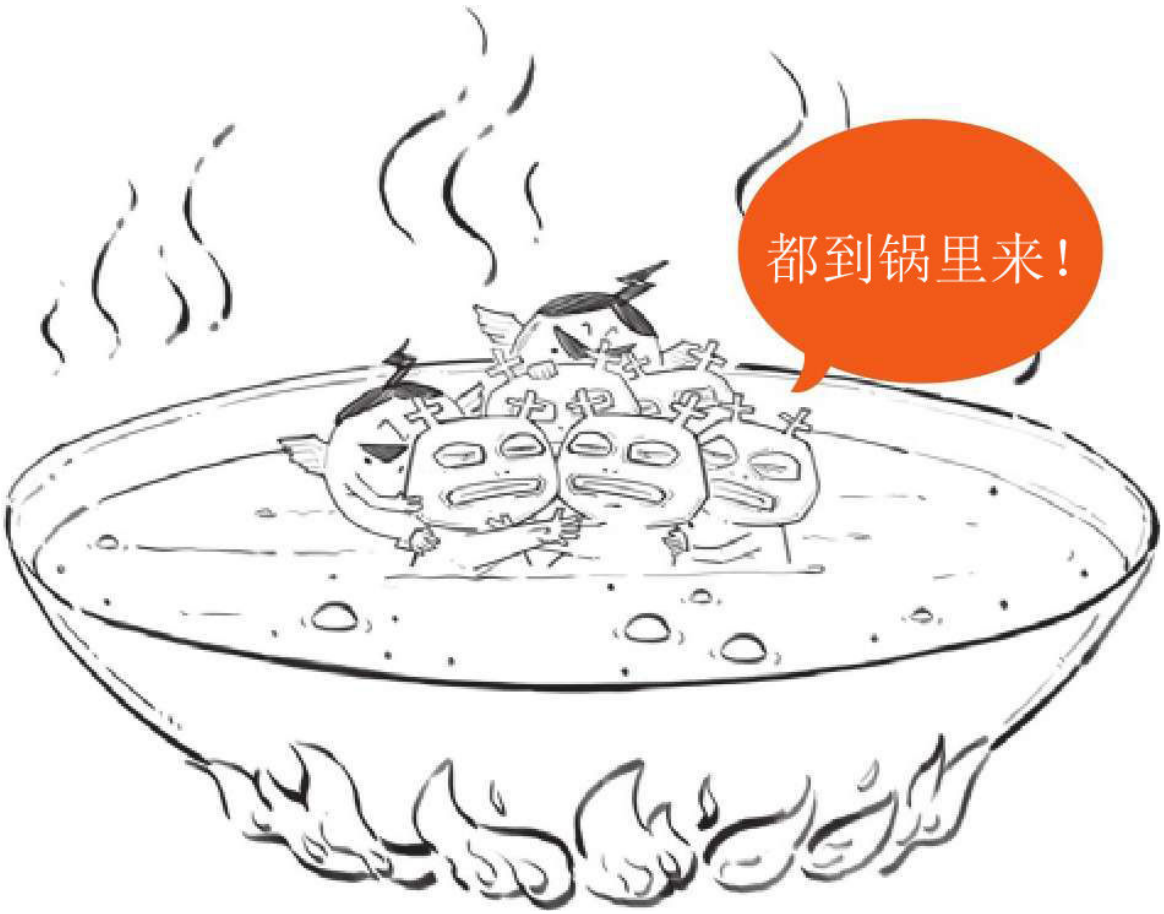
不过，在有些地方，不知道是什么原因，这种和谐的氛围被打破了，这里的原子开始发挥个性，组建各种团体。均匀的分布开始变得凌乱，一些地方原子变多了，另一些地方则变少了。





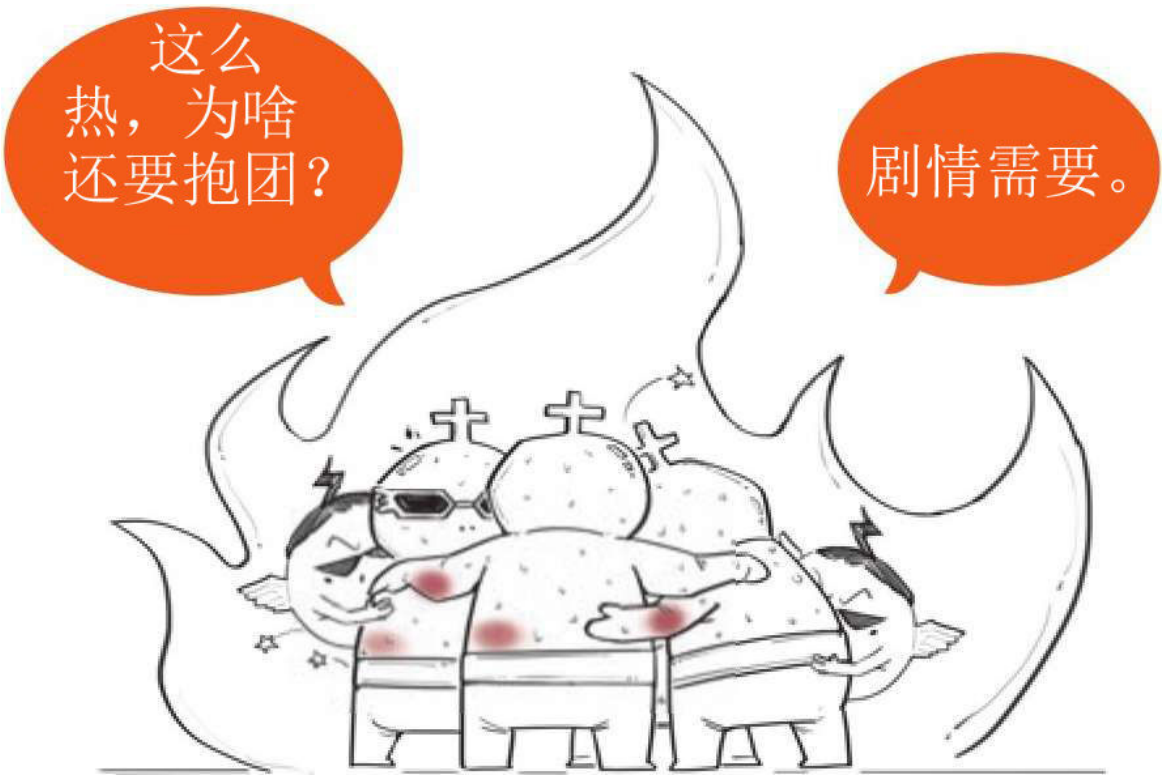
根据牛顿牛爵爷的万有引力定律，物体的质量越大，引力越大；物体之间的距离越近，引力也越大。

原子变多的地方，引力就变大，越来越多的原子就会被吸引过来聚堆，越聚越多。



人多的地方热闹，而原子多的地方也一样……热闹。

原子聚堆的过程中，温度会持续升高。



当温度高到一定程度后，电子不堪燥热，激动起来。原子核和电子的关系本来就很脆弱，电子一激动，原子核就更拽不住了，脆弱的关系说断就断，电子开始放飞自我。



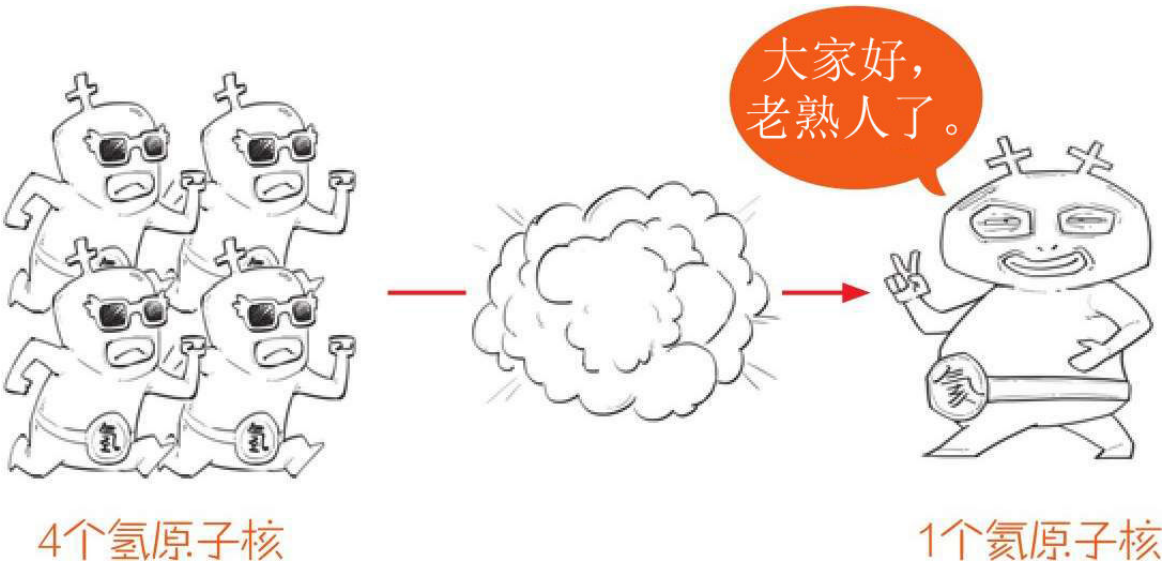
没了电子，原子核也就不用拖家带口，可以单独行动了，原子核和电子各玩各的，这种状态也被称为**等离子态**。

但引力当然不会因为星云“变态”就停手，它还会继续挤压，迫使原子核们抱团，而且越抱越紧。

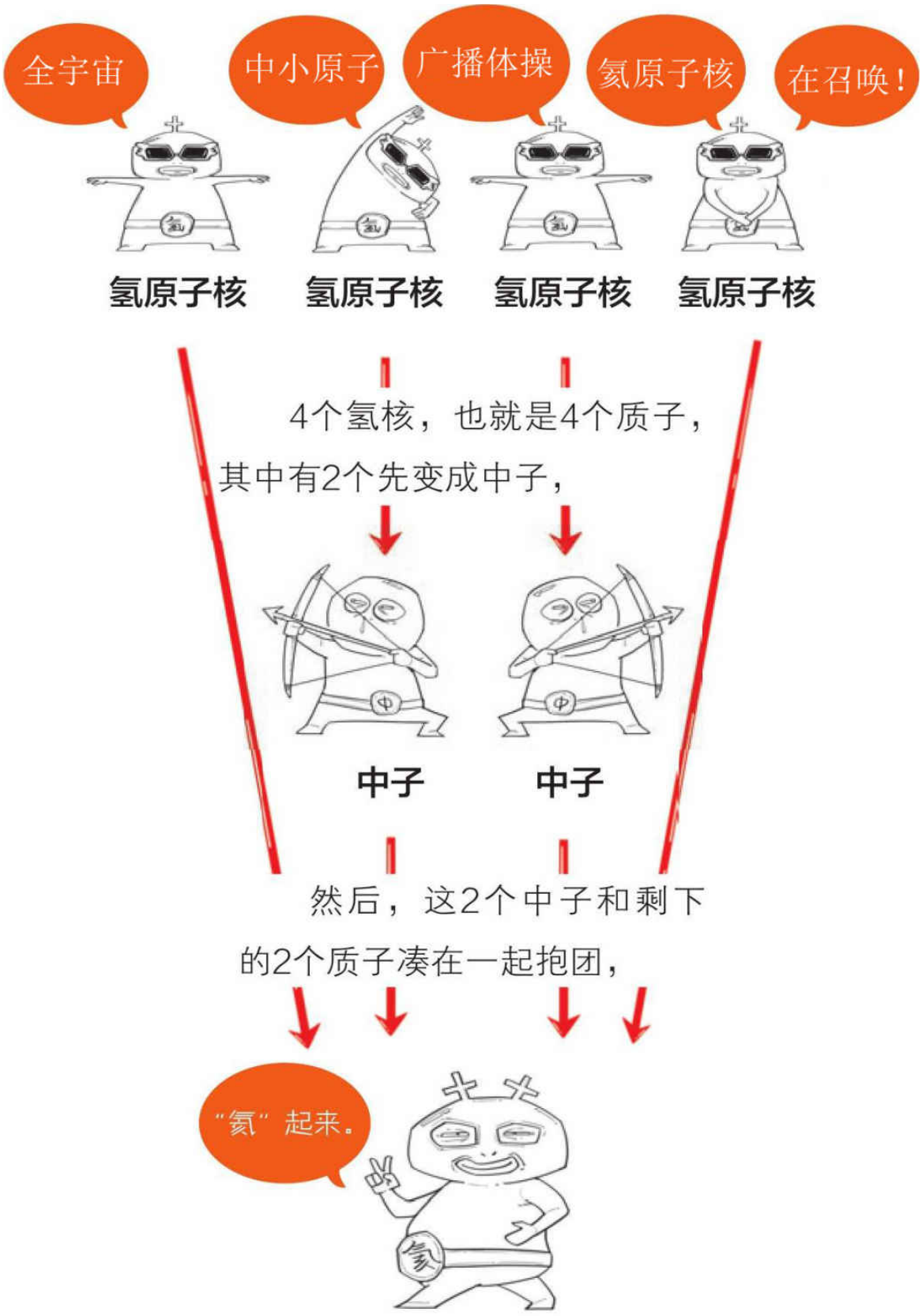


这就叫物极必反，原子核们被压迫到这个份儿上，它们的抱团其实是在奋起反抗，这个过程会释放巨大的**能量**。

同时，每4个氢核会被迫“抱团”，成为1个**氦核**。



具体过程大概是这样的：


全宇宙
中小原子
广播体操
氢原子核
在召唤！
氢原子核
氢原子核
氢原子核
氢原子核
4个氢核，也就是4个质子，
其中有2个先变成中子，
中子
中子
然后，这2个中子和剩下
的2个质子凑在一起抱团，
“氦”起来。

成为1个**氦原子核**。

从几个轻一点的原子核，聚堆成重一点的原子核的抱团过程，也被称为**核聚变反应**。



温馨提示：

把质子变成中子也是玻色子搞的鬼，这种玻色子叫作W玻色子。

这个抱团的过程是分好几步完成的，不是一蹴而就的。

氦核里质子数更多，原子序数也就更大，排位会在元素周期表里进一位。



星云在引力作用下塌缩形成原恒星，原恒星继续塌缩，直至点燃中心的核聚变反应，进入主序星阶段——恒星的**青壮年期**。这大概是自宇宙诞生2亿年时候的事情。

恒星青壮年期的特点就是：**源源不断的氢原子核，抱团成为氦原子核。**

氦核的形成有多种方式，其中一种是大爆炸早期质子和中子抱团组对，另一种是恒星中的氢核聚变。



除此之外，**氢弹**的原理也是核聚变反应，爆炸威力巨大。

虽然都是核聚变反应，氢弹炸一下就没了，恒星却能燃烧上百亿年，这主要是因为恒星一边进行反应，一边被引力压得死死的，引力就好像是控制器，让恒星只能是小火慢炖。



氢弹　　恒星



太阳能够持续给我们提供光和热，就是因为它的体内有氢核聚变反应。

简单地总结一下恒星的诞生：

恒星诞生过程



星云物质开始聚集，为恒星诞生做准备。

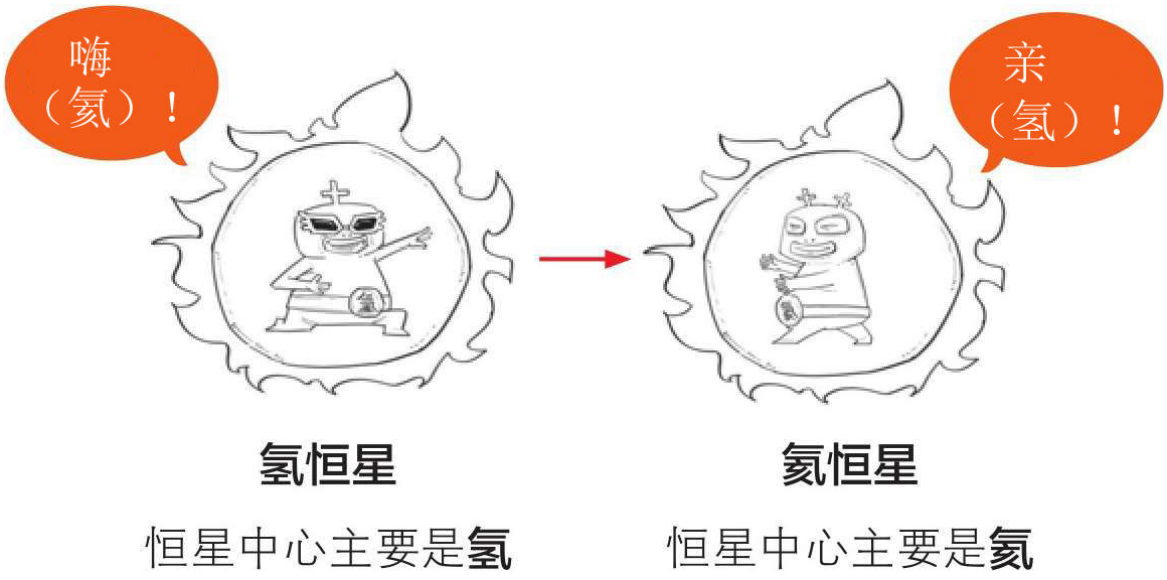


核反应启动，恒星诞生，恒星进入青壮年期。



2. 恒星的演化

恒星诞生后，里面的氢核一直抱团聚变，最后都会变成氦核，为了方便，我们给它们起个名字：



恒星换名字的过程，其实就是**“炼丹”**的过程，比如：把氢核炼成氦核，把氦核炼成碳核。

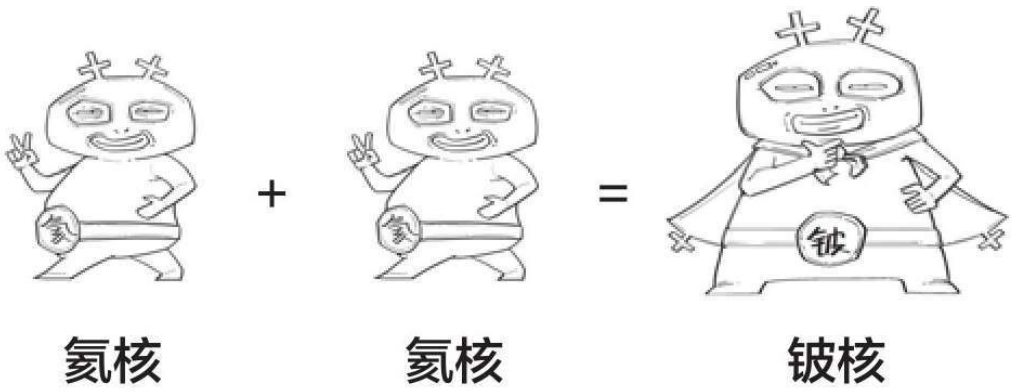
氦核比氢核更耐热，要想让氦核抱团，恒星要进一步挤压升温。

根据万有引力定律，引力随质量变大而变大，想要进一步变大，就对恒星的吨位提出了更高的要求。

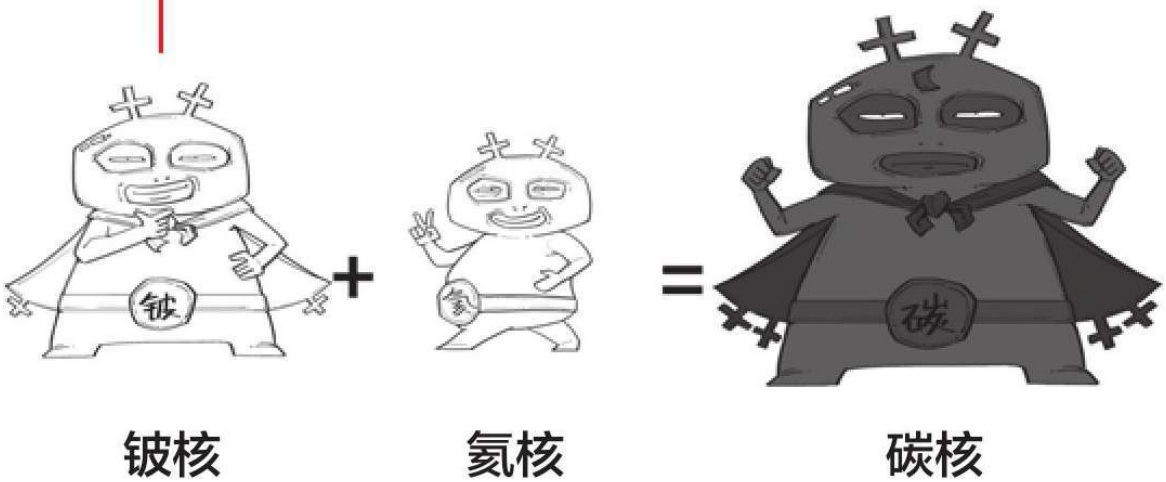


如果恒星产生的引力可以一直挤压，把恒星中心的温度升高到1亿摄氏度，**氦核**就会开始抱团聚变成**铍核/碳核**，这就是新一轮的核反应。

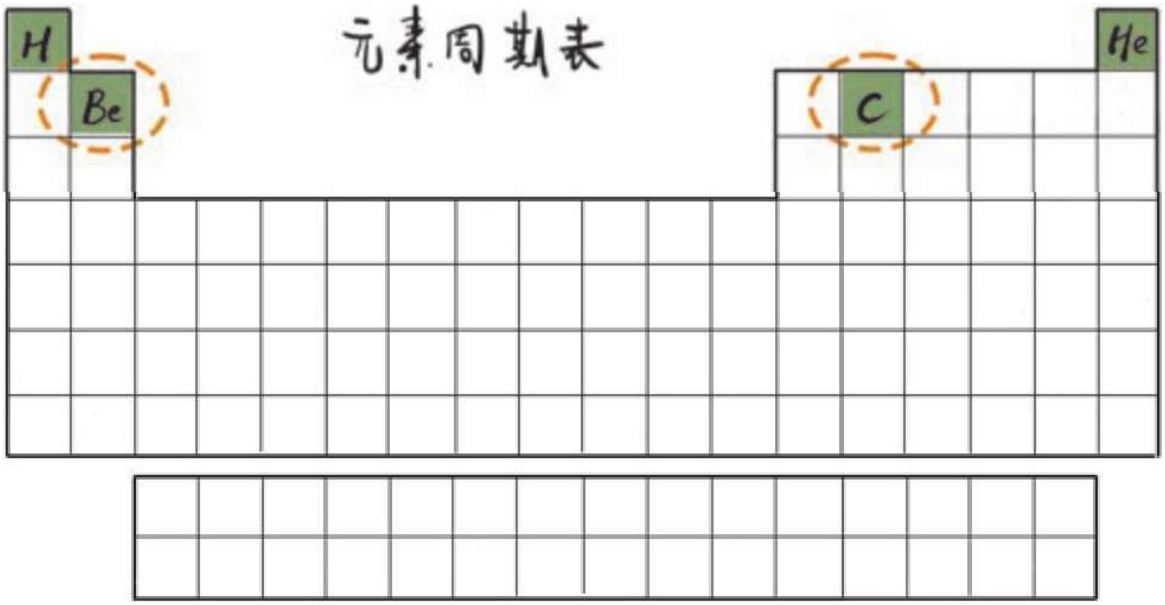
首先，两个氦核抱团，形成铍核。



然后，铍核再和第三个氦核抱团，形成碳核。



这新一轮的抱团结束后，比氦核更重的原子核就出现了。



恒星演化的过程，就是原子核不断抱团，顺手创造出很多副产品——**元素**的过程，整个过程就好像在炼丹一样。

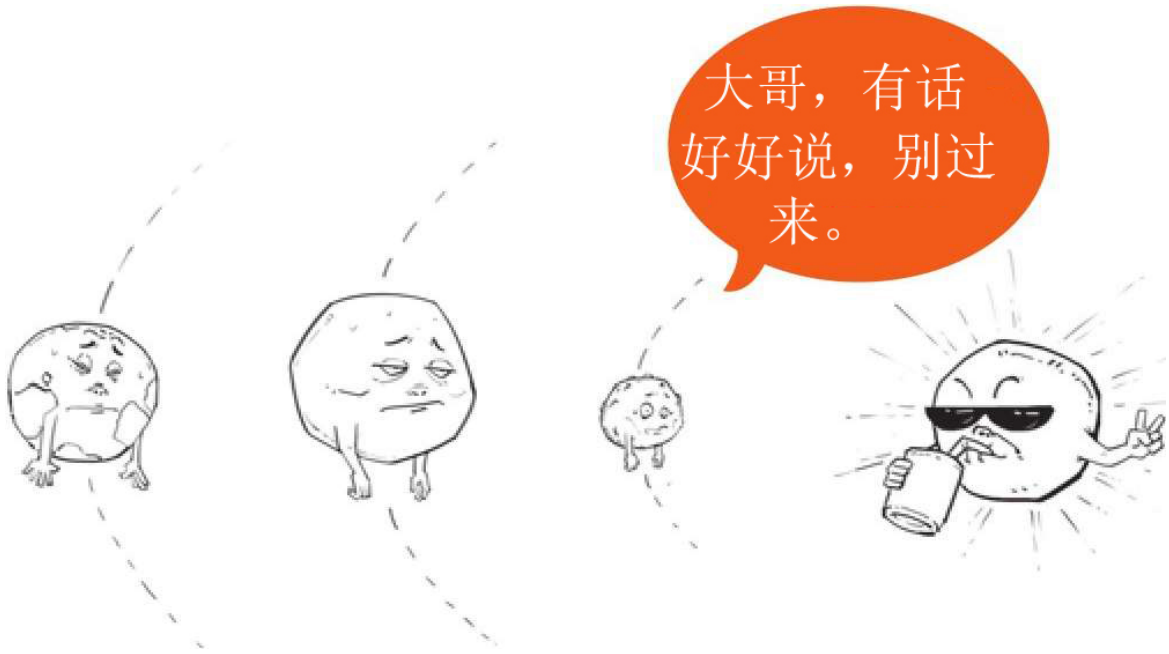

氢氦锂铍
硼……



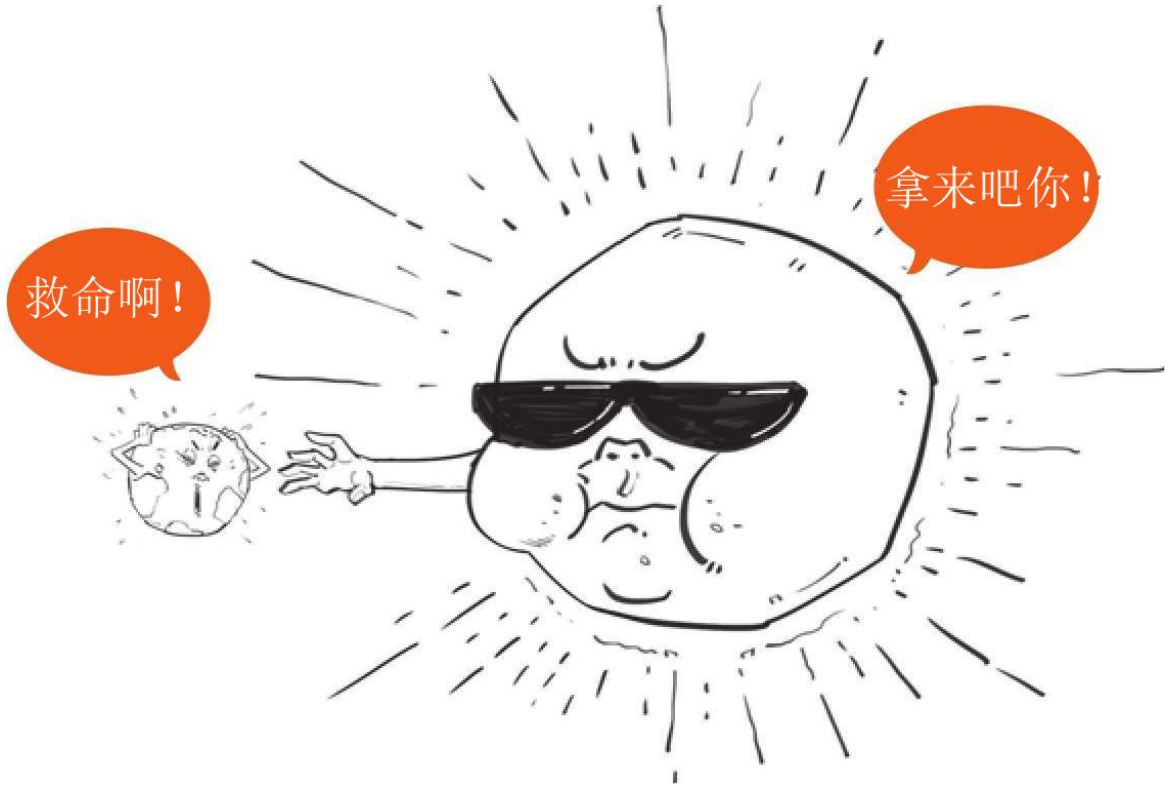
3. 恒星的晚年

质量较小的恒星，氢原子用完了，核反应就会停止，形象点儿说就是熄火了。

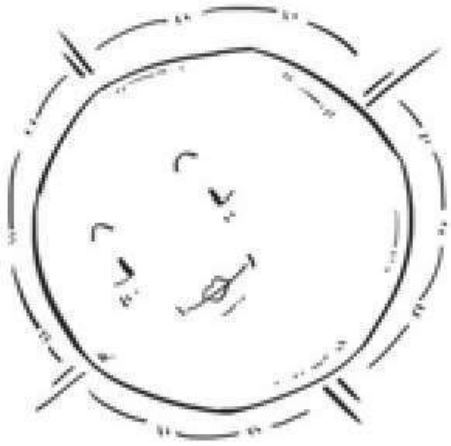
科学家们预测，太阳的质量不够大，引力不够强，不能发生碳核聚变反应，只能发生氦核聚变反应。



氢核聚变结束，氦核聚变发生前，太阳外层会膨胀，直径最后变大为原来的200倍，水星、金星甚至地球都会进入太阳的大气层内，被太阳吞噬。



最后，太阳的大气层会散掉，中心会留下一个内核，也被称为**白矮星**。



白矮星

体积小，密度大

致密星中的低段位选手

而质量更大一些的恒星，引力会更大，还可以继续挤压升温，让聚变反应持续进行下去。



氢恒星

恒星中心主要是**氢**



氦恒星

恒星中心主要是**氦**



碳恒星

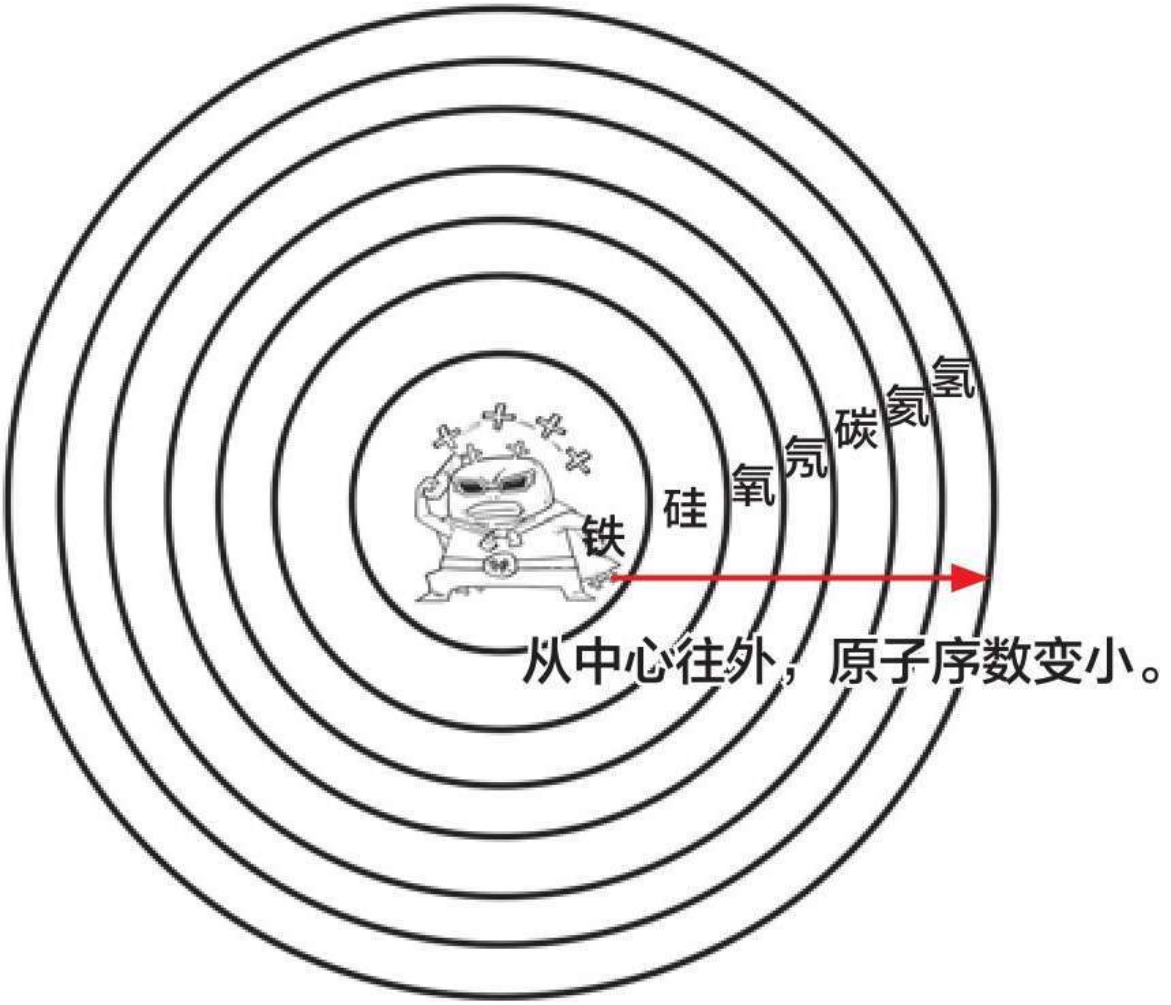
恒星中心主要是**碳**



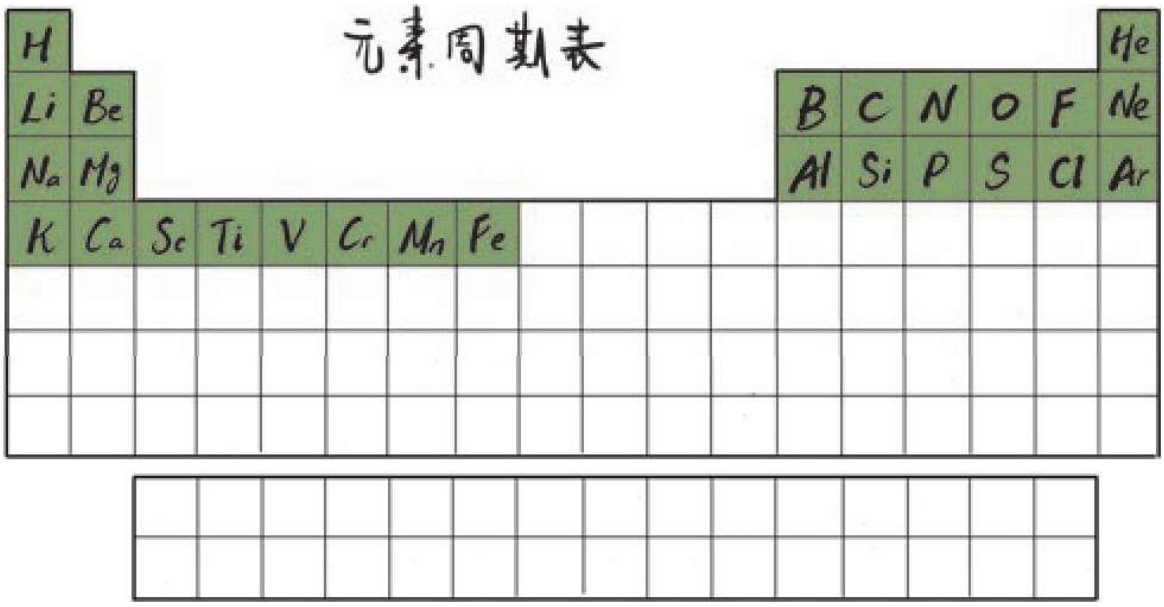
铁恒星

恒星中心主要是**铁**

这种质量大的恒星，中心的温度最高，外围的温度逐渐降低。内部的核反应通常都是一层一层的，就像洋葱圈一样，重一点的原子核在里面聚变，轻一点的原子核在外面聚变。

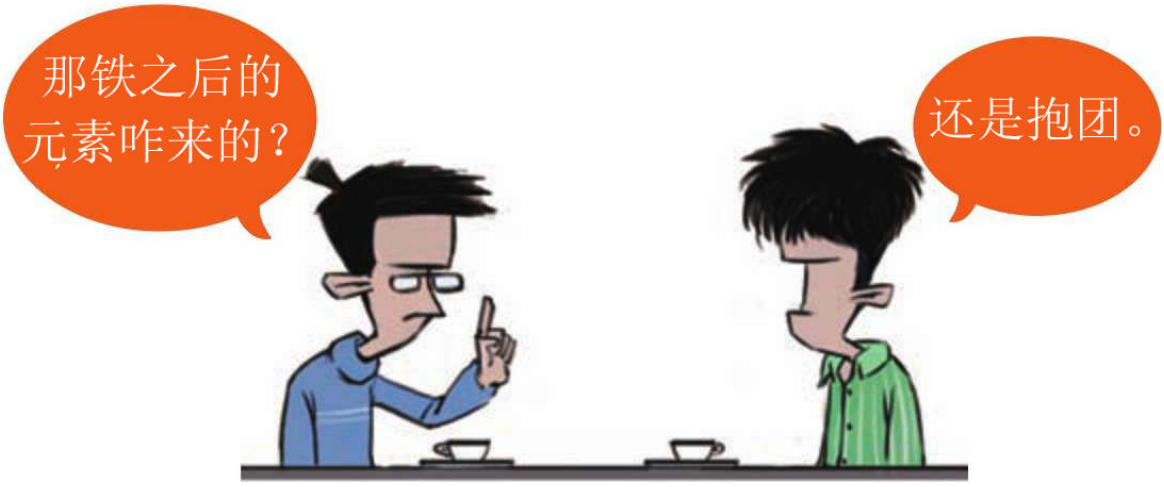


宇宙中，元素周期表中位于铁之前的元素，大部分都是靠恒星核聚变锤炼出来的。



所以，恒星也被称为：

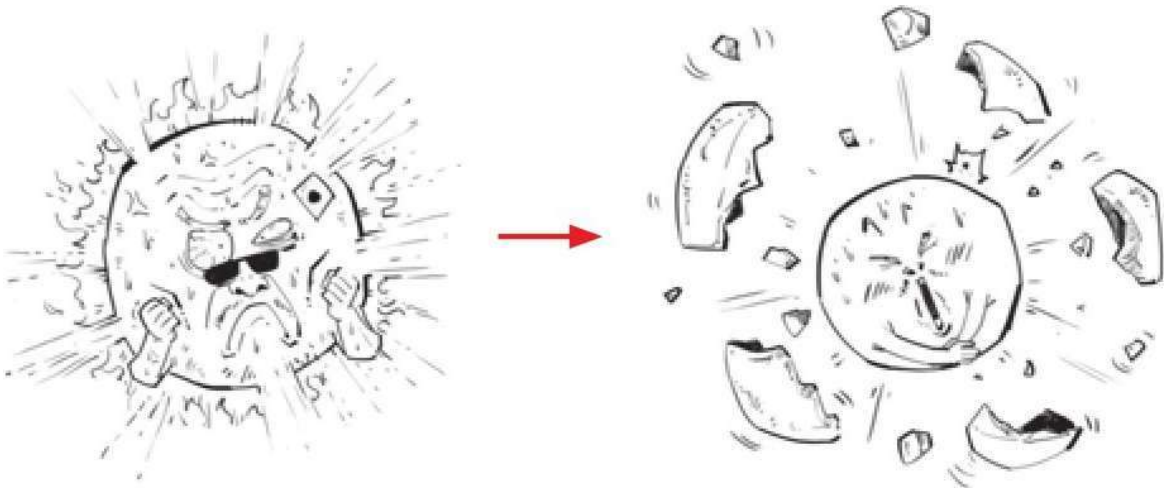
元素炼丹炉。



所有元素中，铁的原子核最牢固，要使铁原子核继续抱团需要巨大的能量，很多质量大的恒星也直呼玩不起。

但玩还是要接着玩的，只是要换一种方法。一些大质量恒星就开始炫耀新技能：

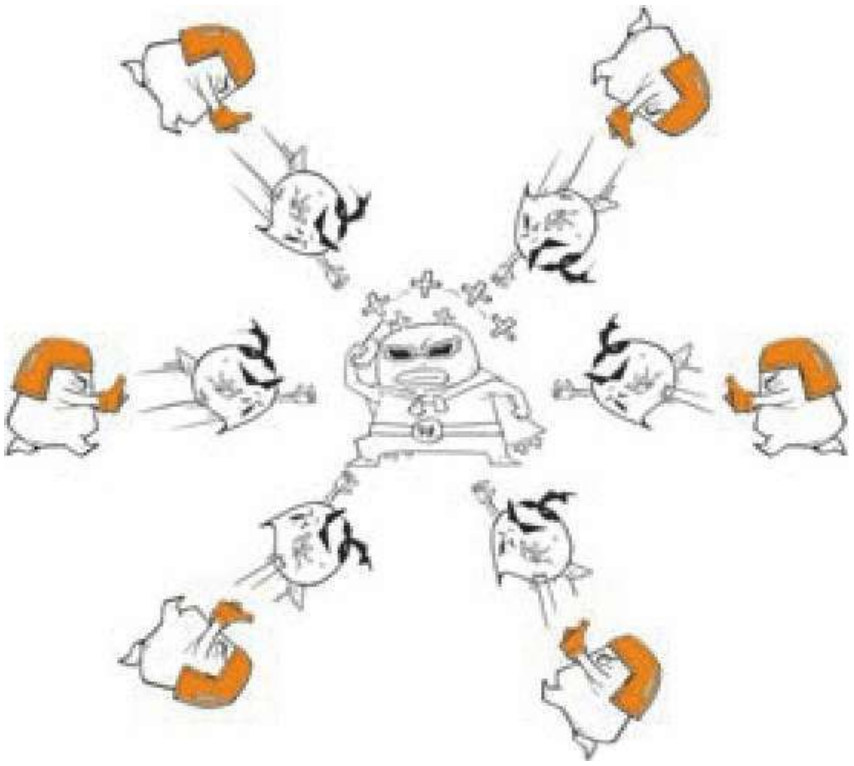
超新星爆炸。



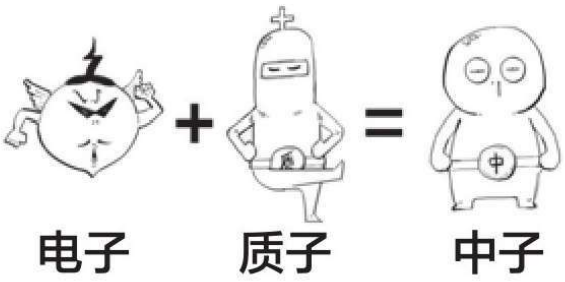
超新星爆炸非常明亮，大概跟整个星系中所有恒星发出的亮度差不多。举个例子，银河系有1000亿～4000亿颗恒星，一颗超新星爆炸的亮度，就跟整个银河系的亮度差不多。

具体是怎么回事，让我们拿着放大镜去恒星里面看一下：

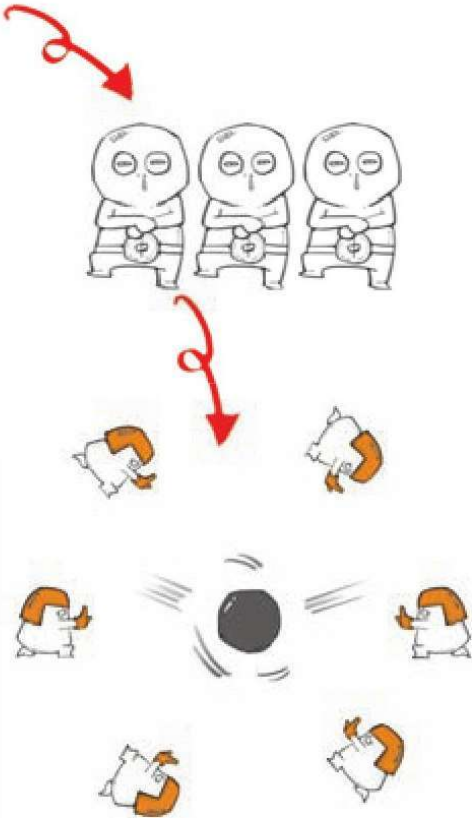
Step 1 在引力的作用下，大质量恒星中心的**电子**被压进**铁原子核**内。



Step 2 铁原子核里面本来是**质子**和**中子**，压进去的电子和质子抱团结合，也变成了中子。



此时，恒星中心就基本上都是中子了。



电子进入原子核内，恒星中心体积**急剧**变小，外围物质向内**急剧**收缩。

Step 3 外围物质向中心坠落太快，碰到中子核心后会反弹，引起超新星爆炸。

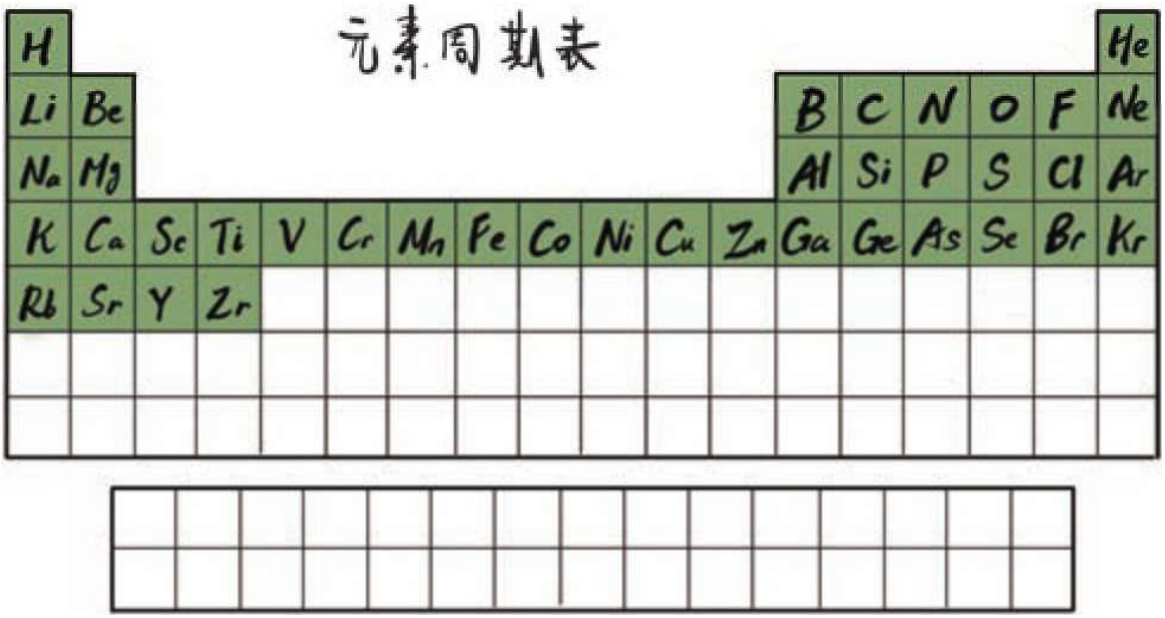




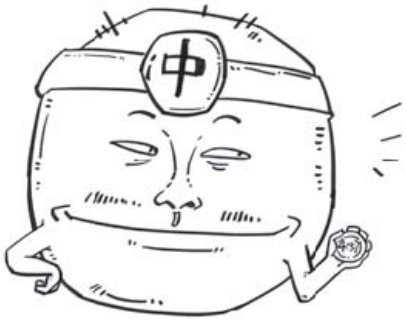
温馨提示：

上面说的是大质量恒星的超新星爆炸过程，小质量恒星也可以有超新星爆炸，这里我们暂不细说。

超新星爆炸时，恒星内部急剧坍缩，温度急速上升，核反应形式增多，出现多种多样的抱团方式，很多元素就这样诞生了。



随着爆炸的冲击，这些元素散落到宇宙中，成为下一代恒星的原材料。而大爆炸的中心则会留下一颗**中子星**或者**黑洞**。



中子星

密度超大

圈圈转得很不错

别号：宇宙时钟



黑洞

一切皆可吃

别号：宇宙最强吃货

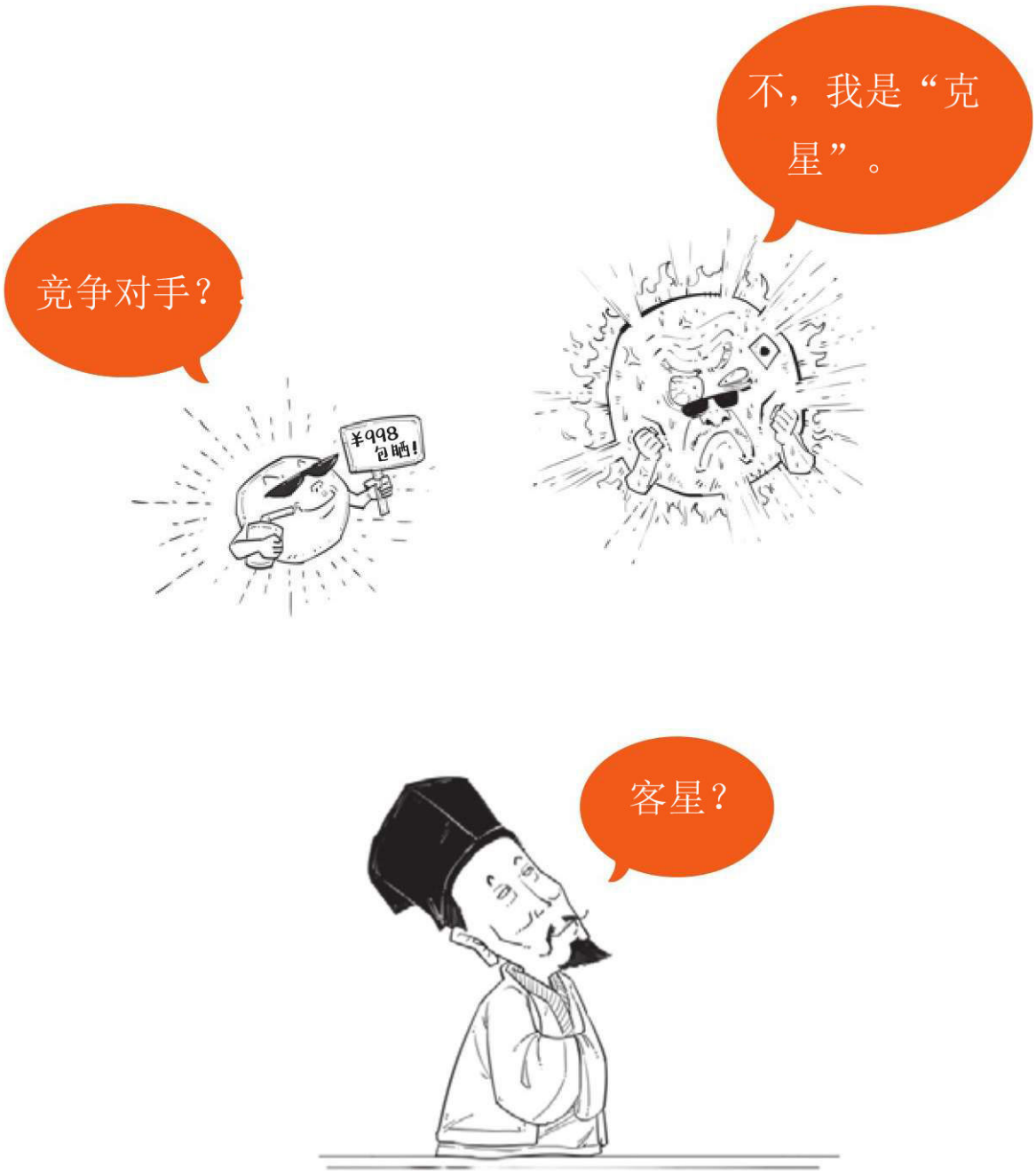


温馨提示：

第一代恒星质量都比较大，它们内部的核反应比较剧烈，寿命也比较短，基本上都会发生超新星爆炸，时间大概在宇宙3亿岁的时候。

如果时光倒流，回到那个时候，你就可以经常看到星系级别的烟花秀。

话说大约1000年前，宋朝人就看到过超新星爆炸，亮度贼高，即使在白天也能看见，当时人们管它叫**客星**。

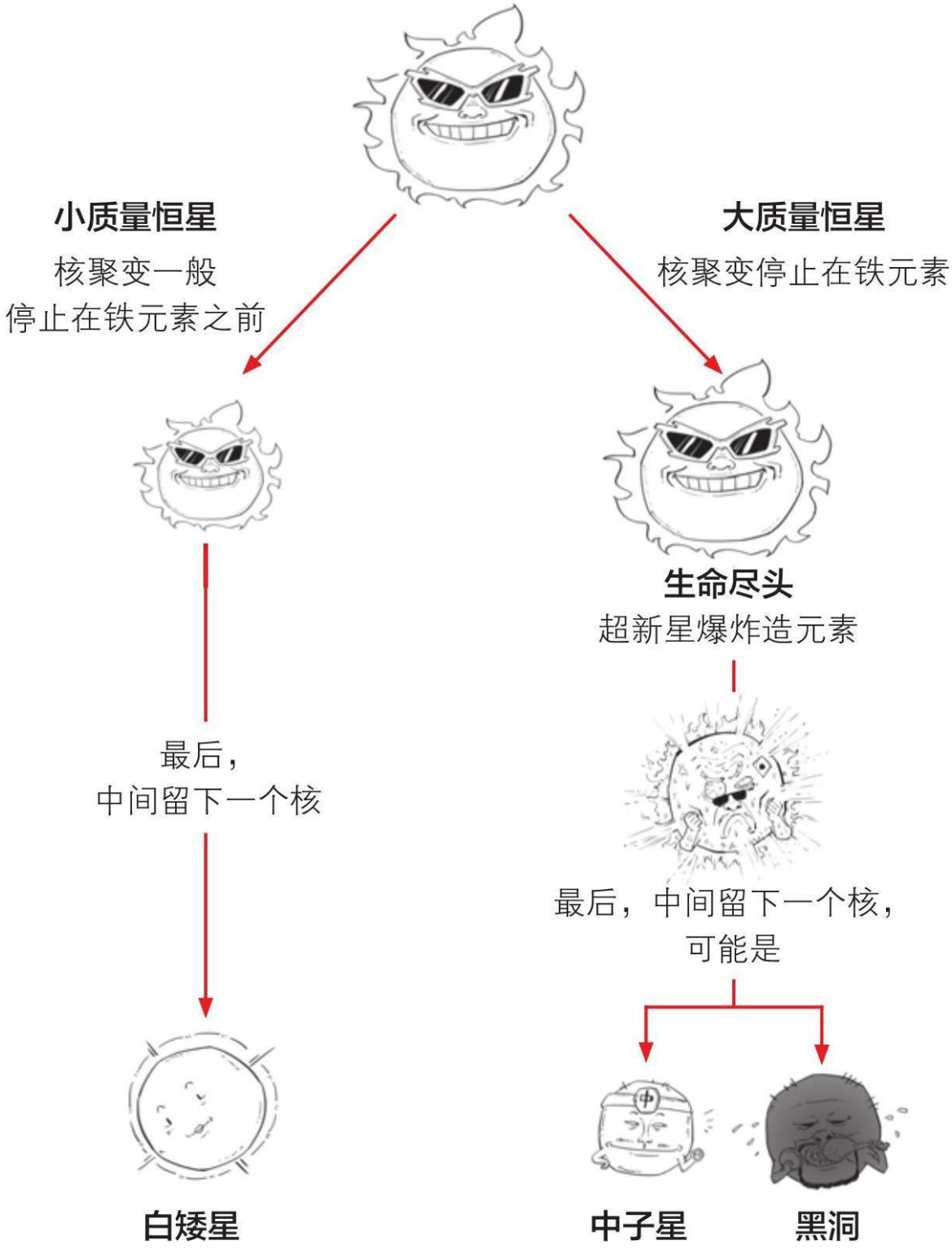


说完了恒星的晚年，我们再来简单地回顾一下恒星的一生。

恒星的一生

恒星的一生，就是孜孜不倦造元素的过程。

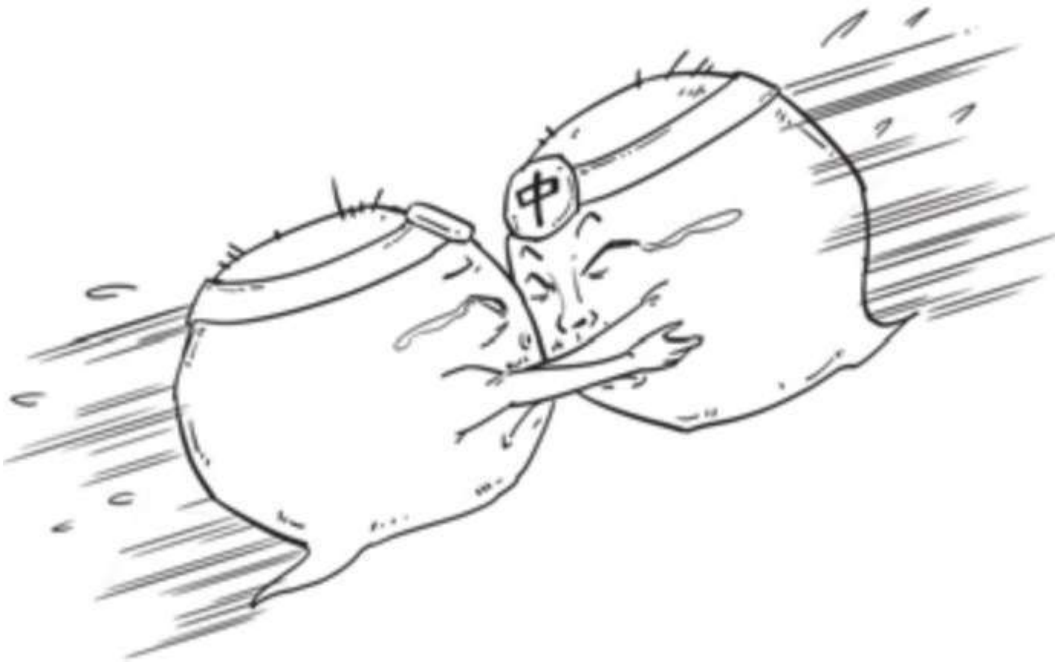
恒星一诞生就开始核聚变反应造元素



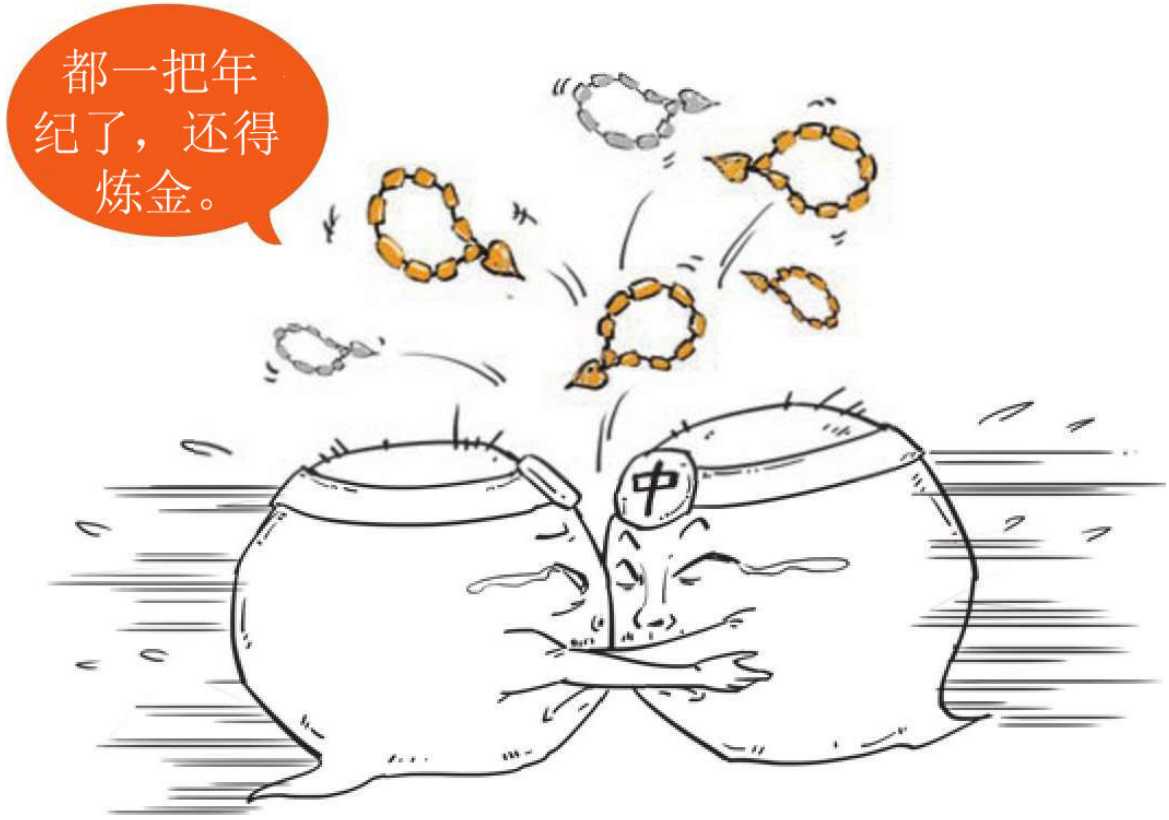
这就是恒星最后的3种归宿。

铁后面的元素，一部分是超新星爆炸产生的，还有一部分是其他方式产生的，比如**中子星合并**，但方式还是抱团。

如果一颗中子星偶遇了另外一颗中子星，它们就会在引力的作用下，抱团合并。



中子星抱团抱得很激烈，在此过程中会形成很多更重的元素，比如**金**和**银**。

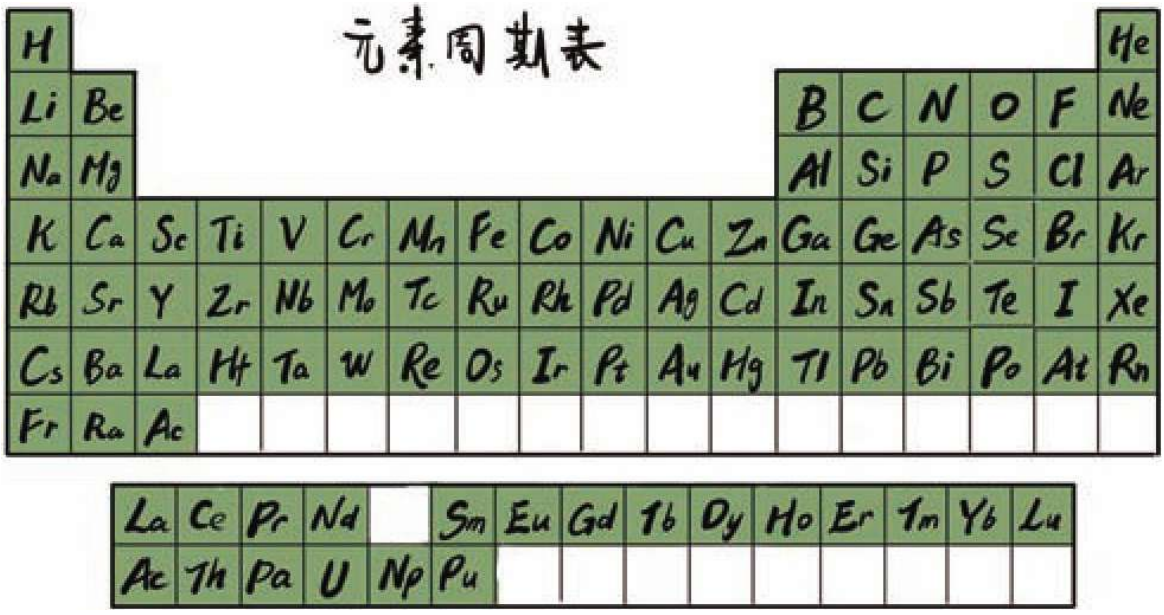


由于这种偶遇很罕见，宇宙中金、银的含量就很少，物以稀为贵，金银值钱也就理所应当了。



温馨提示：

自然界中天然存在的元素共有93种，除极少数只由一种方式产生，其他都是通过多种方式产生的。

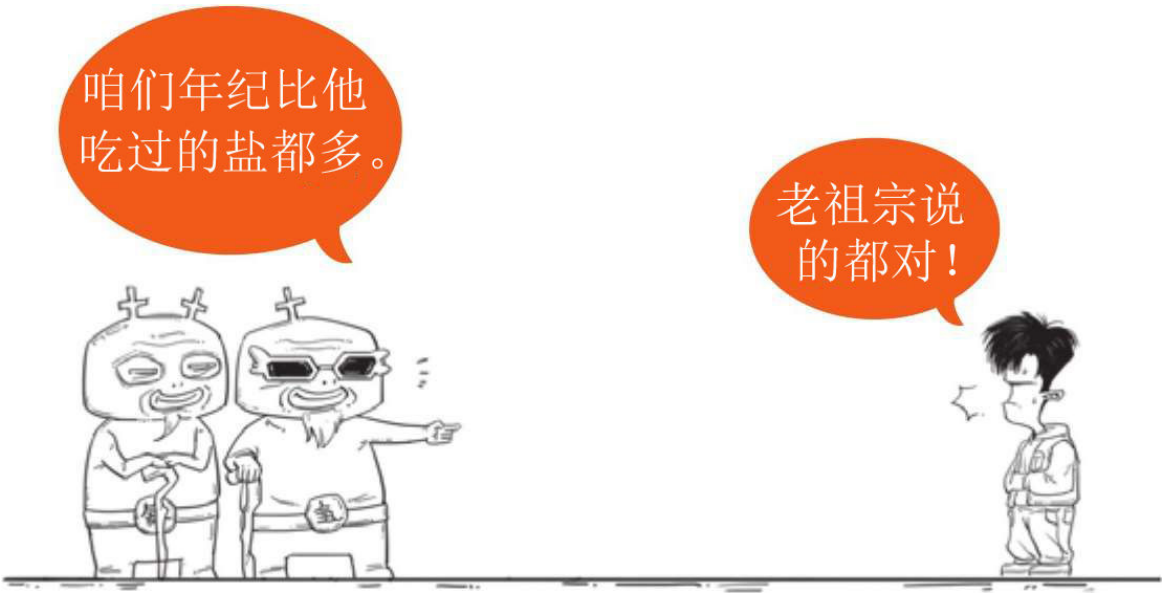


这之外的，都是人工合成的。

元素周期表上的元素起源，我们也就大概说完了。

现在我们知道，地球上和人体中所有的物质，最早都是通过**宇宙大爆炸、恒星核反应、超新星爆炸、中子星合并**来的，每一个原子核的年龄都比地球还大，起码都是46亿岁往上。

地球是46亿年前形成的。



宇宙3亿岁之前的事讲完了，最后，我们再来回顾一下这一章。



约38万～2亿岁

星云抱团聚集，诞生原恒星。

恒星诞生后，继续塌缩，

点燃中心核反应。



约2亿～3亿岁

恒星核聚变，原子核抱团，

产生多种元素。



约3亿岁

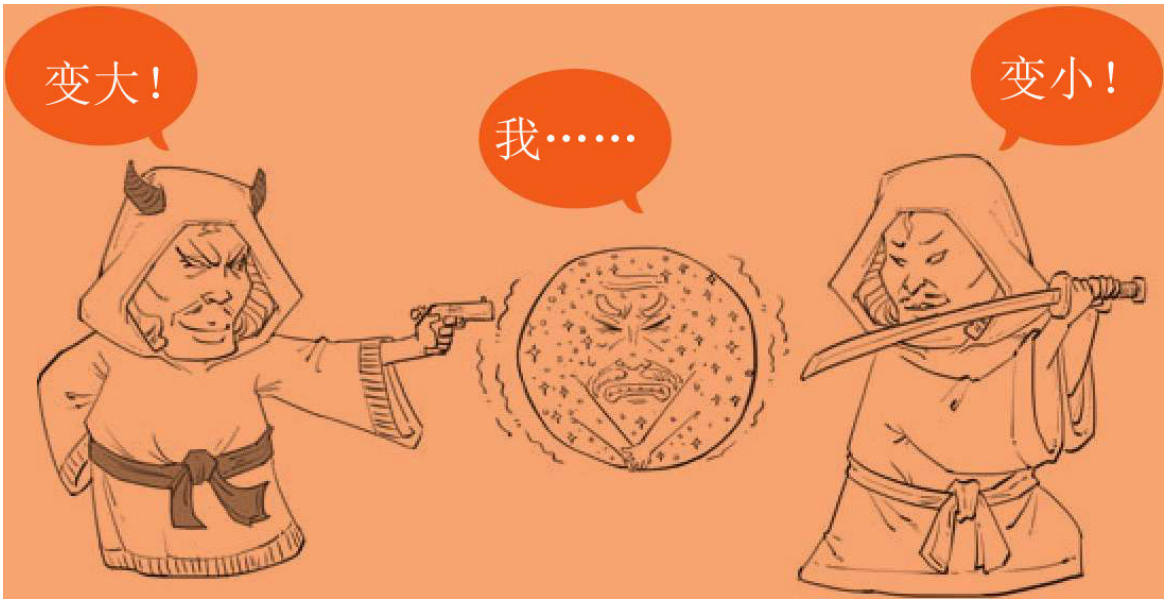
大质量恒星超新星爆炸，

产生更多元素，

留下中子星和黑洞。

那么，3亿岁之后，宇宙还会继续抱团吗？

四、宇宙的终局，可能在于暗物质与暗能量的博弈



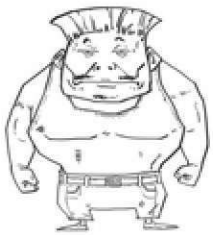
话说宇宙一出现，里面就有三大主角：



时间

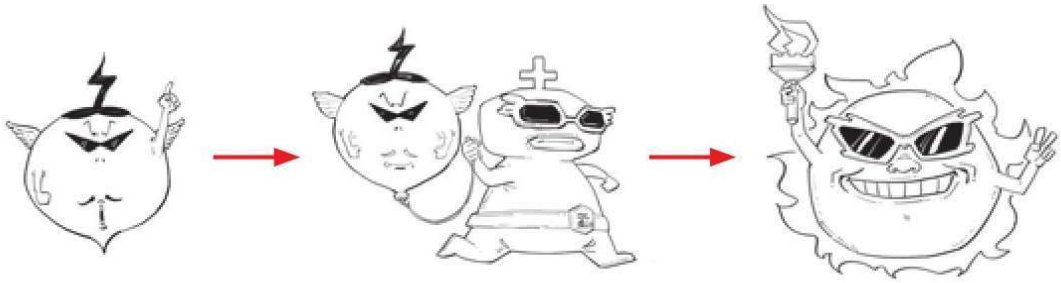


空间



物质

但在宇宙历史的漫漫长河中，物质这个**主角**却一直在发生“质”的变化：



最早是**基本粒子**。

后来粒子抱团，主角变成了**原子**。

后来原子又抱团，主角变成了**恒星**。

按照剧情的发展，接下来的主角就应该是**星系**，也就是由一大群恒星、星际气体等物质组成的系统。

但是，这一章，我们决定换个方式，不讲台前的主角——星系，而是讲幕后的黑手：



暗能量



暗物质

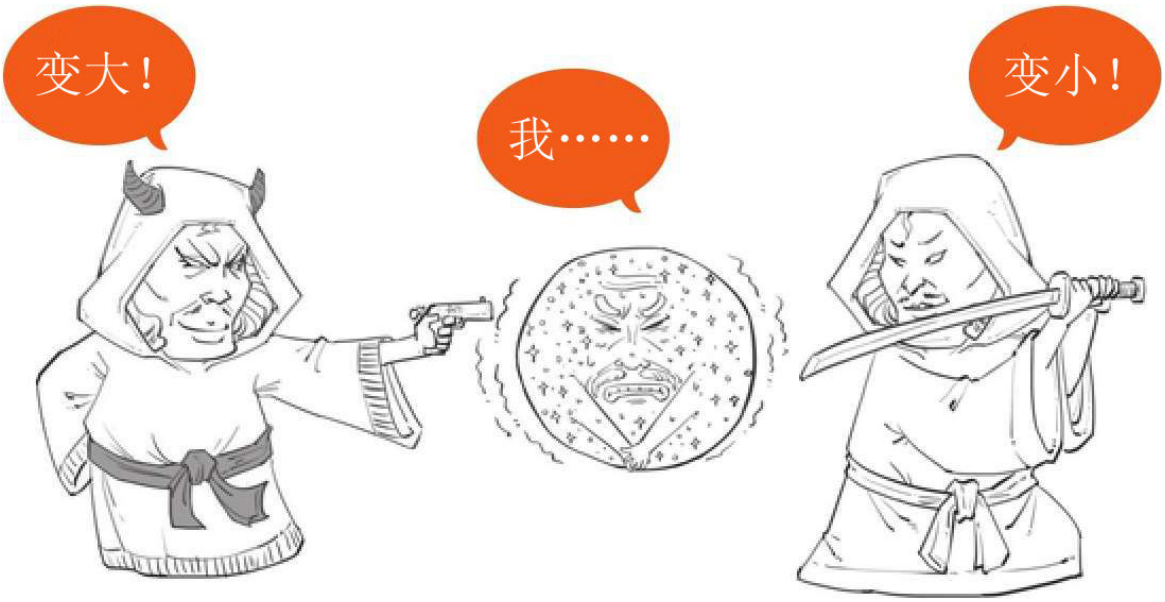
这两个幕后黑手是完全不同于普通物质的存在。



普通物质就是我们之前讲过的各种已知物质，包括我们自身、恒星、星系等。从微观视角来看，普通物质又是由各种基本粒子构成的。

但要问谁才是宇宙里真正的主角，普通物质就只能靠边站了。

因为这两位大佬才是当之无愧的宇宙主宰，它们不仅影响了宇宙的**过去**，还会左右宇宙的**未来**。





这回我们就好好来聊一聊两位大佬究竟是干啥的。

由于暗物质“发光发热”的时间要比暗能量早， 所以，我们先从暗物质说起。

1. 暗物质

话说很早很早以前，在宇宙刚诞生不久后，暗物质就已经出现在宇宙中了，而且一直活跃在第一线，主宰着宇宙演化。



暗物质

人多势众，普通物质的同胞兄弟

爱好：让大家待在一起

特技：隐身术、穿墙术

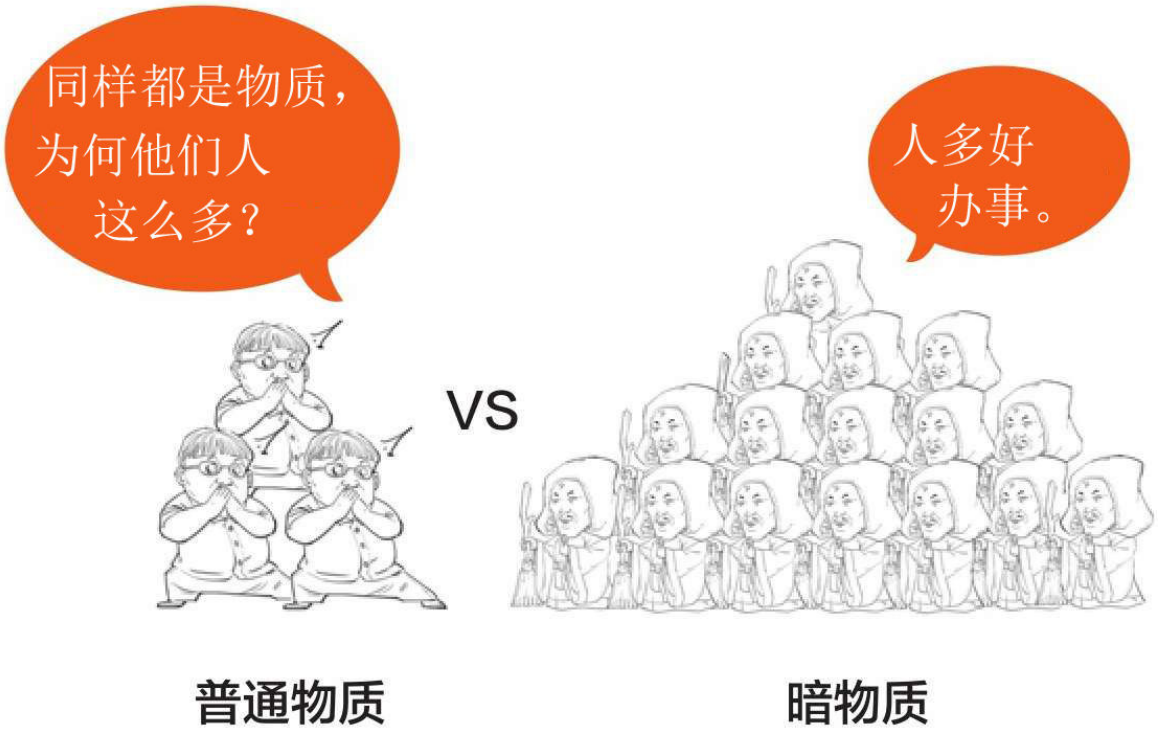
暗物质的“**暗**”指的不是黑暗， 而是指我们用常规手段**看不到**它们， 就好像它们隐身了一样。





至于原因，我们会在第七章详细解释。

当然，暗物质这个隐身绝技其实没啥用，和普通物质比起来，暗物质的最大特点就是：**人多势众。**



科学家发现，在宇宙的所有物质中，普通物质只占15.5%，而暗物质占了84.5%，二者之比大概是3∶16。

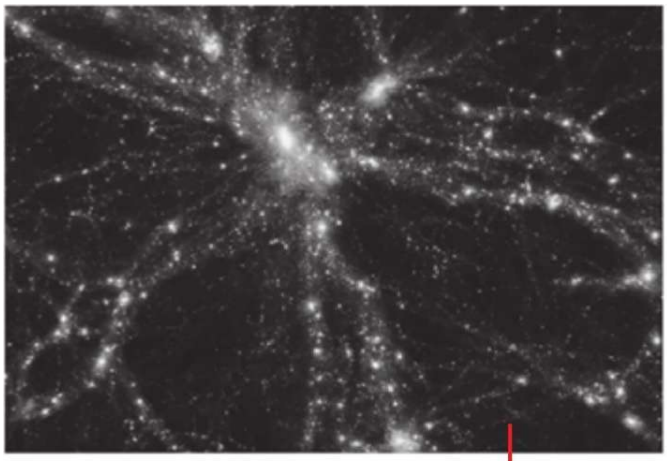
那总量多有啥用呢？

和普通物质一样，暗物质也有引力，由于总量远大于普通物质，暗物质也就拥有更大的引力，不管走到哪里，总能把附近的普通物质都吸引过来。



靠着这个绝对优势，暗物质把宇宙安排得明明白白。

如果我们把视角拉大一点，以上帝视角来看宇宙，就会发现，宇宙中的星系似乎能像串珠一样，串成一张大大的网，而正是暗物质在主导这张网。



网上的每一个亮点就
是一个星系或星系团。



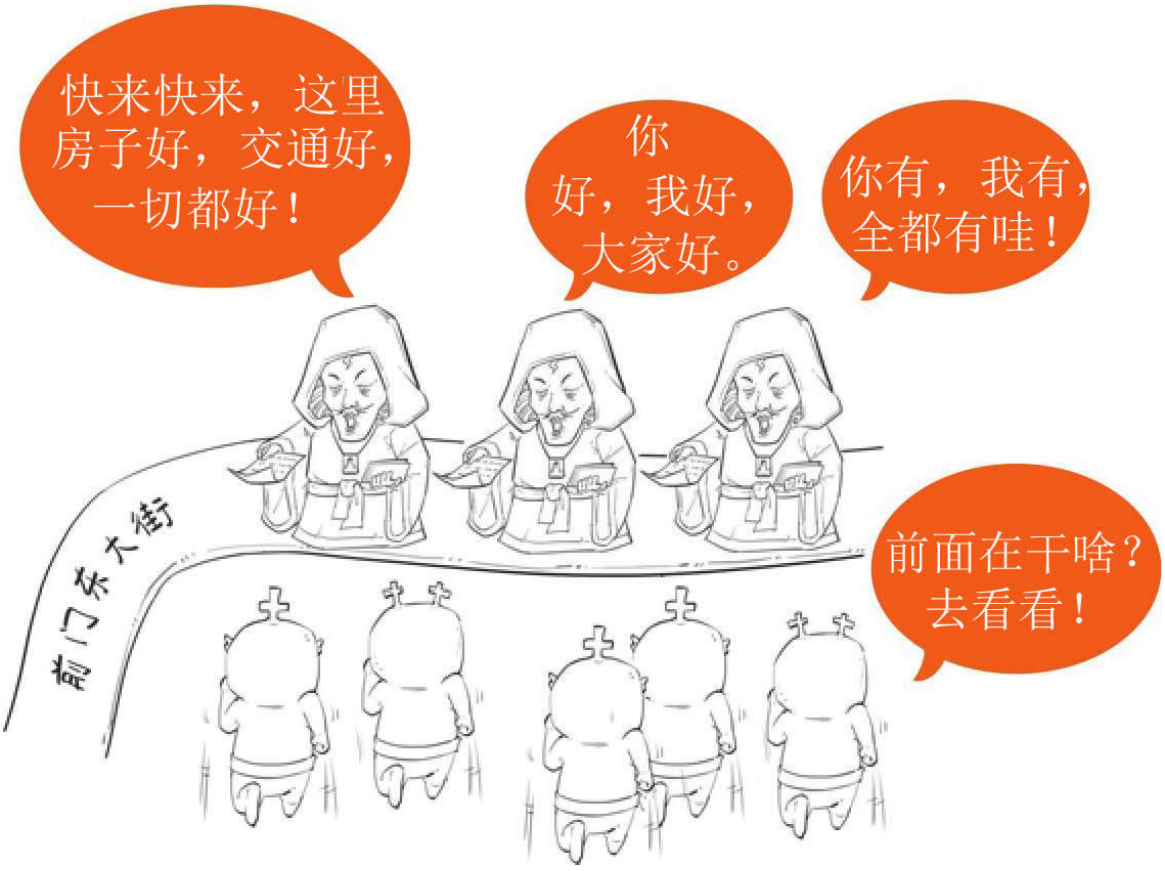


温馨提示：

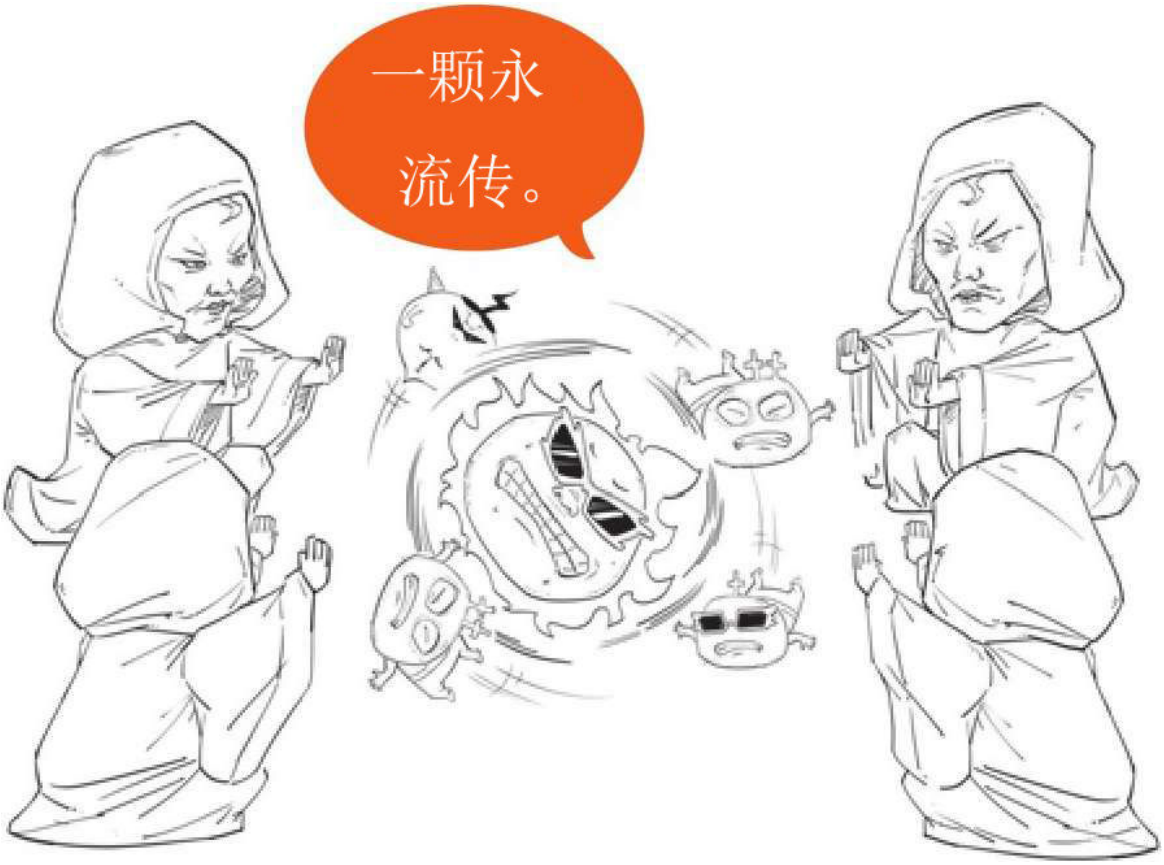
这种由大量星系、星系团、超星系团连成的宇宙大尺度结构叫作**宇宙纤维状结构**。

那么在纤维状结构中，暗物质究竟是怎么起作用的呢？

宇宙早期，暗物质就开始在不同地方占坑，一边占坑，一边靠着自身吸引力把普通物质都招呼过来。



就是在暗物质的引力作用下，气体开始噌噌聚堆，大家都往热闹的地方挤，越聚越多的普通物质在暗物质的帮助下，抱团形成最早的恒星。



当“网线”上的恒星越来越多时，暗物质又会把这些恒星聚到一起。



恒星们越走越近，最后围拢在一起转圈，变成一个大团体，**星系**就诞生了。



星系

一个引力系统

里面有恒星、星际气体、尘埃和暗物质等



暗物质先形成了大尺度上的宇宙纤维结构，然后正常物质被引力吸引到纤维上密度最高的地方，最终形成了恒星和星系。

最开始形成的星系走的是迷你路线，数量多，个头小。在暗物质的帮助下，这些小星系也会抱团，不断吞并重组，星系越变越大。

因此，对于星系来说，一生只有两件事最重要：吃和被吃。

作为星系中典型的大胖子，银河系表示：



但是，星生经验告诉我们：



科学家预计40亿年后，银河系会和本星系群中最大的星系——仙女座星系合并，也就是说，银河系也逃脱不了被吃掉的宿命。

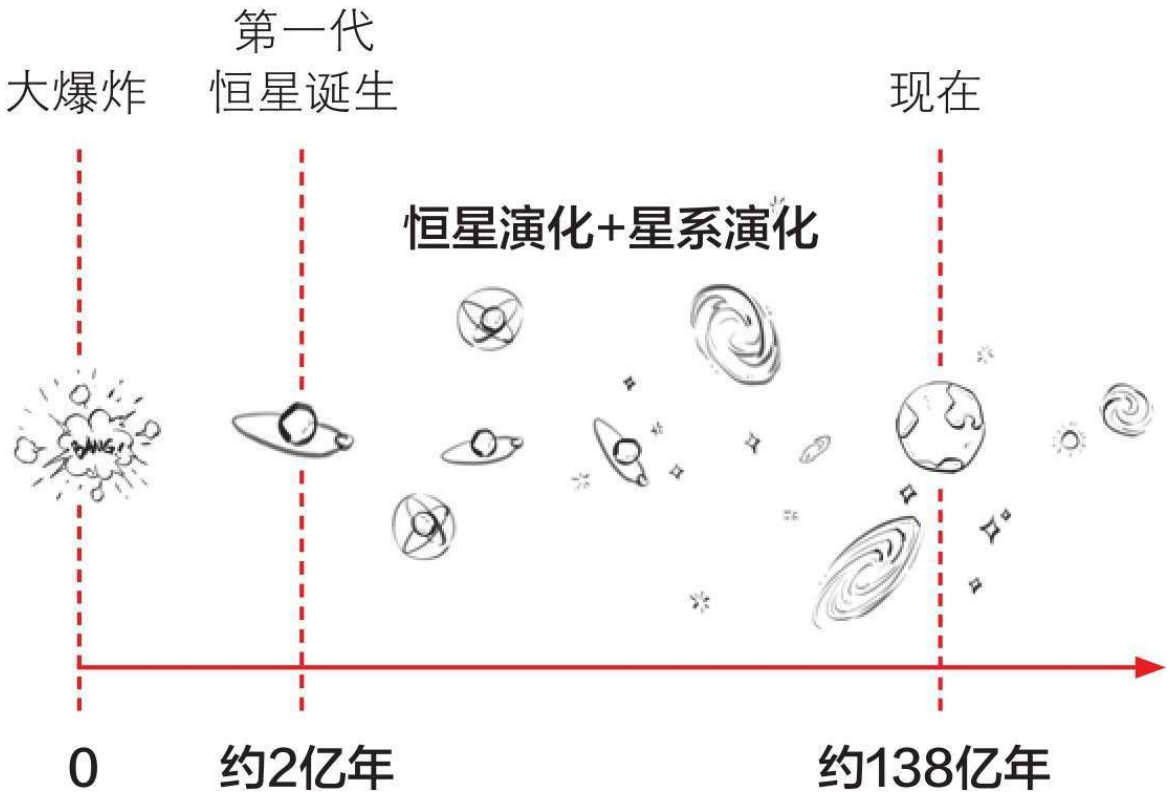


总的来说，暗物质作为幕后推手，不断地撮合恒星、星系、超大星系的形成，这样的情况一直持续至今。



第一个星系具体是什么时间形成的，目前还没有定论。当前的主流观点认为，第一个星系出现的时间应该不会晚于宇宙诞生后的10亿年。

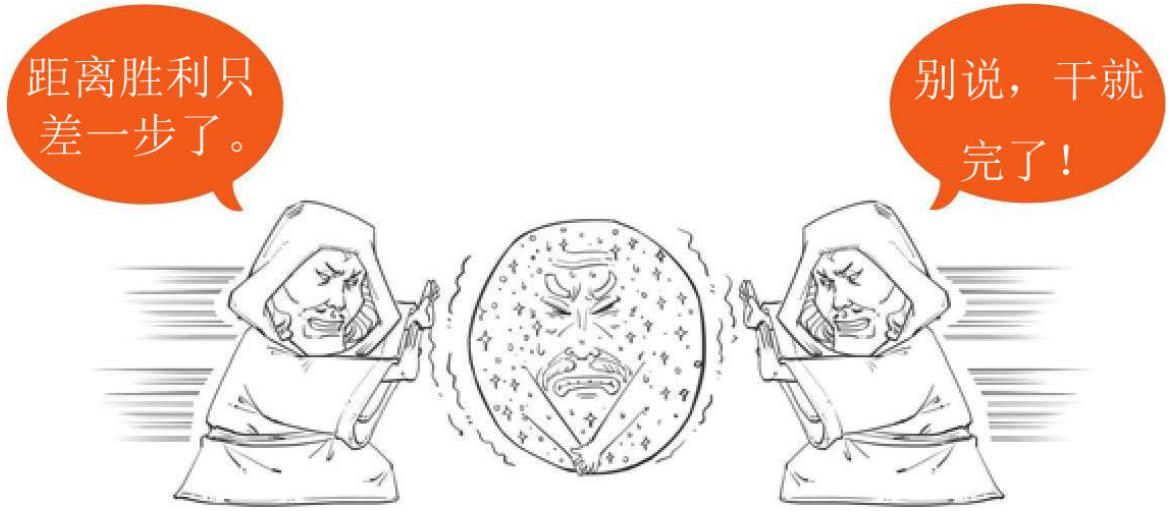
除了星系的演变，恒星的诞生和演化也是宇宙过去历史篇章中的主旋律。



照理说，宇宙大爆炸后，在极短时间内获得了向外膨胀的**初始速度**，如果宇宙中只有暗物质，宇宙空间就会在引力作用下减速膨胀，膨胀的速度变得越来越慢。



当膨胀速度减小到0，宇宙甚至会在引力作用下，开始反向收缩。





温馨提示：

宇宙是整体一起膨胀或一起收缩的，膨胀和收缩效应在宇宙中处处相同。图中的边界，是为了帮助大家理解暗物质在宇宙中的作用，而不是表示暗物质只作用在边界。

那宇宙是不是真的会减速膨胀或者收缩？

这还得看宇宙中另一位“暗”字辈的大佬答不答应。

2. 暗能量

除了暗物质，另一位能掌控整个宇宙命运的大佬就是：

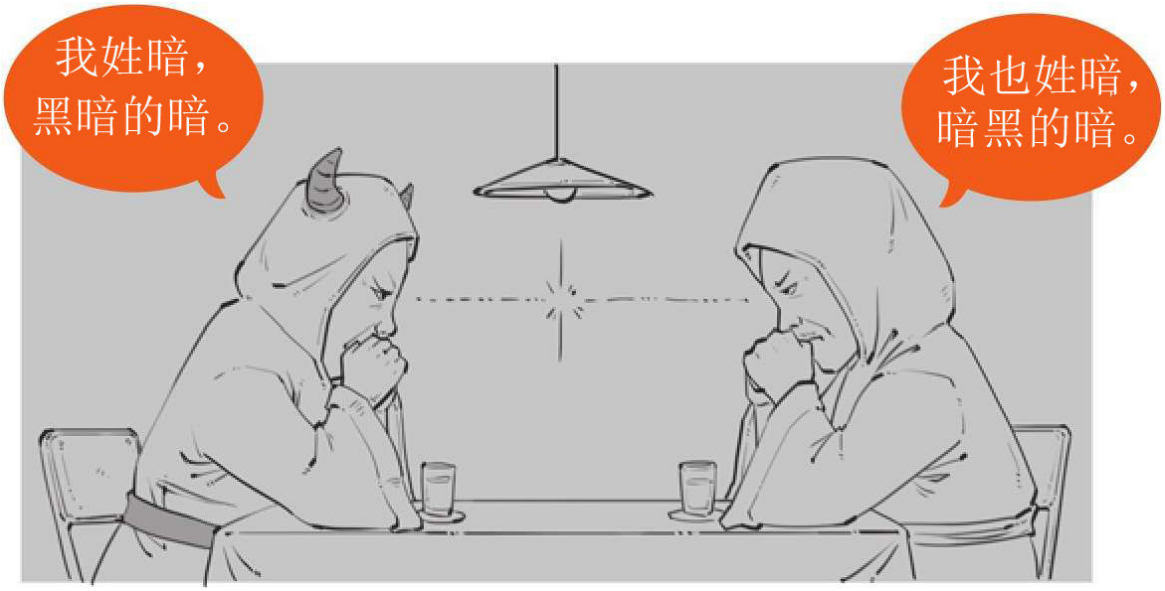


暗能量

与暗物质不对付

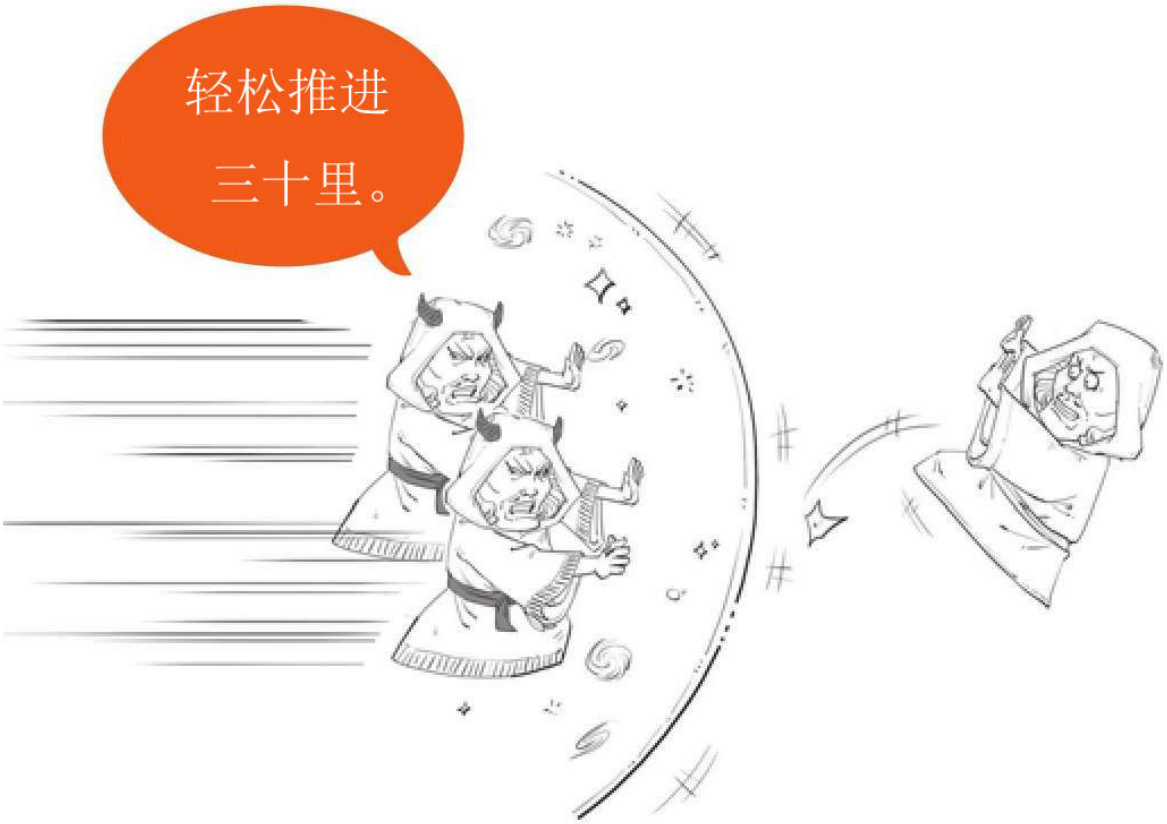
技能：排斥力

暗能量和暗物质极其不对付，一个想要宇宙收缩，一个想要宇宙膨胀，暗物质拥有吸引力，暗能量拥有的却是排斥力，双方的能力截然相反，是天生的冤家。

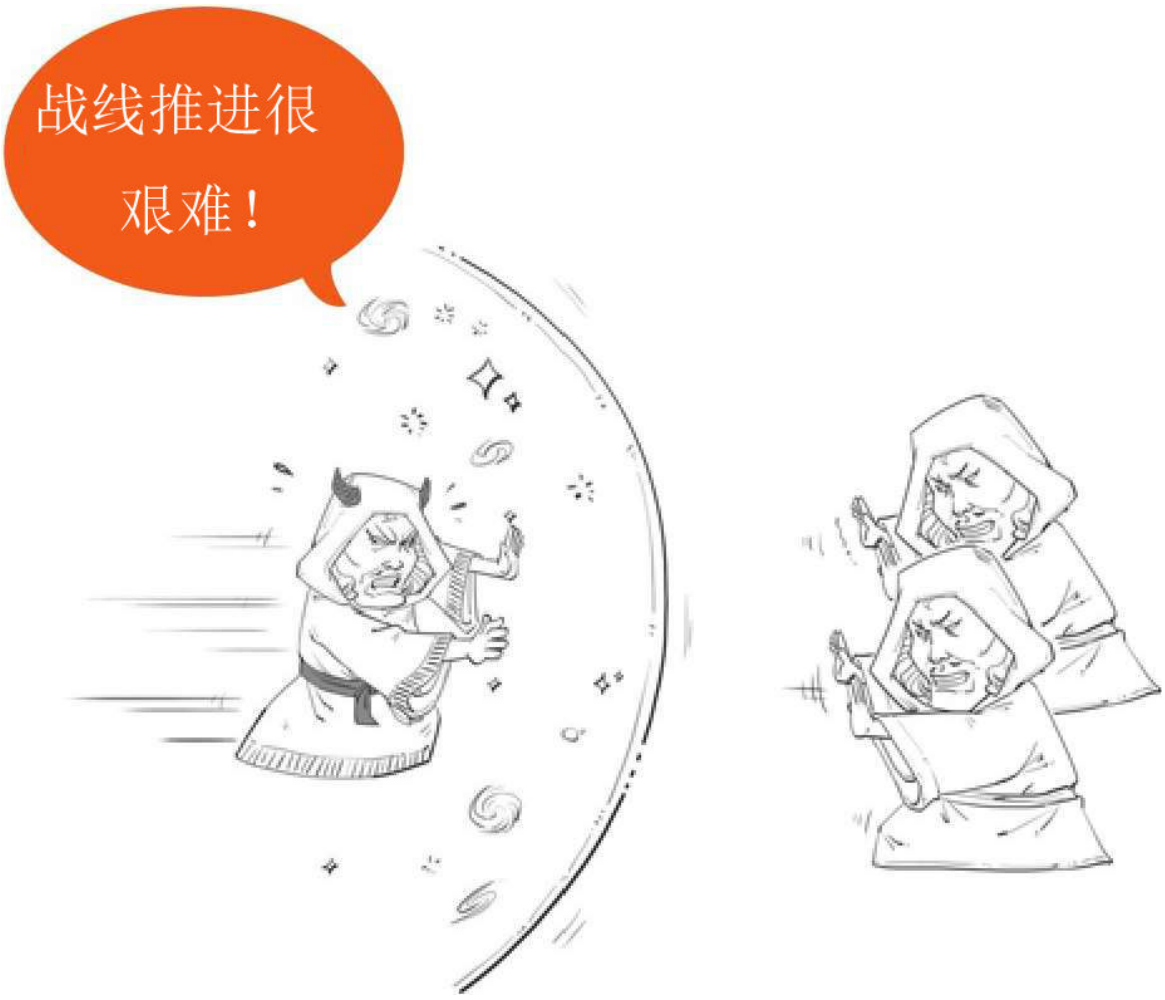


这样一来，就得比一比看谁更厉害。

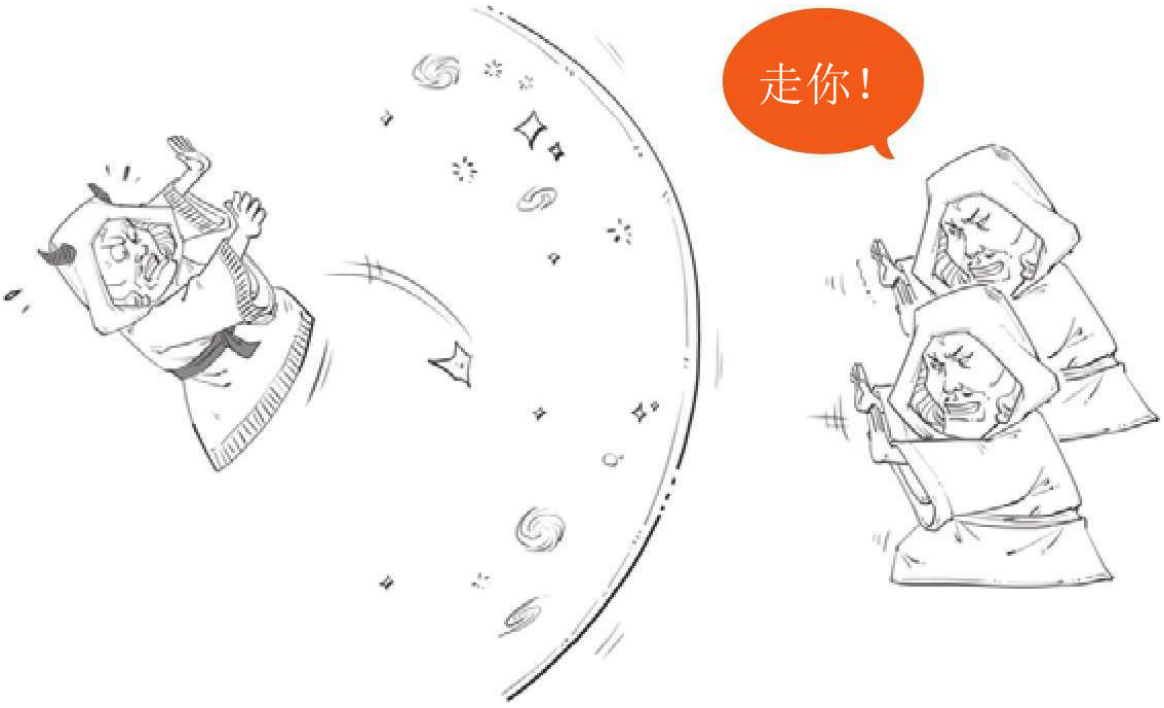
如果宇宙中暗能量比较多，空间就会在暗能量的排斥力下，膨胀得越来越快，也就是加速膨胀。



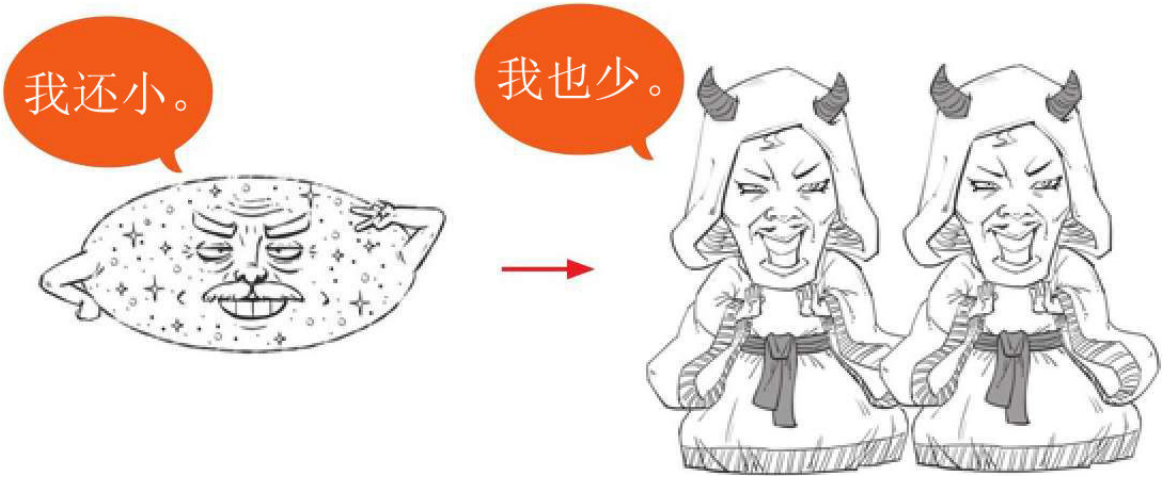
由于宇宙有个膨胀的初速度，所以宇宙还是要膨胀的，但如果暗物质比较多，吸引力占据主导地位，宇宙就会膨胀得越来越慢，也就是减速膨胀。

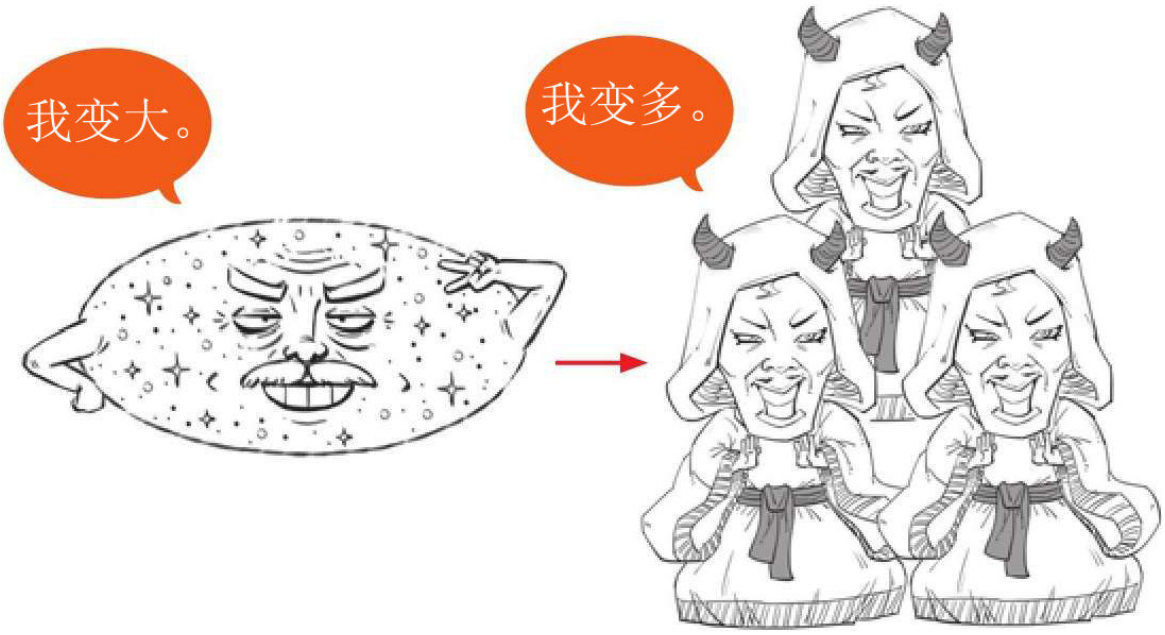


如果暗物质把宇宙膨胀的初速度耗完，那宇宙就会在暗物质的作用下，开始收缩。



而根据科学家的研究，暗能量可能还憋了一个终极大招：**密度不变**。意思就是，**空间越大，暗能量就会越多**。



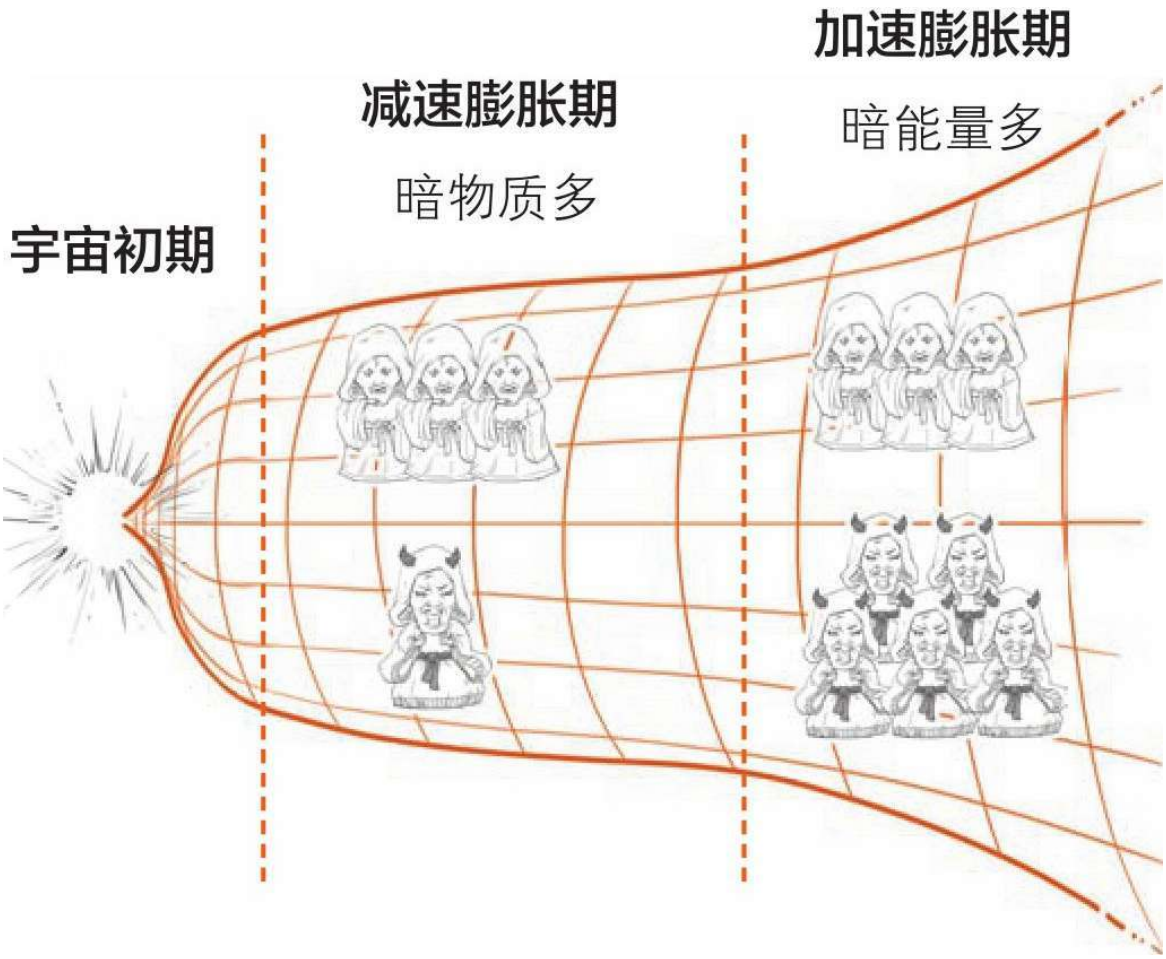




“密度不变”这个事情，只是目前的观测结果，至于是不是真的如此，还有待科学家们进一步研究。

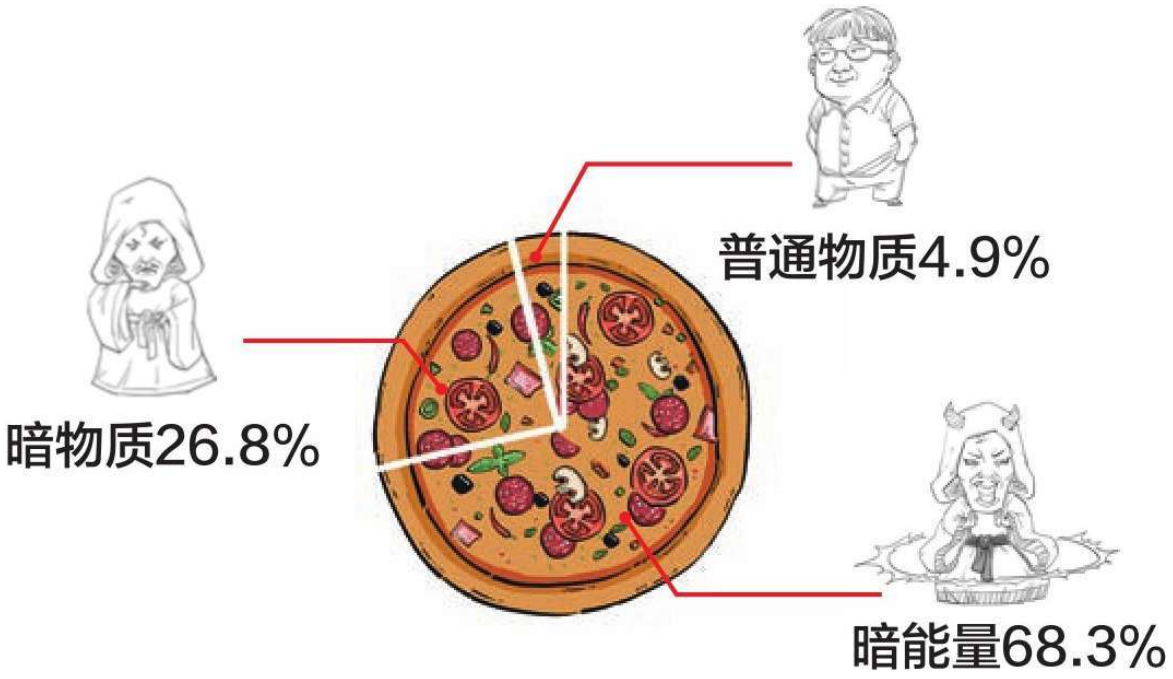
宇宙诞生之初，暗物质是绝对的主宰，暗能量一直在悄悄发育，一时半会儿还无法和暗物质对抗。所以，此时宇宙一直在减速膨胀。

但随着宇宙空间的膨胀，暗能量越来越多，终于到了40亿年前，也就是宇宙98亿岁时，暗能量完全占据了主导，开始促使宇宙加速膨胀，加速膨胀一直持续至今，暗能量也越来越多。





按照爱因斯坦质能等价的思想，**能量也能等效成质量**，那么，如今宇宙所有物质的比例就是：



看到这里，你应该明白了，暗物质和暗能量之间的较量，影响的是整个宇宙的未来走势。

如果未来**暗物质占多数**，并且一直持续下去，宇宙就会被挤压成一个奇点。



这也被称为大挤压。



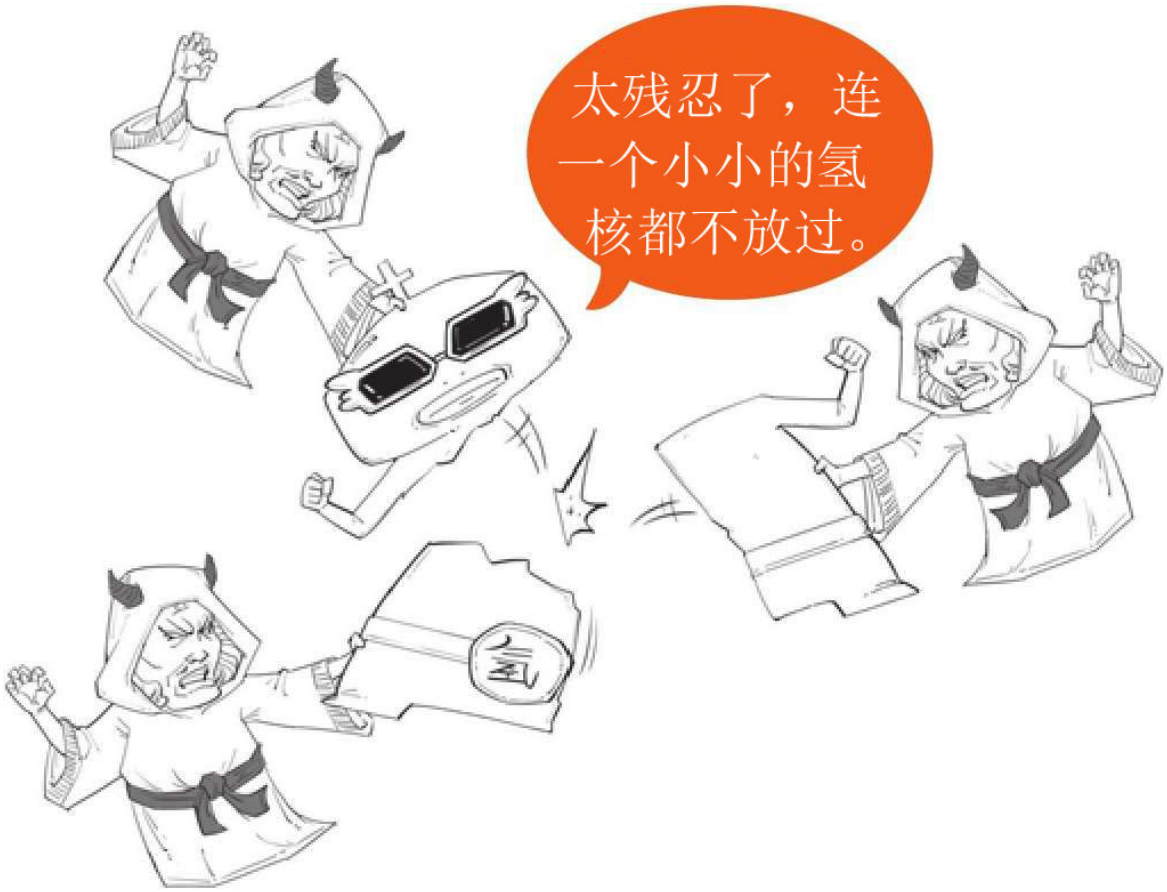
有人认为，宇宙被挤压到极致之后，还可能再次引发宇宙大爆炸，这也被称为**大反弹**。

在此基础之上，就有人提出：宇宙可能就是在“大爆炸-大挤压”中循环往复。

如果**暗能量占据**主导，宇宙就会一直膨胀下去，而这又会造成两种结果：

第一种结果

暗能量在整个宇宙空间都占多数，且能量密度随时间增强，那么即使是在暗物质势力范围内，空间也会持续膨胀，于是，原子结构都会被撕裂开。这也被称为**大撕裂**。



第二种结果

还记得那张大纤维状的网吗？“网线”的外围是暗能量占多数，“网线”上还是暗物质和普通物质占多数，宇宙整体上是斥力主导，

局部地区是引力主导，此时，宇宙中就会出现一个个**物质组成的孤岛。**

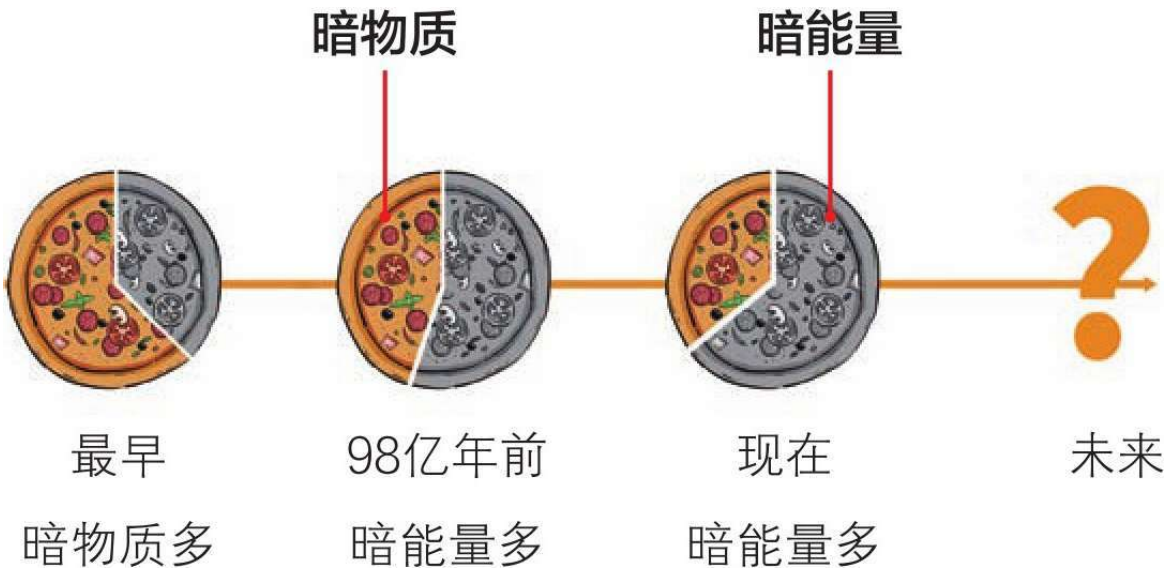




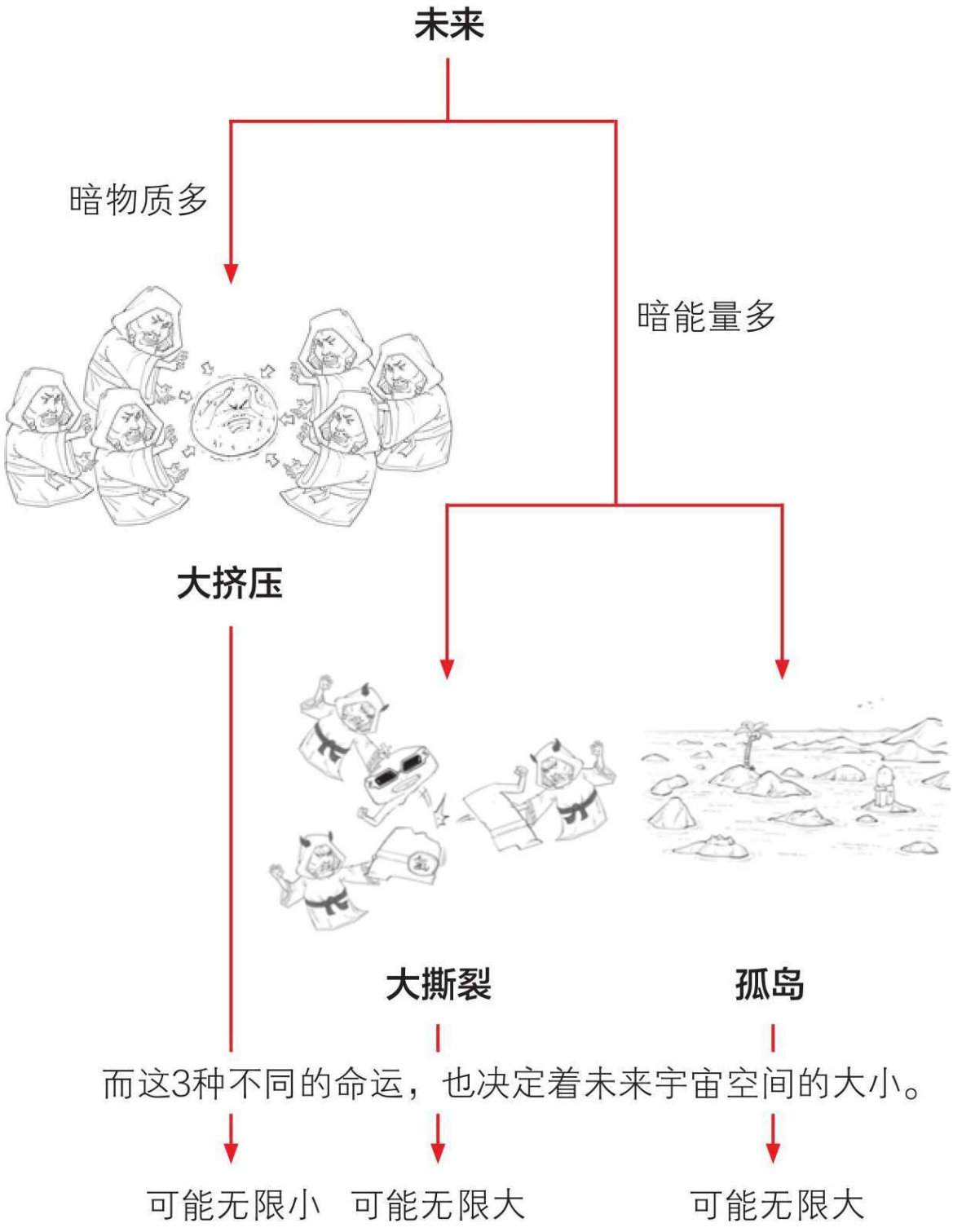
温馨提示：

除了以上几种结果，根据热力学定律，还有一种假说是**热寂说**。这里我们暂不细说。

因为宇宙中物质和能量的比例并不是一成不变，而是一直动态变化的，所以宇宙未来究竟如何发展，还需要科学家们继续研究。



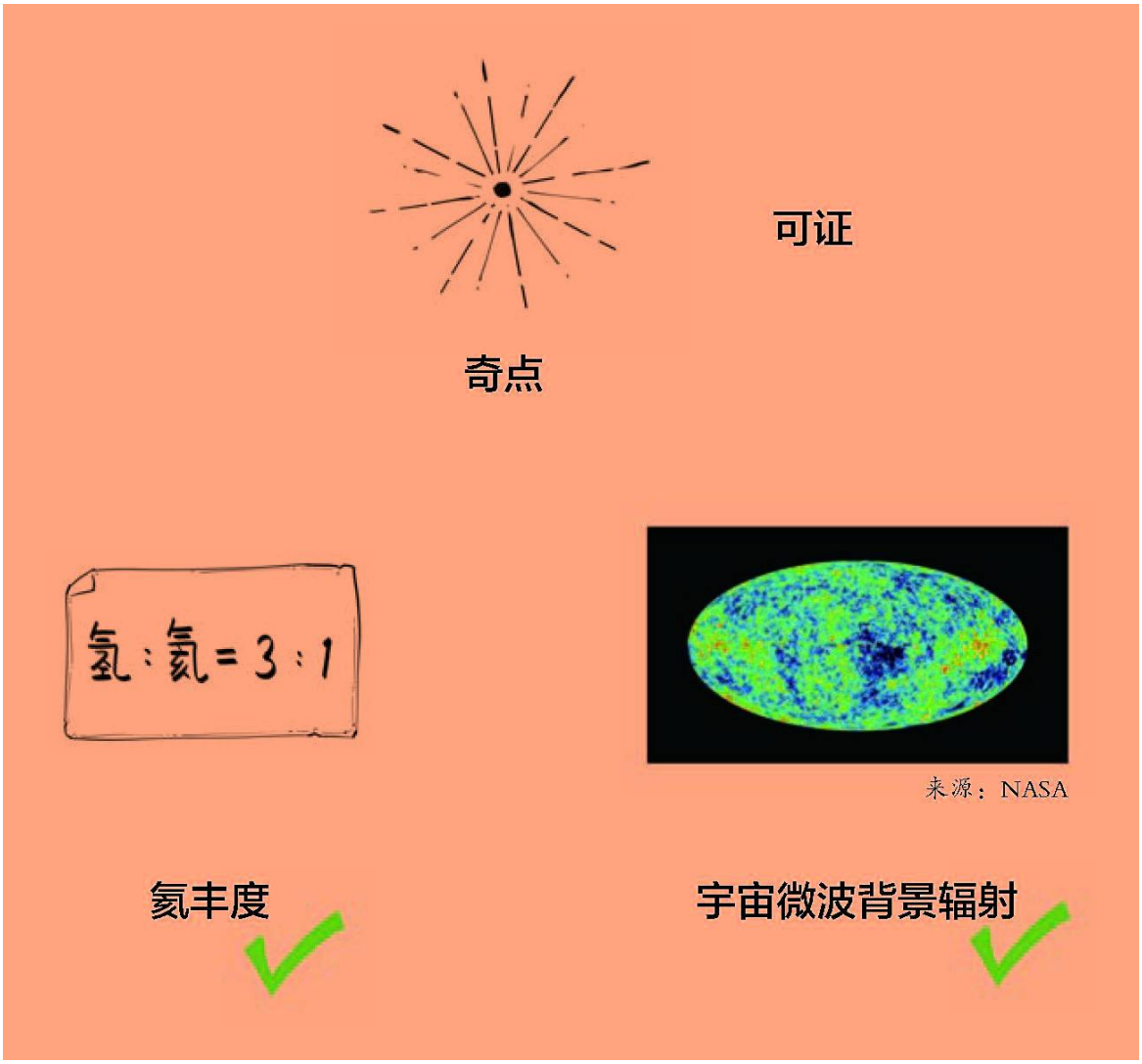
总结一下：宇宙的未来可能掌握在暗物质和暗能量的手里，它们的比例决定了宇宙未来的终极命运。


未来
暗物质多
暗能量多
大挤压
大撕裂
孤岛
而这3种不同的命运，也决定着未来宇宙空间的大小。
可能无限小
可能无限大
可能无限大



关于宇宙的一生及其终极命运，我们就聊到这里。

五、怎么证明宇宙是大爆炸产生的？



话说我们前面把**大爆炸宇宙论**讲完了，这理论脑洞奇大无比，不像是人的脑回路能想出来的理论，连科幻片都不敢这么拍。

看完大爆炸宇宙论的人，心里大概都会有一个共同的疑问：



看上去好像是胡编乱造，可人家还真的是正经的科学理论。



这一章我们就来聊聊：

大爆炸宇宙论是咋来的？

1. 大爆炸理论的诞生

话说古代没有电视，大晚上没啥事干，无聊得很，有一些人就会看星星。结果他们发现，除了太阳、月亮和几颗星星，其他天体好像都不咋动。

于是，一些人就得出了一个结论：

宇宙是永恒不变的，没有开端。



在这个基础上，古代的大佬们提出了他们心目中的宇宙模型，其中托勒密完善了——



后来，哥白尼又提出了——



两派学者争论了好一阵子，谁也没掐过谁。



直到我们的老朋友牛顿横空出世。传说他的脑袋被苹果开过光……



艾萨克·牛顿

尊称：牛爵爷

性格：刚烈，非常傲娇

近代物理学之父

于是，牛爵爷大彻大悟，得出了解释天体运行的奥秘：

万有引力定律。

这个理论的大意是：万物之间存在相互吸引的**引力**，质量越大，距离越近，引力就会越大。万有引力揭示了一个宇宙真理：吨位决定地位，谁减肥谁吃亏。



这就解释了为什么月球会绕着地球转，地球会绕着太阳转。万有引力定律把宇宙中天体的运动解释得明明白白。

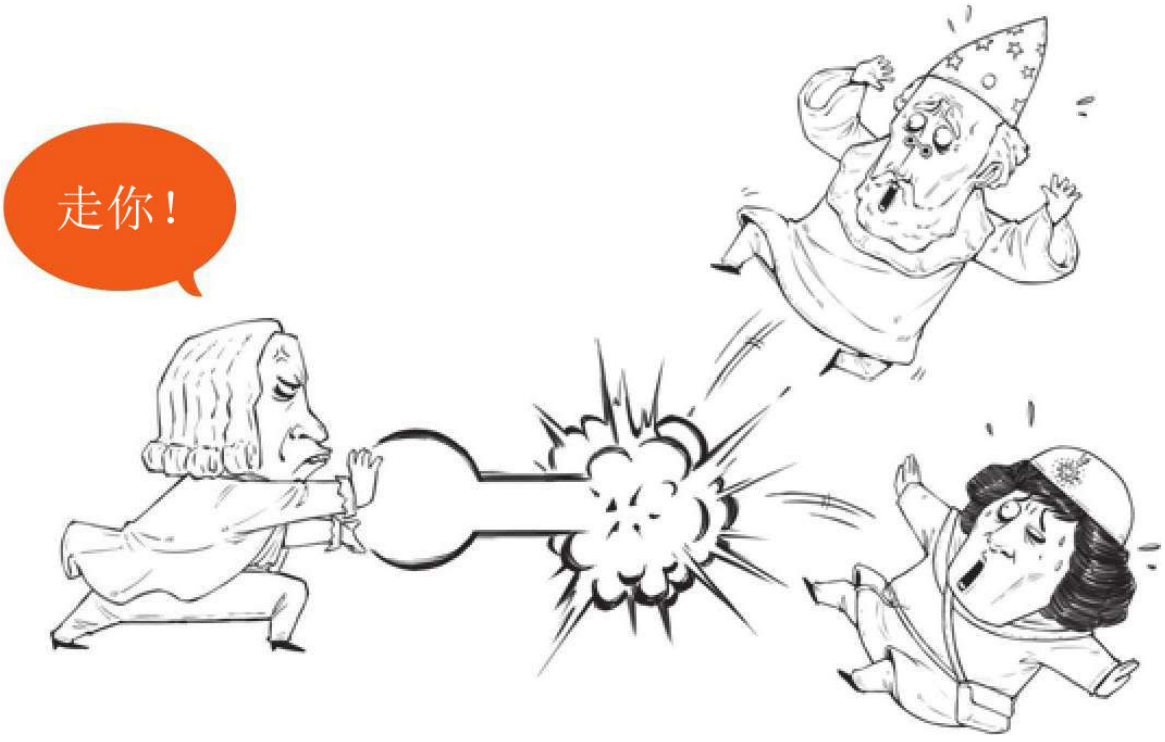


万有引力定律告诉我们一个道理：

宇宙哪有什么中心，
如果有，那么宇宙处处是中心！



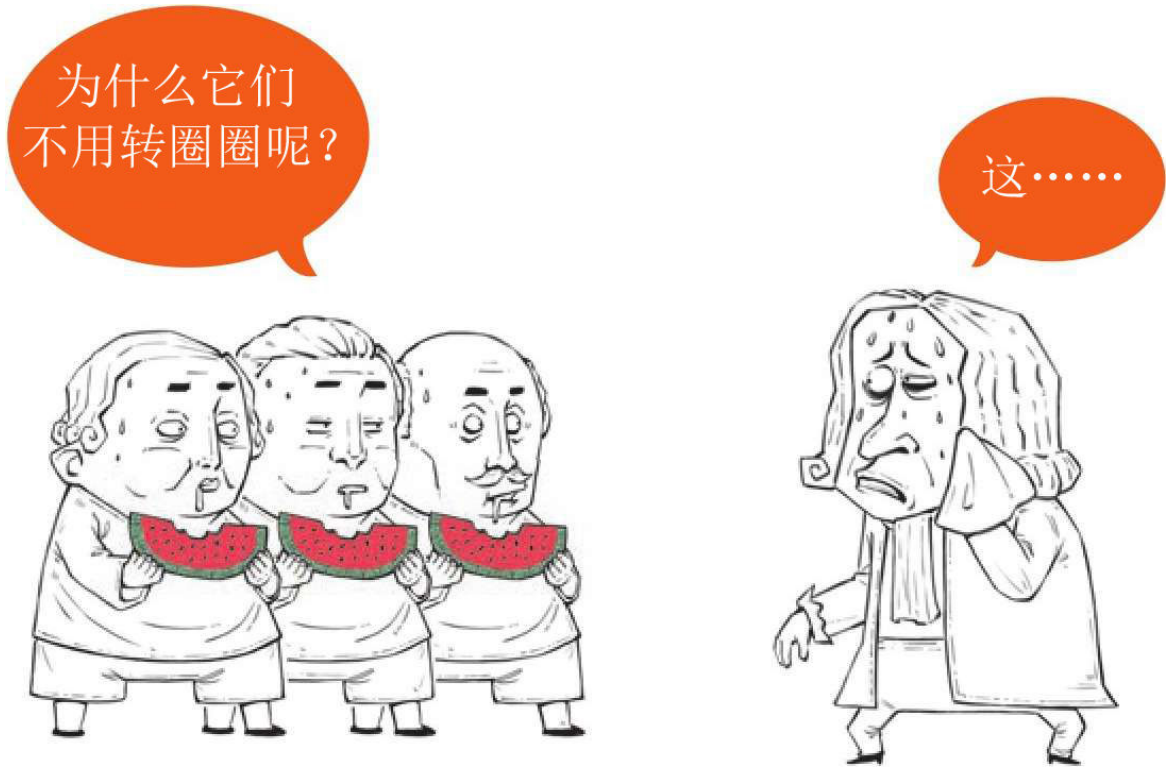
牛爵爷的万有引力定律一口气推翻了托勒密的地心说和哥白尼的日心说。



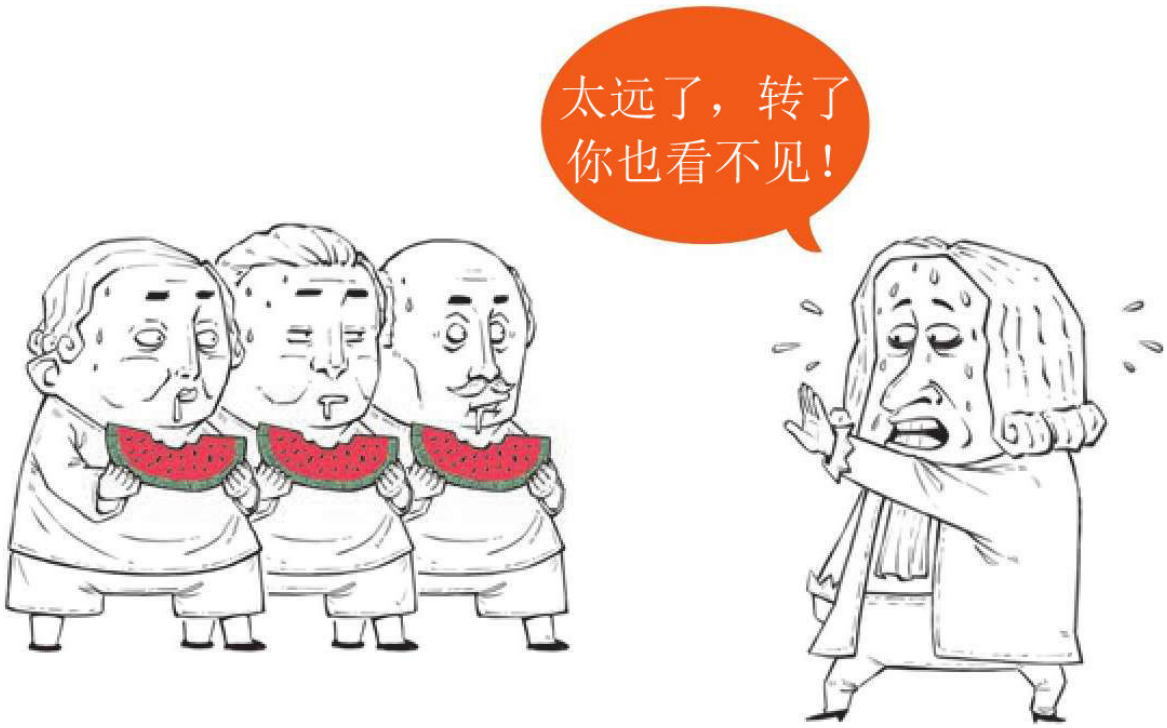
牛爵爷本以为自己一锤定音了，可万万没想到，仍然有两个问题解决不了：

Q1：宇宙边界

在遥远的夜空里，有些星星一动不动，如果它们都受万有引力的作用，



对于这个问题，牛爵爷只能强行解释：





后来的事实证明，牛爵爷还真蒙对了，宇宙中的天体距离我们超级远，很难观测到它们的转动。我们在开篇聊过，宇宙很有可能是无限大的。目前，关于宇宙边界，学术圈还没有统一的看法。

Q2：宇宙起源

天体都在转圈圈，



牛顿无法解释这个难题，于是，他提出了一个观点：可能是上帝给了天体最初转动起来的力。



这也被称为**第一推动力**。

这个问题也曾深深地困扰着牛爵爷。


没有什么是一个苹果解决不了的。
牛



但问题总得解决，许多学者都尝试掺和一下，可惜都没有什么实质性的进展。

直到牛顿逝世200多年后，科学界的另一尊大神爱因斯坦横空出世。



爱因斯坦

成名绝技：相对论

地位堪比牛爵爷

现代物理学的扛把子

老爱提出了一个著名的理论：

广义相对论。

在这个理论中，老爱推导得到了一个方程：

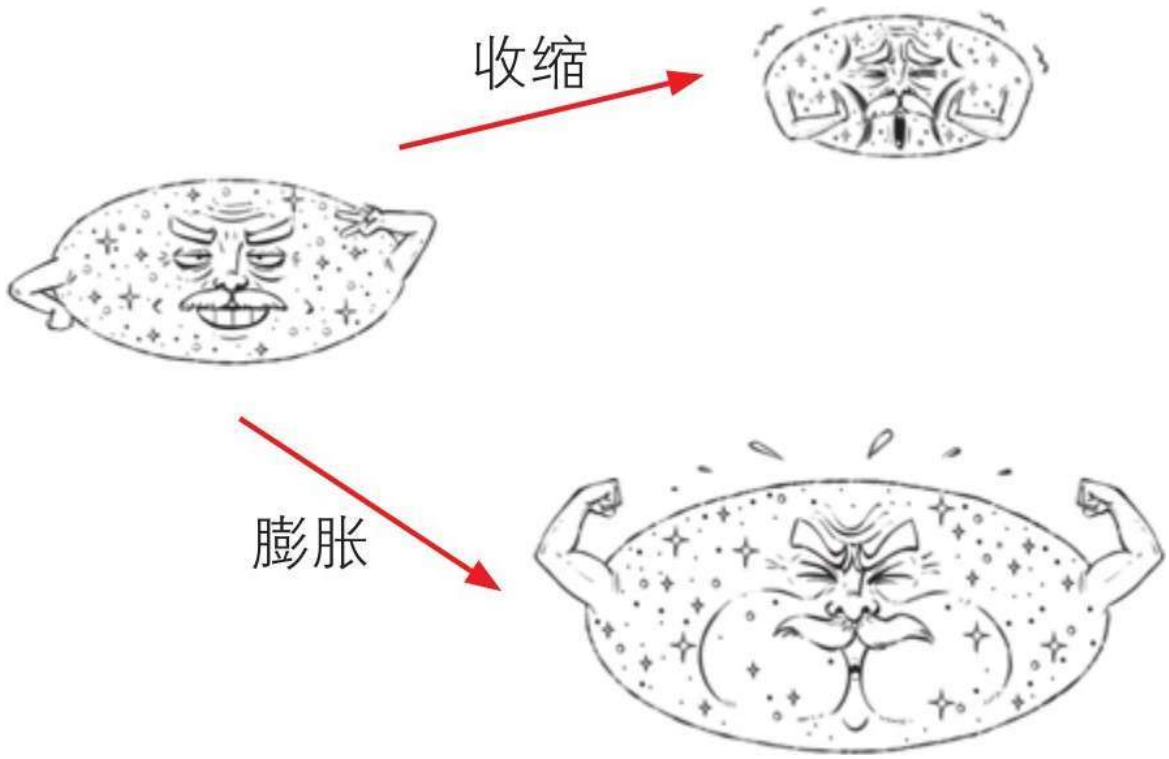
引力场方程。

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



引力场方程是一个结合了时间、空间、物质、运动、能量、动量等物理量的方程。方程的意义是：空间物质的能量-动量分布决定了空间的弯曲状况。

这个方程很复杂，不过你只需要知道这个方程说明：随着时间流逝，宇宙空间会发生**膨胀**或**收缩**。

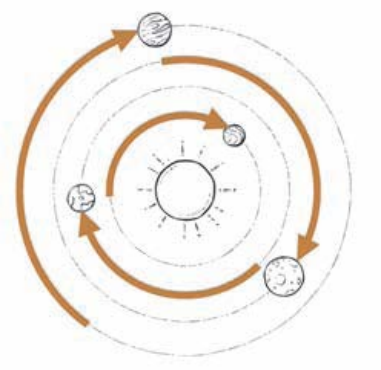


不管是不是宇宙也跟随时代潮流忽胖忽瘦的缘故，这个发现让老爱一度怀疑人生，三观被震得粉碎。



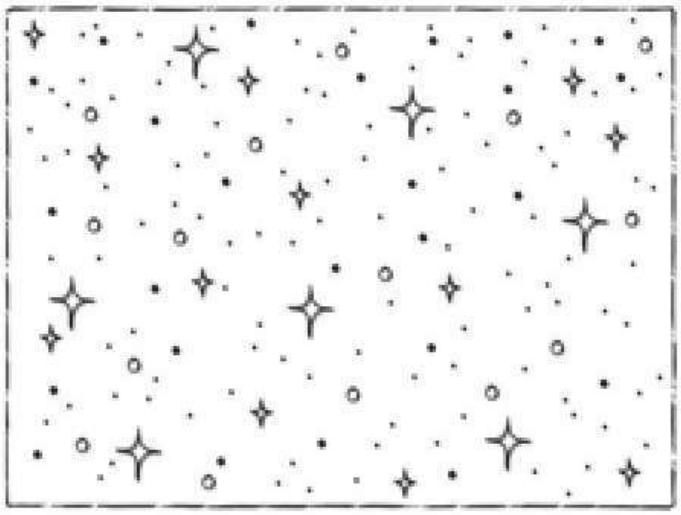
为什么爱因斯坦的反应如此激烈？

因为最初老爱和牛爵爷的看法是类似的，他们都认为，**宇宙大体上是一片岁月静好。**



小尺度上，从夸克、质子到星系、星系团，大家都在转圈圈。

大尺度上，大到超星系团，甚至可观测宇宙，都不会随着时间发生剧烈的变化。



这也是当时人们主流的宇宙观。



这个方程颠覆了当时人们的宇宙观，因为从这个方程来看，宇宙应该是既可以**膨胀**又可以**收缩**，而不是静止不变的。

广义相对论眼看就要打开人类认识宇宙的大门，可是这门还没来得及打开，就被老爱自己关上了。

为了让方程符合自己的三观，老爱就开始对这个方程动手动脚：

原来的方程：

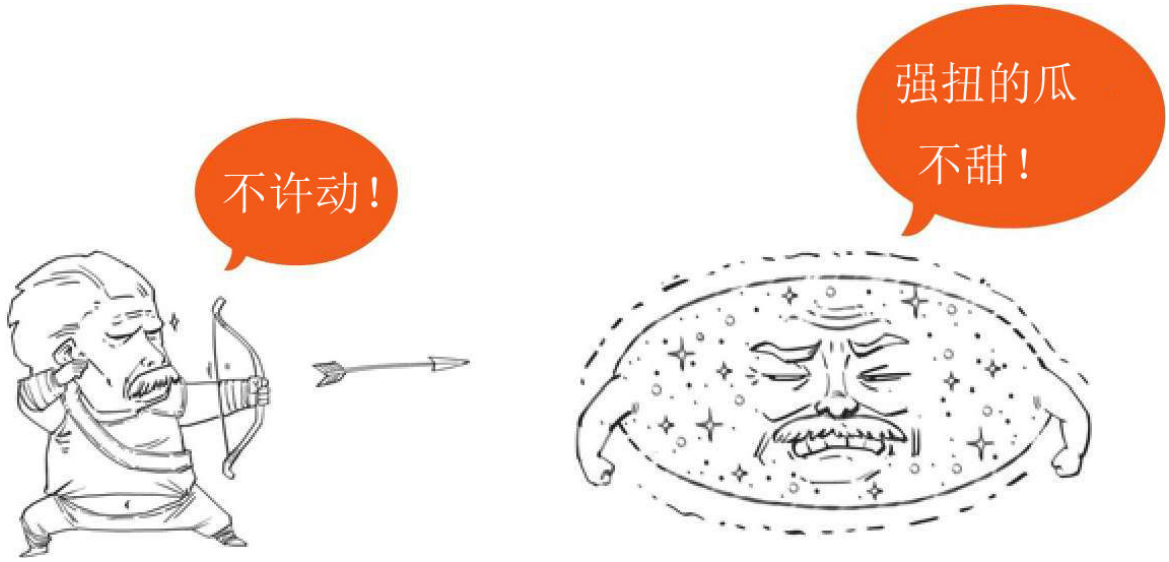
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

爱因斯坦改过的方程：

$$R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}R\cdot g_{\mu\nu}+\Lambda\cdot g_{\mu\nu}=\frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

宇宙常数

老爱在方程中加入了宇宙常数这一项，只要这个“宇宙常数”取值合适，方程描述的宇宙就可以岁月静好，不会随时间的流逝而变化。



可是这样硬凑出来的静态宇宙，维持条件很苛刻，非常不稳定，这瞒不了懂行的人。

于是，就有个年轻人跳出来反对，他不仅挑战老爱，还敢当面打老爱的脸，简直不给老同志面子。这个年轻人就是：

勒梅特

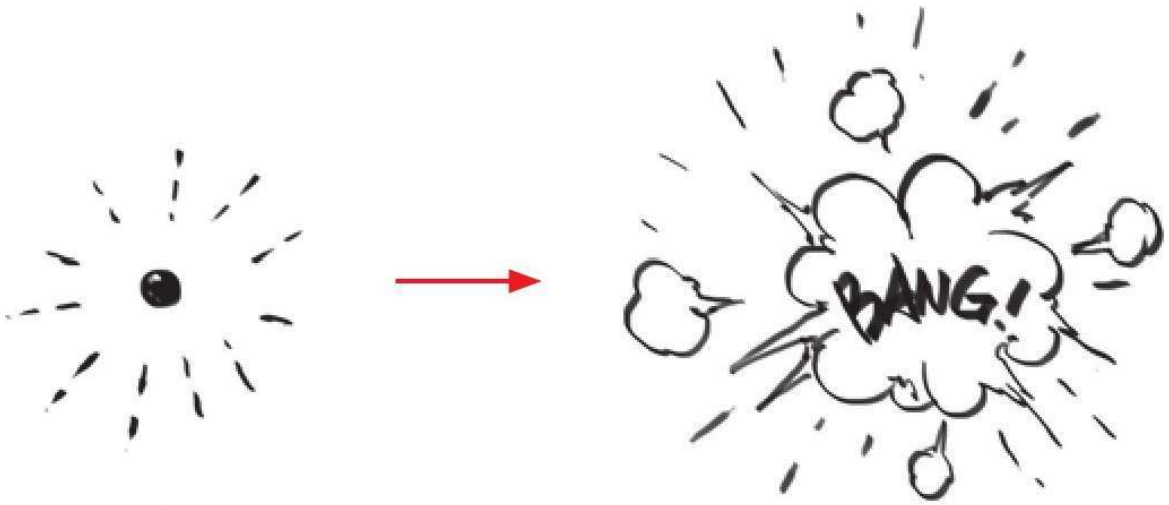
比利时天文学家

特点：物理学得特别好



勒梅特拿着老爱的方程，一顿操作猛如虎，搞出了一套全新的理论：

宇宙是由一个**原始原子**或者**宇宙蛋**爆炸产生的，爆炸后，宇宙就开始不停**膨胀**。

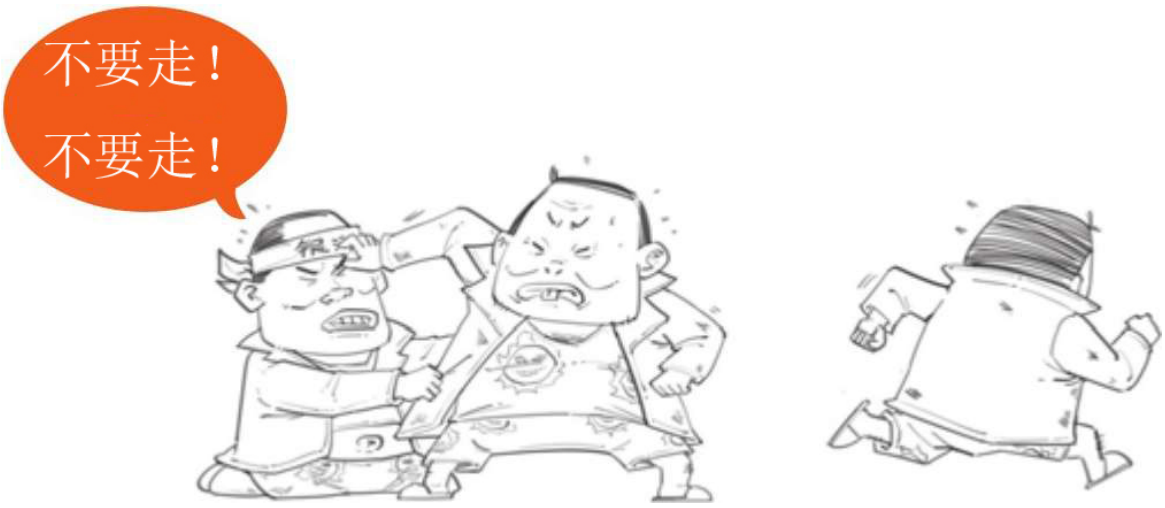


原始原子

这被称为“原始原子”假说，或者“宇宙蛋”假说，同时也是**大爆炸宇宙论**的原型。



勒梅特不仅提出了理论，还指出宇宙膨胀会造成**星系在远离我们**这一现象。



因此，勒梅特认为，通过观测星系是否在远离我们，就可以证明宇宙是否在膨胀，进而证明宇宙是大爆炸产生的。

被勒梅特一折腾，原本岁月静好的宇宙，就变得风起云涌，还弄出个起源。更关键的是，勒梅特还拿给老爱看，这老爱哪受得了。



不过，勒梅特只是从理论上推导，到底靠不靠谱，还需要观测来证明。

2. 宇宙大爆炸靠谱吗？

好巧不巧，勒梅特刚从理论上打了老爱的脸，另外一个天文学界的小鲜肉，也没打算放过老爱。



爱德文·哈勃

人送外号：星系天文学之父

喜好：仰望星空

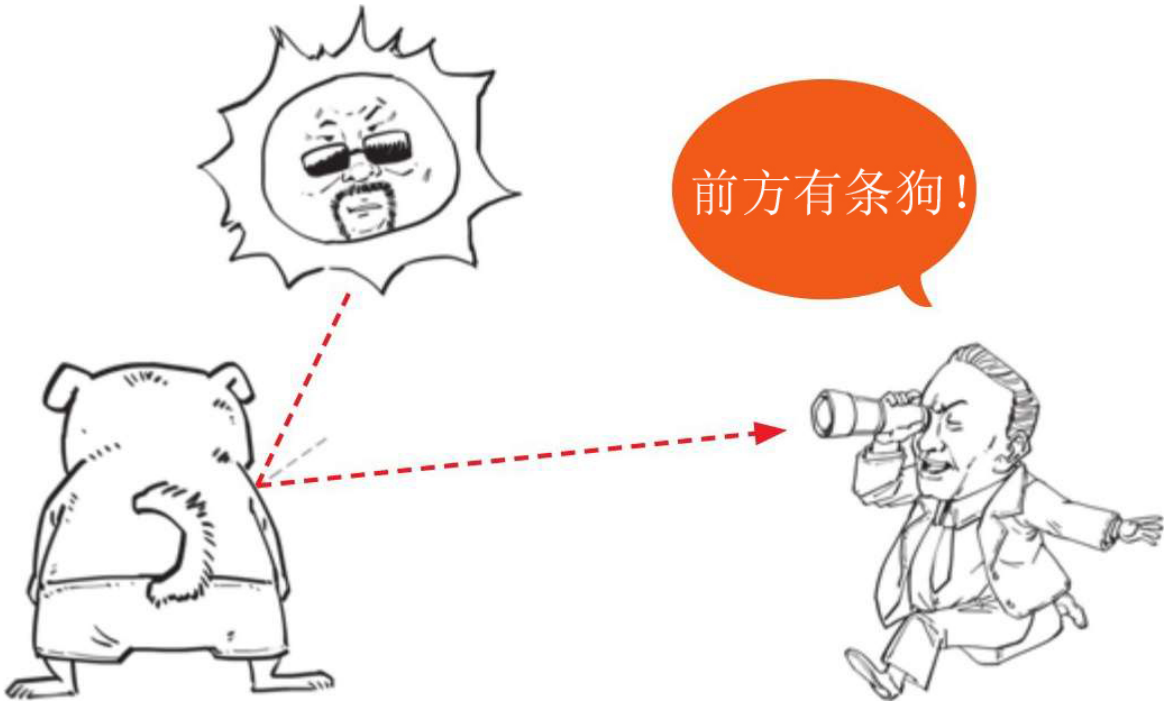


哈勃在天文学观测领域是绝对的大佬，大名鼎鼎的**哈勃望远镜**就是以他的名字命名的。

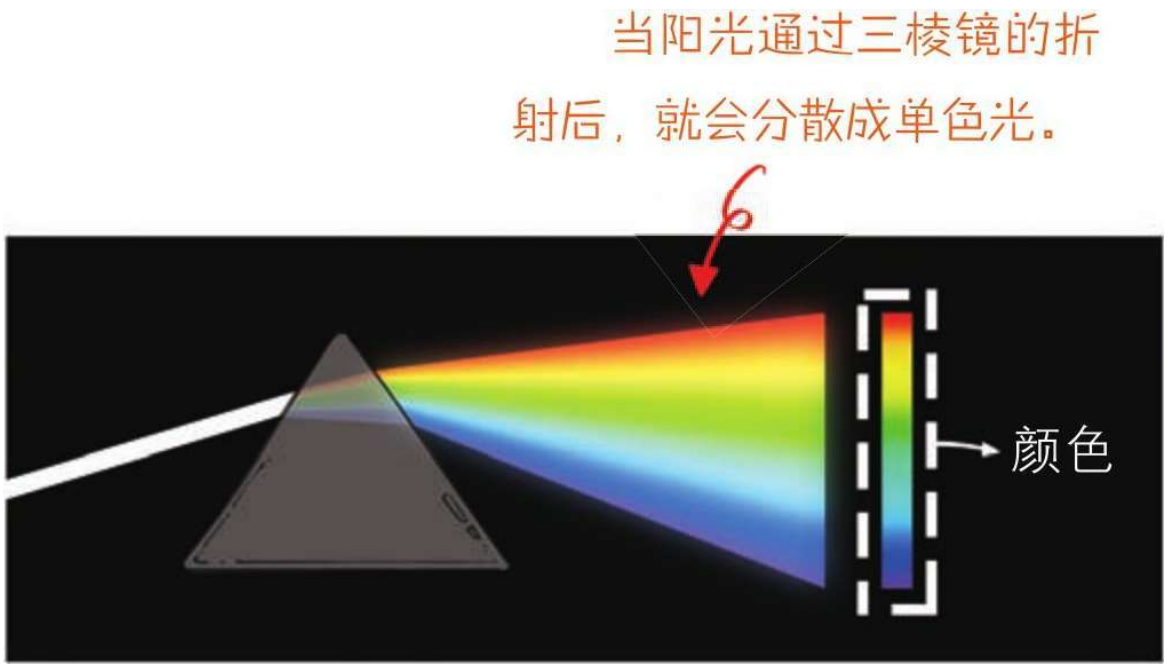
有一段时间，哈勃都在观测银河系外的其他星系，结果他发现，银河系外的大多数星系在发生**红移**。

那么，啥是红移呢？

天文学家们观测天体和我们平时看东西的原理是一样的，简单来说，就是物体（天体）发光或者反射光，**光射到眼睛（望远镜）里，**我们就看到了东西。

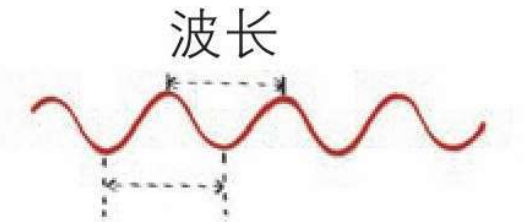


可是常见的阳光不单纯，它是一个“团伙”，由好几种单色光共同构成。

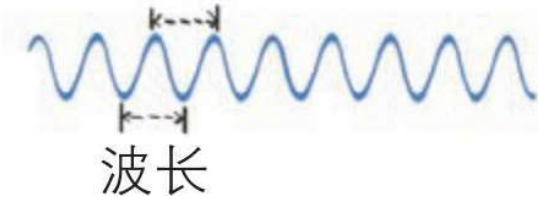


光的本质是电磁波，不同的单色光**波长**不一样。比如，

红光波长长



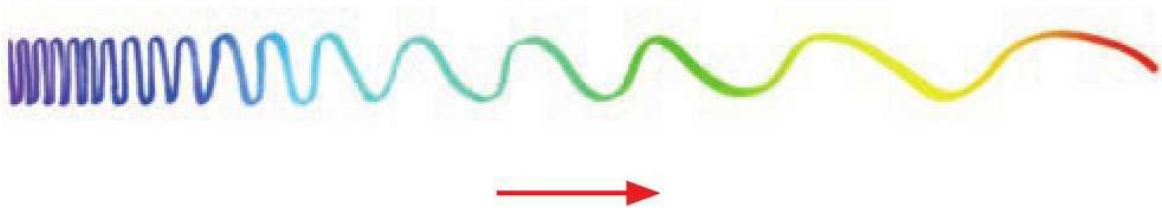
蓝光波长短



波长：一列波中最小的重复单元。

把这些单色光按照波长由短到长依次排列，就形成了光谱。

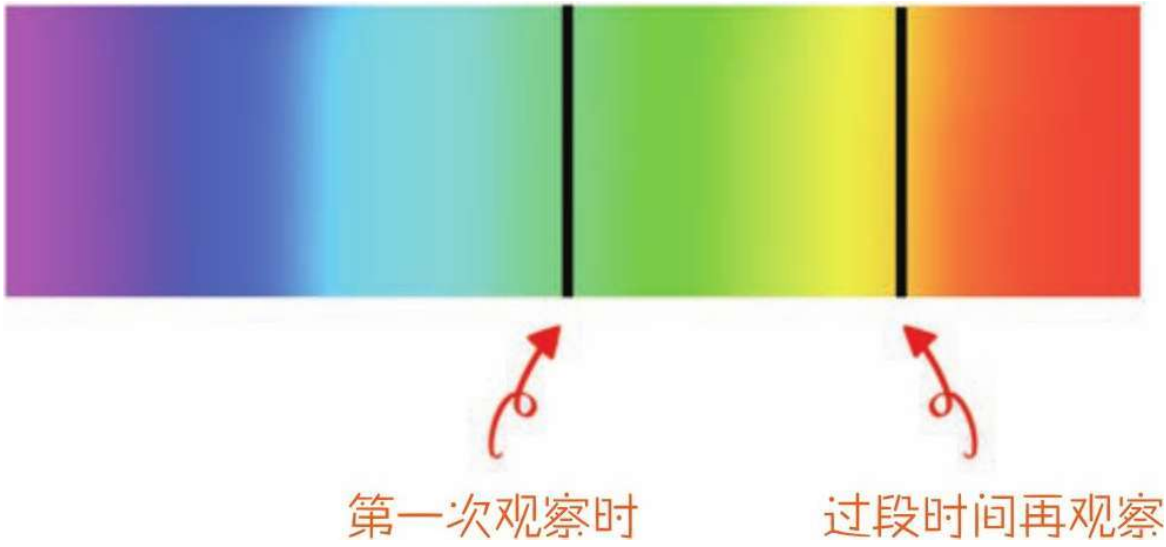




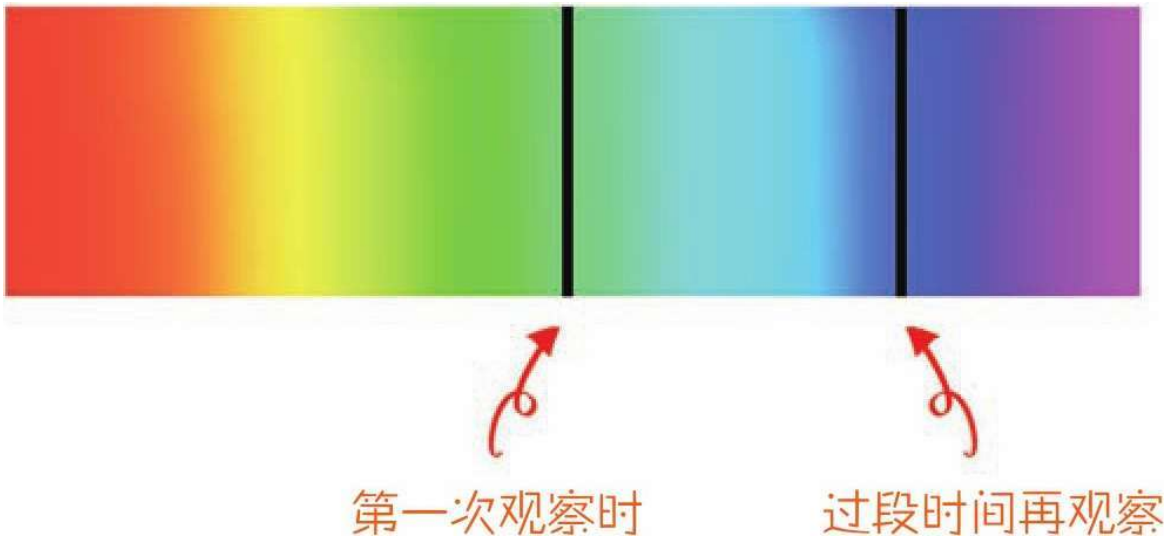
从紫色到红色，波长越来越长。

依据这个原理，当星系发出的光被我们接收后，我们就会把它分成单色光在光谱上标记出来。

如果星系正在远离我们，我们接收到的光，波长越来越长，这就是**红移**。



反过来，如果星系正在靠近我们，我们接收到的光，波长越来越短，这就是**蓝移**。



搞清楚了红移和蓝移，我们再来看看，

哈勃到底看到了什么呢？

当哈勃把望远镜对准银河系外的其他星系时，按老爱和牛爵爷的想法，光的波长应该是不变的。



可实际上，波长却是变化的，而且越变越长。

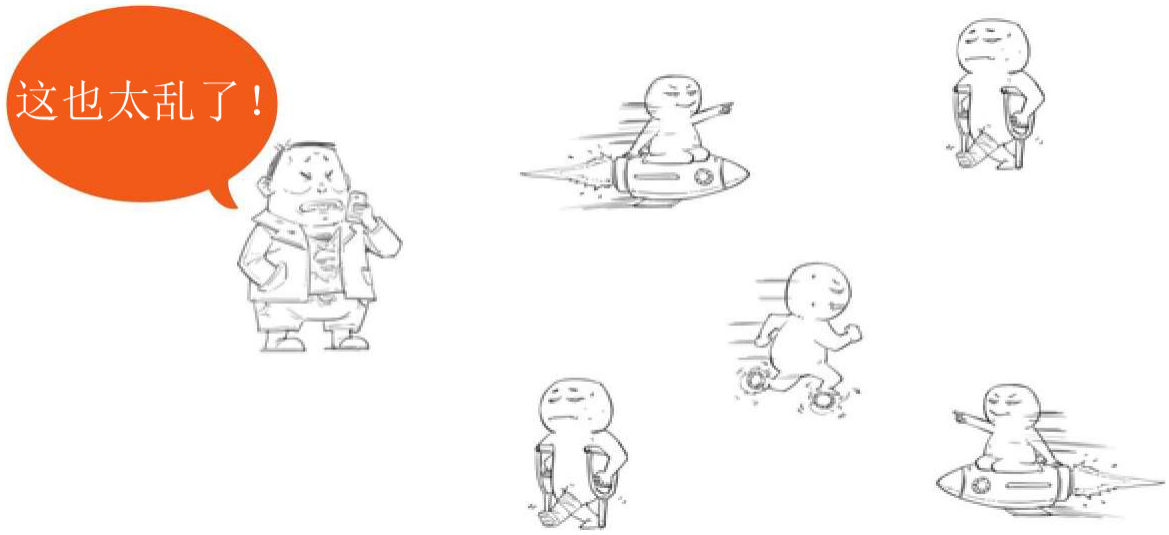


同一个星系发出的光，波长竟然在逐渐变长，这就意味着出现了红移现象。

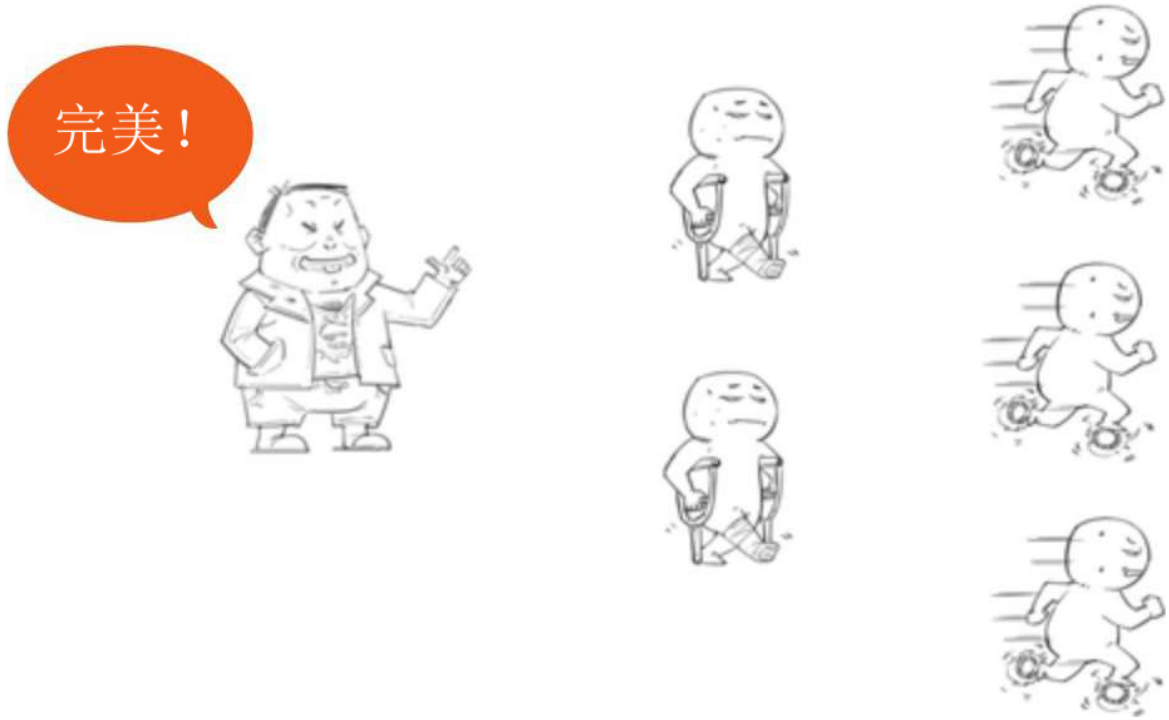
不仅如此，他看到**银河系外的星系大都在发生红移。**而且**距离我们越远，红移就越明显。**

那这又该如何解释呢？

宇宙中那么多星系，每一个都有自己的个性，如果是它们自由移动，我们应该会看到有的红移，有的蓝移。

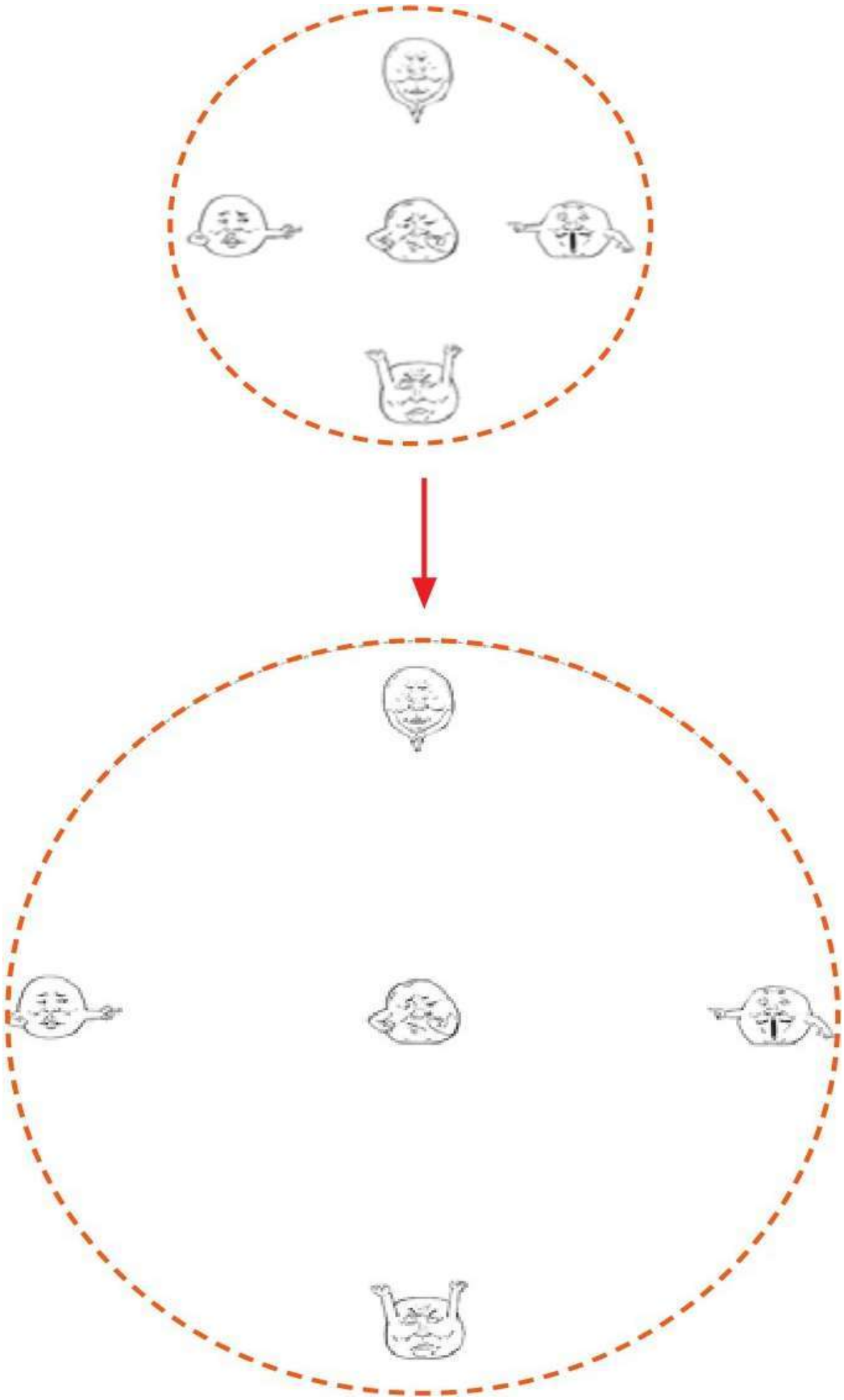


但现在的情况是，大家几乎统一在红移，而且越远，红移越明显。

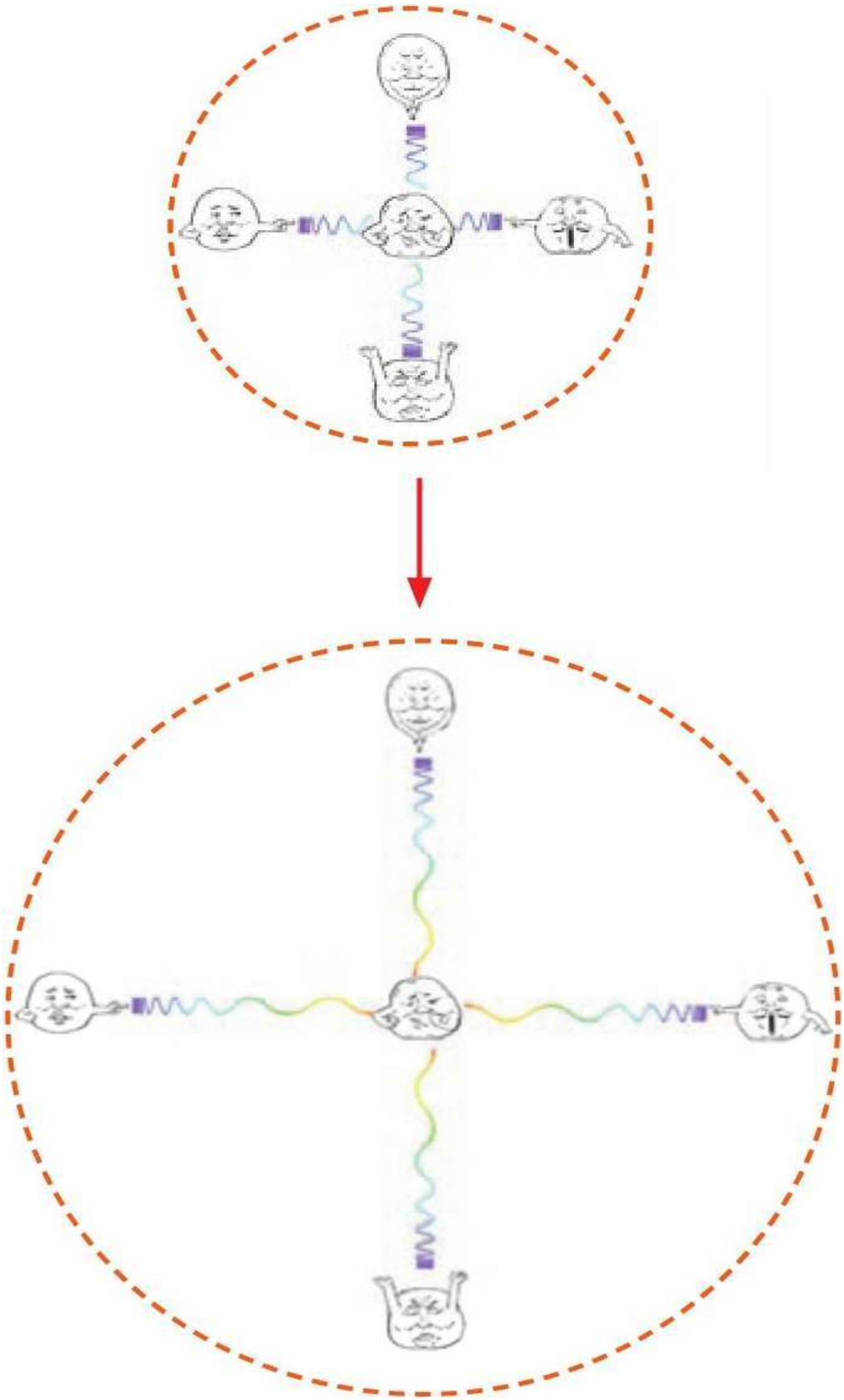


所以，肯定不是星系自己在移。科学家想了想，认为这很有可能是因为宇宙自身的膨胀，所以宇宙处处都在等比例地变大，天体也以

这样的方式离我们远去。

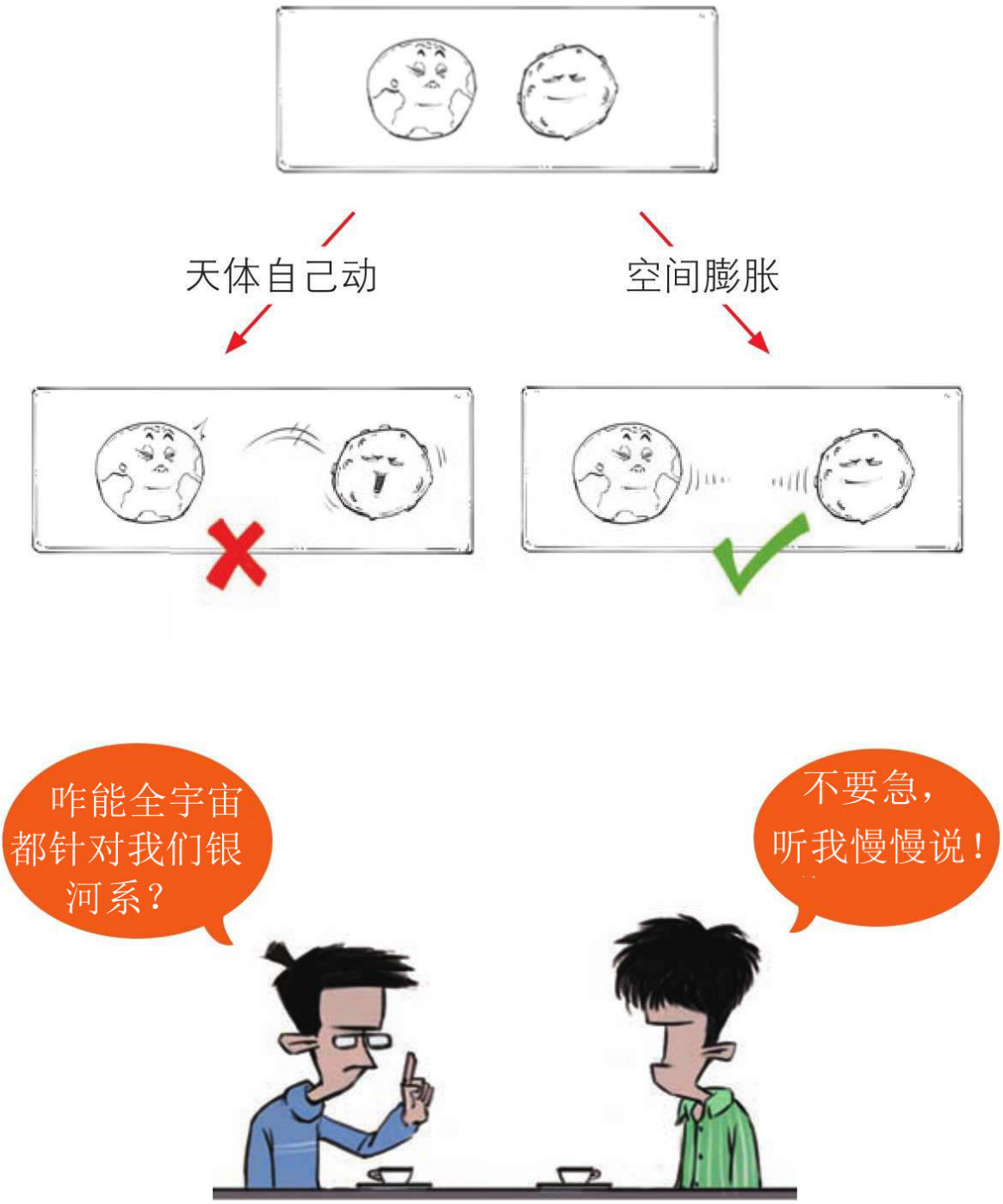


于是，光在传播的过程中，被空间膨胀拉长了，波长也就变长了。



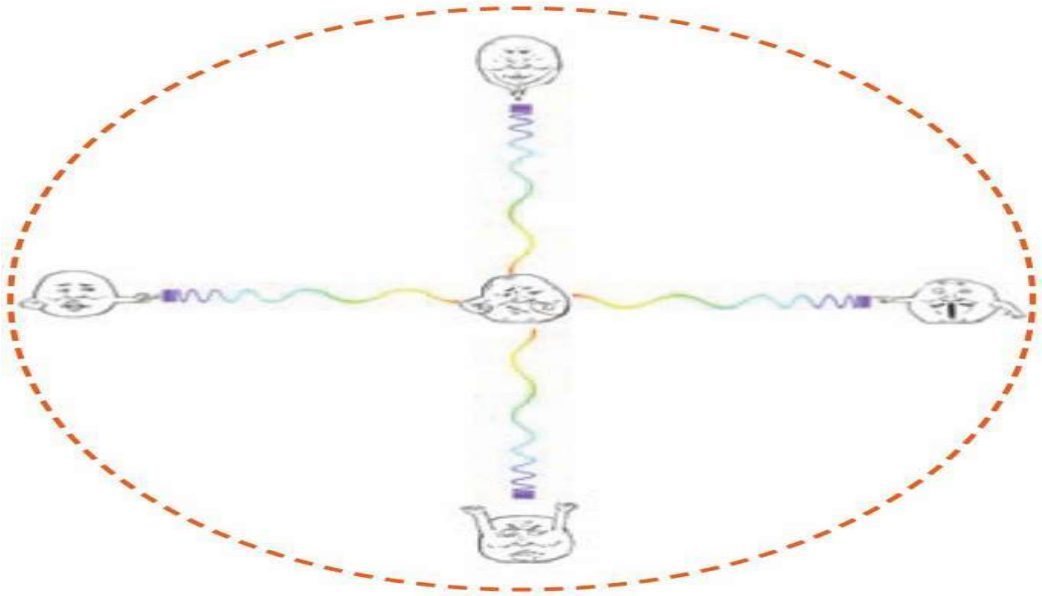
星系离我们越远，宇宙膨胀的程度就越剧烈，红移现象也越明显，也就是说，星系离开我们的速度越快。

注意了，这不是天体自己在运动，而是空间在膨胀。

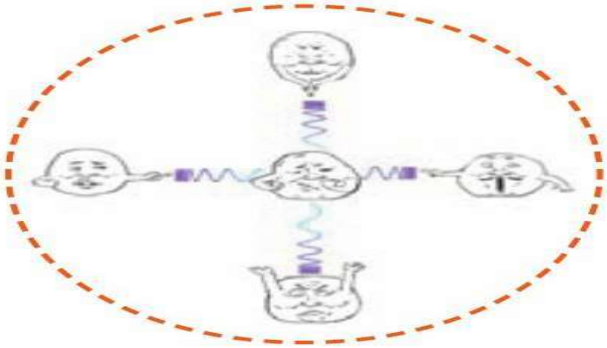


根据“宇宙膨胀”这个结论，再加上一点儿逆向思维，你就跟乔治·勒梅特一样，会认为宇宙是从**“一个原子”**爆炸出来的。

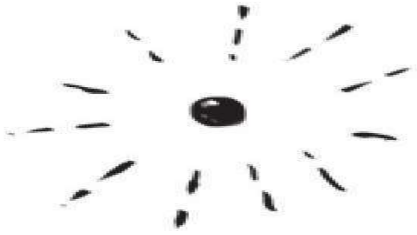
现在



以前



最初



哈勃的观测结果就成了宇宙在膨胀的关键证据，这让老爱非常尴尬，毕竟他当初忍不住去加的那个宇宙常数，如今似乎是不太需要了。



据说，爱因斯坦认为，这是他一生中犯过的最大的错误。



当然，红移现象只能说明宇宙正在膨胀，如果想要证明宇宙真的是从大爆炸中诞生的，还得拿出更多证据。

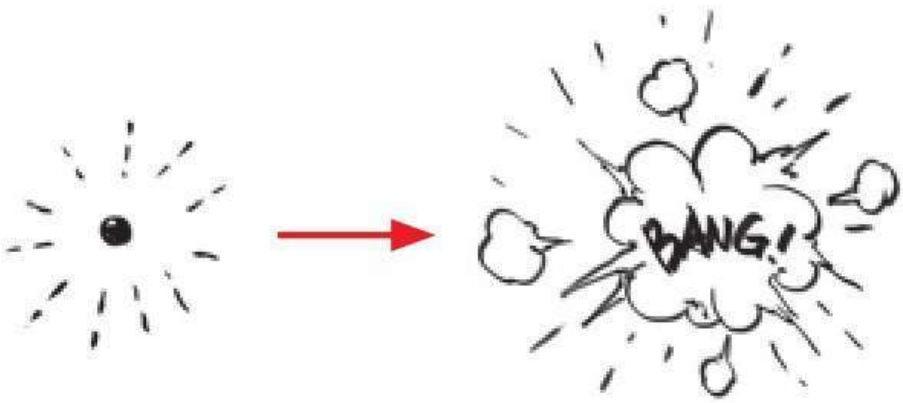
3. 宇宙爆炸早期的证据

正式开始之前，我们先回顾一下前面聊了些啥。

爱因斯坦整出了**引力场方程**。

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

勒梅特根据引力场方程推算出**宇宙起源于大爆炸**。



哈勃观测到红移现象，**证明了宇宙膨胀，支持了大爆炸学说**。



勒梅特只是猜测到**宇宙可能是从大爆炸中产生的**，但宇宙究竟是怎么一步步变成今天这样的，尤其是宇宙早期到底发生了啥，这就触及了勒梅特的知识盲区，他没法解释。

话说宇宙早期的故事和微观尺度紧密联系，所以，只能靠研究微观尺度的核物理学家来解决。

当时有个师徒三人组：



乔治·伽莫夫



拉尔夫·阿尔菲



罗伯特·赫尔曼

他们运用核物理学的知识，融合了相对论和宇宙学，提出了**宇宙大爆炸模型**，并给出了3个预言：

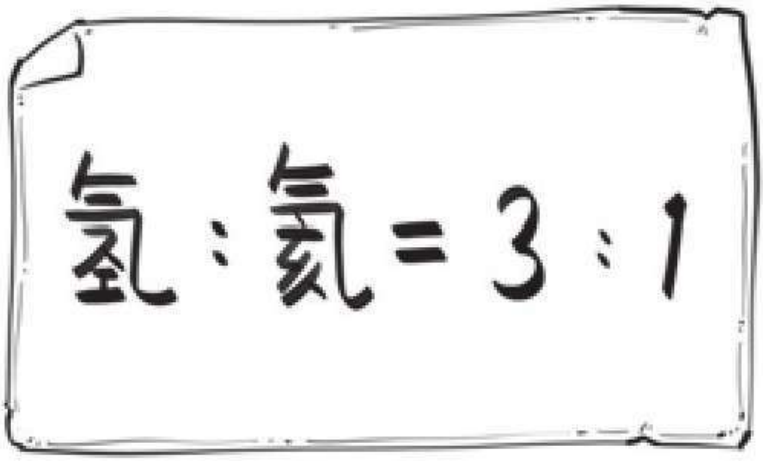
预言1：**奇点**

宇宙起源于“奇点”的爆炸。奇点的温度和密度都无限大。



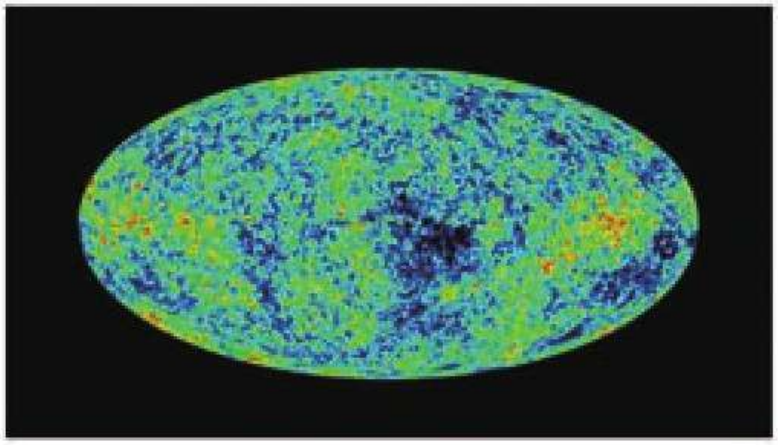
预言2：**氦丰度**

大爆炸产生的氢元素和氦元素质量之比是3∶1。



预言3：**宇宙微波背景辐射**

宇宙大爆炸的余热至今还存在。



来源：NASA

可是这仅仅是假说，科学是要讲证据的，证据究竟要怎么找呢？

Q1：奇点

到现在为止，我们连描述奇点的物理理论都还没有整出来，这是全人类的认知盲区。





温馨提示：

后来，物理学家霍金和数学物理学家彭罗斯从数学的角度证明了**奇点可以存在**。彭罗斯还因此获得了诺贝尔物理学奖。

Q2：氦丰度

天文学家们观测宇宙中各元素的组成，发现观测结果与预言结果基本吻合。

Q3：宇宙微波背景辐射

宇宙微波背景辐射就是宇宙的第一束光，是宇宙大爆炸留下来的余温。只是随着宇宙空间的膨胀，如今已经变得很弱。虽然伽莫夫三人组得出了结论，但当时的技术无法观测到。



1964年，贝尔实验室的两位工程师为了改进卫星通信，正在疯狂地做实验，但他们总是接收到一个奇怪的噪声。为了消除这个噪声，他们又擦电线，又掏鸟粪，结果都没有用。



实在没办法，这俩人就联系了专业人士。

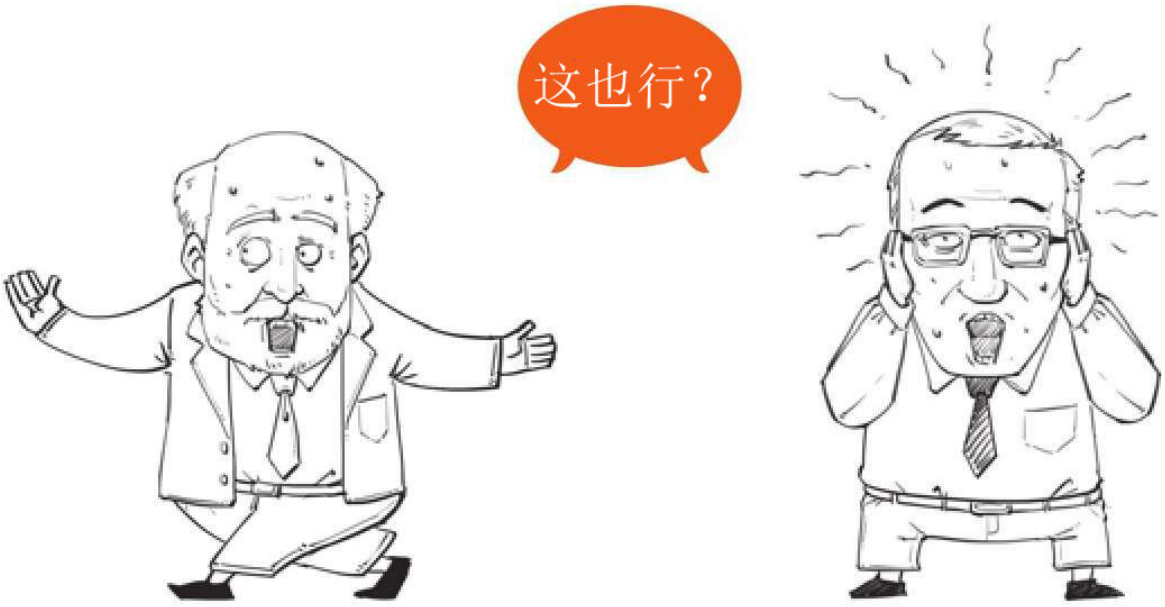


万万没想到的事发生了！

这居然就是无数科学家苦苦寻找的：

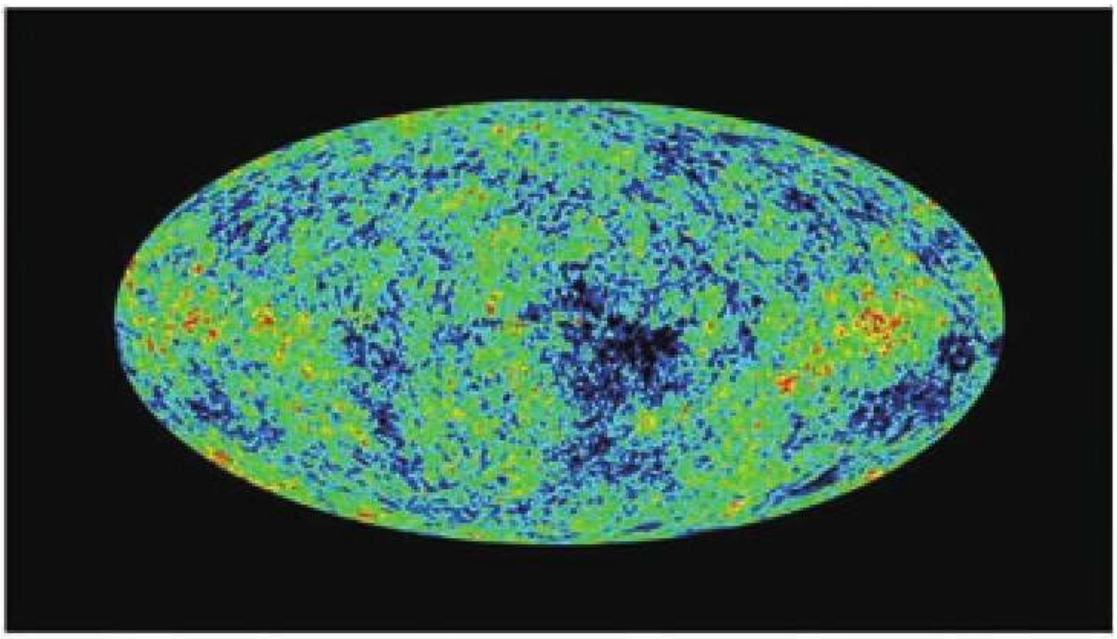
宇宙微波背景辐射！

由于这个发现太重要了，这两位根本不懂宇宙微波背景辐射的工程师，在1978年被授予了诺贝尔物理学奖。



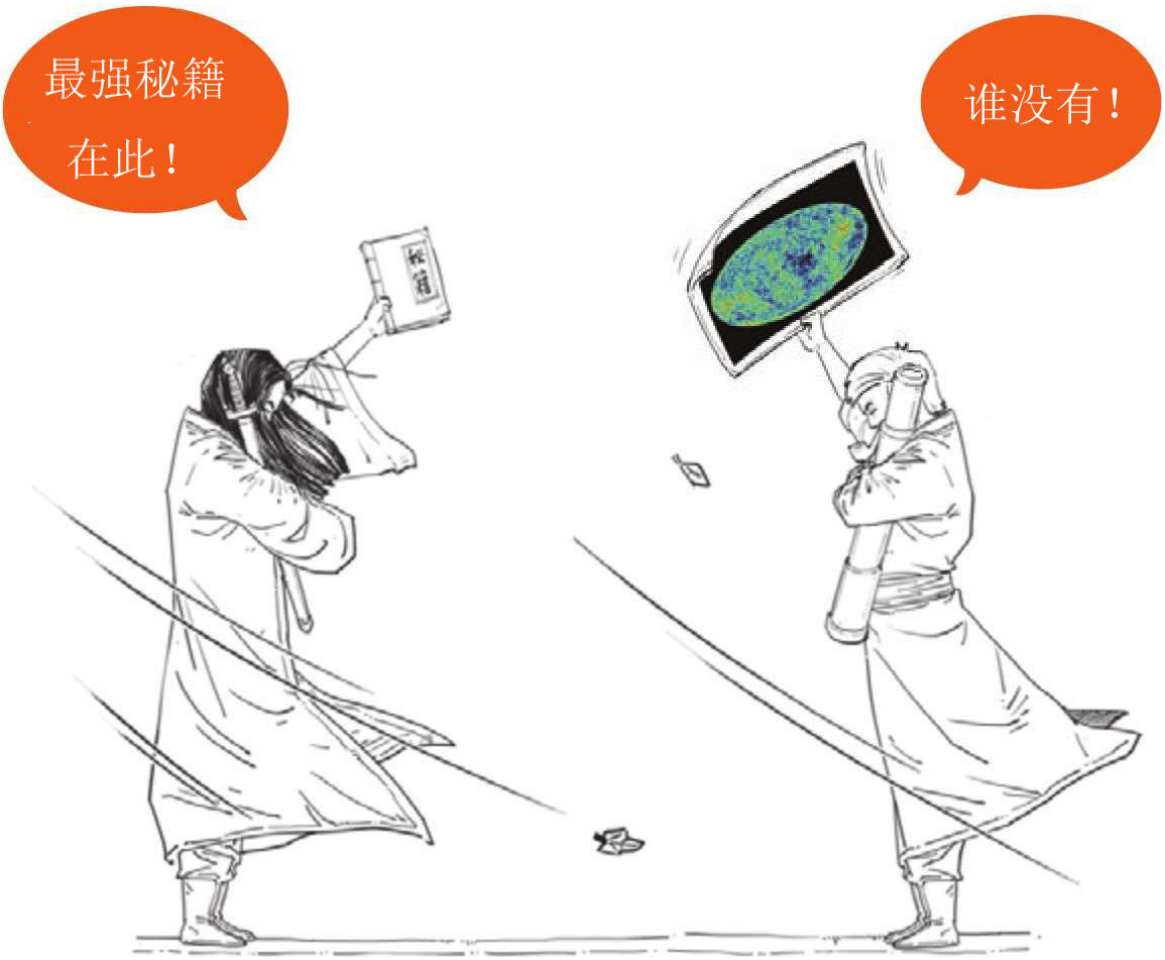
后来，科学家们准确地测量出了宇宙微波背景辐射的温度为2.72开尔文*，只比绝对零度高了2.72摄氏度。同时，他们绘制的宇宙微波背景图，大概长这样：

* 0开尔文（K）=-273.15摄氏度（℃）



来源：NASA

正是这个图告诉了我们宇宙诞生38万年后的信息，它成了天文学家人手一套的武功秘籍。



氦丰度和宇宙微波背景辐射被证实后，大爆炸宇宙论开始得到科学界的认同，成了主流的科学理论。

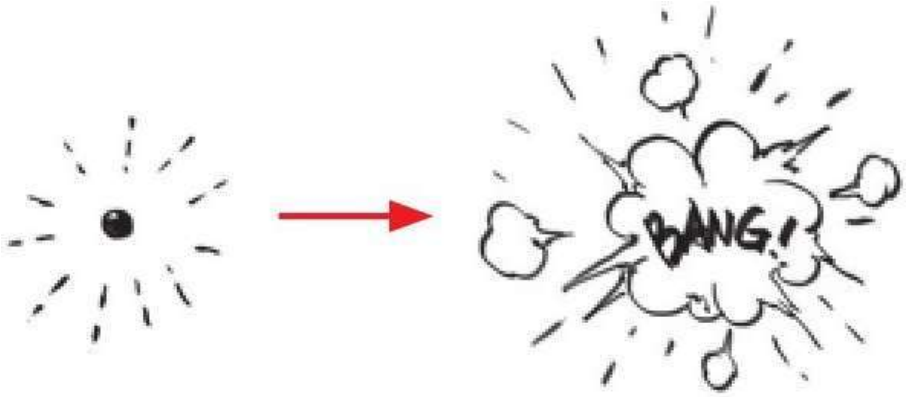


关于宇宙大爆炸的来龙去脉，我们就聊到这里。最后，我们再来回顾一下。

爱因斯坦整出了**广义相对论**。

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

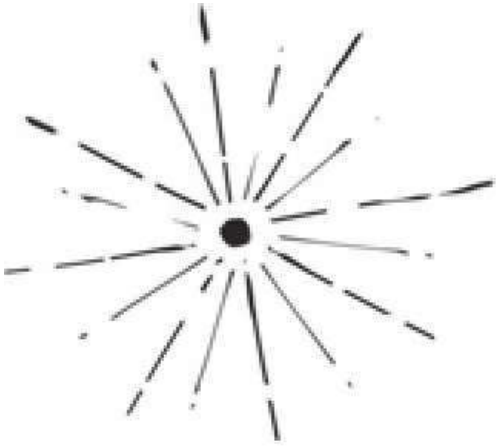
乔治·勒梅特提出了**大爆炸宇宙论**的原型。



哈勃观测到宇宙红移现象，证明了**宇宙在膨胀**。

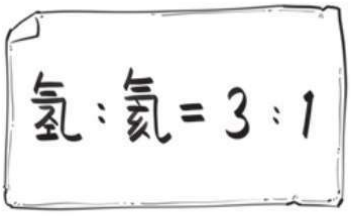


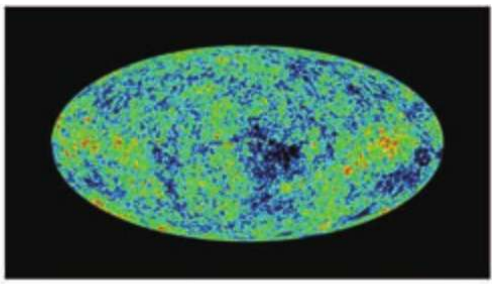
伽莫夫三人组提出了宇宙大爆炸模型，并给出了宇宙大爆炸模型的三大预言。后来，其中两个预言的关键证据被找到，另一个预言在数学上得到证明。



可证

奇点





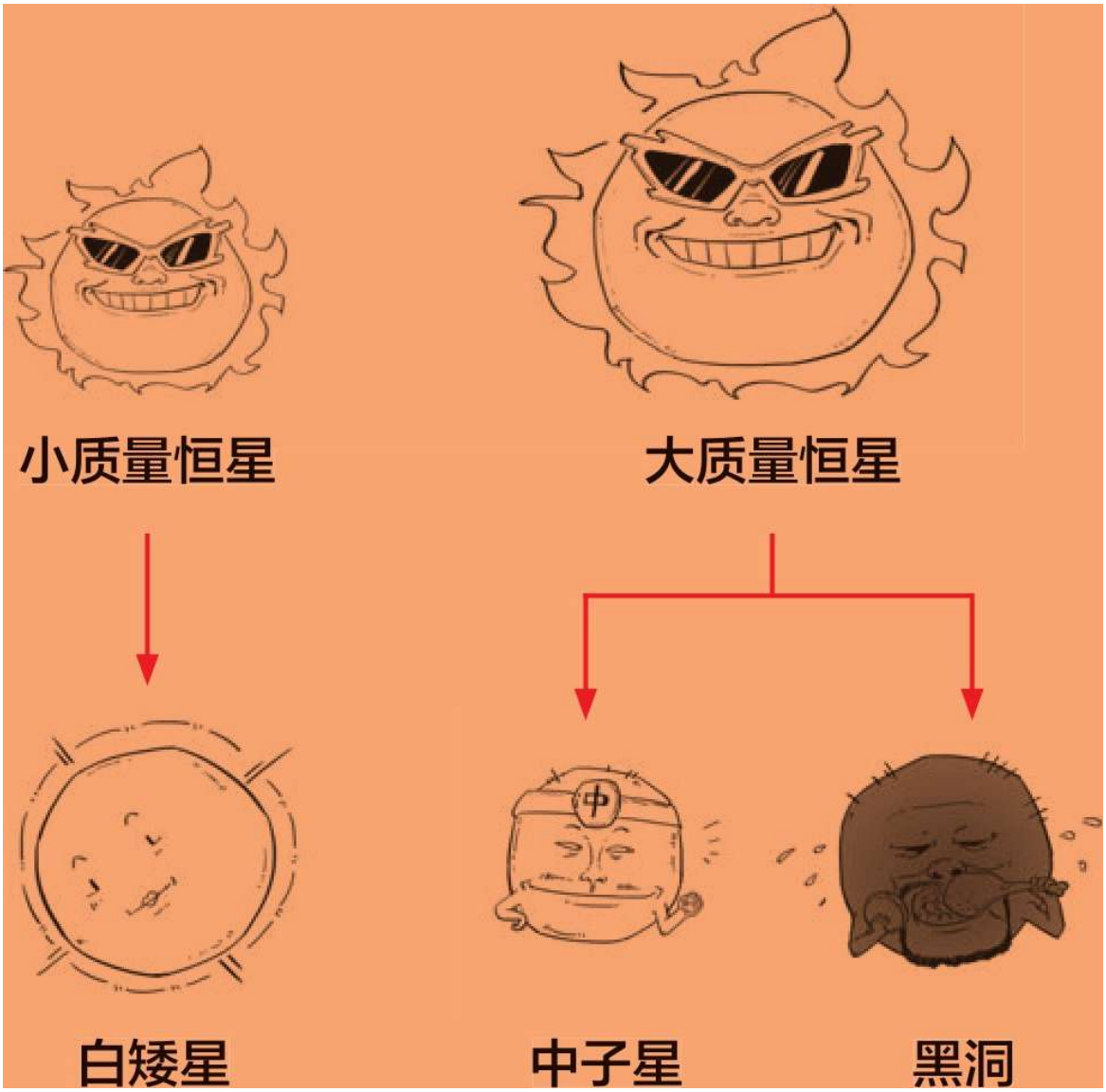
来源：NASA

氦丰度 ✓

宇宙微波背景辐射 ✓

不过，这个理论还不算尽善尽美，依然还有一些问题没解决，而我们的科学家还在努力研究中……

六、恒星真的“永恒”吗？



前面说到，天文界整出宇宙大爆炸后，核物理学家就跑来蹭热点，伽莫夫三人组蹭出了新高度， 完善了大爆炸宇宙论。

天文学的热点当然不止宇宙起源这一个，当时还有很多令人头疼的问题，比如：

恒星为啥会发光？

除了氢和氦，其他元素是咋来的？……



本着蹭热点就要大家一起蹭的初心，伽莫夫掀起的这一波潮流，吸引了许多核物理学家加入了战局。

恰好这些问题都需要用到核物理学家的知识，他们手起刀落，就直接把恒星和元素的问题都解决了。





所以，这回我们就来讲讲科学家研究恒星的那些事。

1. 恒星的壮年

在众多蹭热点的核物理学家中，有一个人深得“近水楼台先得月”的精髓，啥也没干，就混到了著名论文的作者的名头，他就是：

汉斯·贝特

伽莫夫的同事

理工钢铁直男

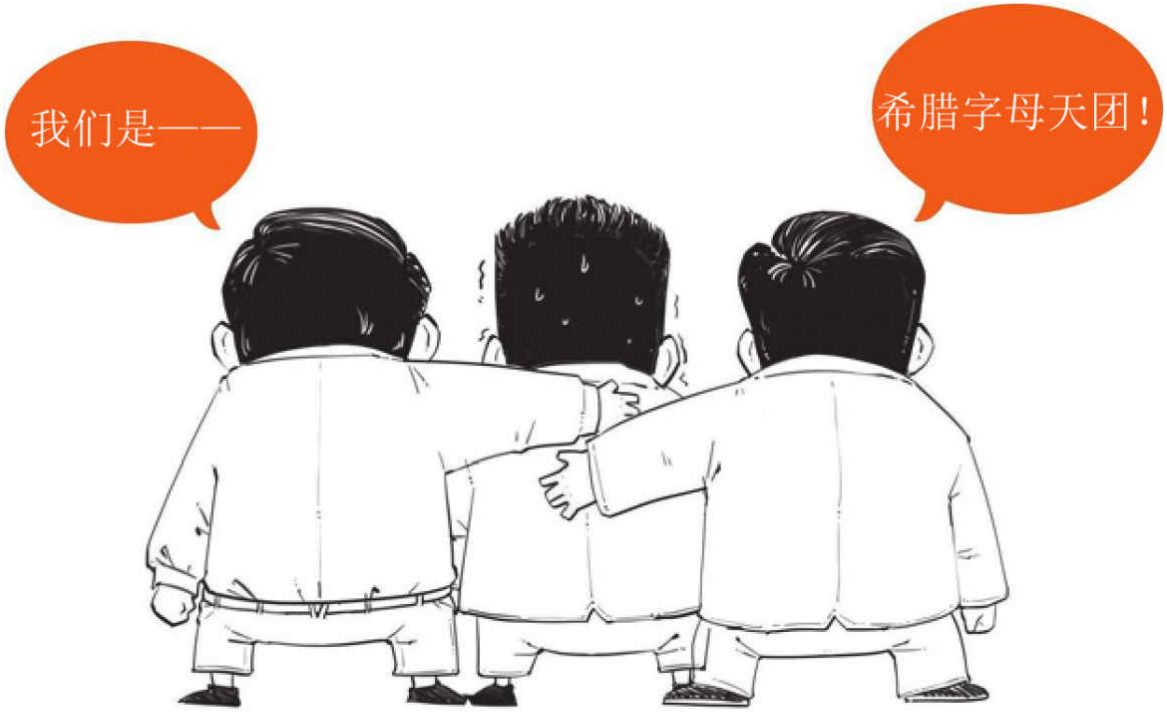
蹭热点小能手



话说伽莫夫带着学生阿尔菲写了一篇知名论文，署名的时候，他们就发现：


你是α，希腊字母表排第一。
你是γ，希腊字母表排第三。
如果再来个β就完美了。
有猫腻？

于是，他们盯上了办公室同事贝特，毫不犹豫地把贝特的名字加到了论文上。


我们是——
希腊字母天团！


你们当这是
字母接龙？

这篇论文就是**大爆炸宇宙论**的奠基之作，江湖人称**α β γ 论文，**它居然还是在愚人节那天发表的。

你们确定不是来忽悠人的？

PHYSICAL REVIEW APRIL 1, 1948

The Origin of Chemical Elements

ALPHER (α)

BETHE (β)

GAMOW (γ)

As pointed out by other authors, various nuclear species must have originated not as the result of an equilibrium corresponding to a certain temperature and density, but rather as a consequence of a continuous building-up process arrested by a rapid expansion and cooling of the primordial matter. According to this picture, we must ... as a highly ... nuclei ...

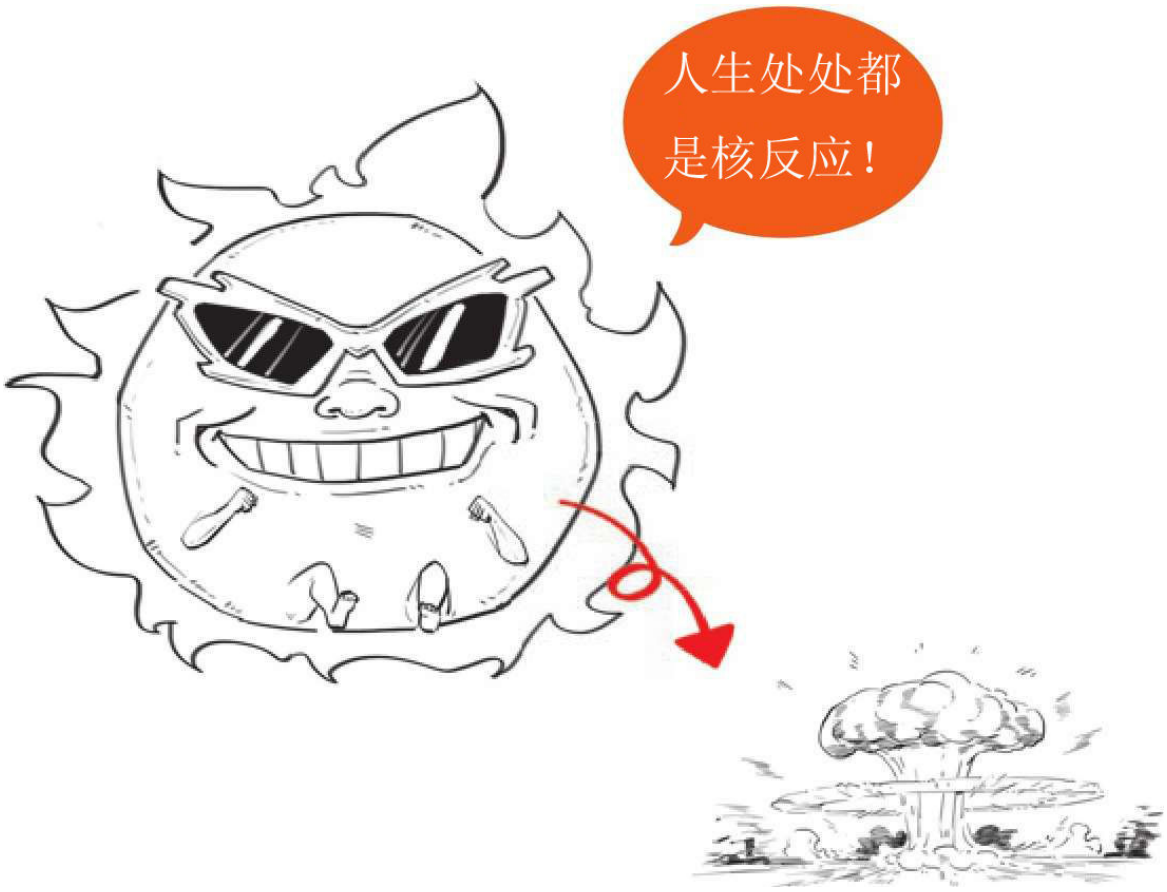
在前面的章节中，我们提到过，这篇论文解决了宇宙诞生早期氢元素和氦元素的起源问题。

别人都是主动蹭热点，小贝是直接被热点蹭，堪称热点界的一股清流。



小贝是个有骨气的人，决心要凭自己的真本事说话，他接过了伽莫夫丢来的接力棒，继续探索。

当时的天文学家已经猜到，**恒星是靠核聚变反应来发光发热的。**



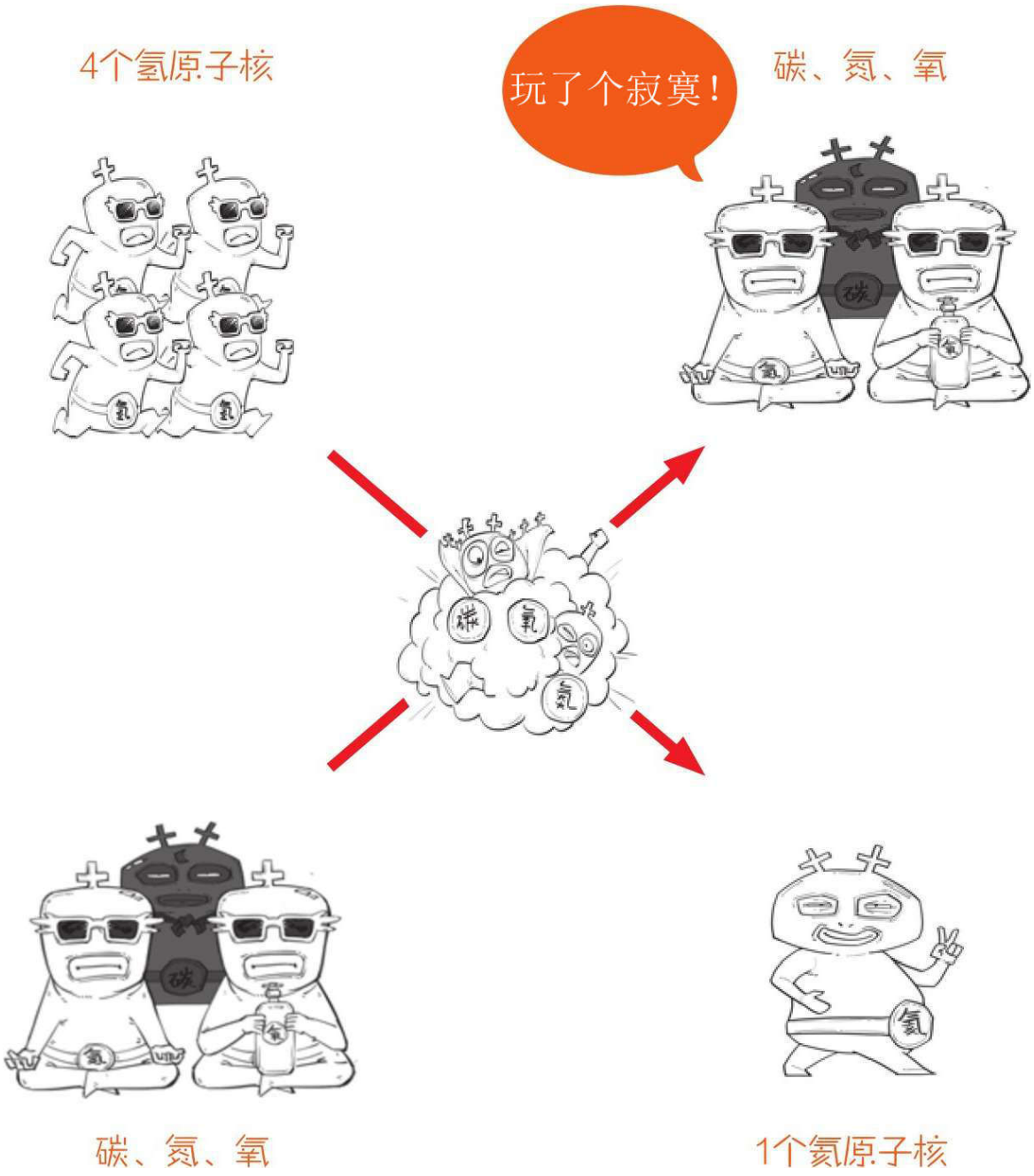
但谁也没法说清楚是哪些核反应，于是，大家开了个会，一起交流交流想法。



没承想，会上没解决的问题，贝特在回家的火车上来了灵感，一顿饭的工夫给解决了。



他这回解出了**大质量恒星**的燃烧机制，大概的意思就是：在碳、氮、氧的帮助下，氢原子核抱团成氦原子核。



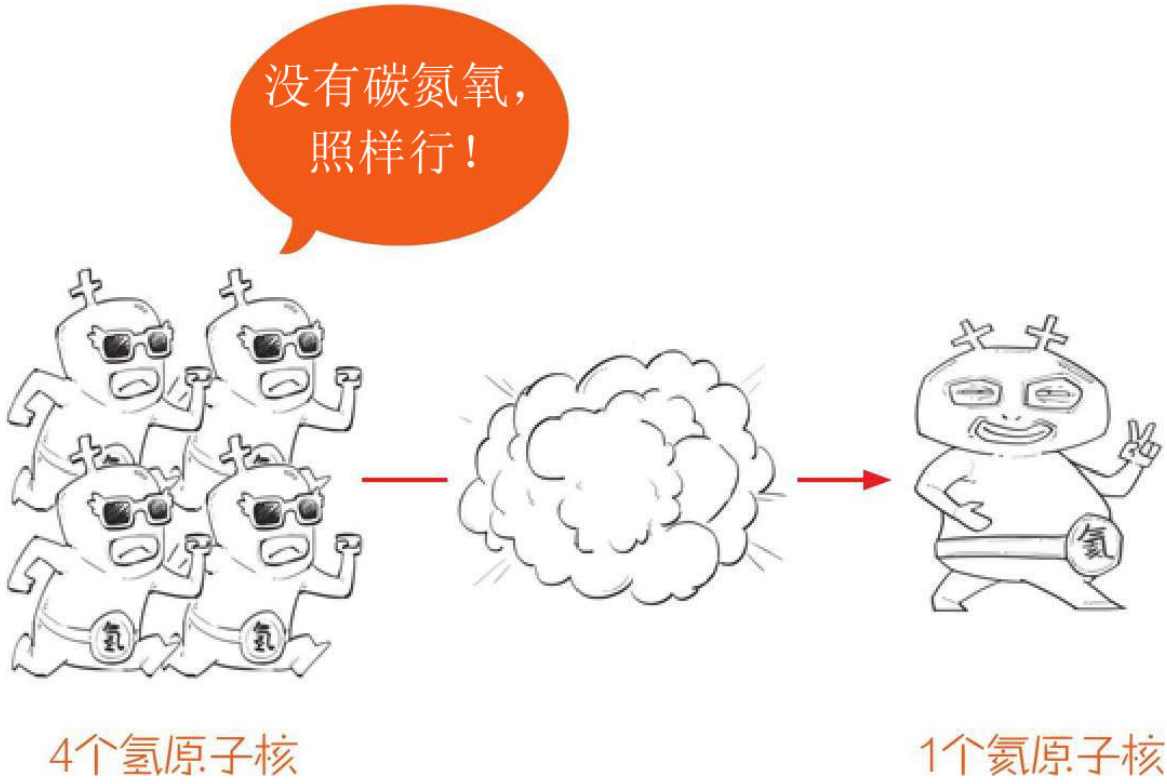
贝特提出的这个原理叫**碳氮氧循环**。



这里的碳、氮、氧起到了类似于**催化剂**的作用，反应前后没有明显的数量变化。

碳氮氧循环也叫**贝特-魏茨泽克循环**，是因为贝特和魏茨泽克两人分别独立提出了这个循环。

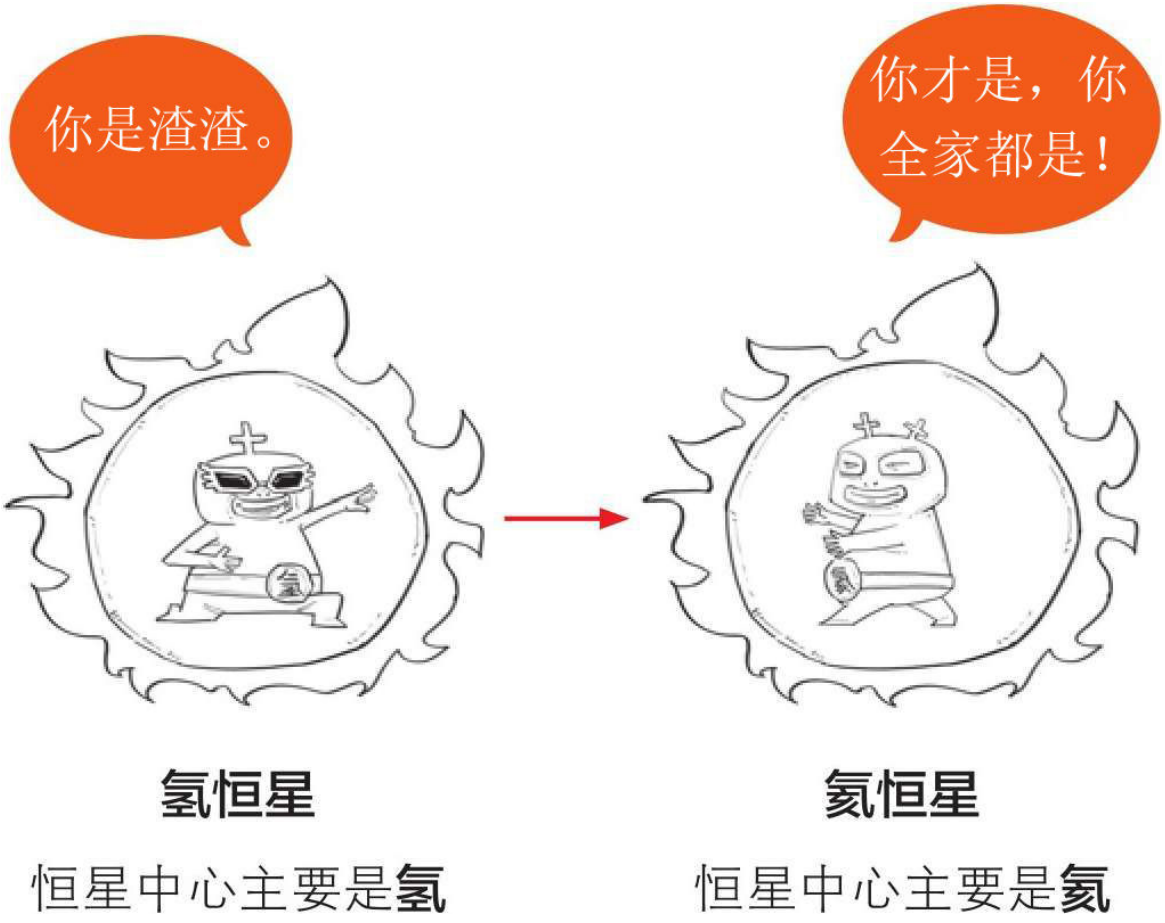
作为一个有追求的科学家，小贝解决了大质量恒星的问题，当然也不会放过**小质量恒星**的问题。这不，他紧接着就提出了解决方案。



这种4个氢原子核也发扬精神，不靠外援靠本事，凑成1个氦核的理论，被称为**质子-质子链反应**，这也是太阳燃烧的主要方式。

伽莫夫、阿尔菲和小贝没有真的合作过，但他们的理论都解释了**氦元素的起源**，贝特还因此获得了诺贝尔物理学奖。

而小贝等人的研究也告诉我们，恒星壮年的时候，是靠着“烧”氢来发光发热的，氢烧完后的“渣”就是氦。



那么问题就来了，如果氢烧完了，恒星会咋样？

2. 恒星的晚年

这就要请出另一位热点界的扛把子，宇宙大爆炸和恒星的热点，他一个没落下，而且喜欢跟大家反着来，堪称科学界的一盏“明灯”。



霍伊尔

霍金曾经的偶像

反向助攻的高手

一个喜欢唱反调却总是跑调的人

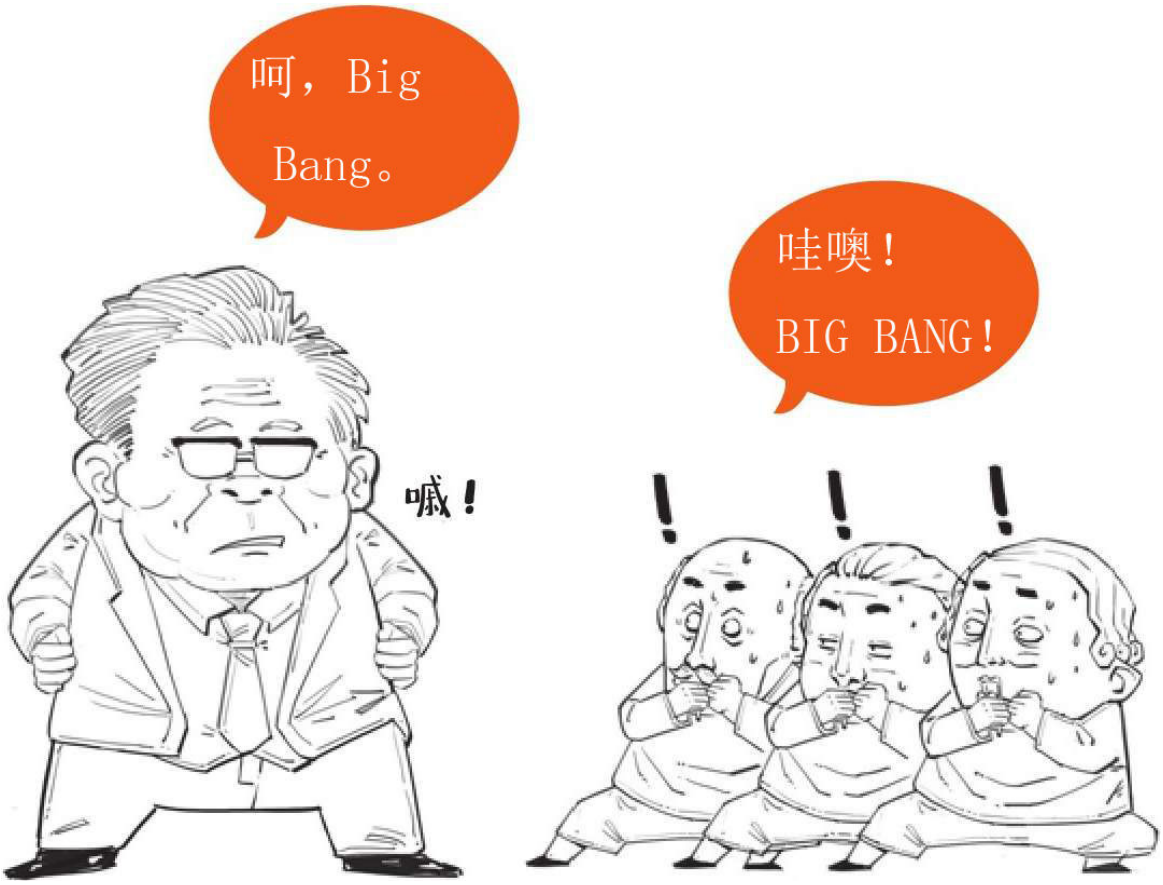
前面我们说到，爱因斯坦提出静态宇宙的看法。



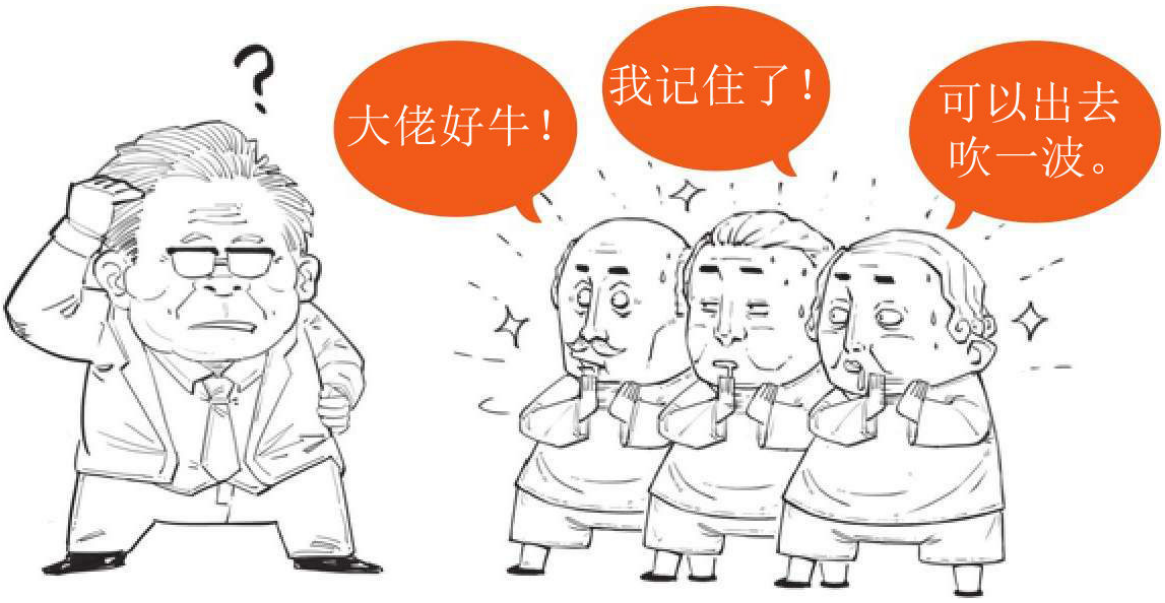
后来，伽莫夫等人完善了大爆炸宇宙论。



霍伊尔甚至为了嘲讽伽莫夫等人的理论，在广播节目中专门给对手的理论起了个名字。



霍伊尔提出的Big Bang就是“大爆炸”的意思，他取的这个名字简直是既生动又形象。



多亏了霍伊尔的这次宣传，大爆炸这个理论一下子就火了，后来这个名字也逐渐被科学家们接受和认可，霍伊尔也因为这件事成为科学界反向助攻之王。

“Big Bang”一词出现之前，这个理论的名字对大众一点儿也不友好，知道这个理论的人很少，但是之后……你懂的。

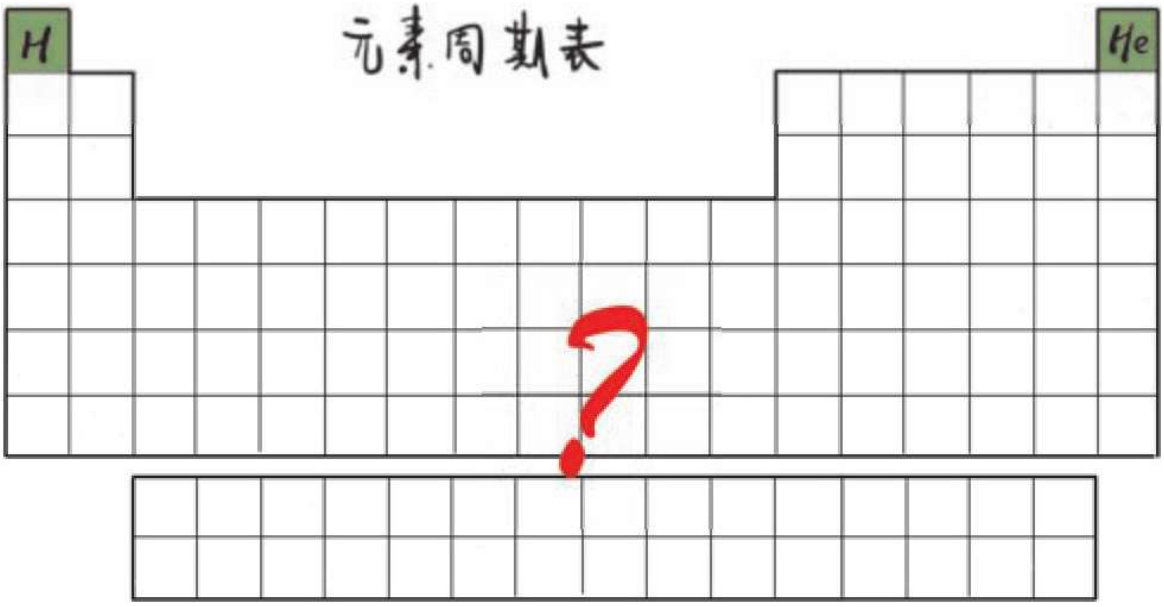


这一次的失败让霍伊尔很是伤感，如果你以为霍伊尔是那种轻言放弃的人，那你就错了，因为他的一生——



为了更加严谨地推进反对活动，霍伊尔憋了个大招，他想从元素的角度来进行反击。

当时大爆炸理论还无法解释除了氢和氦以外的元素是如何产生的。



霍伊尔认为，这是一个好机会，于是，他提出了一个大胆的想法。

恒星，其实是个全自动炼丹炉。



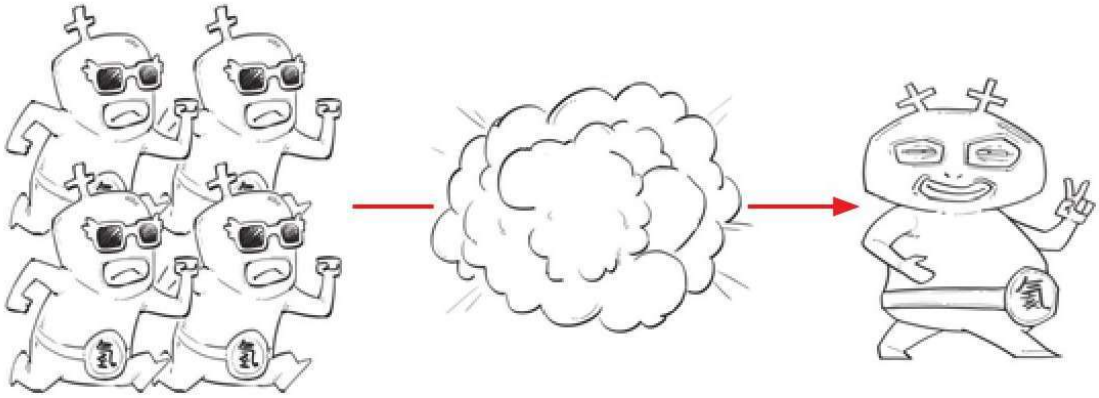


来自三十三重天的贺电：小伙子，终于蒙对一次。



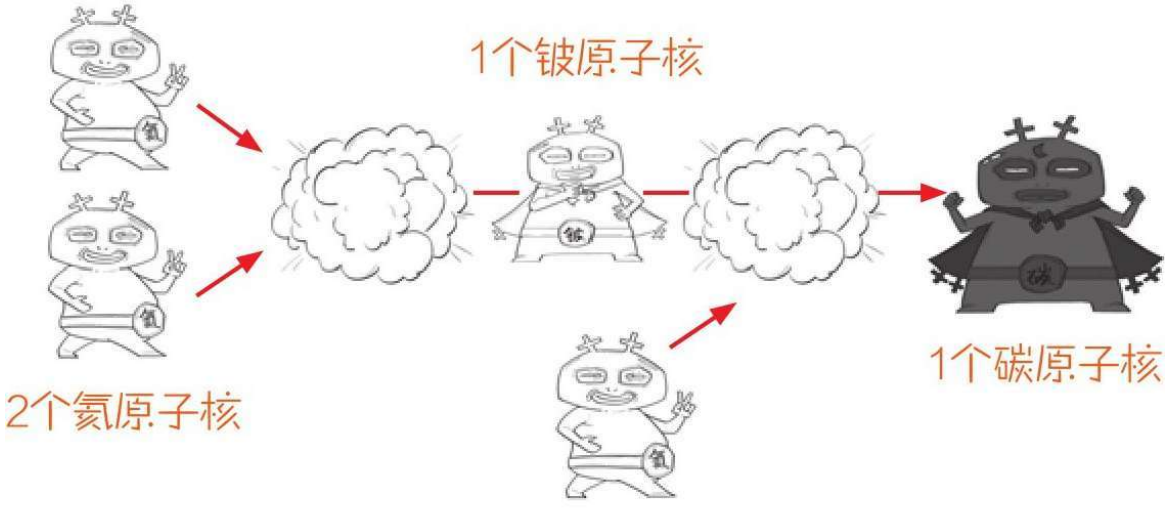
霍伊尔提出，恒星能不能自动造元素，主要还是跟恒星的质量有关，如果质量跟得上，恒星就会自动升级核反应创造元素。

一级核反应



4个氢原子核　　1个氦原子核

二级核反应



1个铍原子核

2个氦原子核

1个碳原子核

1个氦原子核

……

每升一级，元素周期表就能向后推进一点。

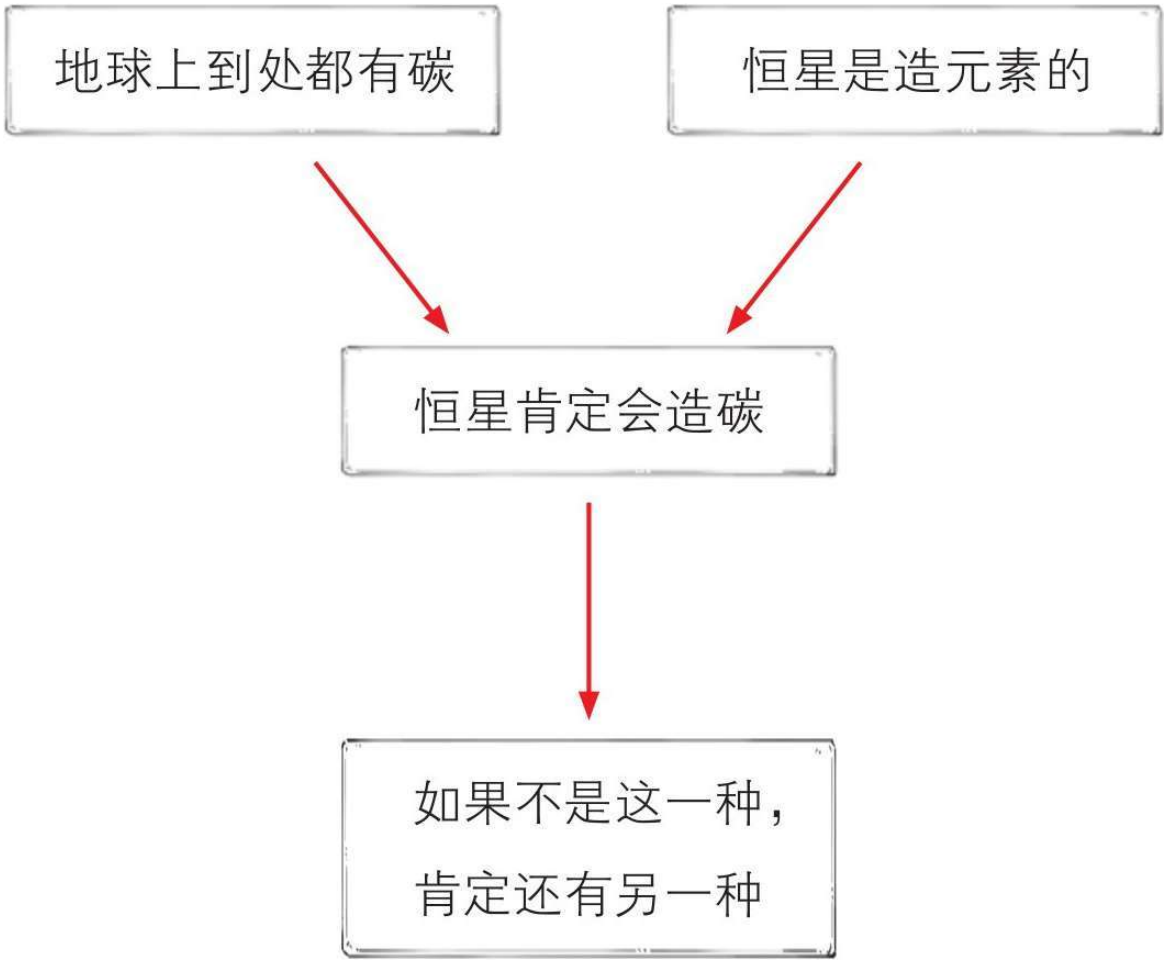
只是当时的科学家把二级核反应拆开了看，发现核反应前后质量不相等，违背了质量守恒定律。于是得出结论：



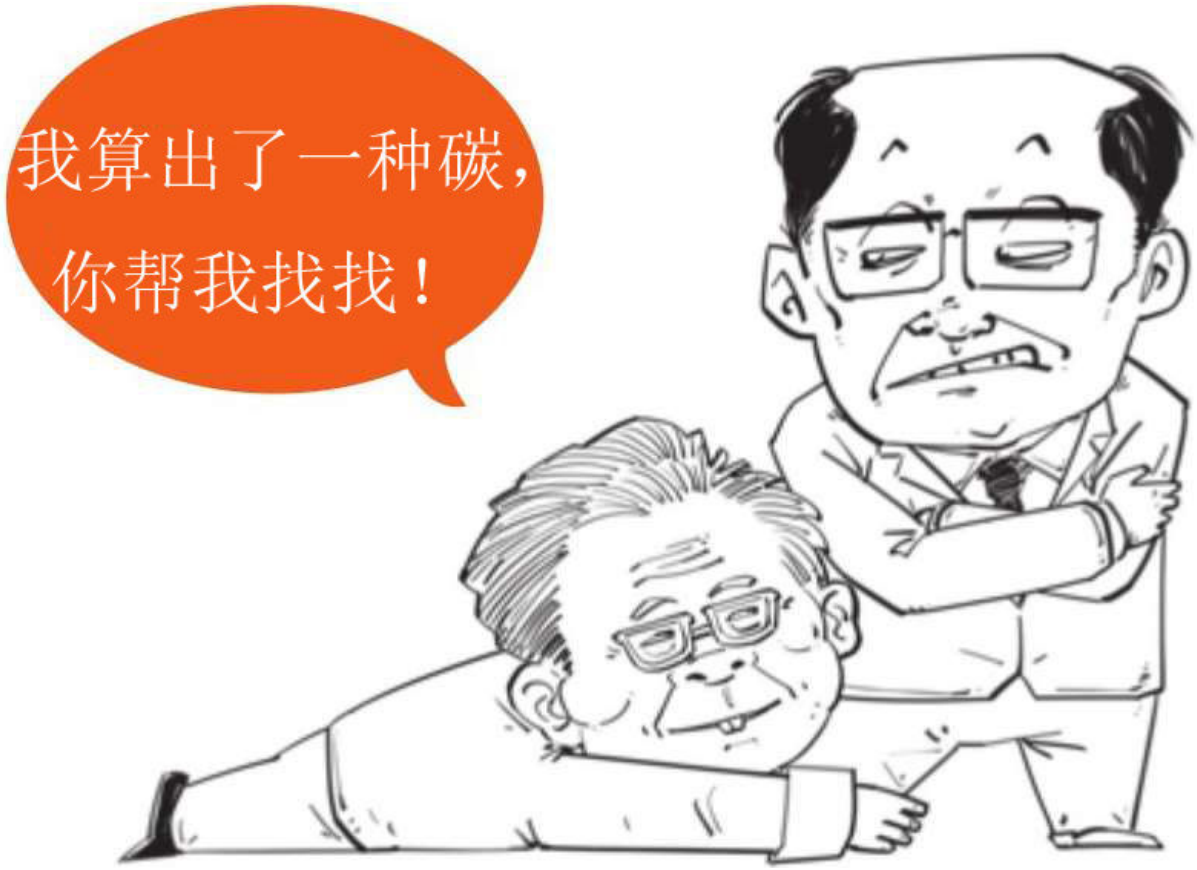
恒星的整个核反应链条，在碳这里掉链子了，核反应进行不下去，这就出了大问题。

但霍伊尔是一根筋，“炼丹炉”都整出来了，他不可能允许自己在碳这里摔跟头。

于是，霍伊尔再次开启脑洞，**据说**他是这样说服自己的：

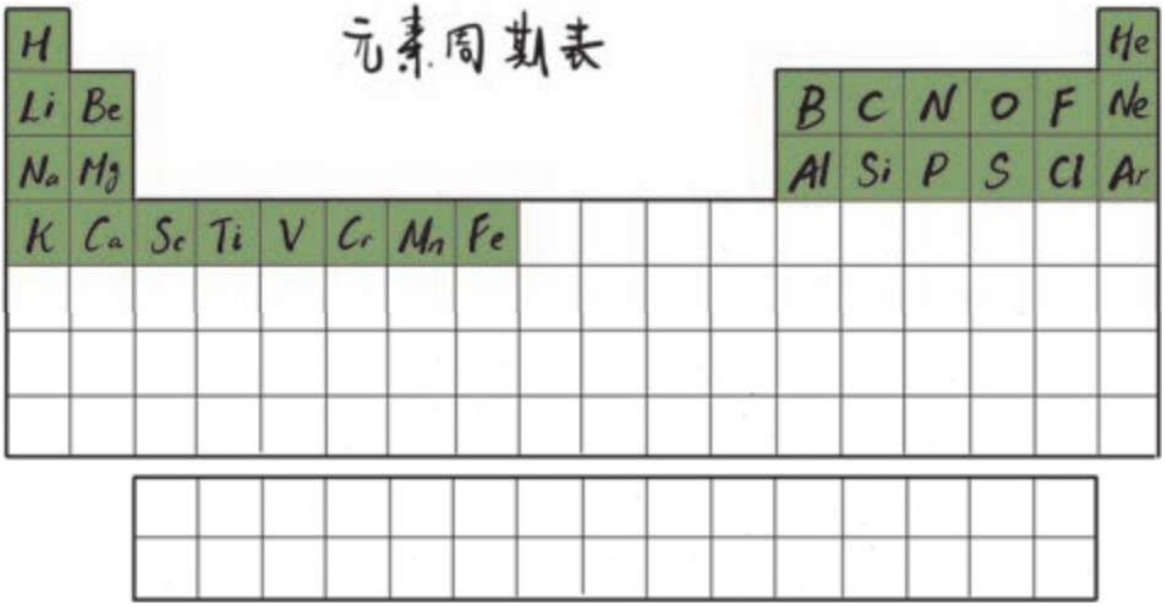


顺着这个思路，一波计算后，他就去找了帮手：**威廉·富勒**。



对于这种不靠谱的事，富勒的内心也是拒绝的，但是经不住霍伊尔的软磨硬泡，答应找找看。

万万没想到，这个不一般的高能级碳，还真被两人找到了。理论和实验都齐活儿了，碳这里的链条搭上了，后面的也都不是事儿，他们一口气搞定了碳元素到铁元素的逻辑链条。

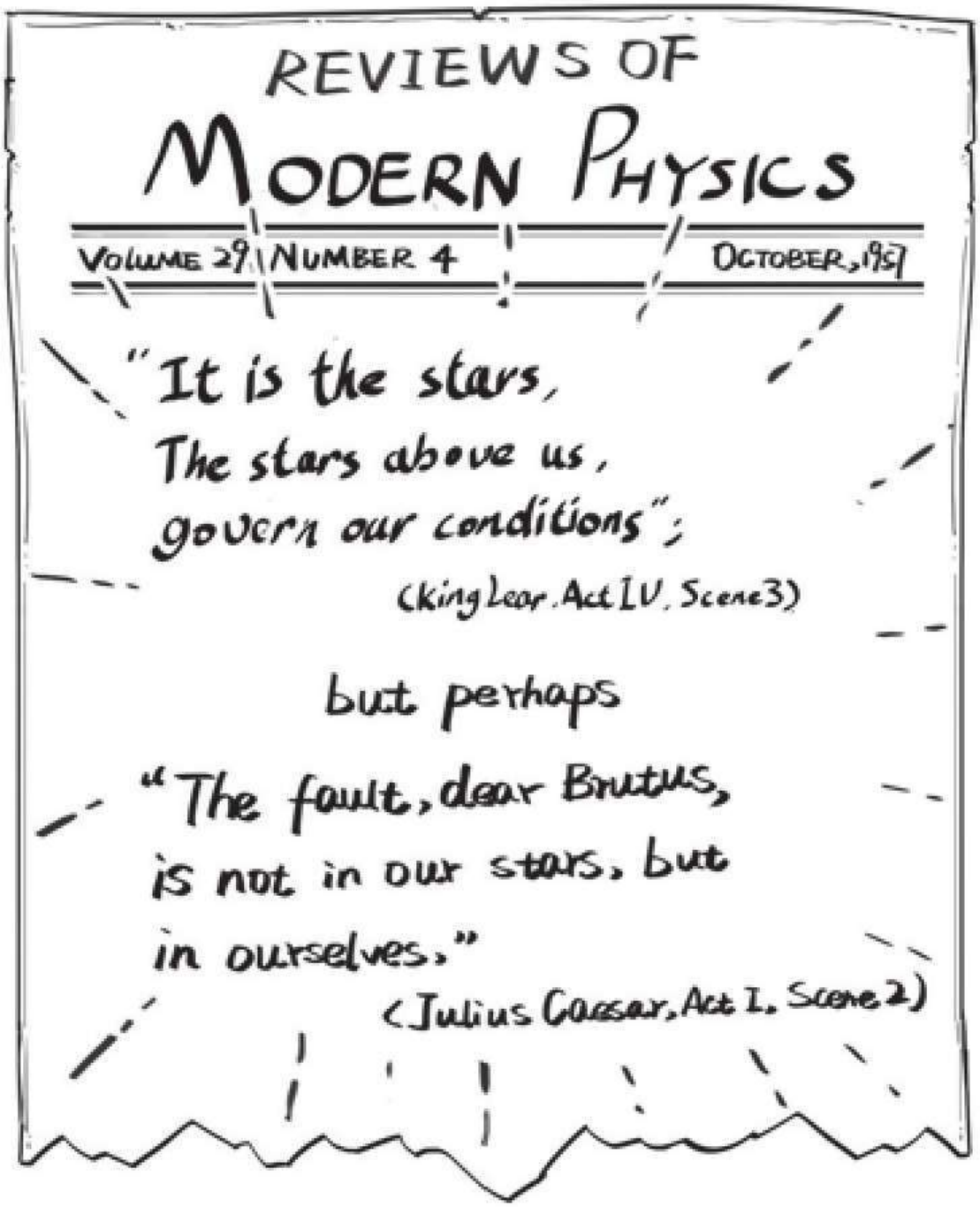


至此，关于恒星里面的元素合成，**理论部分**就准备好了。

为了让人信服，还需要实际观测的证据，这就轮到**伯比奇夫妇**显身手了。



夫妇俩通过观测，分析恒星的光谱，探索元素在恒星中的起源，发现还真的和理论是匹配的。于是，4个人联合发表了一篇论文。



这篇论文可能是史上最文艺的科学论文，开头就来了一段莎士比亚的文字。

他们4个人姓氏的首字母是B、B、F、H，这个理论也被称为B^2FH理论。

B^2FH理论告诉我们，只要恒星质量足够大，核聚变反应就可以一直持续下去，直到铁元素。

靠着一股子不服输的劲儿，霍伊尔愣是解决了重元素起源的问题，直接补齐了大爆炸宇宙论的短板，忙活了半天，给对手做了嫁衣。

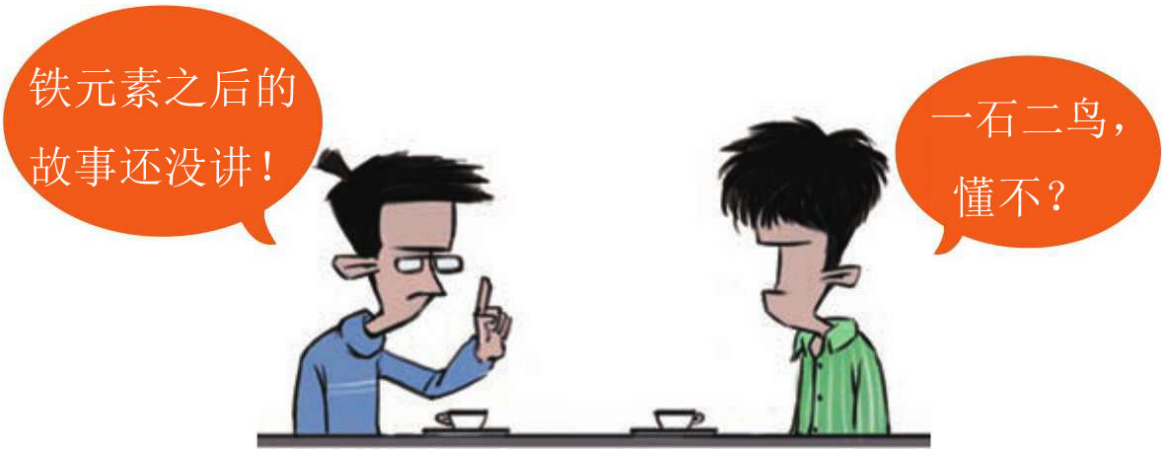

我一直以为你是敌人，没想到是卧底！
唔……
我们的大爆炸理论，很需要你这样的人才！
人生处处都是反转。



那么，问题来了，铁元素之后，又会发生什么呢？

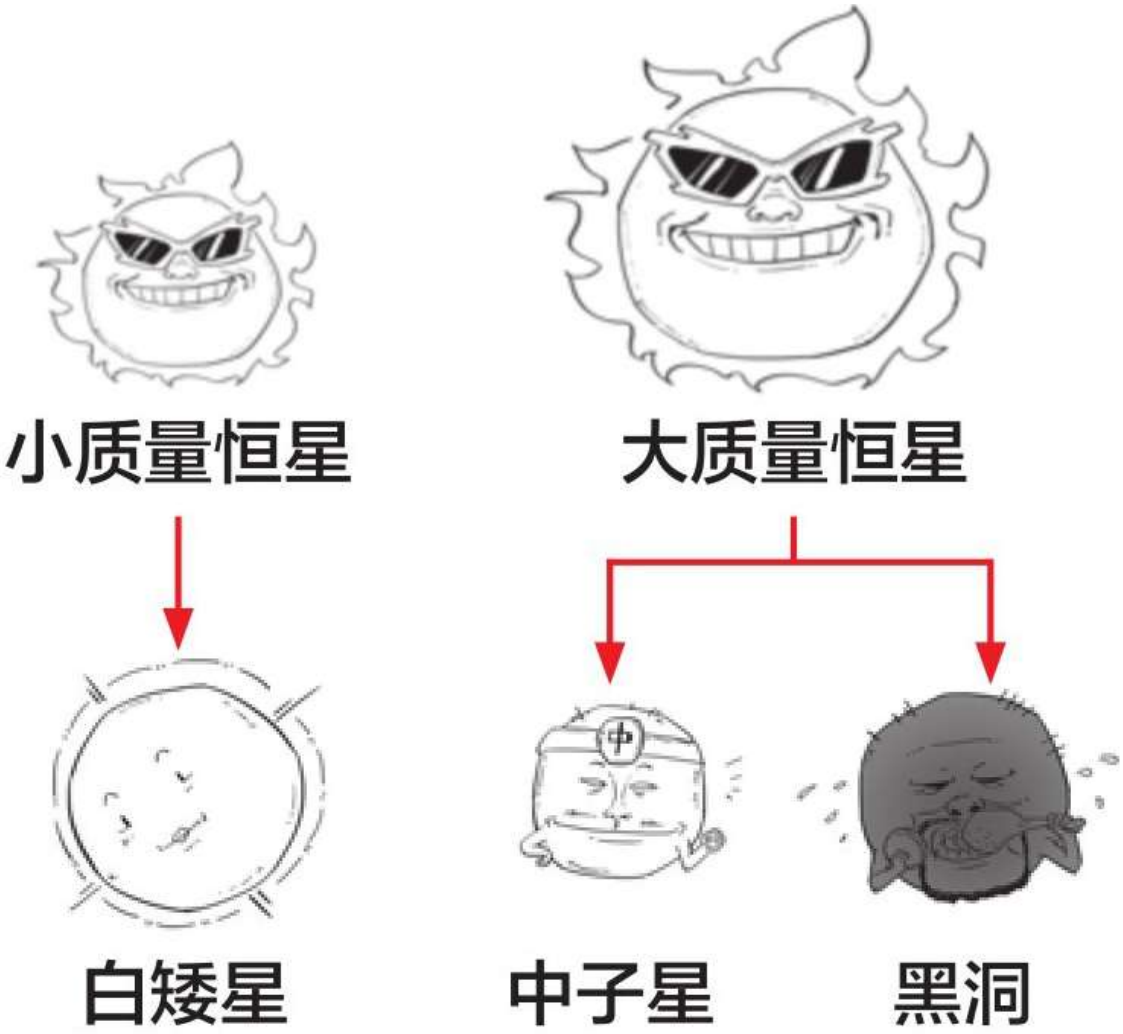


还有，恒星的归宿又是咋样的呢？



3. 恒星的归宿

恒星的归宿分很多情况，也很复杂，我们主要讲前面说过的3种常见的情况：

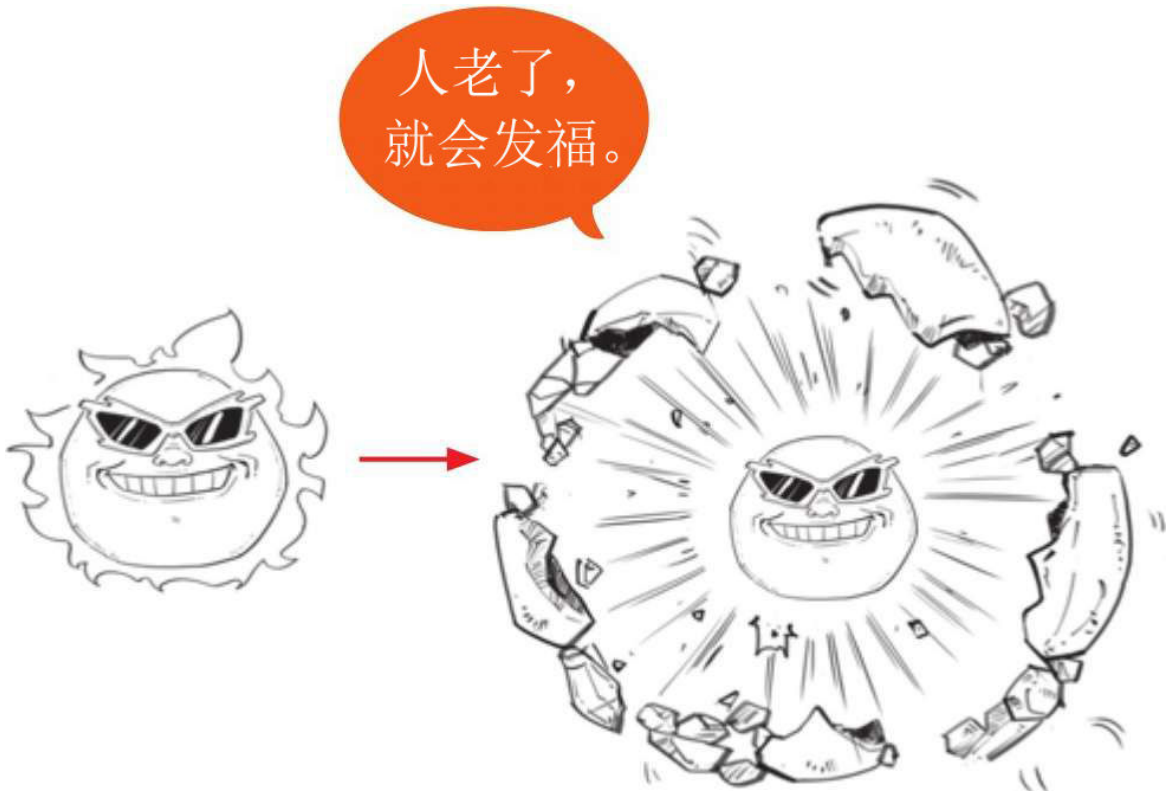


我们先从小质量恒星说起。

（1）白矮星

对于恒星来说，走到生命尽头就是停止燃烧，也就是恒星停止了核聚变反应。

恒星在停止核聚变**之前**，会把自己的外壳向外推，在不断膨胀的外壳下，有一个致密的内核。





太阳的壮年时期结束后，就会膨胀起来，半径膨胀到原来的200倍，成为一颗红巨星。

恒星原本就是靠核聚变反应来抵抗引力的，如果没了核聚变反应，就没有能够抵抗引力的力。

于是，在引力的作用下，内核会向中心挤压。如果没有其他力在反抗，内核就会被压成一个点。



在这样危急的情况下，**电子**站出来扛下了所有。

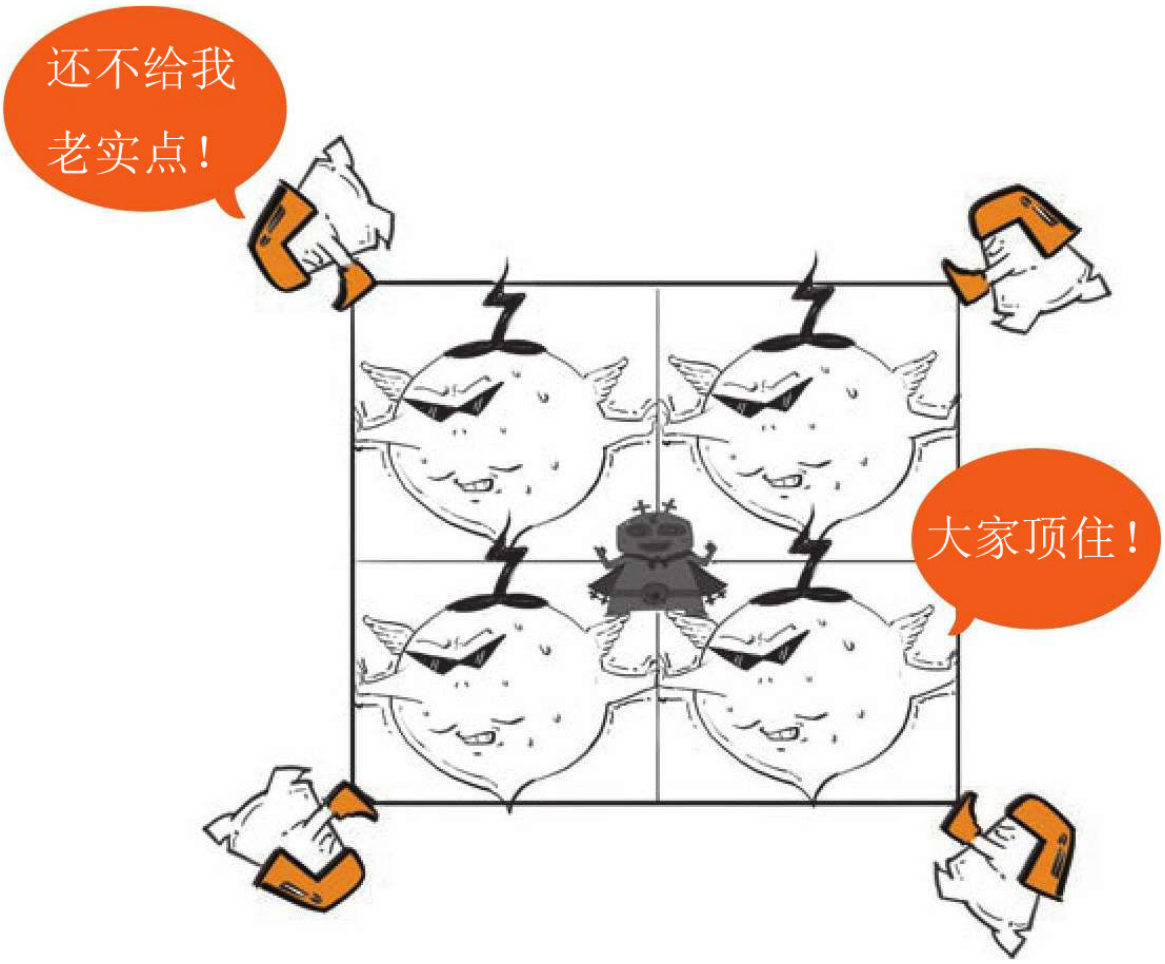


要知道，电子平时没啥事就在原子核外围瞎转悠，可一遇到大事，位置最靠外的电子就会最先遭殃。



现在由于引力的挤压，外围电子变得老实起来，再不能闲逛了，一个一个排好队形，这个队形很难被破坏。

产生了一种一致对外的“无形力”， 这种“无形力”能抵抗住引力的挤压。



电子的故事告诉我们一个道理：

团结就是力量。



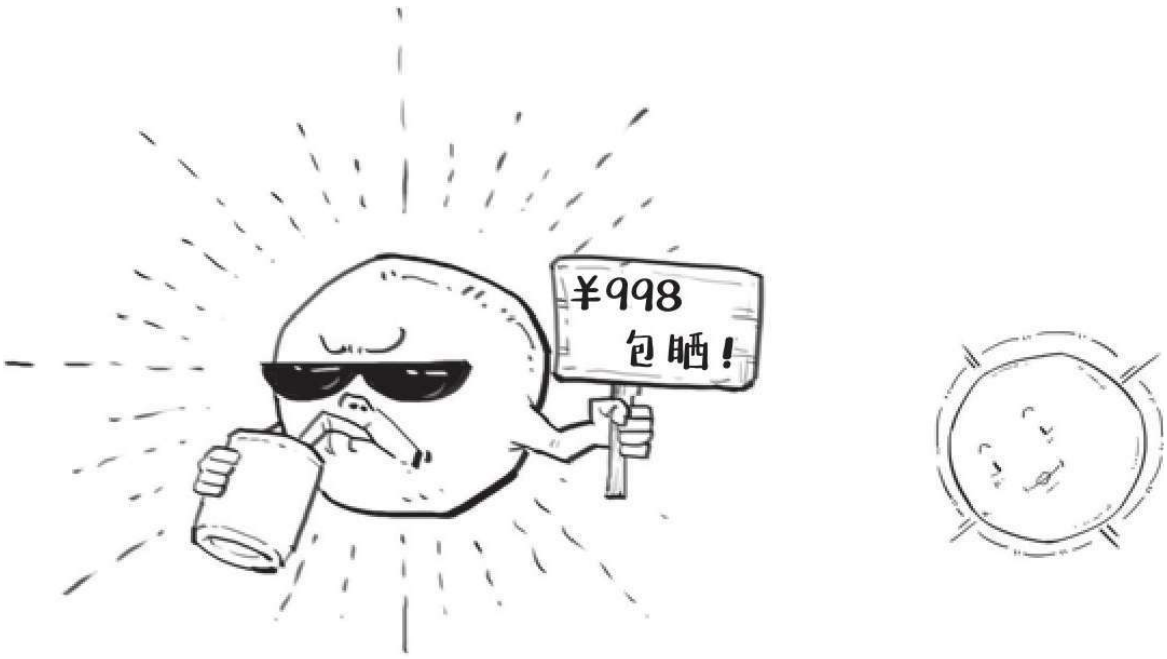
这种抵抗引力的 “无形力”，也被叫作**电子简并压。**

在这之前，恒星靠核反应产生的力向外抵抗引力，在这之后，就靠电子简并压抵抗引力了。



电子简并压，说的就是电子和电子之间有相互排斥的力。恒星到晚期都会因为自身引力而坍缩，电子之间的排斥力可以抵抗这种坍缩。

靠电子简并压与引力对抗的天体就是**白矮星**，由于被引力挤压得特别狠，白矮星的密度很大，别看长得像个傻白甜，可人家是出了名的暴脾气。太阳的宿命就是一颗白矮星。



太阳　　白矮星

那么，**所有的恒星最终都会变成白矮星吗？**

解决这个问题的是一位来自印度的“后浪”少年，

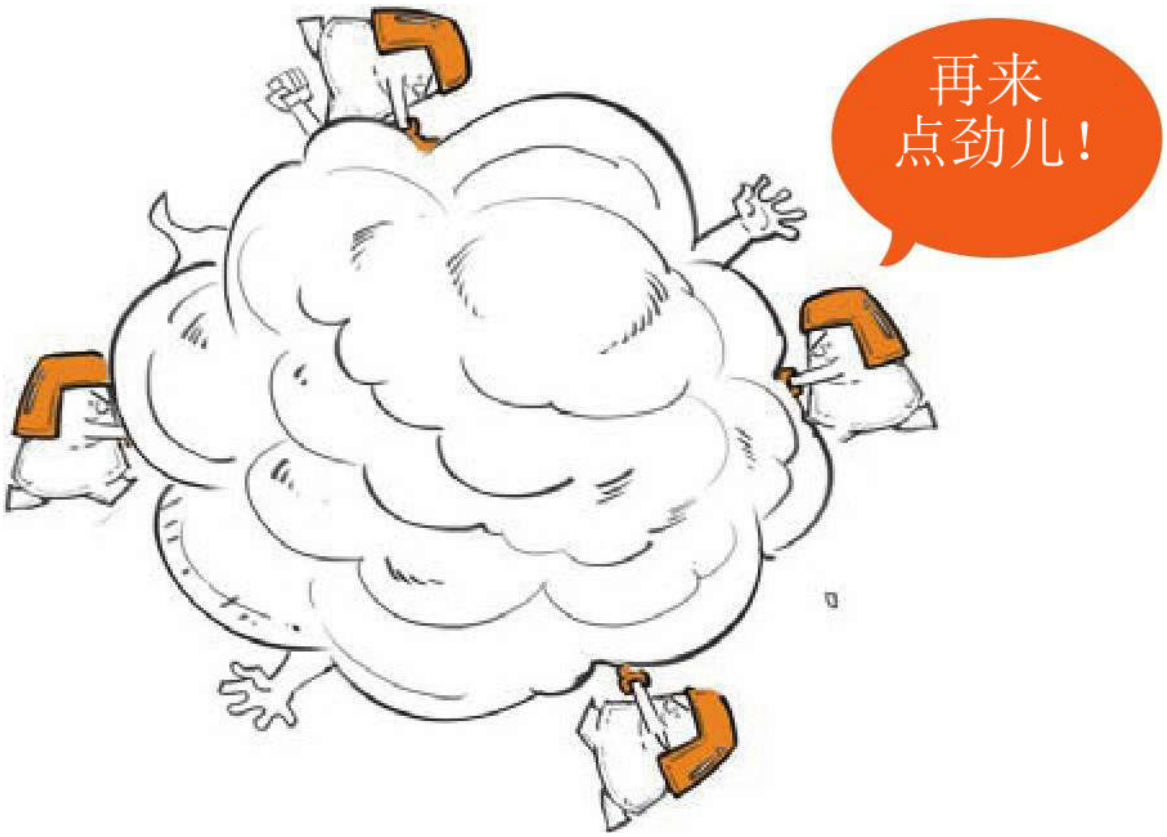


钱德拉塞卡

出道就和大佬互撕涉猎各个领域，跨界王者杨振宁、李政道的老师

他二十来岁就坐船从印度到英国去求学，船上无聊，他就开始研究：**电子简并压的极限到底在哪里？**

小拉算出，当恒星内核质量大于**太阳质量的1.44倍**时，内核产生的引力就太大了，电子间的排斥力也抵抗不了，这时候内核不会形成白矮星，而是继续坍缩。



1.44倍太阳质量后来也被称为**钱德拉塞卡极限**，这也是白矮星的质量上限。

这么重要的发现，眼看小拉就要出道即巅峰，可万万没想到，命运跟小拉开了一个玩笑，也彻底改变了小拉的人生轨迹。

故事是这样的：

在一次会议上，小拉满怀激情地宣读论文，却被当时的天文物理界权威**爱丁顿**当众撕毁了论文，并嘲讽小拉的理论是错误的。



亚瑟·斯坦利·爱丁顿

20世纪初天文学界的扛把子

在那个还没有几个人看得懂相对论的时代，这位大佬就带队验证了广义相对论，并介绍给全世界。

据说记者采访他的时候，对话是这样的：



就在记者以为大佬太谦虚的时候，大佬毫不客气地来了一句：



被这样一位大佬打击后，小拉压力山大，到处寻找靠山和援手，但没有人敢得罪大佬，天文学家们都支持爱丁顿，物理学家们惹不起爱丁顿，他们只想看热闹。





小拉求助了不少物理学界的大佬，其中一位叫**泡利**，怼人怼出了“**上帝之鞭**”的名号，是一个把爱因斯坦怼出心理阴影的男人，可是他也不愿意得罪爱丁顿。

如果说大佬的打击是单点的，那天文学界的一致不认同和物理学家们的冷漠，就是全方位、无死角的轰击。

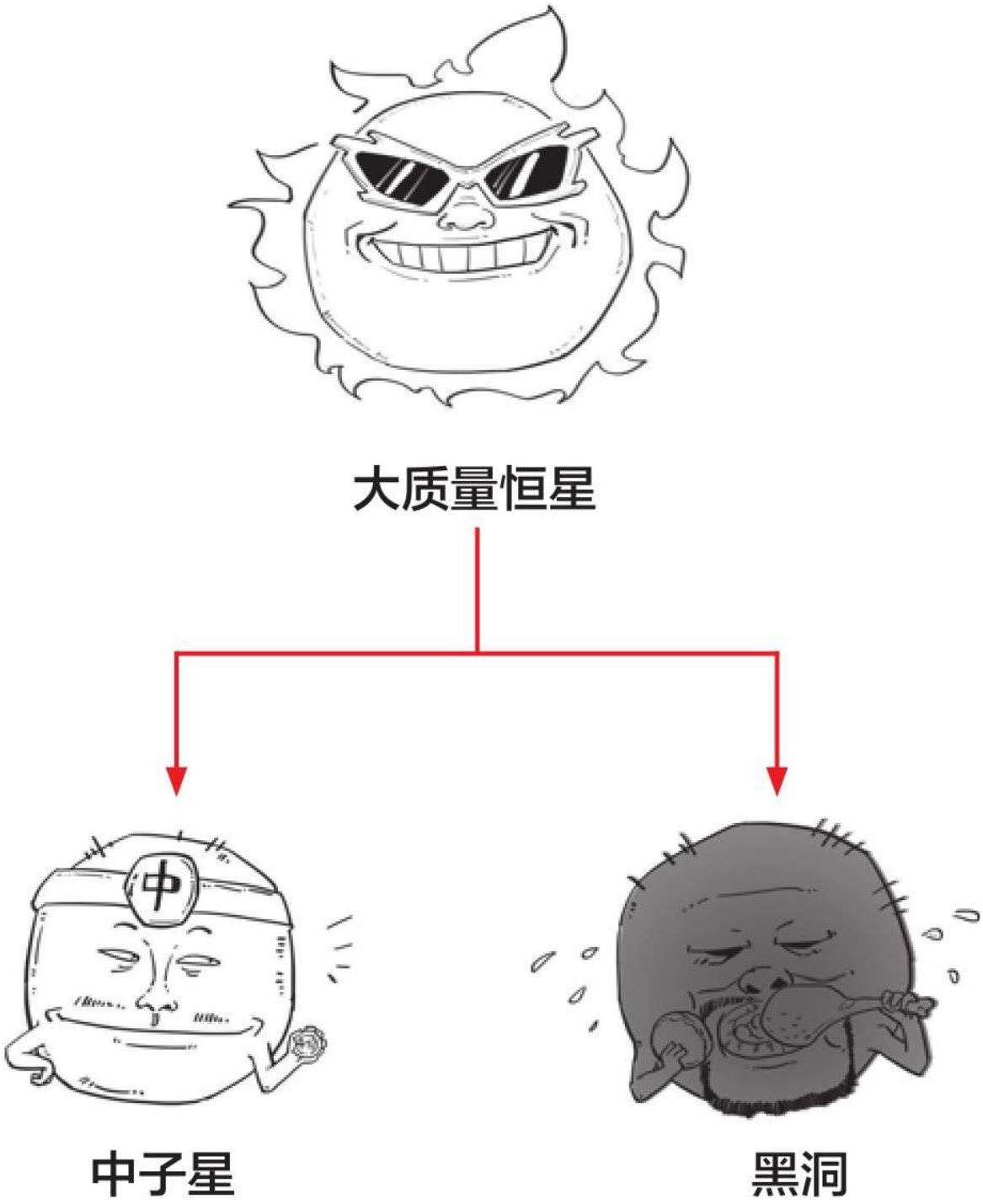
小拉死扛几年后，终于放弃挣扎，此后每10年换一个研究方向，在每个研究领域都取得了重大成就，简直就是科学界的斜杠青年。



后来，钱德拉塞卡极限被验证是对的，50年后，小老拉还获得了诺贝尔物理学奖。

既然钱德拉塞卡极限是对的，那么问题来了，电子扛不住引力之后，恒星不变成白矮星，又会变成什么呢？

现在我们知道，它主要有两个去向：

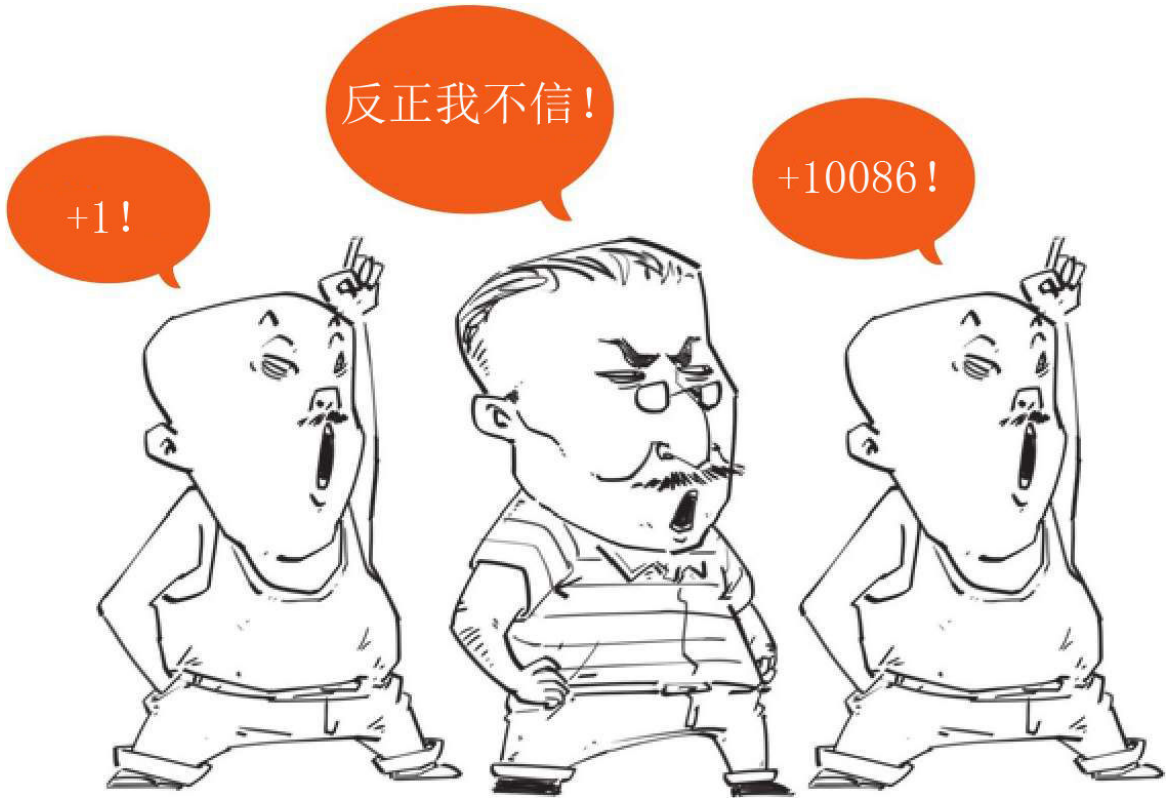


就在小拉黯然神伤的那50年岁月里，有不少人在研究这个问题。

（2）中子星

自从中子被发现以后，就有科学家预言，可能存在完全由中子构成的天体，也就是**中子星**。

只不过，理论上看，中子星密度比白矮星还要大很多很多，实在是太吓人，天文学家们再次开启一致不认同模式。



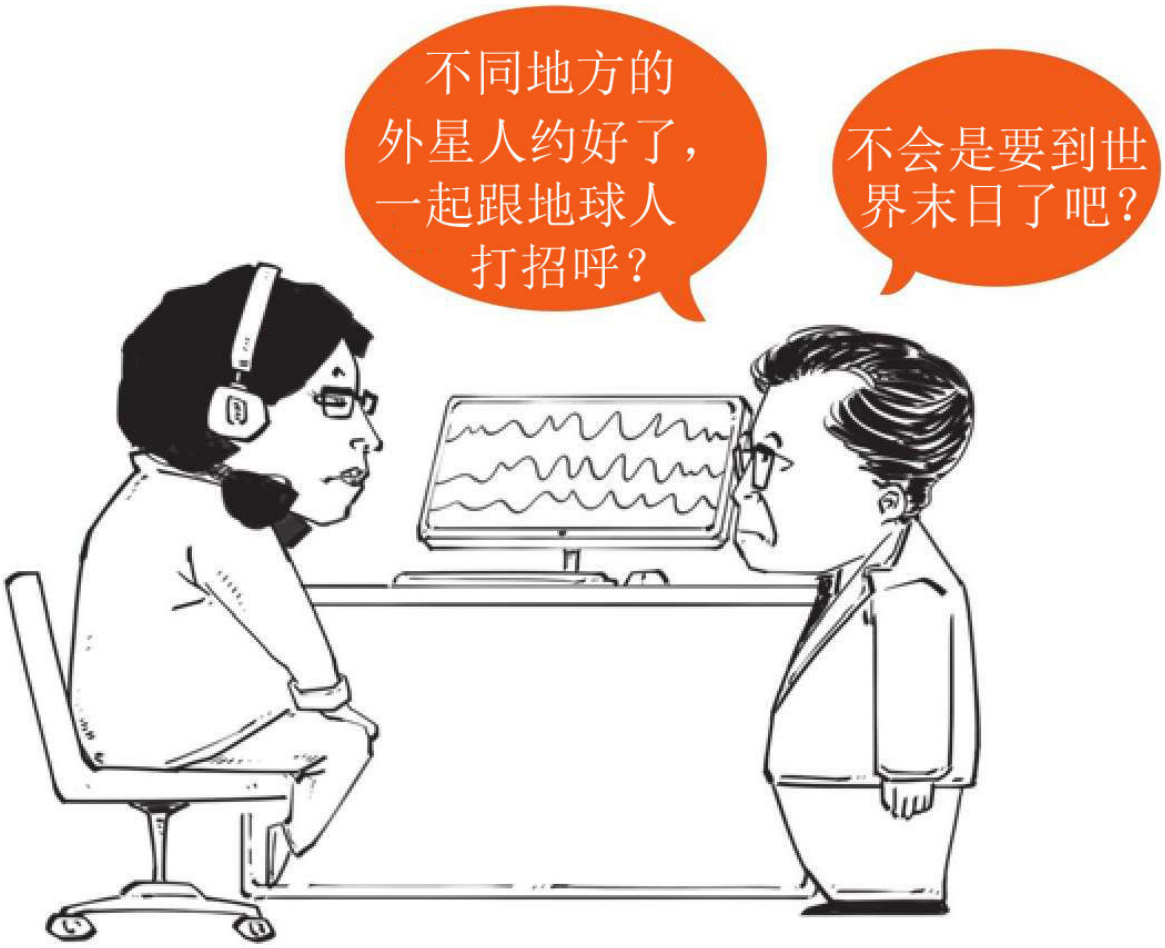
刚好，有一个叫**乔丝琳·贝尔**的研究生正对着射电望远镜信号发呆，她突然发现了一种有规律的信号。



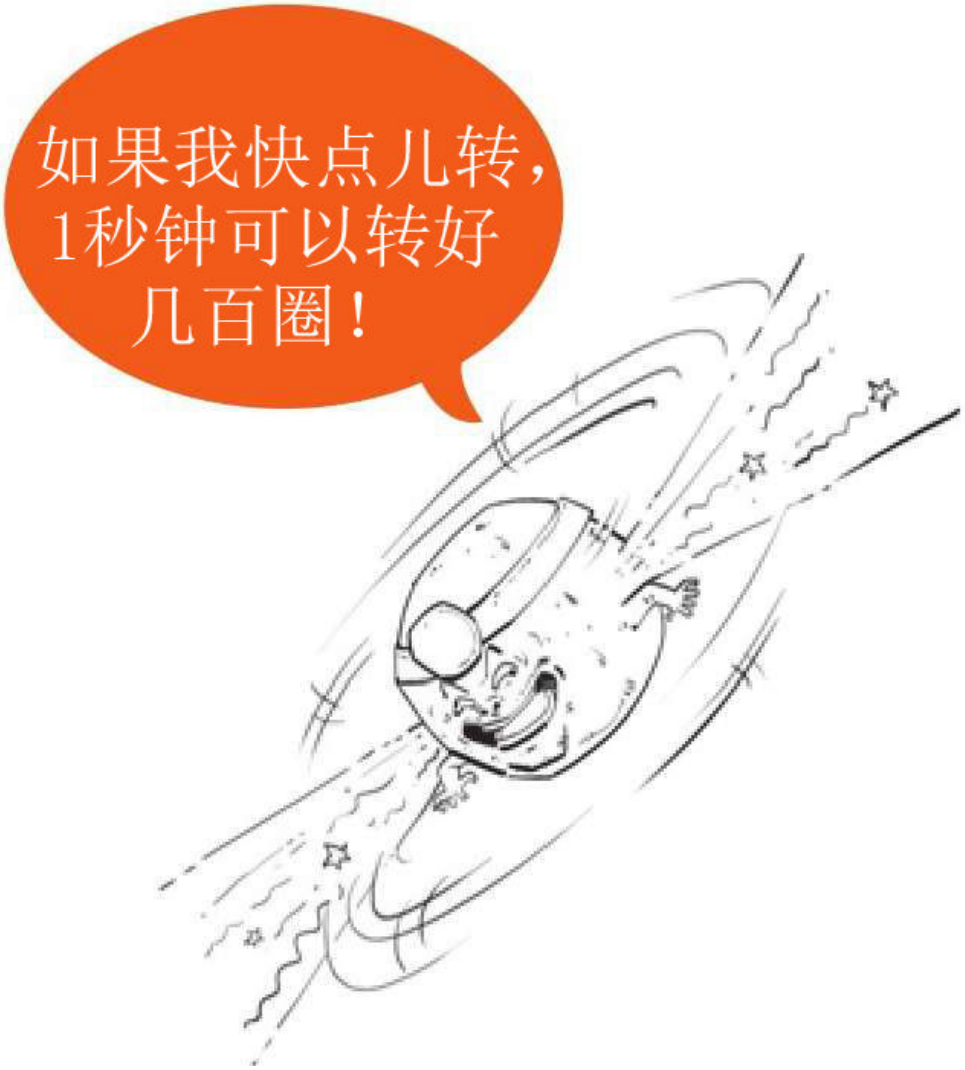
刚开始看到这些有规律的信号时，贝尔和导师**安东尼·休伊什**并不知道这是什么。



就在贝尔和导师纠结是不是外星人打招呼的时候，他们又陆续收到了3个类似的脉冲信号。



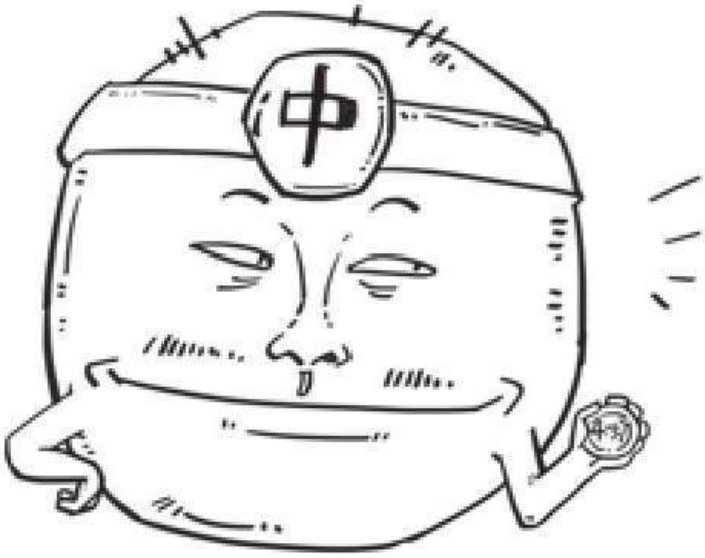
休伊什自己都觉得脑洞太大，过意不去，严肃思考后，他提出了可能存在脉冲星。



脉冲星

一直在快速自转，同时会向外发出脉冲信号

脉冲星后来被证实就是一种自带旋转“特效”的中子星。



中子星

密度比白矮星更大，脾气更火爆

据估算，一勺中子星物质就重达10多亿吨

因为这个惊人的发现，诺奖委员会决定把诺奖颁给休伊什，却没给最初的发现者贝尔。


只要我不尴尬，尴尬的就是别人。
可是我还挺尴尬的。
这诺奖到底是几个意思？



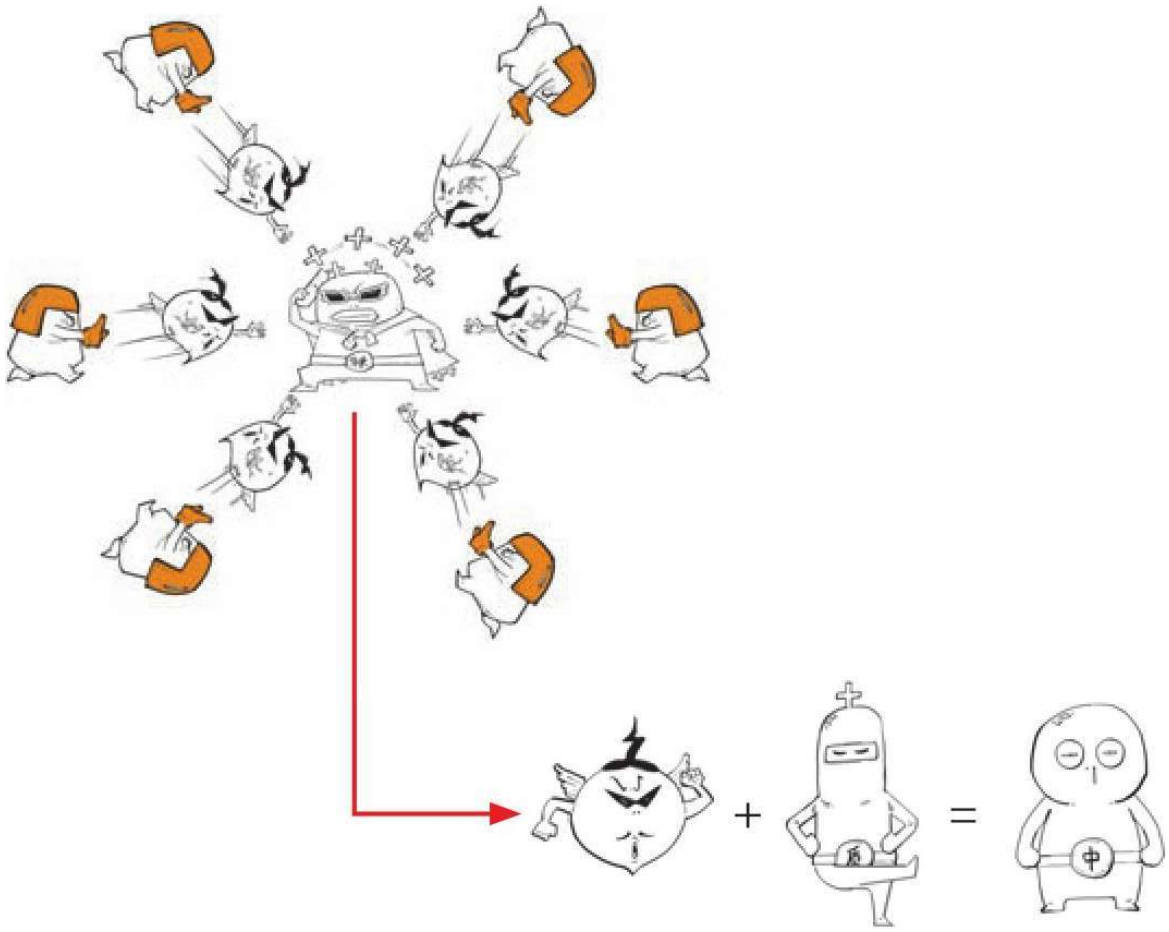
这就是贝尔没有诺贝尔的故事，也是天文学家们最爱玩的梗之一。

那恒星是如何变成中子星的呢？

话说恒星停止了核聚变，对外的力没了，引力挤压，电子的简并压会和引力对抗。

如果电子简并压也无法对抗，电子就会被压入原子核内， 和核内的质子抱团，形成中子。原子核内本来是质子和中子，电子进来后，就都变成了中子。


小样，　还想
跟我们斗？

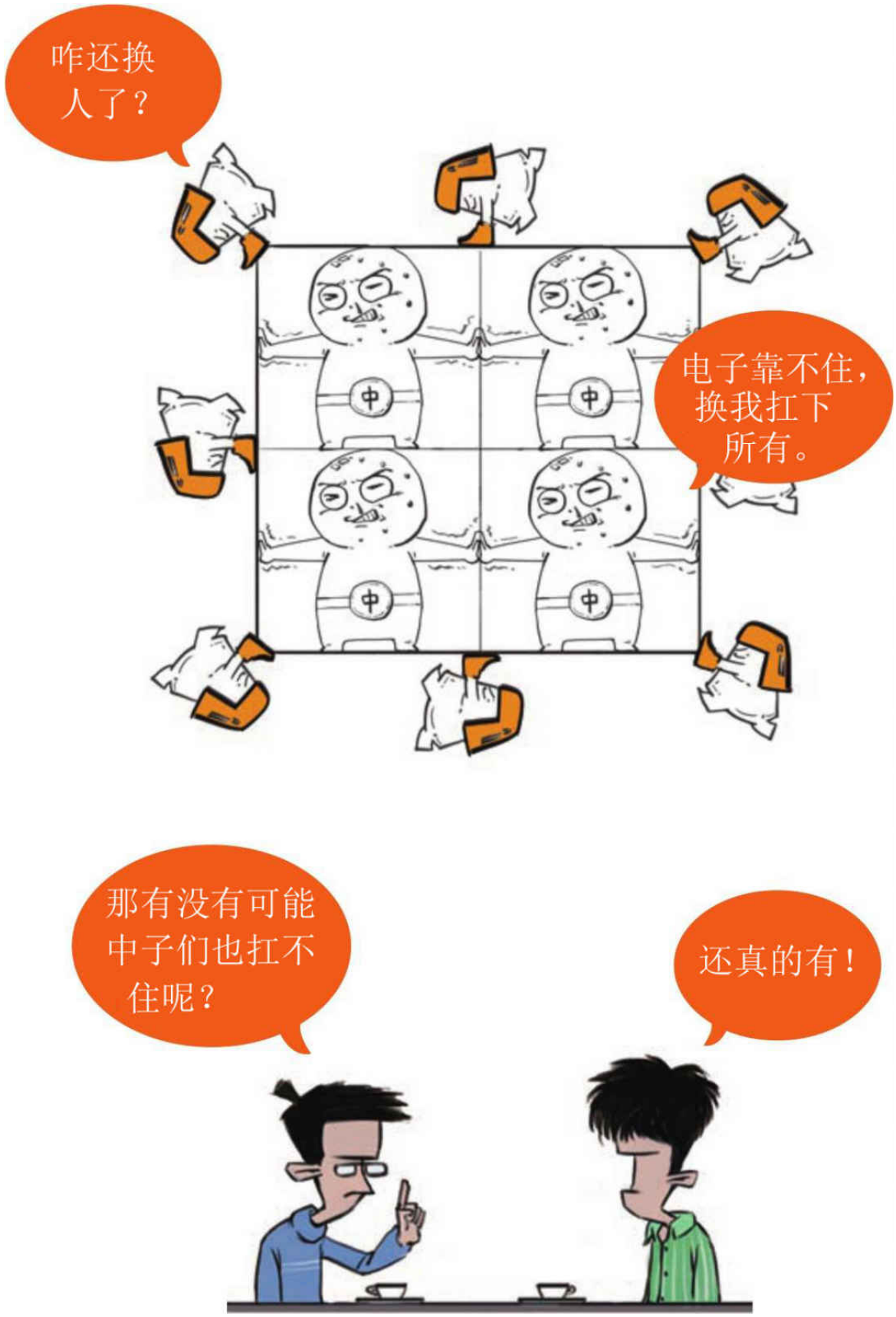

+
=
电子
质子
中子



温馨提示：

电子和质子相遇并不能直接转化成中子，主要还是引力加了把劲儿。

中子和电子一样，也会有排斥力，这就是**中子简并压**，它们会成群结队地和引力对抗，使得恒星内核不再继续被挤压。


咋还换人了？
电子靠不住，换我扛下所有。
那有没有可能中子们也扛不住呢？
还真的有！

（3）黑洞

中子们确实很强，但是如果引力更大，它们也只能投降。投降之后，恒星又会变成什么呢？

这就轮到下面的这位大佬出场了：

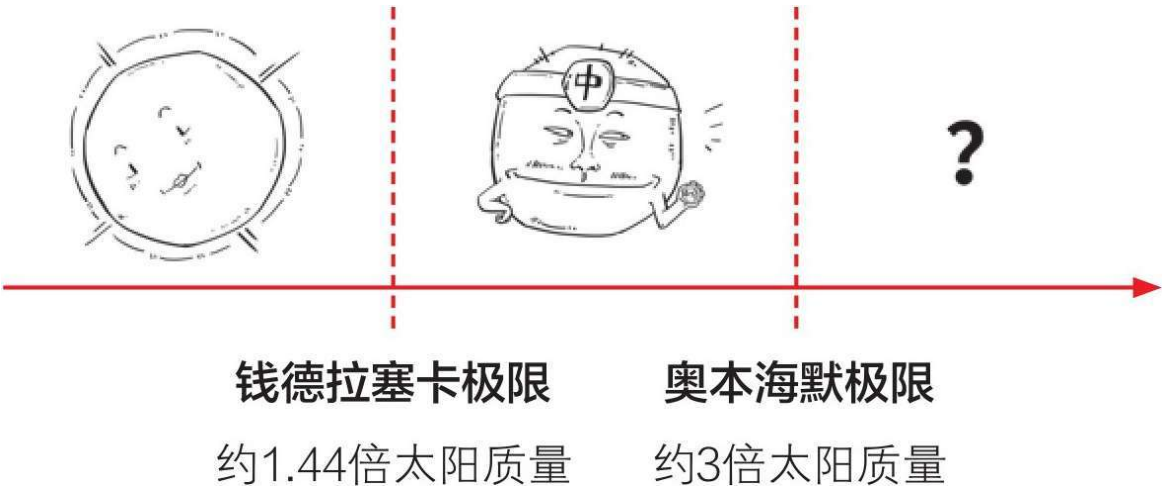


罗伯特·奥本海默

美国原子弹之父

奥本海默早年就研究过中子星，他计算出了中子简并压的极限，超过这个极限，中子也会扛不住。

现在科学家们认为这个极限大概是**3倍太阳质量**，这也被称为**奥本海默极限**。那超过奥本海默极限会如何呢？



当时正值第二次世界大战，奥本海默研究到一半，就跑去研究原子弹了。

如今科学家已经知道，超过奥本海默极限，中子简并压撑不住，天体就会变成黑洞。



黑洞

超强引力

吸光小能手

逮到什么吃什么的全宇宙最强吃货



当然，按照目前的理论，有的科学家认为，中子星和黑洞之间还存在着夸克星，只不过现在还没有任何观测证据。

那科学家到底是咋发现黑洞的呢？话说当年爱因斯坦刚搞出广义相对论，得到引力场方程时，他本人就觉得，这个方程太难了，估计短时间内很难有人能解出来。

按照剧情的发展，打脸的人很快就出现了。才过了一个月，就出现了个德国物理学家。



卡尔·史瓦西

物理学、天文学多栖人才

一边参战一边解方程

卡尔·史瓦西在“一战”前线，很快就得出了一个引力场方程的精确解。他还提出，当天体被压缩到一定程度后，光就跑不掉了。



这个被压缩后的天体半径也称为**史瓦西半径**。他还指出：**每个大小不同的天体都有自己的史瓦西半径。**

那么，想要光逃不出去，地球就得缩成1角硬币大小的球体。



对于这个结果，爱因斯坦都不敢相信，因为这种天体实在是太极端了。不仅如此，由于没有天文观测证实，所以，这个结果在当时并没有引起关注。



几十年后，一名叫克尔的科学家也拿起引力场方程开始计算，这一算，直接求出了旋转黑洞的精确解，从理论上证明了黑洞的存在。



再加上当时有了间接观测到黑洞的证据，引起了科学家们的好奇，大家又纷纷开始蹭热点，其中不乏许多科学界的大佬，比如：



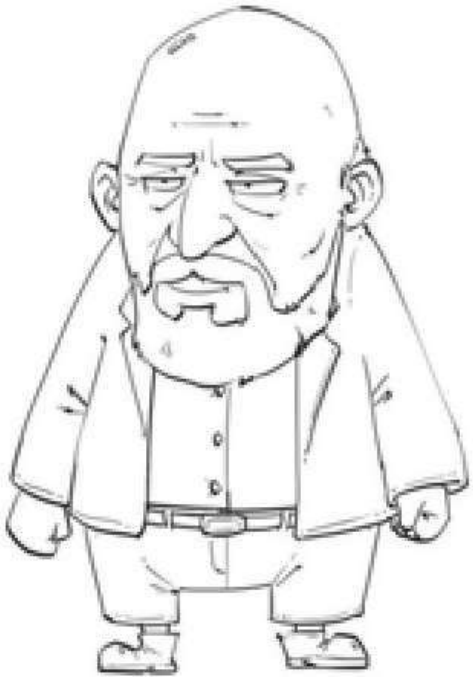
斯蒂芬·霍金

预言了霍金辐射



雅各布·贝肯斯坦

提出了黑洞熵公式



莱昂纳德·萨斯坎德

想窥探黑洞内部的秘密

……

后来，也有科学家陆续观测到了黑洞存在的证据。

甚至科学家们动用了全球不同地区的望远镜设备，给已知的黑洞拍照。

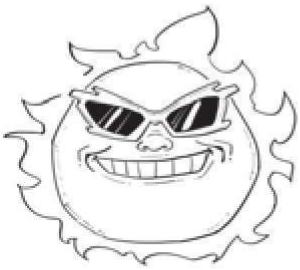


来源：NASA



至此，关于恒星的归宿，我们就聊得差不多了。

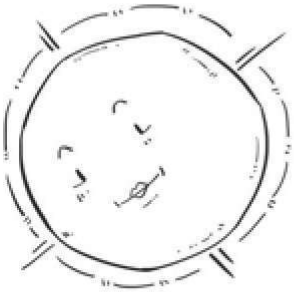
最后，我们来总结一下，恒星的归宿主要有3种：



小质量恒星

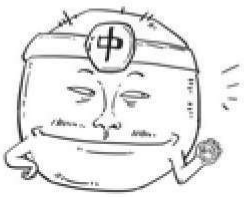


大质量恒星



白矮星

靠电子简并压抵抗引力



中子星

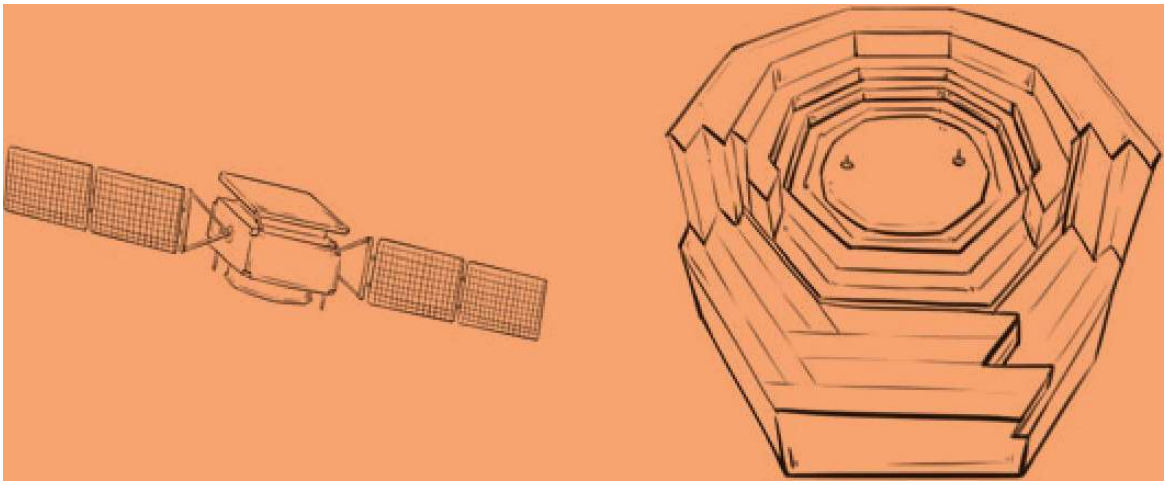
靠中子简并压抵抗引力



黑洞

能吸收所有光

七、如何“看见”暗物质和暗能量？



话说宇宙背后的主宰是看不见的**暗物质**和**暗能量**，以前，它们推动恒星、星系的形成，以后，它们还将左右宇宙的未来。

那么问题来了，暗物质和暗能量明明是看不到的，为何科学家还能如此确定它们的存在？



聊一聊这个问题，先从暗物质开始说。

1. 暗物质

说起暗物质， 要从一位天文学界大佬的意外发现说起。



扬·奥尔特

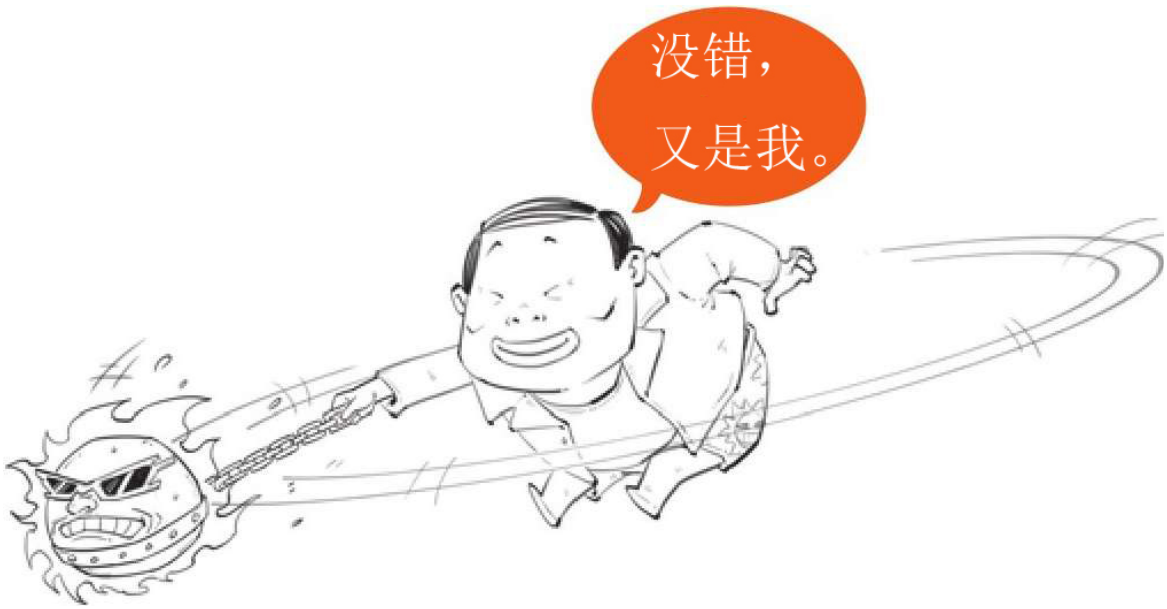
天文学界的大佬

太阳系最外围的球体云团**奥尔特云**以他的名字命名

奥尔特是研究星系的一把好手，话说有一回，他在研究星系的时候，发现了一个奇怪的现象：在星系中，有一些恒星转得很快，比理论上的速度快很多。



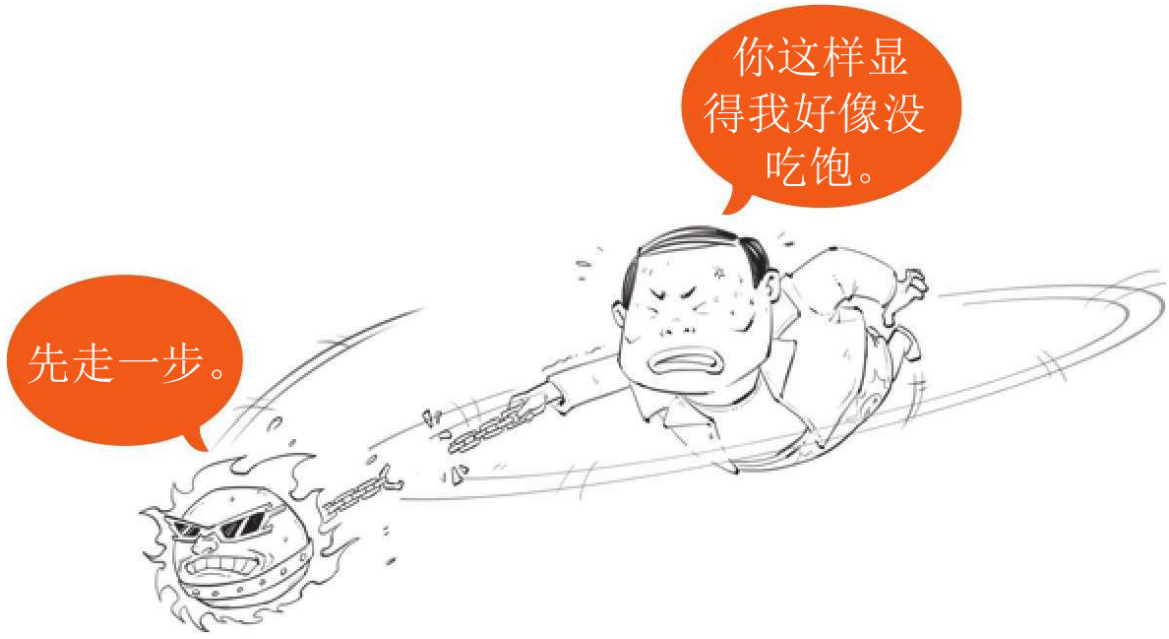
这个现象很不合理。咱们都知道，按照牛顿牛爵爷的万有引力定律，恒星跟着星系一起转，是因为有引力拉着。





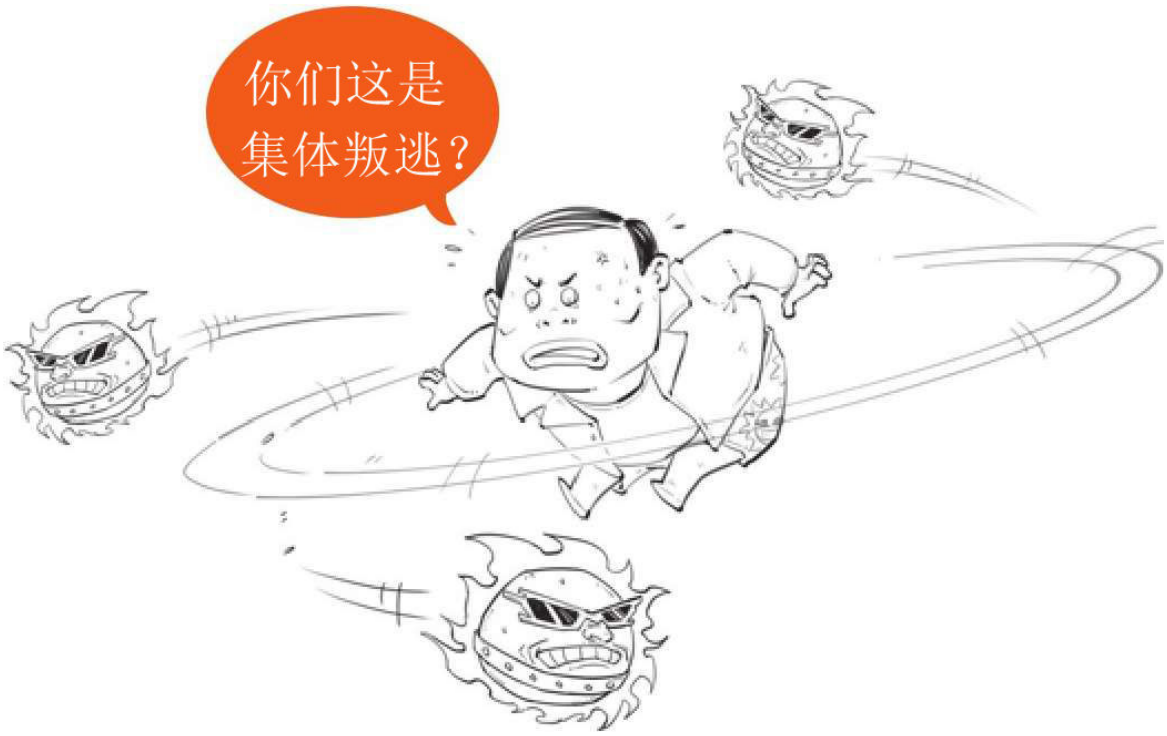
实际上，是星系中各种物质的引力拉着恒星，这里我们把这些物质简化处理，看成一个整体。

恒星绕转的速度越快，需要的引力就越大。如果星系引力不够，就会拉不住恒星，恒星就不再跟星系混了。

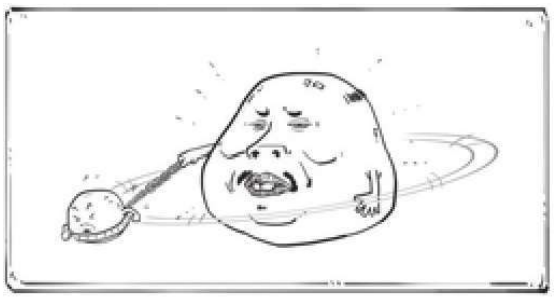


奥尔特发现，以恒星绕转的速度来看，仅靠星系中已知的物质提供的引力，是拉不住那些转得特别快的恒星的。

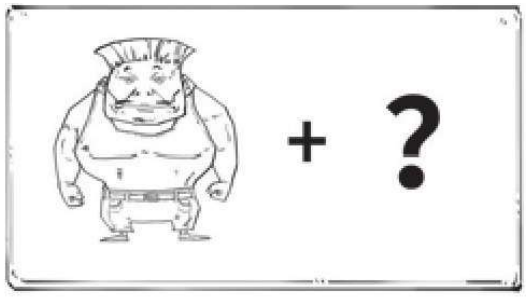
按照牛爵爷的引力理论，这样的星系早就应该**分崩离析**，不复存在。



可事实上，星系都还好好的。这下，奥尔特只剩下两种解释可选：



A. 万有引力理论错了



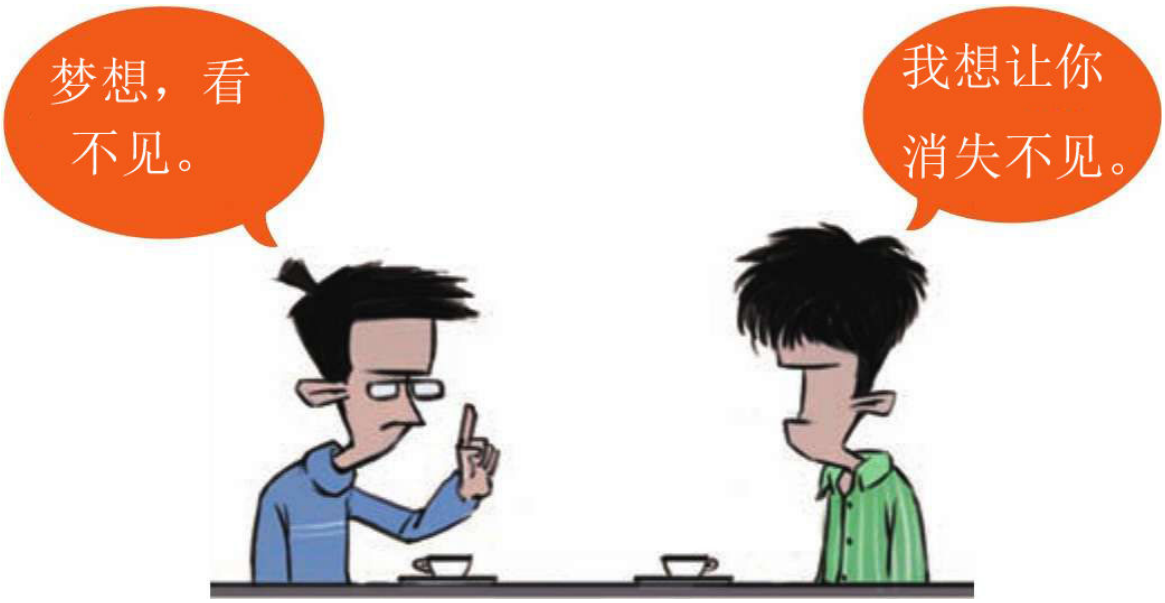
B. 存在不知道的其他物质

一种可能是牛爵爷的引力理论有漏洞，应用到星系这样大尺寸的天体时，会出现偏差。

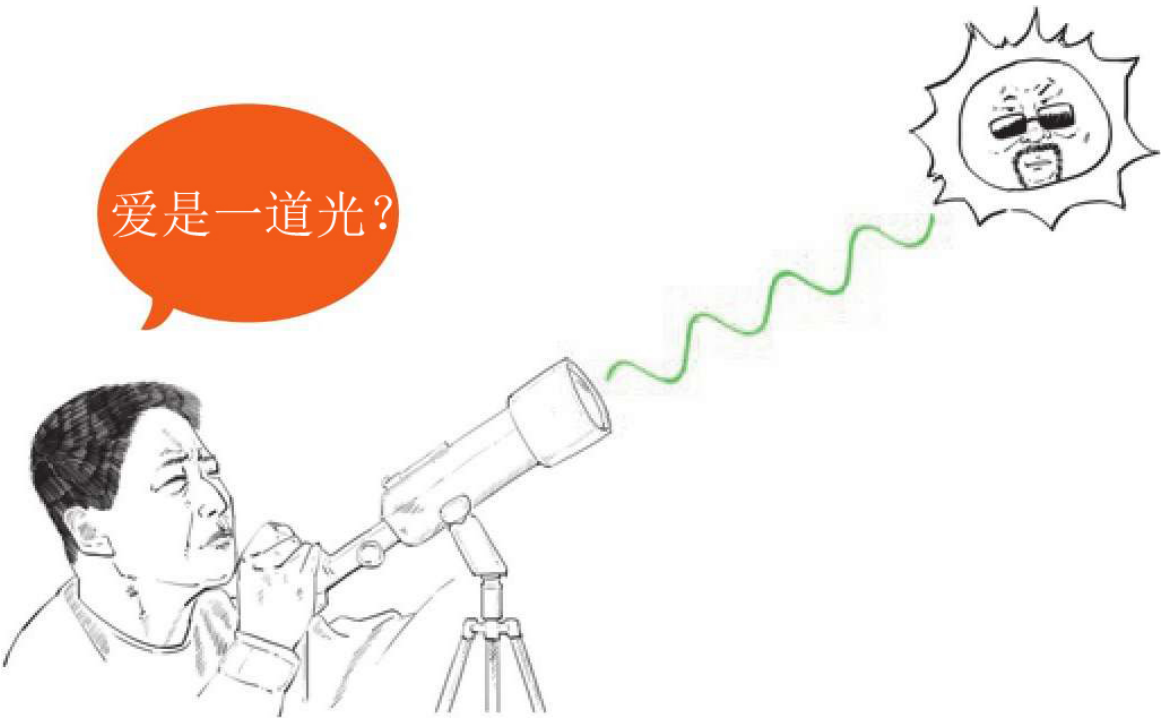


不过，奥尔特并不认为是牛爵爷错了，毕竟200多年来，牛爵爷的理论一向精确无比。

于是，他只剩下一个选择：除了已知物质外，星系中还有其他东西，并且这些东西我们“看”不见。



之前我们也说过，人要想看到东西，需要这个东西发出的光或者反射的光，进入人的眼睛里。天文学家观测天体，也是同样的道理，只是眼睛变成了望远镜。



光属于电磁波家族成员，如果有一种未知物质，它不会发出电磁波，天文学家也就观测不到它了。

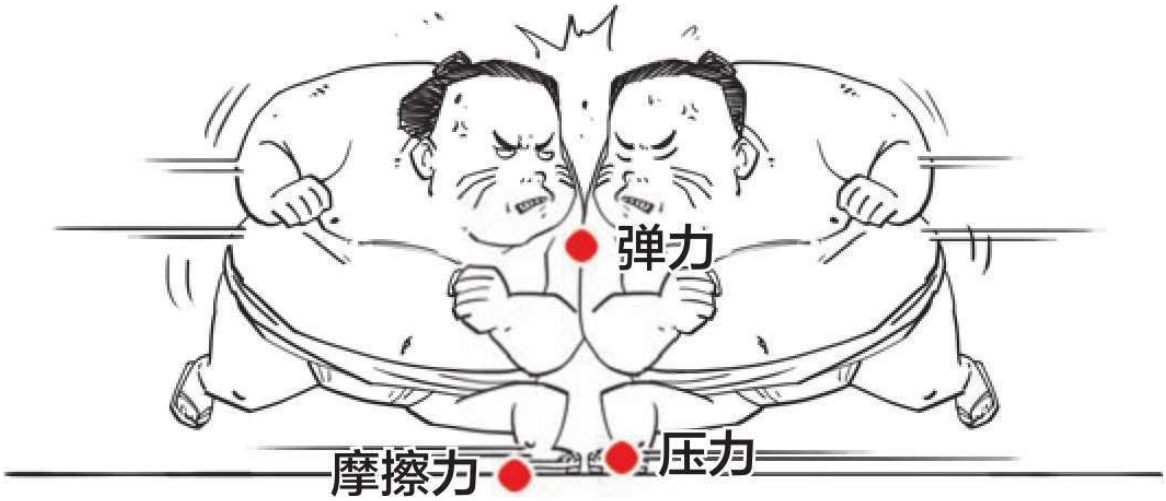


话说宇宙中存在着4种基本相互作用：

强相互作用　引力相互作用

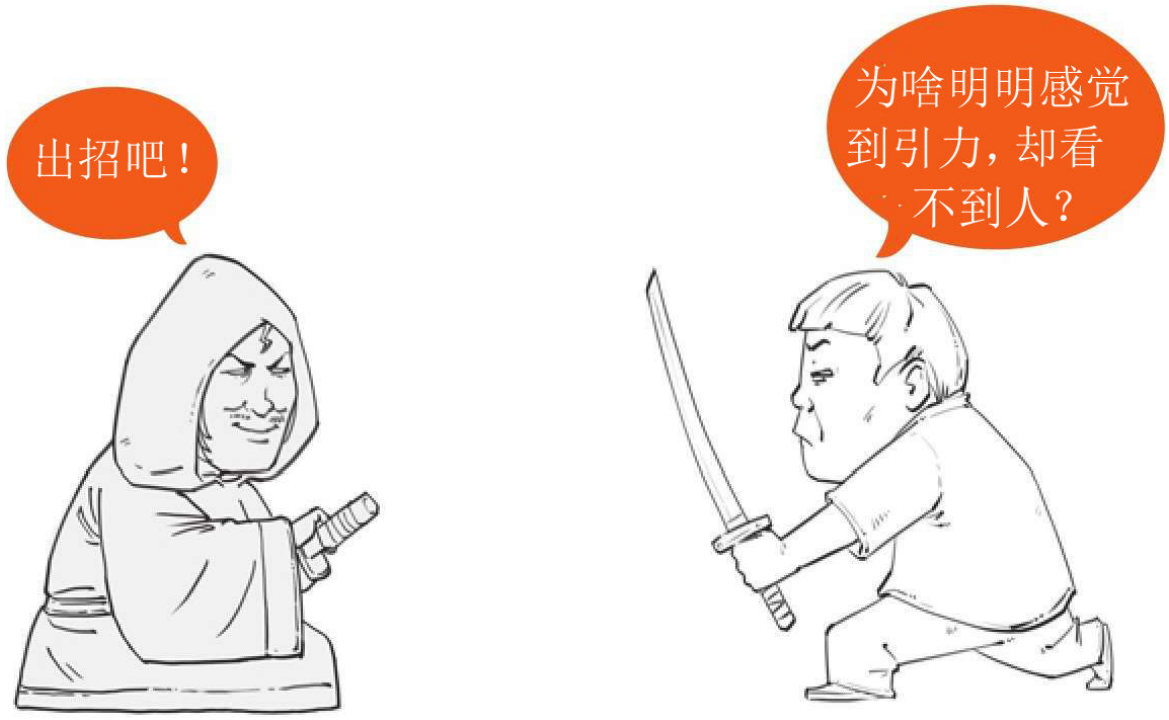
弱相互作用　电磁相互作用

自然界中所有的力，本质上都是这4种作用的衍生。日常生活中接触到的力，除了引力相互作用，都属于电磁相互作用。



另外，你可能想不到，平时你知道的弹力、摩擦力、压力，本质其实都是电磁相互作用。

通过电磁波观测物质，本质上就是**电磁相互作用**。这个未知物质不参与电磁相互作用，我们也就看不见它。



不仅如此，它还不会和物质发生太明显的相互作用，可以直接穿过物质。



人呢？





强相互作用、弱相互作用是在原子核直径以下的微观尺度起作用的。

奥尔特就比较偏向于存在未知物质的看法，但是当时他手头还有其他热点要追，就没有继续研究。

就在第二年，来了另外一位举足轻重的天文学界大佬：



弗里茨·兹维基

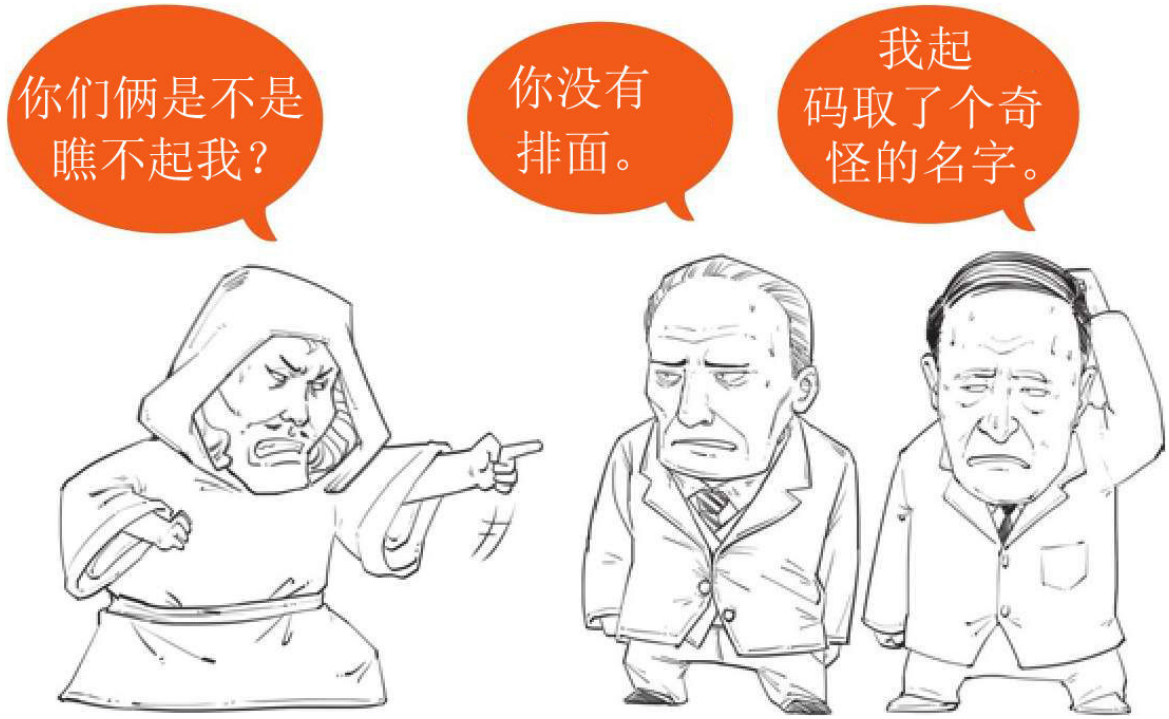
工作稳定的理工男

天文学家里的专利写手

作为一个有影响力的天文学家，爱写论文就算了，居然还拥有50多项专利。

他在研究后发座星系团时，也发现了类似的问题，他认为应该存在“看不见的物质”，并把它们称为**丢失的质量**。

然后，他也没再研究，而是追其他热点去了。



后来，这个未知物质被命名为：**暗物质**。

可惜，注意到星系中可能存在未知物质的这两位天文学界大佬都去追热点了，这个世纪难题就这样被晾了40多年。

改变暗物质命运的是一位“后浪”天文学家：

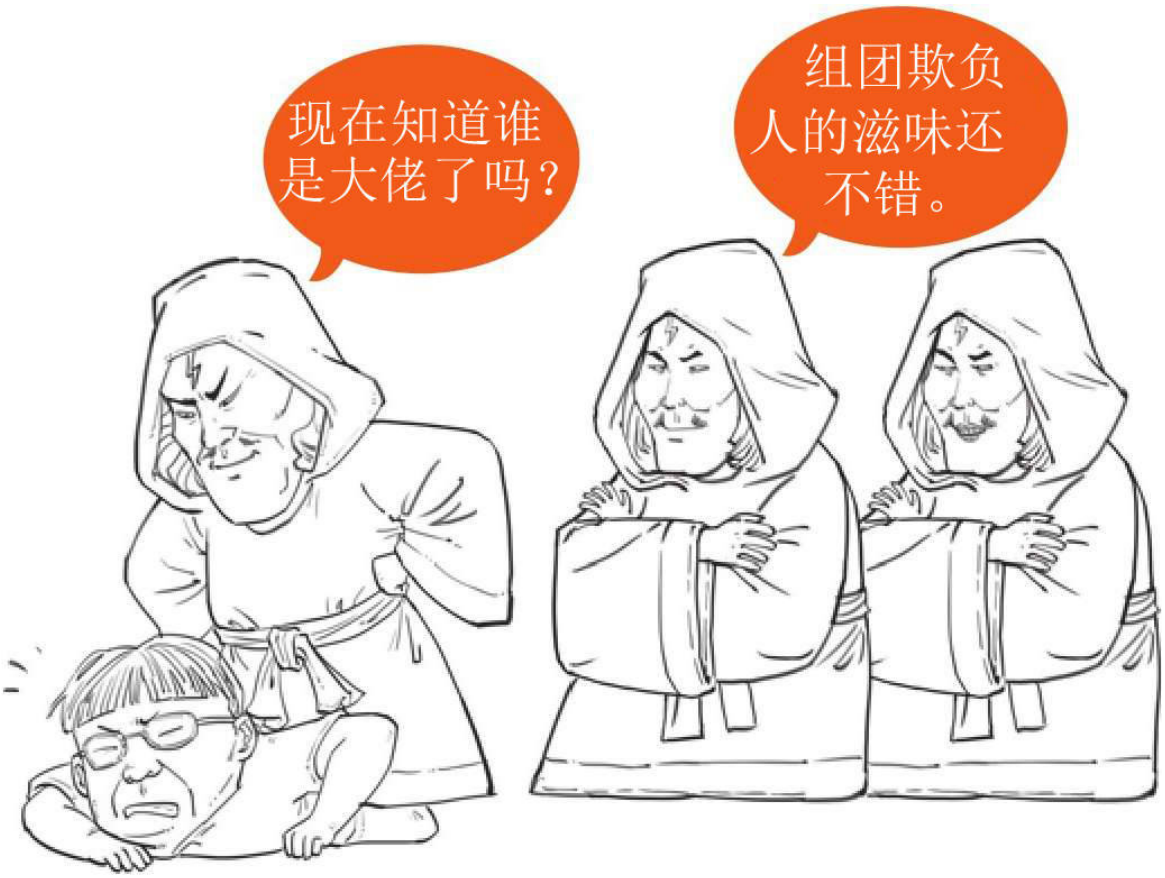


薇拉·鲁宾

暗物质代言人

明星脸，科学命

她和同事研究星系自转时，根据星系外侧的旋转速度推测星系内有暗物质的存在。她的团队还发现：**暗物质才是宇宙的主角**，总质量大概是普通物质的6倍。



现代科学技术手段证实，暗物质约占宇宙中全部物质总质量的84.5%。可是科学不能光耍嘴皮子，还需要拿出点证据来，结果还真被科学家找到了间接观测证据。

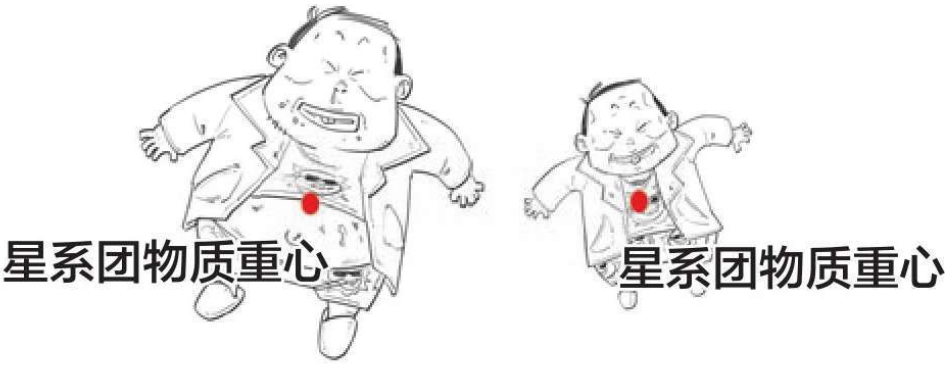


为了方便大家理解，混子哥简化了一下。这次观测，分析的逻辑大概是这样的：

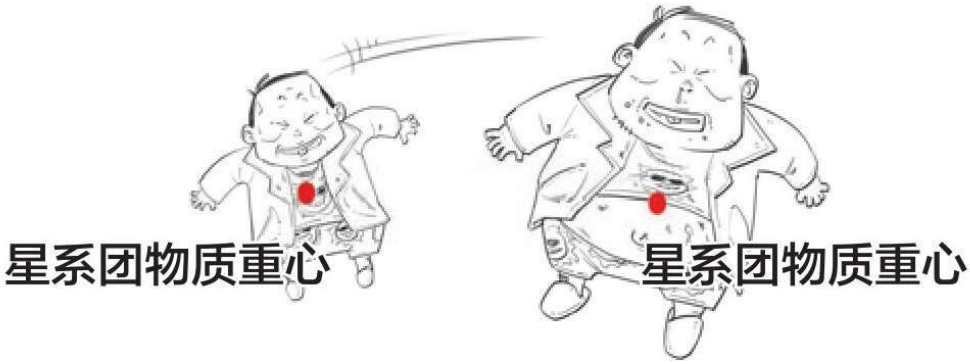
科学家用望远镜记录下了两个星系团碰撞的过程。

本来正常情况下，如果星系团中都是普通物质，碰撞前后星系团的重心位置应该不会发生大的变化。

碰撞前

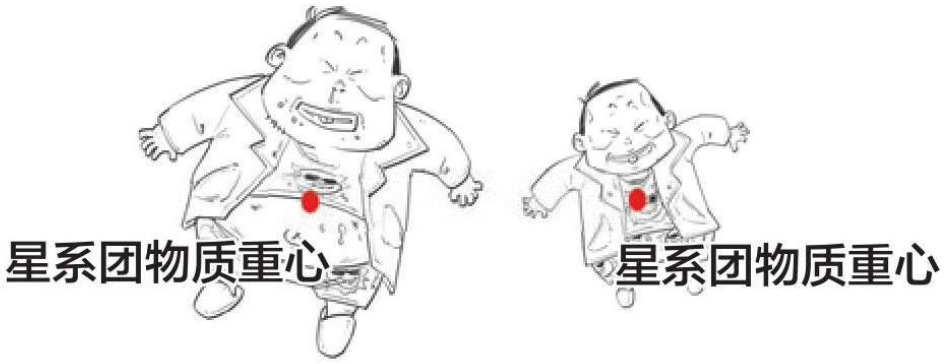


碰撞后



但是天文学家实际上看到的却是星系团在碰撞后重心偏移了。

碰撞前

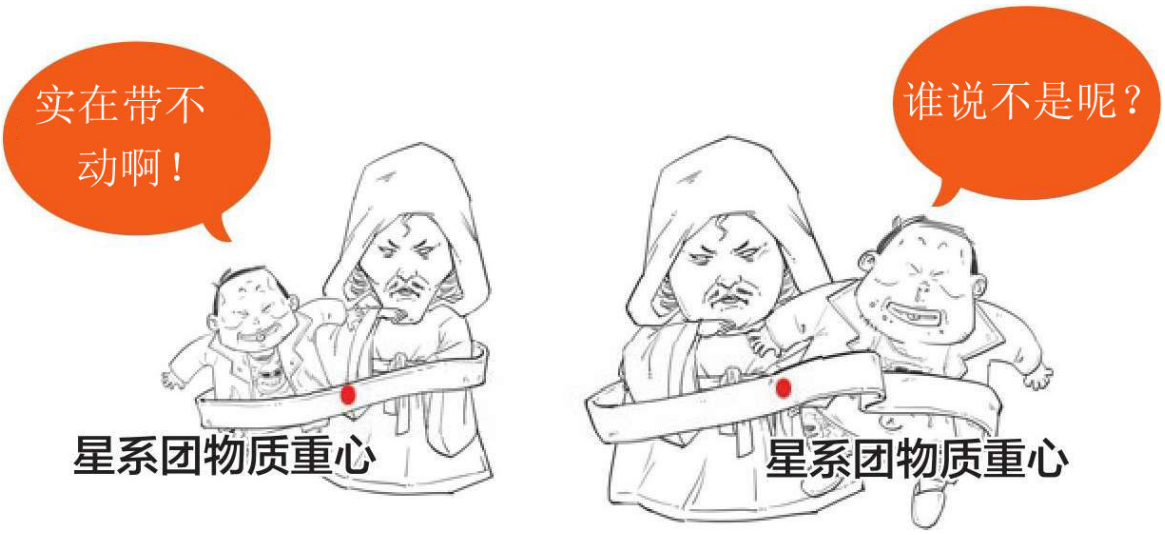


碰撞后



这引起了科学家的困惑，他们发誓一定要搞清楚重心严重偏移的原因。

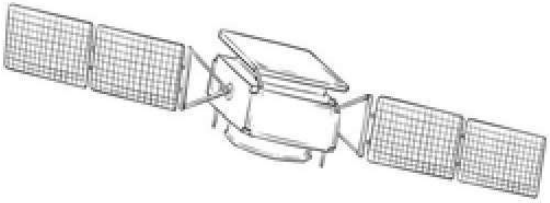
一通分析下来，天文学家得出了惊人的观点：**是暗物质在拖后腿。**

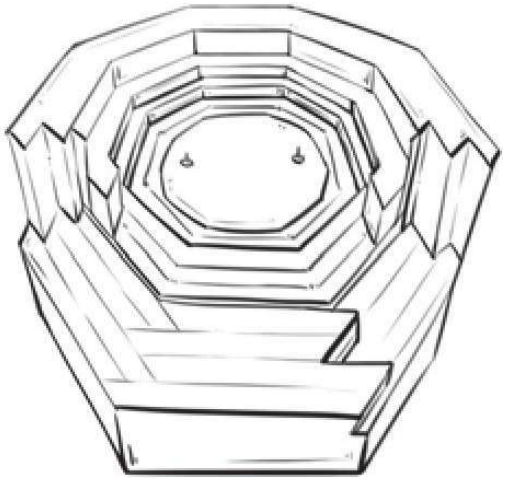


如今科学家普遍认为暗物质应该是存在的，但大家比较困惑的是：暗物质到底是啥？

为了搞清楚这个前沿的科学问题，现在世界各国都在建设暗物质观测实验室，至今还没有确切结果。

例如，我国的“悟空”号暗物质粒子探测卫星和锦屏地下实验室。





2. 暗能量

如果宇宙中只有已知物质和暗物质，根据万有引力定律，宇宙应该是由引力主导的。

大爆炸后，在极短的时间内，宇宙获得了一个膨胀的初始速度，但是因为有引力作用，宇宙膨胀速度应该越来越慢。





照着这个节奏发展下去，迟早有一天，宇宙会停止膨胀，甚至在引力作用下，宇宙空间会开始收缩。



科学家们一开始也是这么认为的，不过，有两个研究团队比较较真，实际去研究了这个问题。

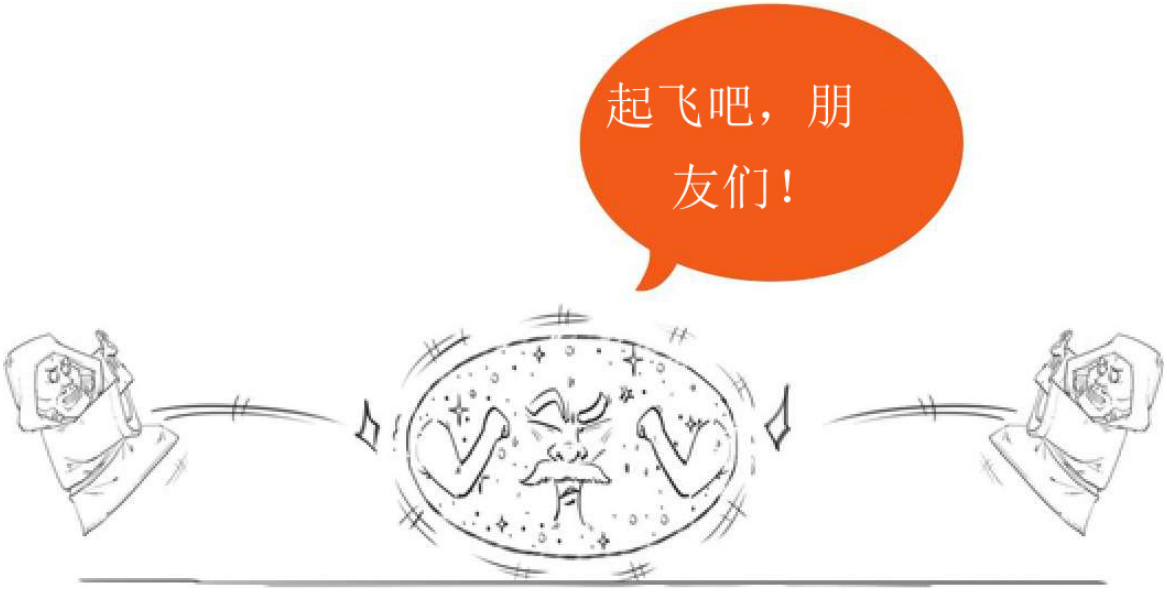


结果很意外，这两个团队得到了非常一致的结论：



他们得到了一个和预测完全不一样的观测结果：

宇宙竟然在加速膨胀！



这个结论一下子把科学家们都给整蒙了，两个团队的观测确实没毛病，因为这一重大发现，他们还获得了2011年的诺贝尔物理学奖。

那么问题来了，到底是什么神秘力量让宇宙加速膨胀呢？科学家们搬出了熟悉的套路，像当初预言暗物质一样，再一次预言了神秘物质的存在，它就是：

暗能量。



与暗物质提供引力不同，暗能量提供的是和引力完全相反的斥力。

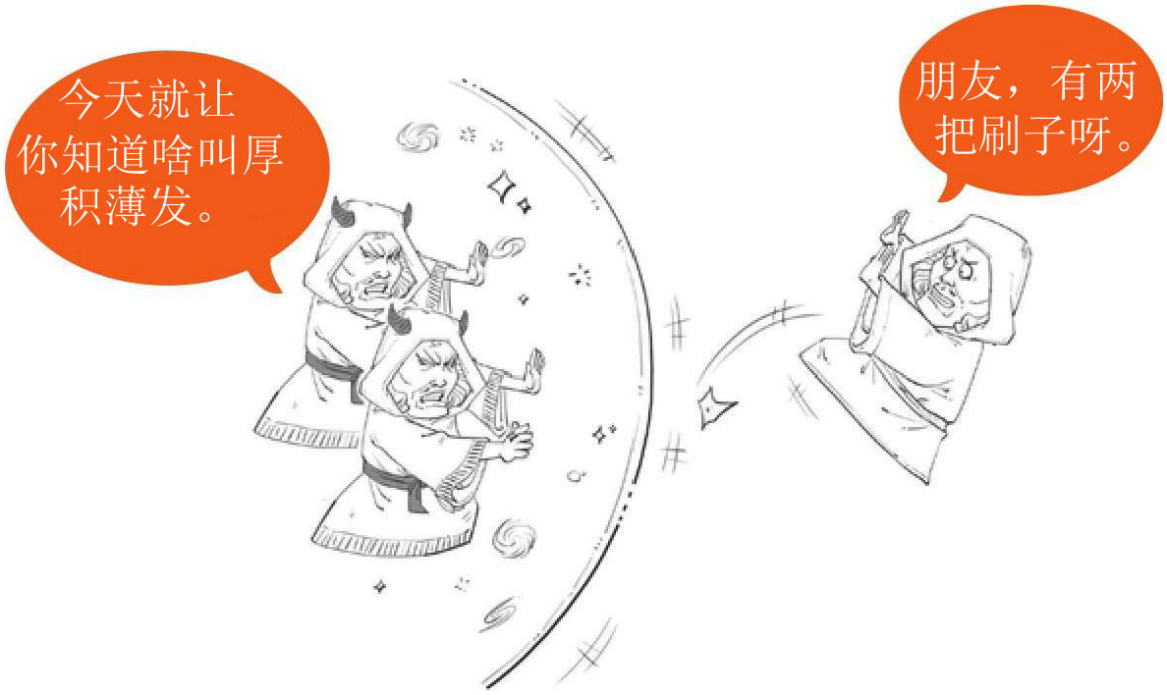
不过，暗能量到底是个啥，到现在也没有一个统一的说法，科学家们对于暗能量的看法基本可以说是：

一千个科学家，就有一千个暗能量模型。

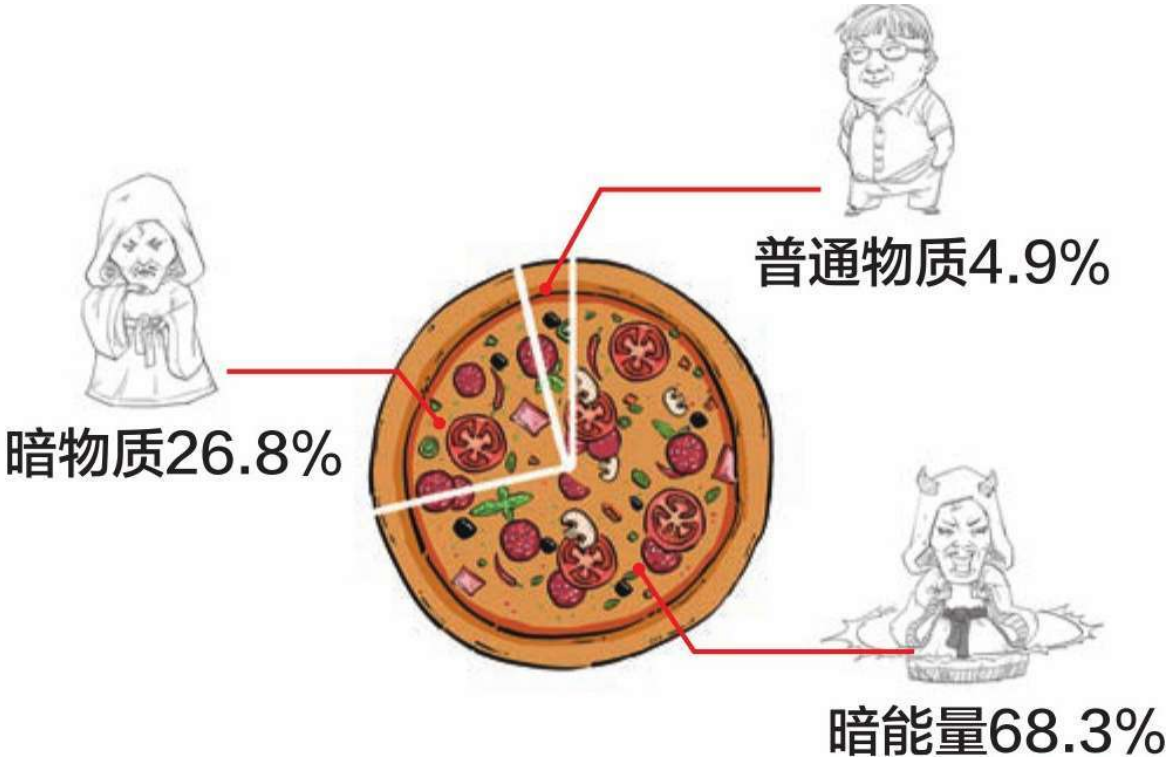


总之，一通研究下来，科学家们发现，暗能量起初并不是暗物质和普通物质的对手，所以前90亿年，宇宙膨胀速度都是减小的。

不过，能在宇宙里混成主角，咋可能没两把刷子？人家暗能量属于大器晚成型的选手，大约40亿年前，它就和物质打成了平手，再之后就反超了，宇宙膨胀开始加速，并一直持续至今。



也就是说，如今的宇宙，暗能量是真正的大佬，暗物质加上普通物质也就是个老二。科学家根据最新的宇宙微波背景辐射，得出宇宙中各种成分的比例为：



暗能量的发现不仅改变了人类对宇宙的认识，还让另一个故事也发生了反转。

还记得爱因斯坦的引力场方程吗？它描述了宇宙时间、空间，以及里面的质量、能量等。现在暗能量一出来，方程的命运当然也要发生变化。

最开始的方程形式，不符合爱因斯坦静态宇宙的观点，于是，他就加了一个**宇宙常数项**。





$$R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu\nu}R=\frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

后来，哈勃观测到宇宙在膨胀，宇宙常数项就显得多余，于是就被去掉了。

当时爱因斯坦加个常数项被打脸，悔得肠子都青了。

但是，自打发现了宇宙在加速膨胀，一些人觉得，可能真的需要在方程中加入宇宙常数项， 才有可能描述这个现象。

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

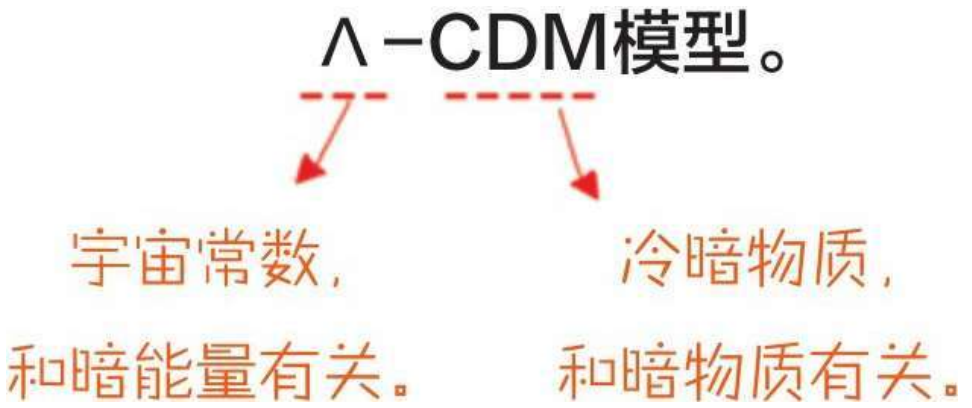
于是，宇宙常数项就这样复活了。

只可惜，那时爱因斯坦已经离世50多年，如果他老人家知道宇宙常数现在又要加回来，估计心里一定很酸爽。



当然，更重要的是，对暗物质和暗能量了解得越多，人类对宇宙未来的认识也就越清晰。

因为暗物质和暗能量的存在，科学家们已经在描述宇宙的最新理论模型中加入了新的调料。大爆炸宇宙论，现在已经升级成了：



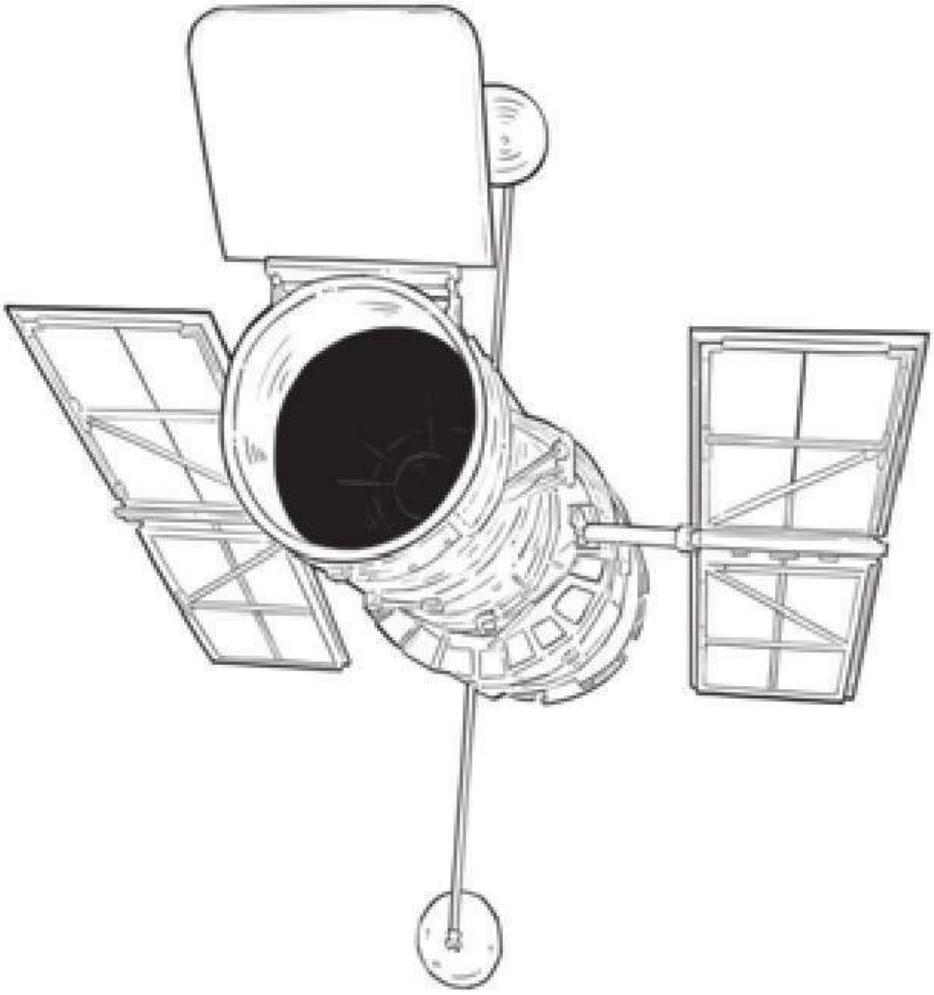
这个新名字告诉我们一件事：人类如果把暗物质和暗能量研究明白，对宇宙的了解就会更透彻，甚至会引发物理学和天文学新一轮的革命。



关于宇宙大爆炸以及宇宙的一生，我们就聊到这里。

八、人类在宇宙中的“眼睛”
——探测器一览

哈勃空间望远镜



国别：美国

科学目标： 探测宇宙诞生早期的“原始星系”，研究宇宙膨胀

哈勃空间望远镜位于地球大气层之上，是一台光学望远镜。

它的一大贡献是拍了“两张”照片，一张是“哈勃超级深空场”，另一张是“哈勃遗产场”。

哈勃超级深空场是哈勃望远镜给外太空拍的一张照片，这张照片是经过了113天的长时间曝光拍出来的。照片中包含大约10 000个星系，其中一些星系因为距离遥远而显现出其130亿年前的状态。



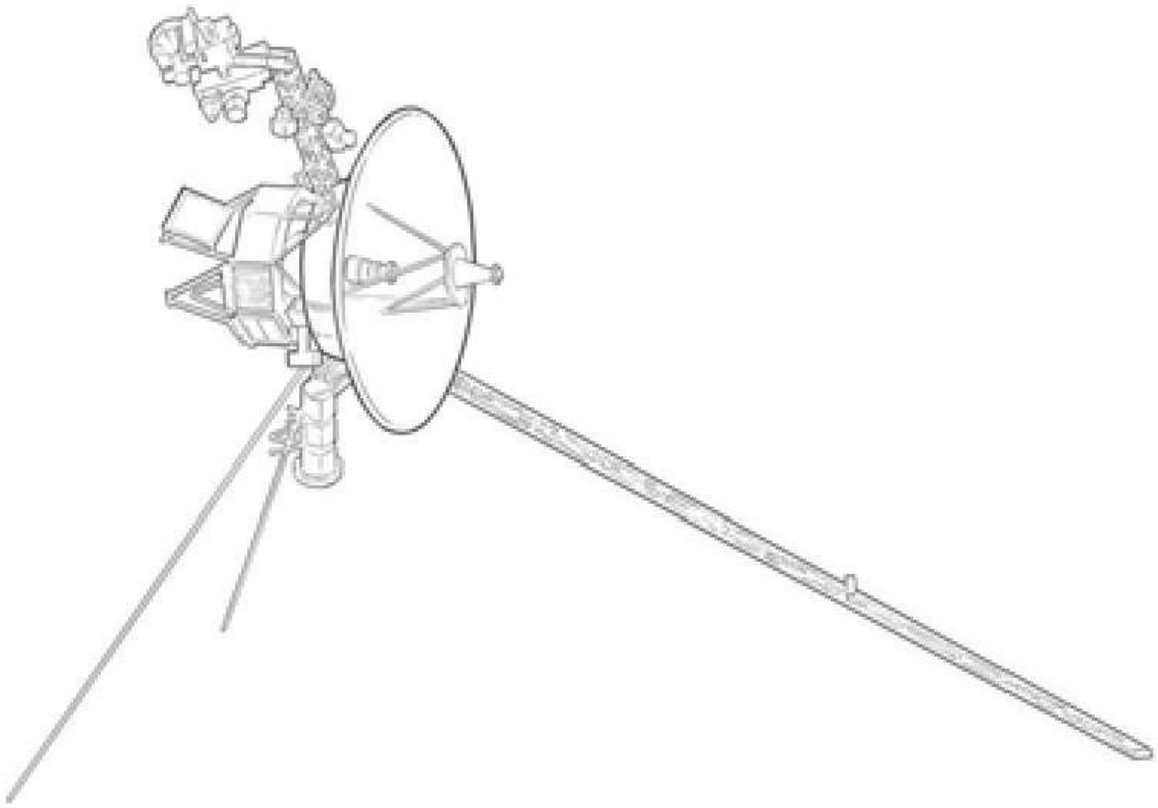
来源：NASA



来源：NASA

在哈勃空间望远镜退役之前，它又拍了哈勃遗产场照片。这张照片是由7500张小照片凑成的一张大照片，包含约265 000个星系，有些星系可能已经有133亿岁了。

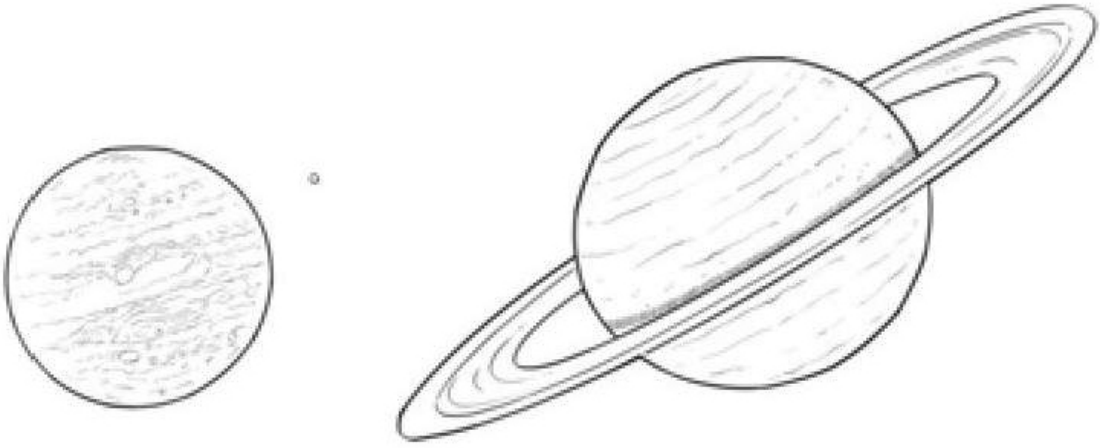
旅行者一号航天器



国别：美国

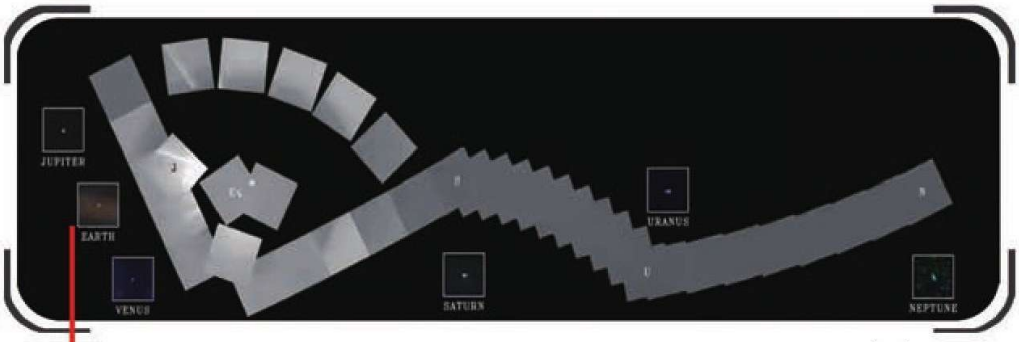
科学目标： 探索外太阳系的所有大行星，包括太阳系的边界

旅行者一号在探索过程中，拍摄了木星和土星的照片。

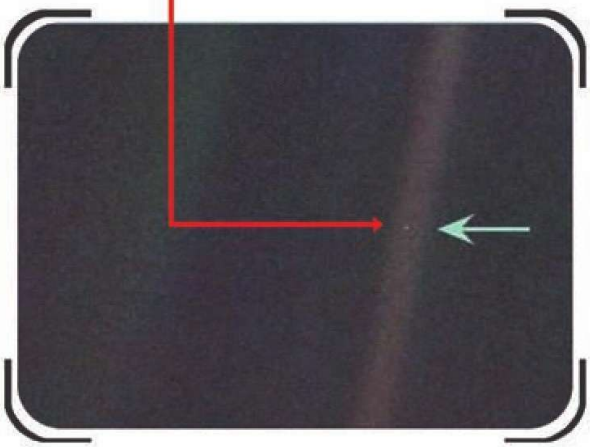


木星　　土星

随后，在朝着太阳系边缘继续飞行的过程中，旅行者一号航天器回头看了看，给太阳系拍了一张“全家福”。



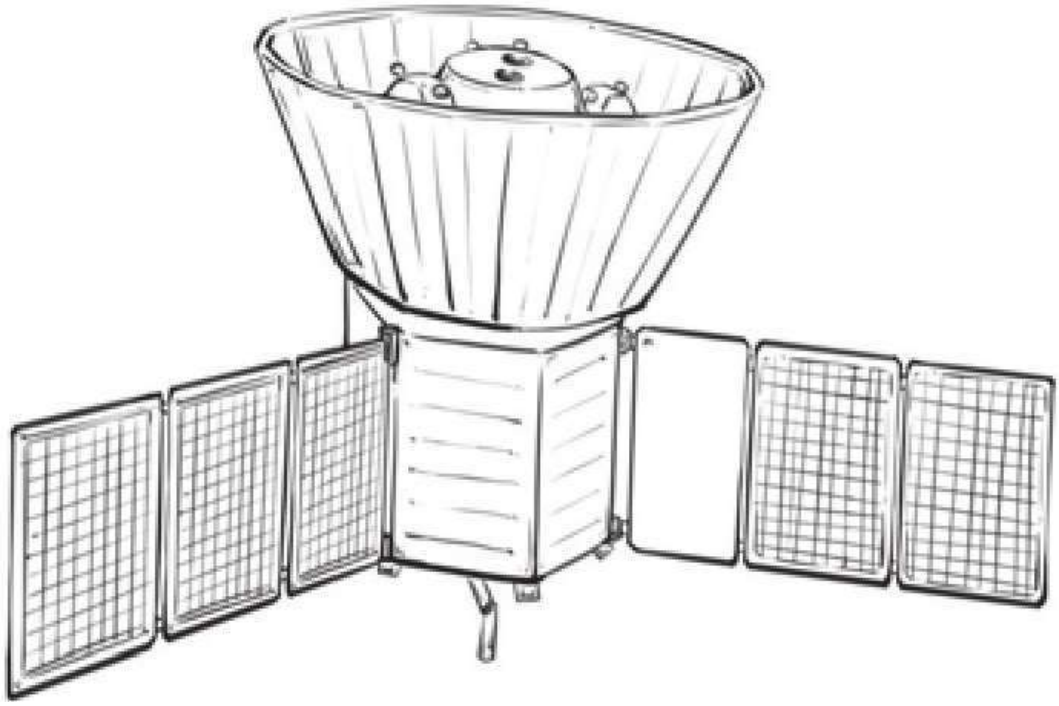
来源：NASA



来源：NASA

照片中，地球只是一个小小的点，美国著名天文学家卡尔·萨根称之为“暗淡蓝点”。

宇宙背景探测者（COBE）

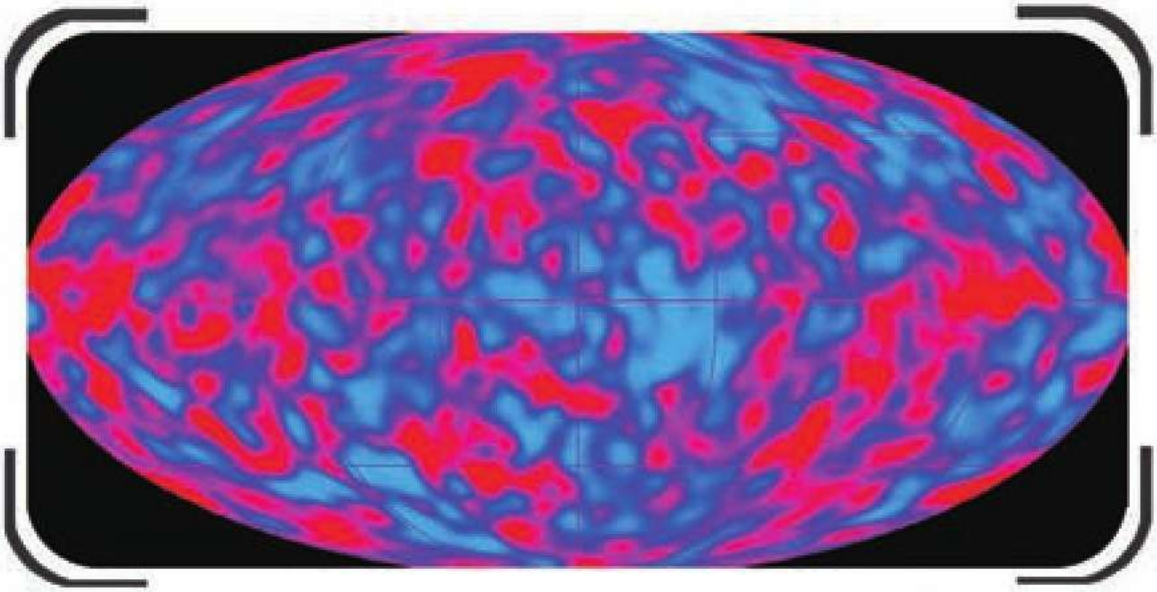


国别：美国

科学目标： 探测宇宙的微波背景辐射

COBE卫星是第一颗用来探索宇宙微波背景辐射的卫星，也是它发布了第一张宇宙微波背景辐射图。

根据照片可以算出宇宙微波背景辐射的温度大约是-270摄氏度。这进一步支持了大爆炸宇宙论，并获得了2006年的诺贝尔物理学奖。



来源：NASA

*照片中的不同颜色表明宇宙各处的温度稍有不同。

威尔金森微波各向异性探测器（WMAP）

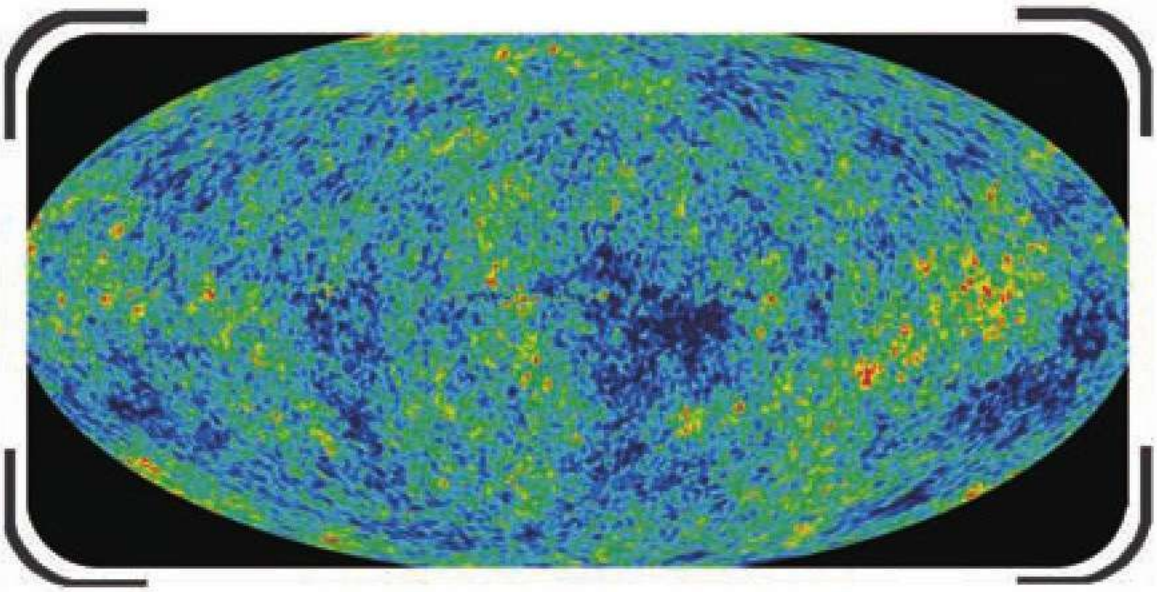


国别：美国

科学目标： 测量宇宙微波背景辐射的温度起伏

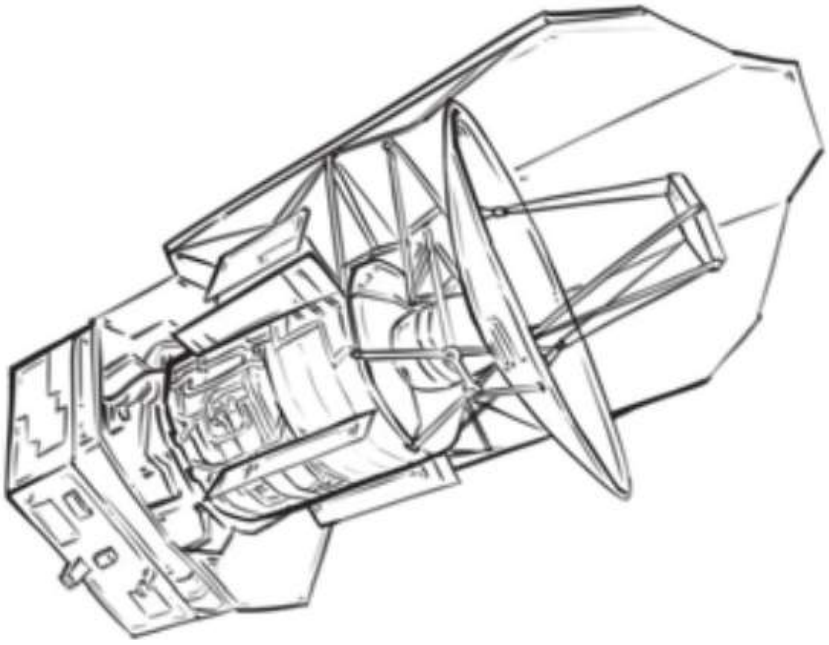
作为COBE太空任务的继承者之一，相比于COBE卫星，WMAP拍摄的宇宙微波背景辐射，图像更清晰，数据也更丰富。

WMAP测量到的数据，不仅可以支持大爆炸宇宙论，还可以作为暗物质与暗能量存在的证据。



来源：NASA

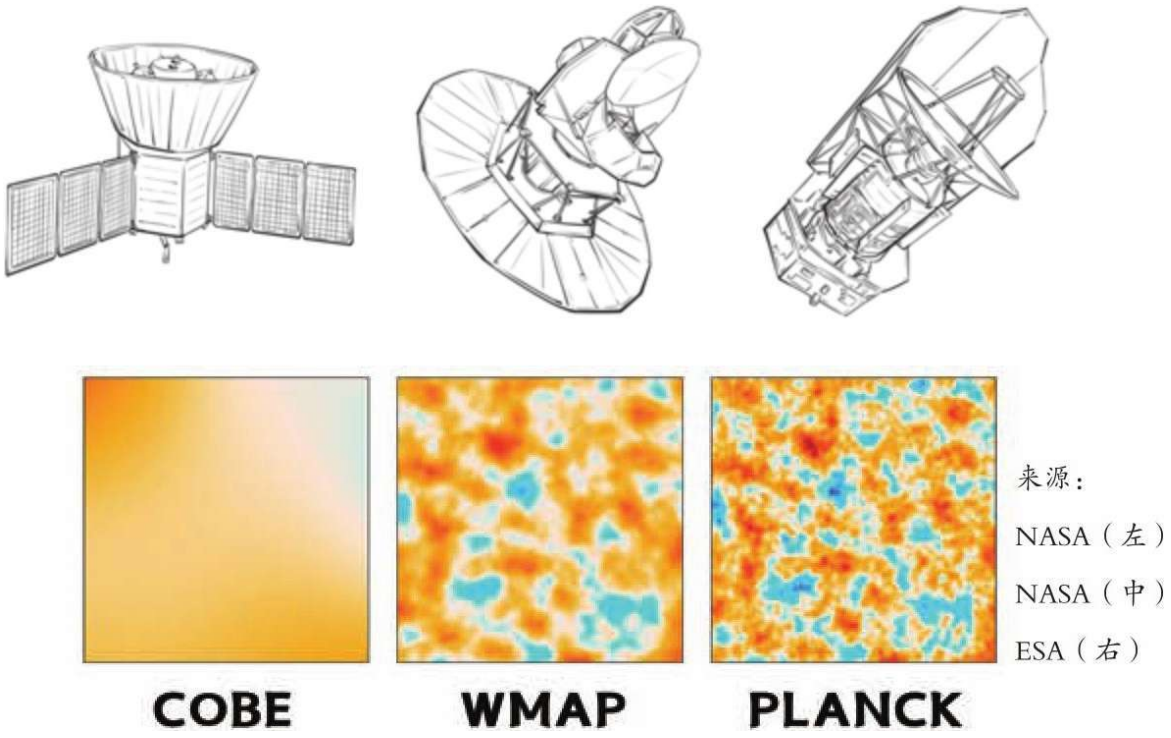
普朗克卫星（PLANCK）



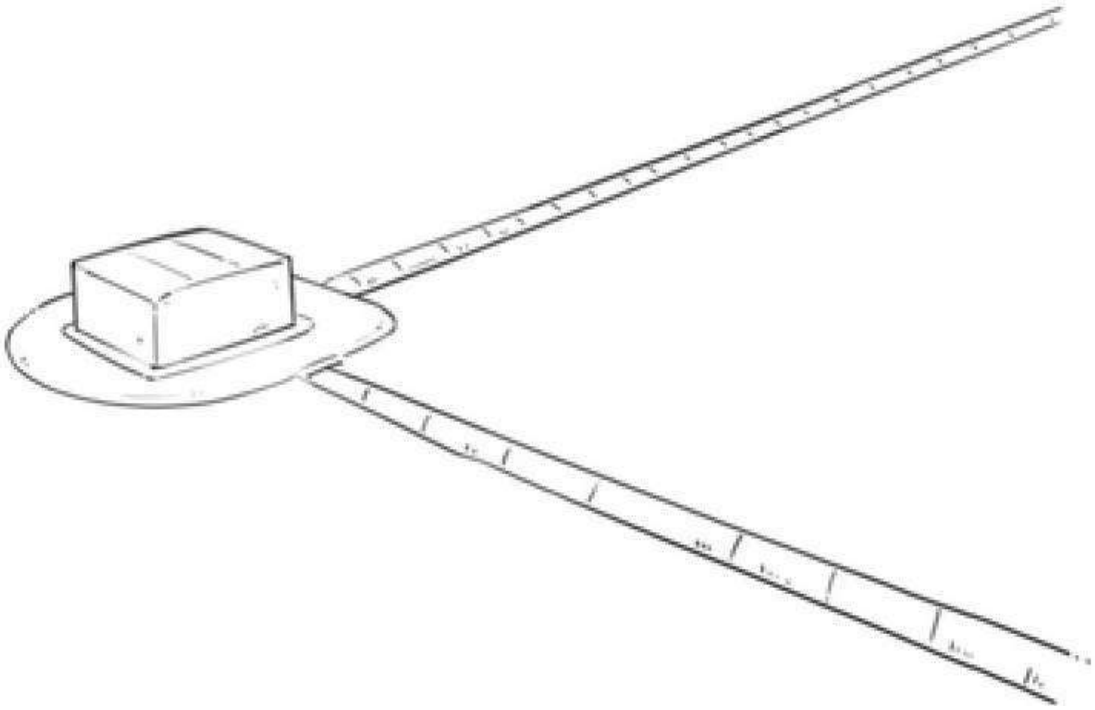
国别：欧盟国家

科学目标： 观测高精度的宇宙微波背景辐射

通过分析普朗克卫星的观测数据，科学家建立了宇宙学的新“标准模型”。



激光干涉引力波天文台（LIGO）

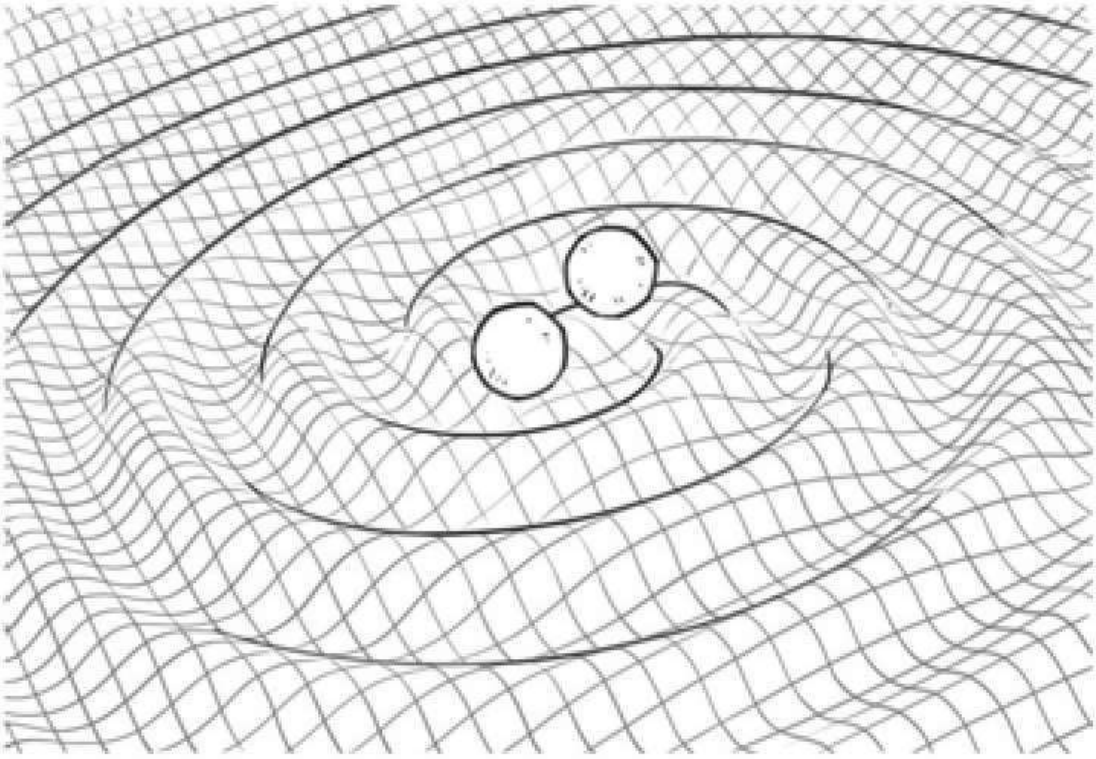


国别：美国

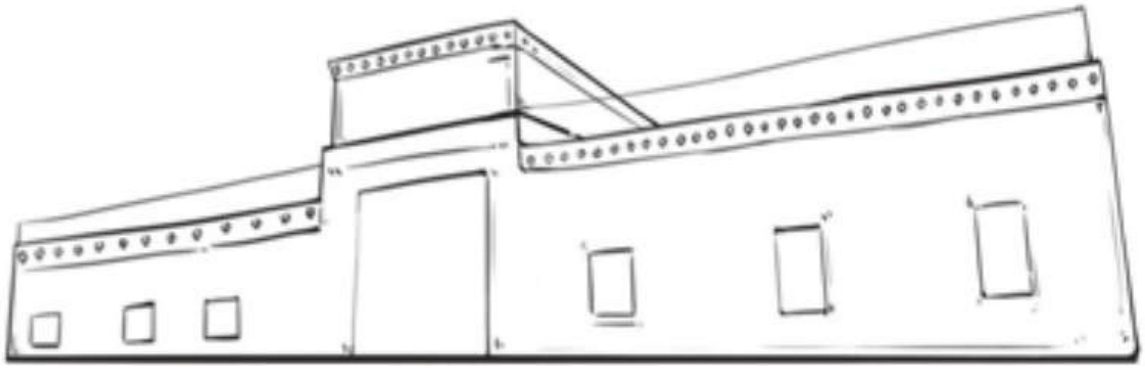
科学目标：直接探测引力波

LIGO是由两个长达4千米的臂组成的激光干涉仪，探测灵敏度极高，可以探测到质子直径万分之一的空间变化。

LIGO目前已多次探测到双黑洞合并引起的引力波，有力地证实了爱因斯坦广义相对论对引力波的预测。这一重大科学成果获得了2017年的诺贝尔物理学奖。



西藏阿里地区原初引力波观测基地

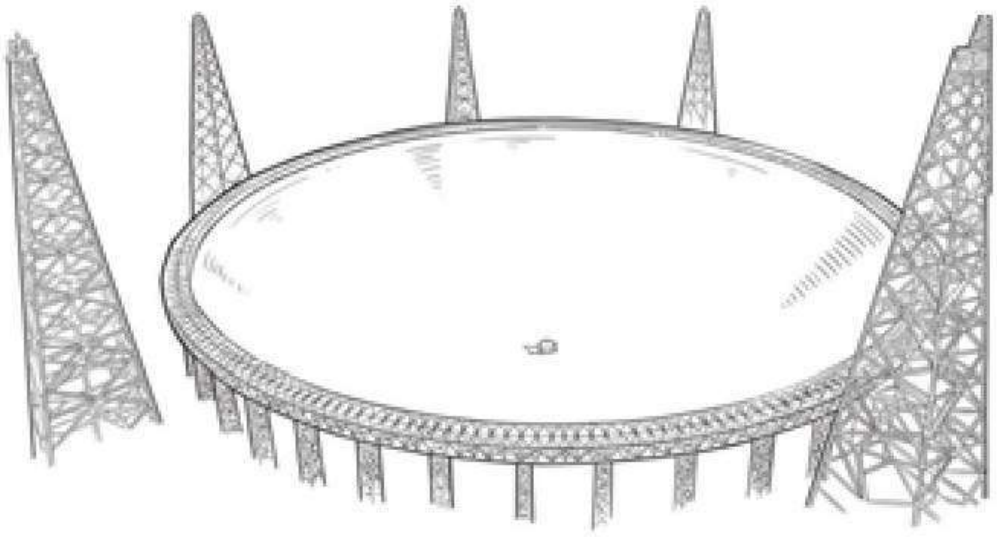


国别：中国

科学目标： 通过观测宇宙微波背景辐射来探测原初引力波

阿里基地目前正在建设之中，相信在不远的将来它会发布一系列令人期待的科学成果。

500米口径球面射电望远镜（FAST）



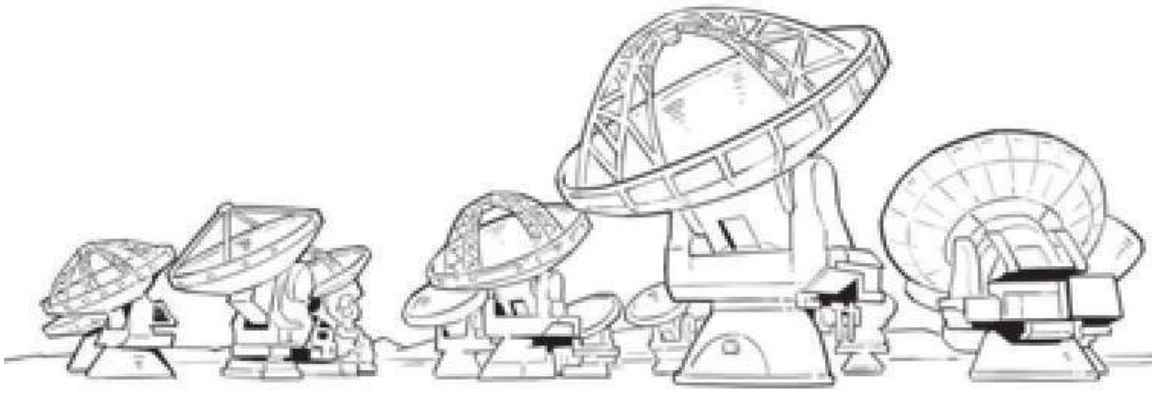
国别：中国

科学目标：观测中性氢谱线及其他厘米波段谱线，搜索暗弱脉冲星等

世界最大单口径射电望远镜，反射面积相当于约30个足球场，探测灵敏度达到世界第二大望远镜的2.5倍以上，灵敏度优势可保持10～20年。

作为我国“十一五”重大科技基础设施建设项目，FAST自2020年1月11日正式运行至今，已发现数百颗脉冲星。

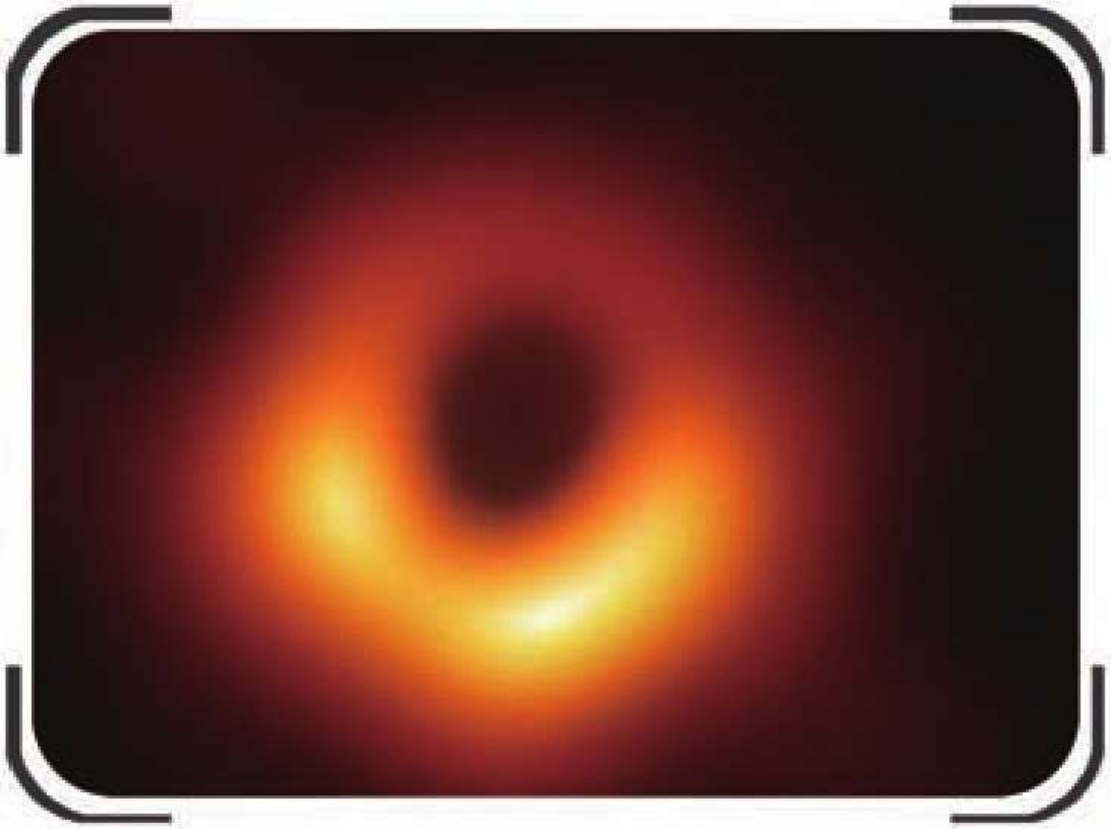
阿塔卡马大型毫米波/亚毫米波阵列（ALMA）



国别：国际合作

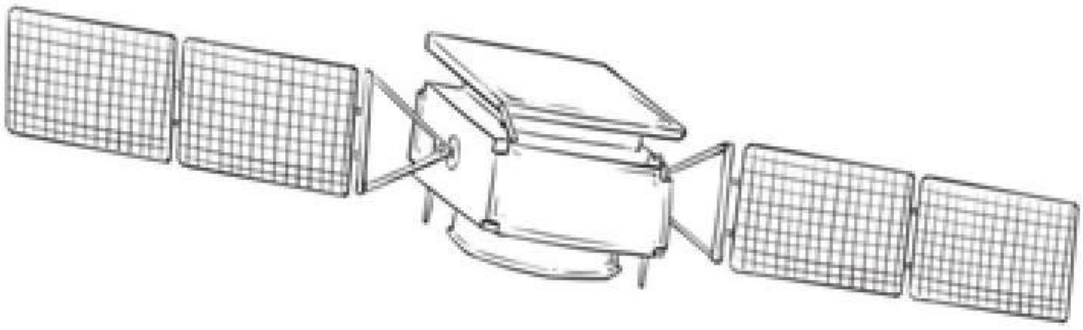
科学目标： 主要用于探测星系和行星演化

ALMA是由66台大型射电望远镜组成的阵列，观测分辨率可达哈勃空间望远镜的10倍。它参与了人类对黑洞第一张照片的拍摄。



来源：NASA

“悟空”号暗物质粒子探测卫星

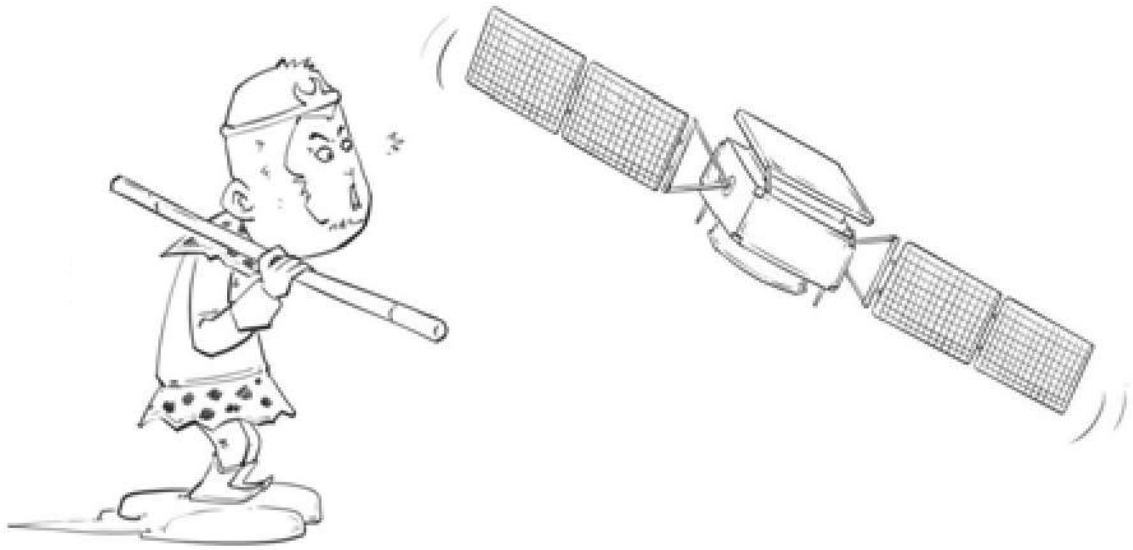


国别：中国

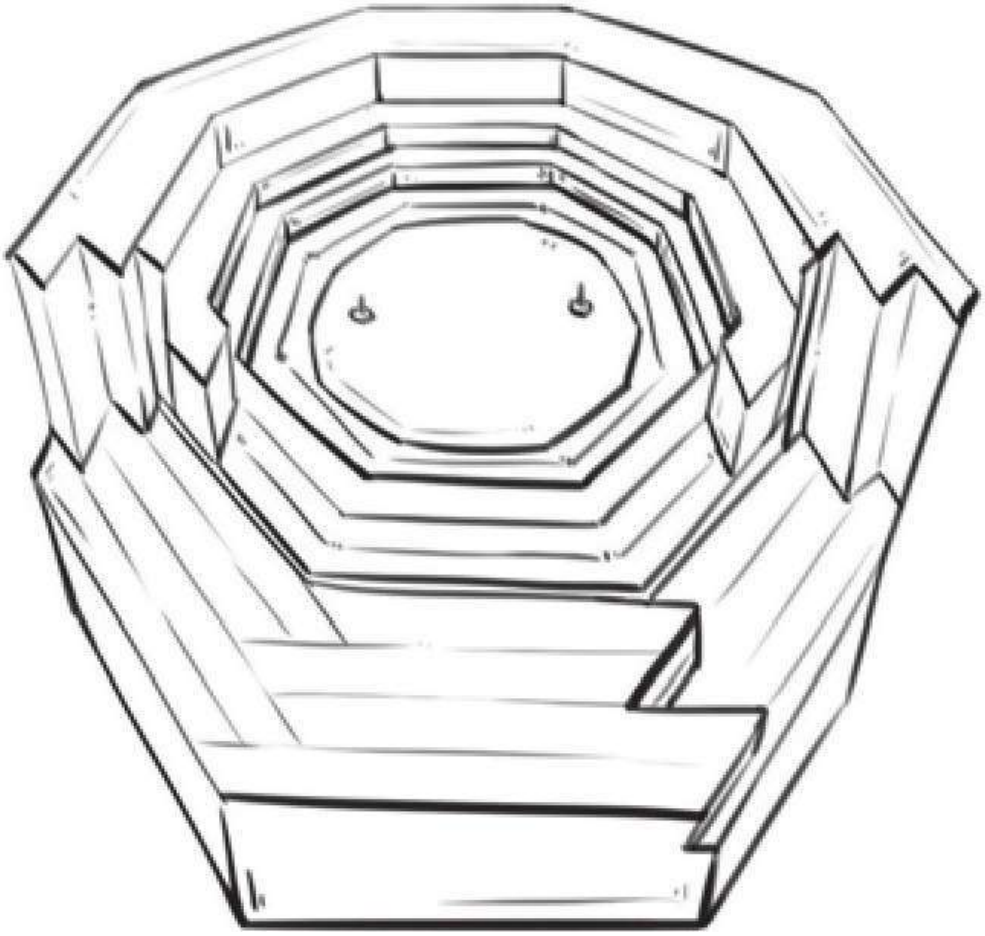
科学目标： 通过精确测量宇宙射线中正负电子比例，找出可能的暗物质粒子信号

“悟空”号自2015年升空，至今已在轨运行5年半，它绘制的高能宇宙射线能谱，说明中国在空间高能粒子探测方面已走在世界最前列。

相信在不久的将来，它会为我们揭开更多关于宇宙的秘密。



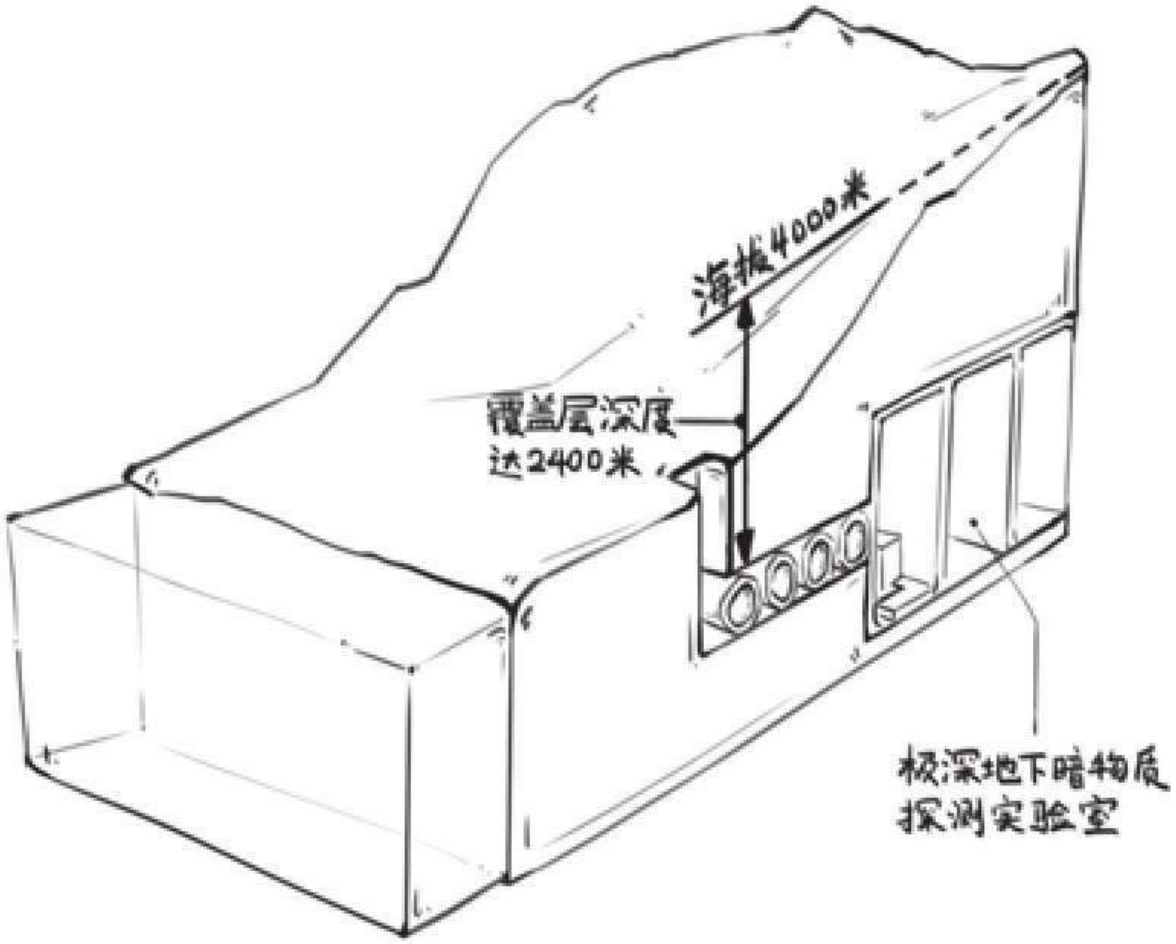
中国锦屏地下实验室



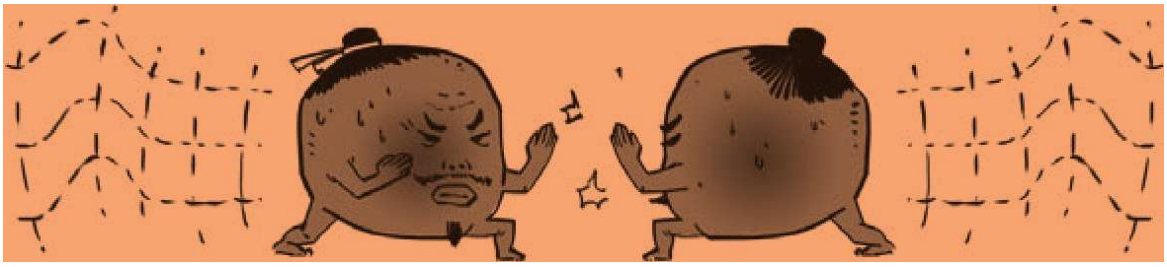
国别：中国

科学目标： 探测原子核与暗物质粒子碰撞产生的信号

作为目前世界上岩石覆盖最深的地下实验室，中国锦屏地下实验室可以更好地屏蔽各种宇 宙射线的干扰，为探测暗物质提供一个极为“干净”的实验环境。


海拔4000米
覆盖层深度
达2400米
极深地下暗物质
探测实验室

番外一、引力波就是你俩还没开打，杀气就喷了我一脸



爱因斯坦曾经预言了**引力波**。在未来，引力波有大用处，人们可以利用它来探测宇宙。

那么问题来了，引力波到底是啥？这章我们就来聊一聊这个话题。

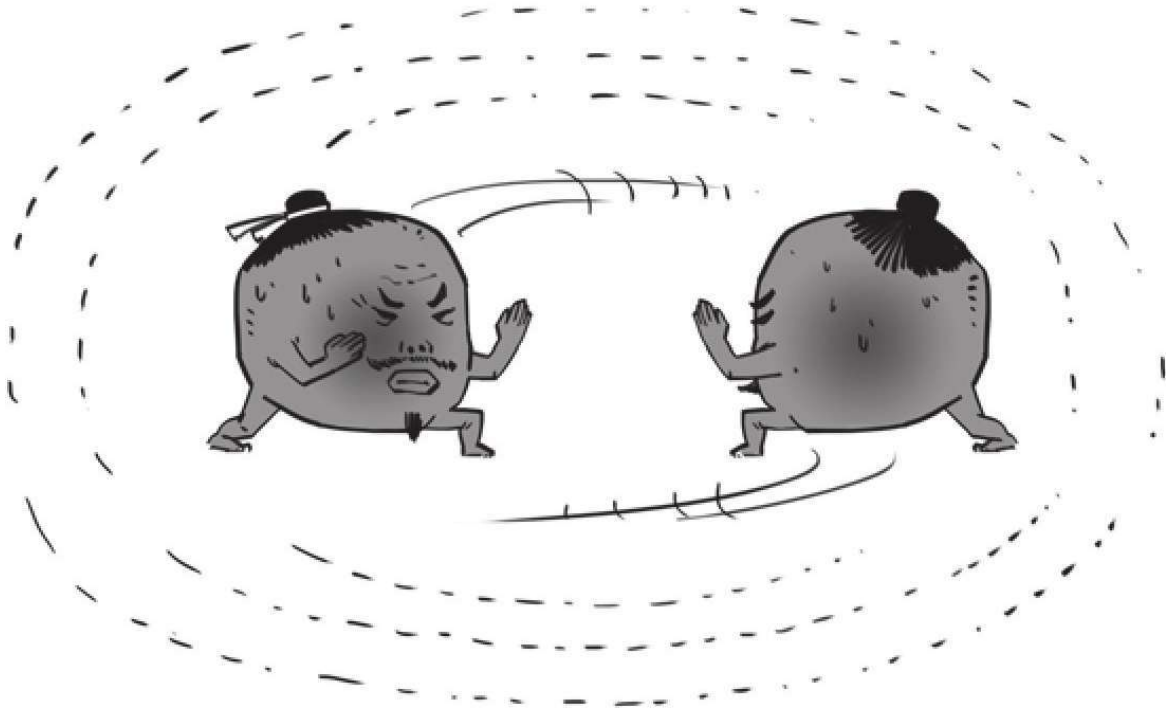
话说从前，宇宙中有两个黑洞，有一天不知道因为啥事儿杠上了。





黑洞大家都熟悉，超大质量天体，性格超烂，引力超强，吃啥啥不剩，堪称宇宙中的“老流氓”。

两个黑洞杠上可不得了，它俩盯着对方旋转试探，越转越近，最后扭打在了一起。





它俩打成什么样我们先不管，主要是在这个慢慢接近的过程中，一股杀气以光速发散了出去，这就是我们所说的**引力波**。

在地球上，如果两个胖子“咣”一下撞在一起，最先受伤的可能是旁边看热闹的瘦子。



因为胖子振动了空气，空气震倒了瘦子。

可是宇宙中没有空气，倒是空得让人喘不上气， 那么这股杀气怎么传递呢？



来，跟混子哥到英国的牛家村转转，那里有个聪明的小伙子，叫**牛顿……**



这个大家都学过很多次，万有引力揭示了一个宇宙真理：吨位决定地位，谁减肥谁吃亏。

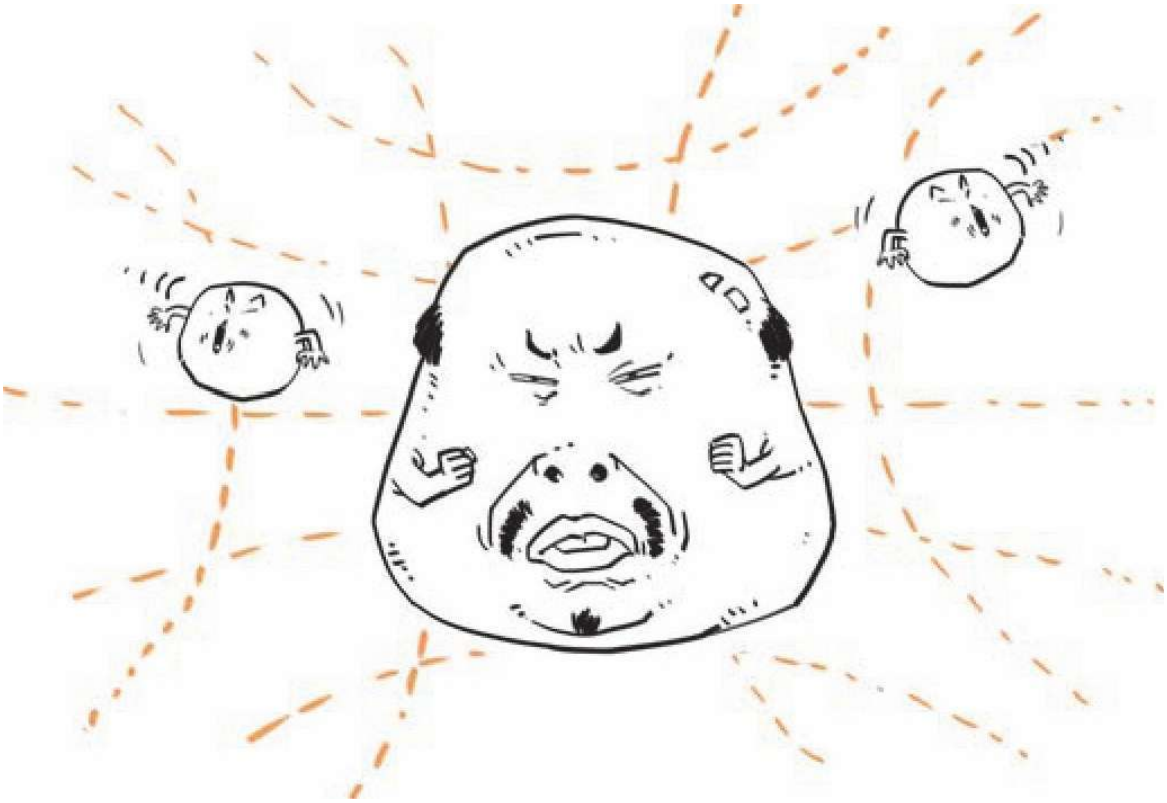


身材好有个屁用，还不是整天被个胖子遛着玩。

可是忽然有一个小哥站出来说：

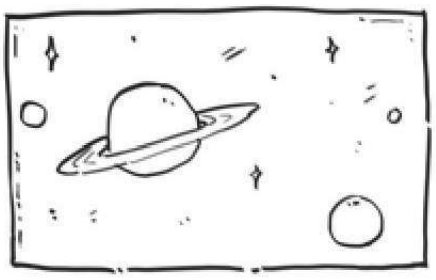


根本就没有什么引力！

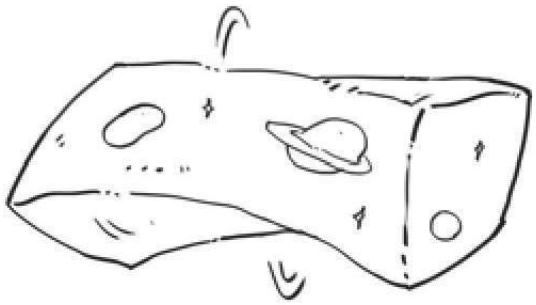


是胖子太胖，扭曲了时空，瘦子自己站不住，溜过来的！

这个小哥叫**爱因斯坦**。



当时小伙伴们就惊呆了，以前大家以为时空就是“空空如也”。



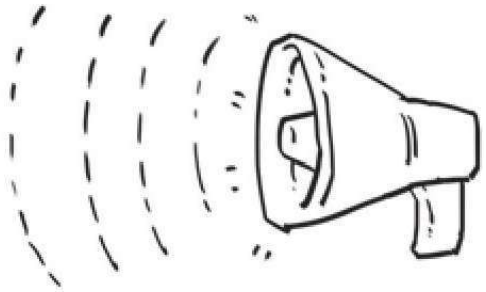
原来，这“时空”竟然也是个东西，居然还可以被扭曲！



质量会造成时空的扭曲，简单地说，这就是**广义相对论**。

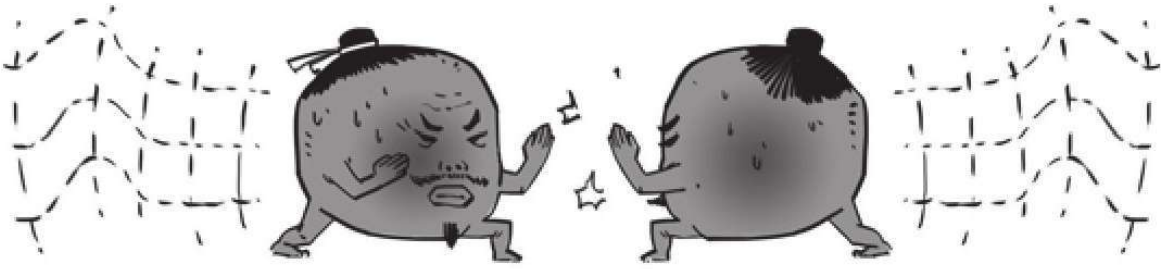
爱因斯坦认为，宇宙中其实充满着“时空”这种东西。两个黑洞散发的杀气扭曲了时空，并且一波一波散开， 这就是引力波的传播。





所以，水波扭曲的是水；

声波扭曲的是空气；



而引力波，扭曲的是时空。

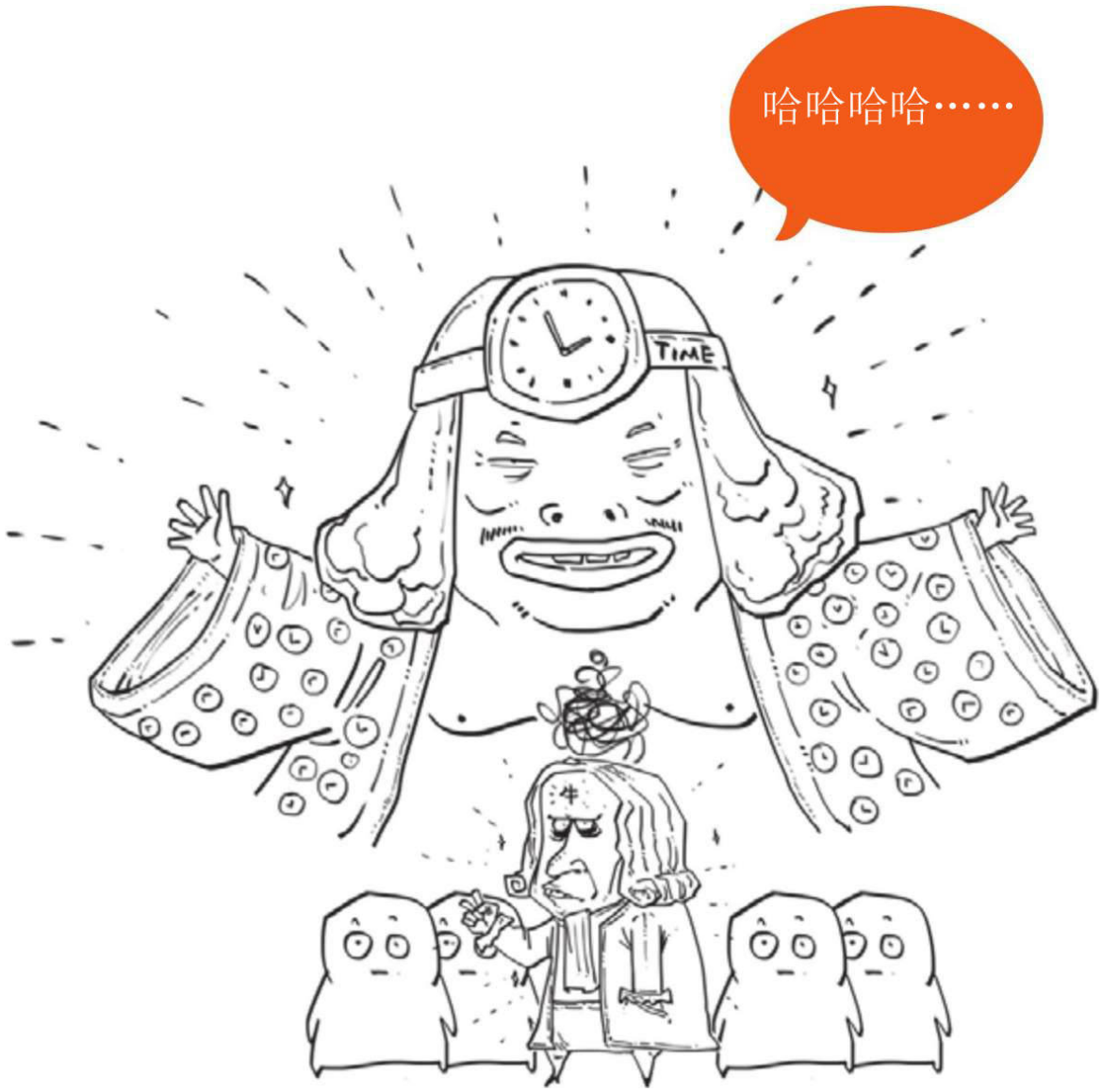
好了，引力波是如此强悍，连时空都能掰弯，如果被它撞了一下腰，会发生什么事呢？



事实上，不用“如果”。宇宙里各种事件（星体旋转、爆炸等）引起的引力波天天在宇宙里瞎转悠，肯定会撞到你，只是强弱问题而已。

我们又要来说说这个叫爱因斯坦的小哥了。

在他之前，大家都觉得时间老公平了，对谁都一样，一天就是一天，谁也不多谁也不少。



牛顿的那些理论，就建立在绝对时间和绝对空间的基础上，假定大家经历的是同样的时间。



结果又是这个爱因斯坦出来挑事：



每个人都有自己的时间！

故事是这样的：有人测出来，**光速在任何时候都是不变的**。我来告诉你这句话是啥意思。

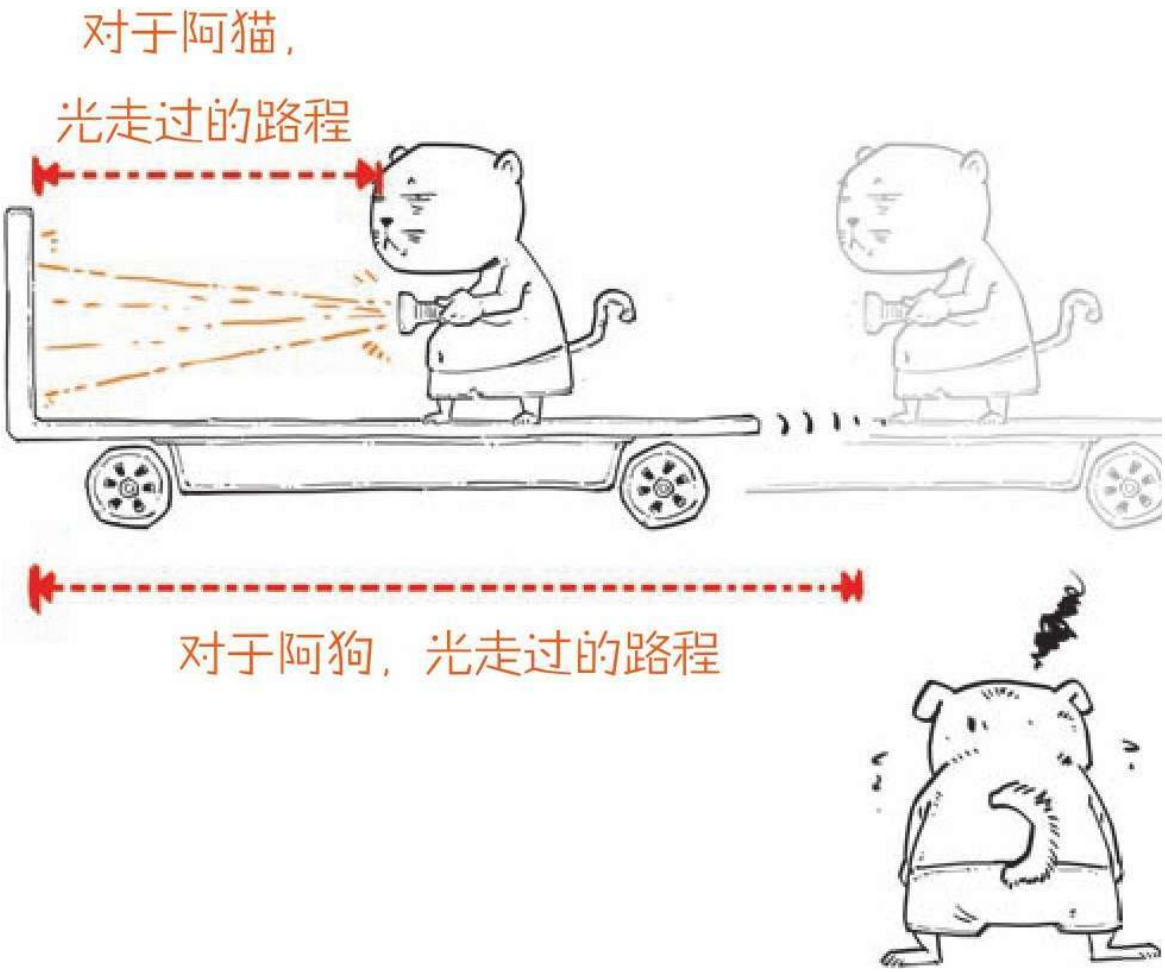
阿猫在车上打开手电筒射在墙上，他看到的光速，和路边的阿狗看到的光速，是一模一样的。



按照常理，阿狗看到的光速，应该是光的速度加上车速才对。



可是对于阿猫和阿狗，光走过的路明明不一样：



同一段时间观察同一束光，速度一样，位移居然不一样！来，我们跟着阿猫和阿狗一起蒙圈！

没关系，当年爱因斯坦也蒙圈了。

不过人家后来想明白了：



物体的速度和位置不同，它的时间流逝也跟其他物体的不一样。就像电影《星际穿越》里，在大质量星球附近活动，时间流逝得就比别人慢很多。

简单地说，光速是绝对的，时间、空间是相对的，这就是**相对论**——



的一部分。

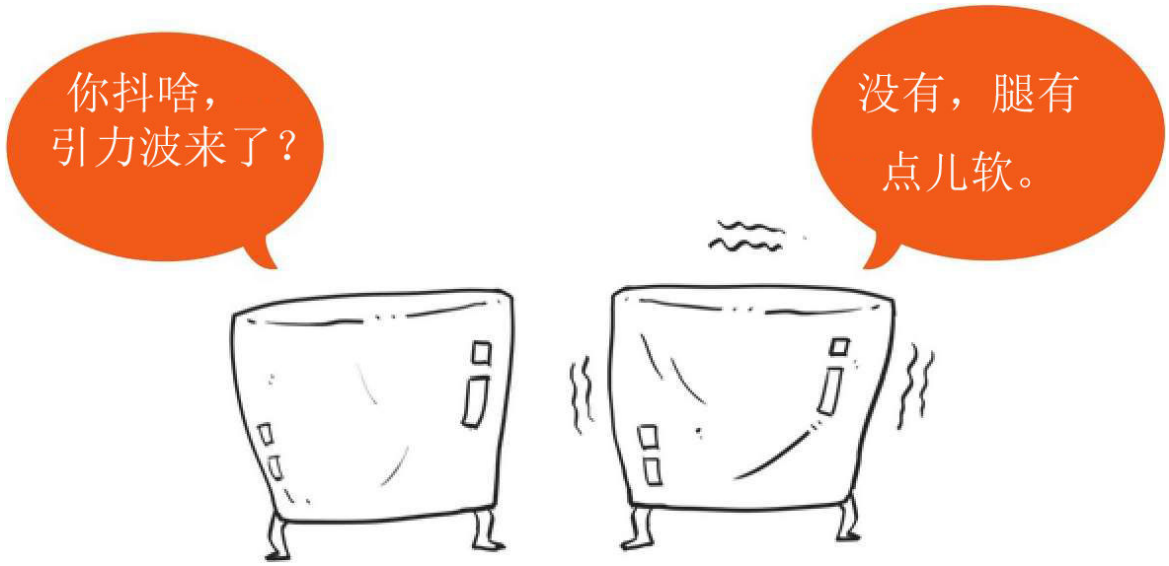
了解了时间的特性，我们就可以来讨论引力波的影响了。

引力波能扭曲时间和空间，所以它穿过你的时候，时空会抖动。时空“哆嗦”起来是啥感觉？



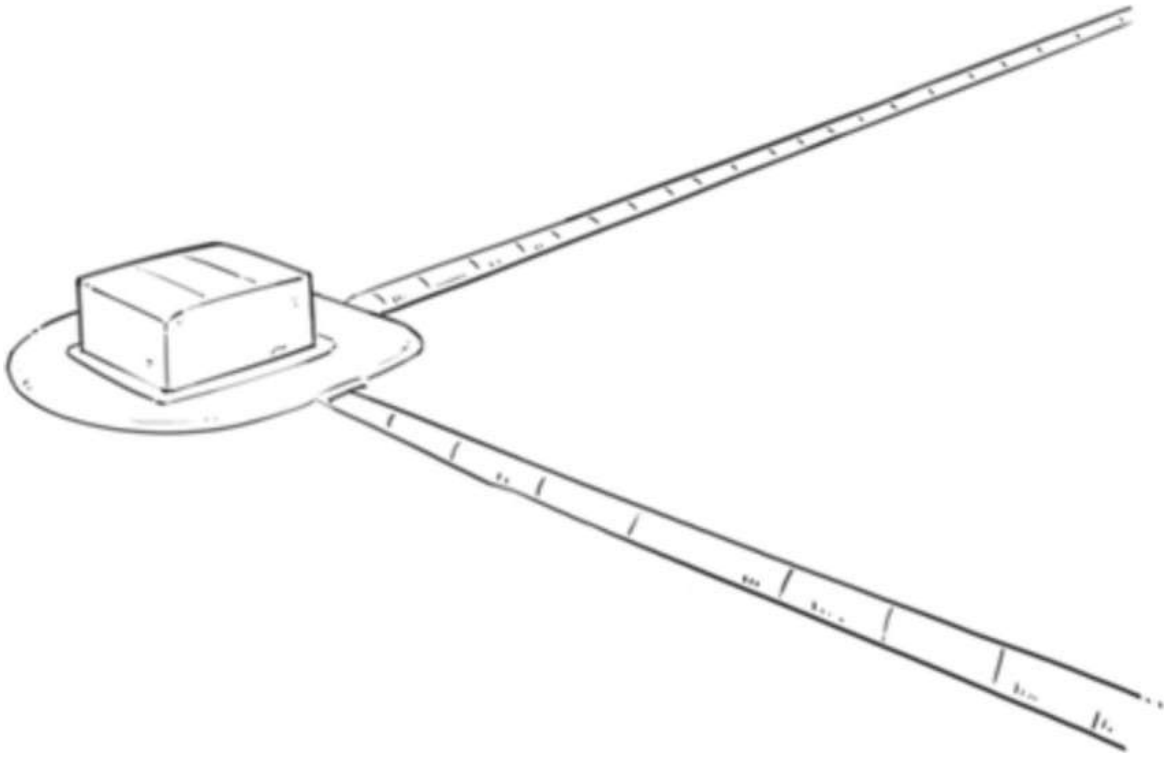
爱因斯坦说时间和空间是一体的，但我们为了方便理解，姑且分开讨论。

空间抖动好理解，就是一个果冻被震到的样子：



你也是时空里的一部分，所以你会跟果冻一样忽胖忽瘦，忽高忽矮，可是你不一定感受得到，因为变化太微弱了。

探测引力波的LIGO探测设备的原理就是利用组成L形的两个臂确定空间距离，一旦发生形变，就说明引力波引起了空间扭曲。

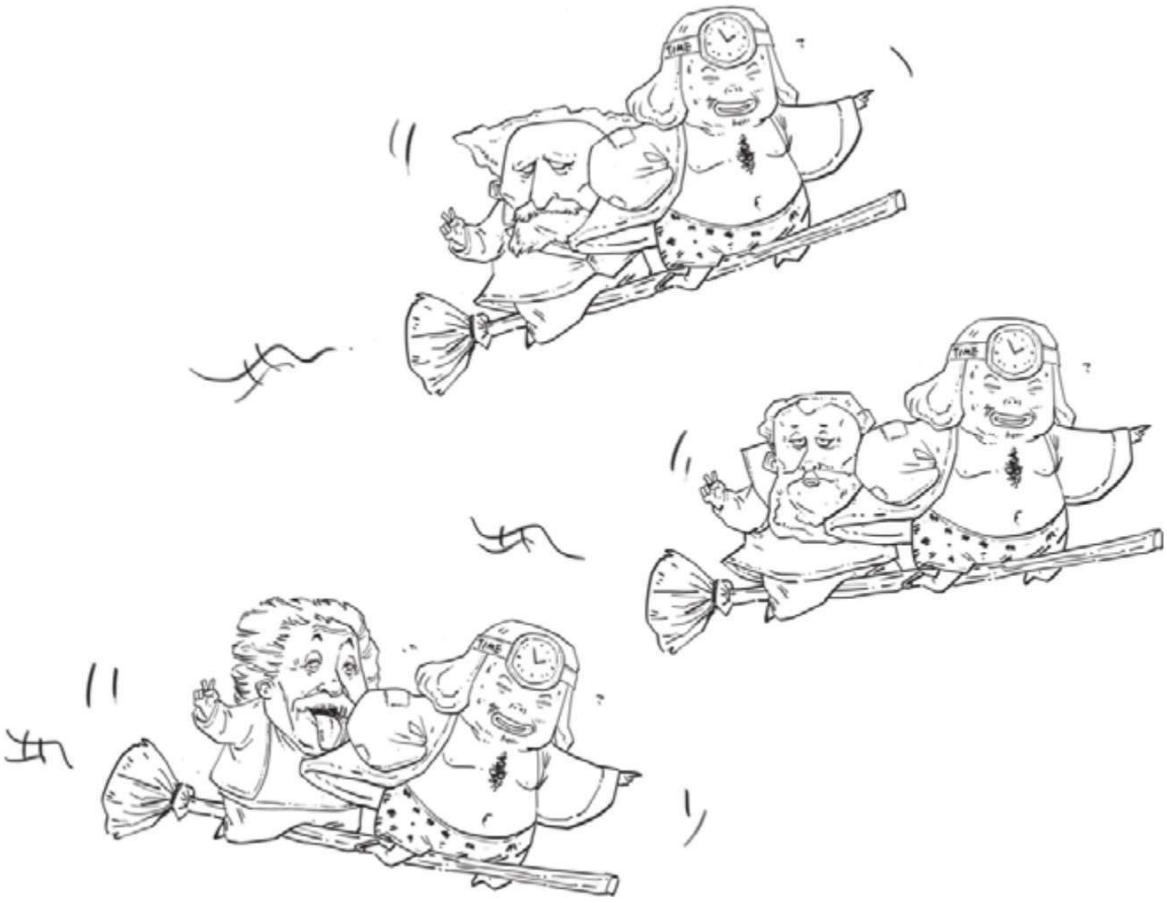


说到时间呢，每个人都有自己的时间轴，而且通常情况下，它们都会像被梳子梳理过一样比较整齐。



所以看到你下班的时候，我也要下班。

可要是引力波一哆嗦，忽然把大家的时间线抖乱了，每个人的时间就会出现差异，忽快忽慢。



这个情况就容易造成麻烦：


儿子，爸比去太空旅个游，明天回来！
儿子，我回来了！



实际情况可能不至于这么夸张，具体取决于你我的位置、速度、状态，但大致就是这么一回事。

那么，引力波能让我们穿越不？

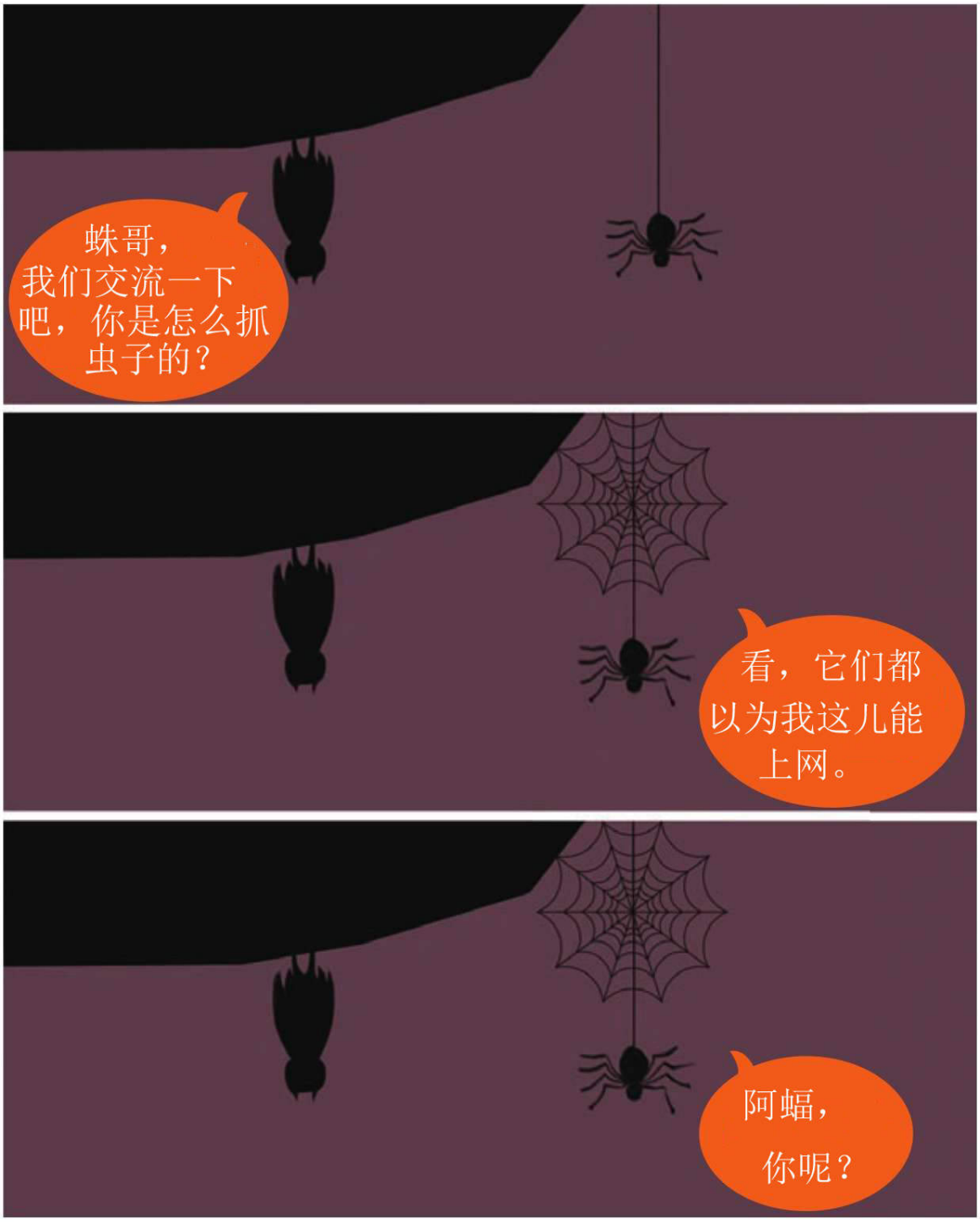
科学家说，引力波引起的时空抖动太微弱，穿越估计有点儿难，咱们还是好好上班吧。

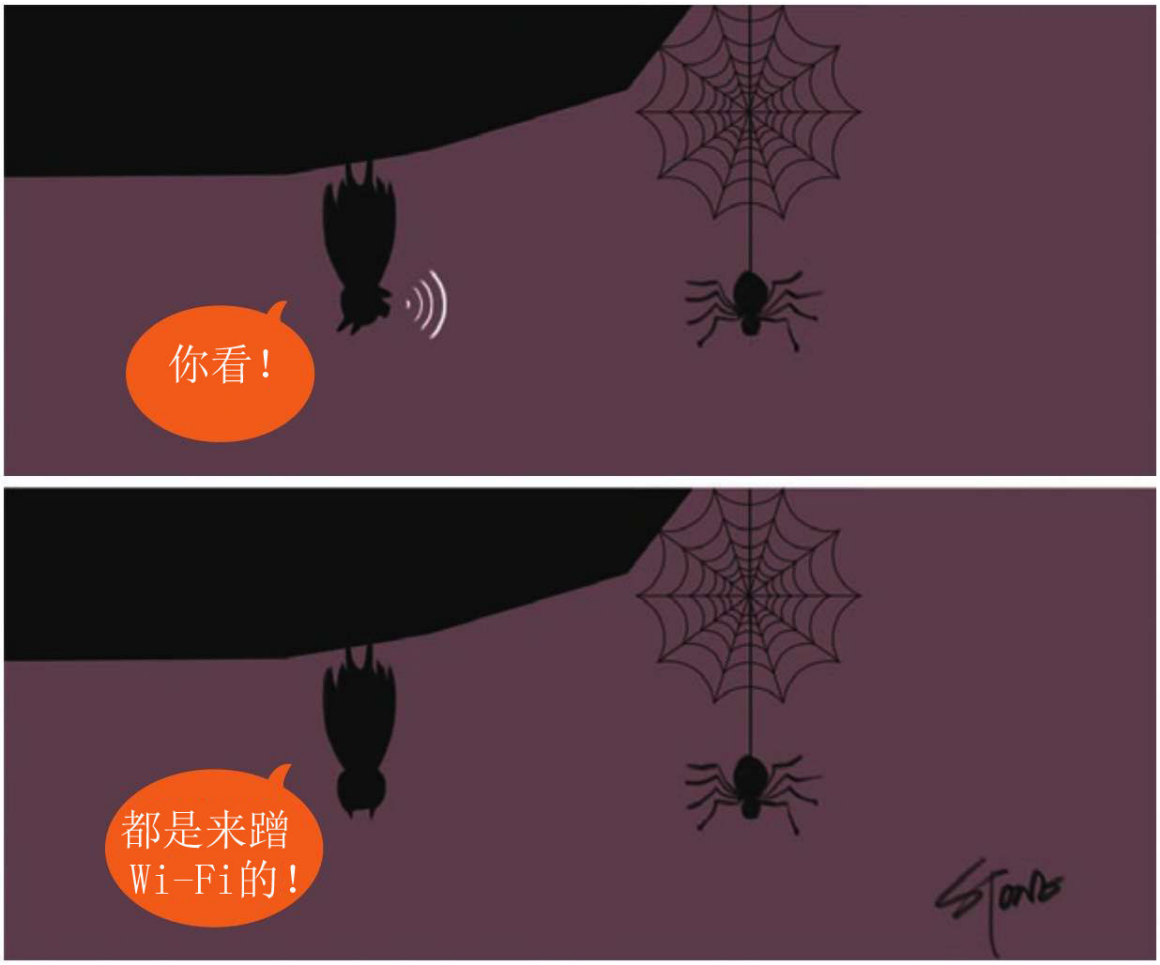
那还有啥用啊？



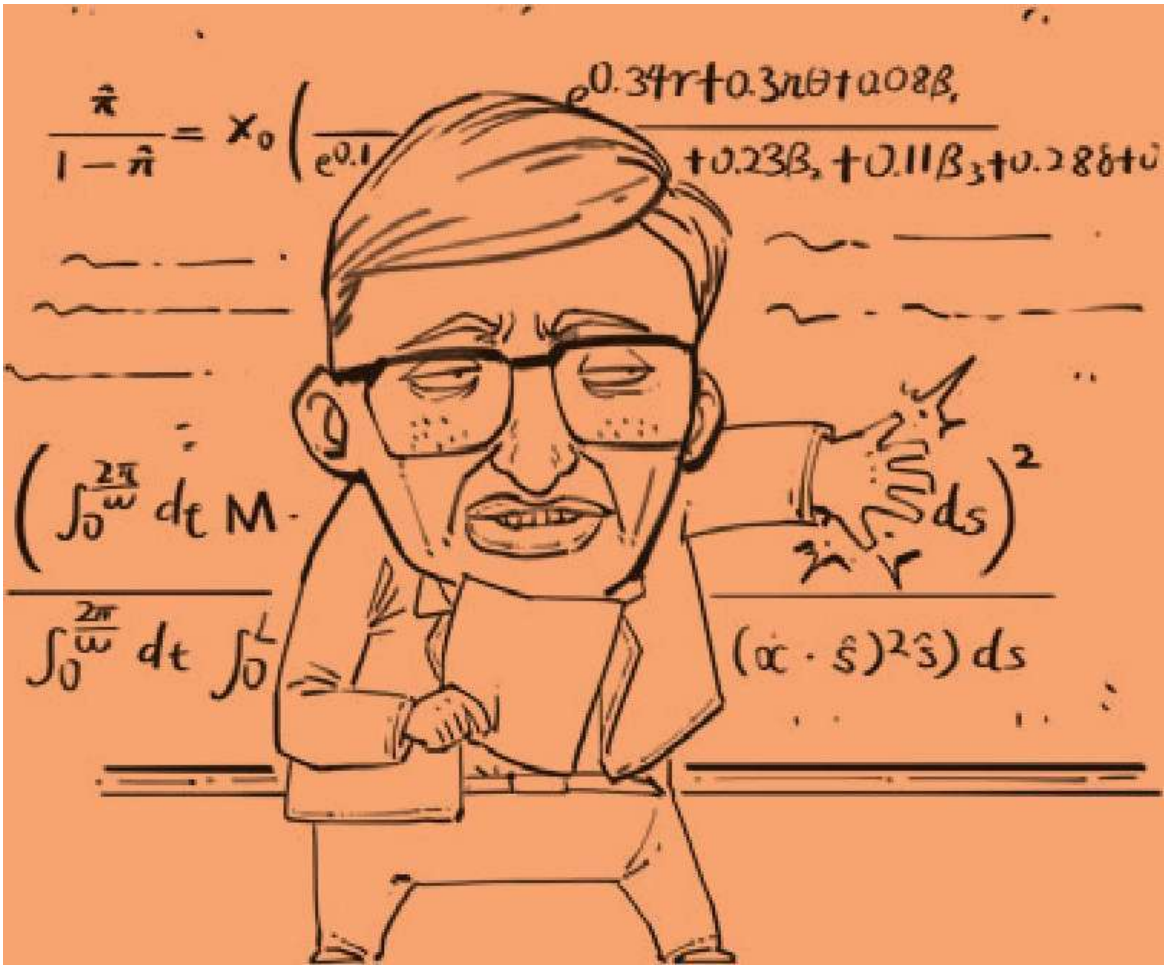
目前还真难说有啥用，但它可是探测宇宙的神器呀！

好了，关于引力波就先说这么多。




你看！
都是来蹭
Wi-Fi的！

番外二、霍金到底干了啥？



有一位科学家身患绝症，医生说他只能再活两年。

可他却身残志坚，在创造医学奇迹的同时，还做出了巨大的科学贡献。这位创造奇迹的科学家就是：

霍金。





虽然霍金的名字已经如雷贯耳，但很少有人知道他具体有哪些成就。

他的成就和这本书的主题息息相关。所以，这篇咱就来聊一聊：

霍金这辈子都干了些啥？

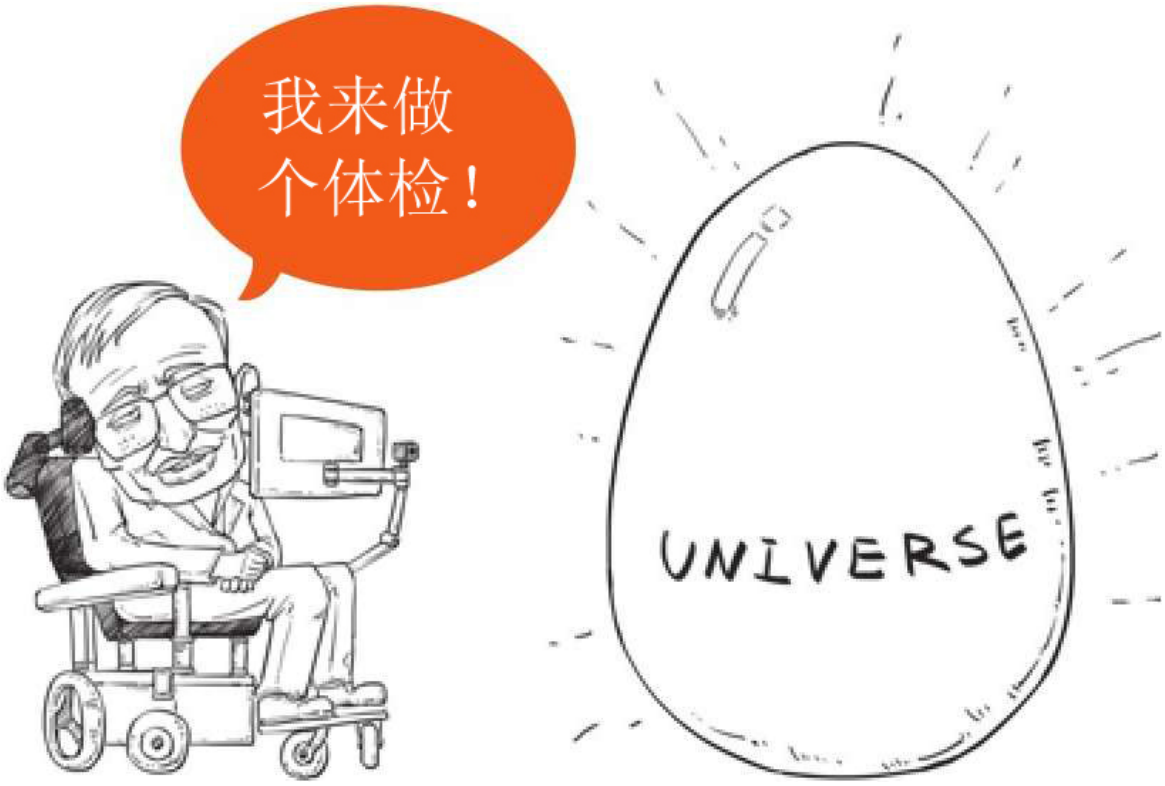
其实，霍金这辈子干的所有事，总结起来就是一句话：



他有什么想法呢？

1. 奇点定理

所谓奇点定理，就是研究宇宙在娘胎里长啥样。



话说从古到今，**#宇宙起源#**一直都是个热门话题，所有的哲人大概都考虑过这事。





不过古代先贤讨论这个话题，基本是从哲学角度，跟科学没啥太大关系。

直到几千年后，出现了一位喜欢仰望星空的大爷。



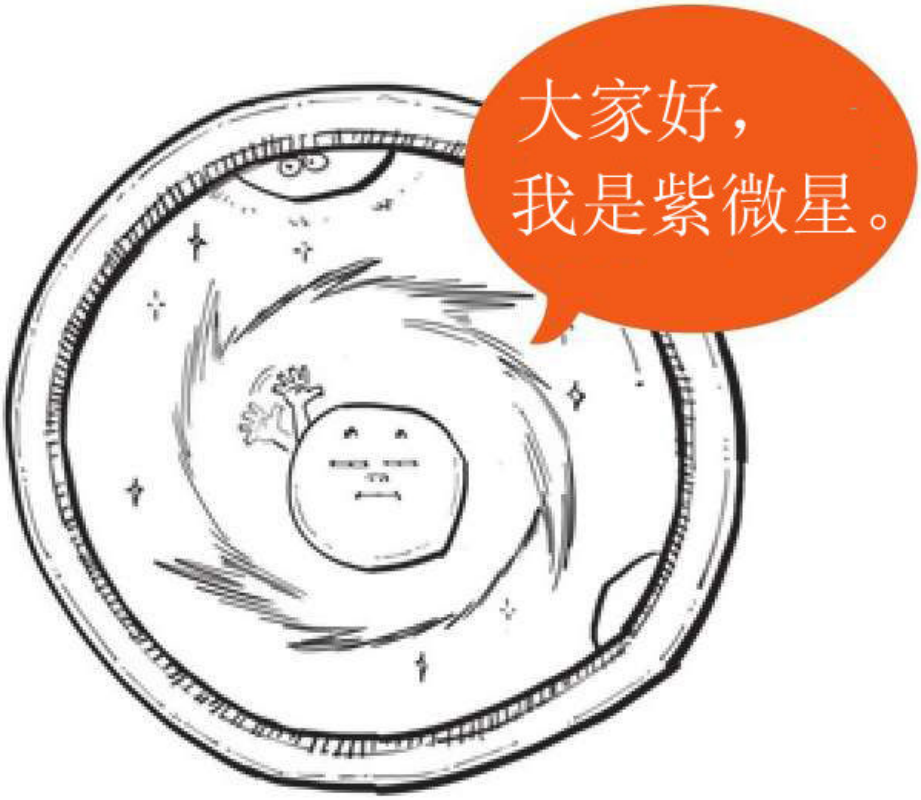
哦，不好意思，错了错了……是这位喜欢仰望星空的大爷：

哈勃

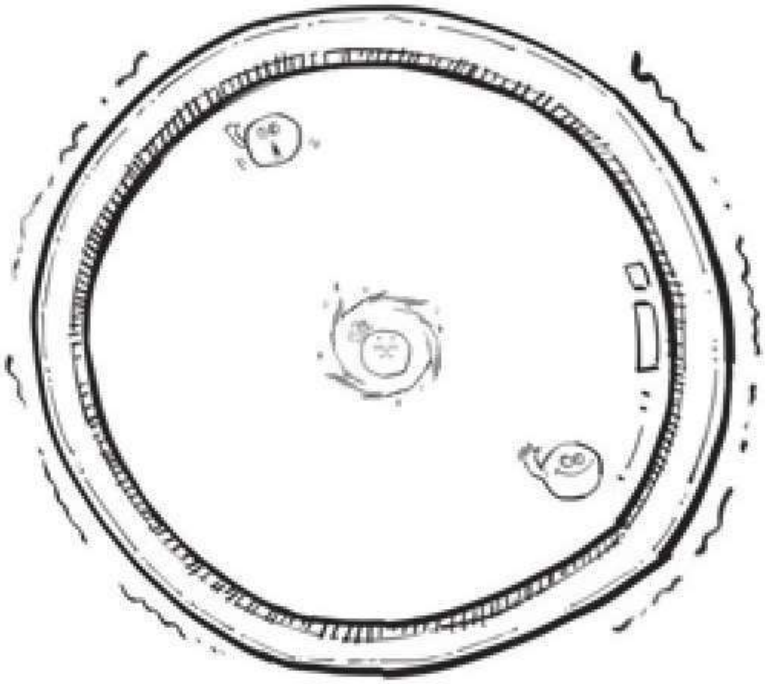


他在观测星空时发现：离地球远的星系，变得越来越远。

比如今天，观察某星系是这个样子的：



过了N年变成了这样：



妈呀，这个发现，瞬间让哈大爷开始怀疑人生……



于是他开了个脑洞，发现宇宙好像没那么简单……



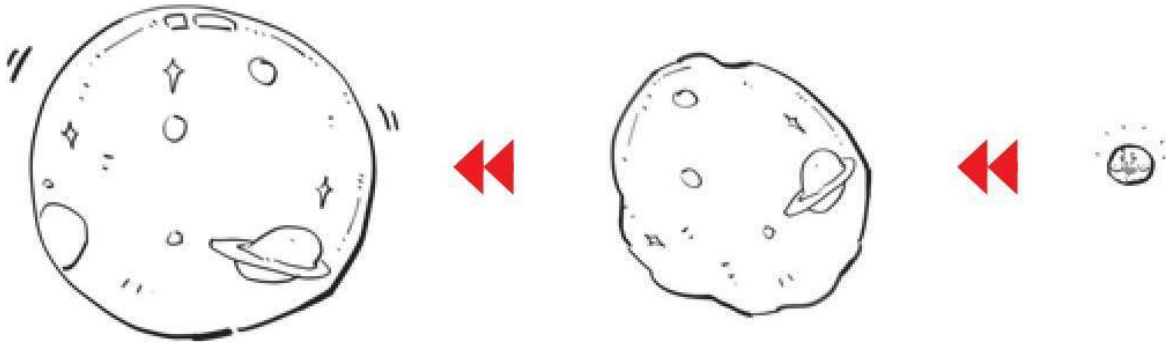
它可能不是静止的，

而是在不断膨胀！



虽然当时还有很多其他的假设，但科学家们发现，还是这个更靠谱。

于是，有人在此基础上，又开始瞎琢磨：既然宇宙在不断膨胀，那如果把时间倒回去，**它是不是就是一个点呢？**

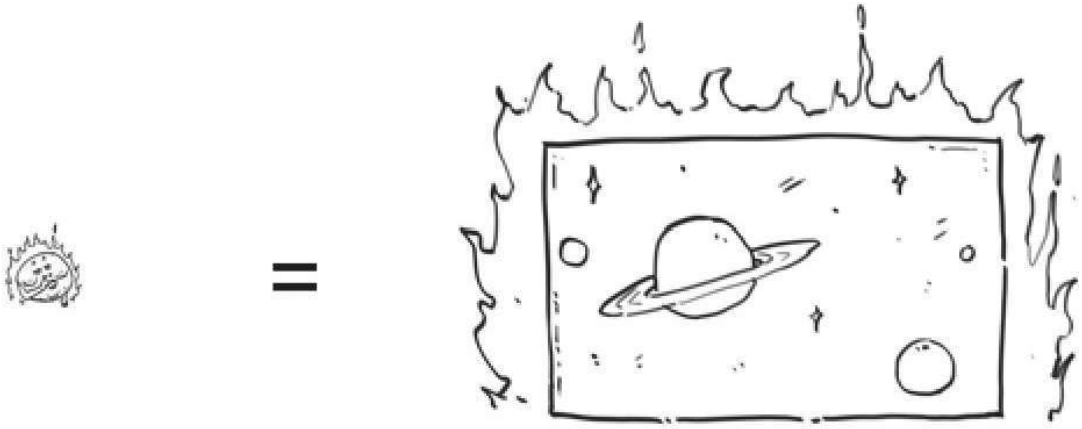


会不会就是这个点，发生了大爆炸，才形成了现在的宇宙，并且一直膨胀下去？

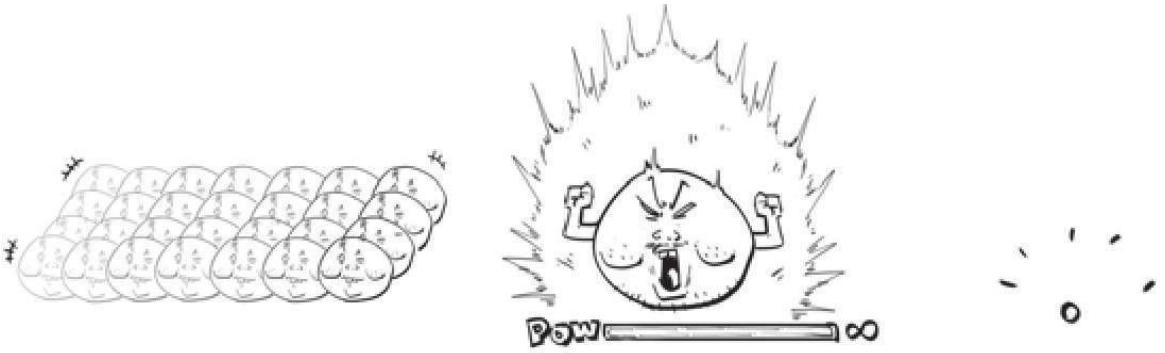
这就是著名的：



但是，甭管怎么膨胀，宇宙所有的能量都来自最初的那个点。也就是说：



所以，这个点的特点就是：



这个不一般的点，就叫**奇点**。宇宙就是从奇点开始的。



不过，这假设虽然听上去嗷嗷震撼的，却缺了点儿什么。



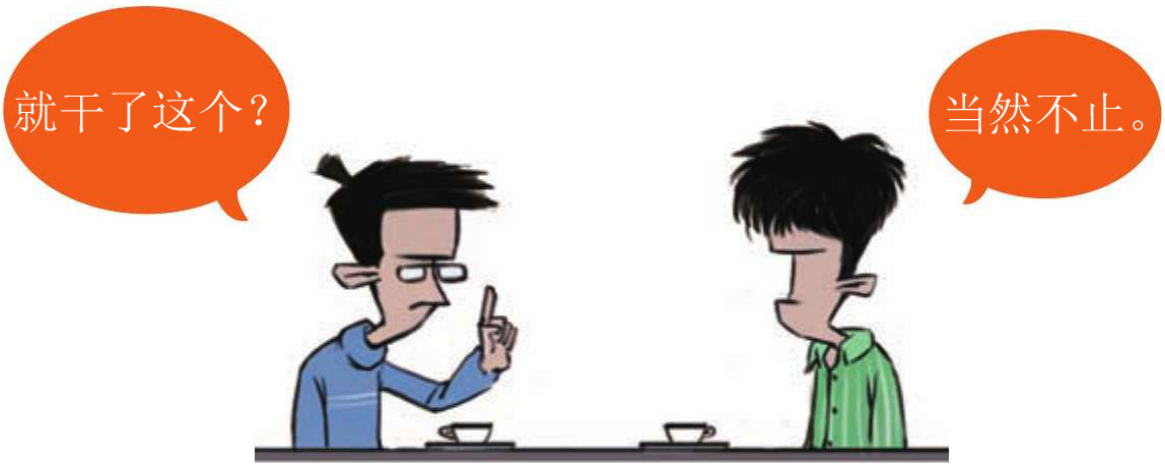
你说是就是，有证据吗？霍金的贡献，就是用**数学计算**的方法，证明了奇点是可以存在的。



从此，奇点假设就变成了**奇点定理**，成为科学界的主流观点。



这项工作并不是霍金独立完成的，还有一个叫**彭罗斯的数学物理学**家也参与了证明。另外，霍金只是证明了奇点的可能性，并不表示奇点就真实存在哦。



除了宇宙起源，霍金还喜欢研究黑洞，他的另一项成就也与黑洞有关。

2. 霍金辐射

好了，现在我们开始讲讲这个神奇的东西：

黑洞。



啥是黑洞呢？

话说，宇宙中有这么一颗恒星，比我们的太阳大几圈，活了大半辈子，快不行了。



他想要在生命的最后时刻牛气一把，于是他决定爆炸……



这个状态，叫作**超新星爆炸**。

不过他是个“老不正经”的东西，炸掉了外面的“衣服”，只留下了一个核。





如果这个核的质量够大，就会变成传说中的**黑洞**。

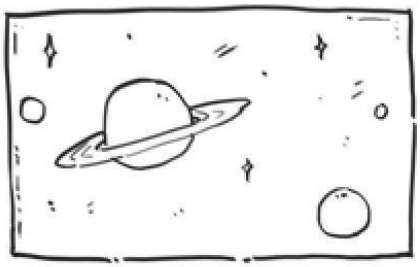
堪称天体界的“老流氓”，质量超大，脾气超差。

那质量超大会咋样呢？

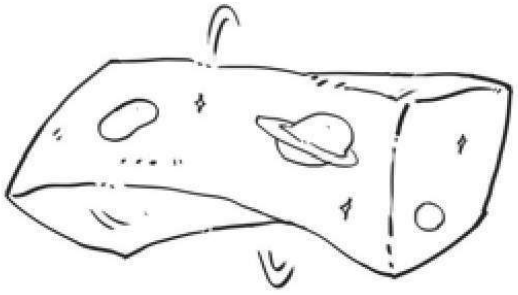


老爱在**广义相对论**中曾说过**质量会扭曲时空，产生引力**。

啥意思呢？实际上，我们周围的**时空**是这样的：



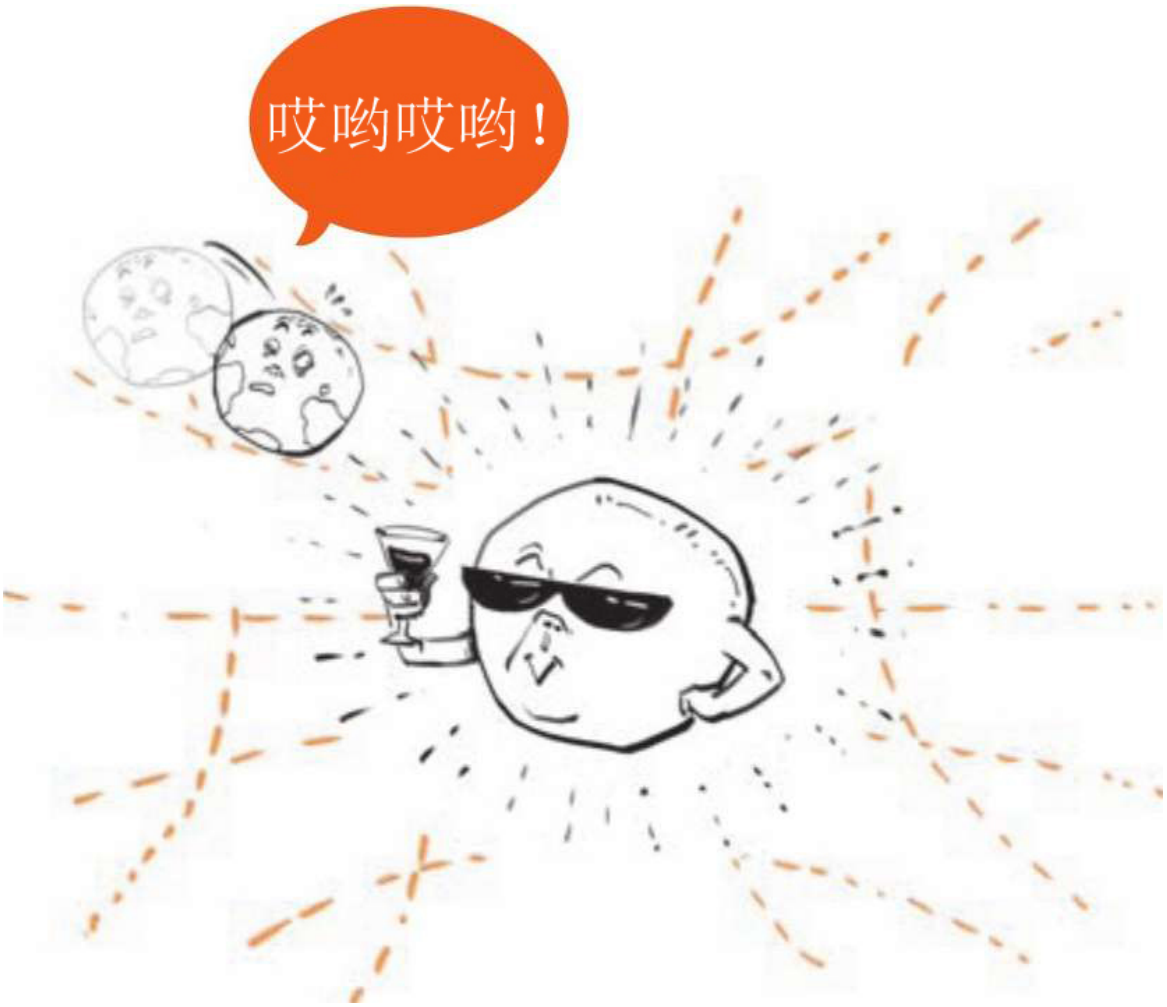
看上去什么都没有，空空如也。



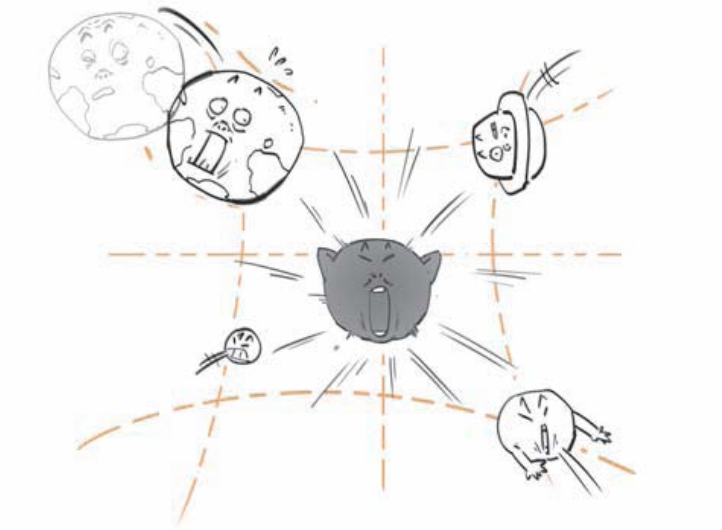
但其实这个空空如也，本身就是个东西，是可以被扭曲的。

至于扭曲的程度，就取决于时空里面物体的质量。所以地球绕着太阳转，说白了就是……

太阳太胖，压弯了时空，地球自己溜过去了。



黑洞这个质量超大的天体，也就会产生超强的引力，能把身边的所有东西都吸进去，连光也不例外。



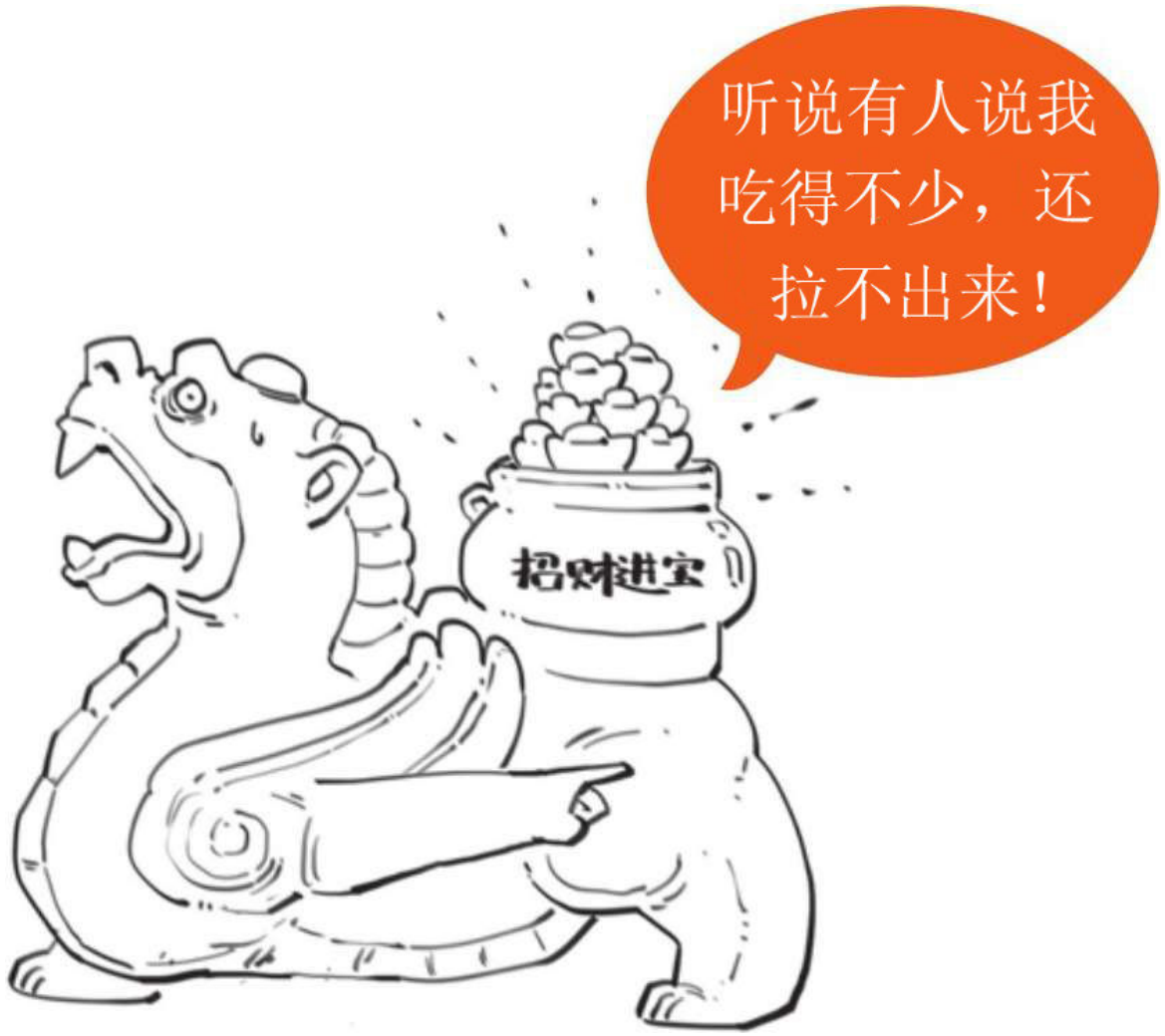
黑洞的诞生，就是恒星在宣告：虽然我已退出江湖，但江湖仍有我的传说。

江湖上的兄弟都亲切地叫它——

任我行。



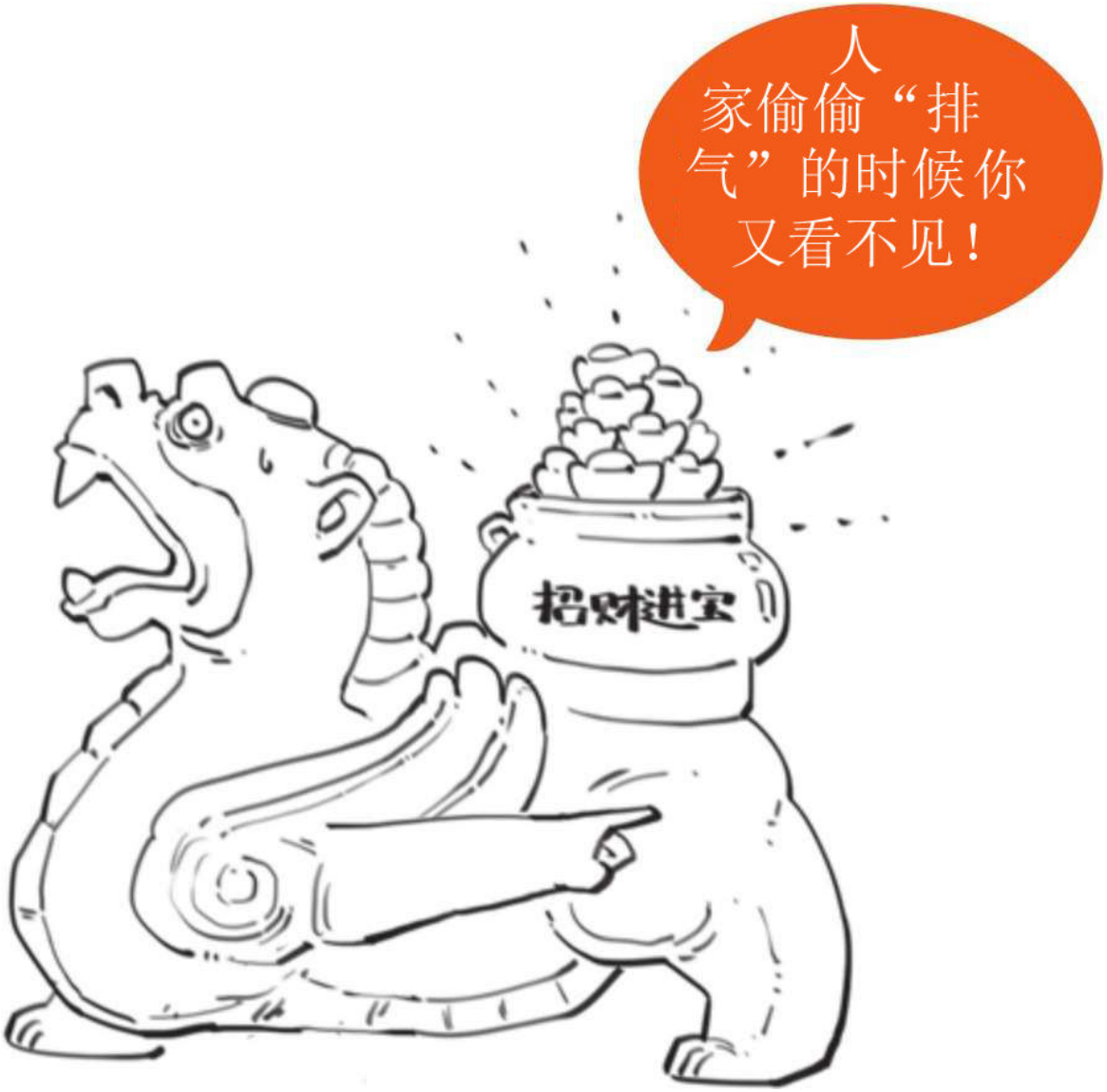
大家一般都认为：黑洞这东西，就跟貔貅一样，**只进不出**。



不过霍金认为：不！不是这样的！虽然门户严，但还是会有粒子跑出来。



这就是霍金辐射。



霍金的意思大概是这样：在宇宙的某个地方，存在**黑洞**，黑洞的周围，存在**真空**，这两个东西有一个共同的特点，就是都拥有巨大的能量。

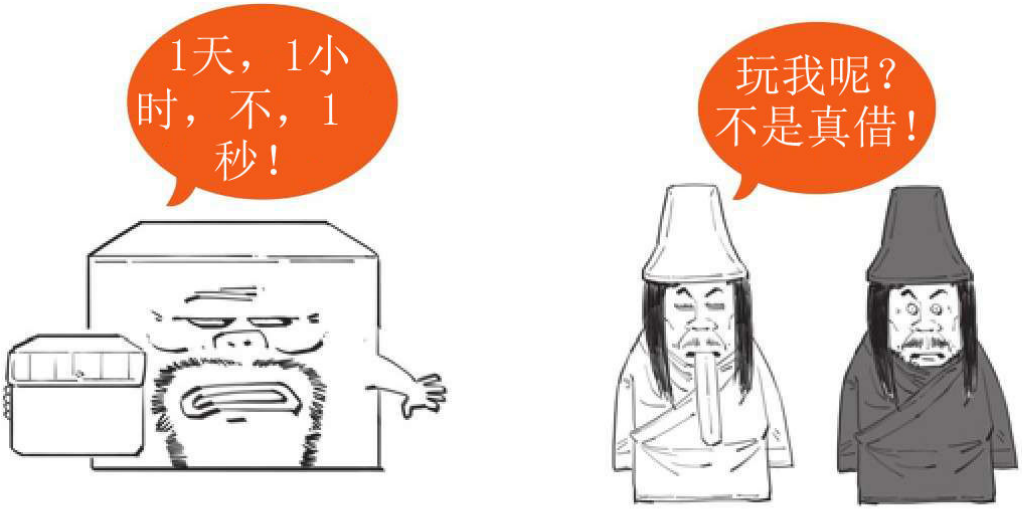


黑洞　　真空

黑洞和真空对于自己拥有的能量，态度是不一样的。真空有点儿像守财奴，一毛不拔，万一拔了，也要赶紧种回来。黑洞却像一个商人，遵循交易规则，喜欢有来有往。

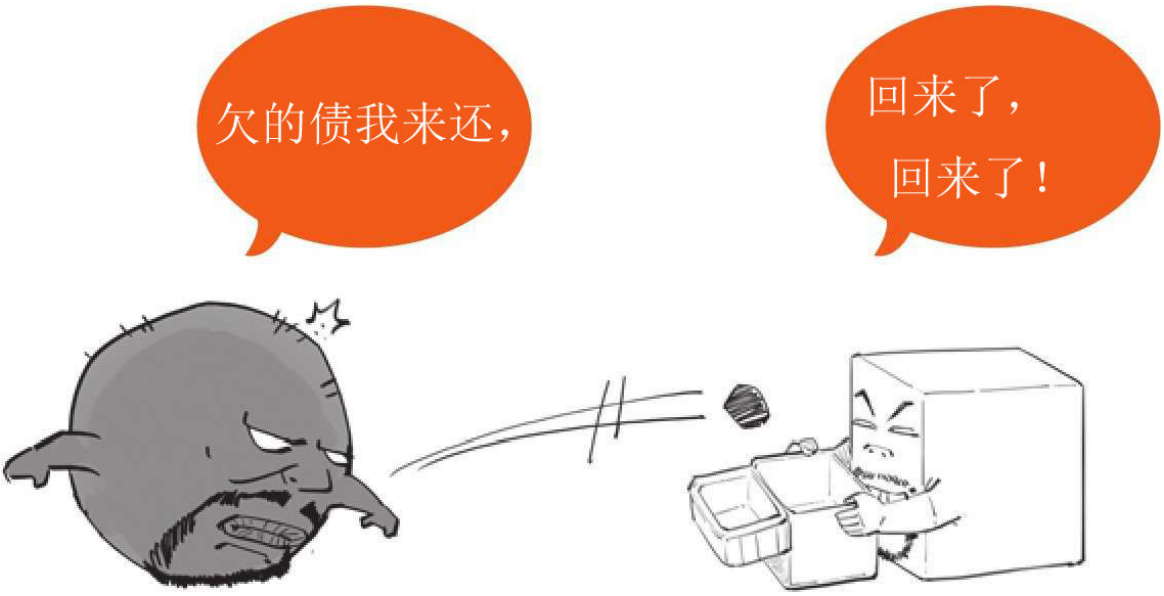
而霍金辐射，其实就是黑洞和真空关于能量的一次battle（争斗）。

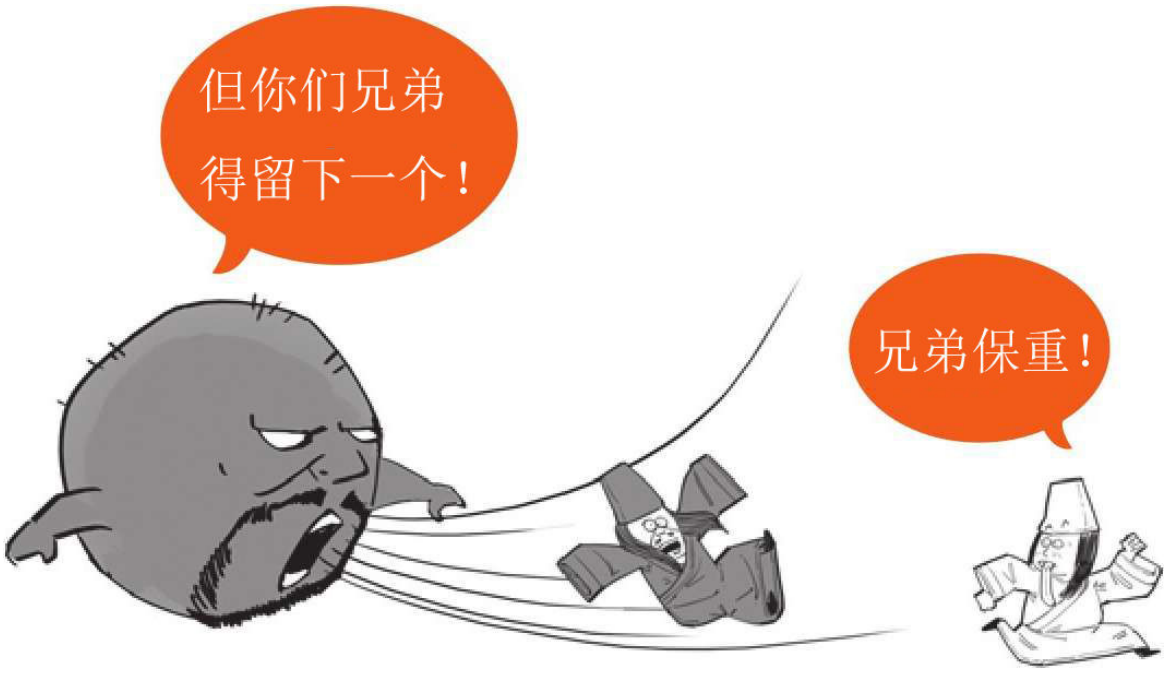
一开始，有人向真空借能量，但借了马上就要还，所以干不了什么。



这就是从真空中产生的**虚粒子对**，很不稳定，来得快，去得也快。

然后，一旁看热闹的黑洞看不下去了，决定出手帮个忙，但有条件。





因为这个故事发生在黑洞周围，所以霍金认为逃跑的那个兄弟就是黑洞的辐射。



霍金辐射就是这么回事，听上去很简单，但这件事了不起的地方在于：霍金是用**量子力学**来解释这个现象，在此之前是没人这么干的。

也正是因为这些脑洞大开的设想无法通过现有仪器观测验证，所以他总跟诺贝尔奖无缘。



但不管怎么说，霍金都是个伟大的物理学家，他还有个很拉风的title（头衔）——剑桥大学的

卢卡斯数学教授。



能获得这个头衔的都是大神，比如牛顿、狄拉克……



刚才讲的两个理论，也是《时间简史》的主要内容。



就先聊到这里吧，愿我们在有生之年能站在霍金这位前人的肩膀上，望得更远！

参考书目

[1] 埃里克·蔡森，史蒂夫·麦克米伦. 今日天文 星系世界和宇宙的一生 [M]. 高健，詹想，译. 北京：机械工业出版社，2019.

[2] 埃里克·蔡森，史蒂夫·麦克米伦. 今日天文 恒星：从诞生到死亡 [M]. 高健，詹想，译. 北京：机械工业出版社，2019.

[3] 埃里克·蔡森，史蒂夫·麦克米伦. 今日天文 太阳系和地外生命探索 [M]. 高健，詹想，译. 北京：机械工业出版社，2018.

[4] 胡中为，萧耐园. 天文学教程（上册） [M]. 2版. 北京：高等教育出版社，2003.

[5] 刘学富. 基础天文学 [M]. 北京：高等教育出版社，2018.

[6] 大卫·克里斯蒂安. DK大历史：从宇宙大爆炸到我们人类的未来，138亿年的非凡旅程 [M]. 徐彬，谭滢，王小琛，译. 北京：中信出版集团，2019.

[7] 马丁·里斯. 宇宙大百科 [M]. 余恒，张博，王靓，王燕平，译. 北京：电子工业出版社，2014.

[8] 赵峥. 相对论百问 [M]. 北京：北京师范大学出版社，2012.

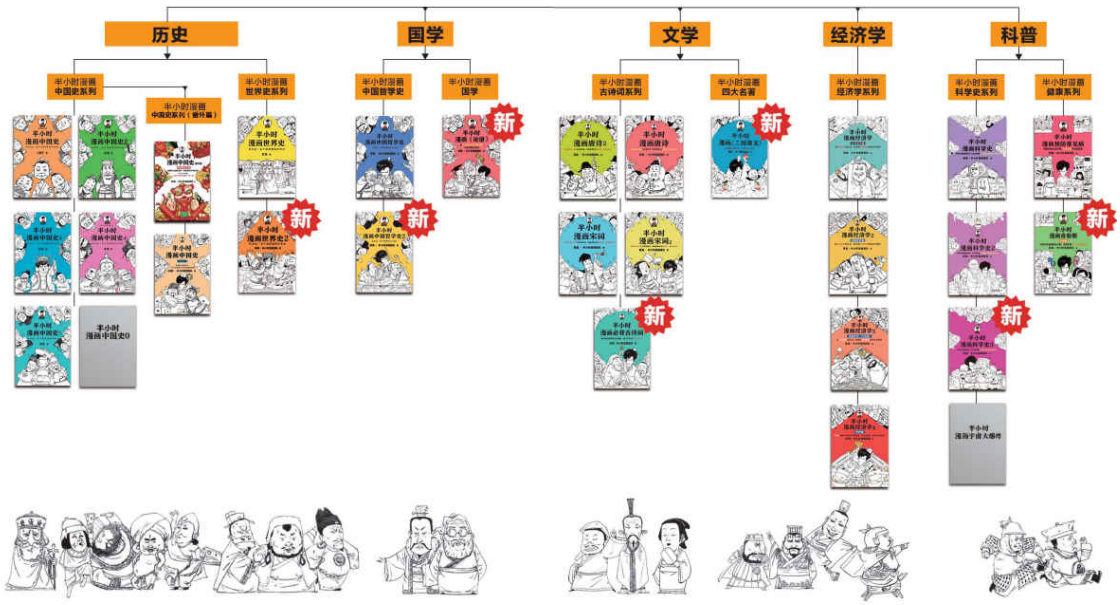
[9] 梁灿彬，曹周键. 从零学相对论 [M]. 北京：高等教育出版社，2013.

[10] 吴飙. 简明量子力学 [M]. 北京：北京大学出版社，2020.

[11] 梁灿彬，周彬. 微分几何入门与广义相对论 [M]. 北京：科学出版社，2009.

半小时漫画，专治不明白

“半小时漫画系列”现已出版





马上扫描二维码，

关注**“半小时漫画书友会”**，

和千万读者一起成长吧！



马上扫二维码，关注“熊猫君”

和千万读者一起成长吧！