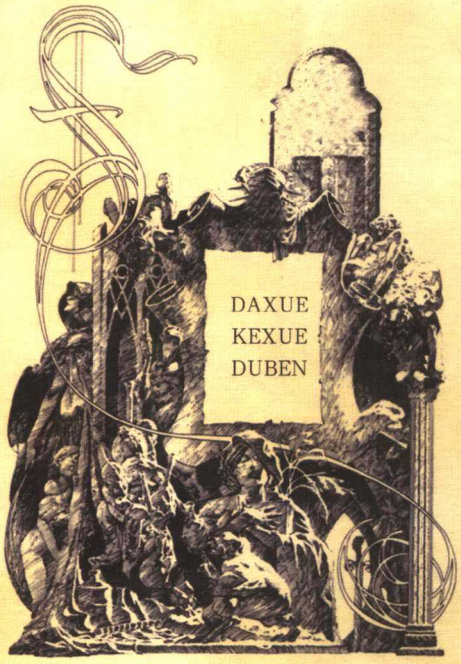
The Financial Times Mastering series represents a rareand fruitful collaboration between journalistic andacademic organizations. In this, the eighth book in theseries, the FTand some of the world's leading businessschools have come together to create a definitive guideto the study and control of risk in business. This bookcontains the collected articles from the series thatappeared in the FTnewspaper between April and July2000.Mastering Risk is published in two volumes. The firstintroduces the reader to the main concepts of thesubject, including methods for identifying, assessing and controlling risks, and the role that different parts of the organization should play in managing risk. Thesecond volume examines the techniques of financial riskmanagement in much greater detail. Together these volumes form an invaluable guide to a complex and fast-changing subject.Mastering Risk: Concepts contains 50 articles written by world-class academics and international risk experts.Faculty members from many business school have taken part, including the Wharton School of the University of Pennsylvania; INSEAD, near Paris in France; London Business School; Harvard Business School; Templeton College, University of Oxford; and Columbia Business School in New York. In a departure from previous series, Mastering Risk also includes a significant number of expert practitioners, such as Peter Bernstein, Nigel Turnbull and Stephen Thieke, as well as specialist writers from Barclays Bank, GlaxoWellcome and RiskMetrics. There are ten sections, each of which covers a core area or a field of emerging importance: the nature of risk; risk measurement; risk strategy; financial risk; operational risk; regulation and environmental risk and extreme events; and a concluding

DAXUE KEXUE DUBEN



吴国盛 主编

大学科学读本

GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS
广西师范大学出版社

The Financial Times Mastering series represents a rareand fruitful collaboration between journalistic andacademic organizations. In this, the eighth book in theseries, the FTand some of the world's leading businessschools have come together to create a definitive guideto the study and control of risk in business. This bookcontains the collected articles from the series thatappeared in the FTnewspaper between April and July2000.Mastering Risk is published in two volumes. The firstintroduces the reader to the main concepts of thesubject, including methods for identifying, assessing and controlling risks, and the role that different parts of the organization should play in managing risk. Thesecond volume examines the techniques of financial riskmanagement in much greater detail. Together these volumes form an invaluable guide to a complex and fast-changing subject.Mastering Risk: Concepts contains 50 articles written by world-class academics and international risk experts.Faculty members from many business school have taken part, including the Wharton School of the University of Pennsylvania; INSEAD, near Paris in France; London Business School; Harvard Business School; Templeton College, University of Oxford; and Columbia Business School in New York. In a departure from previous series, Mastering Risk also includes a significant number of expert practitioners, such as Peter Bernstein, Nigel Turnbull and Stephen Thieke, as well as specialist writers from Barclays Bank, GlaxoWellcome and RiskMetrics. There are ten sections, each of which covers a core area or a field of emerging importance: the nature of risk; risk measurement; risk strategy; financial risk; operational risk; regulation and environmental risk and extreme events; and a concluding

DAXUE KEXUE DUBEN



吴国盛 主编

大学科学读本

广西师范大学出版社
·桂林·

图书在版编目（CIP）数据

大学科学读本 / 吴国盛主编. —桂林：广西师范大学出版社，2004. 4
（大学读本系列）
ISBN 7-5633-4477-2

Ⅰ. 大… Ⅱ. 吴… Ⅲ. 科学学—青年读物
Ⅳ. G301-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 115661 号

广西师范大学出版社出版发行
（广西桂林市育才路 15 号　　邮政编码：541004
网址：http://www.bbtpress.cn）
出版人：萧启明
全国新华书店经销
广西师范大学印刷厂印刷
（广西桂林市临桂县金山路 168 号　邮政编码：541100）
开本：787 mm×1 092 mm　1/16
印张：29　字数：500 千字
2004 年 4 月第 1 版　2004 年 4 月第 1 次印刷
印数：0 001～8 000 册　定价：38.00 元

如发现印装质量问题，影响阅读，请与印刷厂联系调换。

卷首语

这是一个科学的时代，然而，我们对科学的理解往往是浮浅和支离破碎的。由于当代科学的专业化本质，理科大学生通常会在越来越专门的学科领域学到越来越精深的专业知识，但对其他的学科所知不多，科学对他们而言往往就是那个狭窄的领域和特殊的工作方式。另一方面，由于我们的教育体制过早过度的分科和身份定型，文科大学生几乎没有机会和能力进一步接受自然科学方面的训练，科学对他们而言只有一些模糊的印象和流行的信念。

建立全面和完整的科学形象，是大学科学教育的题中应有之义。大学之道在于弘扬统一科学的理想、培养全面发展的个人。因此，大学科学教育不仅要培养各门专业的专门人才，而且首先要培养深谙科学之人文精神的科技人才，而科学之人文精神只有在对科学的全面和整体的理解中才可能被领悟到。

可是我们目前的科学教育体制恰恰在这方面十分欠缺。我们缺少一个类似"科学通论"的课程。在这个课程里，学生可以了解到自然科学所揭示的自然界的全貌，科学研究的一般方法论和哲学背景，科学家应尽的社会责任以及科学家丰富多样的个人生活。通过这样的课程，学生可以感受到自然的统一性、科学的统一性以及人类文化的统一性，从而领悟到科学的人文本性。

《大学科学读本》就是想起"科学通论"的作用。由于不是通过对某一专门学科的技术性细节的精通，来达成对科学的理解，而是通过展示科学的方方面面，来达成对渗透在科学之中的种种"统一性"的理解，因而准确地说，这是一部"科学的人文读本"。

时下流行一种看法，以为科学与人文是两个并列的东西，把科学与人文的分裂看成一个既成的事实，把科学共同体看成是人文精神的对立面。实际上，在科学的发展史上、在科学家群体中，一向存在着回归科学之人文本性的深厚力量。许多杰出的科学家反对用一种功利主义、工具主义的态度看待科学，用自由的理念抗拒科学的人性异化。他们深知科学的发现和创造决不只是单纯的解决技术性问题，更是实现一种美学理想、伸张一种价值观念；他们深知科学的目标必须受制于、服务于更高的人性的目标：科学家首先是一个人，其次才是一个科学研究者。

目录

卷首语 ……1

第一部分　科学的世界图景

题说 ……3

1. 世界图景:简单性与复杂性

莫诺:柏拉图和赫拉克利特 ……5

普利高津:一种新的理性 ……7

贝塔朗菲:生物学定律和物理学定律 ……11

格莱克:混沌开创新科学 ……18

2. 宇宙

温伯格:宇宙的起源 ……22

霍金:膨胀的宇宙 ……26

温伯格:宇宙的结局 ……36

爱丁顿:宇宙的耗散 ……39

保罗·戴维斯:奇妙的量子世界 ……46

伽莫夫:行星的诞生 ……55

古尔德:大陆漂移的确定 ……65

巴罗:世界的结构 ……70

3. 生命

刘易斯·托马斯:世界最大的膜 ……74

雅各布:生命始终是奥秘 ……77

薛定谔:生命是什么 ……78

克里克:生命的一般性质 ……82

贝塔朗菲:生命的历史特征 ……90
威尔逊:生命的多样化 ……94
莫诺:生命的起源 ……98
迈尔:什么是进化 ……102
古尔德:进化的艰苦历程 ……108
4. 人类
利基:人类的进化 ……112
道金斯:非洲夏娃理论 ……113
古尔德:人类的枝状进化与梯状进化 ……120
珍妮·古多尔:在人的阴影中 ……125
迈尔:外星智能生物的可能性 ……128

第二部分 科学的精神传统

题说 ……137
5. 数学
怀特海:数学与物理科学 ……139
罗素:数学的研究 ……145
彭加勒:数学物理学的起源 ……153
爱因斯坦:几何学与经验 ……156
柯瓦雷:牛顿综合的意义 ……158
斯图尔特:数学有何用 ……176
6. 实验
贝尔纳:实验 ……180
贝尔纳:观察与实验 ……182
彭加勒:实验和概括的作用 ……187
贝弗里奇:生物学实验 ……190
贝弗里奇:观察 ……195
7. 博物
威尔逊:博物学家的实验 ……202
迈尔:遗传学家与博物学家联手 ……204
伊夫林·凯勒:麦克林托克的遗传学研究 ……210
8. 科学与哲学
爱因斯坦:探索的动机 ……213
爱因斯坦:自由和科学 ……216

爱因斯坦:科学定律和伦理定律 ……218
玻恩:科学与哲学 ……220
莫诺:知识伦理学 ……225
卡普拉:物理学与东方神秘主义 ……231
9. **科学与宗教**
达尔文:我的宗教观 ……235
爱因斯坦:宗教同科学不可和解吗? ……240
爱因斯坦:科学和宗教 ……243
海森伯:科学真理与宗教真理 ……247
保罗·戴维斯:科学与宗教在变化着的世界中 ……256
10. **科学与美**
海森伯:精密科学中美的含义 ……263
杨振宁:美和理论物理学 ……273
冼鼎昌:门外美谈 ……282
卢里亚:科学与艺术 ……289

第三部分 科学的社会责任

题说 ……295
11. **科学与人性**
爱因斯坦:培养独立思考的教育 ……297
爱因斯坦:科学和社会 ……298
爱因斯坦:文明和科学 ……300
爱因斯坦:要使科学造福于人类,而不成为祸害 ……303
薛定谔:科学对生活的精神意义 ……305
贝弗里奇:科学研究的道德观 ……309
12. **科学与政治**
爱因斯坦:我的世界观 ……312
爱因斯坦:科学家对政治问题不应当明哲保身 ……315
爱因斯坦:科学家的道义责任 ……316
玻恩:宇宙航行的祸福 ……319
玻恩:还有什么可以希望的呢 ……323
海森伯:科学家的责任 ……330
扬诺赫:萨哈罗夫其人 ……336

13. **科学与自然**

利奥波德:像山那样思考 ……344

卡逊:忍耐的义务 ……347

威尔逊:热爱生命 ……352

古多尔:爱护动物,帮助动物 ……355

盖尔曼:多样性濒临危险 ……359

第四部分 科学的激情生活

题说 ……371

14. **激情发现**

艾芙·居里:镭的发现 ……373

钱德拉塞卡:爱丁顿对广义相对论的验证 ……382

狄拉克:回忆激动人心的年代 ……387

沃森:双螺旋之发现 ……396

15. **学术纷争**

韦斯特福尔:牛顿颜色理论的问世 ……399

派依斯:爱因斯坦对新动力学的反应 ……409

卢里亚:论科学家之争 ……418

威尔逊:分子大战 ……421

古尔德:对威尔逊社会生物学的反驳 ……431

16. **浪漫生活**

达尔文:贝格尔舰上的经历 ……437

艾芙·居里:居里夫人的恋爱 ……440

库茨涅佐夫:爱因斯坦的伯尔尼时期 ……444

费曼:当科学大师碰上菜鸟 ……451

第一部分

科学的世界图景

题说

我们是谁？来自何方，意欲何往？这是自古以来就困扰着人类的最原始最形而上学的问题。起初，这类问题由神话来回答，后来由宗教和哲学提供答案。今天，最权威的回答来自科学。这个事实表明了，科学绝不只是解决具体问题的方术，而首先是意识形态。科学的世界图景，这个被公认为世界之真相的东西，恰恰暴露了科学的形而上学本质。科学最终的力量不仅来自坚船利炮，而且来自对世界真相的支配。

近代科学的世界图景基于简单性的逻辑：寻找千变万化的现象背后不变的东西。这个东西可以是实体，比如分子、原子、电子，也可以是方程。代表不变性的方程，既代表了某种不变性（方程即等式），也代表了某种确定性，因而近代科学的世界图景基本上是一个决定论的图景。但是，生命科学一向挑战这个决定论图景的完备性，生命现象总是试图逃避纳入科学的世界图景之中。分子生物学的崛起扭转了这个局势，但追求生命科学之自主性的势力依然强大。20世纪中期以来，新兴的复杂性科学从根本上挑战“简单性”图景本身，为未来科学的发展提供了新的可能性。尽管如此，宇宙的进化、生命的进化和人类的进化，以及在这些进化中发挥决定论作用的定律，还是大体织就了一幅科学的世界图景。

“宇宙”部分包括了“宇宙的膨胀”、“热力学第二定律”、“量子论”、“天体物理学”、“大陆漂移”等物理科学的核心内容，许多作者还是这些科学理论的重要原创者。这些文字均选自一些著名的科普著作，其中，伽莫夫的《从一到无穷大》、温伯格的《最初三分钟》和霍金的《时间简史》，已经成为20世纪的经典科普作品。

“生命”部分包括了对生命各个侧面的不同见识。量子力学的创始人薛定谔、DNA双螺旋结构的发现者之一克里克以及法国著名的生物学家莫诺，均强调生命的分子构成以及物理化学定律对于生命现象的适用性，而另一些生命科学家像贝塔朗菲、威尔逊、迈尔则极大地伸张生命的特异性，强调生命的历史性、整体性和多样性，法国的另一位生理学诺贝尔奖得主雅各布干脆宣布“生命始终是奥秘”。生命现象使统一的世

界图景产生了裂缝。

“人类”部分主要引介了人类作为一个物种的进化问题，而对人类生理学、病理学、心理学以及体质人类学和文化人类学，都没有涉及，这是因为“人类的由来”问题是对科学的世界图景之完备性最具威胁性的问题，而其他问题尚不具备“世界观”的意义。在这一节里，我还选入了关于“外星人”的讨论，因为这是把人类自身纳入世界图景的过程中逻辑上最后的一笔，这一笔由当代最伟大的博物学家迈尔来画恰如其分。

❶ 世界图景：简单性与复杂性 ≫

柏拉图和赫拉克利特

莫　诺

约三千年前，西方哲学在爱奥尼亚岛上诞生以来，就已分成了两个看来是对立的营垒。一方认为，世界的真正的和终极的真理，由于本质是不变的，所以只能存在于完全不变的形式之中。另一方则认为，惟一的真理存在于流动和演化之中。从柏拉图到怀特海，从赫拉克利特到黑格尔、马克思，他们的形而上学的认识论的见解，显然总是同他们的伦理学偏见和政治偏见密切相关的。这些思想体系尽管声称对于理性是不辩自明的，实际上却是为这些哲学家的先入之见、为他们的伦理政治成见作辩解，而在事后作出的一种构思。[①]

对于科学来说，只有客观性假设才是惟一的一个先验的不变的东西。这个假设把科学从变和不变的争论中解救出来，或者不如说禁止它参与争论。科学是研究演化的，不管是宇宙的演化，还是宇宙里包括人在内的生物界等系统的演化。我们知道，任何现象、任何事物、任何认识都包含着相互作用，而相互作用本身又使系统的要素产生变化。但不能因此而否认在宇宙的结构中存在着不变的实体。正好相反，科学在分析现象时所采取的基本策略就是要探索不变量。在这一点上，每一条物理学定律同每一门数学的发展一样，都是去规定不变量的某种关系；科学的基本陈述都可以用宇宙的“守恒原理”来表达。随便举一个例子就可以看到，如果不依据现象所保持的不变量，那么事实上就无法分析任何一种现象。动力学定律的形成也许是个明显的例子。它首先要求微分方程式的发明，就是说，要求有一种用不变的东西来规定变化的方法。

当然，人们可以问：构成科学论述的一切不变量、守恒和对称等，是否都是为了

---

① 卡尔·帕贝：《开放的社会及其敌人》，伦敦：罗脱莱奇和凯根·保罗，1945。

取得一种可以对之进行研究的实在的影像，而这种影像却是用来替代实体的一种虚构？这里所说的影像虽然部分地抽掉了实体的内容，但我们还是可以用在纯粹抽象的、也许是“约定的”同一性原理的基础上所建立起来的逻辑来对之进行研究；这种约定，看来是人类理性认识真理所不可缺少的方法。

这是一个经典的问题。我在这里提到它，那是为了指出“量子革命”已使这个问题的面貌发生了深刻变化。同一性原理作为一种假说，并不属于古典物理学。它只是作为一种逻辑方法而被利用着，不必把它对应于一种真正的实在。可是，现代物理学却是完全不同的另一回事。现代物理学的根本假设之一是，在同一量子状态中所发现的两个原子是绝对同一的。[①] 量子论也给原子和分子的对称性以绝对的、完全的，以致不可能再加以修改的表示值。因此，现在看来，不可能把同一性原理看作是只限定于逻辑推理的一种规律；至少在量子范围内，它可以被接受为一种真正的实在的表述。

虽然如此，在科学中确实存在着而且将永远存在着一种柏拉图主义的成分，去掉这种成分就会使科学遭到损害。在具有无限差别的一个个现象中，科学只能去寻找其中的不变的东西。

作者简介：雅克·莫诺(Jacques Monod，1910－1976)，法国生物学家，创立基因调节理论，获1965年度诺贝尔生理学和医学奖。所著《偶然性和必然性——略论现代生物学的自然哲学》一书探讨生物学中的哲学问题，被称为“雄辩而精湛”，“富于魅力而又发人深思”。

文献来源：莫诺《偶然性和必然性——略论现代生物学的自然哲学》，赵寿元、全增嘏译校，上海人民出版社1977年版，第六章第一节(第74－75页)。沿袭原有小节标题。

① V. 维斯科特：《高分子水平上的生物系统中的对称性和功能》，刊于《诺贝尔奖金论文集》，第11期，第28页，英格斯特洛姆和斯特兰伯格等编，纽约，1969年。

一种新的理性

普利高津

20世纪初，波普尔(Karl Popper)在他所著的《开放的宇宙——关于非决定论的论争》一书中写道："常识倾向于认为每一事件总是由在先的某些事件所引起，所以每个事件都是可以解释或预言的。……另一方面……常识又赋予成熟而心智健全的人……在两种可能的行为之间自由选择的能力。"这一詹姆斯(William James)所称的"决定论的二难推理"与时间的含义密切相关。未来是给定的还是不断变化的结构？这个二难推理对每个人都非常重要，因为时间是我们存在的基本维度。正是把时间结合到伽利略物理学概念体系之中，标志着近代科学的起源。

人类思想这一成就也是本书所述核心问题的根源，即对时间之矢的否定。众所周知，爱因斯坦(Albert Einstein)常常说："时间是一种错觉。"的确，物理学基本定律所描述的时间，从经典的牛顿动力学到相对论和量子力学，均未包含过去与未来之间的任何区别。甚至对于今日的许多物理学家而言，这已是一种信念：就自然的基本描述而言，不存在什么时间之矢。

然而，无论在化学、地质学、宇宙学、生物学或者人文学科领域，处处可以见到未来和过去扮演着不同的角色。从物理学描述的时间对称的世界如何产生时间之矢？这就是时间佯谬——本书的中心议题之一。

时间佯谬是在19世纪下半叶维也纳物理学家玻尔兹曼(Ludwig Boltzmann)的研究工作之后被确认的，他试图仿效达尔文(Charles Darwin)在生物学中的研究，系统阐述物理学中的演化方法。但在当时，牛顿物理学定律长期被公认是客观知识的典范。由于牛顿定律隐含着过去与未来之间的等价性，因而，任何赋予时间之矢以基本意义的尝试均因危及到这一典范而受到抵制。牛顿定律在它适用的领域被认为是终极完善的，这有点像今天许多物理学家把量子力学看作是终极完善的一样。那么，在不破坏人类思想的这些惊人成就的情况下，我们如何引入单向时间呢？

自从玻尔兹曼以来，时间之矢被贬低到现象学范畴。我们人作为不完善的观测者，通过我们对自然的描述中引入近似，造成了过去与未来之间的差异。这依然是盛行的科学说法，有些专家悲叹我们立于科学无能为力和无法解决的奥秘面前。我们相信不再会是这样了，原因在于最近的两个进展：一方面是非平衡物理学，另一方面是肇始于混沌概念的不稳定系统动力学，二者都取得了长足的进展。

在过去几十年间，一门新学科——非平衡过程物理学——诞生了。这门新学科产生了像自组织和耗散结构这样一些概念，如今它们广泛应用于许多学科，包括宇宙学、化学、生物学以及生态学和社会科学。非平衡过程物理学描述了单向时间效应，为不可逆性这一术语给出了新的含义。过去，时间之矢只是通过像扩散或黏性这样的简单过程出现在物理学中，在通常的时间可逆动力学未作任何扩展的情况下，这是可以理解的。但今天已非同以往。我们现在知道，不可逆性导致了诸如涡漩形成、化学振荡和激光等许多新现象，所有这些现象都说明了时间之矢至关重要的建设性作用。不可逆性再也不会被认为是一种如果我们具备了完善的知识就会消失的表象。不可逆性导致了相干，其影响包含亿万个粒子。形象地说：不具备时间之矢的平衡态物质，是“盲目的”；具备了时间之矢，它才开始“看见”。没有这种起因于不可逆非平衡过程的相干，很难想像地球上会出现生命。因此，断言时间之矢“仅仅是现象学的”，或者是主观的，皆属荒谬。我们确实是时间之矢之子、演化之子，而不是其祖先。

修正时间概念的第二个重要进展是不稳定系统的物理学表述。经典科学强调有序和稳定性。现在，反过来，我们在观测的所有层次上都看到了涨落、不稳定性、多种选择和有限可预测性，像混沌这样的思想已变得相当流行，影响着从宇宙学到经济学，实际上所有科学领域的思想。我们将要表明，我们现在可以扩展经典物理学和量子物理学以包括不稳定性和混沌。这样，我们会得到适合于描述我们的演化宇宙的自然法则的一种表述，其中包含时间之矢，而过去和未来也不再扮演对称的角色。从经典观点——包括量子力学和相对论——来看，自然法则表达确定性。只要给定了适当的初始条件，我们就能够用确定性来预言未来，或“溯言”过去。一旦包括了不稳定性，情况就不再是这样了，自然法则的意义发生了根本变化，因为自然法则现在表达可能性或概率。我们在此与西方思想的基本传统之一（对确定性的信念）相抵触。如同吉热泽（Gerd Gigerenzer）等人在《机遇帝国》一书中所述：“尽管2000年来的科学剧变把亚里士多德（Aristotle）与巴黎的贝尔纳（Claude Bernard）分开，他们至少共享一种信念：科学与原因有关，与机遇无涉。康德（Immanul Kant）甚至鼓吹构成所有科学知识必要条件的普适的因果决定论。”

然而，也存在反对的呼声。大物理学家麦克斯韦（James Clerk Maxwell）就谈到“一种新型的知识”会克服决定论的偏见。但总的来说，盛行的观点是，概率是心智的状态，不是世界的状态。尽管量子力学已把统计概念囊括于物理学核心之中，

如今仍然如此，但量子力学的基本对象波函数却满足确定性的时间可逆方程。要引入概率和不可逆性，量子力学的正统表述需要一个观测者。

观测者可以通过观测在时间对称的宇宙中引入不可逆性。再者，像在时间佯谬中一样，从某种意义上说，我们对宇宙的演化模式负有责任。观测者的这种作用，给量子力学涂上了主观色彩。这也是妨碍爱因斯坦认可量子力学的主要原因。它引起了无休止的争论。

把不可逆性或者时间流引入量子理论中，观测者的作用是一个必要的概念。然而，一旦证明不稳定性破坏了时间对称性，观测者就不再重要了。解决了时间佯谬，我们也就解决了量子佯谬，从而得到一个新的、量子论的实在论表述。这并不意味着回到经典决定论的正统观念，恰恰相反，我们超出了与传统量子论定律相联系的确定性，强调概率的基本作用。无论在经典物理学还是在量子物理学中，基本定律现在表达概率。我们不仅需要定律，而且需要把完全新颖的要素引入自然描述的事件。这种新要素使我们得到麦克斯韦所期望的“新型的知识”。对于经典概率论的奠基人之一棣莫弗(Abraham De Moivre)来说，机遇既无法定义也难以理解。我们将表明，我们现在能够把概率包括到物理学基本定律的表述之中。只要做到这一点，牛顿确定论就破产了；未来不再由过去所确定，过去与未来之间的对称性被打破了。这使我们面对最困难的问题：什么是时间之源？时间起源于大爆炸，还是先于我们的宇宙而存在？

这些问题把我们置于空间和时间的边缘。详细解释我们主张的宇宙学含义，需要写一本专著。扼要地说，我们认为，“大爆炸”是与产生我们宇宙的介质内的不稳定性相联系的一个事件，它标志着我们宇宙的起源，但不代表时间的起源。尽管我们的宇宙有年龄，但产生我们宇宙的介质却没有年龄。时间没有开端，也许亦无终点。

但是在这里，我们开始涉足臆测的世界。本书的主要目的是提出低能区内自然法则的表述。这是宏观物理学、化学和生物学的领域，亦是人类存在实实在在发生的领域。

时间和决定论难题，自苏格拉底以来一直是西方思想的核心。在一个确定性世界里，我们如何构想人的创造力或行动准则呢？

这一问题反映了西方人文主义传统中存在的深刻的矛盾，这个传统强调两个方面，即知识和客观性的重要性，以及个体责任和民主理想所蕴含的自由选择。波普尔和其他许多哲学家都指出，只要自然单纯由确定性科学所描述，我们就面临无法解决的难题。把我们与自然界分离开来，是现代精神难以接受的一种二元论。我们在本书中的目标是显示我们现在能够克服这一障碍。倘若如塔纳斯(Richard Tarnas)所述，“西方世界的激情在于与其存在的基础重新统一”，那么说我们正在接近我们激情的目标也许并不为过。

人类正处于一个转折点上，正处于一种新理性的开端。在这种新理性中，科学不再等同于确定性，概率不再等同于无知。我们完全赞同勒克莱尔(Yvor Leclerc)的看法，他说："在本世纪，我们遇到继牛顿物理学在18世纪取得胜利以来科学与哲学的分离。"布罗诺夫斯基(Jacob Bronowski)如是很好表达了同样的道理："认识人性和认识自然界内的人类境况，是科学的一个中心课题。"

20世纪末，常常有人问科学的未来可能是什么样子。对于某些人，比如霍金(Stephen W. Hawking)，他在所著的《时间简史》中指出，我们接近终结，即到了接近了解"上帝意志"的时刻。相反，我们认为，我们确实处于一个新科学时代的开端。我们正在目睹一种科学的诞生，这种科学不再局限于理想化和简单化情形，而是反映现实世界的复杂性，它把我们和我们的创造性都视为在自然的所有层次上呈现出来的一个基本趋势。

作者简介：伊利亚·普利高津(Ilya Prigogine，1917－2003)，俄裔比利时理论物理学家和物理化学家，创立耗散结构理论，获1977年度诺贝尔化学奖。著述很多，译成中文的有《从存在到演化》(上海科技出版社1986年版)、《探索复杂性》(四川教育出版社1986年版)、《从混沌到有序》(上海译文出版社1987年版)、《确定性的终结——时间、混沌与新自然法则》(上海科技教育出版社1998年版)。他的著作旁征博引、纵横捭阖，把新的科学思想与西方哲学、西方历史文化交织在一起叙述，颇有开风气之先的大哲风范。他的新科学与东方思想富有亲和性，特别容易为中国学界所接受，在我国学界有广泛而深入的影响。

文献来源：普利高津《确定性的终结——时间、混沌与新自然法则》，湛敏译，张建树校，上海科技教育出版社1998年版，引言(第1－6页)。沿袭原有标题。

生物学定律和物理学定律

贝塔朗菲

显然，这里有三种不同的可能性和问题需要加以区分。它们是：(1)生物学是否只是物理学和化学中已知定律的应用领域；(2)如果不是这样的话，生物学定律是否可以最终还原为物理学定律和从物理学定律中推导出来；(3)生物学定律是否具有像物理学定律一样的逻辑结构。

生物学，就其是一门描述性科学而言，与物理学的明显差别是自主性问题，这种差别总是存在的，因为生物学的研究对象有其独特性。分类学、解剖学、形态学、胚胎学、生物地理学、古生物学、生理解剖学、生态学、系统发育，不会成为物理学的分支，即使在遥远的将来也是如此。这不是因为生物学定律是否反映自主性的问题——这个问题与这些领域无关——而是出于这样一个简单的理由：生命世界中的形态和现象的数量之多是非生命世界中的形态和现象无可比较的。例如，描述性的矿物学已成为物理学和化学的附属学科，因为几乎所有的矿物学问题可以由矿物的化学(矿物化学)的、矿物的形态学(结晶学)的和矿物的物理学(晶体物理学)的性质得到说明，而纯粹的描述，例如整理各种不同的玛瑙或长石，已逐渐淡化。但是，区分恶性疟疾蚊子与无害的蚊子，区分蛙与人的血液循环系统，蜥蜴类动物的系统发育——这样的事只能对之描述。康德梦想未来生物学领域中出现的牛顿，也许有一个公式，运用这个公式，各种蝴蝶双翼的图案就可以通过遗传学分析和发育分析的方法，从一个基本的模型中推导出来。但即使如此，他也不愿去描绘几万种蝴蝶双翼带有细小花点的图案，因为要做这种工作，他就必须至少拥有与几万种蝴蝶同等数量的助手，这样做毕竟是不值得的。甚至，这样一位未来的动物学家会默认像在今天分类学文献中发现的以动植物俗名语言所下的定义。必须强调，生物学中这种非物理程序是无论如何不限于词的狭义的单调描述的。实际上，确定一系列生物类型(比如脊椎动物颅骨类型)的形态学比较，详尽揭示脊髓中的通路和反射的解剖生理学研究，对人的系统发育的研究，以及大量的类似问题，都

是以特定的生物概念，诸如“类型”、“器官”、“系统发育系列”等概念为基础的；它们包含了一个有序系统，我们把这个有序系统带进扑朔迷离、多种多样的现象世界，正像理论物理学家用数学计算处理多种多样的物理现象那样。

正因为我们提倡精确的、理论的和定量的生物学，我们不得不指出在“精确”科学中表述为“定律”的东西，只代表了实在的一小部分。甚至最伟大的物理学家当他的帽子被疾风吹跑在街上时，他也会跟在后面追赶，这时，他不关心热的理论，也不能计算变化无常的风的漩涡，虽然他确信旋风是服从分子运动论的。地理学家和气象学家并不怀疑地壳和大气现象的形成是以物理学定律为基础的，而肯定不是由隐得来希幽灵造成的。然而，这些领域中的无数事物，是不能一古脑儿挤压进一个公式的，而只能加以描述，这里单凭经验的方法必定代替物理学的演绎法。像数学生物学家那样，我们尽最大努力使有机形态服从于精确的定律。比如说，我们感到极为高兴的是，发现了系统发育中脊椎动物颅骨的变化遵循异速生长定律。但是，正因为我们知道的太充分了，以至于只有一小部分现象才可能用“精确”的方法理解。两个颅骨不仅可以根据测量和计算所得的它们大略的比例不同而加以区分，而且可以根据它们大量的特征加以区分，这些特征只能用口头语言进行描述，甚或只能被形态学家受过训练的眼光注意到，但他几乎不能用词表达。

从这个意义上说，生物学决不会“同化为”物理学，它显然处于与物理学相对的“自主性科学”的地位。这种看法超出了“生物学机械论”的问题，而且完全与这个问题的任何结论无关。生物学机械论问题只与有序的一般特征有关，对这些有序的一般特征，我们可以用“定律”的形式作出陈述。

生物学负有确立生命界所有层次的系统定律或组织定律的任务。这些定律似乎在两个方面超出了无生命界的定律：

1. 有机界存在着比无机界更高的有序和组织层次。就大分子有机物质的构型而言，甚至就诸如病毒和基因那样的基本生物单位的领域而言，我们提出了远远超出无机化合物的结构定律的问题。

2. 生命过程如此复杂，以至于我们运用与作为一个整体的有机系统有关的定律时，不能考虑个别的物理—化学反应，而必须使用某个生物学序列的单位和参数。例如，如果我们要研究动物完整的新陈代谢，就不能顾及中间代谢过程中数量惊人和极为复杂的反应步骤；相反地，我们应当计算平衡值，确定所有这些通过氧的消耗、二氧化碳的产生或热量的产生而进行反应的全部产物。这是临床上确定基本代谢惯用的诊断方法。当我们想要确立新陈代谢或生长的定律时，这种方法也同样适用；这里，我们也必须使用表示无数物理—化学过程的大量结果的常数。用这种方法，我们有可能阐明若干精确的并可在一个理论中作演绎的总定律。相似地，遗传学不计算物理过程，而计算生物单位，例如基因，载有基因的染色体，植物和动物的群体，在这些群体中可以观察到易于辨认的性状在连续世代中的分布，

等等。以这种方式，遗传学形成了一个具有令人赞叹的精巧和严格的统计定律系统。而且，群体动力学理论，就其生态学方面（福尔特拉、德安康纳及其他人）和其遗传学方面（哈迪[Hardy]、赖特等）而言，是数量生物学中最先进的领域之一。当然，这个理论不能以物理—化学单位的术语加以陈述，而只能以生物个体的术语作出陈述。这类定律很大程度上已在生物学的若干分支学科中确立起来了，并且表明统计定律的未来发展，将使生物学成为一门精确科学。这些定律不是“物理的”，因为它们涉及的是那些只存在于生物学领域内的单位有关；但在充分发展的生物学领域中，由这些统计定律形成的理论系统具有与物理学的任何领域相同的逻辑结构。

定量定律的效果是明显的。理解定量定律对于控制自然确实具有最重要的意义。正是由于人们确立了精确的定律并能预测未来事件，现代技术才有可能取得发展，人们才有可能控制非生命界。相似地，生物学定律的确立将能使我们越来越多地控制生命界。

人们通常断言，数量生物学定律的陈述包含着把生物学还原为物理学和化学。这种看法几乎不值一驳。因为数学是能普遍应用的工具，因而它能应用于任何领域，比如可应用于社会学或心理学，也可应用于物理学或化学。

对生物系统作分析处理和综合处理之间存在着一种互补性。或者我们能够从有机体中挑选出个别过程，从物理—化学方面作分析，这样我们将会忽略极其复杂的整体；或者我们能够陈述作为一个整体的生物系统的若干总定律，但这样做，我们就不得不放弃从物理—化学上确定个别过程。

第一程序是生物化学、生物物理学和生理学所通常使用的方法。然而，经验表明，这种研究方法并不能揭示“有生命”的基本特征。生物学文献不断重唱这样一种老调：尽管人们对有机体中有关的物理—化学因素作了广泛的分析研究，但并没有把握生物学特有的问题，这些问题有待于“将来研究”。例如，对渗透性的物理—化学因素的研究导出了这样的结论：这些因素并不能充分解释活细胞中物质的输入和输出，除了“物理渗透性”之外，还假设有一种调节的“生理渗透性”（赫贝）或细胞的“腺样”活动（科兰德[Collander]）。这显然是一种把调节因素加到物理—化学过程中去的半活力论概念。正确的解释可能是一种渗透性的系统理论（冯·贝塔朗菲，1932 年）：在活的、进行新陈代谢的细胞内所发现的物质，有序地和有规则地变换，似乎受存在于作为一个整体的有机体环境中的诸因素的集成所支配。——根据胶体化学对原生质的解释，无法说明原生质为什么是“活的”问题，即为什么它不像无生命的胶体系统那样达到平衡态，而是保持自身于连续的变化、不断的分解、合成和再生的状态之中的问题。甚至有关细胞和有机体中发生的个别化学反应的最详细的知识，也不能解答刚才提到的有机体新陈代谢的基本问题，即有机体在其组分变化中保存这种过程的自我调节和协调的问题。但是，有机体

作为稳态反应系统的理论，可以说明这个问题。——现代科学研究已揭示了组织者作用和基因依赖物质（gene－dependent substances）的化学性质。可是，发育和遗传问题自然转向反应复合物的另一方面问题，即对这些因素作出反应的底物的组织问题。人们在对实验的单性生殖作了大量研究之后，卵的活化作用这一实际问题，即除了在渗透性、胶体状态、呼吸等中的物理—化学变化之外，各种物理—化学因素在形成新的有机体的令人惊异的过程中实际上怎么起作用的问题，还未解决。这种思考并不怀疑分析研究的必要性，分析研究是从理论上洞察控制生物现象的因素的基础，同样也是具有最大实际效果的领域（诸如酶、激素和维生素、化学疗法等领域）的基础。但是，这些思考确实表明，分析程序需要对于作为一个整体的有机体及其总定律的研究作为一种互补。

于是，我们可以用下述方式解答前面提出的第一个问题：生物定律不只是物理—化学定律的应用，相反地，我们在生物学中拥有一个特殊定律的领域，这并不意味着在活力意义上的二元论进入生命活动领域。而是表明生物学定律与物理学定律相比，是一种更高层次的定律。第三个层次由社会学领域构成。

现在来谈第二个问题：生物学定律是否能最终“还原”为物理学定律。物理学的演进趋向于更加广泛的统一，虽然还没有完成这种统一，但在原则上使我们期望整个物理世界可能是由少数几种终极元素和基本定律构成的。根据少数的物理常数，例如普朗克量子、质子和电子的质量、光速，等等，再加上有关的基本定律，首先可以推导出原子结构和元素周期系。从这些原子结构和化学元素周期系中又可以推导出多种多样的化合物、晶体、刚体，等等，直到行星系和星系。几乎毋庸置疑，物理学定律和生物学定律两大领域的融合最终是会实现的。因为，从科学的逻辑观点看，以前分离的领域的综合是科学发展的总趋势。另一方面，从经验的观点看，亚显微形态学、病毒等领域，在无生命界和生命界之间形成了联结的环节。可是，这种基本假设并不排除首先确立生物层次上的定律的必要性。同时还有可能，甚至在某种程度上已得到证明：生物学问题和生物学领域的确切内涵，将导致物理学概念和定律系统的扩展。回想一下开放系统理论中的热力学概括吧，它好像与迄今被人们认为是基本的物理世界的原理（诸如趋向于最大无序的原理）相矛盾的。由于热力学似乎是经典物理学中的达到完美的一个领域，所以这一点就更加引人注意。因此，惟有科学自身的演进将表明，以何种方式能够达到综合。

数字和量度支配着数学物理学领域，指读数则是数学物理学的最终基础。在生物学中，定量定律的陈述也是一项重要的工作，而且我们看到，甚至可以在有机形态这样的诸领域中发现这些定量定律。然而，看来有一系列特殊的生物学问题，对之进行处理的数学工具还有待于人们创造。许多最基本的生物学问题不是量的问题，而是“模式”、“位置”、“形状”的问题。

例如，在有机体的等级秩序中，重要的不是量的问题，而是低层次与高层次的

关系、集中化等问题。在形态发生活动中，重要的问题既不是细胞数目，也不是形成物的数量与质量的关系，而是它们相对位置的变化。例如，当器官形成时，原肠胚表面扩展的各个器官部位或“区域”，在以一定的方式开始收缩的过程中，在胚胎中获得一定的位置和形状，等等。我们可以测量形态发生中按一定空间方位发生的变化。就形态发生的变化基于相对生长而言，我们发现它们受简单的异速生长规律的支配。这样，系统发育和个体发育的变化，例如马科的颅骨的增大，可以用简单的公式表达。可是，形状的变化当然不是单维的，而是按照多维空间中的许多矢量发生变化的。如果我们运用德阿尔西·汤普森(d'Arcy Thompson)的变形方法，这种变化能再次得以表达。比如说，始祖马的颅骨投影成矩形的笛卡尔坐标系，通过这个坐标系的变形，它可以变形为现代马的颅骨；在这变形过程中，出现的诸中间形态相当于马科进化的系统发育诸阶段。可是，这仅仅是一种描述的方法，它并没有告诉我们有关决定变形的定律。我们想要知道的，并不是有关几个可测矢量的方程，而是一种整合定律，该定律会向我们表明，为什么从始祖马到现代马的转变，相对于其他的、数学上可能是无数的转变而言，是惟一在这进化系列中实际发生的转变。

就我们所能考察的范围而言，这些问题与拓扑学和解析部位(analysis situs)有一定关系；这就是说，它们涉及流形(manifold)内的关系问题。它们好像是群论的部分问题，因为在方程系统的变换中出现了不变量问题。我们也可以考虑到数理逻辑的发展，正像伍杰将数理逻辑应用于生物概念的定义。最后，一般系统论在未来发展中具有重要的地位。这些问题有共同性，但它们的共同性不在于数量的性质，而是涉及有序与位置的关系。

人们通常把“数学”等同于“关于量的科学”。就数学演进及其在物理学中的应用的一般历程而言，这种看法是正确的。可是，从广义上说，数学包括了所有的有序的演绎系统，而且像刚才指出的，还存在“非定量”数学的某些萌芽阶段。在这个意义上，几位作者(冯·贝塔朗菲，1928 年，1930 年；伍杰，1929 年，1930—1931 年；贝文克，1944 年)，以及其他后继者如尼达姆和沃丁顿(Waddington)，已考虑到这种可能性：非定量的或格式塔的数学可能对于生物学理论具有重要的意义。正如贝文克所指出的，这种非定量的或格式塔的数学可能是这样一种数学系统，在这个系统中，正像在极好地适合物理学需要的普通数量数学中那样，并非量的概念，而是形式或有序的概念才是基本的。

物理学的例子暗示，在新领域中，往往必须发展与之相适应的数学，而这种数学通常是新的和前所未闻的，例如，波动力学的矩阵理论就是这样的事例。

“当我们想到，处理物理学中的最基本系统必须要有数学的全新发展，发展要

求数学物理学家作出最大的努力，看来仅仅应用常规的物理学和物理化学要想充分处理自然界中最复杂的系统——有机体，那是不可能的。只有通过生物学家、理论物理学家、数学家和逻辑学家的紧密合作，生物学的数学化才能实现。"(冯·贝塔朗菲，1932 年)

当然，这是"未来的音乐"，只是想要指出有待于未来几代生物学去完成的任务。总之，科学史证明，科学的进步在很大程度上取决于适当的理论抽象和符号体系的发展。正是解析几何和微积分进展，使经典物理学有可能取得进步。相对论和量子理论是与非欧几里得几何学、傅立叶(Fourier)分析、矩阵演算等的发展相联系的。化学是随着化学分子式语言的发明而取得发展的。相似地，遗传学是靠孟德尔巧妙的抽象观念和他创造的符号体系而成为一门精确的学科。另一方面，在像发育生理学那样一些领域中，还缺乏严格的理论，是因为它们还没有发现必要的抽象概念和符号体系。

这样，有可能按以下思路对第二个问题作出解答。正像前面说明的，新领域向物理学合并，往往不是通过一定原理的单纯外推而实现的，而是以这样的方式达到的：起初是新开拓的领域的自主发展，通过最后的综合，原先的领域也拓宽了。化学不是通过牛顿力学应用于原子而发展起来的。最初，创造出大量新的和特殊的构造概念和定律，最后达到统一，在此期间，原子从质点转变成复杂的组织。生物学"机械论"预先假定一系列关于自然界的物理学定律，这些物理学定律只有正确地被应用于生命现象，才能对生命问题作出解释。但是，并不存在这样的定律系列，因而，在物理学与生物学两个领域进行最后的综合之前，我们不能预言物理学的概念系统将需要何种扩展。

对第三个问题的解答是明确的。所有科学的任务都是要作出"解释"。通过解释，我们理解到特殊对于一般的从属性，反之，又从一般推导出特殊。因此，科学的确定形态是假说—演绎系统，即这样一种理论构造：在这个理论构造中，可以通过引进特定的条件，从一般陈述中推导出能够得到经验检验的结论。在一定程度上，使用本国语言就能做到这一点。可是，由于词的歧义性，以及这些词按照句法结合起来并不严格遵循逻辑演绎的规则，因而会给假设—演绎系统的精确性带来一定的限制。因此，只有当具有明确的和固定意义的符号按照同样明确的游戏规则连接起来时，才能达到科学的要求。数学可称得上是这样的系统。在这个意义上，康德关于每一自然学说只有达到像数学那样的程度，才能称得上是真正的科学的看法，是正确的。因为数学正是人们可获得的关于实在的最高理性化形式。正是由于这个原因，现代物理学的数学形式主义，经常受到人们责难，并导致它的构造物的非直观化特征，其实，它既不是任意性的，也不是规避窘境，而是科学进步的必然伴随物。可是，数学理论形式用符号反映实在是否恰当，我们不能先验地告知，而

只能由经验来断定。确实，就这方面而言，现代物理学不是没有发生令人惊异的事情。如果牛顿被告知物理学基本定律不采取含有严格因果意义的微分方程形式，而采取矩阵和概率功能的形式，他可能会昏厥的。但是，未来生物学定律系统无论采取什么形式，甚至它包括目前我们只能模糊地猜测的结构定律，它将具备逻辑演绎的特征，具备“数学”的特征，也将具备像物理学一样的形式特征。

作者简介：路德维希·冯·贝塔朗菲(Ludwig von Bertalanffy，1901－1972)，奥地利理论生物学家，一般系统论的创始人。著有《理论生物学》(1932 年版)、《现代发展理论》(1934 年版)、《物理学和生物学中的开放系统理论》(1950 年版)、《一般系统论》(1955 年版)等。他反对机械论和活力论，提出了机体论的生命哲学。

文献来源：贝塔朗菲《生命问题——现代生物学思想评价》，吴晓江译，金吾伦校，商务印书馆 1999 年版，第五章第 2 节(第 154－165 页)。沿袭原有标题。

混沌开创新科学

格莱克

混沌开始之处，经典科学就终止了。因为自从世界上有物理学家们探索自然规律以来，人们就特别忽略了无序，而它存在于大气中，海洋湍流中，野生动物种群数的涨落中，以及心脏和大脑的振动中。自然界的不规则方面，不连续和不稳定的方面，一直是科学的难题，或许更糟些，是无法理解的怪物。

但是在20世纪70年代，美国和欧洲的少数科学家开始找到了无序的门径。他们是数学家、物理学家、生物学家和化学家，他们都在寻求各种不同的不规则现象之间的联系。生理学家们在人类心脏生发出来的混沌中发现了令人惊奇的有序，这种混沌曾是无法解释的猝死的主要原因。生态学家们考察了舞毒蛾总数的升降。经济学家们发掘出陈旧的股票价格数据，并试用新的方法来分析。由此种种方面得到的启示，直接引入了自然界，包括对云彩的形状、闪电的径迹、微血管的缠结、星体形成银河星团的过程的认识。

当费根鲍姆在洛斯阿拉莫斯开始思考混沌的时候，他只是几个分散的大多互不相识的科学工作者中的一员。加州伯克利的一位数学家（斯梅尔）组织了一个小组对“动力系统”开展新的研究。普林斯顿大学的一位种群生物学家（梅）正准备发表一个热情的呼吁：所有的科学家都应当注意潜伏在一些简单模型中的令人惊奇的复杂行为。为国际商用机器公司工作的一位几何学家（曼德勃罗）正在寻找一个新词来描述一族几何形状——犬牙交错，缠结纷乱，劈裂破碎，扭曲断裂——他认为这是自然界中的一个组织原则。一位法国数学物理学家（茹厄勒）刚刚作出一项有争议的断言，那就是流体中的湍流或许与一种他称为奇怪吸引子的稀奇古怪的无限缠结的抽象有某种关系。

10年之后，混沌已经成为一种迅速发展的运动的简称，而这个运动正在改变着整个科学建筑的结构。到处是混沌会议和混沌刊物。政府中那些负责军事机构、中央情报局和能源部的研究经费的官员，把不断增加的金钱投入混沌研究，并

且为管理这种资助建立专门的机构。在每一所重要的大学和重要的共同研究中心，一些理论家们首先使自己同混沌结合起来，然后才结合到名义上的原有专业。在洛斯阿拉莫斯建立了一个非线性研究中心来协调混沌和有关问题的研究；全国各大学校园里都出现了类似的机构。

混沌创造了特殊的计算机使用技术和各种特殊的图像，于是抓住了复杂性背后的古怪而精致的结构。这门新科学产生了自己的语言，亦即分形和分岔，阵发和周期，叠毛巾微分同胚和光滑面条映象等高雅的行话。这些是新的运动要素，正像在传统的物理学中，夸克和胶子是物质的新要素一样。对一些物理学家来说，混沌是过程的科学而不是状态的科学，是演化的科学而不是存在的科学。

现在这门科学正在举目四望，看来混沌无所不在。上升的香烟烟柱破碎成缭乱的漩涡。旗帜在风中前后飘拂。龙头滴水从稳定样式变成随机样式。混沌出现在天气行为中，出现在飞机飞翔中，出现在高速公路上阻塞的汽车的行为中，出现在地下管道的油流中。不管在什么介质中，这些行为都遵从新发现的同样的定律。这种认识已经开始改变企业经理作保险决定的方式，改变天文学家看待太阳系的方式，改变政治理论家谈论紧张形势导致武装冲突的方式。

混沌打破了各门学科的界限。由于它是关于系统的整体性质的科学，它把思考者们从相距甚远的各个领域带到了一起。一位负责科学资金的海军官员对一批数学家、生物学家、物理学家和医生说："15 年前，科学正陷入专业化越来越细的危机。由于混沌，专业化的过程戏剧性地倒过来了。"混沌所提出的问题使科学上业已公认的工作方法失效。它强烈主张复杂系统有普适行为。第一批混沌理论家们，亦即使这门学科发动起来的那些人，具有共同的敏感性。他们注视着图样花纹，特别是那些同时在不同尺度上出现的图样花纹。他们对随机性和复杂性有特别的爱好，喜欢参差不齐的边缘和突然的跳跃。混沌的信徒们——他们有时自称是信徒，是皈依者，是福音传教士——思索决定论和自由意态，思索演化，思索有意识的智力的本质。他们感觉到，他们正在扭转科学中简化论的倾向，即只从系统的组成零件夸克、染色体或神经元来作分析的倾向。他们相信自己是在寻求整体。

新科学的最热情的鼓吹者们竟然宣称，20 世纪的科学只有三件事将被记住：相对论、量子力学和混沌。他们主张，混沌是 20 世纪物理科学中第三次大革命。就像前两次革命一样，混沌割断了牛顿物理学的基本原则。如同一位物理学家所说："相对论排除了对绝对空间和时间的牛顿幻觉；量子论排除了对可控测量过程的牛顿迷梦；混沌则排除了拉普拉斯决定论的可预见性的狂想。"在这三大革命中，混沌革命适用于我们看得见、摸得到的世界，适用于和人自己同一尺度的对象。日常经验和真实的世界图像成为合情合理的探究目标。人们长期有一种感觉，只是不常公开表露，即理论物理已经同人类对世界的直觉偏离太远。谁也不知道，这是富有成果的异端，还是直截了当的邪说。但是，有些认为物理学正走进死胡同的

人，现在把混沌当作一条出路。

在物理学内部，混沌的研究是从一潭死水中产生的。在20世纪的大部分时间内，主流曾是粒子物理，它在更高更高的能量、更小更小的尺度和更短更短的时间范围内探索物质的构造模块。除粒子物理之外，就是关于自然界基本力和宇宙起源的理论。然而，还是有一些年轻的物理学家越来越不满足于这种最有声望的科学方向。科学的进展开始显得缓慢了，新粒子的命名无济于事，理论体系乱糟糟。随着混沌的到来，比较年轻的科学家们相信，他们正在看到整个物理学开始改变航向的端倪。他们觉得，这个领域已经被高能粒子和量子力学炫目的抽象概念支配得太久了。

身居剑桥大学牛顿讲座席位的宇宙学家霍金，1980年作了题为“理论物理看到尽头了吗?”的演讲。在对他的这门科学作估量时，霍金就物理学的大部分说了一番话：

我们已经知道支配日常生活中我们所经历的每件事的物理规律。……现在要用庞大的设备和巨额的金钱来做我们不能预言其结果的实验，这件事本身就是对理论物理长足进步的称颂。”

然而霍金认识到，从粒子物理的角度理解自然规律，并没有回答如何把这些规律运用到任何哪怕是最简单的系统。在两个粒子环绕加速器赛跑后相撞的云雾室里，可预言性是一回事；而在洗澡水晃荡的简易浴缸里，或在地球天气中，或在人类大脑里，那完全是另一回事。

霍金的物理学，在获得诺贝尔奖和争取大量金钱做试验方面很有效，常常被称为一场革命。有时人们觉得一切都在“大统一理论”或“万物的理论”的范围之内。除了宇宙史最初的瞬间以外，物理学已经追溯了能量和物质的发展过程。但是，战后的粒子物理是一场革命吗？或者它只是从爱因斯坦、玻尔(Niels Bohr)以及相对论和量子力学的其他创始人所奠定的框架上刮下来一点肉？当然，物理学的成就，从原子弹到晶体管，改变了20世纪的面貌。然而，如果有什么要说，那就是粒子物理的范围变窄了。自从这个领域产生新的理论思想，改变了非专家们理解世界的方式以来，已经过去了两代人。

霍金所描述的物理学能够不回答关于自然界的某些最基本的问题而完成它的使命。生命是怎样开始的？湍流是什么？首先，在一个由熵支配的宇宙中，一切都无情地趋向更大的无序，怎样出现有序呢？同时，人们日常经历的许多对象，如流体和机械系统，在我们看来是很基本和普通的，从而使物理学家们自然倾向于假定它们已经被很好地理解。但实际并非如此。

当混沌革命走上正轨时，优秀的物理学家们觉得他们毫不为难地回到了与人

同尺度的现象。他们不仅研究星系，还研究云彩。他们不仅在“克雷”[①]计算机上进行有成效的计算，还使用“麦金多施”[②]。重要的期刊把关于球在桌上弹跳的奇怪动力学的论文与量子物理的文章同时发表。现在人们看到最简单的系统提出非常困难的可预见性问题。然而，有序也在这些系统中自发地出现——混沌和有序同在。只有一种新科学才能开始跨越这巨大的知识深渊，它的一岸是单个的对象——一个水分子，一个心脏组织细胞，一个神经元——的行为，而另一岸是成百万这种对象的行为。

观察一下瀑布下面两个并排流动的泡沫。你能猜到它们在瀑布顶上时距离有多近吗？什么也猜不到。就标准的物理学而言，上帝是满可以亲自把所有那些水分子藏到桌子下面并把它们搅混一番的。按照传统，当物理学家们看到了复杂的结果时，他们就寻找复杂的原因。当他们看到系统的输入和输出之间存在随机关系时，他们就认为必须人为地把随机性放进任何现实性的理论，办法是加上噪声或误差。现代混沌研究始自 20 世纪 60 年代，当时人们缓慢地意识到十分简单的数学方程能成为完全同瀑布一般猛烈的一些系统的模型。输入的微细差异可能很快成为输出的巨大差别——这种现象被称为“对初始条件的敏感依赖性”。例如在气象中，这就成了人们半开玩笑说的“蝴蝶效应”——今天在北京有一只蝴蝶扇动空气，可能改变下个月在纽约的风暴。

当混沌的探索者们开始回顾这门新科学的家谱时，他们发现许多来自过去的知识轨迹。但有一点颇为突出：对于那些带头进行这场革命的年轻的物理学家和数学家们来说，蝴蝶效应曾是一个出发点。

作者简介：詹姆斯·格莱克（James Gleick），美国畅销书作家、科技记者。20 世纪 80 年代曾任美国《纽约时报》科技部主任。所著《混沌：开创新科学》一书，生动地描述了这个新的科学领域的诞生和发展史，受到专家和读者的好评。我国理论物理学家、计算物理学家郝柏林院士特别推荐本书，并为中译文作校。

文献来源：格莱克《混沌：开创新科学》，张淑誉译，郝柏林校，上海译文出版社 1990 年版，序曲（第 4—9 页）。标题为编者所加。

---

① Cray，一种超级计算机。——译者注

② Macintosh，一种小型个人计算机。——译者注

❷ 宇宙 ≫

宇宙的起源

温伯格

关于宇宙的起源，冰岛文学家斯托里森(Snorri Sturleson)在1220年左右编写的北欧神话集《新埃达》中已有所阐述。按这本神话集所说，最初是一无所有的。既没有地，也没有天，只有一个裂口，也没有草原。而在这混沌虚无的北方和南方，则是冰雪的区域尼夫尔翰和火的区域木斯皮尔翰。木斯皮尔翰的火融化了尼夫尔翰的一些冰。在融化的水滴里产生了一个巨人伊默。伊默吃什么呢？啊，看来还有一头母牛阿豪姆拉。可是母牛又吃什么呢？好吧，还要有点盐。故事就是这样继续下去。

我不想冒犯宗教感情，即便是北欧维京海盗的宗教感情。但是，我想这个故事实在不是一幅令人满意的宇宙起源的图景。且不说对那些无稽之谈的非议，只就故事本身，它所引起的问题就和它解答的问题一样多，而每个疑问的解答都要求初始条件的进一步复杂化。

我们当然不会只在这里嘲笑这本《新埃达》，而放弃对宇宙起源的推敲。追溯宇宙起源的这个念头是不可抗拒的。自从16至17世纪开始出现现代科学以来，物理学家和天文学家曾一次又一次地回到宇宙起源问题。

然而，这种探索经常遭到非议。我记得在20世纪50年代里我还是一个学生，刚刚开始做研究(对另外一些问题)的时候，人们普遍地认为，一个认真的科学家根本不值得在早期宇宙的研究上去花费时间。这种说法当时不无根据。在现代物理学和天文学的主要历史里，简直就没有足够的观测的和理论的基础，足以建立早期宇宙的历史。

可是，就在这刚刚过去的十年里，一切都改变了。一个早期宇宙理论已经被广泛接受，以致常常被天文学家称为“标准模型”。这个理论多少有点像有时被称为

“大爆炸”的理论，但是它进一步对宇宙的内容作了明确得多的规定，这个关于早期宇宙的理论，就是本文的主题。

最初发生了一次爆炸。这不是习见于地球上发生在一个确定的点，然后向四周的空气传播开去的那种爆炸，而是一种在各处同时发生，从一开始就充满整个空间的爆炸，爆炸中每一个粒子都离开其他每一个粒子飞奔。“整个空间”可以指的是整个无限的宇宙，或者指的是一个就像球面一样能弯曲地回到原来位置的有限宇宙。无论哪一种都不是容易理解的，但这都与我们无碍；对于早期宇宙来说，宇宙究竟是有限的，抑或是无限的，这个问题几乎完全是无关紧要的。

在爆炸发生后的百分之一秒，即我们能多少有把握谈论的最早时刻，宇宙的温度大约是摄氏一千亿度(10^{11}℃)。这比最热的恒星中心还要热，事实上，它是这么热，以致不可能聚集成任何普通的物质成分，即不可能聚集成分子、原子甚至原子核，能够在爆炸中相互飞速地分离的只是各种基本粒子，它们是现代高能核物理的主题。

在这里介绍一下早期宇宙里存在最多的几种粒子。一类大量存在的粒子是电子，就是在电线的电流中运动的那种带负电荷的粒子，它们组成了现在宇宙中所有原子和分子的外层部分。另外一种在早期宇宙里非常丰富的粒子是正电子，这是一种质量和电子完全相同，但却带着正电荷的粒子。在今天的宇宙里，正电子只有在高能实验室里找到，或者在某些放射性现象中找到，或者在宇宙线和超新星爆炸等剧烈天文现象里找到，然而，在早期宇宙里正电子的数目几乎完全和电子相等。除电子和正电子之外，还有数目大致相等的各种中微子。这种幽灵般的粒子既没有质量，也没有电荷。最后，宇宙里还充满了光。但是不必要把光和粒子分别处理。量子力学告诉我们，光是由质量和电荷都为零的粒子——光子所组成的。(每当灯泡的灯丝里的原子从一个较高能级改变到一个较低能级时便发射出一个光子。从一根灯丝发射出的光子是很多的，以致看起来它们组成为连续的光线。可是一个光电管可以逐个地数出单个的光子。)每个光子携带着一定数量的能量和动量，大小取决于其波长。光子的数目和平均能量和电子、正电子或者中微子的数目大致相等。

这些粒子(电子、正电子、中微子、光子等)不断地从纯能量中产生出来，经历很短的寿命后又湮灭了。因此，它们的数目并不是预先注定的，而是由产生过程与湮灭过程的平衡确定的。从这个平衡我们可以推算出，这盆宇宙汤在温度为一千亿度时的密度是水的四十亿(4×10^{9})倍。此外，宇宙汤内还掺有很少量的较重粒子：中子和质子——它们组成今天世界里的原子核(质子是带正电荷的；中子比质子稍微重一点，是电中性的)，比例大致是每十亿个光子(或正电子、电子、中微子)对一个质子和中子。十亿个光子对一个核粒子这个比值是建立宇宙标准模型的关键性数值，必须由观测来得到。

随着爆炸继续下去，温度下降了，在约十分之一秒以后下降到摄氏三百亿(3×10^{10})度；约一秒以后降至一百亿度；十四秒后降至三十亿度。冷却到这个地步以后，电子和正电子湮灭的速度开始快于它们从光子和中微子重新产生出来的速度。这种物质湮灭过程所释放出的能量暂时延缓了宇宙的冷却速度，不过温度仍然在下降，在最初的三分钟终了时，下降到十亿度。这个温度已经足够低，能使中子和质子开始组合成复合的原子核。首先是由一个中子和一个质子组合成一个重氢(氘)核。由于这时的密度还足够大(稍微比水小一些)，所以这些氘核可以迅速地组成最稳固的轻原子核，即是由两个质子和两个中子组成的氦核。

最初三分钟终了时宇宙的组成主要是光、中微子和反中微子。核物质仍然只占很小一个份额，现在它们当中有百分之七十三是氢，有百分之二十七是氦，还有跟这些核物质同样稀少的电子，它们是经过电子—正电子湮灭期以后剩下的。所有这些物质继续飞驰分离着，一直在冷却下去和稀薄下去。又过了几十万年，温度终于冷却到足够低，可以让电子与氢核和氦核组成原子。这样组成的气体由于引力影响而形成气团，最后凝聚为今日宇宙里的星系和恒星。但无论如何，星辰得以开始它们的生命的组成物，正是在这最初三分钟所产生的。

上面简单叙述的标准模型仍然不是关于宇宙起源可以想得出的最令人满意的理论。就和《新埃达》一样，在阐述宇宙的开始时，或者在第一个百分之一秒左右，这个理论仍然存在着令人困惑的含混之处。再则，还有必要去确定起始条件，特别是光子对核粒子的初始比率——十亿比一，而这是令人不愉快的工作。我们宁愿在理论里有更大的逻辑必然的观念。

例如，另一个称为“稳恒态模型”的理论在哲学上就有更大的吸引力。这个模型是在20世纪40年代由赫尔曼·邦迪(Herman Bondi)、托马斯·戈尔德(Thomas Gold)和以稍微不同形式，由弗里德·霍伊尔(Fred Hoyle)提出的，在这个模型里，宇宙永远都是和现在一样。当它膨胀时，在星系分离开的缝隙里，有新的物质产生。这个理论隐含了所有关于宇宙为什么会是这个样子的问题的答案。答案是宇宙之所以如此，是因为只有如此它才能保持着永远不变。宇宙起源的问题被一笔勾销了。在这个理论里根本不存在早期宇宙。

那么我们怎么会得出“标准模型”的呢？它是怎样胜过诸如稳恒态模型等其他理论的呢？它之所以成立，是因为近代天体物理学基本上是客观的，人们对它达成了一致的看法，既非由于哲学偏爱的变迁，也非由于天体物理学巨匠们的影响，而是由于来自经验数据的压力。

在叙述了观察到的宇宙学现象之后，我将试图把个别的资料并在一起，以组成一幅早期宇宙物理条件的连贯的图画，这将更具体地把我们带回到最初的三分钟去。我们将会像看电影那样，按顺序地看到宇宙的膨胀、冷却和形成。我们还将试图看一下那个仍然笼罩着迷雾的时期(最初的百分之一秒)和在此之前的事情。

我们可以确信这个标准模型吗？它会不会由于新的发现而被推翻，而被别的宇宙起源说所超过？或者，甚至稳恒态模型会东山再起？也许会。我不能否认在我写到最初三分钟的事情时，似乎是充满信心，但心里并不是那么踏实。

但是，即使它最后被别的理论所取代了，标准模型终究在宇宙学历史里起过重要的作用。现在（虽然是在最近的十多年以来），把物理学及天体物理学的理论想法在标准模型中计算出其结果来进行检验，已经是正规的方法。标准模型已经常被用作论证天文观测计划的理论基础。这样，标准模型为理论工作者和观测者提供了基本的共同语言，使他们了解彼此在做些什么。如果有一天标准模型被一个更好的理论所取代的话，这个理论很可能是由于受到标准模型启发而进行的观察和计算所得到的。

对宇宙的将来而言，它可能永远不断地膨胀下去，变得更冷、更空虚、更死寂；或者它可能重新收缩，将星系、恒星、原子和原子核重新粉碎成原来的组成粒子。这样我们在预言最后的三分钟里的事件进程时所遇到的问题，便和我们在回顾最初的三分钟里所遇到的问题是同样的了。

作者简介：温伯格（Steven Weinberg，1933－），美国物理学家，因对粒子物理学中弱电统一理论的贡献而获 1979 年诺贝尔物理学奖。译成中文的著作有《引力论与宇宙论》（科学出版社 1980 年版）、《亚原子粒子的发现》（科学技术文献出版社 1988 年版）、《终极理论之梦》（湖南科技出版社 2003 年版）和《最初三分钟》（科学出版社 1981 年版）。出自有资格的前沿科学家之手而又笔调生动、文字清晰，《最初三分钟》一问世就获得了广泛的好评和全世界读者的喜爱，1978 年获联合国教科文组织颁发的卡林格科普读物奖。

文献来源：温伯格《最初三分钟》，冼鼎钧译，冼鼎昌校，科学出版社 1981 年版，第一章引言（第 1—6 页）。标题为编者所加。

膨胀的宇宙

霍 金

如果在一个清澈的、无月的夜晚仰望星空，能看到的最亮的星体最可能是金星、火星、木星和土星这几颗行星，还有巨大数目的类似太阳但离开我们远得多的恒星。事实上，当地球绕着太阳公转时，某些固定的恒星相互之间的位置确实起了非常微小的变化——它们不是完全固定不动的！这是因为它们距离我们相对近一些。当地球绕着太阳公转时，相对于更远处的恒星的背景，我们从不同的位置观测它们。这是幸运的，因为它使我们能直接测量这些恒星离开我们的距离，它们离我们越近，就显得移动得越多。最近的恒星叫做普罗希马半人马座，它离我们大约 4 光年那么远（从它发出的光大约花 4 年才能到达地球），也就是大约 23 万亿英里（1 英里＝1.609 公里）的距离。大部分其他可用肉眼看到的恒星离开我们的距离均在几百光年之内。与之相比，太阳仅仅在 8 光分那么远！可见的恒星散布在整个夜空，但是特别集中在一条称为银河的带上。远在 1750 年，就有些天文学家建议，如果大部分可见的恒星处在一个单独的碟状的结构中，则银河的外观可以得到解释。碟状结构的一个例子，便是今天我们叫做螺旋星系的东西。只有在几十年之后，天文学家威廉·赫歇尔爵士才非常精心地对大量的恒星的位置和距离进行编目分类，从而证实了自己的观念。即使如此，这个思想也是在 20 世纪初才完全被人们接受。

1924 年，我们现代的宇宙图像才被奠定。那是因为美国天文学家埃得温·哈勃证明了，我们的星系不是惟一的星系。事实上，还存在许多其他的星系，在它们之间是巨大的空虚的太空。为了证明这些，他必须确定这些星系的距离。这些星系是如此之遥远，不像邻近的恒星那样，它们确实显得是固定不动的。所以哈勃被迫用间接的手段去测量这些距离。众所周知，恒星的表观亮度决定于两个因素：多少光被辐射出来（它的绝对星等）以及它离我们多远。对于近处的恒星，我们可以测量其表观亮度和距离，这样我们可以算出它的绝对亮度。相反，如果我们知道其他星系中恒星的绝对亮度，我们可用测量它们的表观亮度的方法来算出它们的距离。哈勃注意到，当

某些类型的恒星近到足够能被我们测量时，它们有相同的绝对光度。所以他提出，如果我们在其他星系找出这样的恒星，我们可以假定它们有同样的绝对光度——这样就可计算出那个星系的距离。如果我们能对同一星系中的许多恒星这样做，并且计算结果总是给出相同的距离，则我们对自己的估计就会有相当的信赖度。

埃得温·哈勃用上述方法算出了九个不同星系的距离。现在我们知道，我们的星系只是用现代望远镜可以看到的几千亿个星系中的一个，每个星系本身都包含有几千亿颗恒星。这很像是一个螺旋星系的图，从生活在其他星系中的人来看我们的星系，想必也是类似这个样子。我们生活在一个宽约为 10 万光年并慢慢旋转着的星系中，在它的螺旋臂上的恒星绕着它的中心公转一圈大约花几亿年。我们的太阳只不过是一个平常的、平均大小的黄色的恒星，它靠近在一个螺旋臂的内边缘。我们离开亚里士多德和托勒密的观念肯定是相当遥远了，那时我们认为地球是宇宙的中心！

恒星离开我们是如此之远，以至于使我们只能看到极小的光点，而看不到它们的大小和形状。这样怎么能区分不同的恒星种类呢？对于绝大多数的恒星，只有一个特征可供观测——光的颜色。牛顿发现，如果太阳光通过一个称为棱镜的三角形状的玻璃块，就会被分解成像彩虹一样的分颜色（它的光谱）。将一个望远镜聚焦在一个单独的恒星或星系上，人们就可类似地观察到从这恒星或星系来的光谱线。不同的恒星具有不同的光谱，但是不同颜色的相对亮度总是刚好和一个红热的物体发出的光谱完全一致。（实际上，从一个不透明的灼热的物体发出的光，有一个只依赖于它的温度的特征光谱——热谱。这意味着可以从恒星的光谱得知它的温度。）并且，我们发现，某些非常特定的颜色在恒星光谱里找不到，这些失去的颜色可以因不同的恒星而异。既然我们知道，每一化学元素吸收非常独特的颜色族系，将它们和恒星光谱中失去的颜色相比较，我们就可以准确地确定恒星大气中存在什么元素。

在 20 世纪 20 年代天文学家开始观察其他星系中的恒星光谱时，他们发现了最奇异的现象：它们和我们的银河系一样具有吸收的特征线族，只是所有这些线族都向光谱的红端移动了同样相对的量。为了理解这个含义，我们必须先理解多普勒效应。我们已经知道，可见光即是电磁场的起伏或波动。光的波长（或者相邻波峰之间的距离）极其微小，约为 0.0000004 至 0.0000008 米。

光的不同波长正是人眼看到的不同颜色，最长的波长出现在光谱的红端，而最短的波长在光谱的蓝端。想像在离开我们一个固定的距离处有一光源——例如恒星——以固定的波长发出光波。显然我们接收到的波长和发射时的波长一样（星系的引力场没有强到足以对它产生明显的效应）。现在假定这恒星光源开始向我们运动。当光源发出第二个波峰时，它离开我们更近一些，这样两个波峰之间的距离比恒星静止时更小。这意味着，我们接收到的波的波长比恒星静止时更短。相应地，如果光源离开我们运动，我们接收的波的波长将更长。这意味着，当恒星离

开我们而去时，它们的光谱向红端移动（红移）；而当恒星趋近我们而来时，光谱则蓝移。这个称之为多普勒效应的频率和速度的关系是我们日常所熟悉的，例如我们听路上来往小汽车的声音：当它开过来时，它的发动机的音调变高（对应于声波的高频率）；当它通过我们身边而离开时，它的音调变低。光波或无线电波的行为与之类似。警察就是利用多普勒效应的原理，以无线电波脉冲从车上反射回来的频率来测量车速。

在哈勃证明了其他星系存在之后的几年里，他花时间为它们的距离以及观察到的光谱分类。那时候大部分人相信，这些星系的运动相当随机，所以预料会发现和红移光谱一样多的蓝移光谱。但是，令人十分惊异的是，他发现大部分星系是红移的——几乎都远离我们而去！更惊异的是1929年哈勃发表的结果：甚至星系红移的大小也不是杂乱无章的，而是和星系离开我们的距离成正比。换句话讲，星系越远，则它离开我们运动得越快！这表明宇宙不可能像人们原先所想像的那样处于静态，而实际上是在膨胀；不同星系之间的距离一直在增加着。

宇宙膨胀的发现是20世纪最伟大的智慧革命之一。事后想起来，何以过去从来没有人想到这一点?！牛顿或其他人应该会意识到，静态的宇宙在引力的影响下会很快开始收缩。然而现在假定宇宙正在膨胀，如果它膨胀得相当慢，引力会使之最终停止膨胀，然后开始收缩。但是，如果它膨胀得比某一临界速率更快，引力则永远不足够强而使其膨胀停止，宇宙就永远继续膨胀下去。这有点像一个人在地球表面引燃火箭上天时发生的情形，如果火箭的速度相当慢，引力将最终使之停止并折回地面；另一方面，如果火箭具有比某一临界值（大约每秒7英里，1英里＝1.609公里）更高的速度，引力的强度不足以将其拉回，所以它将继续永远飞离地球。19世纪、18世纪甚至17世纪晚期的任何时候，人们都可以从牛顿的引力论预言出宇宙的这个行为。然而，静态宇宙的信念是如此之强，以至于一直维持到了20世纪的早期。甚至爱因斯坦于1915年发表其广义相对论时，还是如此之肯定宇宙必须是静态的，以使得他在其方程中不得不引进一个所谓的宇宙常数来修正自己的理论，使静态的宇宙成为可能。爱因斯坦引入一个新的“反引力”，这力不像其他的力那样，不发源于任何特别的源，而是时空结构所固有的。他宣称，时空有一种内在的膨胀的趋向，这刚好可以用来去平衡宇宙间所有物质的相互吸引，结果使宇宙成为静态的。当爱因斯坦和其他物理学家正在想方设法避免广义相对论的非静态宇宙的预言时，看来只有一个人，即俄国物理学家和数学家亚历山大·弗利德曼愿意只用广义相对论着手解释它。

弗利德曼对于宇宙作了两个非常简单的假定：我们不论往哪个方向看，也不论在任何地方进行观察，宇宙看起来都是一样的。弗利德曼指出，仅仅从这两个观念出发，我们就应该预料宇宙不是静态的。事实上，弗利德曼在1922年所做的预言，正是几年之后埃得温·哈勃所观察到的结果。

很清楚，关于在任何方向上宇宙都显得是一样的假设，实际上是不对的。例如，正如我们所看到的，我们星系中的其他恒星形成了横贯夜空的叫做银河系的光带。但是如果看得更远，星系数目就或多或少显得是同样的。所以假定我们在比星系间距离更大的尺度下来观察，而不管在小尺度下的差异，则宇宙确实在所有的方向看起来是大致一样的。在很长的时间里，这为弗利德曼的假设——作为实际宇宙的粗糙近似提供了充分的证实。但是，近世出现了一桩幸运的事件，它所揭示的事实说明，弗利德曼假设实际上异常准确地描述了我们的宇宙。

1965 年，美国新泽西州贝尔电话实验室的阿诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊正在检测一个非常灵敏的微波探测器时（微波正如光波，但是它的波长大约为 1 英寸，1 英寸＝2.54 厘米），他们的检测器收到了比预想的还要大的噪声。彭齐亚斯和威尔逊为此而忧虑，这噪声不像是从任何特别方向来的。首先他们在探测器上发现了鸟粪并检查了其他可能的故障，但很快就排除了这些可能性。他们知道，当探测器倾斜地指向天空时，从大气层里来的噪声应该比原先垂直指向时更强，因为光线在沿着靠近地平线方向比在头顶方向要穿过更厚的大气。然而，不管探测器朝什么方向，这额外的噪声都是一样的，所以它必须是从大气层以外来的，并且在白天、夜晚、整年，也就是甚至地球绕着自己的轴自转或绕太阳公转时也是一样的。这表明，这辐射必须来自太阳系以外，甚至星系之外，否则当地球的运动使探测器指向不同方向时，噪声必须变化。

事实上，我们知道这辐射必须穿过我们可观察到的宇宙的大部分，并且由于它在不同方向都一样，至少在大尺度下，这宇宙也必须是各向同性的。现在我们知道，不管我们朝什么方向看，这噪声的变化总是非常小。这样，彭齐亚斯和威尔逊无意中非常精确地证实了弗利德曼的第一个假设。然而，由于宇宙并非在每一个方向上，而是在大尺度的平均上相同，所以微波也不可能在每一个方向上完全相同。在不同的方向之间必须有一些小变化。1992 年宇宙背景探险者，或称为 COBE，首次把它们检测到，其幅度大约为十万分之一。尽管这些变化很小，但它们非常重要。

大约同时，在附近的普林斯顿的两位美国物理学家，罗伯特·狄克和詹姆士·皮帕尔斯也对微波感兴趣。他们正在研究乔治·伽莫夫（曾为亚历山大·弗利德曼的学生）的一个见解：早期的宇宙必须是非常密集的白热的。狄克和皮帕尔斯认为，我们仍然能看到早期宇宙的白热，这是因为光是从它的非常远的部分来，刚好现在才到达我们这儿。然而，宇宙的膨胀使得这光被如此厉害地红移，以至于现在只能作为微波辐射被我们所观测。正当狄克和皮帕尔斯准备寻找这辐射时，彭齐亚斯和威尔逊听到了他们所进行的工作，并意识到，自己已经找到了它。为此，彭齐亚斯和威尔逊被授予 1978 年的诺贝尔奖（狄克和皮帕尔斯看来有点难过，更别提伽莫夫了）。

现在初看起来，关于宇宙在任何方向看起来都一样的所有证据似乎暗示，我们

在宇宙的位置有点特殊。特别是，如果我们看到所有其他的星系都远离我们而去，那似乎我们必须在宇宙的中心。然而，还存在另外的解释：从任何其他星系上看宇宙，在任何方向上也都一样。我们知道，这正是弗利德曼的第二个假设。我们没有任何科学的证据去相信或反驳这个假设。我们之所以相信它只是基于谦虚：因为如果宇宙只是在我们这儿看起来各向同性，而在宇宙的其他地方并非如此，则是非常奇异的！在弗利德曼模型中，所有的星系都直接相互离开。这种情形很像一个画上好多斑点的气球被逐渐吹胀。当气球膨胀时，任何两个斑点之间的距离加大，但是没有一个斑点可认为是膨胀的中心。并且斑点相离得越远，则它们互相离开得越快。类似地，在弗利德曼的模型中，任何两个星系互相离开的速度和它们之间的距离成正比。所以他预言，星系的红移应与离开我们的距离成正比，这正是哈勃所发现的。尽管他的模型取得了成功并预言了哈勃的观测，但是直到 1935 年，为了响应哈勃的宇宙的均匀膨胀的发现，美国物理学家哈瓦·罗伯逊和英国数学家阿瑟·瓦尔克提出了类似的模型后，弗利德曼的工作才在西方被普遍知道。

虽然弗利德曼只找到一个模型，其实满足他的两个基本假设的共有三种模型。在第一种模型（即弗利德曼找到的）中，宇宙膨胀得足够慢，以至于不同星系之间的引力使膨胀减缓，并最终使之停止。然后星系开始相互靠近，宇宙开始收缩。图 3.2 表示随时间增加两个邻近星系的距离的变化。刚开始时距离为零，接着它增长到最大值，然后又减小到零。在第二类解中，宇宙膨胀得如此之快，以至于引力虽然能使之缓慢一些，却永远不能使之停止。图 3.3 表示此模型中的邻近星系的距离随时间的变化。刚开始时距离为零，最后星系以稳恒的速度相互离开。最后，还有第三类解，宇宙的膨胀快到足以刚好避免坍缩。正如图 3.4 所示，星系的距离从零开始，然后永远增大。然而，虽然星系分开的速度永远不会变为零，但是其速度却越变越小。

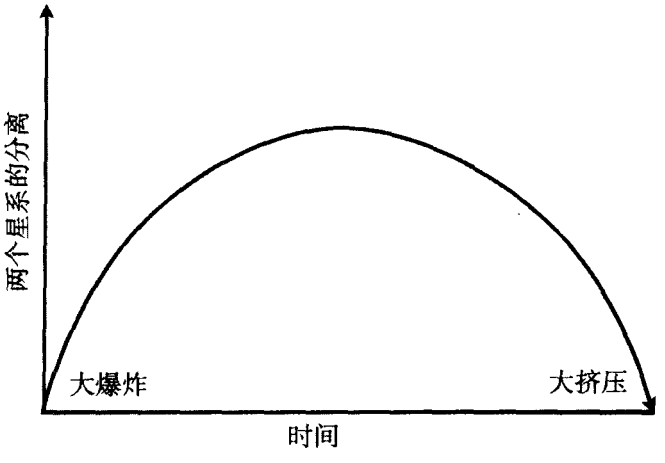


图 3.2

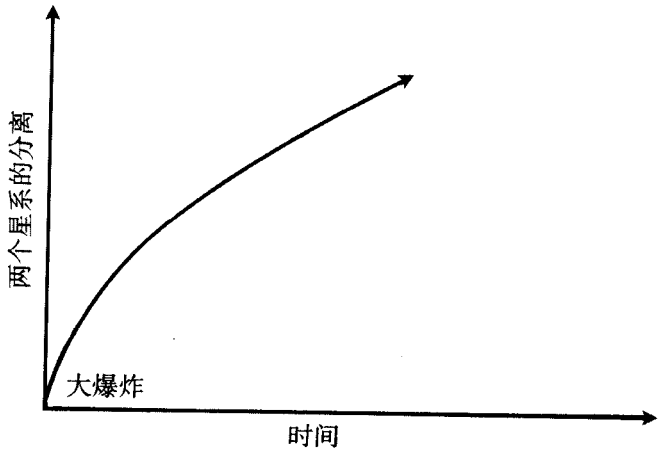


图 3.3

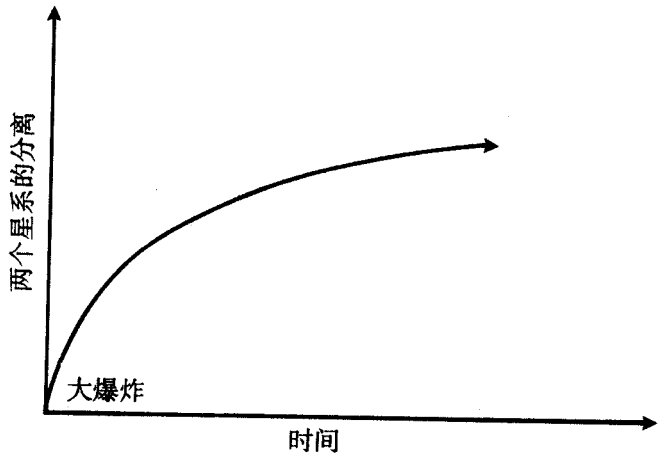


图 3.4

第一类弗利德曼模型的奇异特点是，宇宙在空间上不是无限的，并且是没有边界的。引力是如此之强，以至于空间被折弯而又绕回到自身，使之和地球的表面相当类似。如果一个人在地球的表面上沿着一定的方向不停地旅行，他将永远不会遇到一个不可超越的障碍或从边缘掉下去，而是最终走到他出发的那一点。第一类弗利德曼模型中的空间正与此非常相像，只不过地球表面是二维的，而它是三维的罢了。第四维时间的范围也是有限的，然而它像一根有两个端点或边界即开端和终端的线。以后我们会看到，当人们将广义相对论和量子力学的不确定性原理结合在一起时，就可能使空间和时间都成为有限的，但却没有任何边缘或边界。

一个人绕宇宙一周最终可回到出发点的思想是科学幻想的好题材，但实际上它并没有多大意义。因为可以指出，一个人还没来得及绕回一圈，宇宙已经坍缩到了零尺度。你必须旅行得比光还快，才能在宇宙终结之前绕回到你的出发点——

而这是不允许的!

在第一类弗利德曼模型中,宇宙膨胀后又坍缩,空间如同地球表面那样,弯曲后又折回到自己。在第二类永远膨胀的模型中,空间以另外的方式弯曲,如同一个马鞍面。所以,在这种情形下,空间是无限的。最后,在第三类刚好以临界速率膨胀的弗利德曼模型中,空间是平坦的(所以也是无限的)。

但是究竟可用何种弗利德曼模型来描述我们的宇宙呢?宇宙最终会停止膨胀并开始收缩或将永远膨胀吗?要回答这个问题,我们必须知道现在的宇宙膨胀速度和它现在的平均密度。如果密度比一个由膨胀率决定的临界值还小,则引力太弱不足以将膨胀停住;如果密度比这临界值大,则引力会在未来的某一时刻将膨胀停止并使宇宙坍缩。

利用多普勒效应,可由测量星系离开我们的速度来确定现在的宇宙膨胀速度。这可以精确地实现。然而,因为我们不是直接地测量星系的距离,所以它们的距离知道得不是非常清楚。我们所知道的只是,宇宙在每 10 亿年里膨胀 5%～10%。然而,我们对现在宇宙的平均密度测量得更不准。我们如果将银河系和其他所有能看到的星系的恒星的质量加起来,甚至是按对膨胀率的最低的估值而言,其质量总量比用以阻止膨胀的临界值的 1%还少。然而,在我们以及其他的星系里应该有大量的"暗物质",那是我们不能直接看到的,但由于它的引力对星系中恒星轨道的影响,我们知道它必定存在。况且人们发现,大多数星系是成团的。类似地,由其对星系运动的效应,我们能推断出还有更多的暗物质存在于这些成团的星系之间。将所有这些暗物质加在一起,我们仍只能获得必须用以停止膨胀的密度的 1/10。然而,我们不能排除这样的可能性,可能还有我们未能探测到的其他的物质形式几乎均匀地分布于整个宇宙,它仍可以使得宇宙的平均密度达到停止膨胀所必需的临界值。所以,现在的证据暗示,宇宙可能会无限地膨胀。但是,所有我们能真正了解的是,既然它已经膨胀了 100 亿年,即便如果宇宙还要坍缩,则至少要再过这么久才有可能。这不应使我们过度忧虑——到那时候,除非我们到太阳系以外开拓殖民地,人类早由于太阳的熄灭而死亡殆尽!

所有的弗利德曼解都具有一个特点,即在过去的某一时刻(约 100 亿到 200 亿年之前)邻近星系之间的距离为零。在这被我们称之为大爆炸的那一时刻,宇宙的密度和时空曲率都是无穷大。因为数学不能处理无穷大的数,这表明广义相对论(弗利德曼解以此为基础)的预言,在宇宙中存在一点,在该处理论自身失效。这正是数学中称为奇点的一个例子。事实上,我们所有的科学理论都是基于时空是光滑的和几乎平坦的基础上被表述的,所以它们在时空曲率为无穷大的大爆炸奇点处失败。这表明,即使在大爆炸前存在事件,人们也不可能用之去确定之后所要发生的事件,因为可预见性在大爆炸处失效了。

正是这样,与之相应的,如果我们只知道在大爆炸后发生的事件,我们也不能

确定在这之前发生的事件。就我们而言，发生于大爆炸之前的事件不能有后果，所以并不构成我们宇宙的科学模型的一部分。因此，我们应将它们从我们模型中割除掉，并宣称时间是从大爆炸开始的。

很多人不喜欢时间有个开端的观念，可能是因为它略带有神的干涉的味道。（另一方面，天主教抓住了大爆炸模型，并在 1951 年正式宣布，它和《圣经》相一致。）所以，许多人企图避免大爆炸曾经存在过的这一结论。所谓的稳态理论得到过最广泛的支持。这是由两个纳粹占领的奥地利来的难民——赫曼·邦迪和托马斯·戈尔德，以及一个战时和他们一道从事研制雷达的英国人弗里德·霍伊尔于 1948 年共同提出的。其想法是，当星系互相离开时，在它们中的间隙由正在连续产生的新物质不断地形成新的星系。因此，在空间的所有地方以及在所有的时间，宇宙看起来大致是相同的。稳态理论需要对广义相对论进行修正，使之允许物质的连续生成，但是其产生率是如此之低（大约每立方公里每年才产生一个粒子），以至于不与实验相冲突。在第一章叙述的意义上，这是一个好的科学理论：它非常简单，并作出确定的预言让观察者检验。其中一个预言是，我们在宇宙的任何时候任何地方看给定的空间体积内星系或类似物体的数目必须一样。20 世纪 50 年代晚期和 60 年代早期，由马丁·赖尔（他战时也和邦迪、戈尔德以及霍伊尔共事作雷达研究）领导的一个天文学家小组在剑桥对从外空间来的射电源进行了普查。这个小组指出，这些射电源的大部分是位于我们星系之外（它们之中的许多确实可被认证与其他星系相关），并且存在的弱源比强源多得多。他们将弱源解释为更遥远的源，强源为较近的源。结果发现，单位空间体积内普通的源在近处比远处稀少。这可能表明，我们处于宇宙的一个巨大区域的中心，在这儿的源比其他地方稀少。另外的一个解释是，宇宙在射电开始发出的过去的那一时刻具有比我们现有的更密集的源。任何一种解释都和稳态理论相矛盾。况且，1965 年彭齐亚斯和威尔逊的微波背景辐射的发现又指出，宇宙在过去必定密集得多。因此稳态理论必须被抛弃。

1963 年，两位苏联科学家欧格尼·利弗席兹和伊萨克·哈拉尼可夫做了另一个尝试，设法避免存在大爆炸并因此引起时间起点的问题。他们指出，大爆炸可能只是弗利德曼模型的特性，这个模型毕竟只是真实宇宙的近似。也许，所有大体类似实在宇宙的模型中，只有弗利德曼模型包含大爆炸奇点。在弗利德曼模型中，所有星系都是直接互相离开——所以一点不奇怪，在过去的某一时刻它们必须在同一处。然而，在实际的宇宙中，星系不仅仅是直接互相离开——它还有一些斜向速度。所以，在实际上它们从来没在同一处过，只不过非常靠近而已。也许，现在膨胀着的宇宙不是大爆炸奇点的结果，而是从早期的收缩相而来的；当宇宙坍缩时，其中的粒子可以不都碰撞，而是互相离得很近飞过然后又离开，产生了现在的宇宙膨胀。何以得知这实际的宇宙是否从大爆炸开始的呢？利弗席兹和哈拉尼可夫研

究的模型大体和弗利德曼模型相像，但是考虑了实际宇宙中的星系的不规则性和杂乱速度，他们指出，即使星系不再总是直接互相离开，这样的模型也可从一个大爆炸开始。但是他们宣称，这只可能发生在一定的例外的模型中，星系在这儿以正确的方式运动。他们论证道，似乎没有大爆炸奇点的类弗利德曼模型比有此奇点的模型多无限多倍，所以我们的结论应该是，实际中没有过大爆炸。然而，他们后来意识到，存在更为广泛的具有奇性的类弗利德曼模型，星系在那儿并不需要以任何特别的方式运动。所以，1970 年他们收回了自己的宣布。

利弗席兹和哈拉尼可夫的工作是有价值的。因为它显示了，如果广义相对论是正确的，宇宙可以有过奇点，一个大爆炸。然而，它没有解决关键的问题：广义相对论是否预言我们的宇宙必须有过大爆炸或时间的开端？对于这个问题，英国数学家兼物理学家罗杰·彭罗斯在 1965 年以完全不同的手段给出了回答。利用广义相对论中光锥行为的方式以及引力总是吸引这一事实，他指出，坍缩的恒星在自己的引力作用下被陷入到一个区域之中，其表面最终缩小到零。并且由于这区域的表面缩小到零，它的体积也应如此。恒星中的所有物质将被压缩到一个零体积的区域里，所以物质的密度和时空的曲率变成无限大。换言之，人们得到了一个奇点，它被包含在叫做黑洞的时空的一个区域中。

初看起来，彭罗斯的结果只适用于恒星，它并没有涉及任何关于整个宇宙的过去是否有个大爆炸奇点的问题。然而，正当彭罗斯在创造他的定理之时，我（作者霍金——编者注）是一个正在尽力寻求一个问题可用之完成博士论文的研究生。两年之前我即被诊断得了 ALS 病，通常又被称为卢伽雷病或运动神经细胞病，并且得知只有一两年可活了。在这种情况下，看来没有多大必要攻读博士学位了——我预料不能活那么久。然而两年过去了，我没有糟到那种程度。事实上，我的事情还进行得相当好，还和一个非常好的姑娘简·瓦尔德订婚了。但是为了结婚，我需要一个工作；为了得到工作，我需要一个博士学位。

1965 年，我读到彭罗斯关于任何物体受到引力坍缩必须最终形成一个奇点的定理。我很快意识到，如果人们将彭罗斯定理中的时间方向颠倒以使坍缩变成膨胀，假定现在宇宙在大尺度上大体类似弗利德曼模型，这定理的条件仍然成立。彭罗斯定理指出，任何坍缩必须终结于一个奇点；其时间颠倒的论断则是，任何类弗利德曼膨胀模型必须从一个奇点开始。为了技巧上的原因，彭罗斯定理需要以宇宙在空间上是无限的为条件。所以事实上，我能用它来证明，只有当宇宙膨胀得快到足以避免重新坍缩时（因为只有那些弗利德曼模型才是空间无限的），必须存在一个奇点。

以后的几年中，我发展了新的数学技巧，从证明奇性必须发生的定理中除去了这个和其他技术上的条件。最后的结果是 1970 年彭罗斯和我的合作论文。那篇论文最后证明了，假定广义相对论是正确的，宇宙包含着我们观测到的这么多物

质，则过去必须有一大爆炸奇点。我们的工作遭到许许多多的反对，部分来自苏联人，由于他们对马克思主义科学的信仰；另一部分来自某些人，他们不喜欢整个奇点的观念，并认为这糟蹋了爱因斯坦理论的完美。然而，人实在不能辩赢数学定理。所以最终我们的工作被广泛接受，现在几乎每个人都假定宇宙是从一个大爆炸奇点开始的。颇具讽刺意味的是，现在我改变了想法，试图去说服其他物理学家，事实上在宇宙的开端并没有奇点——正如我们将看到的，只要考虑了量子效应，奇性则会消失。

在不到半个世纪的时间里，人们几千年来形成的关于宇宙的观点被改变了。哈勃关于宇宙膨胀的发现，并意识到我们的行星在茫茫的宇宙中的微不足道，只不过是起点而已。随着实验和理论证据的积累，人们越来越清楚地认识到，宇宙在时间上必须有个开端。直到 1970 年，在爱因斯坦的广义相对论的基础上，这才被彭罗斯和我所证明。这个证明显示，广义相对论只是一个不完全的理论，它不能告诉我们宇宙是如何开始的。因为它预言，所有包括它自己在内的物理理论都在宇宙的开端失效。然而，广义相对论宣称自己只是一个部分理论，所以奇点定理真正所显示的是，在极早期宇宙中有过一个时刻，那时宇宙是如此之小，以至于人们不能再不理 20 世纪另一个伟大的部分理论——量子力学的小尺度效应。20 世纪 70 年代初期，我们被迫从对极其巨大范围的理论研究转到对极其微小范围的理论研究。

作者简介：史蒂芬·霍金(Stephen W. Hawking，1942－)，剑桥大学卢卡斯数学教席教授(这个席位曾经由牛顿、狄拉克所占据)，当代最重要的理论物理学家和宇宙学家之一。由于证明了著名的奇性定理，与彭罗斯共同获得了 1988 年的沃尔夫物理奖。他的《时间简史》创造了科普著作的发行奇迹。

文献来源：霍金《时间简史》，许明贤、吴忠超译，湖南科学技术出版社 2001 年版，第三章(第 35－51 页)。沿袭原有标题。

宇宙的结局

温格伯

宇宙肯定还会继续膨胀一段时间，至于它以后的命运，标准模型给出了两种可能性，这取决于宇宙密度是大于还是小于某一临界密度。

我们看到，如果密度小于临界密度，宇宙就是无限的，而且将永远地膨胀下去。到那时如果我们还有后裔的话，他们会看到在所有恒星里热核反应逐渐熄灭，只留下各种各样的余烬：黑矮星、中子星或许还有黑洞。行星仍然在它的轨道上运行，虽然由于它们辐射引力波，它们的运行会稍微减慢了一点，但是在任何有限的时间里永远不会休止，宇宙辐射和中微子背景的温度将继续反比于宇宙大小而下降，不过永远不会消失；虽说现在我们只刚刚能探测出 3°K 的微波辐射背景。

但是，如果宇宙密度大于临界值的话，那么宇宙是有限的，膨胀终将停止，并且跟着转为逐渐加速的收缩。如果宇宙密度是临界值的两倍，而且现在的哈勃常数公认值（每秒每百万光年 15 公里）是正确的话，那么现在宇宙的年龄是 100 亿年，它还会继续膨胀 500 亿年，然后便开始逐渐加速地收缩，收缩就恰好是膨胀的逆过程：500 亿年以后宇宙又重新回复到它现在的大小，然后再过 100 亿年，它又回到了一个无限密集的奇异状态。

至少在收缩阶段开始的一部分时间里，天文学家（如果还有的话）能够饶有兴味地同时看到红移和蓝移。因为从附近星系发射的光到达我们这里时，光发射时的宇宙大于接收它时的宇宙。因此，我们会看到谱线向光谱的短波方向移动，就是向蓝端移动；而从极其遥远的天体到我们这里的光就会是宇宙还处于膨胀初期时发射的，那时宇宙甚至比我们观察到这些光线时还要小，所以观测到的谱线会向光谱的长波端（即红端）移动。

当宇宙膨胀然后又收缩时，宇宙的光子和中微子背景的温度会下降然后又上升，总是与宇宙的大小成反比。如果宇宙密度是临界值的两倍，那么我们的计算表明，它膨胀到最大时的大小刚好是现在的两倍，因此微波辐射背景也刚好是它现在

的值3°K的一半，即约1.5°K；这时，由于宇宙开始收缩，它的温度又重新升高。

宇宙最初开始收缩时，可能没有什么特殊现象出现，因为在这前后的数十亿年里，辐射背景是如此之冷，不作巨大努力是难以探测到它们的。然而，当宇宙收缩到只有它现在大小的百分之一时，辐射背景开始支配整个天空：夜空变得和现在的白天一样暖(300°K)。再过70亿年，宇宙又缩小了十倍，我们的后裔(如果还有的话)这时将会看到天空异常地亮，行星和恒星的大气层和星际气体的分子开始分解为组成它们的原子，而原子又破裂为电子和原子核。又再过70万年，宇宙温度达到了1000万度，于是不论是行星抑或是恒星都解体为辐射、电子和原子核组成的宇宙汤。然后，又过22天之后，温度更升至100亿度。原子核将破裂为组成它们的质子和中子，完全摧毁了恒星和宇宙中核合成过程所完成的工作。再过一会儿，电子和正电子开始从光子与光子的碰撞里大量地产生，而中微子和反中微子背景又重新参与到宇宙其他物质的热平衡里去。

这个不幸的事情会不会一直进行到底，一直进行到温度和密度都为无限大的状态呢？在温度达到十亿度以后再过三分钟，时间是否真的停止呢？很明显，我们是不知道的。因为在探索最初的百分之一秒时所遇到的所有不能肯定的问题，在我们试图探索最后的百分之一秒时又都回来纠缠不休了。尤其是，在温度高于一亿亿亿亿度(10^{32}°K)时，我们必须用量子力学的语言去描写整个宇宙，而还没有人对那时会发生些什么有任何见解。再说，如果宇宙并不真正是均匀的和各向同性的话，那么，在我们必须面对量子宇宙学之前，我们的故事早就已经是不真实的了。

一些宇宙学家从这些不确定性中看出了一种希望。他们认为，宇宙可能将遭遇到某种宇宙"反弹"而又重新膨胀。在《埃达》里，神和巨人在拉格诺拉克决战之后，大地被火和水摧毁了。洪水退却以后，多尔的儿子们拿着他们父亲的锤子从地狱里走了出来，整个世界又重新开始了。不过，如果宇宙重新膨胀，它的膨胀必然逐渐减慢、停止，跟着是另一次收缩到宇宙的拉格诺拉克和另一次"反弹"，就是这样地永远反复下去。

如果这是我们的未来，那么这也应该是我们的过去。现在宇宙的膨胀只不过是跟在上一次收缩和反弹之后的一个阶段而已。(迪克、皮伯斯、罗尔和威金森在1965年关于宇宙微波辐射背景的论文里，认为此前有一个完整的宇宙膨胀收缩阶段。他们认为，宇宙必然曾收缩到足以使温度提高到至少100亿度，才能把前一阶段形成的重元素破碎。)再进一步回溯，我们可以想像出一个永无休止的膨胀与收缩的循环，一直伸展到无穷无尽的过去，没有任何开端。

某些宇宙学者根据哲学而非常喜爱这个振荡模型，特别是因为这个模型就像稳恒态模型一样巧妙地回避了"创世纪"的问题。然而，它面临一个严重的理论困难。当宇宙膨胀和收缩时，每一个循环都由于一种称为"体积黏性"的摩擦力而稍微地使光子数与核子数的比值(更精确地说，是每个核子的熵)增加一些。就我们

所知，宇宙每开始一个新的循环时，新的光子—核子比值将会稍微大一点。现在的这个比值无疑是巨大的，但却不是无限的。所以，很难同意宇宙在此之前曾经经历了无限多次循环！

不管所有这些问题可能如何得到解决，也不论哪一个宇宙模型被证明为正确的，我们都不会从中得到什么慰藉。人类总是不可抗拒地认为，我们和宇宙有某种特殊的关系，认为人类的生命不应该是追溯到最初三分钟的一连串偶然事件的多少带有笑剧性质的产物，而是从宇宙的开始就以某种方式存在了。我写到这些话时，正好在从旧金山至波士顿的回家途中飞越俄明上空。大地在下面看起来柔软而舒适，浮云处处，公路纵横，夕阳西下，积雪泛红。很难理解这只不过是一个充满敌意的宇宙中的一小部分，更无法想像到现在的宇宙是从一个难以言传的陌生的早期状态演化而来，而又面临着无限冰冷的，或者是炽热难耐的末日。宇宙愈可理解，也就愈索然无味。

即使我们探索的结果是无情的，不过最低限度可以从探索本身得到一些慰藉。人们是不会满足于神和巨人的故事的，也不会把他们的思想囿于日常生活的琐事里；他们制造了望远镜、加速器和人造卫星，并且坐在书桌前着迷地推敲他们得到的数据的意义。了解宇宙的努力是那些为数甚少的事情之一，这些事情使人类的生命从笑剧的水平提高一点，而赋予它一些悲剧的韵味。

作者简介略。

文献来源：温伯格《最初三分钟》，冼鼎钧译，冼鼎昌校，科学出版社 1981 年版，第八章（第 117—120 页）。标题为编者所加。

宇宙的耗散

爱丁顿

近代的物理世界观并非全由最近25年间出现的概念组成；这里要谈的一组观念就要追溯到19世纪，而且自玻耳兹曼以来，未发生过本质的更改。这些观念在现实中起了很大的作用而且有了发展。在现阶段这个问题之所以被人关注，是因为它与时间问题中的较深层次有关系，而且它在物理学理论中又极其基本，任何全面的研究都迟早要面对它而无法回避。

如果将一副新买的纸牌洗上几分钟，原有的系统排列的一切痕迹将全部消失。无论再洗多长时间，永远不会再出现原来的顺序。这是一旦做过就无法还原的事，称作向一种排列中引进随机成分。

比喻即使不完善仍会有用，所以我有意略过了会影响比喻的、但不至于影响应用的两点。首先，说纸牌一洗就无法复原是不对的。你只要愿意就能把一副乱牌整理成原来的顺序。但是在考虑发生于物理世界中的洗牌活动时，却不必考虑像你这样的故意的行为。我还不打算说，人类的头脑被我们将要得出的结论限制到何种程度。这样，我在讲洗牌时不考虑你，至少不考虑你把牌理好的这种思想的行为结果。这里所说的让人洗牌，乃是指无所用心的动作。

其次，说原来的顺序永远不再回复，也不对。只要接连不断地洗下去，总会有那么一种微乎其微的机会，到某一天洗出与原来顺序一样的一副牌。这是因为一副牌的张数比较而言并不大。在实际应用中，“牌”的张数极大，就可以不考虑这种可能性。

我们还将把上述命题进一步陈述为：

只要是发生了什么不能复原的事，总可以归结为一个随机成分的引进所造成的后果，类似于洗牌那样。

洗牌是大自然中无法复原的惟一的一类事。

当古老的童谣中唱的 Humpty Dumpty(不可修复的泥偶)重重地摔下来后——

国王的所有骑兵和侍从
都不再能将泥偶修复

这也是件无法复原的事。但摔下是可以复原的,而且也不必劳驾国王的骑兵和侍从,只要在下面垫一块具有完全弹性的垫子就够了。泥偶人摔到底时获得了动能,只要方向掌握得适当,弹性垫就足以将它弹回原处。但是,完全弹性垫是没有的,于是当泥偶人摔到底时就发生了一个不可复原的事件,人们称作,给泥偶人引进了一个随机成分。

但是我们凭什么假设说洗牌是不可复原的惟一的一类过程呢?

移动的手指写了又写,
从不停息,祈求也好,谋略也罢,
都无法让它退回去,抹掉半行。

如果没有洗牌式的搅和,移动的手指是否会停下来呢?物理学会毫不迟疑地回答:是。要判断这个问题,我们必须考察大自然中不致增添随机成分的操作。它们可归为两类。首先,我们可以研究一类自然规律,它们只管单一个体的行为。显然,在这样的问题中不可能发生洗牌式的搅和;从一副牌里挑出一张黑桃 K,就无法洗一张牌。其次,我们可以研究已经洗得相当彻底、再也不能增加随机成分的群体内所发生的自然过程。如果我们的论点正确,在这两种情况下发生的每一件事都可以复原。这里先考虑第一种情况。

一个物体若能看成为单一的个体,这个物体发生的任何变化均可恢复。有关的自然定律既承认变化的发生,也同样容易承认变化的复原。地球在轨道上的运行服从运动和引力定律;这些定律既承认地球实际在进行的运动,但也承认正好反向的运动。在同一个力场中,地球也可以倒过来走,事情全看开头的第一步。有人可能会反驳说,我们无权把开头第一步作为无关紧要的部分而忽略它;它极有可能与支配后来运动的规律一起,全是自然总框架的一部分。确实,天文学家自有一套说明八大行星为什么一开始同向绕日运行的理论。但这已经是八大行星的而不是地球单一个体的问题了——是一副牌而不是一张牌的事了。只要地球的运动是作为独立的问题来对待,就不会有人会想到要在自然的规律中增添一个条款:地球必须按这一方向而不是沿相反方向运行。

在电磁场中也存在类似的运动可逆性。还可从原子物理学中找到另一个例子。量子定律既承认一定数量及种类的光会从一个原子中释放出来，也承认同样数量与种类的光会被吸收，即释放的复原。遗憾的是，可举的例子实在贫乏。请记住，一个物体的许多性质，例如其温度，是把物体看成是由大量的可分开的原子组成的集合体的结果。这样一来，支配温度的定律就不能被当成支配单个物体之行为的定律来看待了。

对支配单个物体的定律，结合着时间考虑，可更清楚地看到它们共有的性质。反映从过去到未来诸状态的某个序列，总是一个事件发生、发展；而从未来到过去的同一序列，则是事物复原——因为在后一情况是把整个序列倒转，按习惯的观点就成了从未来到过去。所以，如果自然的定律对事件是在发生、发展还是在复原都不加区分，它们对时间是指向过去还是未来也必定不加区分。这是它们共有的特点，在将定律像常见的那样以数学公式表达时就可马上看清。在这种公式里过去与未来之间的区别也无异于左与右之间的区别。在代数符号里，左是$-x$，右是$+x$；另一方面，过去是$-t$，而未来是$+t$。自然定律中规范非合成性单体之行为的定律，或许可称之为基本定律，它们全都符合这一点。只有热力学第二定律这个自然定律，认为过去与未来的区别要比正与负的差异更深刻。这个定律凌驾于所有其他定律之上。但是它在任何个体单独的行为方面并无应用，在下文中还将看到，它的对象是群体中的随机成分。

不管对基本的物理定律持何种态度，日常的经验总认为，过去和未来之间的区别，明显地不同于左与右之间的区别。H. G. 韦尔斯在《普拉特的故事》中讲到过一个闯进四维空间去的人，当这个人回来时竟然全身的左与右全换了位置。但是，对这个故事来说，左右互换并不是主旨，那不过是使这次奇遇显得逼真的细节性证据。左与右互换实在太微不足道，即使是想像力丰富得像韦尔斯的作家，也编不出更多的情节。但假如那个返回人世的人颠倒了过去与未来，那么情况就会生动得多。在韦尔斯的《时间机器》以及刘易斯·卡罗尔的《西尔维与布鲁诺》中，我们都可领略到时间倒流之后会发生的种种荒谬。如果空间“看上去是透明”的，这个世界仍然可以理喻；但如果时间也成为透明的，这一观念内涵的荒谬性就会把整个世界舞台搅成不可理喻的荒诞。

我们逐个地考虑每一个基本的物理定律，结果全都表示，它们完全不在乎你如何考虑时间的流向，正好像它们也不在乎你到底从左向右还是从右向左去看世界一样。这一点，对古典的定律，对相对论，甚至对量子定律全都成立。这不是一个偶然的特点；这些定律所归属的概念系统本来就含有可逆性。所以说，这个世界到底合不合“常理”，并不是这些定律管得了的。要使这个世界合情理，就得求助于一个拔类超群的定律——热力学第二定律。它开辟了一个新的知识领域，称作对组织程度的研究；而正是与组织程度的研究相关联，时间流的方向以及发生发展与复

原之间的区别，才第一次成为引人瞩目的对象。

时间的箭头 时间的最大特点是一去不复返。但时间的这一性质却似乎被物理学家所忽略。在(前面)介绍过的四维世界里，过去和未来的事件，像摊在一张地图上那样在我们面前展现。事件在四维世界里由它们固有的空间与时间关系决定，但仍然看不出它们办理过什么"发生的手续"，至于事件是在发生发展还是在倒退回去复原的问题，也无从提出。我们在地图上看到的是从过去到未来，或从未来到过去的路线，但路线上却没有"单行道"的标志。明可夫斯基用一套几何概念组成了四维世界，为了使它能完全描绘我们所知道的世界，还必须在其中先增添一些东西。我们可求助意识来充实这个整体——这样就可把存在(existence)变为发生(happening)，把有(being)变为形成(becoming)。但是我们必须首先注意到，正如我们所看到的那样，为了描述基本的自然定律，原来的四维世界图景是完全适宜的，因为这些定律认为时间的方向性无关紧要。有时候有人因为相对论的四维世界图景似乎忽略了时间的方向特性而加以指责。这样的异议其实不合逻辑，因为相对论在这一方面丝毫也不比它以前的理论好或差。经典物理学家一向坦然无憾地运用不区分时间方向的定律体系；假如新的图景真的如此耀眼地揭示了时间的方向性，他反而要大为震惊了。

研究组织程度的变化，就有可能在四维的地图上发现时间的方向，而无须再向意识提出任何带有神秘色彩的乞求。先任意地画一个箭头。如果顺着这个箭头，我们在世界中发现了越来越多的随机成分，则这个箭头是指向未来的。如果随机成分在减少，则箭头指向过去。这是物理学所知道的惟一区别。只要我们的基本观点，亦即随机性的引进是惟一无法复原的事情的观点得到承认，马上就可以有上述的结论。

时间的单行道性质，我将用"时间的箭头"这个词来表达，在空间中却没有可与之比拟的东西。从哲学的观点，这是独一无二的有趣性质。必须注意到：

(1) 这是由意识生动地认识到的。

(2)这也是我们的思维能力所赞同的，理性告诉我们，若将箭头倒转，就会使外部世界变得荒谬绝伦。

(3)在物理学中，时间的箭头仅仅在研究由许多个体组成的组织时才会出现。此时，时间的箭头指向随机成分不断增加的方向。

下面我们再详细考虑，随机成分是如何将不可逆转性引进世界的。当石头坠落时，它获得了动能，而动能的大小适当足以让石头回到原来的高度。只要安排得当，就可令这点动能完成这项任务。例如，假如石头是系在一根弹簧上，石头就能像摆似的上下振动；但如果石头击中了一个障碍物，它的动能就会转化为热能。仍然有同样数量的能存在，然而即使我们可以将这些能凑集在一起，用它发动引擎，但已经不复能将石块举到原来的高度。究竟发生了什么，使得能量不再提供服务

了呢?

从微观的角度去观察下坠的石块,我们看到的是,数目多得数不清的分子正以平行且相等的速度向下运动——这是与一个团队齐步前进一样的有组织的运动。这里必须注意两件事:能以及能的组织程度。要回到原来的高度,这块石头必须同时保持住这两者。

在石块落到有足够弹性的表面上时,运动可以倒转方向而且不破坏组织的程度。每个分子都向后转而整个集团仍保持着开始时的良好秩序:

功勋卓著的约克公爵
　　率领着他的两千名勇士,
队列整齐地行军到山顶
　　又齐刷刷地回到山下。

然而真实的历史并非如此。在发生冲突时通常总是所有分子都受到或多或少的碰撞并弹向各个方向。它们不再向着任何同一方向前进,它们丧失了组织性。在这以后,它们继续互相碰撞并不断改变各自的方向,却再也不会找到一个共同的目标。原有组织程度无法靠连续不断的反复洗牌来恢复。因此,尽管从数量上说,能还是足够的(不考虑不可避免的泄漏,可假定已得报偿),这些能量已不再能将石块举回原处。要使石块复位,我们必须提供外源的、其组织程度符合要求的能。

可惜,这里出现了一种无法用洗牌比拟的情况。任何人(除去魔术师)都不可能将两副各洗到一半程度的牌投进一顶帽子,然后从中分别得到一副完全如原来顺序,而另一副已完全洗透了的牌。但是我们却可以将部分无组织的能放进蒸汽机,然后从中得到一部分是完全有组织的能,它们可以使大质量的物体进行运动,另一部分则是更差的无组织热能。能的组织是可转移的,它的无组织或随机成分也是可转移的。无组织并不像附骨之疽,沾上了所遇到的第一批能量就永不离去,而是可以传递给其他对象。我们还不能在此详谈能的搅和与物的搅和之间为什么会有不同;但是因为有这一差异,在利用洗牌的比拟时,需要加倍小心。在涉及热能时,温度就是它组织程度的量度;温度越低,越是无组织。

巧合　存在着偶然的巧合,这是说,机会有时会愚弄人,制造出一些看来非常不像机会的情况。特别是,机会有可能模仿组织性,而我们却正是将组织性看成是机会的对立面,或者使用前面习惯了的称呼,将组织性看成是"随机成分"的对立面。不过,这种威胁对我们的结论还不至于十分严重。在数字中存在着安全性。

假设一个容器被分隔为二,一半充满空气,而另一半却是真空。将隔板撤走。在这一瞬间,所有的空气分子还全都在容器的一侧,但眨眼间空气就散布于整个容器,而且这以后永远维持这样的状态。空气分子将不会回到容器的同一侧去,扩散

是无法复原的——除非在该问题中又引进其他事物，为无组织充当替罪羊并移去随机成分。这一事物可以作为区分过去与未来时间的标准。如果你先观察到的是空气分子散漫于整个容器，然后在(你认为是)一个瞬间之后，空气分子又全在半个容器之内——那么，你的意识是倒转的，最好找位医生请教请教！

每个空气分子都在整个容器内游荡而且并不偏爱任何一侧。平均而言，每个分子留在容器这一侧的时间与留在那一侧的时间相等。在某个瞬间所有分子碰巧全部跑到半个容器内去的微小可能性也是存在的。不难计算出，如果分子的个数是 n(这个数大约等于 10^{24})，上述事件发生的机会就是$(1/2)^n$。再举一个比较古典的例子，说明我们为什么可以忽略这样的机会。如果我信手在打字机的键盘上乱弹，会有可能东拼西凑出一个说得过去的句子。如果让大批大批的猴子在打字机上乱蹦乱跳，也有可能写出不列颠博物馆里的所有藏书。猴子们做出这个事件的机会，也要比所有分子都回到半个容器里去的机会大得多。

当数目庞大时，机会是确定性最好的保证。幸运的是，我们在研究大量的分子、能量以及射线时，都必须面对庞大的总体。正因如此，我们所得到的肯定程度也是那些向无常女神祈求福佑的人所无法企及的。

容器内的分子全回到半个容器内的机会，小得根本用不着考虑。但这只是一个方面。在科学中我们却又要经常想到它，因为它就是无意间抽走隔板，所造成的不可复原之损失的量度，即使我们有充分的理由，要让气体充斥于整个容器，也不应该无所用心地浪费掉现有的组织性，我们在前面已经讲过，这种组织性是可以转移的，可以传递到需用它的地方去。[①] 在空气被释放出来并假设在容器内自左向右扩散时，随机成分并不马上增加。为了自左向右扩张，分子自左向右的速度必须占上风，换言之，这一运动是部分地有组织的。位置方面的组织性被运动的组织性所取代。转瞬之后，分子撞击到对侧的容器壁，于是随机成分才开始增加。不过，在遭到破坏这一瞬之前，分子速度自左向右的组织性，与空间方面丧失的组织性，在数值上是恰好相当的。这样讲的意思是说：因为偶然事件，在让自左向右的速度占优势的机会，与使气体分子不聚集在半个容器内的机会是相等的。

此处提到的逆向机会是一个极反常的数，(如果写成十进位数)它可以填满全世界所有书籍的许多倍，还绰绰有余。我们对它感兴趣，不是因为它代表现实的可能性，而是因为它有确定的数值这一事实。它将“组织性”一词从空泛的示性描述提高为确切科学中可计量的量。我们面前的组织性有许多种类。一个军团整齐划一的行军并不是惟一的有组织运动的形式；一台有组织的合唱演出，在自然界的类比物就在声波之中。所以，对任何形式的组织性可采用共同的度量。组织性的任何丧失全可一视同仁地用反对其只凭巧合复原的机会来量度。这种机会当作一种

① 如果扩张的气体移动了活塞，气体中的组织性就传递给了活塞的运动。

可能性是荒谬的，但作为量度则是精确的。

在宇宙间只能增加而决不会减少的随机成分的实际量度称作熵。用熵来计量与上一段中解释的用机会来计量是一回事，不同之处只不过是采用了更便于计算的单位，从而能够用一个简单的公式把原来难以驾驭的庞大数字计算出来罢了。熵是不断增长的。将一部分世界隔离开，并假设一些相当理想的条件，我们可以使熵的增长停顿，但决不可能倒过来使它下降。熵下降意味着发生了不可能的巧合，而这要比违背一个普通的自然定律更坏。照我看来，熵总是增长的定律——热力学第二定律——在自然定律中占有至高无上的地位。如果有人向你指出，你所宠爱的宇宙理论与麦克斯韦方程不一致，这有可能是麦克斯韦方程里有毛病。如果是说它与某人的观察相矛盾呢？那也有可能是实验人员把事情弄颠倒了。但假如发现你的理论违背了热力学第二定律，我就无法再给你什么指望；除去心甘情愿地认错，再无其他可能。将第二定律举得如此之高，是有道理的。其他许多定律我们也深信不疑，并且觉得事物会与它们背道而驰的假设是高度不可能的。但是这种不可能性只是空泛的，并未表现为一组令人目眩的数字。相比之下，违背第二定律（亦即随机成分减少了）的机会，却可以用具有压倒优势的数字来陈述。

我希望我已经把熵这个概念在科学研究中的惊人权威性说清楚了。从熵必然总在增加这一性质出发，已经找到了计量它的实际方法。由这个简单的定律推演出来的命题几乎无穷无尽；而且无论有关的是理论物理中最高深的问题，还是工程中的实际任务，都取得了同样的成功。它专有的特点是它的结论与正在进行的微观过程的性质无关。它与单个个体的性质无涉。在它里面，个体只不过是群体的组成部分。所以它的方法可应用于我们原来还差不多无知的领域，而且也毫不犹豫地将它应用于量子论中的问题，尽管单个量子过程的机制还属未知而且在当前还是难以想像的。

作者简介：阿瑟·斯坦莱·爱丁顿（Athur Stanley Eddington，1882－1944），英国天文学家和物理学家，在恒星的进化理论方面有重要贡献，由他领导的日全食观测为广义相对论提供了重要的经验证据。有关情况还可参看本书的 14 节钱德拉塞卡的文章。

文献来源：罗伯特·哈钦斯、莫蒂默·艾德勒主编《西方名著入门·自然科学》，商务印书馆 1995 年版，爱丁顿的《宇宙的耗散》（第 627－645 页）一文由侯文超译，陈尚霖校。沿袭原有标题。

奇妙的量子世界

保罗·戴维斯

什么是量子理论?

“量子”一词意指“一个量”或“一个离散的量”。在日常生活范围里,我们已经习惯于这样的概念,即:一个物体的性质,如它的大小、重量、颜色、温度、表面积以及运动,全都可以从一物体到另一物体以连续的方式变化着。例如,在各种形状、大小与颜色的苹果之间并无显著的等级。

然而,在原子范围内,事情是极不相同的。原子粒子的性质,如它们的运动、能量和自旋,并不总是显示出类似的连续变化,而是可以相差一些离散的量。经典牛顿力学的一个假设是:物质的性质是可以连续变化的。当物理学家们发现这个观念在原子范围内失效时,他们不得不设计一种全新的力学体系——量子力学,以说明标志物质的原子特征的团粒性。这样,量子理论就是导出量子力学的基础理论。

考虑到经典力学在描述所有物体(从弹子台球到恒星与行星)的动力学方面的成就,它在原子范围内被新的力学体系所取代,被视为一种革命性转变,是不足为奇的。不过没多久,通过对只有用量子理论才能理解的广泛现象的论证,物理学家们证实了这个理论的价值。这类现象如此之多,以至于今天量子理论常常被誉为一种前所未有的最有成效的科学理论。

起源

由于德国物理学家普朗克(Max Plank)发表的一篇论文,量子理论在1900年蹒跚地起步了。当时普朗克正从事于研究19世纪物理学悬而未决的一个问题,即关于热物体的辐射热能在各波长上的分布问题。在某些理想条件下,此能量是按某种特定方式分布的。普朗克证明:只有假设物体以离散包或离散方式发射电磁

辐射，才能对这些特定方式作出说明。他称这种离散包或离散束为量子。当时不知道为何有这种不连续性，只是特设地被迫接受而已。

1905 年，量子假说受到爱因斯坦的支持，他成功地说明了所谓光电效应。在这种效应中，他观察从金属表面置换出电子的光能量。为了说明这种具体方式，爱因斯坦被迫将光束看成是后来称为光子的离散的粒子流。光的这种描述似乎完全跟传统的观点相冲突。按照传统的观点，光（与所有的电磁波一样）由连续的电磁波组成，它们依据著名的麦克斯韦电磁理论传播，而这个理论在半个世纪以前就牢固建立起来了。光的波动性早在 1801 年就被托马斯·杨（Tomas Young）用其著名的“双缝”装置从实验上予以证实。

然而，波—粒二象性并不局限于光。当时，物理学家们也关注原子的结构。尤其是，他们为电子围绕一个核运动却又不发射辐射所困惑。因为从麦克斯韦电磁理论知道，沿弯曲路径运动的粒子定会辐射电磁能的，如果此辐射是连续的，那么原子的轨道电子就会迅速损失能量而螺旋式地落进核内（见图 1）。

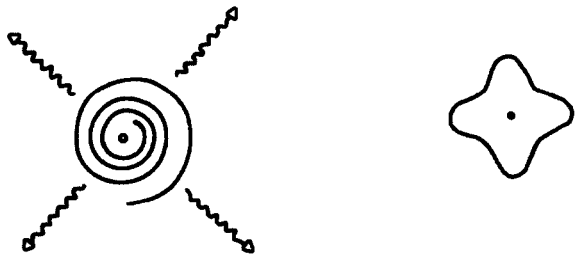


图 1　经典原子的坍缩　(a)牛顿和麦克斯韦预言，一个原子的轨道电子会稳定地辐射电磁波，因而会损失能量并螺旋式进入核。　(b)量子理论预言存在着离散的不辐射的能级，在这种能级中，与电子相关联的、正好“适于”绕核运动的波形成了驻波图样（这波必定在径向也是“合适的”），这使人想起一种乐器上的各种曲调。

1913 年尼·玻尔提出：原子的电子也是“量子化”的，即量子化的电子可以处于某些固定的能级上而不损失能量。当电子在能级间跳跃时，电磁能以分离的量被释放或吸收。事实上，这些能量包就是光子。

可是，电子以这种不连续方式运动的原因，当时并没有揭示出来，直到后来发现了物质的波动性质才知道其所以然。

克林顿·戴维孙及其他人的实验工作以及路易斯·德布洛衣的理论工作导致这样一种概念，即：电子与光子一样既可按波行事，又可按粒子行事，究竟如何则取决于具体的环境。按照波动模式，玻尔提出的原子能级对应于围绕着核的驻波模

式，极其类似于一个腔，这个腔可以使它对不同的分离乐曲产生共鸣，电子波也可以按一些确定能量的模式振动着。仅当此模式变更时（这对应于从一个能级向另一能级的一次跃迁），才有一个电磁扰动随其发生，即伴随着辐射的发射或吸收。

不久，人们就明白了：不仅电子，而且所有的亚原子粒子都具有类似的似波性，显然，由牛顿表述的传统力学定律，以及麦克斯韦电磁定律，在原子及亚原子粒子的微观世界中完全失效了。为了说明这种波一粒二象性，到 20 世纪 20 年代中期，一个新的力学体系——量子力学——由埃尔温·薛定谔和维尔纳·海森伯独立地发展起来了。

新理论成效壮观，它很快地帮助科学家们说明了原子结构、放射性、化学键以及原子光谱的细节（包括种种电磁效应）。这个理论经过泡尔·狄拉克、恩里科·费米、马克思·玻恩，以及其他一些人的精细加工，最终导致对于核结构与核反应、固体的电性质与热学性质、超导性、物质的基本粒子的产生与湮灭、反物质存在的预言、某些坍缩恒星的稳定性，以及更多的未列举事例，作出了令人满意的说明。量子力学也促成了包括电子显微镜、激光器和晶体管在内的实际硬件尽可能大的发展。极端灵敏的原子实验已经以令人惊讶的精确度证实了存在着微妙的量子效应。50 年来，未发现任何实验否定量子力学的预言。

这一系列巨大成就，使量子力学被遴选为一个真正值得注意的理论——以科学上史无前例的精细程度正确地描述着世界的理论。当今大多数职业物理学家，如果不是几乎不假思索地，就是完全信赖地应用着量子力学。然而，这个富丽堂皇的理论大厦却是建立在一种深刻的与不稳定的佯谬之上的，这个佯谬使得一些物理学家断言：这个理论最终是无意义的。

这个问题在 20 世纪 20 年代末和 30 年代初就已经很快地为众人所知了。问题与理论的技术方面无关，而是涉及理论解释。

波或粒子？

量子的奇异性能够容易地从这样一种方式显示出来，即：像一个光子这样的物体，既可以显示出似波性又可以展示出似粒子性，使光子产生衍射和干涉图像，这是光的似波本性的一个可靠检验。但是，在光电效应中，光子却效法着投掷椰子果核，把电子从金属中敲出来，在这个效应中，光的粒子模型似乎更合适些。

波动性与粒子性的共存，很快就导致了关于自然界的一些令人吃惊的结论。让我们考虑一个熟知的例子，假设一束偏振光射向一片偏振材料（见图 2）。标准电磁理论预言：如果光的偏振面平行于该材料的偏振面，光就完全透过，但是，如果二者成直角，则无光透过。在某居中角度时，则有部分光透过。例如，成 45°时，透射的光强准确地为原光强之半，实验证实了这一点。

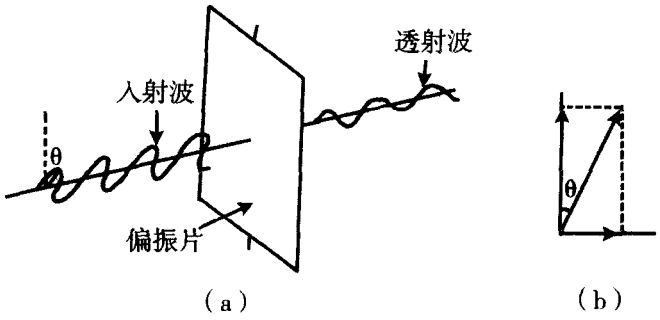


图 2　可预示性的失效　(a)经典上，一个偏振光波通过偏振片时，其强度将减弱为 $\cos^2\theta$，出射波沿“竖直”方向偏振。如果把光视为全同的光子流，那么，这现象只能这样说明，即假设有些光子通过了，有些被挡住了，其几率分别为 $\cos^2\theta$ 与 $\sin^2\theta$，这是不可预示的。(b)注意：入射波可视为“竖直”偏振波与“水平”偏振波的一种叠加。

现在，如果减弱入射光束的强度，以致一次仅一个光子穿过此偏振片，这时，我们就遇到难题了，因为一个光子不可能分割，任一给定的光子必定是或者通过了，或者被挡住了。当角度为 45°时，平均起来，必定是一半光子穿过去了，而另一半则被挡住了。但是，哪种光子穿过了，哪种光子没穿过？由于具有相同能量的所有光子被假定是相同的，从而是不可分辨的，这迫使我们得出这样的结论：光子的穿越纯粹是一个随机过程。虽然，任何一个给定光子穿越的机会是 50 对 50(几率为 1/2)，可要预言哪些具体的光子会穿过去，是不可能的。只能给出打赌的几率。当角度改变时，此几率可以在从 0 到 1 之间跟着改变。

这个结论是引人入胜的，也令人不安。量子物理学发现之前，世界被看成是完全可预言的，至少在原则上是如此。尤其是，如果做相同的实验，人们就期望得到同样的结果。但是在光子与偏振片的情况中，人们可以非常清楚地发现：两个相同的实验产生着不同的结果，正如一个光子穿过了偏振片，而另一个相同的光子却被挡住了。显然，这个世界根本不是可完全预言的。一般地说来，在未作出一次观察之前，我们不可能知道一个给定光子的命运会是怎样。

这些概念暗示：在光子、电子和其他粒子的微观世界中，存在一种不确定性要素。1927 年，海森伯以其著名的不确定性原理量化了这种不确定性。这原理的一种表述与试图同时测量一个量子物体的位置和运动有关。具体地说，如果想要非常精确地指定电子的位置，我们就不得不弃绝有关它的动量信息；反过来，我们可以精确地测量电子的动量，但这样一来，它的位置就变得不确定了。恰恰就是试图将一个电子钉在具体地点的作用，对其运动引进了一个不可控与不确定的扰动；反之亦然。再者，对我们关于电子运动和位置的知识的这种不可避免的约束，并不只

是实验制作粗陋的结果；它是自然界所固有的。显然，电子并非简单地同时具有位置与动量。

由此得出，在微观世界中存在一种内在的模糊性，只要我们企图测量两个不相容的可观察量（如位置和动量），这种模糊性就会显示出来。这种模糊性的后果之一就是摈弃了电子（或光子，或任何其他东西）在空间沿特定路径或轨道运动的直观概念。对于遵循一确定轨道的一个粒子来说，每一时刻它必定具有一个位置（路径上的一点）和一个速度（路径的切矢量），但是一个量子粒子不可能同时具有二者。

在日常生活里，我们确信：严格的因果定律指引着弹丸打到其靶上或者引导着轨道上的行星沿着空间一条精确确定的路径运行。我们不怀疑弹丸到达靶时，其着靶点表示一连续曲线的终点，曲线起点在枪管处。对于电子来说，情况就不是这样了，我们能够识别出发点和到达点，但并非总能推断出有一条联结它们的确定路线。

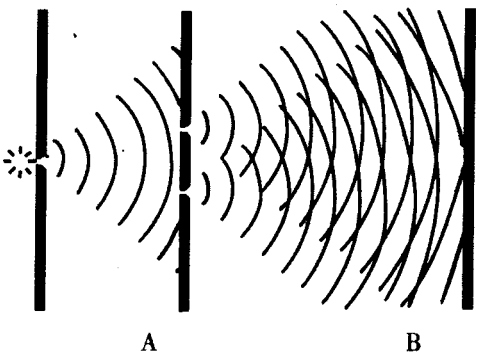


图3　波或粒子？　在这个双缝实验中，电子或光子从源出发，通过屏A上2个靠近的孔，打在屏B上。在B处粒子的抵达率受到监视。观察到的强度变化图样指示出一种波的干涉现象。

几乎没有什么比著名的托马斯·杨双缝实验更能显示量子的模糊性了。在这个实验里，来自一个很小的光源的光子（或电子）束向着刻有两个窄孔的屏运动，在第二个屏上产生双孔的像，它由不同于原孔的明暗干涉图样组成，就像穿过一个孔的波遇到从另一孔来的波一样。波同步到达的地方，则加强；反向到达的地方，则减弱。这样，光子或电子的似波性便明显地获得证实。

但是，射线束也可以看成由微粒组成。假设强度再次衰减非常之甚，以致仅在某一时刻仅一个光子或电子向此装置运动。自然地，每一个都到达像屏上一确定点，它是可以作为一个微粒被记录下来的。别的粒子到达别的地方，留下它们各自的斑痕。乍看起来，此效应似乎是随机的，但随着斑点的增多，一个斑点图案遂自

形成。每一个粒子不是强制地而是按“平均规律”落向像屏上一具体地点。当大量粒子穿过此系统时，就产生一个有条理的图案，这就是干涉图。因此，任何给定的光子或电子都不能做出一个图案，它仅能造就一个单一的斑点。虽然每一个电子或光子显然可以自由地去到任意地点，但它们还是以几率的方式合作地建立起干涉图案。

现在，如果两孔之一被挡住，那么电子或光子的平均行为就戏剧性地改变了，实际上，干涉图消失了。这个干涉图是不可能从两个只有单缝存在所记录的图像的叠加中得到的。仅当两孔同时开着时，才有干涉。因此，每个光子或电子必定以某种方式，独个地计及到开着双孔还是单孔？但是，如果它们是不可分割的粒子，它们怎能做到这一点呢？从粒子来看，每个粒子仅能从一个缝穿过，它却能“知道”另一个缝的开启情况，究竟是怎么“知道”的？

回答这个问题的一个方法是回想起量子粒子在空间不具有确定的路线。将粒子看成这样一种东西，有时是方便的，即它通过无限多条路径，其中每一条都对它的行为起作用，这些路径或路线穿过屏上的两个孔，并就每一条编个信息码，这就是粒子能够在扩展的空间区域内维持径迹的行为方式。粒子行为的模糊性，使它能“觉察出”许多不同的路线。

假设一个持怀疑态度的物理学家，要在两孔的前方各放一个探测器，以便预先肯定一个具体的电子向哪一个孔运动，这样一来，那位物理学家在不让电子“知道”从而不改变其运动的情况下，不能突然把另一孔关闭吗？如果我们考虑到海森伯不确定性原理，那么，我们就能看到：大自然战胜了这个狡猾的物理学家。为要使各个电子的位置测量精确到足以识别它所正接近的孔的程度，电子的运动受到如此之大的扰动，致使干涉图倔强地消失了！正是考察电子将向何处去的作用确保双孔合作失败。只要我们决定不去跟踪电子的路线，它对两条路线的“知识”就会显示出来。

约翰·惠勒曾指出上述二象性的一个更引人感兴趣的推论，即究竟是做实验去确定电子的路径，还是放弃这种信息与实验，而用干涉图取而代之？此项决定可以推迟作出，直到任意给定的电子已经通过该装置时为止！在这个所谓“延迟选择”实验中，实验人员现在所作的决定在某种意义上似乎影响着过去的量子粒子将会怎样行动，尽管必须强调所有量子过程的固有不可预示性，禁止将这种安排用于逆时发送信号或以任何方式“改变”过去。

为实现有关延迟实验所设计的一个理想安排（将用光子而不用电子）如图 4 所示，这个安排是近来卡罗尔·阿勒及其同事们在马里兰大学所做一个实际实验的基础。入射到半镀银镜 A 上的激光分成两束，它们与杨氏实验中穿过狭缝的两条路径相类似，在 M 镜进一步反射，使光束改变方向后相交并分别进入光探测器 1 和 2。按这样安排，由 1 或者 2 探测到一个光子，就足以确定该光子是从这两条路

线中哪一条过来的。

现在，如果第二块半镀银镜 B 插在交汇点（见图 4），两束光将重新组合，它们部分进入 1，部分进入 2。这会引起波的干涉效应，于是，进入 1 和 2 的光束强度分别与两束光在组合点处的相对位相有关。这些位相能通过调整光程长度而改变，因此，实质上可扫描出干涉图。特别地，可能这样安排位相，使得互毁干涉导致进入 1 的光强为零，100％的光进入 2。采用这种安排，此系统类似于原始的杨氏实验，在杨氏实验中，不可能指明任意给定的光子取道两条路线中的哪一条（不严格地说，每个光子取道两条路径）。

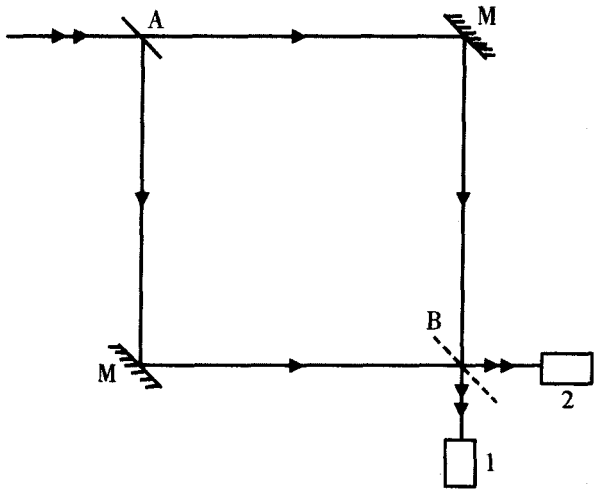


图 4　关于惠勒延迟实验的一个实际方案的略图

现在，关键点是第二块半镀银镜 B 插入还是不插入，这个决定可以推迟作出，直到一个给定的光子几乎达到了交汇点。换句话说，光子将经由一条线路还是经由两条路线穿过该光学系统，是仅在穿越发生之后才予确定的。

所有这一切，意味着什么？

电子、光子和其他量子物体的行为，有时似波和有时似粒子这一事实，常常引起这样的问题：它们实际上是什么？玻尔的晚期工作奠定了这类问题的传统见解。他相信：他业已发现量子力学的一致解释。通常这叫做哥本哈根解释。正是根据丹麦的玻尔物理研究所命名的。他在 1920 年建立了这个研究所。

按照玻尔的观点，询问一个电子“实际”是什么的问题，是没有意义的。或者至少，当您提这个问题时，物理学家不可能给予回答。他宣称：物理学不告诉我们世界是什么，而是告诉我们关于世界我们能够谈论什么，特别是，如果一个物理学家就一个量子系统作一次实验，只要实验装置的全部细节为已知，那么，物理学家便

可以就他可能观察的东西作出一个有意义的预言，从而便能以明白的语言转告他的伙伴们。

例如，在杨氏实验中我们有一个明确的选择：或者我们听任电子或光子自由自在，并观察干涉图；或者，我们可以窥探粒子的径迹并洗去这个干涉图。这两种情况并不矛盾而是互补的。

同理，存在位置与动量的互补性。我们既可以选择测量一个粒子的位置，这时，它的动量是不确定的；我们也可以测量动量，而把其位置信息出卖掉。每一个性质——位置与动量——构成量子物体的一个互补方面。

玻尔把这些思想上升为互补原理。例如，在波一粒二象性中，量子物体的波动性和粒子性构成其行为的互补方面。他坚持：我们决不会遇到这两种不同行为在其中相互冲突的实验。

玻尔思想的一个渊深的推断就是：关于宏观和微观、整体和部分之间关系的传统观念，被根本地改变了。他宣称：在你弄懂一个电子正在干什么之前，你必须指明全部实验条件。比方说，你要测量什么？你的仪器是怎样组装的？所以，微观世界的量子实在无法摆脱地跟宏观世界的组织缠绕在一起。换句话说，离开了同整体的关系，部分是没有意义的。量子物理学这种整体性特征，在东方神秘主义信徒中找到了极大的支持。神秘主义哲学包含在印度教、佛教、道教等东方宗教之中。实际上，在量子理论的早期，许多物理学家（包括薛定谔）很快就发现：部分和整体的量子概念跟东方关于自然界的统一与和谐的传统概念，十分相似。

玻尔哲学的核心是这样假设的，即不确定性和模糊性是量子世界所固有的，而不仅是我们对于它的不完全感知的结果。这是十分难以捉摸的问题。我们知道许多不可预言的系统：气候变化、股票市场与赌盘轮的千变万化，是一些极其熟悉的例子。然而，这些仍然没有迫使我们对物理学定律作出根本性的重新估价，其原因是在日常生活中大多数事物的不可预示性，可以追踪至这样的事实，即：在精确预言所需细节的水平上，我们不具有足够的信息以计算出它们的行为。比方说，在赌盘轮情形中，我们求助统计描述。同样，在经典热力学里，大量分子的集体行为可以用统计力学以平均方法成功地给予描述。然而，围绕计算平均值的涨落，在那里不是固有不确定的，因为原则上对每一个参与分子都能给出完全的力学描述（忽略了这例子中的量子效应）。

当涉及某些动力学变量的信息被摈弃时，模糊性和不确定性这个要素就被引进到我们对系统的描述之中。然而，我们知道，这种模糊性实际上就是那些我们选定摈弃的所有变量的活动性的结果。我们可以称它们为“隐变量”，它们总是存在的，只是我们的观察可能太粗糙，以致不能将它们揭示出来。例如，气体压强的量度太粗糙，以致不能揭示单个分子的运动。

为什么我们不能将量子模糊性归因于更深层级的隐变量呢？隐变量理论使我

们能够将量子粒子的混沌的、表现不确定的不羁行为描绘成是由下层级上完全决定论的力所驱动的。于是，我们似乎不能同时确定一个电子的位置和动量这一事实，可以归因于我们仪器的粗糙本性，因为它还不能对这个更为精细的基础层级作出探测。

爱因斯坦深信，事情必定如上所述。他相信：一个具有熟悉因果关系的经典世界，最终将处在量子疯人院之底下。

作者简介：保罗·戴维斯(Paul W. Davis)，当代英国理论物理学家，著名科普作家，以在量子引力领域的工作而闻名，目前在澳大利亚工作和生活。

文献来源：保罗·戴维斯《原子中的幽灵》，易心洁译，洪定国校，湖南科学技术出版社 1992 年版，第一章(第 1—16 页)。沿袭原有标题。

行星的诞生

伽莫夫

对于我们这些居住在七大洲(包括南极洲)上的人来说,“实地”这个词可以说是稳固的同义语。当我们勘看我们所熟悉的地球表面时,无论是大陆还是海洋,山脉还是河流,它们都像是自开天辟地以来就存在着似的。当然,古代的地质学资料表明,大地的表面一直处于不断的变化之中:陆地的大片面积可能被海洋淹没,海底也可能升出水面;古老的山脉会被雨水逐渐冲刷成平地,新的山系也会由于地壳的变动而不时产生。不过,这些变化仅仅是我们这个星球的固体外壳发生了变动而已。

然而,我们并不难看出,地球曾有过一段根本没有地壳的时代。那时候,地球是一个发光的熔岩球体。事实上,根据对地球内部的研究得知,地球的大部分目前仍然处于熔融状态。我们不经意地说出来的“实地”这个东西,实际上只是漂浮在岩浆上面的一层相对说来很薄的硬壳而已。要得出这个结论,最简单的方法就是测量地球内部各个深度上的温度。测量结果表明,每向下 1000 米,地温就上升 30℃左右(或每向下行 1000 英尺,上升 16℉)。正因为如此,在世界最深的矿井(南非的罗宾逊深井)里,井壁是如此之烫,以致必须安装空气调节装备,否则矿工们就会被活活烤熟。

按照这种增长率,到了地下 50 公里的深度,也就是还不到地球半径的百分之一处,地温就会达到岩石的熔点(1200℃～1800℃)。在这个深度以下,地球质量的 97％强都以完全熔融的状态存在。

显然,这种状态决不会永远持续不变。我们现在所观察到的,不过是从地球曾经是一个完全熔融体的过去起,到地球冷却成一个完全固体球的遥远将来为止这样一个逐渐冷却的过程的某个阶段,由冷却率和地壳加厚速率粗略计算一下,可以得知,地球的冷凝过程一定是在几十亿年前就开始了。

通过估算地壳内岩石的年龄,也得到了同样的数据。乍一看来,岩石好像并不包含有改变的因素,因此,人们才常用“不渝如石”这句成语。但在实际上,许多种

岩石中都有一种天然钟，依靠它们，有经验的地质学家可以判断出这些岩石自熔融状态凝固以来所经过的时间。

这种揭露岩石年龄的地质钟就是微量的铀和钍。在地面和地下各个深度的岩石里，常常会有它们的踪迹。这些原子会自发进行缓慢的放射性衰变，并以生成稳定的元素铅而告终。

为了确定含有这些放射性元素的岩石有多大年龄，我们只要测出由于长期放射性衰变而积累起来的铅元素的含量就行了。

事实上，只要岩石处在熔融状态下，放射性衰变的产物就会因扩散和对流作用而离开原处。一旦岩石凝固以后，放射性元素所转变成的铅就会开始积累起来，其数量可以准确地告诉我们这个过程持续的时间。这种情况就和间谍从乱扔在太平洋两座岛屿上棕榈林里的空啤酒罐头盒的数目，就可以判断出一个敌人舰队在这个地方驻扎过多长时间是一样的。

近来，人们又应用经改进过的技术，精确地测定了岩石中的铅同位素及其他不稳定同位素（如铷87和钾40）的衰变产物的积累量，由此算出最古老的岩石约存在了45亿年。因此，我们的结论是：地壳一定是在大约50亿年前由熔岩凝成的。

因此，我们能够想像出，地球在50亿年前是一个完全熔融的球体，外面环绕着稠密的大气层，其中有空气和水蒸气，可能还有其他挥发性很强的气体。

这一大团炽热的宇宙物质又是从哪里来的呢？是什么样的力决定了它的形成呢？这些有关我们这个星球和太阳系内其他星球起源的问题，是宇宙论（有关宇宙起源的理论）的基本课题，也是多少世纪以来一直萦绕在天文学家头脑中的一个谜。

1749年，著名的法国博物学家布丰首次试图用科学方法来解答这些问题。布丰在他的四十四卷巨著《自然史》中提出，行星系统是由星际空间闯来的一颗彗星和太阳相撞的结果。他的想像力生动地为人们描绘出了这样的情景：一颗拖着明亮长尾巴的“司命彗星”从当时孤零零的太阳的边缘上擦过，从它的巨大形体上撞下一些“小团儿”，它们在冲击力的作用下进入空间，并开始自转起来（图117a）。

几十年后，德国著名哲学家康德提出了一个截然不同的观点。他认为各行星是太阳自己创造的，与其他天体无关。康德设想，早期的太阳是一个较冷的巨大气体团，它占据了目前的整个行星系空间，并绕自己的轴心缓慢转动。由于向四周空间进行辐射，这个球体逐步冷却，从而使它自己一步步进行收缩，旋转的速度也随之加快，结果，由旋转产生的离心力也随之增大，从而使这个处在原始状态的太阳不断变扁，最后沿不断扩张的赤道面喷射出一系列气体环（图117b）。普拉多（Plateau）曾做过物质团旋转时形成圆环的经典实验：他使一大滴油（不像太阳的情况那样是气体）悬浮在与油的密度相同的另一种液体里，用一种附加机械装置使油滴旋转。当旋转速度达到某个限度时，油滴外围就会形成油环。康德假定，太阳以这种方式形成的各个环，后来又由于某种原因断裂开来，并集中成为各个行星，在

不同的距离上绕太阳运转。

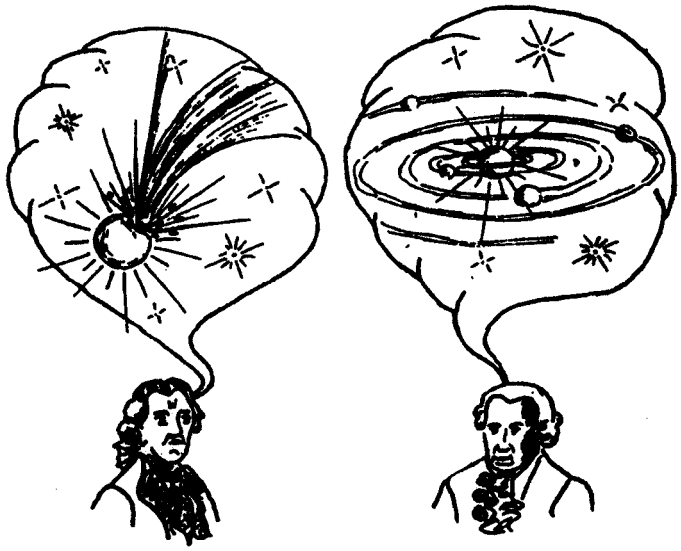


图 117　宇宙论的两种学派

a. 布丰的碰撞说；b. 康德的气体环说

后来，这些观点被著名法国数学家拉普拉斯(PierreSimon, Marguis de Laplace)所采纳和发展，并于 1796 年发表在《对世界系统的解释》一书中。拉普拉斯是一位卓越的数学家，然而在这本书里，他却没有使用数学工具，仅就太阳系形成的理论作了半通俗化的定性论述。

60 年后，英国物理学家麦克斯韦首次试图从数学上说明康德和拉普拉斯的宇宙学说。这时，他遇到了明显而无法解释的矛盾。计算表明，如果太阳系的这几个行星是由原来均匀散布在整个太阳系空间内的物质所形成的，这些物质的密度可是太低了，根本无从凭借彼此间的万有引力聚成各个行星。因此，太阳收缩时甩出的圆环将永远保持着这种状态，就像土星的情况那样。大家知道，土星的外围有一个环，那是由无数沿圆形轨道绕土星运转的小微粒组成的，我们看不出它们有“凝缩”成一个固体卫星的倾向。

要想摆脱这种困境，惟一的出路是假设初始态的太阳所抛出的物质要比现在行星所具有的物质多得多(至少多 100 倍)，这些物质中的绝大部分后来又回到太阳内，只有不足 1%的一部分留下来，成为各个行星。

然而，这种假设也会导致新的矛盾，这个矛盾的严重性并不亚于原先的一个。这就是：如果这一大部分物质——它们当然具有与行星运动相等的速度——确实落到太阳上，必然会使太阳自转的角速度变为实际速度的 5 千倍，那么，太阳就不会像目前这样大约每四个星期自转一周，而是一个钟头要转上 7 圈了。

上述考虑看来已宣判了康德-拉普拉斯假说的死刑，因此，天文学家们充满希

望的目光又转向别的地方。在美国科学家钱伯伦(Thomas Chrowder Chamberlin)、摩耳顿(Forest Ray Moulton)以及著名英国科学家金斯的努力下,布丰的碰撞说又复活了。当然,随着科学知识的不断增长,他们对布丰原有的观点所涉及的基本知识作了一定的修改。与太阳相撞的那颗彗星被摈弃了,因为这时人们已经知道,彗星的质量小到即使与月亮相比也微不足道的地步。这一回,假设的进犯者是大小和质量都与太阳相当的另一颗恒星。

但是,这个再生的碰撞假说,虽然避开了康德-拉普拉斯假说的根本性困难,它自己却也难以立足。人们很难理解:为什么一颗恒星与太阳猛烈相碰时,磕出来的各个小块物质都沿着近于圆形的轨道运动,而不是在空间中描绘出一些拉得很长的椭圆轨道呢?

为了挽救这个失败,人们又只好假设,在太阳受到那颗恒星冲击而形成行星的时候,它的周围包围着一层旋转着的均匀气体,在这种气体包层的作用下,细长的椭圆轨道就变成了正圆形。但是,在行星运行的这一片区域内,目前并未发现这种介质。因此,人们又得假设,这些介质后来逐渐散入星际空间,目前人们在黄道附近看到的微弱的黄道光,就是这种往日的光轮的残余。这么一来,就得到了一个杂交的理论,其中既有康德-拉普拉斯的原始气体层假设,又有布丰的碰撞假设。这个假说也不能完全令人满意。但正如俗语所说,"两害相权取其轻",碰撞假设就这样被接受为行星起源的正确学说,直到不久以前还出现在所有科学论文、教科书和通俗小册子中(包括我自己的两本书《太阳的生与死》和《地球自传》在内)。

直到1943年秋,才有位年轻的德国物理学家魏扎克(Carl Friedrich von Weizsäcker)把这个行星起源理论中的症结解开。魏扎克根据最新的天文研究资料指出,康德-拉普拉斯假设中所有的那些阻碍都很容易消除,关于行星起源的详细理论是可以建立起来的,行星系的许多迄今为止未被原有理论接触到的重要方面也得到了解释。

魏扎克的主要论点是建立在最近几十年中天体物理学家们完全改变了他们对宇宙化学成分的看法这一基础之上的。过去,人们普遍认为,太阳和其他一切恒星的化学成分的百分比与地球相同。对地球进行的化学分析告诉我们,地球主要是由氧(以各种氧化物的形式)、硅、铁和少量其他重元素组成的,而氢、氦(还有氖、氩等所谓稀有气体)等较轻的气体在地球上只以很少的数量存在[①]。

当时,由于天文学家们没有其他更好的证据,只好假设这些气体在太阳和其他恒星内也是非常稀少的。然而,通过对天体结构所进行的详细理论研究,丹麦天体物理学家斯特劳姆格林(B. Stromgren)下结论说,上述假设大谬不然。事实上,太阳的物

① 在我们这个行星上,绝大部分的氢以它的氧化物——水的形式存在。大家知道,水虽然覆盖了地球表面3/4的面积,但其质量与地球总质量相比是很小的。

质中至少有35%是氢元素。后来，这个比例又增至50%以上。此外，还有占一定百分比的纯氦。对太阳内部所进行的理论研究(这在史瓦西的重要著作中达到了登峰造极的地步)也好，对太阳表面所进行的精密光谱分析也好，都使天体物理学家们作出令人惊讶的结论说，在地球上普遍存在的化学元素，在太阳上只占1%左右，其余都为氢和氦所分占，前者稍稍多一些。显然，这个分析也同样适用于其他恒星。

人们还进一步知道，星际空间并非真空，而且充斥着气体和微尘的混合物，平均密度为每1 000 000立方英里1毫克上下。显然，这种弥漫的、极其稀薄的物质具有与太阳及其他恒星相同的化学成分。

尽管这种物质的密度低得难以令人置信，它的存在却是很容易得到证明的。因为：从遥远恒星发来的光，在进入我们的望远镜之前，要走过几十万光年的空间，这就足以产生可以察觉的吸收光谱了。由这些“星空吸收谱线”的强度和位置，可以相当满意地计算出这些弥漫物质的密度，并判断出它们几乎完全是由氢(可能还有氦)组成的。事实上，其中各种“地球物质”的微尘(直径在0.001毫米左右)，还占不到总质量的1%。

现在，让我们回到魏扎克的基本论点上来。我们说，对宇宙物质化学成分的最新知识是直接有利于康德-拉普拉斯假说的。事实上，如果太阳外围原有的气体包层是由这种物质组成的，那么，其中就只有一小部分，即较重的那些地球元素，能用于构成地球和其他行星，其余那些不凝的氢气和氦气，必定以某种方式与之分离，要么落到太阳上去，要么逸散到星际空间之中。我们在前面已经说过，第一种情况会使太阳获得很高的自转速度，所以，我们就应该接受第二种说法，即当“地球元素”形成各个行星以后，气态的“剩余物资”就扩散到空间中去了。

这种观点为我们提供了行星系形成的如下图像：当太阳由星际物质凝聚生成时，其中一大部分物质，大约有现在行星系总质量的100倍，仍留在太阳之外，形成一个巨大的旋转包层。(产生旋转的原因很明显是由于星际物质向原始太阳集中时，各部分的旋转状态不同所造成的。)这个迅速旋转的包层由不凝的气体(氢、氦和少量其他气体)以及各种地球物质的尘粒(如铁的氧化物、硅的化合物、水汽和冰晶等)组成，后者被包含在前者之内，并随之一道旋转。大块的“地球物质”，也就是各行星，一定是尘粒互相碰撞并逐步汇聚的结果。在图118中，我们表示出了以陨星的速度进行碰撞所造成的后果。

在逻辑推理的基础上，可以得出结论说，如果两块质量相近的微粒以这种速度相撞，当然会双双粉身碎骨(图118a)，它们非但没有增大，反而变得更小了。与此相反，如果一块小的与一块很大的相撞(图118b)，显然小的一块会埋入大块之内，形成一块稍大一些的新物体。

很明显，这两种过程的进行将使小颗的微粒逐步减少，并形成大块物体。越到后来，物体块就越大，越能凭借自己的万有引力把周围的微粒拉来与自己合并，这

个过程也就越加速进行。图 118c 画出了大块物体的俘获效应增强的情况。

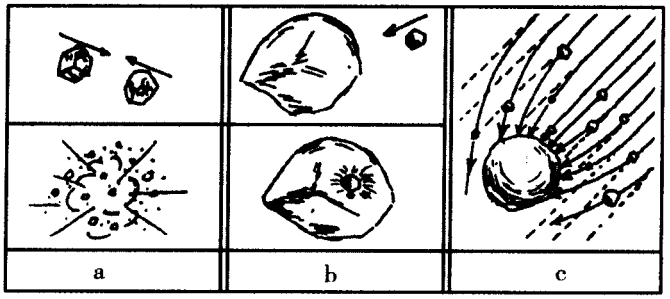


图 118

魏扎克曾证明，在当今行星系所占据的空间里，那些原来遍布各处的细微尘粒，能够在几亿年的时间内汇聚成几团巨大的物质——行星。

当这些行星在绕太阳行进的路上吞并大大小小的宇宙物质而长大的时候，表面一定会由于这些新成员的持续轰炸而变得很热。然而，一旦这些星际微尘、石粒和岩块告罄之后，行星的增长即告终止，表面也就会由于向空间辐射热量而迅速变冷，从而形成一层固态地壳。随着行星内部的缓慢冷却，地壳也变得越来越厚。

各种天体理论试图解释的另一个重要问题，是各行星与太阳的距离所呈现的特殊规律(叫做提丢斯-波得[Titus-Bode]定则)。我们来看看下面列出的那张表，表中所列的是太阳系的九大行星及小行星带与太阳的距离。小行星显然是一群由于特殊情况而没有凝聚成大行星的单独小块。

表中最后一栏数字特别令人感兴趣。这些数字虽然有相当出入，但都和数字 2 相差不多。因此，我们可以建立这样一条粗略的规律：每一颗行星的轨道半径都差不多是前一行星轨道半径的两倍。

行星名称	与太阳的距离（以日地距离为标准单位）	各行星与太阳的距离同前一行星与太阳距离的比值
水　星	0.387	
金　星	0.723	1.86
地　球	1.000	1.38
火　星	1.524	1.52
小行星带	2.7 左右	1.77
木　星	5.203	1.92
土　星	9.539	1.83
天王星	19.191	2.001
海王星	30.07	1.56
冥王星	39.52	1.31

有趣的是，这条定则也适用于各行星的卫星。例如，下表中所列的土星的九个卫星与土星的距离就证实了这条规律。

卫星名称	距土星的距离（以土星半径为单位）	相邻两颗卫星距离之比（大数比小数）
土卫一	3.11	
土卫二	3.99	1.28
土卫三	4.94	1.24
土卫四	6.33	1.28
土卫五	8.84	1.39
土卫六	20.48	2.31
土卫七	24.82	1.21
土卫八	59.68	2.40
土卫九	216.8	3.63

在这里，我们也同太阳系中的情况一样，遇到了很大的出入（特别是土卫九），但我们仍可坚信，卫星中也存在着同样的规则分布。

太阳外围原有的这些微尘为什么不形成一个单独的大行星呢？这些行星又为什么以这种特殊规律分布着？

为了解答这些问题，我们得对原始尘埃云中微尘的运动作一番较为细致的了解。首先，我们都还记得，一切物体——微尘、陨石、行星等——都按牛顿定律沿椭圆形轨道运动，太阳则位于椭圆的一个焦点上。如果形成各行星的这些微尘是些直径为0.0001厘米的粒子①，那么，在开始时一定有数量为 10^{45} 的粒子在各种大小不同、圆扁程度不同的轨道上运动。很清楚，在这种拥挤的交通下，粒子间必定经常发生碰撞。整个系统在这种不断的撞击下会逐渐变得整齐些。不难理解，这样的碰撞要不是使“肇事者”粉身碎骨，就必定是迫使它移到不那么拥挤的路线上去。那么，这种“有组织的”（至少是部分有组织的）“交通”，是由什么规律控制的呢？

对于这个问题，我们先从一群绕太阳公转而周期相同的粒子入手。在这些粒子当中，有一些会在一定半径的圆形轨道上运转，另一些则在扁长程度不等的椭圆轨道上行进（图 119a）。现在，我们从一个以太阳为圆心、以粒子公转周期为周期的旋转坐标系（X，Y）来描述这些粒子的运动。

很清楚，从这种旋转坐标系上进行观察时，沿圆形轨道运动的粒子 A 永远静止在某一点 A′上，而沿椭圆形轨道行进的粒子 B，它有时离太阳近，有时离太阳远；近时角速度大，远时角速度小；因此，从匀速旋转的坐标系（X，Y）上看，B 有时抢在

① 这是星际空间弥漫物质的平均大小。

前头，有时又落在后面。不难看出，这个粒子从这个坐标系看来是在空间描绘出一个封闭的蚕豆形轨迹，在图 119 中以 B′表示。另一个粒子 C 的轨道更为扁长，在坐标系(X,Y)上看来，它也描出一个蚕豆形的轨迹，不过要大一些，以 C′表示。

很明显，要使这一大群粒子不致相撞，各粒子在匀速旋转的坐标系(X,Y)中所描绘出的蚕豆形轨迹必须没有相交的可能才行。

我们还记得，具有相同运行周期的粒子，距太阳的平均距离是相同的。因此，(X,Y)系中各个粒子轨迹不相交的图形一定是像一串环绕太阳的“蚕豆项链”的样子。

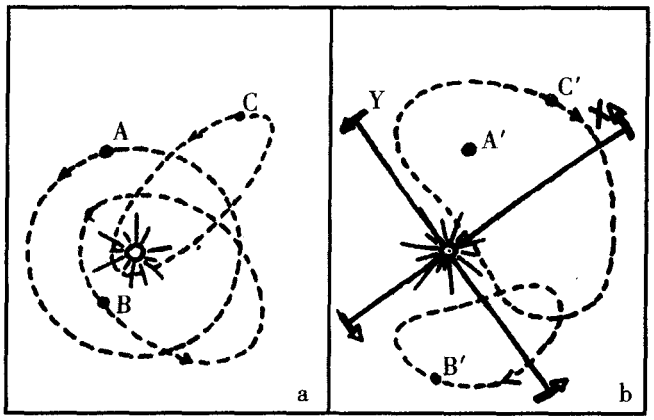


图 119

a. 从静止坐标系上观察圆形和椭圆形运动；

b. 从旋转坐标系上观察圆形和椭圆形运动

上面这些分析对读者来说恐怕是太艰深了些，实际上它所表述的却是一个相当简单的过程，目的在于弄清一群与太阳的平均距离相同，因而旋转周期相同的粒子不致相交的交通路线图。我们会想到，原先绕太阳运行的那些粒子会有各种不同的平均距离，旋转周期也随之不同，因此实际情况还要复杂得多。“蚕豆项链”不会只有一串，而是有很多串。这些项链以不同的速度旋转着。魏扎克以细密的分析指出，为了使这样一个系统能够稳定下来，每一条“项链”必须包括 5 个单独的漩涡状系统，整个情况看来就是图 120 所示的样子。这种安排可以保证同一条链内的“交通安全”。但是，各串项链旋转的速度是各不相同的，因而在两条“项链”相遇的地方一定会有“交通事故”发生。在这些作为相邻链环的共同边界的地区，大量的相撞必然造成粒子的汇聚，因而在这些特定距离上会形成越来越大的物体。因此，随着每一条链内物质的逐渐稀薄，在边界地区物质会逐渐积累，最后就形成了行星。

这段对于行星系统形成过程的描述，简单地解释了行星轨道半径所呈现出的规律。事实上，只需进行简单的几何推断，就能看出在图 120 所示的图样中，各条

链子的边界半径构成了一个几何级数，每一项都是前一项的两倍。我们还能看出为什么这条规律不是精确成立的，因为事实上，决定这些微尘的运动的并不是严格的定律，而只是不规则运动所会达到的一种倾向而已。

这条规律也同样适用于太阳系各行星的卫星系统。事实表明，卫星的形成基本上也遵循了同样的途径。当太阳四周的原始微尘分成各个单独的粒子群以形成行星时，上述过程在各群粒子中都得到重复：各粒子群中的大部分粒子会集中在中心成为行星体，其余的部分则会在外围运转，并逐渐聚成一群卫星。

在讨论这种微尘的碰撞和汇聚时，我们不能忘记考虑原来占太阳包层99%上下的那些气体成分的去向。这个问题相对地说是很容易回答的。



图120　在早期的太阳包层中微尘的通道

当微尘碰来碰去，越聚越大时，那些不能加入这个过程的气体会逐渐弥散到星际空间中去。无须作很复杂的计算就能求出，这种弥散过程所需的时间约为1亿年，这和行星系生成所需的时间差不多。因此，在各行星产生的同时，太阳包层的大部分氢和氦都逃离太阳系，只剩下微乎其微的一部分，这就是我们以前提到过的黄道光。

魏扎克理论的一个重要的结论是：行星系的形成并不是偶然的事件，而是在所有恒星周围都必然会发生的现象。而碰撞理论则认为，行星的形成在宇宙历史中甚为罕见。计算表明，在银河系的四百亿颗恒星中，在它几十亿年的历史中，充其量只能发生几起恒星相撞的事件。

魏扎克的理论与碰撞理论截然相反。按照他的观点，每颗恒星都有自己的行星系统。因此，就在我们这个银河系内，也一定有数以百万计的行星，它们的各种物理条件都与地球基本相同。如果在这些“可供居住”的地方竟然不存在生命，竟

然不能发展到最高阶段，那才是怪事呢！

事实上，最简单的生命，如各种病毒，无非是些由碳、氢、氧、氮等原子组成的复杂分子而已。这些元素在任何新形成的行星体表面上都会大量地存在。因此，我们可以确信，一旦固态地壳生成，大气中大量的水蒸气降落到地面汇成水域后，迟早总会有一些这类分子在偶然的机缘下由必要的原子按必要的次序生成。当然，这些活分子的结构很复杂，因而偶然形成它们的概率极低，如同靠摇动一盒七巧板，就想正好得到某个预定图样的可能性一样低。但是另一方面，我们也不要忘记，不断相撞的原子是那么多，时间又是那么长，迟早总会出现这种机会的。我们地球上的生命在地壳形成后不久就出现了，这个事实表明，尽管看起来好像不可能，但复杂的有机分子确实能在几亿年的时间内靠偶然的机会生成。一旦这种最简单的生命形式在新行星的表面上诞生，它们的繁殖和逐步进化，必将导致越来越复杂的生物体不断形成①。我们还不知道，在各个“可供居住”的行星上，生命的进化是否也遵循着同地球上一样的过程。因此，对这些地方的生命进行研究，将使我们对进化过程得到根本的了解。

不久的将来，我们会乘“核动力推进的空间飞船”作进一步的探险旅行，去火星和金星（太阳系中最为“可供居住”的行星）上对它们是否有生命存在进行研究。至于在几百、几千光年远的世界上是否有生命存在，以及那里的生命存在方式，则恐怕是科学上永远无法解答的问题了。

作者简介：乔治·伽莫夫（George Gamov，1904－1968），俄裔美国理论物理学家和天体物理学家，在核物理和天体物理上均有出色的建树，是宇宙学的“大爆炸模型”和生物学中的“遗传密码”理论的首创者。他还是一名享誉世界的科普作家，著有《物理世界奇遇记》、《从一到无穷大——科学中的事实和臆测》等科普名篇，1956 年荣获联合国教科文组织的卡林格科普奖。

文献来源：伽莫夫《从一到无穷大——科学中的事实和臆测》，暴永宁译，吴伯泽校，科学出版社 2002 年版，第十一章第一节（第 284－299 页）。沿袭原有小节标题。

① 关于地球上生命起源和进化的详细论述，可参看本文作者的另一本著作《地球自传》。

大陆漂移的确定

古尔德

当新的达尔文主义正统观念席卷欧洲时，对这一学说最卓越的反对者，年迈的胚胎学家卡尔·恩斯特·冯·拜尔(Karl Ernst von Baer)不无讽刺地指出，每一个胜利的理论都经历过三个阶段：第一个阶段是被当作不正确的理论抛弃掉；第二个阶段是被当作与宗教对立的理论否定掉；第三个阶段是被当作教条接受，并且每一个科学家都声称早就认识这个理论的正确性。

我第一次接触到大陆漂移理论时，它正处在第二阶段，受着审判的煎熬。当时，美国知名古生物学家当中惟一敢于公开支持这个理论的肯尼思·卡斯特来到我的母校安蒂奥克学院作讲演。我们并不是顽固的保守主义堡垒，我们多数人完全是出于明智而抛弃了他的思想。(因为我现在正处在冯·拜尔所说的第三个阶段，所以我清楚地记得，卡斯特在我心中播下了实实在在的怀疑的种子。)几年以后，我成为哥伦比亚大学的研究生，我记得，我那出色的地层学教授嘲笑过到澳大利亚看大陆漂移证据的人。他带领一群忠诚的趋炎附势的学生齐声嘲笑。(我现在已处在第三个阶段，再回想这些，虽然有趣，但不爽。)出于对那位教授的尊敬，我必须说明，两年之后，他的观点迅速转变了，并将以后的岁月愉快地用在重新做他的毕生工作上。

今天，只不过才过了10年，我的学生会怀着更多的嘲讽抛弃那些否认大陆漂移说是明确合理的人——具有预言能力的疯子是有趣的，而陈腐的古板家伙只能叫人可怜。为什么在短短的10年就会发生如此深刻的变化呢？

绝大多数科学家坚持认为，或至少在公开情况下提出，在他们的专业中真理的获得是在一种被叫做“科学方法”的不会错的程序指导下，通过积累越来越多的材料。如果真是这样，我的问题就很容易解答。我们知道，在10年前，事实材料反对大陆漂移说；自那以后，我们增长了见识，又相应地修改了我们的观点。然而，我要指出，这样看问题一般说来是不切实际，就这个案例而言，也是完全不准确的。

在大陆漂移说遭到差不多普遍的抛弃期间，有关大陆漂移的直接证据，即从大陆裸露的岩石所得的材料，像今天一样的稀少。之所以抛弃大陆漂移说，是因为没人能提出一个物理机制说明大陆在明显固定的洋底上的流动。由于缺乏合理的机制，大陆漂移说被当作荒谬的观点抛弃了。似乎支持这个学说的材料，也总是被解释后消除。如果这些解释听起来牵强或强迫的话，那倒有可能选择另一个途径——承认大陆漂移。在过去的10年，我们已经收集了一组新的材料，这次是从大洋盆地。利用这些材料，再加上大量的创造性想像，以及对地球内部的更深刻理解，我们设想出一种新的行星动力理论。按照这个板块构造理论，大陆漂移成为一种必然的结果。曾经被完全抛弃的采自大陆岩石的旧材料，又发掘了出来，并被誉为大陆漂移的决定性证据。简而言之，我们现在承认大陆漂移，是因为它符合一种新正统观念的期望。

我把这个故事视为科学进步的典型。在旧的理论指导下，以旧的框架收集的新事实，很少能导致思想的实质改变。事实并不"讲述它们自己"；事实是按照理论解读的。创造性思想，在科学中和在艺术中一样，是改变观念的动力。科学是一项精美的人类活动，并不是机械地、机器人似的收集客观信息，在逻辑律的指导下，产生出必然的解释。我将从关于大陆漂移的"经典"材料中找出两个例子来说明这个论点。在大陆漂移说尚不流行的时候，这两个材料都是要清除的谎言。

Ⅰ．古生代后期的冰期。2.4亿年前，冰川覆盖了现在的南部非洲、南极、印度和澳大利亚。如果大陆是稳定的，这种分布带来了难以克服的困难。

A. 南部非洲东部的条痕走向表明，冰川是从现在的大西洋流动到这个大陆的（条痕是岩床上的条纹，是由于冰川经过时在冰川底下与岩石的冻结造成的）。世界的大洋是单一的系统，来自热带地区的热传递使开放海洋中任何大的部分都保持不冻结。

B. 非洲的冰川覆盖了现在的热带地区。

C. 印度的冰期肯定是在北半球的亚热带地区形成的，而且条痕表明是来自印度洋的热带水域。

D. 北方大陆没有冰川。假如地球冷得都能使热带的非洲结冰，为什么在北方的加拿大和西伯利亚却没有冰川？

如果南部大陆（包括印度）在这个冰期连接在一起的话，而且位置较南，连接着南极，那么这些困难便不存在了；南美的冰川来自非洲，而且不是通过开放的海洋；"热带的"非洲和"亚热带的"印度当时与南极连接在一起；北极位于大洋的中部，而且冰川未能在北半球形成。听起来就是大陆漂移；实际上，今天没有人怀疑这点。

Ⅱ．寒武纪三叶虫（生活于5亿—6亿年前的化石节肢动物）的分布。寒武纪

的欧洲和北美的三叶虫分成两个不同的动物群，按照现在的地图，它们的特定分布如下。“大西洋”区三叶虫，生活在全欧洲，并且生活在远在北美边缘的少数局部地区，例如东部（而不是西部）的纽芬兰和马萨诸塞东南部。“太平洋”区三叶虫生活在整个美国和欧洲最西海岸的少数局部地区，例如苏格兰最北部和挪威的西北部。假如这两个大陆一直相隔3000英里，那就极难理解这样的分布。

但是根据大陆漂移，则恰好解决这个问题。在寒武纪时期，欧洲和北美是分离的，大西洋三叶虫生活在欧洲周围的水域，太平洋三叶虫生活在美洲周围的水域。这些大陆（现在含有三叶虫沉积层的地区）然后便相互移动，最终连接在一起。后来，它们再次分开，但并不是严格按照以前相连时的路线，古欧洲的一些零散地区，携带着大西洋三叶虫，留在了北美的最东边，而北美的一些地块吸附在欧洲的最西边。

这两个例子，今天会被广泛用作大陆漂移的“证据”，但在以前的岁月里，被断然抛弃了，并不是因为材料不完备，只是因为没人能提出一个恰当的机制来说明大陆的运行。所有最初的漂移论者都设想大陆如何通过静止的洋底运行。大陆漂移说之父阿尔弗莱德·魏格纳（Alfred Wegener）在20世纪早期提出，万有引力就可以使大陆运动。例如，大陆之所以缓慢地向西移动，是因为太阳和月亮的引力使大陆升抬，而地球在下面转动。物理学家的反应是轻蔑的，他们用数学表明，万有引力没有那么大的力，不能造成这样巨大的运行。所以，支持魏格纳的南非人阿利克斯·杜·托依特（Alexis du Toit）试图寻找别的办法。他提出，大陆边缘洋底局部地区的放射性熔化，导致大陆滑动。这一假说也没有为魏格纳的设想增加多大的说服力。

因为在缺乏机制的情况下，大陆漂移说显得有些荒谬，所以正统的地质学家便试图把那些使人联想到大陆漂移的证据，解释为一系列无关联的巧合。

1932年，美国著名地质学家贝利·威利斯（Bailey Willis）努力使冰期的证据与静态的地球相符。他借用“地峡连接”来救场；地峡连接是横跨3000英里的断断续续的狭窄陆桥。他认为在巴西东边和非洲西部之间有一个地峡连接，另一个是从非洲经过马达加斯加到印度，第三个是从越南经过婆罗洲和新几内亚到澳大利亚。他的同事，耶鲁的教授查尔斯·舒彻特（Charles Schuchert）在澳大利亚与南极之间加了一条，以及另一条从南极到南美，从而使南部海洋与其他水域之间的隔离有了连接。有了这样的隔离海洋，便可以解释南部地区的冰冻，解释冰川流经南美东部。冰川的冷水还补给了南部非洲的冰川。对位于赤道上方，距南方冰川以北3000英里的印度冰川，则需要另作解释。威利斯写道：“无法合理地设想出两大冰川之间有任何直接的关联，这种情况必须根据一种普遍的原因与局部地理及地形情况来考虑。”威利斯的工作就是发明创造：他简单地构想一种地形上升，使热而湿的南方水分成为降雪。针对北半球温带和北极地区缺乏冰，威利斯重建了一个洋

流系统，以便他可以假设“在更冷的表面水下，有一种热的潜流向北流，在北极上升为热水加热系统。”舒彻特很高兴地峡连接提供了解决的办法：

全北区了不起的生物地理学家，从北非到巴西有一个陆桥，另一个从南美到南极（这个陆桥今天仍然存在），还有一个从极地到澳大利亚，并从澳大利亚穿过阿那夫拉海到婆罗洲、苏门答腊等到亚洲，再加上人们已经承认的风向、水流及迁徙鸟沿海架的扩散途径，而且他还有所需的所有可能性来解释生命的扩散，以及根据现在的大陆来排列地质时期的大陆区域和海区。

所有这些陆桥的惟一共同之处，就在于它们都是假设的，任何一个陆桥都没有一点直接的证据。然而，为了不把地峡连接这个萨迦[①]解读成教条主义者为了支持难以为继的正统观念而编纂的走了样的神仙故事，我要指出，对于威利斯、舒彻特及20世纪30年代的任何思想健全的地质学家来说，有一件事显得比设想数千英里的陆桥还要荒谬10倍，那就是大陆漂移本身。

凭借如此丰富的想像，寒武纪三叶虫已不是不可克服的问题。大西洋和太平洋被解释为环境不同，而不只是地方不同，太平洋是浅海，大西洋是深海。由于可以自由地编造寒武纪洋底几何形状的假说，地质学家绘制着他们的地图，信奉着他们的正统观念。

当大陆漂移说在20世纪60年代开始流行时，来自大陆岩石的经典材料没有起到任何作用；大陆漂移有了新的理论作依托，有了新型的证据作支持。魏格纳学说物理上的荒谬在于他相信洋底阻碍了大陆的漂移。但是怎么能发生漂移呢？洋底是地壳，必定是稳定的。而且地壳向哪里运动？地壳的片段运动难道没有在地球上留下裂开的洞？所有事情并没有更清楚。或者地壳运动可能吗？

“不可能”通常是由我们的理论来确定的，而不是自然来确定的。革命性的理论带来的就是意想不到。假如大陆必须踏海而行，那么大陆就不会发生漂移；然而设想一下大陆连接在洋壳上，随着洋壳片段的移动而被动地运动。但是我刚说过地壳运动会留下洞。这里我们走进了一个死胡同，必须凭借创造性的想像才能找到出路，而不是再到阿帕拉契的层峦中进行一番野外考察——我们必须以完全不同的方式建立地球的模型。

我们用一个比较合理的大胆设想，以便可以避开洞的问题。假如两块海底彼此离开，而地球内部如果产生出的物质填补了空缺，就不会有洞了。我们可以进一步将这个陈述的因果含义倒过来：从地球内部产生的新物质可能是使古海底运动

① 萨迦，指中世纪冰岛和挪威历史事件、历史人物、轶事传闻等北欧传说；萨迦式作品指的是英雄传奇和长篇记叙。——译者注

的驱动力。但是因为地球并没有扩大，必定存在古海底沉入地球内部的区域，故而维系了创造与毁灭的平衡。

确实，地表看起来像断裂成不到 10 个大“板块”，所有边缘由创造（洋脊）狭窄区和毁灭（海沟）狭窄区连接起来。大陆固着在板块上，当洋底从位于洋脊的创造区散开后，大陆便随着板块运动。大陆漂移说不再是因自己的正确而骄傲的理论，它成了我们新的正统观念——板块构造的一个被动结果。

我们现在有了一个变动论的正统观念，这个观念如同所取代的不变论一样的确定与不可妥协。这样，支持大陆漂移的经典材料又发掘了出来，并被当作确切的证据。然而这些材料当初在证实大陆变动观时没有起到作用；大陆漂移观只是在成为一种新理论的必然结果时，才取得了胜利。

这种新的正统观念使我们对所有材料的看法都变了；在我们复杂的世界中，没有“纯事实”。大约 5 年前，古生物学家在南极发现一种化石爬行动物，命名为 Lystrosaurus。它曾生活在南部非洲，或许还在南美也生活过（在南美尚未发现相应年代的岩石）。假如谁在威利斯和舒彻特面前说这是个大陆漂移的论据，他可能会遭到痛骂——似乎骂的对。因为今天的南极和南美依然几乎完全由一串岛屿连接着（今天的海平面如果稍微降低，就可以形成陆桥）。Lystrosaurus 可能在这个陆桥上信步漫游，这段旅程并不长。《纽约时报》根据这种观点写过一篇编辑文章，那时大陆漂移说已经被证实了。

我提出的理论更重要的论点可能会使一些读者困惑。这样不会导致教条主义和对事实的不尊重吗？当然会的，但不一定。历史的经验告诉我们，许多理论会被竞争的理论所抛弃。任何正统观念都不是不可动摇的。即使这样，我也不会因为对板块构造学投入很多情感而悲伤，原因有两个。我的具有文化背景的直觉告诉我，板块构造学基本上是正确的。我的内心深处告诉我，板块构造学太激动人了，足以表明常规科学比起冯·丹尼肯之流的任何杜撰，比起现在的及过去的那些使人上当受骗的百慕大三角之类的事情，要有趣得多。

作者简介：斯蒂芬·杰·古尔德（Stephen Jay Gould，1941－2002），著名进化论者、美国古生物学家、科学史家和科学散文作家，获得过美国国家图书奖。译成中文的著作有《自达尔文以来——自然史深思录》（三联书店 1997）、《熊猫的拇指》（三联书店 1999）、《追问千禧年》（三联书店 1999）、《生命的壮阔》（三联书店 2001）等。

文献来源：古尔德《自达尔文以来——自然史深思录》，田洺译，三联书店 1997 年版，第五部分第二十章（第 171－179 页）。沿袭原有标题。

世界的结构

巴　罗

可憎的太阳系，光线这么糟糕；行星相距遥遥万里；彗星时常来干扰；设计得这么糟；让我干可以做得更好。

杰弗里勋爵(Lord Jeffrey)

在生物进化中生物的复杂结构是由我们称之为“竞争”的过程促成的。实际上在竞争过程中，每一物种都在寻求一个生态小环境，在这样的环境中它最不需要与对手竞争。生物与其生长环境之间的这种共同适应的、相互作用的存在，需要有一定的背景条件作为支撑。在基因具有“自我”特性，生物的复杂结构得以发展之前，首先必须有这样的原子和分子：它们使复杂的结构和基因自我复制具备发展的可能性；必须有稳定的环境以及有适当的场所，让那些生物组织结构得以生存。所有这些条件必须能保持相当长的时间。

尽管看不见摸不着，但是，物质的内部却有一些特征使得上述条件得以满足。从根本上来说，正是这些东西才使得生命及其衍生物能够在难以形容的、被我们称之为银河系边缘孤寂的地方兴旺发展。它们并不能保证生命的存在，但没有这些，通过自然选择而自发进化成组织复杂的生物，其可能性是不存在的。

宇宙的深层结构包括四个方面，它们结合在一块儿形成了宇宙环境，在这样的宇宙环境中自然选择的必然结果是让时间之手去塑造生物的复杂性。

自然法则决定着整个世界随时间、地点的变动而变化的方式。目前我们都相信这些法则支配着下列四种自然力的活动：重力、电磁力、弱力(放射性)和强力(原子核)。从表面上看，这四种力在其作用范围、强度、受到特定限制的物质粒子的特征等方面有明显不同，但是随着温度的升高，作用的变化，这些力也随之变化，它们之间的差异也随之消失。我们过去将每种力都看作是宇宙中的一种单独特性，由此而产生的一些困惑，也随之消失了。几乎所有的物理学家们都认为，从本质上

说，这四种自然力将被证实是一种基本“超力”的四种不同表现形式，这种“超力”只有在非常高的温度下才表现出它的统一性。的确，这种统一性已在两种力（电磁力和放射力）的实验中被证实了。有趣的是我们发现世界的简易性取决于环境的温度。在低温下——在维系生命的生物化学认为必需的温度下，有原子的活动，世界呈现出复杂性和多样性，这是必然的。如果要使生物的结构更为复杂的话，必须打破使自然力的统一性无法显现出来的对称性。自然法则中的真正的简易性原则只有在这样的环境中才能突现出来，即当非常接近于宇宙大爆炸所产生的炽热环境中，热得不可能有结构复杂的“旁观者”时，世界才真正显示出简易性。

300年来，我们成功地运用自然法则的概念去解释宇宙，这一做法产生了一些负面影响，认为世界运行的方式是受外部施加的“法则”所决定的，而不是由每个事物内部的发展趋势所左右的。这种观念反映并鼓励着这样的宗教信条，即那些自然法则是由全能的神——上帝所决定的。自然法则的经济性、可理解性及其普遍性，过去一直被说成是在看得见的宇宙活动背后有神工在起作用的最具说服力的证据。

除了自然法则之外，我们还需要讨论宇宙起源时的状况，如果宇宙没有开端，那么要对它过去某一个时刻的具体情况作出规定。好在宇宙在很多方面看来与其起源的关系并不很大。创世大爆炸早期的高温将初始状态很多方面的记忆给抹去了，这就是为什么我们难以对大爆炸起源的情形进行重构，却能理解宇宙现在的结构的许多方面（尽管不是全部），了解它近代的历史而不知道宇宙开天辟地时的情景的一个原因。有些宇宙论学者认为，如果有关宇宙初始状态的所有记忆都不存在就再好不过了，这样的话，我们在理解宇宙现在结构的每个方面时也许就不必去了解它初始状态的情况。也有人，最著名的是J. 哈特尔（James Hartle）和S. 霍金（Stephen Hawking），近年来试图为初始状态找一个候选者。①

遗憾的是，我们能见到的那部分宇宙，尽管足有150亿光年之巨，却都是从初始状态很小的天体不断扩张而成的。虽然某个总“原则”也许确实对整个（可能是无尽的）宇宙的初始状态的一般结构起着支配作用，但是它无法帮我们确定那个扩张后成为今天我们看得见的那部分宇宙小天体的结构。

除了变化的法则和宇宙最初的详情之外，我们还需要了解其他一些东西才能区分我们所在那个宇宙和我们构想的其他宇宙。叫做“自然常数”的一组数字指出了自然力的强度、受法则制约的基本物质的性质，而这些强度与性质构成了自然的基本格局。它们将宇宙在不同的时空中完全保持一致的那些方面加以分类。这些类别包括自然力的内在强度、物质中基本粒子，如电子和夸克的质量、电子所带的电荷、光速。现在我们只要通过更精确的测量就可以确定这些数值。但是所有的物理学家都认为，即使不是所有常数，至少是许多常数应该根据自然力的基本理论的内在逻辑来确

① 在S. 霍金的《时间简史》与我的《终极理论》一书中对此都有描述。

定这些常数的值。的确对这些常数的正确预测是对任何这类理论的最终检验。

支撑着自然结构的四种自然力并不是一部完整的四重奏，它还必须加入自然法则是如何产生结果的这一信息。世界最奇妙之处莫过于几条简单的法则主宰着整个宇宙，而这样的宇宙却能产生许多复杂的情况和结构，环顾四周我们到处发现这种情况，而人类自己就是一个极佳的例子。自然法则是建立在这样的一种结构基础上的，在这样的结构中各种事态相互联系。有结构就存在对称。然而尽管人们重视自然法则，但是我们并没有目睹过这些法则。我们看到的是这些法则所带来的结果，而被这些法则视为金科玉律的对称说，在这些结果中却无法体现。比如，我们把一根针竖起来，然后放手。万有引力定律支配着它的运动，这一定律是完全公正的。在宇宙中它并不对任何一个特定方向有什么偏向，就这一点而言，它遵守的是对称性原则。然而，当针掉下去时，它必定朝着某一个方向。因此在任何具体的结果中，自然法则所包含的方向对称性就被打破了。同样道理，落在地上的针掩盖了支配其运动定律的对称性原则。在宇宙中我们随处可见这种"对称破缺"现象，而其起因确实无规律可循。这就使得受数量有限的对称定律影响的宇宙能够展现出复杂程度各异、各色各样非对称的形态。这就是宇宙怎么会既简单又复杂的道理。对于寻求自然基本法则的粒子物理学家来说，世界万事遵循的是简易律与对称律；而对于那些试图解释受对称律支配的大自然为什么会产生无序、各种各样不对称结果的人来说，大自然给人们留下深刻印象的东西，很难说是其简易性与对称性。生物学家、经济学家或社会学家注重的是自然法则所产生的结果的复杂性。这些结果的产生既不受简易性原则的影响，也不受对称性原则的影响，几百年前，自然神学家们试图让其读者相信，自然界中存在着神奇的对称性与简易性。现在我们明白，具有讽刺意义的是，正是背离了简易性原则才会有生命存在。也正是自然法则有管不住的地方，那些非自然法则，才使人类有可能生存下去。

将四个要素（法则、初始状态、恒量和对称破缺）分成两组对我们是有帮助的。自然法则和恒量具有强化统一性和简易性的特点，而初始状态和对称破缺使事物具有复杂性和多样性。这四个要素确定了宇宙环境的性质，它们之间只要在一个很小的范围内进行组合，就可以形成宇宙中任何一种复杂的形式。这个范围指的是可能存在生命的星系。它展现的是生命进化的必要环境。四要素中没有一种因素可以单独确保生命的进化，更不必说它能保证生命一直延续下去。当我们在探索环境如何满足生命进化和延续的条件时，我们发现了许多不寻常的副产品。我们对待宇宙、宇宙中的东西，以及我们自己的某些创造和强烈爱好的态度，实际上是宇宙结构对我们产生的微妙结果。

乍一看，宇宙作为一个整体似乎不可能对此时此地的事情产生这么大的影响。习惯性上我们认为身边的影响才是最大的。但是事物之间的联系可以是很微妙的。谁曾料想到庞大的宇宙会对人类的生存产生影响？事实上，很久很久以来许多哲学家一直以宇宙庞大为理由而忽视地球上生命的重要性。但是事物往往不像

它看上去的那样。生命从本质上说是原子和分子高层次上的一种有序复杂性的表现。任何稳定的复杂物体都产生于比氢和氦重的化学元素的化合。地球上自发进化的生命化学结构是由碳、氧、氮和磷等元素构成的，这些元素可以和氢化合成各种分子。但是像碳等元素是从哪里来的呢？这些元素并不产生于创世大爆炸，因为大爆炸冷却得太快。更确切地说，它们产生于恒星上缓慢的连锁反应。首先氢裂变成氦，氦再裂变成铍，铍燃烧后成为碳和氧。恒星爆炸后成为超新星，并将这些生物元素扩散到太空。最终，这些元素扩散到行星，进入植物、人体。这一"星球炼金"过程的关键是发生作用所需的时间。核反应是缓慢的，要产生能为复杂物体和生命提供建材的那类元素如碳元素则需成亿上万年的时间。因此，有生命存在的星系肯定是古老的星系。宇宙的年龄与它的大小是紧密相连的。宇宙大约有成亿光年之大，因为要形成复杂的生物所需的元素得经历成亿年。假使宇宙像银河系这么大，有 1 千亿个恒星系，这样的大小无法成为生命进化的环境，因为这样大小的宇宙只有一个多月的年龄。

如果宇宙中要存在生命，那么宇宙就必须庞大无比。但是有生命存在的宇宙，其所占空间之庞大与星球相距之遥远，又对生命的本身及其对世界的看法产生着影响。遥远的天体相互分离使得一部分人将天体视为神明；而逐渐认识到空间庞大的人却产生了一种悲观与渺小的感觉。我们的哲学思想与宗教信条，我们的推理小说与幻想都认为有外星人的说法是一种遥远的现实。外星人存在的可能性很小。宇宙的规模及宇宙中的物质匮乏是原因之一。假如我们把宇宙中所能见到的一切物质——所有的行星、恒星以及各个星系都算在一块儿，将其变成统一的原子海洋，最终我们在每一立方米的空间中才有一个原子，这一结果与我们在实验室中曾经获得过的最纯的真空情况相似。事实上，外层空间几乎就是真空。当然，太阳系内的物质密度大大高于这个平均值，因为太阳系中挤满了像行星、陨星、山脉那样的物质。如果有人想把这些物质聚集起来，成为集合体，我们会发现行星之间和恒星之间，以及星球上可能的文明世界之间相距有多远。每立方米平均 10 个原子的密度就相当于在一个直径为 100 多万公里的球形空间中才有一个人（比如说重 100 千克），也相当于在直径为 100 亿亿公里的范围内只有一个地球大小的行星，或在 10 倍于上述的空间中有一个太阳系。

作者简介：约翰·巴罗（John D. Barrow，1952－），英国天文学家，主要研究领域是宇宙学。他也是一位著名的科普作家，著作中译本有《宇宙的起源》（上海科技出版社 1995 年版）、《艺术与宇宙》（上海科技出版社 2001 年版）等。

文献来源：约翰·巴罗《艺术与宇宙》，舒运祥译，上海科学技术出版社 2001 年版，第二章（第 51－57 页）。沿袭原有小节标题。

❸ 生 命 ≫

世界最大的膜

刘易斯·托马斯

站在月亮上远望地球，让人惊讶得敛声屏气的事儿是，它活着。从照片上看，近景中干燥的、备受击打的月球表面，死沉沉如枯骨。高高地漂浮于天际，包着那层湿润的、发光的、由蓝天构成的膜的，是那正在升起的地球。在茫茫宇宙的这一方，惟它才是生机四溢的活物。假如你能看上足够长的时间，你会看到大块盘旋的白云半掩着陆地，陆地隐现于白云之中。假如你能看到从很远古的地质纪年的演化，你就会看到大陆本身也在移动，看到它们在地火的推动下，在地壳的板块上漂移。看上去，地球就是一个有组织的、自成一体的生物，满载着信息，以令人叹羡的技巧利用着太阳。

在生物学上，从无序中理出秩序的，是膜。你须能获取并抓住能量，贮存起准确的需要量，然后再把它均衡地释放出来。细胞会这样做，它里面的细胞器也会这样做。每一个生命集合都在太阳能的粒子流中摇摆不定，从太阳的代谢物中攫取着能量。为了活着，你必须能够跟平衡抗争，能够保持不平衡，积聚能量以抵抗熵的增加。在我们这样的世界上，只有膜才能处理这样的事务。

地球活起来之后，它就开始构造自己的膜，其基本的目的就是处理太阳能。起初，在地球上由水中的无机成分合成肽与核苷酸的前生物期，除水以外再没有什么东西来遮挡紫外线的辐射。最初的稀薄大气直接来自地球慢慢冷却时的排气过程，其中只有丝丝缕缕的几乎察觉不到的氧气。从理论上讲，水蒸气在紫外线的作用下也能发生光解而产生氧气，但量不会多，如尤里(Urey, H. C., 1893—1981, 美)指出，这一过程会有自我限制的作用，因为，光解作用所需的波长正是氧气所屏蔽的波长。氧气的制造几乎一开始就被切断了。

氧的制造需等待光合细胞的出现。它们生存的环境，必须有充足的可见光以

便进行光合作用，同时又必须遮蔽，不受那致命的紫外线的照射。伯克纳(Berkner，L. V.)和马歇尔(Marshall)推算出，绿色细胞必须生存在约十米深的水下，很可能是在水塘里，这些地方水比较浅，没有很强的对流(海洋不可能是生命的起源)。

你可以说，向大气释放氧气是进化的结果。你也可以反过来说，进化乃是有了氧气的结果。你怎么说都通。一旦光合细胞——很可能相当于今天的蓝绿藻——出现，未来的地球呼吸机制就形成了。从前，大气中氧的水平增高到今天氧气浓度的百分之一时，地球上的厌氧生物便受到了威胁，下一步，不可避免地要出现带有氧化系统和ATP(三磷酸腺苷)的突变型。有了这些，我们来到了一个爆炸性发展的阶段，千万种会呼吸的生命，包括多细胞的生命形式就可以滋生繁衍了。

伯克纳提出，曾有过两次这样的新生的爆炸，像大规模的胚胎学的转化一样：两次飞跃都有赖于氧的水平突破某一临界值。第一次飞跃，氧的浓度达到了现在水平的百分之一，遮挡住相当的紫外线，使细胞能够移居到河湖海洋的表层水域。这一变化发生在大约六亿年以前的古生代前期，这一时期的地质记载中海洋生物化石陡增证明了这点。第二次飞跃，出现于氧的浓度达到今天水平的百分之十的时候，距今约四亿年，这时，已经形成一个足够强大的臭氧层，减轻了紫外线辐射，使生命可以从水中出来，移居到陆地上。从此以后，生物的发展便畅通无阻，除了生物创造性的限度外，再没有什么能限制物种的发展了。

还有一件事说明我们极其有福。氧气吸收的，正是紫外线光谱带中对核酸和蛋白质最具杀伤作用的部分，而同时它又允许光合作用所需的可见光充分通过。如果不是氧气的这种半透性，我们不会这样进化起来。

从某种意义上说，地球也呼吸。伯克纳提出，氧气的生产和二氧化碳的消费，也许存在一个循环的过程，这个循环有赖于地球上动植物的相对繁盛，而几次冰期则代表呼吸的暂停。植物的过分繁茂可能曾使氧的水平高于今天的浓度，于是相应地引起二氧化碳的耗竭。二氧化碳含量的下降可能损坏了大气层的“温室效应”。二氧化碳温室效应为大气层保持着来自太阳的热量，温室损坏，热量就从地表辐射散失。气温的下降又反过来抑制了很大部分生物的生长。一阵长长的叹息，氧的水平可能下降了百分之九十。伯克纳推测，这就是使大型爬行类动物所遭到的灾难。它们的块头在一个含氧丰富的大气环境中还不成问题，但此时它们遭到了氧气耗尽的厄运。

现在，我们有离地球表面三十英里处的一层薄薄的臭氧层，它保护我们不受致命的紫外线的损害。我们很安全，通风良好，安然无恙。如果我们能避免那些可能乱鼓捣臭氧层或者可能改变二氧化碳浓度的技术的话，氧气还不是我们的大患，除非我们放手进行足够次数的原子爆炸，去杀死海洋中的绿色细胞。如果我们这样干，当然，那就是拉着绞绳往自己脖子上套。

大气是全然没有人情味的，本来很难跟它动感情。然而，它却又实在是生命的一部分，也是生命的产物，就像葡萄酒和面包。总的来讲，天空是奇迹般的成就。它在运行着，就它的设计功能来说，它就像自然界的一切一样运行无误。我不相信任何人能想像出什么办法使它更加完善，我们能做的，也就是偶尔把某一块云从一处移往别处。用"偶然"来解释天空这样的宏伟建筑是解释不通的。叶绿体的出现，也许有点幸运的成分，然而，一旦这些东西登场，天空的进化就绝对是命中注定了。"偶然"暗示着有替换物，暗示着有其他的可能性、不同的出路。在腮、鳔、前脑之类细节问题上，"偶然"可能起了作用。但天空的造成不会是这样。对于它，简直就没有别的出路。

我们应该称颂现在这样子的天空：就它的大小、就它功能的完美，它都是自然界万物之中最伟大的、无与伦比的协作成果。

它为我们而呼吸。它还为我们的欢乐保护着我们。每天都有几百万个陨星落入这层膜的外层，由于摩擦它们被化为乌有。没有这层屏障，我们地球的表面早就会像月球表面一样，在流星的轰击下化为齑粉。尽管我们的感受器还没有灵敏到听见那轰击，但我们还是感觉到了，我们会感到安慰：那声音就在我们头顶上，就像万点夜雨敲打着屋顶。

作者简介：刘易斯·托马斯（Lewis Thomas，1913－1993），美国医生、生物学家，美国科学院院士，也是著名的科普作家。著作中译有《细胞生命的礼赞》（湖南科技出版社 1992 年版）、《水母与蜗牛》（湖南科技出版社 1996 年版）、《最年轻的科学》（青岛出版社 1996 年版）。前两本书曾分别获得美国国家图书奖和美国图书奖。

文献来源：刘易斯·托马斯《细胞生命的礼赞——一个生物学观察者的手记》，李绍明译，徐培校，湖南科学技术出版社 1992 年版，第 127－130 页。沿袭原有文章标题。

生命始终是奥秘

雅各布

生物学家能准确无误地描述鼠的结构。他们会告诉你鼠是怎么活动、如何呼吸和消化的。然而对于鼠如何从卵细胞中形成，他们却一无所知。人是由数十万亿至数百万亿细胞所构成，鼠约有千亿个细胞。每个个体的所有细胞都是同一个细胞——受精卵的后代。虽然这些细胞具有不同的素质，并完成不同的功能。人们常说，受精卵的染色体系在脱氧核糖核酸的线性次序中编成密码，包含了对未来长成人时的描述。如今人们相信，在染色体中编进了成人的图纸密码，也就是说，具有使其分子结构按照时间和空间准确的程序产生的必要指令。然而，人们对此程序在实施中所遵循的内在逻辑仍不得要领。往往有人认为，拉普拉斯式的魔鬼能够在研究受精卵及其分子结构和组织后描述未来的成人。但是他们根本不知此魔除了脱氧核糖核酸外还当研究哪类分子以及该用何种算法。

生物学家所掌握的惟一逻辑是单维的。一旦添加了二维、三维就更不用说了，他们会不知所措。分子生物学的迅速发展归功于如下事实，即生物学信息偶然确定于底部单位——核酸的基和蛋白质的氨基酸——的线性排列顺序中。遗传学的信息、基本组织之间的关系、密码、物质代谢的环节、控制路线，总之，遗传的全部逻辑是以单维起作用。所以，分子生物学家不放弃这项工作并希望继续在蛋白质和脱氧核糖核酸的次序分析中探索单维的世界是不足为奇的。

然而胚胎的发育却不再仅仅发生在线性的世界中。基因的单维结构决定二维的细胞层的产生。后者十分精确地起皱而构成器官的三维组织；接着又赋于器官以形态和素质，以及如 S. 本茨尔所说，给予它四维的态度。有关最后一项的发生，始终还是奥秘。

作者简介：雅各布（Francois Jacob，1920－），法国生物学家和分子生物学家，获 1965 年诺贝尔生理学和医学奖。

文献来源：狄特富尔特等编《人与自然》，周美琪译，殷叙彝校，三联书店 1993 年版，雅各布"始终是奥秘"见该书第十章第一节，（第 315－316 页）。标题为编者所加。

生命是什么

薛定谔

生命物质避免了趋向平衡的衰退

生命的特征是什么？一块物质什么时候可以说是活的呢？那就是当它继续在“做某些事情”，运动、新陈代谢，等等，而且可以指望它比一块无生命物质在相似情况下“维持生活”的时间要长得多。当一个不是活的系统被分离出来，或是放在一个均匀的环境里的时候，由于各种摩擦阻力的结果，所有的运动往往立即陷于停顿；电势或化学势的差别消失了，倾向于形成化学化合物的物质也是这种情况，温度由于热的传导而变得均一了。在此以后，整个系统衰退成死寂的、无生气的一团物质。这就达到了一种永恒不变的状态，不再出现可以观察到的事件。物理学家把这种状态称为热力学平衡，或“最大值的熵”。

实际上，这种状态经常是很快就达到的。从理论上来说，它往往还不是一种绝对的平衡，还不是熵的真正的最大值。最后达到平衡是十分缓慢的。它可能是几小时、几年、几个世纪……举一个例子，这是接近平衡还算比较快的一个例子：倘若一只玻璃杯盛满了清水，第二只玻璃杯盛满了糖水，一起放进一只密封的、恒温的箱子里。最初好像什么也没有发生，产生了完全平衡的印象。可是，隔了一天左右以后，可注意到清水由于蒸汽压较高，慢慢地蒸发出来并凝聚在糖溶液上。糖溶液溢出来了。只有当清水全部蒸发后，糖才达到了均匀地分布在所有水中的目的。

这些最后是缓慢地向平衡的趋近，决不能误认为是生命。在这里我们可以不去理会它。只是为了免得别人指责我不够准确，所以我才提到它。

以“负熵”为生

一个有机体能够避免很快地衰退为惰性的“平衡”态，似乎成了如此难解之谜，

以致在人类思想的最早时期，曾经认为有某种特殊的非物质的力，或超自然的力（活力，“隐得来希”）在有机体里起作用，现在还有人是这样主张的。

生命有机体是怎样避免衰退的呢？明白的回答是：靠吃、喝、呼吸以及（植物）同化。专门的术语叫“新陈代谢”。这词来源于希腊字（$\mu\varepsilon\tau\alpha\beta\acute{\alpha}\lambda\lambda\varepsilon\iota\nu$），意思是变化或交换。交换什么呢？最初的基本观点无疑是指物质的交换（例如，新陈代谢这个词在德文里就是指物质的交换）。认为物质的交换应该是本质的东西的说法是荒谬的。氮、氧、硫等的任何一个原子和它同类的任何另一个原子都是一样的，把它们进行交换又有什么好处呢？过去有一个时候，曾经有人告诉我们说，我们是以能量为生的。这样，使我们的好奇心暂时地沉寂了。在一些很先进的国家（我记不清是德国还是美国，或者两个国家都是）的饭馆里，你会发现菜单上除了价目而外，还标明了每道菜所含的能量。不用说，这简直是很荒唐的。因为一个成年有机体所含的能量跟所含的物质一样，都是固定不变的。既然任何一个卡路里跟任何另一个卡路里的价值是一样的，那么，确实不能理解纯粹的交换会有什么用处。

在我们的食物里，究竟含有什么样的宝贵东西能够使我们免于死亡呢？那是很容易回答的。每一个过程、事件、事变——你叫它什么都可以，一句话，自然界中正在进行着的每一件事，都是意味着它在其中进行的那部分世界的熵的增加。因此，一个生命有机体在不断地增加它的熵——你或者可以说是在增加正熵——并趋于接近最大值的熵的危险状态，那就是死亡。要摆脱死亡，就是说要活着，惟一的办法就是从环境里不断地汲取负熵，我们马上就会明白负熵是十分积极的东西。有机体就是赖负熵为生的。或者，更确切地说，新陈代谢中的本质的东西，乃是使有机体成功地消除了当它自身活着的时候不得不产生的全部的熵。

熵是什么？

熵是什么？我首先要强调指出，这不是一个模糊的概念或思想，而是一个可以计算的物理学的量，就像是一根棍棒的长度，物体的任何一点上的温度，某种晶体的熔化热，以及任何一种物体的比热等。在温度处于绝对零度时（大约在$-273℃$），任何一种物体的熵等于零。当你以缓慢的、可逆的、微小的变化使物体进入另一种状态时（甚至因此而使物体改变了物理学或化学的性质，或者分裂为两个或两个以上物理学或化学性质不同的部分），熵增加的总数是这样计算的：在那个步骤中你必须供给的每一小部分热量，除以供给热量时的绝对温度，然后把所有这些求得的商数加起来。举一个例子，当你熔解一种固体时，它的熵的增加数就是：熔化热除以熔点温度。由此，你可看到计算熵的单位是卡/度（摄氏）（就像卡是热量的单位或厘米是长度的单位一样）。

熵的统计学意义

为了消除经常笼罩在熵上的神秘气氛，我已简单地谈到了这个术语的定义。这里对我们更为重要的是有序和无序的统计学概念的意义，它们之间的关系已经由玻尔兹曼和吉布斯在统计物理学方面的研究所揭示。这也是一种精确的定量关系，它的表达式是

$$\text{熵}=K\log D,$$

K 是所谓的玻尔兹曼常数(3.2983×10^{-24}卡/℃)，D 是有关物质的原子无序状态的数量量度。要用简短的非专业性的术语对 D 这个量作出精确的解释几乎是不可能的。它所表示的无序，一部分是那种热运动的无序，另一部分是存在于随机混合的、不是清楚地分开的各种原子或分子中间的无序。例如，上面例子中的糖和水的分子。这个例子可以很好地说明玻尔兹曼的公式。糖在所有水面上逐渐地"溢出"就增加了无序 D，从而增加了熵(因为 D 的对数是随 D 而增加的)。同样十分清楚的是，热的任何补充都是增加热运动的混乱，就是说增加了 D，从而增加了熵。为什么应该是这种情况呢？只要看下面的例子就更加清楚了，那就是，当你熔化一种晶体时，因为你由此而破坏了原子或分子的整齐而不变的排列，并把晶格变成了连续变化的随机分布了。

一个孤立的系统，或一个在均匀环境里的系统(为了目前的考虑，我们尽量把它们作为我们所设想的系统的一部分)，它的熵在增加，并且或快或慢地接近于最大值的熵的惰性状态。现在我们认识到，这个物理学的基本定律正是事物接近混乱状态的自然倾向(这种倾向，跟写字台上放着一大堆图书、纸张和手稿等东西表现出的杂乱情况是同样的)，除非是我们在事先预防它。(在这种情况下，同不规则的热运动相类似的情况是，我们不时地去拿那些图书杂志等，但又不肯花点力气去把它们放回原处。)

从环境中引出"有序"以维持组织

一个生命有机体通过不可思议的能力来推迟趋向热力学平衡(死亡)的衰退，我们如何根据统计学理论来表达呢？我们在前面说过："以负熵为生"，就像是有机体本身吸引了一串负熵去抵消它在生活中产生的熵的增加，从而使它自身维持在一个稳定的而又很低的熵的水平上。

假如 D 是无序的量度，它的倒数 $1/D$ 可以作为有序的一个直接量度。因为 $1/D$ 的对数正好是 D 的负对数，玻尔兹曼的方程式可以写成这样：

$$\text{负熵}=K\log(1/D)$$

因此，"负熵"的笨拙的表达可以换成一种更好一些的说法：取负号的熵，它本身是

有序的一个量度。这样，一个有机体使它本身稳定在一个相当高的有序水平上（等于熵的相当低的水平上）的办法，确实是在于从它的环境中不断地吸取秩序。这个结论比它初看起来要合理些。不过，可能由于相当烦琐而遭到责难。其实，就高等动物而言，我们是知道这种秩序的，它们是完全以此为生的，就是说，被它们作为食物的、复杂程度不同的有机物中，物质的状态是极有秩序的。动物在利用这些食物以后，排泄出来的是大大降解了的东西，然而不是彻底的分解，因为植物还能够利用它。（当然，植物在日光中取得了“负熵”最有力的供应。）

作者简介：埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger，1887－1961），奥地利理论物理学家，量子力学创始人之一，因创立波动力学理论而获 1933 年诺贝尔物理学奖。所著《生命是什么——话细胞的物理学观》一书极大的推动了物理学和化学向生物学的渗透，其中提出的遗传密码理论为分子遗传学的发展奠定了基础。著作中译还有《自然与古希腊》（上海科技出版社 2002 年版）等。

文献来源：薛定谔《生命是什么？——活细胞的物理学观》，傅季重、赵寿元、胡寄南等译校，上海人民出版社 1973 年版，第六章（第 76－81 页），沿用原书标题。

生命的一般性质

克里克

要想给“生命”或“活的”下一个简要的定义，不是一件容易的事。所谓“活的”不一定就意味着它能思考或有感觉，因为对于生物学家来说，植物无疑是活的，但除了极少数缺乏科学训练而又容易轻信的人之外，几乎没有人会相信植物也能像我们人和其他动物一样进行思考和感觉。细菌——尽管那么小，可却有感觉，它们甚至能“嗅”到食物分子并向它们游去，当然也应当被认为是“活的”。病毒就更难说清楚了，但有了它们，我们就达到接近生物与非生物的边界。也许解决这个问题的最好方法是去尝试描绘我们知道的生命基本过程，像一层层地剥掉洋葱的皮，直到什么也不剩为止，然后再归纳出我们从中发现了些什么。

当我们在研究这些问题时，我们不禁要为生物组织的复杂程度而震惊。其复杂性可在各级水平上表现出来，尤其是在分子水平上。我们有充分的理由相信，肉眼能看到的和只有在显微镜下才能见到的生物组织结构，全都是建筑在它们分子组份的错综复杂的相互作用之上的。因此对于这些高分子究竟复杂到什么程度以及它们又是怎样合成出来的，我们很想搞清楚。

蛋白质家族无疑是我们在活的生物体中发现的分子结构的最明显的一个例子。即使一个比较简单的蛋白质要形成一个精确的三维结构，也需要有两千多个原子。除非在受热时，热运动引起的连续碰撞会造成结构的变形，否则蛋白质的每个原子都会有它自己的固定的位置。而且正是这种复杂的三维空间结构决定了蛋白质的功能。如果将溶解在水中的蛋白质加热，在大多数情况下，蛋白质中固定下边链于正确位置上的弱键首先因受热而松动并进而发生断裂，最终导致蛋白质分子结构变得秩序混乱。这样，原先那种由适当的化学基团位于表面的正确空间就不复存在，因此也就不能再发挥它原有的功能。如果溶液中的其他所有的蛋白质分子也都呈结构无序状态，它们就会彼此黏连起来而发生凝聚，以至当溶液重新冷却下来以后，这些绞在一起的物质亦不能再解开。例如当我们煮鸡蛋时会发现蛋

壳内原先柔软黏稠和有流动性的蛋白质悬液会机械地凝聚成固体，不可能再重新混合了。

乍看起来，要精确无误地复制一个完整的按原来折叠方式的蛋白质的三维结构，是一件非常困难的工作。人们可以想像如同制作一个雕塑那样，我们可以做一个分子模型的外形，但如何去复制分子的内部呢？大自然用一个绝妙的窍门解决了这个困难。多肽链合成是先在一维方向上向前伸展着，然后再自我折叠起来。折叠的过程是在侧链的精确格局引导下进行的，这个侧链排列形式是由侧链与侧链之间及侧链与主链之间的多重弱的相互作用决定的，向前伸展的分子利用热运动提供给它的机会，连续地摸索着发现最适宜的折叠位置。这样分子的各个组成部分就干净利落地滑到它们自己的最佳位置，各组分之间密切配合，而往后的热运动相对地讲，不会使分子的三维结构受到干扰。

为了制造这个所有细胞都需要的非凡的分子结构，需要将氨基酸按照正确的顺序连起来（即多肽链的制备）。这是一个复杂的生物化学过程，一个分子的装配线要以核酸信息带（即所谓的信使 RNA）作指南。这里我们要问的是世界上到底可能有多少种蛋白质？如果一个特殊的氨基酸顺序是随机地被选择出来的，那事物出现的可能性有多大呢？

下面是一个简单的排列组合练习。假如一条蛋白质链大约有 200 个氨基酸那么长（这比各种蛋白质的平均长度还短一些），那么在每个位置上出现的氨基酸都有 20 种可能性，可排列出来的氨基酸顺序有 20 自乘 200 次之多，即有 20^{200} 种排列形式，大约等于 10^{260}，也就是 1 的后面要有 260 个 0！

这个数字大大超越了我们日常的理解力。为进行比较，我们不妨以星球为例设想一下在整个可见宇宙中的基本粒子（通常所说的原子）的数目，除了我们自己的银河系中的 10^{11} 颗星球外，还包括我们看不到的太空中所有几十亿个星系中星球的总数，估计约为 10^{80} 个，但与 10^{260} 这个数字相比真是微不足道。此外，我们在这里考虑的只不过是一个中等长度的多肽链，假如我们从更长一点的肽链出发，可能排列出的蛋白质的数字就更大。自从地球上出现生命以来，在这么长的时间里曾经合成出来的各种多肽链的数目，实际上只占了我们能排列出来的巨大数目中的一个极小的部分。

而在全部可能排出的各种蛋白质序列中，绝大多数从未合成出来过。因为上述计算只是单纯地从氨基酸排列顺序的可能性出发，其中有许多序列根本不可能适当地折叠成稳定紧凑的结构。结构上合理的可能序列占多大比例尚不清楚，但据推测也是相当少的。

打一个不太严谨的比方，可能将问题说得更清楚些。如用英语写一段文章，大约有 30 个符号（包括字母和标点符号，不算大写字母）即可。这样一个典型段落拥有的符号数大约与一个典型蛋白质拥有的氨基酸数目相当。我们可类似地计算出

在这一段文字中可能出现的各种字母排列顺序的数目会大得惊人。假如我们让多达10亿只猴子分别在10亿台打字机上随意地打字，即使它们用上长达宇宙现年龄那么长的时间也无望能打对一首莎士比亚的十四行诗。在猴子打出来的段落中的绝大部分毫无意义。如果我们要问其中可能有类似意思的段落究竟能占多大比例，答案也是微乎其微。但是，能够打出来意思上讲得通的段落的数目肯定很多，虽然目前我们尚无简易方法来估计这个数目。同理，世界上可能有的各种紧凑稳定的蛋白质的数目必定也是很多的。

甚至在非常基础的水平上我们也已经发现，在许多相同的复制中都存在着非常复杂的结构，组织的复杂程度决不可能是纯粹偶然地产生出来的。从这一观点来看，生命的出现的确是一件极难遇到的事件，可是在我们周围到处充斥着生命，为什么这个如此难遇的东西却这么普遍地存在呢？

剥去它诸多迷人的复杂外衣，它的基本机制却非常简单。达尔文和华莱士在阅读过马尔萨斯著作之后都在思考他的这个观念，活着的生物必须要有竞争，争食物，争配偶，争生存空间，尤其是要与它们自己的同类进行竞争。此外，它们还必须躲避掠夺者和其他危险。由于上述种种原因，一些生物留下了比另一些生物较多的后代，而正是这个优秀的复制者能够将它的遗传特性优先地传给它的后继子孙。用专业的术语来表示，如果一个基因属于增强它的携带者的适应性，那么这个基因就比较容易在它的下一代的基因库中找到。这就是自然选择的本质。乍看起来这似乎是个重复的赘述，然而，它可不是一句空话，而是基础的机制，我们能用很抽象的名词来描述它们是什么吗？

最初的明显要求就是复制，并按这一要求不断复制下去。需要携带大量的信息作为指南才能构造表示生命特征的复杂的事物，除非该信息能够相当准确地进行复制，否则在累积的错误影响下复制机制将会衰退。另一方面复制也并不是要求达到百分之百的准确，所有的复制品也并不要求非得完完全全与原件一样不可。如复制过程中发生了较多的差错，将是一个障碍，但少量的差错可能是一种进步，使基因的功能更有效地起作用，为了进行自然选择，显然需要这种被称为遗传上的差错——变异，但不能太多。实际上在复制过程中出现差错的几率非常低，而且细胞往往不得不采取特别的防卫来纠正绝大部分已发生的差错。当物种要继续维系它自身或进化时，需要留下一些差错去产生变异。

要注意，变异也必须在复制机制作用下来实现，这一点是很重要的。而那些不能复制的错误是没有用的，它们只能搅乱系统，这样的错误必须设法消除。复制系统有可能不理会这样一个化学错误，随意地填上一个标准字母。对于自然选择的运行来说，只要最终结果出现一个变更，而且在它的子代中可以切实地进行复制，那么所有发生的差错都不算一回事。

复制和变异是两项基本的要求。现已清楚基因的适应性是大小不定的。其可

能具备的最低限度优势是能比其他相关物能更快地或更加经常地直接产生合适的蛋白质密码——信使 RNA。这样，一些特别的和具有理想性质的蛋白质，就可通过 RNA 复制出来并携带它在物种斗争获胜的有利基因而产生又多又好的后代。用术语说，一个改进了的基因通常不仅会改变基因型(生物体基因的总合)，而且还会改变它的表现型(一般说，是指生物体所表现出来的性状)。这通常是由生物体内一种或几种蛋白质的性质或它们的丰度决定的，因为蛋白质控制着生物体内绝大多数的化学活性，而核酸，尤其是 DNA，除了能进行复制及编码蛋白质和结构 RNA 分子以外，几乎不能影响生物体的化学反应。

除了上述那些一般性要求外，还有最后一项要求。就是我们必须避免“交叉喂养”的现象出现。一般来说，我们不想有任何竞争者也从我们的基因产物中受益。我们希望基因的产物仅仅有助于基因本身。也就是说我们必须设法将一个基因和它的产物保持在一起。在最低一级水平上可方便地通过将基因和它的大多数产物保存在同一个口袋中来实现。这个袋子叫细胞。细胞周围由非常薄的半透性膜包围着以防止细胞内绝大多数分子流失出去，当然不包括那些需要排出去的分子。在膜上有特殊的通道和分子泵使细胞得以从外边摄入食物和其他分子，并将胞内的废物和其他经挑选出来的分子排出去。

这是概括地介绍一下构成生命信息系统的几个主要要求，但可能从中涌出来更直接的和更广泛的要求。由于需要多复制一些分子，我们必须保障有充足的原料供应。除非在极特殊的情况下，这些成分需要转化成其他相关的成分。在当代的生物细胞中，每一个这样的步骤通常都是由一种特殊的蛋白质——一个专门作用于该反应的酶——来催化的。在生命起源时，这些主要原料肯定已妥当地处于马上就能利用的状态，因为在那个时候几乎不可能存在任何能使“原始汤”变得合适的特种催化剂。

进行有机合成需要供给能量，而且必须是有效的能量，其专业术语为自由能，这里不能仅从字面上来理解。自由能并不表示其不可捉摸(该词有一个相当确切的热力学意义)。从窄义的自由能概念出发这个系统并非处在平衡状态，虽然它有可能是处在动态平衡中。打一个不很严格的比方，这好比一个有河水源源流入和流出的池塘，看起来池塘相当平静，水面就像是静止的，但河水却保持着稳定的流动。一个生命系统与上面情况十分类似，原材料和自由能源源流入，而废物和热量不断流出。用专业术语说这是一个开放系统。生命只有以这种方式才能不断地维持它反复复制过程中所需要的各种成分的合成。

以上都是生命的基本需求。生命体系必须能够直接地复制它自己的遗传指令以及间接地复制那些执行指令所需的机制。遗传物质的复制需要相当准确，并尽量减少出现那些能够发生突变的错误，即产生的这些错误还能够持续将错就错地往下复制的现象。一个基因和它的“产物”必须紧密地保持在一起。系统将是一个

开放体系，而且无论用什么方式必须保障原料和自由能的供应。

前面用了这么多各学科的术语来叙述生命的基本需求并不算过分，很显然，如果一切都从头开始，那就会太困难了。这个体系有一个不大令人发觉的特征就是它具有惊人的自我改进的能力。假如在复制过程中稍稍发生一些稀有的错误可能会带来什么问题呢？

过程的连续性是第一件要抓住的事。该系统无论取得了多么令人惊奇的结果，它都会持续有效地向下进行。不过这意味着每复制一"代"数目增大一倍。大多数人熟悉这个连续翻番的思想，它将很快地接近一个难控制的巨大数目。如同传统故事中的一个国王或苏丹，当他要奖赏他的臣民时就会问他想要什么。一位乍看起来像要求低廉的人，指着棋盘对国王说，他请求在第一个方格中放一粒小麦，在第二个方格中放 2 粒，在第三个方格中放 4 粒，在下一个方格中放 8 粒，依次类推，每次加一倍。人们想到棋盘上只有 64 个格，会以为这是一个并不十分过分的请求，但一个简单的代数运算表明这需要$(2^{64}-1)$粒小麦，这是比10^{19}还多的巨大数字，相当于 1000 亿吨小麦。能填满一个边长约 4 英里的立方体。天哪！这根本不是什么低廉的请求！

如果一个生物系统以这种方式持续成倍地增长，它们需要大量的原料和能量作为食物，很快就会耗尽它直接环境中的资源。这样，在不太长的时间内，个体间就会为食物而发生竞争。由于食物和能量的供应都是有限的，整个系统不能这样持续无限制地增长下去，而是要达到一个稳定状态。在稳定阶段，每一个生物个体平均每一代只能留下一个后代。由于一些个体可能有双倍的后代，其余的则不能进行生殖。这完全要碰机会了。有的生物可能碰巧出生在食物富足的地域，而另一些则可能运气不佳被饿死了。假如有一个基因发生了突变的特殊生物个体由于种种原因使它在竞争中取得较大成功，总体来说它会平均留下更多的后代，于是就在群体中增加了它的代表，这样，其余不占优势的生物个体势必产生较少的后代。如果这个过程无限地继续下去，那么不占优势的类型将最终完全消失掉，而携带高效基因的个体类型将完全占有这一物种。其中值得注意的是，在此简单过程作用下，某一偶然突变也会转为正常。

只要能遇到产生新的有利的突变的机会，这一过程就会不止一次地出现。而且在改良的基础上还能再进一步改良，长久不断一直进化到形成能与它的环境极为协调的生物体为止。须知，欲达到这样设计的完美，所需要的只是由机遇而产生的突变。这里面似乎没有什么机理可谈，肯定不存在指导基因只向着形成有利变种方向进化的普遍机制。此外，人们可能会争辩，如此这样一个长期的指导机制可能是太僵硬了。当情况变得不能将就时就需要真正新变种的出现——新变种的重要特征是不可能预先计划出来的——为此，我们只有依赖机会。机会是真正新变种的惟一源泉。

这就是自然选择的力量，它能在各级水平上发挥作用。特别是，它能产生改进选择本身的机制——有性生殖就是这样一个例子。很难给环境下一个准确的定义，但是假如环境保持稳定，那么自然选择往往会趋于保守，并在小范围内保持着一群进行种间杂交的生物个体，从不太严格的意义上讲，这是因为该生物已经达到完美。在此之前，所有比较难遇到的突变机会都已碰到，而任何进一步的改进则需要再遇上一个极难遇到的机会。然而，如果环境发生变化，或者一些个体由于种种原因有效地从其余群体中独立出来，这个平衡就有可能被打破。在这种情况下自然选择就又变得更富有创造力。在详尽的进化理论中占有重要地位的复杂性不至于在这儿挡住我们，特别是我们所关心的在很大程度上只是有关生命的起源问题，而且提供的过程又相当粗略。其中重要的是要抓住这个过程广泛的和一般的特征并清楚地理解为什么这样一套简单的设想能够演绎出这么显著的和意料不到的结果。

就我们所知，还没有发现其他的机制也能够这样有效地据以得出类似的结果。获得性遗传的继承大概是一种可能性吧。通过后天的努力，长颈鹿使自己脖颈变得长一些，能吃到树上最高处的嫩叶子，从而得到较多的食物。我们也可以想像，这导致它的后代有较长的脖颈以更适应于生存竞争。就我所知，还没有一个人能从理论上解释清楚为什么这样一个机制不如自然选择那么有效，可能人们会怀疑这种机制没有后者那么灵活，尤其是当环境需要产生一个真的新变种去越过进化的转折点。总之，需要有一个过程，动物或植物的体细胞中的信息能够靠着它传达给生殖细胞——卵子或精子。最近已有人提出这样一种机制，但是要想拿出有力的证据是很复杂的，因此目前这一理论还是很脆弱的。可以想像获得性特征的继承在进化过程中曾起过一些小的作用，但它绝不可能被证明起过主要作用。

生命体系还有哪些其他十分普遍的要求呢？对于我们深为关切的任何生命形式至少是要中度难解的，事实上很可能需以非常复杂的眼光去对待。我们不知道宇宙结构在哪一级水平上，会由于其本质而产生如此高的复杂程度。我们知道的惟一能执行的机制就是自然选择，上面我们刚刚概述了它的各种需要。

我们已看到这其中包含着大量信息的贮藏和复制。完成表达信息惟一有效方法就是利用组合原则。也就是我们只用为数不多的几种标准单位，并通过他们以多种不同方式的组合来表达信息。这个原则的一个最好的例子就是写作。我们知道生命是利用标准单位的线型串，但也可被想像成是由有次序的单位片甚至三维的结构组成的，尽管这样复制起来是很不容易的。这些结构应当不仅含有信息，即它们的结构不应当是完完全全规则的，而且信息的内容必须易于准确地复制。还有，最重要的是信息应当具有较长的稳定时间，起码得比复制它所需要的时间长，否则出现错误的频率会太大，自然选择就不能完成。这样，由标准单位的广泛组合形成的稳定结构，对于进化任何较高形式的生命是必不可少的。如果我们不是使

用这个仅根据少量标准单位的各种组合的方法来表达信息的话，复制的机制就会增加难度，就像我们不是采用英文字母而是用中国字来印刷或打字一样，那可是要有几千个不同的单位。

另一个一般性要求是过程不能进行得太慢。虽然我们至今仍不能根据第一原则计算出进化的速率，但是如果一个生命体系形成的过程，比如说，比我们现今的进化过程慢十倍或百倍，那么即使是从宇宙大爆炸后不久即开始进化，到现在也发展不成像我们这样复杂的生物种。反应虽然能够在固体内进行，但反应速度太慢，因此任何生命体系若是建立在固态之上，发展过程一定不够快，所以我们只能着手从液态和气态上去考虑生命的诞生问题。

而生命也不可能在纯气体状态下产生，其道理是只有小分子才能成为真实气体，又因为即使气体分子之间不存在特殊的吸引力的话，也会有可感觉到的非特种力（物理学上称为范德华力）。所有原子之间都存在范德华力，虽然它仅在短距离内起作用，但它们会随着分子尺寸的增大而加大。我们会想像得出一个信息分子必定是比较大的，这样它们才能实现利用组合的方法完成表达的功能，因此它不大可能是气态的，除非它处在高温或极低的气压下，前者它面临着被热运动破坏成碎片的危险，后者会引起别的麻烦。特别是，气相分子的浓度必然很低，这将大大降低所需要的化学反应速率。综合上述各种原因，要想完全在气相中设计出来一个哪怕只是似乎有理的生物体系都是极为困难的。

但如果情况是微粒状的固体或滴状的液体（当然若液滴外被一层特殊的膜包着也行），在气相中任意流动，可能性就大一些。在这种情况下，也难以争辩说："这样的生命方式是很不可能的。"看起来从这样一个系统出发似乎不大可能进化成任何大的生物体，可是这里人们必须小心。陆生动物和植物的广泛存在表明，一旦一个体系经种种方法取得了某些进步，自然选择就能够十分巧妙地克服这类障碍。看来解决这个问题的最简单办法是采用这样一个包含着大量排列组合方式的体系，它类似固态，但在细微结构上又是固体漂浮在周围液体中。除此之外别的其他构想似乎都无法取得进展。碳原子比其他任何原子都优越，能通过化学键与其他原子结合形成几乎无穷种有机化合物分子；又因为水是宇宙间分布最丰富的分子，因此很容易发现大量的液态水，这样，当我们知道生命是基于以水作为溶剂的碳化合物的事实后，不会感到太意外。

当然，在宇宙的其他地方，生命可能会基于别的什么物质而存在。在低温下液氮也可充作溶剂，虽然作为溶剂不及水那样通用，而且水是一种非常好的溶剂。已有人提出硅可以代替碳。因为硅也是一种含量很丰富的元素，至少它在地球的表面相当丰富，硅能与氧结合形成各种结构的硅化物。其中一些呈片状，少数为线形结构，但绝大多数为较复杂的三维结构，晶体或非晶体，看起来它们不大容易构成自然选择的基础，除非是以一种非常笨拙的方式。

这样我们就看到基于其他材料来形成生命不是不可能的。其中有些体系，也确实值得进一步研究，但是至今，在所有看来很有希望的体系的研究中，还没有一个成功的。在一些体系中，例如在等离子区或在恒星的内部，不大可能有生命。在太阳的内部需要满足下述条件，才会形成某种形式的生命，即要有持久稳定的核子组合，它们能够进行变化无穷的排列组合。大家知道在太阳内部进行的反应可能速度非常快，这是因为那里的温度极高。实际上太阳已经持续稳定地照耀了那么多年，表明那里的核反应进行得相当慢。也许一颗恒星在爆炸时所发生的那些反应可被认为是自然选择的最原始形式，但由于爆炸是如此短暂，以至于该过程在还未来得及发展的时候就被冻结起来。

幸运的是，我们并不需要在这里探讨这些相当遥远的可能性。我们的生命形式确实是基于水溶液中的碳化合物。我们关心的将是这些有机化学成分像什么和它们又是怎样相互作用的。

作者简介：弗郎西斯·克里克(Francis Crick，1916－)，英国分子生物学家，因与沃森一起提出了 DNA 的双螺旋结构模型，而获 1962 年诺贝尔生理学和医学奖。他也写作了大量科普著作，译成中文的有《生命：起源和本质》(科学普及出版社 1993)、《狂热的追求——科学发现之我见》(中国科技大学出版社 1994 年版)、《惊人的假设——灵魂的科学探索》(湖南科技出版社 1999 年版)等。

文献来源：克里克《生命：起源和本质》，王淦昌、姚瑷译，科学普及出版社 1993 年版，第四章(第 23－33 页)。沿袭原有标题。

生命的历史特征

贝塔朗菲

有机体表征为三个最重要的属性：组织化、过程的动态流和历史性。如前所述，“生命”不是一种诸如电、引力、热等的力或能，力或能是内在于任何自然物或可以传递给任何自然物。生命只限于具有特定组织的系统之中。生命的另一个特征是有机体中的连续流和过程的型式。最后一个特征是，每个有机体来源于同类的其他有机体，它不仅带有现存个体自身的过去的特征，而且带有它以前世代的历史特征。不久前，我们试图根据生命有机体的基本特征，将生命有机体定义为“稳态系统的等级秩序”。可是，这个定义遗漏了一个重要特征，关于这个特征我们可能说得不太确切，但肯定不会完全丢失要点。

在物理系统中，通常只根据瞬间的诸条件来确定事件。例如，就一个下落物体而言，不论它怎样下落，它总是到达一个瞬间位置，就一种化学反应而言，不论它以何种方式进行，总会产生反应的化合物。可以说，在物理系统中，过去[①]是被抹去的。与此相对照，有机体显示为历史性的存在物。例如，当人的胚胎在一定阶段呈显出鳃裂时，它提示了在地质年代中哺乳动物是从像鱼那样的生物进化而来的。相似地，我们也发现了有机体行为的“历史性”；动物或人类作出的反应，依赖于有机体在过去遇到过的或产生的刺激与反应。根据这种特征，赫林（Hering）作出了关于“记忆是有机物质的一般功能”的假定，西蒙（Semon）、布洛伊勒（Bleuler）和里根纳诺（Rignano）提出了生命的记忆理论，认为进化与个体有机体中的记忆有着平行的关系。

的确，某些物理现象并非完全没有对过去的依赖性。例如，可以在残留的磁

① 即历史。——译者注

性、弹性和胶体行为中发现滞后现象。例如通过加热液化的胶体可以再固化，但是如果这种固化胶体再次液化，熔点便会降低，因此，它们的行为如此依赖于先前的历史。拉谢夫斯基(Rashevsky)[①]指出，滞后现象基于这样的事实：上述系统具有几种平衡态即最小自由能的状态。在这个事例中，环境并不明显地决定该系统的状态，因为，该系统能够在同样的环境中以几种不同的平衡态存在；实际达到的状态是由先前的历史决定的。拉谢夫斯基已分析了这些实例，从热力学和动力学的观点来看，由于滞后现象在无机事件中的意义不大，因而很少有人用理论物理学对这种现象进行思考，并研究物理系统中的"学习"功能。按照他的看法，具有几种平衡态的系统有若干条件反射特征的属性。这类系统能够有条件地对环境的空间与时间"变化型式"作出反应。根据这些思考，拉谢夫斯基及其同事得出了关于大脑机制和行为的深刻理论。

对过去的这种依赖性现在已相当好地用数学表达出来。上述情况都可以用微积分方程来处理；在定义系统变化的方程中，出现有关时间的积分，用以表达该系统在以前历史中所发生的变化。这种"后效应物理学"原理是由福尔特拉和唐南(Donnan)[②]建立起来的。

然而，这种理论没有包括有机体的基本历史特征，也就是，按照海克尔的生物发生律，胚基在个体发育过程中逐步展开的特征，正是在系统发育过程中积累起来的历史特征。海克尔的生物发生律虽然在细节上需加以修改，但大体上是正确的。人类的胚胎展现了从原生动物到鱼类、两栖动物、爬行动物到原始哺乳动物的几十亿年的系统发育史，但这个漫长的历史只在九个月内就重演了。胚基在系统发育中的积累和胚基在个体发育中的展开的双重过程，倒是可以与唱片相比，唱片上有录音时留下的、与演奏的美妙音乐相对应的痕迹或"印象"，当放唱片时，这些痕迹或"印象"再转变成声音。可是，遗传学没有说明称作"基因组"的唱片的本性。

遗传学和实验进化论仅仅关注已有基因的突变。但是，进化显然不只包括已有基因的变化，也包含某些新基因的创造。否则我们会走向荒谬的预成论，必定会假定人类现有的基因早在原始的阿米巴身上就已有了。实际上，除了偶然的复制，例如，果蝇棒眼突变的偶然复制，我们并不知道新基因的起源，从这里很难得出有深刻意义的结论。我们也几乎不能说出在各种有机体中基因的绝对数目。染色体数目与物种的分类位置和系统发育的位置没有确定的关系。至少就基因被解释为分离的单位而言，这些思考是能够成立的。从统一的遗传基础概念来看，也许不能

---

① N. 拉谢夫斯基：《数学生物物理学》，芝加哥，1938年第2版。

② V. 福尔特拉：《生存斗争理论教程》，巴黎，1931年。——F. G. 唐南：《积分解析和生命现象》，《阿克塔理论生物学》，2/3，1936—1937年。

将系统发育的变化解释为新基因的增加，而应解释为向作为一个整体的基因组中的新状态的转变。相似地，心理上的记忆应当解释为整个“脑区”的变化，不应解释为分离的和个别的记忆痕迹的积累。

这里出现了更深一层的问题。按照热力学第二定律，(宏观)物理事件的总方向是趋于有序的减少和组织化程度的减少。与此相对照，进化中似乎存在着朝增加有序的方向发展的趋势。作者很早以前就谈到这个重要的特征。沃尔特里克称之为“渐进变化”。在物理过程中，偶然性和统计概率朝消除差异的方向起作用，像在热平衡的建立和能量的耗散中那样，按照熵定律，分子的随机运动而使差异消除。相反地，在生物领域中，按照选择理论，偶然性在趋于增加分化和复杂性的方向上起作用。

这里可能有三个要点需要加以考虑。第一，熵定律并不排斥向更高有序的转变。例如，形成高于分子的组织层次的结晶过程，当然遵循熵定律；这可能因为存在着空间矢量——出现化合价或晶格力——而且熵定律仅仅表明在作为一个整体的系统中即晶体加溶液的系统中，自由能必定减少。如果在有机系统中存在着组织力即“更高层次上的结晶化的力”，那么它们的渐进变化不会与熵定律发生冲突。第二，我们可以考虑宏观物理事件与微观物理事件之间的深刻差别。按照热力学第二定律，宏观物理事件朝着消除现存有序的方向演变。但是，就原子内部事件和宇宙事件而言，按照量子物理学定律，会发生导致更高有序的过程。例如，在恒星内部，较重元素的形成物代替放射性衰变，因此，“渐进变化”是可能的。也许，生物的渐进变化最终也要根据量子物理学的观点加以考虑，正如用量子力学观点考虑突变问题可能是真实的。第三，这里有一个最近才发现的和最重要的问题。与封闭系统中的总趋势相对照，在开放系统中可以出现熵减少的趋势。并由此转变到更高程度的非均匀性状态和复杂性状态。

有机体表现为一种空间整体，它在其各组成部分及诸部分过程之间的相互作用中显示出来。相似地，有机体内的过程是由整体的空间系统(而不是由孤立的因果链)决定的，看来它们也是由整体的时间前后联系(而不只是由瞬间状态)决定的。空间的整体性和历史性可能终究是同一时空整体的不同面相。在我们所考虑的四维时空整体中，时间维表现为除空间坐标之外的第四坐标。比方说，世界冰冻成四维的“时间风景”，四维可以表示同一实在的不同面相。无论在空间上还是在时间上，生命系统的行为都不可能是由单一因果关系决定的(单一因果关系，意即有机体代表了孤立的因果链的总和，它是由瞬间状况决定的)，而是由整体的时空模式决定的。这个概念与波动力学的陈述有某些相似之处。如果我们能够用一个公式来表示有机体的完整过程的话，那么，这个公式可能便是微积分方程，它同时表明了空间和时间的整体。这是些深奥的问题，必须用有关理论物理学和一般系统论加以处理。

我们只能把所有这些问题提出来；目前，我们既没有事实根据，也没有理论工具对这些问题作出精确的解答。

作者简介：路德维希·冯·贝塔朗菲(Ludwig von Bertalanffy，1901－1972)，奥地利理论生物学家，一般系统论的创始人。著有《理论生物学》(1932 年版)、《现代发展理论》(1934 年版)、《物理学和生物学中的开放系统理论》(1950 年版)、《一般系统论》(1955 年版)等。他反对机械论和活力论，提出了机体论的生命哲学。

文献来源：贝塔朗菲《生命问题——现代生物学思想评价》，吴晓江译，金吾伦校，商务印书馆 1999 年版，第三章第六节(第 112－117 页)。沿袭原有小节标题。

生命的多样化

威尔逊

对于生物分布的研究展现了数条物种生存繁殖的基本规律，这些规律适合于地球上广泛分布的各种生态系统。第一条也是最基本的一条是，只要有生命存在的地方，在其表面或是地表深处就一定有细菌和古细菌的存在。第二条是，只要有一个小孔可以使得微小的原生生物和无脊椎动物游过，它们就会入侵并以其中的微生物为食或是彼此吞噬。第三条规律是，可利用的生存空间越大，那么该生存空间中最大的生物的体积也越大，例如森林和海洋是较大的生态系统。最后一条规律是，通过测量物种的数目发现，生物多样性最高的地方是全年太阳能吸收最高、冰覆盖最少、地形最为复杂且长期以来气候最稳定的地方。因此，亚洲、非洲和南美洲大陆的赤道热带雨林是迄今为止动植物种类最丰富的地方。

不考虑生物个体的大小，我们通常将生物多样性(biological diversity，简称为biodiversity)划为3个层次。最顶层是生态系统(ecosystem)多样性，包括热带雨林生态系统、珊瑚礁生态系统和湖泊生态系统等。第二级是物种(species)多样性，物种是生态系统的组成部分，包括有藻类、蝴蝶、鳗鱼以及人类种群等。最底层的是基因(gene)多样性，它构成了物种遗传多样性的物质基础。

每一个物种都在特定的生物群落中占据着一定的位置，并以各种各样的方式与其环境和其他生物相互作用，例如消耗资源，也充当其他生物的资源，并与其他物种竞争或合作。它通常会通过一种间接的方式来影响整个群落的性质，比如通过改变土壤成分、水分或者空气组成。在生态学家眼中，物理环境和生物群落之间的能量流动与物质循环永不停息地循环往复，构成了一个联系紧密互动的网络，即我们赖以生存的生态系统。

我们很容易用肉眼去观察一个生态系统，特别是那些物理上离散的生态系统，如一片沼泽、阿尔卑斯山的一片草地。但问题是，由生物、物质和能量所构成的动态网络是否与其他的生态系统发生联系呢？1972年，英国生物学家和发明家J.

E. 拉武洛克(James E. Lovelock)认为,整个地球的生物圈实际上是一个联系在一起的整体,可以将其视为一种围绕地球的超级生物体(superorganism)。他称这种单一的实体为盖亚(Gaia)。盖亚是古希腊神话中的大地女神,梦的赐予者,神在地球的化身,地球文化的图腾,是大海、高山和 12 个太阳神(Titan)的母亲。用这种整体观来考察生命现象对于研究很有好处。从整个太阳系看,生物的活动对地球自然环境平衡的维持起着至关重要的作用;如果没有生物的活动,其环境将会大不一样。事实上,大量的证据表明,即使是某些单个物种也会有相当的全球影响。这里,我举一个非常明显的例子,由微生物、光合细菌、古细菌和藻类所组成的海洋浮游生物,是全球气候的主要调节者。有人认为,单单是藻类所释放的二甲基硫(dimethylsulfide,简称为 DMS)就与云的形成有很大的关系。

将整个生物圈定义为盖亚也有两种看法:强关系学说和弱关系学说。强关系学派认为生物圈是一个真正的超有机体,其组成中的每一个物种对整个环境的功能及其稳定都起到一定的作用,而且整个系统的平衡对每个物种都具有正反馈作用,正如躯体和细胞的关系,或像一个蚁巢中的蚂蚁。这个非常形象的比喻不仅道出了真理的核心,而且可将超有机体这个概念扩展到更广的范围。然而,这个说法是不会被生物学家作为一个工作原则来接受的,其中包括拉武洛克自己。弱关系学说认为,只有一些在生态系统中分布广泛的物种对生态系统的贡献比较大,大多数的物种与生态系统间的关系是微弱的。这种学说得到了较广泛的认同,受其影响,科学家们提出了一系列新的研究课题。

面对生命的全部,诗人问道:谁是盖亚女神的子女?

生态学家回答:是物种。为了明智地管理好地球,我们必须认识每一个物种在生态系统中的功能。

系统分类学家补充说:那就让我们现在就行动吧。可是,我们应该先知道地球上总共有多少物种,它们都分布在什么地方,它们之间有着怎样的亲缘关系?

系统分类学家是专门研究分类的生物学家,他们赞同用物种作为单位来衡量生物多样性的大小。他们的工作基础建立在 18 世纪初叶瑞典博物学家林奈(Carolus Linnaeus)创立的生物分类系统之上。林奈系统用"双名制"对每一个物种进行命名。每个物种的学名都由两个拉丁单词组成,如 Canis lupus(灰狼),其中 lupus 是种名,Canis 是属名,狼和狗都属于 Canis 属。同样,现代人的学名是 Homo sapiens。现在,在 Homo 属里,只有现代智人一个种,但在大约27 000年之前,这个属还有另外一个种——尼安德特人(Homo neanderthalensis),当时,他们分布在被冰川包围的欧洲大陆上。

物种是整个林奈分类系统的基础,也是传统上生物学家认识生命范畴的单位。从属(genus)到域(domain)等各种分类阶元均是用来主观判断和粗略描述类群间相似程度的工具。当说到尼安德特人时,我们就知道它是和现代智人亲缘比较相

近的种。但是，当我们提到南猿非洲种（Australopithecus a fricanus），就是用它指一种古代类人猿，表明它与 Homo 这个属的物种有足够的差异，所以将它划分到另外一个属——南方古猿属（Australopithecus）之中。如果我们说，构成这两个属的3个物种都是原始人（hominids），就意味着这3个物种彼此之间的亲缘关系很近，因而将其视为同一个科——原始人科（Hominidae）的成员。与原始人科亲缘最近的有黑猩猩（chimpanzee，Pan troglodyetes）、小黑猩猩（pigmy chimpanzee）和倭黑猩猩（bonobo，Pan paniscus），这三者彼此非常相似，有着几乎相同的祖先，所以归同一个属 Pan。但它们与原始人（hominids）的祖先极为不同，所以它们不仅不是同一个属，而且属于不同的科——猩猩科（Pongidae）。猩猩科还有其他两个属，猩猩（orangutan）为一个属，两种大猩猩（gorillas）构成另一个属。

我们已从生物命名法出发，对地球的生物多样性作了扼要的介绍。只要对拉丁名称有所熟悉，对更高等级分类的原理是很容易掌握的。林奈分类系统实际上是一个等级阶元，对生物多样性的划分与军队的建制原则相同：先组织最小的战斗排，然后再往上组成为连、营、团、旅、师、军，一直到整个军队为止。现在让我们回到灰狼，它归在犬属（Canis），该属包括现在的狼和狗，并归属于犬科（Canidae），该科还有山狗和狐狸等物种所在的其他属。科往上构成目，例如食肉目（Carnivora）包括犬科的所有动物，以及熊、猫、鼬鼠、浣熊等归属的其他各科。目的上一级分类单位是纲，如哺乳纲（Mammalia）由所有的食肉动物和其他哺乳动物构成。纲的上一级分类单位是门，如脊索动物门包括哺乳动物、其他脊椎动物和无脊椎的文昌鱼和海鞘。门的上一级分类单位是界（细菌界、古细菌界、原生生物界、真菌界、动物界和植物界）。最终，最高的阶元涵盖了一切生物，地球上的生物只有3个域：细菌域、古细菌域和真核生物域，而真核生物域则由原生生物（也称原生动物）、真菌、动物和植物组成。

无论如何，最终能看到并能作为实体计数的生物学单位还是物种。就像战场上的军队，不管我们采取怎样的方法给它们编组和命名，它们始终在那里等待被计数。整个地球上究竟有多少物种呢？目前已发现并被正式命名的大约有150万到180万个种。至今，还没有人对最近250年的分类文献进行计数。现在我们所知道的就只有这些，可以肯定的是，无论这个清单有多长，我们所做的工作还只能看作是起步。对物种数目的估计因不同的估计方法而不同，其预测数目从360万到1亿不等。这些估计的中值是1000多万，但遗憾的是，几乎没有一个专家愿意冒着有损其名望的风险给出一个更为精确的数字。

事实的真相就是这样：我们对地球、对生命的探索才刚刚开始。这种对生命的无知尤其体现在人类对细菌原绿球藻的认知上。在1988年以前，这种细菌还没有被发现，但它却是地球上最丰富的生物，海洋中有机物的生产绝大部分是它的贡献。其细胞被动地漂浮在地表水中，每毫升海水中平均含有原绿球藻细胞数目大约是7万到20万个，它们通过捕获太阳能进行繁殖。其形体非常微小，因此不容

易注意到它。它属于浮游生物的一个特殊的类群：微浮游生物(picoplankton)，其个体比一般的细菌要小，通过现代最先进的光学显微镜才能勉强看到它们的身影。

蓝色的海洋中有着太多太多未知的细菌、古细菌和原生生物。20 世纪 90 年代初，当科学家们开始把研究焦点放在它们身上的时候，就发现其丰富度和多样性远远超过原来科学家们的想像。许多微小的生命生活并聚集在海洋的深处，那里到处是一片漆黑，它们可以连在一起形成胶状带和“高聚物”，其长度可以有十亿分之一米到百分之一米。有些物质中含有比较受欢迎的营养(hot spots of nutrients)，这些营养吸引着那些腐蚀性细菌及其微小细菌和原生生物的捕食者。过去，我们想像中的海洋中有蓝色的海水，偶尔有条彩色的鱼游过，下面或许有着一些海星；而这些远远不是海洋的全部，我们的肉眼能看得到的生物有机体可能仅仅是海洋生物量的冰山一角。

地球上，体积越小的生物被了解的也越少。与细菌一样无处不在的真菌可能有 160 万种之多，而迄今仅有69 000个物种被鉴定并命名。线虫是世界上分布最为广泛的生物之一，平均来看，地球上的每 5 个动物中就有 4 个是线虫，但至今只有15 000多个物种被人类了解，还有成百万的物种正在等待我们去发现。

20 世纪后半叶，生物学领域中掀起了分子生物学的革命，系统分类学的分类原则曾一度被搁置在一旁，被认为是一种过时的学科，并给予了极少的重视。而现在，人们认为对林奈系统进行更新是一项非常有挑战性的工作，系统分类学又重新回到了生物学研究的核心上来。导致这种复兴的原因是多方面的：其中，分子生物学为系统分类学提供了非常有用的工具，并使科学家们能够更快地发现更小的生物；遗传学的最新进展和数学上的构建系统树原理使得科学家们对生命进化的推理变得更为灵活和可信，等等。所有这些都来得非常及时，因为全球的环境危机使得生物多样性图谱的建立变得十分紧迫。

作者简介：爱德华·威尔逊(Edward O. Wilson，1929－)，美国博物学家，在昆虫学、生态学、生物地理学和社会生物学等方面卓有建树，被誉为“生物多样性之父”，1990 年获瑞典皇家科学院颁发的格拉夫奖(这个奖项属于终身成就奖，而且覆盖了诺贝尔奖未覆盖的领域如数学、博物学等，因而起到了与诺贝尔奖互补的作用，赢得了与诺贝尔奖同样的世界声誉)。威尔逊还是一位出色的作家，他的著作《论人性》(1978 年版)、《蚂蚁》(1990 年版)先后获得普利策奖。著作中译本有《大自然的猎人》(上海科技出版社 2000 年版)、《生命的未来——艾米的命运，人类的命运》(上海人民出版社 2003 年版)、《蚂蚁的故事》(海南出版社 2003 年版)。

文献来源：威尔逊《生命的未来——艾米的命运，人类的命运》，陈家宽、李博、杨凤辉等译校，上海人民出版社 2003 年版，第一章(第 29－35 页)。标题为编者所加。

生命的起源

莫　诺

原始生命起源的三个阶段

导致原始生命体出现的过程，可以先验地划分出三个必须首先肯定它们是存在的阶段：

1. 在地球上形成了生命体的主要化学建筑基石，亦即核酸和蛋白质。

2. 从这些物质中形成了最早能进行复制的高分子。

3. 以这些“复制结构”为起点，进化精心构制出目的性的器官，最终导致原始细胞的出现。

在解释每一个阶段时，也就产生了各式各样的问题。第一个阶段通常称之为“前生物”阶段。这个阶段很便于进行理论研究和实验研究。关于前生物的化学进化所遵循的途径还没有完全确定，无疑地，今后还将是如此；尽管这样，整个图景却是很清楚的。40亿年前，大气的条件以及地球表面上占优势的那些条件，有利于一些简单的碳化合物如甲烷之类的积累。地球上还有水和氨。这些简单的化合物在非生物催化剂存在的条件下，很容易得到无数种更为复杂的化合物，其中包括一些氨基酸和核苷酸的前体（氮碱，糖类）。很清楚，在一些完全可信以为真的模拟条件下，以这种方法合成的化合物中间，极大部分同构成现代细胞的化合物是一样的或是相似的。

所以，可认为是已经证明了在地球历史的某一时刻，在核酸和蛋白质这两类主要的生物高分子的高浓度溶液中，可能已含有相当多的水。在这种前生物的“汤”中，各种高分子可以通过自身的前体（氨基酸和核苷酸）的聚合而形成。在实验室里，在“可信以为真的”条件下，确实得到了同“现代”高分子的一般结构相似的多核苷酸和多肽。

从上面看来，做到这一点已经没有多大困难。但是，从第一阶段到第二阶段，

还有待于采取一个决定性的步骤：在原始汤内占优势的那些条件下，高分子的形成能够促进它们自己不依赖于任何目的性器官的帮助而进行复制。这一点，看来并不是一个不可克服的困难。现已证明，一条多核苷酸顺序，事实上能够通过自发的碱基配对去指导互补顺序的生成。诚然，这种机制的效率只可能是很低的，而且还会发生无数次差错。但是，在这个机制启动的时候，复制、突变和选择这三个基本过程也在起作用，并且一定会给那些最能依靠自己的顺序结构进行复制的高分子，提供最大的方便。①

根据我们的假设，第三阶段是一些目的性系统的逐渐涌现，这些目的性系统围绕着复制机构而建成了一个生物体，一个原始细胞。在这里，人们碰到了真正的"壁障"，因为原始细胞的结构究竟是怎样的，我们没有一点概念。我们所知道的最简单的生命系统是细菌细胞，它是一个微小的极其复杂的和效率极高的机构，也许已经经过了十多亿年才达到目前这样完善的状态。它的整个化学基础的蓝图，同所有其他生命体都是相同的。比如，它所用的遗传密码和翻译机制，同人的细胞就是一样的。

因此，我们可以有效地对之进行研究的最简单的细胞，已经没有什么"原始"的特点可言了。经过五千亿代到一万亿代的选择后，这些细胞的目的性器官是如此地强有力，以致看不出它们有任何真正原始结构的痕迹。如果没有化石的帮助，科学家们就不可能确定其进化的情况。但人们至少还是打算去提出一个关于这种进化的路线，特别是关于进化过程的起点的假设。

当原始汤变得稀薄时，代谢系统一定是"已经学会了"动员化学势和合成细胞的组成。因此，代谢系统的发展就成为很费解的问题了。只有出现了选择性通透的膜，才会出现活细胞；这种膜的出现也是一个很难解决的问题。可是，主要的问题还是遗传密码和它的翻译机制的起源。说实在的，与其说这是一个问题，倒不如说这是一个谜。

密码起源之谜

未经翻译出来的密码是没有意义的。现代细胞的翻译机构至少有五十种高分子成分，这些成分本身在 DNA 中被编成了密码，而密码本身又只能被翻译的产物所翻译。这是"一切生命都起源于卵"的现代表述。这个循环是在何时以及如何闭合的？这只能凭空想像了。但是，密码现在是可解的，并且已知密码是普遍的，这一事实至少已使我们可以用精确的术语来提出问题；简单说来，可以有两种提法。

1. 一种是化学的——或更准确些，立体化学的——原因说明了密码的结构；

---

① L. 奥格尔，《美国国家科学院院报》第 49 期，1963 年。

如果某一密码"被选中"来代表某一氨基酸，那只是因为它们之间有某种立体化学的亲和力。

2. 另一种提法是，密码的结构在化学上是任意的，正如我们今天所了解的，密码是一系列使密码逐渐增多的随机选择的结果。

第一个假设看来更合乎大家的心意。首先因为它可以解释密码的普遍性。其次因为它使我们能想像出一种原始的翻译机制，即氨基酸顺序排列成一条多肽，是起因于氨基酸同复制结构本身之间的直接相互作用。最后而且也是主要的一点，那就是如果这个假设是真实的，那么原则上它就应该是可以验证的。确实已作了无数次尝试去验证它，但迄今为止一切尝试都已证明是无效的。①

关于这方面，看来要得出最后结论还为时过早。我们现在暂且把这个还没有得到确证的第一个假设搁在一边，再来看一看第二假设。从方法学上看，它是不能令人满意的，不过，绝没有什么迹象可以说明它是不正确的。它之所以不能令人满意，还有另一些理由。这个假设并没有说明密码的普遍性。于是，人们就作出另一个假定：在多次精心制作的努力中，只有一次努力的结果被保存了下来。它使自身成为有意义的，可是没有给我们留下任何一种原始的翻译模型。这里就非得加上猜测不可。已经提出了一些很巧妙的猜测，即认为这个领域太清楚了，已没有什么秘密可言了。

谜并没有解开。这个兴味无穷的问题的答案，仍然如堕五里雾中。在地球上出现生命这一事件之前，还曾出现过生命的偶然性有多大？现在生物界的结构绝没有排除决定性事件只出现一次的可能性。这意味着在地球上出现生命以前，出现生命的几率实际上等于零。

大多数科学不喜欢这个想法，科学对于只出现一次的事件，既无法谈论，也无所作为。科学只能研究作为一类出现的事件，它们在以前还曾出现过的几率不管多么小，但肯定不等于零。现在由于生物界的结构具有普遍性，而这种结构又是从密码开始的，所以生物界看上去好像是一个独特事件的产物。当然，生物界的这种划一的特性，很可能是因为选择作用淘汰了大批别的结构的结果。但没有理由迫使人们非这么解释不可。

宇宙里可能出现的一切事件中间，任何一个可能出现的具体事件的预先决定它出现的几率，总是接近等于零的。可是，宇宙存在着，在宇宙间一定会出现许多具体的事件(在某一具体事件出现以前)，该事件出现的几率是极小的。迄今为止，我们还没有充分理由可以去断定或者去否定：生命在地球上只出现了一次，因此，在此之前出现生命的偶然性几乎等于零。

生物学家对这个概念很反感。这不仅出自科学上的原因，而且也是因为这个

---

① 参阅 F. 克里克：《分子生物学杂志》，第 38 期，1968 年，第 367—379 页。

概念同我们人类的想法是背道而驰的，因为人们一般倾向于认为：在世上真实存在的万事万物的背后，必然性是深深扎根于事物的开端之中。我们必须时刻提防这种好似什么都是注定了的想法。内在论同现代科学是不相容的。命运是同事件同时出现的，并不是预先注定的。我们自己的命运，不是在生物界出现了惟一能运用符号交往的逻辑系统的人类以前就已注定了的。语言是另一桩独一无二的事件，它本身很自然地将使我们反对任何一种人类中心说。如果语言是像已出现的生命本身那样的独一无二的事件，那么，在出现语言以前还曾出现过语言的偶然性，真是微乎其微的。宇宙间并不是处处是生命，生物界也不全都是人类。我们人类是在蒙特卡洛[①]赌窟里中签得彩的一个号码。当人们看到一个人刚从赌场里赢了钱而摇身一变成为百万富翁时，我们感到惊讶同时又觉得好像是梦幻般地不真实，产生这种感觉是很自然的，没有什么可奇怪的。

作者简介略。

文献来源：莫诺《偶然性和必然性——略论现代生物学的自然哲学》，赵寿元、全增嘏译校，上海人民出版社 1977 年版，第八章第二、三节（第 103－108 页）。标题为编者所加。

① 蒙特卡洛是欧洲摩纳哥公国的城市，以“赌博之都”著称。——译者注

什么是进化

迈　尔

对于未知和令人迷惑的现象，人类显然总想急于作出解释。从原始部落的民间传说中可以看出，甚至连他们也考虑世界的起源和历史问题。他们思考过的问题诸如：谁或者什么创造出了这个世界？世界的将来会怎样？我们人类是如何起源的？在部落神话里有各种各样对于这些问题的解答。其中很多神话都简单地认为这个世界的存在是理所当然的事情，并且相信这个世界一直就是这个样子，但是对于人类的起源或创造却有着各种各样的故事。

后来，一些宗教创始人和哲学家也试图回答这些问题。研究一下这些答案，可以将它们划分为三种类型：(1)世界的历史漫无边际；(2)世界是恒定不变的，而且历史很短；(3)世界是进化的。

(1)世界的历史漫无边际

古希腊哲学家亚里士多德相信这个世界一直存在。有些哲学家认为这是一个永恒的没有发生过变化的世界，即世界是恒定不变的。还有一些人认为世界是在经历不同的阶段("循环")，但是最终仍然会回到最初的状态。不过，这种世界历史没有尽头的信念从来没有被普遍接受。当时人们似乎急于知道关于世界起源问题的解释。

(2)世界是恒定不变的，而且历史很短

当然，这是一种基督教的观点，《圣经》中就这样认为。这是从中世纪到19世纪中期西方世界盛行的观点。这种观点的根基是相信有一种超自然的存在，一个全能的上帝。是上帝创造了整个世界，包括人类这一物种，如同在《圣经·创世记》中描述的两个故事那样。

认为世界是一个全能上帝创造出来的信念被称作特创论。多数相信特创论的人也相信上帝非常聪明地设计了他的造物，乃至于所有动植物都完美地彼此适应并适应各自的生活环境。今天世界上存在的万物与其创造出来时的情况仍然一

样。这种结论完全是根据《圣经》写作时已知的事实推导出来的。有些神学家根据《圣经》中的种系学得出结论:世界是在距今较近的时间,公元前 4004 年,也就是大约6 000年前,创造出来的。

特创论的信念与大量科学发现是矛盾的,从而导致了特创论者与进化论者之间的争论。本文并不试图解决他们之间的争议,我在框 1.1 和参考文献中给出了有关这一论题的详尽文献。有关《创世记》中特创故事的起源,见穆尔(Moore, 2001)。

框 1.1 反特创论者的书籍

蒂姆·M. 贝拉,《进化与特创论的神话》(Berra, Tim M. 1990. *Evolution and the Myth of Creationism*. Stanford: Stanford University Press.)

尼尔斯·埃尔德里奇,《进化论的胜利与特创论的失败》(Eldredge, Niles, 2000. *The Triumph of Evolution and the Failure of Creationism*. New York: W. H. Freeman.)

道格拉斯·J. 福山,《审判席上的科学:进化论一案》(Futuyma, Douglas J. 1983. *Science on Trial: The Case for Evolution*. New York: Pantheon Books.)

菲利浦·基彻,《滥用科学:反特创论一案》(Kitcher, Philip, 1982. *Abusing Science: The Case Against Creationism*. Cambridge, Mass.: MIT Press.)

阿什利·蒙塔古(编),《科学与特创论》(Montagu, Ashley(ed.). 1983. *Science and Creationism*. New York: Oxford University Press.)

诺曼·D. 内维尔,《特创与进化:神话还是事实?》(Newell, Norman D. 1982. *Creation and Evolution: Myth or Reality?* New York: Columbia University Press.)

A. R. 皮考克,《特创与科学的世界》(Peacocke, A. R. 1979. *Creation and the World of Science*. Oxford: Clarendon Press.)

迈克尔·鲁斯,《捍卫达尔文主义》(Ruse, Michael. 1982. *Darwinism Defended*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.)

维拉德·杨格,《特创论的谬误》(Young, Willard. 1985. *Fallacies of Creationism*. Calgary, Alberta, Canada: Detrelig Enterprises.)

在世界各地的民间传说中也可以找到多少类似的创世故事。这些故事满足了人们想要回答有关这个世界的一些深刻问题的欲望,这些问题自有人类文明以来我们人类就提出了。我们依然将这些故事作为我们文化遗产的一部分来珍视着,但是我们若想了解这个世界演化历史的真相,我们就要求助于科学。

进化论的兴起

自17世纪科学革命时起，越来越多的科学观测结果与《圣经》中的创世故事发生冲突。一系列的发现逐渐削弱了《圣经》故事的可信度。哥白尼革命首先证明《圣经》中并非句句是真理。最先发展起来的科学主要涉及太阳、恒星、行星等天文知识及其他物理现象。到了一定的时候，这些早期科学工作者必然会迫切感到需要解释世界上的其他许多现象。

其他科学中的发现也提出了新的令人困惑的问题。17至18世纪地质学家的研究表明，地球的年代很久远，而灭绝动物化石群的发现动摇了所谓创世恒定持久的信念。虽然有越来越多的证据与假定世界是恒定的、短暂的观点相矛盾，虽然有越来越多科学家和哲学家质疑《圣经》故事的真实性，虽然博物学家让-巴伯蒂斯塔·德·拉马克1809年就提出了一种系统的进化理论，但是直到1859年之前，或多或少与《圣经》观点一致的世界观依然在普通大众和自然科学家与哲学家中流行。这种观点对有关这个世界的所有问题都作出了简单的解答：上帝创造了这个世界，上帝在设计这个世界时表现出很大的智慧，使得每一种生物都完美地适应其在自然界中的位置。

在证据与观点之间存在着冲突的转型期间，人们曾经作出过各种妥协的尝试，以便弥合矛盾。一种尝试就是提出了所谓自然阶梯即生命巨链的观点。这种观点认为，这个世界中的万物都排列在一种上升式的阶梯上，最底下是岩石和矿物之类的无生命的物质，其上是地衣、苔藓和植物，经过了珊瑚及其他低等动物后，便是高等动物，在高等动物中，经过哺乳动物之后，是灵长类和人类。人们认为这种自然阶梯并没有发生过改变(是恒定的)，反映出造物主创造万物时已经按照一定的顺序排列好万物，并使之完美(Lovejoy，1936)。

最后，支持世界并不是恒定的、而是一直变化的结论的证据变得令人心服口服，无法辩驳。所以有人提出了第三种世界观，这种世界观最终为人们所接受。

(3)世界是进化的

按照这种世界观，这个世界的历史很久远，而且一直在发生着变化，即世界是逐渐演化的。当初，这种观点对于西方人来说还很陌生，对此我们也许会感到不可思议。基督教基本教义的影响太大，进化的思想需要在17、18世纪历经长期的萌发，才能被完全接受。就科学而言，接受进化论意味着不再认为这个世界仅仅是按照物理定律运动的舞台，而且认识到世界有其历史，更重要的是，发现了在生命世界中存在着随着时间发生的变化。“进化”一词逐渐成为这些变化的代名词。

什么样的变化

世界上的万物似乎都在连续地变化。有些变化是很有规则的。由地球的自转导致的昼夜更替就是一种规则的循环变化，由月球的旋转引起的潮汐期间海平面的变化也属于规则的循环变化，更为明显的是由于地球围绕太阳的年度循环所导致的季节变化。还有一些变化是不规则的，比如地球板块的运动，每年冬天寒冷程度的不同，或者非周期性的气候变化（厄尔尼诺，冰期），还有某一国家的经济繁荣期等。不规则的变化在很大程度上都不可预测，因为它们受各种随机过程的影响。

还有一种变化，似乎具有一定的连续性和方向性，这种变化被称作进化。早在18世纪很多人就认识到这个世界并不像创世故事中所说那样是静止的，而是进化的。后来人们认识到可以将静止的自然阶梯转换为一种生物学上的上升阶梯，最低层是最低等的生物，向上为高等的生物，直至人类。就如同一种个体生物从受精卵到变成一个成体经过了渐进变化一样，也可以认为整个生物界经历了从简单的生物到更复杂的生物、最后到人类的逐渐变化。第一个详细阐述这种思想的学者就是法国博物学家拉马克。当时甚至有人使用了“进化”这个词，并用它来说明生命世界的演化，而查尔斯·邦内最初用“进化”这个词只是指卵的发育。那时人们认为，进化是指从简单到复杂、从低等到高等的变化。他们确实认为进化是一种变化，但却是一种具有方向性的变化，是向着更加完美的变化，按照当时的说法，进化并不是像季节更替那样的循环变化，也不是诸如冰期或者气候那样的不规则变化。

但是在生物界中的连续变化中到底发生了什么情况？最初的时候对这个问题有很大的争论，即使达尔文已经知道了问题的答案也无济于事。最后，在进化论综合期间，才达成共识：“进化是生物群体性质随时间经历的变化。”换句话说，群体就是所谓进化的单位。基因、个体和物种也在进化中起到了一定的作用，但是群体中的变化代表了生物的进化。

不时有人声称，进化由于导致有序化，从而与物理学的“熵定律”相冲突。按照熵定律，进化变化应该导致混沌度的增加。实际上二者并不矛盾，因为熵定律只有在封闭的系统中成立，而对一个物种的进化来说，其变化发生在一种开放的系统中，在这种系统中，生物的熵可以降低（环境的熵增加），而且太阳可以为此系统持续地提供能源。

在18世纪下半叶和19世纪上半叶，进化的思想不仅在生物学中，而且在语言学、哲学、经济学及其他思想分支中广泛传播。但是，总体上说来，在一个相当长的时间里，进化的思想在科学中并不是主流思想。导致人们的观念从静止的世界观转为进化论的真正原因是1859年11月24日查尔斯·达尔文的《物种起源》一书的出版这一重大事件。

达尔文与达尔文主义

这一事件或许是人类所经历过的最伟大的知识革命。它不仅挑战了世界是恒定和短暂的这一概念，而且挑战了对于生物奇妙适应性的原因的看法，更令人震惊的是，它挑战了人类在生物界中占据着独特地位的思想。但是达尔文不仅提出了进化的观点（并列举出大量证据证明进化的发生），他还对进化进行了诠释，这种诠释并不依赖于任何超自然的力量或因素。他从自然的角度来解释进化，也就是说利用任何人在自然界中能日常观察到的现象和过程来解释生物的进化。实际上，达尔文除了提出进化理论外，还提出了关于进化如何发生以及为什么发生的四个理论。《物种起源》一书引起了极大的轰动，但这并没有什么可奇怪的。几乎仅仅靠《物种起源》这一本书，就使得科学从宗教中分离出来，真正成为科学。

查尔斯·达尔文生于1809年2月12日，是生活在英国一座小城镇的一名医生的第二个儿子。他从童年时代起就热爱博物学，尤其喜欢甲虫。开始时他父亲想让他学医，于是达尔文在爱丁堡学习了一段时间的医学，但是他对于学医有些畏惧，尤其害怕做手术，所以不久便放弃了学医。于是他的家人认为他应该学做牧师，这对于一名年轻的博物学家来说似乎是最好的博物学教育，因为在他那个时代几乎所有著名的博物学家的正式身份都是牧师。虽然达尔文也曾专注地阅读了必修的经典著作和神学著作，但真正令他痴迷的是自然历史学。当他在剑桥大学（基督学院）获得学位之后，通过剑桥一名教师的引荐，他接到了“贝格尔”号海军勘测船的邀请，去勘察南美洲的海岸，特别是南美的港湾。1831年12月底，“贝格尔”号离开了英国。在随“贝格尔”号的五年航行中，达尔文一直和指挥官兼船长罗伯特·费茨罗伊住在一起。在“贝格尔”号勘察南美洲东边的帕塔戈尼亚海岸、麦哲伦海峡和部分西边海岸及邻近岛屿的过程中，达尔文有很多机会勘探南美大陆和考察一些海岛上的生物群。通过这次航行考察，他不仅采集到重要的自然史标本，更重要的是他提出了无数关于这块大陆演化史及其动植物群历史的问题，这些问题成了他进化思想成长的基石。

当他于1836年10月回到英国后，便全身心投入到对所采集的标本进行科学研究和发表一些科学报告的工作中。最初的时候主要是发表一些地质学观察报告。没过几年，他与表姐、著名陶器师维奇伍德的女儿艾玛结了婚，并在邻近伦敦的一个地方买了一栋房子（唐屋），自此，达尔文直到1882年4月19日（73岁）去世之前一直住在那里。他的所有重要文章和书籍都是在唐屋写成的。

是什么使得达尔文成为一名伟大的科学家并作出了知识上的创新？他是一名出色的观察者，充满了好奇心。他不轻信任何事情，总是提出为什么以及怎么之类的问题。为什么海岛的动物区系与相距最近大陆上的动物区系也有很大的差别？

物种怎么起源的？为什么帕塔戈尼亚地区的生物化石与该地区现存生物这么相似？为什么群岛的每一个岛屿上都有其独特的本地物种，而且不同岛上物种之间的相似性远远大于相距较远地区相关物种之间的相似性？正是由于能够观察到这些有意义的事实，并且提出恰当的有关问题，达尔文才能作出这么多的科学发现，并且提出了这么多具有原创性的概念。

达尔文还清楚地认识到存在着两个方面的进化。一是种系的“向上”变动，这是一种从祖先到后代分支的逐渐变化。有人也称之为前进演化。另一个是进化种系的分生，或者是广义上种系树新分支（支序）的起源。这一生物多样性的产生过程又称作支序发生。支序发生开始于成种事件，但是随着时间的变迁，新的支序可能会由于与祖先类型的差异的不断增加而变成种系树上一个重要的分支。支序发生是宏观进化研究中的主要课题之一。在相当程度上，前进演化和支序发生都是两个独立的过程（Mayr，1991）。

虽然19世纪60年代一些有学识的生物学家和地质学家已经承认进化是事实，但是，正如我们今天所看到的那样，达尔文关于进化怎么发生以及为什么会发生的诠释却遭到了长时间的反对。

作者简介：恩斯特·迈尔（Ernst Mayr），德裔美国生物学家，哈佛大学终身名誉教授，分类学和进化生物学的权威，是现代达尔文主义即综合进化论的积极倡导者，被誉为“20世纪的达尔文”。他著作等身，写作生命漫长而又雄健。中译本有《生物学思想发展的历史》（四川教育出版社1990年版）、《生物学哲学》（辽宁教育出版社1992年版）、《很长的论点》（上海科学技术出版社2003年版）、《进化是什么》（上海科学技术出版社2003年版）等。

文献来源：迈尔《进化是什么》，田洛译，上海科学技术出版社2003年版，第一章（第3—11页）。标题为编者所加。

进化的艰苦历程

古尔德

作为一个概念，对进化的理解已经耗尽了上千位科学家一生的时光。在这篇文章中，我谈论一个比较狭窄而有趣的小问题：理解进化这个词本身。我将追溯生物变化如何被称作进化(evolution)。作为一次好古的纯粹词源探索，这个故事复杂而令人激动。但是太认真就危险了，因为正是这个词过去的用法致使外行们经常且依然普遍地误解了科学家们所讲的进化。

先从一个矛盾的地方开始吧。达尔文、拉马克和海克尔这些19世纪英国、法国和德国最伟大的进化论者，在他们最初的著作中都没有使用进化这个词。达尔文使用的是“带有饰变的由来”(descent with modification)，拉马克使用的是“转形”(transformisme)，海克尔则爱用“递变理论”(Transmutations-Theorie)或“由来理论”(Descendenz-Theorie)。他们为什么不使用“进化”？而且他们的生物理论如何有了现在的名称。

出于两个原因，达尔文在陈述自己的理论时不使用进化一词。首先，在他那个时代，“进化”在生物学中已经有了特定的含义。事实上，“进化”被用来描述一种可能与达尔文的生物发展理论不太相同的胚胎学理论。

1744年，德国生物学家阿尔布莱克·冯·哈勒(Albrechtvon Haller)发明了“进化”一词，用在他的胚胎由卵或精子中预先存在的微小个体发育而来的理论中(今天可能感到奇怪，这种理论认为，以后的世代发生都是在夏娃的子宫和亚当的睾丸中创生的，封存的像俄罗斯套娃，一个套一个，每一个夏娃的卵中有一个胎儿，而每一个胎儿的卵中还有一个更小的胎儿，等等)。这种进化(或预成)理论遭到渐成论者的反对，他们相信成体的复杂性来自最初无形的卵。哈勒选择词藻时非常

小心，因为拉丁文 evolver[①] 的含义是“展示”；的确（按照预成论），小胎儿从最初的肢体紧封中展示出来，并且在以后的胚胎发育中只增加体积。

而哈勒的胚胎进化似乎是达尔文的带有饰变的由来理论的阻碍。假如人类的全部历史预先存在于夏娃的子宫中，那么自然选择（或其他的作用力）怎么能改变我们预定好的寄居在地球上的历程？

我们似乎更迷惑了。哈勒的词汇怎么能变成意义几乎完全相反的用法？只有当哈勒的理论在 1859 年前已行将就木的情况下才有可能；随着理论的让位，哈勒用过的这个词方可用于其他的目的。

根据达尔文的描述看，“进化”，即“带有饰变的由来”，并非从以前的专业词汇中借来的，相反，它来自本国语。在达尔文时代，进化已经成为一个常用的英语词汇，其含义与哈勒的专业用法不同。《牛津英语词典》将这个词追溯到 1647 年 H. 摩尔（H. More）的诗句“外形的进化（展示）弥漫于世界广布的灵魂中”。但是这种“展示”的含义与哈勒的展示含义不同，它指的是“表现出一个事件序列中的规则顺序”，更重要的是，它含有进步发展的概念。《牛津英语词典》中继续写道：“发展的过程是从萌芽状态到成熟或完整的阶段。”因此，在英语中，进化与进步的概念紧密相联。

达尔文正是按照本国语的含义使用了进化一词，事实上，他是在书的最后才用这个词的：

> 认为生命及其若干能力原来是被注入到少数类型或一个类型中的，而且认为在这个行星按照引力的既定法则继续运行的时候，最美丽的和最奇异的类型从如此简单的始端，过去，曾经而且还在进化着；这种生命观是极其壮丽的。[②]

达尔文在这一段中选择了（进化）这个词是因为他要以生物发展的变迁与诸如万有引力这类物理定律的固定不变作比较。但是他很少使用这个词，因为达尔文显然否认当时公众使用的带有进步观点的我们称作进化的这个词。

在一个著名的警句中，达尔文提醒自己在描述生物的结构时绝不说“高等”或“低等”——因为假如一个阿米巴可以很好地适应它所生活的环境，就像我们适应我们的生活环境一样，谁又能说我们是高等的生物呢？所以达尔文不用进化一词描述他的带有饰变的由来理论，既因为这个词的专业含义与他的信念不同，又因为他不满意这个英语术语中所带的必然进步含义。

---

① 在德文、英文、法文中，进化为“evolution”。——译者注

② 译文引自周建人、叶笃庄、方宗熙译，叶笃庄修订《物种起源》（修订版），商务印书馆，1995 年，第 557 页，略有改动。——译者注

通过赫伯特·斯宾塞(Herbert Spencer)这位勤奋的、在任何方面都很博学的维多利亚时期人物的倡导,"进化"才作为"带有饰变的由来"的同义词进入英语中。在斯宾塞看来,进化是涵盖所有发展的定律。而且,对于一位洋洋自得的维多利亚时期的人来说,除了进化,还有什么能主导宇宙的发展过程呢?因此,斯宾塞在1862年的《第一原理》(*First Principles*)中给这个宇宙定律下了一个定义:"进化是物质及其消耗运动的整合,其中物质从不确定的、不一致的同质体变成确定一致的异质体。"

斯宾塞的工作在两个方面对于确立进化的现代含义作出了贡献。首先,斯宾塞在写作那部流行的《生物学原理》(1864—1867)中,一直使用"进化"来描述生物界的变化。其次,他不是将进步看作物质内在的能力,而是看作内部作用力和外部(环境)作用力"合作"的结果。这种观点非常符合19世纪大多数生物进化的观点,因为维多利亚时期的科学家很容易将生物的变化等同于生物的进步。当许多科学家感到需要一个比达尔文的"带有饰变的由来"更简明的词汇时,"进化"便被派上了用场。而且因为多数进化论者将生物的变化视为趋向复杂性增加的过程(即直达我们人类的过程),所以他们对于斯宾塞的概括性词汇的认识并没有破坏斯宾塞的进化定义。

具有讽刺意义的是,进化论之父似乎在独自坚持生物的变化只能导致提高生物更适应所生活的环境,而不导致由结构复杂性或异质性的提高来界定的抽象、理想的进步——绝不说高等和低等。假如我们留意达尔文的警训,我们便会谅解今天科学家与普通人之间存在的许多迷惑和误解。因为在那些早就抛弃进化与进步之间存在必然联系,并将其视为最糟糕的人类中心说偏见的科学家中间,达尔文的观点已经取得了胜利。而许多普通人依然将进化等同于进步,并且将人类的进化不只是看作变化,而且看作智力提高、等级提高,或还有其他一些假设改善的标准。

现在比较广泛传播的反进化论文献,耶和华见证会[①]的小册子《人类来到这里是通过进化还是通过创生》中宣称:"用最简明的话说,进化指的就是生命从单细胞生物,经过数百万年,以一系列生物变化的方式,进化到生命的最高状态——人类……仅仅是生物基本类型的变化不能被视为进化"。

这种错误地将生物进化等同于进步的观念,一直有着不幸的后果。历史上,它产生了社会达尔文主义的滥用(达尔文本人有一点这种思想),这种臭名昭著的理论根据假设的进化程度排列人类种群与文化,并将(毋庸惊讶)白种欧洲人排在顶端,而将他们征服的殖民地排在底端。今天,这种思想仍然是致使我们在地球上傲慢的一个重要因素。我们相信,我们控制着居住在我们星球上几百万的其他物种,

---

① 19世纪后期由查尔斯·T.拉塞尔在美国创立的一个基督教派,认为"世界末日"在即,主张个人与上帝感应交流。——译者注

而不是与它们平等相处。进化一词的变更情况已经讲明白了，然而却不能为之做些什么。我当然也非常抱歉，科学家们挑选一个含有进步意思的本国语词汇，来指称达尔文的虽然不太悦耳但却准确得多的“带有饰变的由来”时，确实存在着基本的误解。

作者简介略。

文献来源：古尔德《自达尔文以来——自然史深思录》，田洛译，三联书店 1997 年版，第一部分第三章（第 20—25 页）。标题为编者所加。

❹ 人 类 ≫

人类的进化

利 基

人类学家的目标在于了解像猿那样的动物怎样转变成我们这样的人的进化事件。这些事件曾被浪漫地描绘成一出伟大的戏剧，以人性的出现作为故事中的英雄。然而实际情况却相当平凡。这种转变是由于气候和生态环境的改变而出现，而不是史诗般的奇遇。这种转变胜过其他一切事件。作为一个物种，我们对自然界和我们在其中的位置有着一种好奇心。我们想知道，而且必须知道，我们是怎样成为今天这样的？我们的未来又是如何？我们找到的化石使我们的身体与过去的相联系，并要求我们去解释这些线索，其中蕴含着对我们进化史的性质和过程的理解。

到目前为止，还没有人类学家能站出来宣布史前时代的每一个细节，然而关于人类史前时代的总的轮廓，研究者们的认识在很大程度上是一致的。可以肯定地说，人类史前时代存在着 4 个关键性的阶段。

第一个阶段是人的系统（人科）本身的起源，就是在大约 700 万年以前，类似猿的动物转变成为两足直立行走的物种。第二个阶段是这种两足行走的物种的繁衍，生物学家称这种过程为适应辐射。在距今 700 万年到 200 万年前之间，两足的猿演化成许多不同的物种，每一个种适应于稍稍不同的生态环境。在这些繁衍的人的物种之中，在距今 300～200 万年之间，发展出脑子明显较大的一个物种。脑子的扩大标志着第三个阶段，是人属出现的信号，人类的这一支以后发展成直立人和最终到智人（Homo sapiens）。第四个阶段是现代人的起源，是像我们这样的人的进化，具有语言、意识、艺术想像力和自然界其他地方没有见过的技术革新。

作者简介：理查德·利基（Richard Leakey，1944－），英国古人类学家，肯尼亚国家博物馆馆长，长期在东非从事人类起源的挖掘研究，是古人类学界著名的"第一家族"利基家族的第二代。

文献来源：利基《人类的起源》，吴汝康、吴新智、林圣龙译，上海科学技术出版社 1995 年版，前言（第 5 页）。标题为编者所加。

非洲夏娃理论

道金斯

非洲夏娃有时也称为线粒体夏娃。线粒体是微小的菱形小体，成千上万地充满我们的每个细胞。它们内部基本上是空的，但具有复杂的膜结构。这些膜的面积，比你从线粒体外表所能想像的要大得多，而且很有用。这些膜是一座化学工厂（更确切地说是一座发电厂）的生产线。受到精确控制的链式反应沿着这些膜进行，这个链式反应的步骤，比任何人类化工厂里的反应步骤都要多。结果，源自食物分子的能量在控制之下一步步地被释放出来，并且以可再利用的形式储存下来，以便往后不论体内什么地方需要，随时都可以用于燃烧。若没有线粒体，我们一秒钟内就会死去。

这就是线粒体的功能，然而我们在这里更关心的是线粒体是从哪儿来的。原来，在久远的进化历程中，它们曾经是细菌。这一杰出的理论是由阿默斯特市马萨诸塞州立大学可敬的林恩·马古利斯（Lynn Margulis）首先提出的。这一理论最初曾被视为异端邪说，当时只有少数人对它发生了兴趣，现在已经被广泛接受，可以说是大获全胜了。在20亿年前，线粒体的远祖是独立生活的细菌。后来，它们与其他种类的细菌在较大的细胞里“定居”。所形成的（“原核”）细菌群落又变成大的（“真核”）细胞。我们每一个人都是数以百万亿计的互相依存的真核细胞群落。每一个这样的细胞，又是由数千个被驯化的完全封闭在细胞里的细菌组成的群落。它们在细胞里面就像细菌一样地增殖。据计算，如果一个人身体里所有的线粒体首尾相连排成一列，那它将不是绕地球一圈，而是能绕上2 000圈。一只动物或一株植物，就是一个由相互作用的不同层次的小群落聚合而成的巨大群落，正如一片雨林。拿雨林来说，它本身就是一个云集了大约上千万种生物的群落，而每一物种的每一成员本身又是一个群落，它又有许许多多由被驯化的细菌组成的群落。马古利斯博士关于起源的学说——细胞好似封闭的细菌乐园——绝非伊甸园的故事所能与之相比，它更令人激动、令人兴奋、令人振作。它还有另一个优势，那就是它

几乎可以肯定是真实的。

如同大多数生物学家一样，我现在也设想马古利斯学说是正确的，在这一章里我提到它，只是为了继续探讨一个特别的含义：线粒体有它们自己的 DNA，同其他细菌一样，仅存在于一个单环染色体内。现在我们就这一点进行探讨。线粒体 DNA 不参与任何性的混合，不与躯体的主"核"DNA 混合，也不与其他线粒体 DNA 混合。像很多细菌一样，线粒体只通过分裂来增殖。每当一个线粒体分裂为两个子线粒体的时候，每一个子线粒体得到与原有染色体一模一样的"拷贝"。从我们系谱学者的观点来看，现在你该看到它的妙处了。我们发现，在我们担心普通的 DNA 文本每一代都被性搅乱证据，混淆了来自父系和来自母系的贡献的所在，线粒体 DNA 却有幸独善其身。

我们仅仅从母亲那里得到线粒体。精子太小，只能容纳少数的线粒体；它们所能产生的能量，只够在精子游向卵子时提供给精子尾巴作动力；受精时，精子的头部被卵子吸收，而这些线粒体则同精尾一道被抛弃了。相比较而言，卵子的个体巨大。在卵子庞大且充满液体的内部，包含着丰富的线粒体种质。这些线粒体种质进入子代的身体。因此，无论你是女性还是男性，你的线粒体全部来自最初接种的你母亲的线粒体。无论你是男性还是女性，你的线粒体全部来自你外祖母的线粒体。你的线粒体，无一是来自你父亲，无一是来自你祖父或外祖父，无一是来自你祖母。线粒体构成了对于往昔的独立记录，没有被主细胞核的 DNA 所沾染，而主细胞核 DNA 是均等地来自你 4 位祖父母中的每一位，你 8 位曾祖父母中的每一位，等等，依次往前类推。

线粒体 DNA 虽不受沾染，却不能避免突变，即复制中的随机差错。而且，它的变异率比我们"自己的"DNA 要高。这是因为，就像所有的细菌一样，它不具备我们的细胞在千万年间逐步形成的精确的校对机制。在你我的线粒体 DNA 中会有几处差异，根据差异的数量，可以推测出你我的祖先是在多久以前分岔的。这里所说，不是所有的祖先，而是我们在女性—女性—女性……一线上的祖先。如果你的母亲是位纯种的澳大利亚土著居民，或者是一位纯种的中国人，或者卡拉哈里土著居民，那么，你我的线粒体 DNA 之间确实会有许多不同。至于你父亲是谁就无所谓了：他可以是一位英国侯爵，或者是一位苏族首领，对你的线粒体都没有影响。你所有的男性祖先也都一样。

因此，就有了一本单独的线粒体《次经》[①]，它与主要的家庭圣经一起代代相传，并有一个很大的优点：只由母系往下传。这种观点并不是性别歧视，如果它由父系传下来，也丝毫不差。其优点在于完整性，在每一代都既不会被割裂，也不融合。

---

① 指《圣经·旧约》中见于七十子希腊文译本和通俗拉丁文本，但未为希伯来文原文或基督教新教译本收录的经文。——译者注

作为 DNA 系谱学者，我们需要的是纯粹单一性别，而不是两个性别都有的世系。如同姓氏一样，Y 染色体只由父系传下来，从理论上来说也同样是适用的，但是它所包含的信息太少而派不上用处。把线粒体《次经》用于确定同一物种内共同祖先的年代是非常理想的。

一组研究人员曾与伯克利加州大学已故的阿伦·威尔逊(Allan Wilson)合作研究线粒体 DNA。20 世纪 80 年代，威尔逊和他的同事们曾从全世界抽样了 135 名妇女进行线粒体 DNA 序列调查。这些妇女中有澳大利亚土著人、新几内亚高地人、美洲土著人、欧洲人、中国人，以及非洲多个民族的代表等。他们逐对研究了每个妇女与其他各个妇女线粒体 DNA 字母差异的数目。他们将这些数目输入计算机，要求计算机构建出它所能找到的最简便的家族树系。“最简便的”在这里是指尽量排除假设性一致。这点需要作些解释。

假如注意一下关于马、猪和酵母等的细胞色素 C 字母序列的分析，你就会发现，马与猪之间只有 3 个字母不同，猪与酵母之间有 45 个字母不同，而马与酵母之间，这种不同的字母有 46 个。我们曾指出，从理论上讲，由于有比较近的共同祖先把马和猪互相联系在一起，所以它们各自与酵母的距离应该完全一样长。45 与 46 的差异是一种畸变，在一个理想世界里不应存在。它或许是由于在马的进化过程中出现过一次额外的突变，或许是在猪的进化过程中出现过一次相反的突变。

这儿确实存在着一种荒谬的观点。在理论上可以设想，猪与酵母的关系要比它与马的关系近。在理论上，猪和马逐步形成如许相似之处(它们的细胞色素 C 文本只有 3 个字母不同，而它们的身体基本上是一模一样的哺乳动物模式)，有可能是出于种种巧合。我们之所以不相信这一观点，是由于猪和马相像的地方比猪和酵母相像的地方多得多。不可否认，在一个 DNA 字母上，猪与酵母更为接近，然而这被猪与马之间其他方面无数的相似之处压倒了。理由是最简便。如果我们假设猪与马的关系近，我们只需接受一个因巧合形成的相似之处；如果我们假设猪与酵母的关系近，我们就必须假定一连串的相似之处都是互不相干地因巧合而形成的，其数量多到不现实的程度。

在马、猪和酵母的相互关系问题上，上述的简便理由是显而易见，无可置疑的。但是，人类不同种族的线粒体 DNA 相似程度极高，这是没有什么可怀疑的。“简便”的理由仍然存在，但只表现为微不足道的数量上的论据，而不是有力的、决定性的论据。从理论上说，计算机要做的工作是：列出全部有关 135 名妇女的可能的家族树，然后检验这一系列家族树，从中选出最“简单化”的一种，即因巧合而致的相似之处最少的一种。我们必须面对这样的事实：即使是最好的家族树，也可能迫使我们去接受一些小的巧合，就像我们被迫接受如下事实：从一个 DNA 字母的角度看，酵母距猪更近些，离马更远些。但是，至少在理论上，计算机应该能够轻易地完成这一任务，并向我们展示，在众多可能的家族树中，哪一棵是最“简便”的，也就是

巧合最少的。

这只是在理论上。但在实际上存在着一个障碍。可能的家族树的数量，比你、我，或任何数学家所能想像到的要大得多。在马、猪和酵母一例中只有 3 种可能的家族树。显然正确的一种是([猪、马]酵母)，猪和马一起，被放置在内括弧里，而酵母则是无关联的"局外者"。另外两种理论上的家族树，是([猪、酵母]马)和([马、酵母]猪)。如果我们再加上第四种生物，比如鱿鱼，家族树的数目就会上升到 15 个。我不想一一列出所有这 15 种家族树，但是愿举出正确(最简便)的一个，即([猪、马]鱿鱼)酵母。猪和马作为近亲又一次舒适地被放置在最内层的括弧里。下一个参加该俱乐部的是鱿鱼。跟酵母相比，它与猪/马世系拥有更为晚近的共同祖先。其他 14 个家族树中的任何一个，比如([猪、鱿鱼]、[马、酵母])，肯定都不够简便。如果猪真是鱿鱼的近亲，马确实是酵母的近亲，那么，猪和马极不可能各自独立地发展了如此多的相似之处。

如果说 3 种生物有 3 种可能的家族树，4 种生物有 15 种可能的家族树，那么 135 名妇女会构成多少种可能的家族树呢？答案将是一个大得可笑的数字，甚至没法把它写出来。假如用世界上最大、最快的计算机来列出所有的可能的家族树，直到世界末日，也还不能取得明显进展。

然而，这个问题还是有希望解决的。我们习惯于利用审慎的抽样方法来对付无法想像的巨大数字问题。虽然我们数不清亚马逊平原有多少昆虫，但是我们可以在森林中随机选取一些小地块，假设这些地块具有代表性，便可根据小地块抽样的数字推算出亚马逊平原昆虫总数。我们的计算机不可能检验有关 135 名妇女的所有可能的家族树，但是计算机可以从所有可能的家族树中进行随机抽样。如果你什么时候从 100 亿亿个可能的家族树中抽取一个样本，注意到若干最简便的样本都具有某些共同特性，你可以由此断定，在所有家族树中，大概最简便的家族树都有同样的特性。

这是人们迄今已经做过的事情。然而这并不一定表明它是解决问题的最佳方法。正如昆虫学家可能不同意用最典型的方法给巴西雨林抽样，DNA 系谱学者也采用了各种不同的抽样方法。而且，遗憾的是，结果并非总是一致的。然而，由于他们的工作极有价值，我将把伯克利研究小组对人类线粒体 DNA 所做的最初分析的结论介绍给读者。他们的结论非常有趣，并且颇有争议。根据他们的分析，最简便的树系牢牢地扎根于非洲。这话的意思就是，一些非洲人与其他非洲人的关系比与全世界其他地方任何人的关系更远。世界上所有其他地方的人——欧洲人，美洲土著，澳大利亚土著，中国人，新几内亚人，因纽特人，以及所有其他人——构成了一群相对较为亲近的表亲。部分非洲人属于这一组近亲，但其他非洲人则不属这一组。根据这一分析，最简便的家族树看来是这样的：(某些非洲人[其他非洲人(再其他一些非洲人[再再其他一些非洲人和其他所有人])])。他们因此断言，我们所有人的母系远祖住

在非洲，叫做“非洲夏娃”。我曾提到，这个论断是有争议的。其他一些科学家声称，可以找到同样简便的家族树，这些树系最外面的分支出现在非洲以外的地方。他们还认为，伯克利小组之所以得到这个结果，部分原因是出在查找可能家族树的计算机的指令上。显然，查找指令无关紧要。也许大多数专家仍会把钱花在“线粒体夏娃是非洲人”上面，然而他们却不会有很大信心了。

对伯克利小组的第二个结论争议不大。不管线粒体夏娃居住在什么地方，他们都能估计出她生活的时间。由于已经知道了线粒体 DNA 的进化速度，因而你能给线粒体 DNA 趋异之树的每个分岔点标上一个大概的时间。联结所有女性的分岔点，即线粒体夏娃的诞生日是在 15 万至 25 万年前。

不论线粒体夏娃是不是一个非洲人，“我们的祖先来自非洲”都无疑是正确的，要避免在这个意思上可能发生的混乱，这是很重要的。线粒体夏娃是所有现代人类最近的祖先。她是智人中的一员。在非洲和非洲以外的地方都曾经发现过早得多的人科直立人(Homo erectus)化石。而比直立人更早的能人(Homo habilis)和各种南方古猿属(Australopithecus)化石(包括新近发现的 400 多万年前的南方古猿化石)则仅在非洲发现过。因此，如果我们是在过去 25 万年内迁徙世界各地的非洲人的后裔，那么这是非洲人的第二次大迁徙。有一批非洲人离开得更早，大约是在 150 万年以前，那时直立人迂回曲折地离开非洲，移居到中东和亚洲一些地方。非洲夏娃理论认为，并非不存在早期亚洲人，而是那些早期亚洲人没有留下后代。不论你怎样看待这个问题，如果回到 200 万年以前，我们都是非洲人。非洲夏娃理论还认为，即使回到仅仅几十万年前，现今存活的人类也都是非洲人。如果有新的证据支持，有可能从在非洲所有现代线粒体 DNA 追溯到一个非洲之外的母系祖先(比如说“亚洲夏娃”)，同时又能赞同我们更古老的祖先仅发现于非洲。

此刻，我们假设伯克利研究小组是正确的，让我们研究一下他们的结论意味着什么，以及不意味什么。“夏娃”这个绰号已经产生了不幸的影响。一些热心人轻率地认为：她肯定是一个孤独寂寞的女人，是地球上惟一的女人，是最初的遗传瓶颈口，甚至是《创世记》的一个证明！这完全是误解。“她是那个时代地球上惟一的女人”，“在她那个时代，人口比较少”，这两种说法都不正确。她的男女同伴也许既数量众多，而且生殖力旺盛。他们也许至今还有大量后代活在世上。但是因为他们与我们之间的联系在某一点上通过了一位男性，他们的线粒体的所有后代已经消失。同样，一个贵族姓氏(姓氏是与 Y 染色体联系在一起的，并且与线粒体的情形恰好相反，只由父子相传)可能消失，但这并不是说拥有这个姓氏的人就没有后代，他们或许会有数不清的后代，只不过不是通过父子相传，而是通过其他途径传下来。正确的说法仅能是：线粒体夏娃是离我们最晚近的一位纯粹母系的共同祖先，所有的现代人都是她的后代。必定有一名妇女能够符合这个结论。惟一的争论是关于她住在这里还是那里，是在此时还是彼时。她确实曾生活于某时、某地，

这个事实是确定的。

这里还有第二种误解。这种误解更为普遍，甚至在从事线粒体 DNA 领域研究工作的领头科学家那里，我都曾经听到过。那就是相信“线粒体夏娃”是我们最晚近的共同祖先。这种误解的根源是对两个概念的混淆：一个是“最晚近的共同祖先”，另一个是“最晚近的纯粹母系的共同祖先”。“线粒体夏娃”是我们最晚近的纯粹母系的共同祖先，然而还有很多其他途径可以延续后代，不仅仅是纯粹母系这一条线，其他途径有成百万。让我们回到关于祖先数目的计算中来（让我们忘却表亲联姻的复杂情况，它曾是前面争论的焦点）。你虽然有 8 位曾祖父母、外曾祖父母，但其中只有一位是纯粹母系的。你虽然有 16 位高祖，但其中也只有一位是纯粹母系的。即使允许表亲结婚减少了在某一代中祖先的数目，但是，与纯粹母系相比，确实还有更多、更多、更多成为祖先的途径。当我们沿着遗传之河经过遥远的古代溯流而上，可能会有许许多多夏娃，许许多多亚当。这是些焦点人物。生活在 1995 年的所有人可能都是她或他的后代。“线粒体夏娃”只是其中之一。没有什么特别理由可以认为线粒体夏娃是所有这些夏娃和亚当中离我们最近的一位。情况与此相反。她被规定了一个特别的途径：在遗传之河中，我们是由这个特定的途径成为她的后代。与纯粹母系途径相并行的可能途径，数目非常巨大，因此从数学上“线粒体夏娃”极其不可能是所有夏娃和亚当中距我们最近的一位。它是一条特殊的单行道（只经母系遗传）。如果又是最近的途径之一，那将是一个了不起的巧合。

再有一点也多少使人感兴趣，那就是我们最晚近的共同祖先更有可能是一个“亚当”，而不是“夏娃”。一夫多妻比数男共一妻可能性更大，这是因为，仅从生理上说，男性能生育几百、甚至几千个孩子。在《吉尼斯世界纪录大全》中，这一纪录已超过 1000，创造这纪录的是以实玛利。女性即使在理想条件下，最多也只能生育二三十孩子。女性的子女数较男性更平均。少数男人的孩子可能多得荒唐可笑，但这就意味着另一些男人连一个孩子都没有。如果有一个人完全不能生育，这个人更可能是个男人而不是女人；而如果有一个人拥有太多的后裔，这个人也更可能是个男人。因此，人类最为晚近的共同祖先，很可能是一个亚当，而不是一个夏娃。举个极端的例子，谁更可能是今日全体摩洛哥人的祖先？是以实玛利，还是他的某个不幸的妻妾？

我们可以得出以下结论：第一，必定存在着一位我们可称为“线粒体夏娃”的女性，她是所有现代人最晚近的纯粹母系共同祖先。第二，必定还有一个称为“焦点祖先”的人，其性别尚不为人知，却是所有现代人通过任何遗传途径而来的最近的共同祖先。第三，虽然线粒体夏娃和“焦点祖先”有可能是同一个人，但很不可能。第四，“焦点祖先”更有可能是男性，而不是女性。第五，“线粒体夏娃”很可能生活在 25 万年前。第六，对于“线粒体夏娃”生活于何地，尚存争议，但是从已报道的观

点看，人们仍倾向于非洲。只有第五条和第六条要靠科学证据来检验，前四条只需借助常理进行推断即可得出。

但是，我曾说过，祖先们掌握着解开生命之谜的钥匙。非洲夏娃的故事只是一个更壮丽、更古老的史诗限于人类这一局部的缩微。我们要再次求助于基因之河——我们的伊甸园之河这一比喻。但是，我们会溯流而上穿越更为久远的时间跨度，比神话夏娃的几千年和非洲夏娃的几十万年，久远得不可同日而语。DNA之河沿着一条不间断的时间线路，途经我们的历代祖先，至少流了30亿年。

作者简介：理查德·道金斯(Richard Dawkins，1941－)，英国生物学家，著名的科普作家。1976年出版的《自私的基因》一书融合了分子遗传学、进化论和社会生物学的思想，提出"自私的基因"的进化理论，产生了广泛的影响。其著作中译本有《自私的基因》(吉林人民出版社1998年版)、《伊甸园之河》(上海科技出版社1997年版)等。

文献来源：道金斯《伊甸园之河》，王直华译，上海科学技术出版社1997年版，第34－42页，标题为编者所加。

人类的枝状进化与梯状进化

古尔德

我的第一个古生物学教师老得像他谈论的一些动物。他按照一本发黄的笔记讲课，这个笔记可能是他在读研究生时积累的，里面的词汇年年不变，纸却变得越来越陈旧。我坐在第一排，每当他翻纸时，破碎的黄色纸屑便会扑面而来。

谢天谢地，他没有教过人类的进化。近年来迅速挖掘出一些新的意义重大的前人类化石，以至于任何讲义都只能用一句基本上非理性经济的口号来形容——计划过时。每年当我在课上讲到这一主题时，我只有打开我的旧文件夹，倒出最新文件中的内容。这里我继续这样做。

1975 年 3 月 31 日，《纽约时报》(*New York Times*)头版头条写道："在坦桑尼亚发现的化石将人类的历史追溯到 375 万年前。"著名的利基家族中未被讴歌过的英雄玛丽·利基博士(Dr. Mary Leakey)在 335 万年至 375 万年火山灰沉积岩的化石层间，分别发现了至少 11 个个体的下颌骨和牙齿。(玛丽·利基常被称作路易斯的遗孀，她是一位著名的科学家，她取得的成就甚至比起她那声名显赫的亡夫的成就更令人信服。人们常将她发现的许多化石归功于路易斯，其中包括奥杜威[Olduvai]的"核桃钳人"[nutcrackerman]，即南方古猿鲍氏种[Australopithecus boisei]，这是他们的第一个重要发现)。玛丽·利基把这些碎片归类为属于我们人属生物的遗骸，大概属于路易斯·利基最先描述过的东非种能人(Homo habili's)。[①]

那又怎么样？1972 年，哈佛的古生物学家布赖恩·帕特森将一块产于东非的颌骨确定为是 550 万年前的。不过，他将这块碎片划归为南方古猿属，而不是人

---

① 我的这篇文章写于 1976 年 1 月。确如我在文中所言，玛丽·利基将莱托里颌骨归为人属已经受到一些同行的批评，然而他们也没有提出其他的假说，只是指出，仅仅依靠颌骨不足以进行一定的分析。无论如何，这篇文章中的观点仍然是有效的，而根据我们关于非洲化石的知识，人属可能像南非古猿一样地古老。而且，我们仍然缺乏坚实的证据证明人科物种发生过任何进步变化。——原注

属。但是南非古猿被广泛地看作人属的直接祖先。分类学的惯例要求奖励对一个进化谱系的不同阶段所作的命名。然而，这个习惯不应该使生物学上的实在变得模糊。假如能人是南方古猿阿法种的直接后代(以及假如这两个物种在解剖特征上只有少量差异)，那么最古老的"人类"可能会像最古老的南方古猿一样的古老，而非人为设定的人种中最古老的成员。那样的话，找到了比最古老的南方古猿晚150万年的一些颌骨和牙齿有什么可激动的呢?

我相信玛丽·利基的发现是近十年来第二个最重要的发现。为了解释我的激动，我必须提供有关人类古生物学的一些背景，并讨论进化论中的一个基本的、但很少为人所认识的问题，按照进化变化的比喻，就是"梯状"(进化)与"枝状"(进化)之间的矛盾。我想指出，就我们所知，南方古猿可能不是人类的祖先；而且无论如何，进化之路都不是梯状的。(我所说的梯状指的是通常将进化描绘成连续的祖裔顺序。)玛丽·利基发现的下颌骨和牙齿是我们所知的最古老的"人类"的下颌骨和牙齿。

许多人认为人类的进化是梯状的。我们一直在寻找连接猿的祖先与现代人类之间经过逐渐连续转变的单一进化顺序。"缺失的环节"或许更应称作"缺失的梯级"。如英国生物学家J. Z. 杨(J. Z. Young)最近在他的《人类研究导论》(*Introduction to Study of Man*)(1971)一书中所说："一些杂交但变化的群体逐渐变成我们认作智人种的状态。"

具有讽刺意味的是，正是梯状的比喻首先否定了南方古猿在人类进化中起过作用。南方古猿阿法种(A. africanus)完全直立行走，但大脑容积比我们人类的要小三分之一。当20世纪20年代发现南方古猿阿法种时，许多进化论者还相信所有的特性变化应符合进化的谱系，即"类型和谐转化"。一种直立但脑小的猿只代表了肯定早就灭绝的异常分支(我想，真正的中间类型，大概是半直立的，脑容积为我们人类的一半的动物)。但是，随着20世纪30年代现代进化理论的发展，对南方古猿的异议消失了。自然选择可以在进化过程中独立地作用于适应的特性，在不同的时间，以不同的速率改变这些特性。古生物学家将这种特性潜在的独立性称作"镶嵌进化"。

在镶嵌进化的作用下，南方古猿阿法种荣登(人类)直接祖先的崇高位置。正统的学说认为人类的进化是种三级梯子：南方古猿阿法种——直立人(爪哇人和北京猿人)——智人种。

20世纪30年代，发现了所谓粗壮形的南方古猿，南方古猿硕壮种(A. robustus)(以及后来玛丽·利基于20世纪50年代后期发现的更极端的硕壮种，南方古猿鲍氏种，A. boisei)，这样便出现了一个小问题。人类学家不得不承认南方古猿的这两个种生活的时期相同，即梯子上至少包括两个分支。然而，南方古猿阿法种的远祖地位并没有受到挑战；它只不过有了一个次要的、根本不成功的后裔，脑小，

颌骨大的硕壮谱系。

然而，在1964年，路易斯·利基及其合作者通过命名东非的一个新种，能人(Homo habilis)，而从根本上重新评价了人类的进化。他们相信能人与上述两个南方古猿谱系生活在同一时期，而且，如其名称所示，他们认为比起同时生活的南方古猿，能人更明显地像人。对于坚持梯状进化的人来说，这可是个坏消息：三个共存的前人类谱系！而且一个潜在的后裔(能人)生活的时期与设想的祖先生活的时期相同。利基发表了实属异端的看法：两个南方古猿谱系都是旁支，在智人种的进化中不起直接作用。

但是，由于两个原因，利基确定的能人引起了争议。传统的梯状观仍然受到捍卫。

1. 能人的化石很零碎，而且属于不同的地点和时期。许多人类学家认为利基的确定混合了两个不同的东西，两者都不是一个新的种：一些更古老的物质大概应属于南方古猿阿法种，一些晚近的化石属于直立人(H. evectus)。

2. 时期不清楚。即便能人代表了一个种，它可能比大多数或所有已知的南方古猿更年轻。正统的学说可能变成了有四个梯阶的梯子：南方古猿阿法种——能人——直立人——智人。

但是，就在这种扩充的梯状观点开始取得一致时，路易斯·利基和玛丽·利基的儿子理查德在1973年报道了他10年来的发现。他挖掘出一个几乎完整的颅骨，脑容量差不多800毫升，大概是南方古猿阿法种的两倍。而更关键的是，他凭着好古的偏好，标定这个颅骨是属于230万年前的，即比大多数南方古猿的化石都古老，但不及最古老的550万年的南方古猿。能人不再是路易斯想像出的怪物。(理查德的样品通常慎重地以产地的数码来标定，ER-1470。但是无论我们是否选用能人这个名称，它确实是我们人属中的一员，而且它确实与南方古猿属于同一时期。)

现在玛丽·利基已经将能人缩回了100万年(正如许多专家相信的那样，ER-1470可能更接近200万年前而不是更接近300万年前)。能人不是已知的南方古猿阿法种的直接后裔，这些新的发现事实上比几乎所知的南方古猿阿法种样品都古老(而所有这些零碎样品的分类学地位是否比玛丽·利基的能人更古老尚有争议)。根据我们已知道的化石，人属像南方古猿一样的古老。(你还可以认为人类是从一种更古老的但尚未发现的南方古猿进化来的。但是还没有证据支持这种观点。而我也可以根据同样的理由猜想南方古猿可能是从一种尚不知道人属进化来的。)

芝加哥的人类学家查尔斯·奥克斯纳德曾经认为南方古猿有另一个来源。他利用严密的多变量分析技术(同时从统计学角度考虑大的测量数目)，研究了南方古猿、现代灵长类(大型猿和其他猴子)和人属的肩、盆骨及足。他的结论是，南方

古猿与猿和人类相比，有着“独特的差异”，当然许多人类学家不同意他的结论。他还提出将脑容较小、极为独特的南方古猿属的不同成员组成与人类谱系不相连的一个或几个平行的谱系。

假如我们必定识别出3个共存的人科谱系(南方古猿阿法种，粗壮南方古猿和能人)中并没有相互由来的关系，人类的梯状进化又怎么能成立？而且在它们生居于地球的时期，三者都不曾表现出任何进化的趋势；它们即使进化到今天，也没有一个种能变成脑容更大或更加直立的类群。

话说到这里，我诚惶诚恐地承认，我深知那些纷纷写信给我的特创论者一定会想，“看，古尔德也承认我们不能在早期非洲人科中发现进化的阶梯；物种出现又消失，外形与远祖没有区别，听起来像是特创”。(当然有人可能要问，为什么上帝认为应当造就那么多人科种类，而且为什么他的后期作品直立人特别像人而不像早期的人科动物。)我认为这并不是进化本身的错误，而是我们多数人所持的进化过程的错误图景，即梯状进化。因此我们要转向枝状进化的主题。

我想指出，在化石记录中，物种“突然”的出现，以及我们没有找到它们以后变化的记录，正是我们理解的进化理论的恰当预期。进化通常是一种“物种形成”过程。从亲原种分裂出一个谱系，而非大的亲原种的缓慢而逐渐的变化。物种形成的重复间隔构成枝状图景。进化的“顺序”并不是像一个梯子上的梯阶，我们经过重溯再造发现那是一种迂回的途径，经过的路程像是一条曲径，从枝形图景的基点到现在生存至顶端的谱系，是一个又一个分支。

物种形成是如何发生的？这是进化论中一个长期的热点问题，不过多数生物学家会将物种形成归因为“异域理论”(争论的中心是对其他模式的承认程度，几乎多数人同意异域的物种形成是最常见的模式)。异域指的是“在其他地区”。按照恩斯特·迈尔推广的异域理论，新种是从在原来亲种分布地区的外周地带与亲种隔离的非常小的群体中产生出来的。按照进化的标准，在这种小的隔离体中，物种形成非常迅速，只需数百年或数千年(地质时间上属于微秒)。

在这种小的隔离群体中，有可能发生显著的进化变化。有利的遗传变异能很快地在群体中传播。而且在物种仅有立足点的地理边缘地区，自然选择的作用增强。而另一方面，在大的中央群体中，有利的变异传播的很慢，许多变化被适应的群体顽固地抵消了。在变更缓慢的环境中，生物的变化很小，但是在形成新物种的外周隔离的小群体中，几乎总是发生显著的遗传变化。

假如进化的发生差不多总是通过外周小隔离体中的迅速物种形成，而不是通过大的中央群体中的缓慢变化，那么化石记录应该是什么样的呢？我们不可能发现物种形成事件本身，在很小的群体中，这样的事件发生得太快，与原生区域又隔离得太远。我们看到成为化石的新物种是这个物种已经进入祖先区域并变成大的中央群体了。在这种化石记录记载的历史中，我们不可能看到显著的变化，因为我

们知道一个物种时，它已经成为成功的中央群体。只有当它的外周隔离体通过物种形成变成枝状进化图景中的分支，该物种才将参加到生物变化的过程中。但是这个物种本身在化石记录中将“突然”出现，并且以后迅速地突然灭绝，形态上没有明显变化。

非洲化石人科动物完全符合这样的猜测。我们知道人类枝状进化的3个共存的分支。如果到这个世纪末之前又有两倍以上这样的分支再被发现的话，我不会感到惊奇。这几个分支在有记载的历史中并没有发生变化，而且假如我们正确理解进化的话，它们应不是新分支的产物，因为进化的发生集中在物种形成的迅速事件上。

我们智人并非是一开始就向着崇高位置迈进的预定梯状进化的产物。我们仅仅是曾经繁茂的枝状谱系中一个生存下来的分支。

作者简介略。

文献来源：古尔德《自达尔文以来——自然史深思录》，田洺译，三联书店1997年版，第二部分第六章（第46—54页）。沿袭原有标题。

在人的阴影中

珍妮·古多尔

脑髓的进化以及其他种种因素，使得人类能够使用和制造工具，从事逻辑思维，进行意识交流，并产生了语言；正是由于这些，作为生物物种之一的人类，获得了非凡的成功。[①] 人类和黑猩猩脑髓构造上的相似，是说明两者生物学上近似的一个最令人惊奇的例证。黑猩猩具有简单思维的能力，在一切现存的哺乳动物中，和人最为接近。现代黑猩猩的脑髓，和那些进化为人类的原始猿类的脑髓，是没有多大区别的。

直到不久以前，人们认为，能够制造工具乃是人类区别于其他生物的主要标志。当然，正像曾经指出的那样，黑猩猩制造工具是并没有什么预定计划的。可是要知道，史前时代的人类在手持石器之前，就能熟练地使用草茎和棍棒；很难说，在修整这些草茎和棍棒时，他们就已经有了什么预定的计划。

在大多数人的概念中，工具是和人紧密联系着的，所以最集中地注意那些能将物体作为工具使用的动物。然而必须懂得，这种能力本身并不足以证明动物具有某种高等的智力素质。燕雀会用仙人掌的刺或细树枝，从树洞里啄出虫子。可是，这种鸟在智力上，并不比用自己的长嘴从树洞里啄出虫子的现代啄木鸟更发达些。

只有当动物发挥自己的能力，为达到各种不同目的而使用某些物体的时候；只有当动物能够出自自身地使用某些物体以解决完全新的任务——不使用工具，这些任务是解决不了的——的时候；向使用和制造工具这一步的转变，才成为进化过程的重要标志。

---

① 恩格斯曾这样指出："首先是劳动，然后是语言和劳动一起，成了两个最主要的推动力，在它们的影响下，猿的脑髓就逐渐地变成人的脑髓。"然后又说："脑髓和为它服务的感官，愈来愈清楚的意识以及抽象能力和推理能力的发展，又反过来对劳动和语言起作用，为二者的进一步发展提供愈来愈新的推动力。"我们认为，这样地理解脑髓与劳动、语言等之间的关系，才是正确的。——译者注

在贡贝禁猎区我们曾观察到，黑猩猩是怎样地使用工具以达到各种目的的。它们使用草茎和细棍钓虫子，并且在必要时加以修整和改变。当嘴唇够不到水时，它们利用叶子来吸取，而且还一再预先咀嚼叶子，以增强其吸水能力。有一次我看到成年公黑猩猩怎样用这种"海绵"去清理狒狒脑颅的内面。我屡次见到，黑猩猩怎样用一把叶子擦拭身上的毛，除去身上的脏物，或者用叶子敷贴疮伤。有时，黑猩猩还用木棒把土蜂窝的入口捅得更大些。

黑猩猩在不得已时，常常会完全独立地使用物体作为工具，以完成各种各样的任务。伏尔福冈克·考列尔的实验表明，猿猴利用木棒试图打开箱子的门闩，或者从土中挖出植物的块茎。它们用一团叶子或麦秆来清理身上的毛，用石块为自身搔痒，并且用同我们的黑猩猩在钓白蚁时大体相同的技术，把一根麦秆伸进蚂蚁的通道。据考列尔的观察，黑猩猩在发生敌对性冲突时，就会使用石块和木棍。有时，它们为了寻开心，把面包扔到兽栏外去招引鸡，然后出其不意地用尖木棍刺杀它。

在实验条件下曾进行了大量试验，以搞清黑猩猩是否能够制造工具。结果表明，猿类能把几只箱子叠在一起，并且爬到箱子顶上去够着挂在天花板下的食饵。猿类可以把一团弯曲的铁丝弄直，或者把几根管子接起来，然后再用这样弄成的棍棒，去够着放在兽栏外的食饵。但是，从来还没有发现过，黑猩猩能用一种工具去制造出另一种工具。有人曾经十分细心地作过长期的研究，结果表明，即使给予示范和训练，黑猩猩也不能用石制的手斧从硬木块上砍下木片，然后用木片从狭窄的管子里取出食饵。假如木头比较软，猿类就能轻易地用牙齿啃下木片来，可是它却没有一次试图用手斧去解决这一任务，虽然实验人员不止一次向它示范应该怎么做。但是，在对黑猩猩制造工具方面的能力限度作出最后结论之前，还必须进行相当大量的动物实验。要知道，关于人类智力状况的概念，我们也不是根据一个人就得出的。比方说，有些人具有数学才能，而另一些人则并不如此。

分析野生黑猩猩的活动，并与实验条件下黑猩猩如何完成某些任务进行比较，可以得出结论：随着时间推移，动物将会发展比较复杂的工具文化[①]。要知道，归根结底，原始人类在成千上万年的长时期里，沿用着自己的原始石器，而没有丝毫实质性改变。后来突然出现了新的、更为完善的石器类型，它在各个大陆得到了广泛传播。很可能，新文化的创造者是富有天才的、卓越的个人[②]；而同部族的人们则通过训练和仿效，迅速掌握了这种新技术。

---

① "文化"这一术语即使应用于如此高度发展的动物身上时，也是颇难令人满意的。任何情况下，黑猩猩的工具活动并未超出纯粹生物适应的范畴，实质上并未改变动物机体与其周围环境之间的相互关系。

② 卓越的个人对于一个时代的文化肯定会有某种贡献，甚至是重大的贡献，但这毕竟是有限的；某种文化的创造毋宁说是集体生产经验交流的结果，是集体智慧的结晶。——译者注

倘若黑猩猩在野生条件下能继续生存下去，那么它们运用工具的活动就会沿着全新的途径得到发展。尽管黑猩猩使用物体的能力是生来就有的，然而，据我们观察，它们的幼仔完全模仿着成年黑猩猩，才逐渐学会正确地使用物体。这方面有一个例子是很有说服力的：有一回，一只患了腹泻的年轻母黑猩猩，摘下一把叶子擦拭臀部，她那两岁的幼仔细心地瞅着妈妈，立即两次重复做了同样的动作。自然，实际上她这样做是毫无必要的。

对于我和其他许多学者来说，无疑地对这样一个事实感兴趣，即在黑猩猩与人的行为之间，可以发觉许多相似之处。使我们经常感到惊讶的是，这种相像不仅限于个别的手势和姿势，而且甚至包括整个的情节。

作者简介：珍妮·古多尔(Jane van Lawick－Goodall，1934－)，英国野生动物学家，毕生致力于野生黑猩猩的研究和保护工作。著作中译本有《黑猩猩在召唤》(科学出版社 1980 年版)、《和黑猩猩在一起》(科学出版社 2000 年版)等。

文献来源：珍妮·古多尔《黑猩猩在召唤》，刘后一、张锋译，科学出版社 1980 年版，第十九章(第 277－280 页)。沿袭原有标题。

外星智能生物的可能性

迈　尔

在讨论“探索外星智能生物”(SETI)计划时人们往往把下列一些十分不同的问题混淆在一起:(1)“生命”在宇宙的其他地方存在的可能性;(2)外星智能生物的可能性;(3)如果有这样一类的生命(形式)存在,则能与之通讯(交换信息)的几率(可能性)又如何。①

目前我们还没有任何肯定的证据表明在另外的地方有生命存在,当然也就更谈不上智能生物存在的问题。这两者存在的可能性只能通过高度间接的推理来揣测。

宇宙中的生命

当探测火星的宇航任务正在准备时,天文学家 Donald Menzel 和我曾经就火星上是否会发现“像地球上的生命”(按我们现在的严格定义)这个问题用 5 美元打赌。天文物理学家 Menzel 说会发现,进化生物学家的我则说不会。究竟谁对谁错现在已很清楚,太阳系中的其他行星都不适于生命出现。

当然,一个反面的例子并不能证明任何问题。如果宇宙中的所有太阳都有行星(这实际上是一个十分可疑的假定),就可能会有成千上万个行星。这样一来就确实会在某些行星上出现生命。而且我也承认自我复制的核酸—蛋白质聚合体的多重起源的几率确实很高。

相当久以来就已经知道比较小的有机物分子,例如氨基酸、嘌呤和嘧啶在宇宙中能够自然产生,而且这类过程可以在实验室内重复。但是关于氨基酸(和肽)是

---

① 自古代以来,许多富于想像力的思想家就曾设想在宇宙的某些地方可能有生物存在。关于这个问题的讨论已有不少文献资料(见 Beck, 1985; Crowe, 1986; Dick, 1982; Regis, 1985)。Regis 主编的《外星人科学与外来智能》一书(1985)探讨了支持与反对 SETI 计划两方面的论点。

怎样和核酸聚合在一起形成真正自我复制的(即有生命的)高分子则长时期以来一直似乎无法解释。通过 Eigen 及其学派的研究(Küppers,1983)以及发现 RNA 具有酶的性质以后,在原理上似乎已不再是一个难题,特别值得注意的是甚至在生物出现以前的阶段中自然选择所显示的重要作用。具有信息贮存和复制能力的高分子系统反复起源的可能性已不再成为问题。

仍然完全无法确定的是这类事态是否经常发生,在什么地方发生,在这样的生命起源之后可能发生了多少进化演变。我们这些生活在地球上的人并不充分理解大多数行星肯定是不适于生存的。为了维持生命,行星与太阳的距离必须正好合适,必须具有合适的温度,足够的水,足够的重力(地心引力)以维系一个大气层,防止紫外线辐射的伤害,等等。除此而外,每个行星在其历史进程中都发生变化,而且这些变化的顺序必须正确无误。例如,如果在起初阶段有过多的自由态氧,它就会破坏生命。生命起源以及维持生命的这一整套先决条件就大大减少了适于生命起源的行星的数目。容许生命在地球上起源的各种条件的结合与顺序这种可能性在宇宙中的任何一个其他的行星上确实是不能重复的。我并不是就此下断语,如果我这样做那就不是科学,因为要驳倒它是不可能的。然而根据驳倒对方的可能性来衡量,则支持外星生命和智能的主张也同样是非科学的。现在我们确切知道的惟一事情是在太阳系的 9 个行星中只有地球曾经出现生命。但是为了展开讨论我们不妨可以假定生命曾在宇宙的千百万个假想的行星中的某些行星上起源。因为我们不知道究竟有多少太阳具有行星,所以上面提到的数字可能完全估计过高。

外星智能生物存在的问题

值得注意而且十分典型的是几乎所有的外星智能生物的鼓吹者都是物理科学家。有一些分子生物学家和微生物学家以及极少数浪漫主义的机体论生物学家也属于这一阵营。

为什么对进化的几率性具有专门知识的那些生物学家几乎完全一致地怀疑外星智能生物存在的可能性?就我看来大部分原因是由于物理科学家具有按决定论考虑问题的倾向,而机体论生物学家则清楚地了解进化演变是多么的凭借机遇和无从预测。

20 多年前当我和天文学家 Menzel 就火星上有无生命的问题争论得不可开交时,我一直觉得非常奇怪为什么他那么有把握地认为如果生命曾在火星上发生(或者从别的什么地方转运到火星),就必然会导致智能的类人生物出现。就他看来人类的产生就像是一个化学反应链的末产物那样,只要知道了开始时使用了哪些化学药品,你就能预测末产物是什么。他认为如果某个行星上有生命,那就理所当然地会在适当时间产生智能生物:“我们的银河星系可能包含有成百万个(适于生命

发展的)行星,都居有智能生物。”

当然,谁都知道决定论已不再是近代物理学的时尚,然而在和物理科学家交谈中我一再发现他们在思考问题时仍然是多么强烈地执著于决定论路线。如果地球上的生物进化最终归结为智能,那么在生命得以出现的一切行星上为什么不能最终产生智能?

与此相对应,进化生物学家则深刻地认识到进化演变成智能生物(即使是在地球上)简直是无法想像的那样不可能。为了说清这一点,让我们查看一下地球上生命的历史。

如果我们把地球的年龄(45 亿年)比作是一个日历年,则各类生物的起源日期如下:

地球起源——1 月 1 日
生命(原核生物)——2 月 27 日
真核生物——9 月 4 日
脊索动物——11 月 17 日
脊椎动物——11 月 21 日
哺乳动物——12 月 12 日
灵长类——12 月 26 日
类人猿——12 月 30 日午前 01:00
人科——12 月 31 日午前 10:00
人类——12 月 31 日午后 11:56½
(除夕前 3½分)

(上述地球上主要的生物进化事态的具体数字容有出入,这对我们的讨论没有影响;而其量值的大小则是正确的。)

假定地球是在 45 亿年前形成,现有证据表明生命只是在 700 百万年(my)之后才出现。确凿的早期原核生物化石约为 35 亿年前。值得特别注意的是,就地球上的生命(现象)而言其间大约有2 000百万年没有发生值得特别重视的事态。在这一段漫长的时间中,原核生物显然显示了千姿百态的多样化,然而这些(尽管按其本身的方式非常成功)很少具有作为智能生物始祖的可能性。原核生物在代谢途径上的多样化却十分惊人,蓝绿细菌甚至变成向光性而产生氧。当时地球的大气层还一直是还原性的。

大约在1 400 百万—1 500百万年以前发生了一件极其罕见的事态,按照最为可信的解释,在两类(或更多)原始生物间建立了共生关系,其中一类是提供细胞质细胞器的原核生物,另一类则是提供了细胞核的一种完全新的生物(第一种真核生

物)。这显然是一种十分成功的结合以致在几百万年间便进化演变成为四个新的(生物)界,即原生生物界(单细胞动物和植物)、真菌界、植物界和动物界。一切高等生物都是真核生物,它们的特点是每个细胞中具有结构细致精巧的细胞核和染色体。

由此可以看出从生命起源到真核生物起源之间大约相当于地球年龄一半以上的时期内除了在原核生物之内的多样化而外并没有发生任何值得注意的事态。然而真核生物一旦出现,立刻就发生了几乎是爆炸式创新的多样化。在上述的四个生物界之内各自有许多单独的进化路线,其中多数是彼此迥异的。然而除了动物界而外,其余三界都毫不显示通向智能的进化趋向。

在动物界中智能进化的情况又如何?自从动物的"模式"出现以后,各种结构模式层出不穷,到了寒武纪就至少可以分辨出 50 个门,包括存在于油页岩层中最古老的海洋软体动物的独特模式。这些门中的动物有很多迅速灭绝,现在还没有充分证据表明在寒武纪末期(500 百万年前)以后又另外出现了新的动物门。但是那些存活下来的门又不断地繁衍成纲、目、科,以及低级分类单位。在这 50 个左右的原有的动物门中只有一个门(脊索动物门)最终产生了智能生物,然而还要等待好几个 500 百万年才有智能生物出现。起初(仍在古生代),脊椎动物以极其不同的各种模式出现,过去都将之归入"鱼类",现在已经知道这些早期的脊椎动物彼此是多么不同。在这些形形色色的模式中只有一种演变成两栖类;而在各种各样的两栖类模式中又只有一种演化成爬虫类。所谓的爬虫类也是极其复杂的脊椎动物类群,包括龟,蜥蜴,蛇,鳄鱼,以及许多业已灭绝的谱系,如鱼龙,蛇颈龙,翼手龙,以及恐龙等。在如此之多的爬虫类模式中,只有拟鳄类(pseudosuchians,鸟类的远祖)和兽原类(therapsids,哺乳类的远祖)这两类所产生的后裔之中有一些具有某种程度的智能。尽管我是鸟类学家,偏宠鸟类,但是我也不会说乌鸦或鹦鹉具有适当的种类和足够的智能来建立文明。因而我们必须沿着哺乳纲继续探索,哺乳纲中包罗有像单孔目(例如鸭嘴兽)和有袋目这样一些极不寻常的模式以及许多有胎盘目,其中有很多在第三纪中业已灭绝,有些仍然存在。在哺乳动物中中枢神经系统高度发达并具有很高智能的相当普遍,但是在这些目中只有灵长目发展成为真正的高等智能生物。然而灵长目又是相当复杂的类群,包括原猴亚目(如狐猴等)与类人猿亚目(如新域猴、旧域猴等),但是只有类人猿中的猩猩科具有显然超过其他哺乳动物的智能。猩猩科动物生存到现在大约有 25 百万年,只是在 18 百万年之后这一谱系才分成若干小谱系,如长臂猿、猩猩、非洲猩猩(黑猩猩与大猩猩)以及一些业已灭绝的谱系。随着进化演变,大约在不到 30 万年以前才有现代人出现。

我之所以不厌其烦地缕述了这些,为的是要论证非常重要的一点。和那些把从生命起源发展到现代智人看作是一条直线的人的想法相反,我指陈了在这一进

化途径的每个层面上都有许多(如果不是成百上千的话)分岔点并且独立地形成谱系,在每种情况下都只有单个谱系构成最终导致人类的祖系。

如果从进化演变的详细分析中进化论者能够学习到什么东西,那便是新的分类单元的起源主要是一种偶然事件(机遇)。在100个新形成的物种中可能有99种灭绝而不能产生后代分类单元。任何新分类单元的特征在很大程度上是由这样的一些偶然因素决定:创始种群的遗传组成,其基因型的特殊内部结构,为新物种种群提供选择压力的物理环境和生物环境。

我根据智能生物在地球上出现的可能性非常之小而作出的上述议论千万不要被误解。我丝毫也不主张外星智能生物必须在解剖结构上与人类有任何相似处。我在上面已经提到某些其他哺乳动物甚至鸟类也具有一定的智能。在随后的活动中运用以往经验的能力,即智能的初期形式,在动物界确实相当普遍。在其他行星上智能的载体可能和地球上的任何生物极其不同。科幻小说的爱好者能够毫无困难地提出各种可能性。

我所要论证的是真正智能的出现(发生)是非常罕见的。地球上的动物可能有上亿种,属于成百万个独立谱系,它们全都居住在这个适宜于智能的行星地球上,然而其中只有惟一的一种成功的产生了智能。

外星智能的支持者曾经提起两种如此"极不可能"的器官如头足类和脊椎动物的眼(睛)的趋同进化作为也许同样不可能但绝不是完全不可能的智能趋同进化的类似事态,遗憾的是,如此议论的人并不了解生物学。眼睛趋同进化的情况确实在评估智能趋同进化的可能性(几率)上具有决定性意义,然而问题的关键是在不同谱系的动物中眼的趋同进化根本不是不可能的。事实上在动物界中只要眼睛具有选择优势它们就进化演变。正如Salvini－Plawen和我曾经证实的那样,在不同类群的动物中眼睛曾独立地进化演变过不下于40次。这表明在有利时一个高度复杂的器官能够反复地和趋同地进化,只要这样的进化是完全可能的。就真正的智能来说显然就不是这样,这已由地球上生命的历史加以证明。

还有另一种不大可能的情况必须提到。不知道是怎么一回事,SETI计划的支持者都天真地认为"智能"就是开拓某种能够在星系之内(甚至星系之间)进行通讯的技术。然而这也是极其不可能的。例如,尼安德特人生活在十万年以前,脑的大小和我们的相似。然而尼安德特人的"文明"是完全原始的。希腊、中国、玛雅,或文艺复兴的光辉灿烂文明,虽然也是由在体质上和我们完全相同的人们创造的,但从来没有发展这样的技术,就在几年之前我们也是如此。外星智能生物必然具有20世纪末期人类所拥有的技术和思维方式的假定无疑是过于天真。

正如人类历史所揭示,在智能生物的历史中文明只是短暂的一瞬。两种文明要彼此通讯(交流),它们必须是同时繁荣昌盛。让我用一个虚构的故事来说明这一点的重要性。假定在我们的银河系中有另一种高科技文明存在。它的"居民"采

用某些十分特殊的仪器设备能够发现 45 亿年前出现地球。他们立即开始向地球发送信号并一直继续发送 45 亿年。最后到了耶稣基督诞生的时候如果他们还没有接收到任何答复，他们就会决定再过 1900 年停止发送信号。在 1900 年他们放弃这一通讯计划时，他们就会自认为满意地证明在我们的银河系中并没有其他的智能生物存在。

我想通过这一虚构的故事来论证即使有了外星智能生物，即使他们拥有巧夺天工的技术，他们的计划所选定的时间和我们的工程技术人员所选定的时间必须吻合得分秒不差(因为天文时数值极大)。我们所考虑的外星智能的每个方面都使我们面对着极小极小的可能性(几率)。如果将这些极小的几率彼此相乘，结果将非常趋近于零，而就其实际意义来说就等于零。Simpson 在 1964 年就已指出这一点。如果外星智能生物果真存在，则怀疑能够与之建立联系这种可能性的那些生物学家常被人说成是并不是“无条件地否定外星智能的可能性”。真是如此吗？这样的无条件否认既没有事实根据，我也从未见到过用文章发表的这种无条件否认。这些生物学家只是说这种可能性趋近于零而已。这便是为什么进化生物学家作为一个集体如此不相信外星智能生物存在和更不相信能够与之通讯(如果他们存在)的原因。

就我看来，SETI 计划完全是对纳税人金钱的可悲浪费，这笔钱本来可以花在更有用的方面。①

作者简介略。

文献来源：迈尔《生物学哲学》，涂长晟译，辽宁教育 1992 年版，第 70－78 页。沿袭原有标题。

① 本文初稿写成后，我又重新读了 Simpson(1964)就这一问题发表的著名文章并为他的精辟分析和我的分析十分相似而感到惊讶。这也许是由于我在下意识中仍然记得他的论点。即使如此，我仍然极力推荐他的《外星人极其罕见》这篇力作。这篇文章在今天和 20 年前同样是十分中肯的。

第　二　部　分

科学的精神传统

题说

本部分从两个方面解读科学的精神传统。一是从科学的方法论层面，一是从科学与哲学、宗教、艺术的关系层面。

近代科学通常被称为数理实验科学，数学的运用、实验的介入，已成为近代科学根本的方法论特征。过去对方法论有一种误解，以为就是为解决问题提供一些现成的窍门和秘诀，因此所谓数学方法和实验方法，经常简单地沦为工具和手段。实际上，数学和实验之所以成为近代科学的两种方法论要素，首先是因为世界被作了存在论（本体论）的重新规划。一方面，自然这本大书被认为是用数学语言写成的，只有熟悉数学，才有可能读懂它。另一方面，人与世界之间的控制关系，要求对自然实施一种可控制、可操作的实验方案。

数学对于自然科学的重要性一直受到特别的重视，但重视的理由不尽相同。一个理由是把数学作为自然科学的基本工具，另一个理由则是把数学作为最本真的科学原型，它反映了科学探究的基本精神。罗素说："在数学中，对真理的钟爱比其他地方更易找到。"这里选入的几篇论数学的文章，就是想突现对数学的第二种理解。科学史家柯瓦雷的文章则是对近代科学传统之由来的一个经典阐释。

博物学不是近代科学的主流，但这一脉从未间断，并且不断从主流数理实验科学那里汲取营养。诚然，我们可以说博物学也做实验，它以大自然和田野为实验室；我们可以说博物学也用数学，尽管它更多地研究"类型"和"结构"而非"数量"。但是，博物学在当代的重要性，更在于它对待自然界的态度：它的目标是理解和鉴赏而非征服和控制，因而它是整体论的而非还原论的，是突现论的而非决定论的。

跟数学一样，哲学其实也是原型科学，它们都代表了追求真理追求自由的纯粹理性精神。正是在这个意义上，哲学往往成为科学研究的内在精神动力。量子力学的创始人之一玻恩说过："每一个现代科学家，特别是每一个理论物理学家，都深刻地意识到自己的工作是同哲学思维错综地交织在一起的，要是对哲学文献没有充分的认识，他的工作就会是无效的。在我的一生中，这是一个最主要的思想。"

对自由的渴望、对卓越的追求，是包括科学、艺术、哲学等一切创造性精神活动的内在动机，因此我们看到，在科学、宗教和艺术的内在精神上有着惊人的相通性。爱因斯坦相信："固然科学的结果是同宗教的或者道德的考虑完全无关的，但是那些我们认为在科学上有伟大创造成就的人，全部浸染着真正的宗教的信念，他们相信我们这个宇宙是完善的，并且是能够使追求知识的理性努力有所感受的。"而在对美的追求、想像力的运用方面，科学与艺术简直就是殊途同归了。

5 数学 ≫

数学与物理科学

怀特海

现在我们来看一个实际的例子，也即牛顿和万有引力定律的例子。这一定律陈述，任何两个物体具有相互吸引的力，其大小与它们质量之乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比。例如，若 m 和 M 为两物体的质量（以磅表示），它们之间的距离为 d 英里，则由于一方将另一方朝自身吸引而作用于任一物体之力与 $\frac{mM}{d^2}$ 成比例；因此，这个力可以写成等于 $\frac{kmM}{d^2}$，式中，k 为一确切的数值，它取决于这一吸引力的绝对量，还取决于我们选定来衡量该力的单位。不难看出，倘若我们想以 1 磅质量这样的方式来计算这些力，k 代表的数值必然极小，因为 m、M、d 均各等于 1 时，$\frac{kmM}{d^2}$ 乃是两个相等的 1 磅质量在相距 1 英里时的万有引力的吸引力，这简直是微不可辨的。

但不管怎样，我们现在有了表明吸引力的我们的公式。倘若我们称这个力为 F，则 $F=\frac{kmM}{d^2}$，它给出了变量 F、m、M、d 之间的相互关系。我们都知道它是怎样被发现的那个故事。该故事说，牛顿坐在果园中看到一个苹果落下，于是他脑中突然显现了万有引力定律。也许他是在果园中或者其他地方——他必然总要呆在某处——最终用公式表示了万有引力定律。但是，对我们的目的来说，最好还是详细地来论述一番大量先行的准备性思想，它们是许多世纪以来，许多有才智者的成果，在确切的万有引力定律能被公式表示以前，这些准备性思想乃是必不可少的。首先，我在前两章阐明的数学程序和思维的数学习惯，是必须经由人们加以创造方能有成的；否则牛顿永远不会想出表示相隔任何距离的任何两个质量间之力的公式。其次，我们使用的诸术语——力、质量、距离——的含义是什么？先来看看其

中最易懂的一项术语:距离。我们似乎都很清楚,当我们构想一切物质事物时,我们就像在勾画一确切的几何的整体一样,因此,不同部分的距离是可以利用某种长度单位(比如1英里或1码)来衡量的。这几乎是我们想到的一切物质结构的首要的方面。它是几何学和测量法的研究的渐进结果。但即便是现在,在某些情况下,人们觉得其他的思考方式似乎更方便。在山区国家,距离常常用小时来计算。不过我们暂且撇开距离,另外两项术语——力和质量——要晦涩得多。牛顿想用这些词汇表达的诸概念之确切含义是缓慢地形成的,牛顿本人是透彻理解力学诸确切的一般原理的第一人。

整个中世纪,在亚里士多德的影响下,科学遭到了完全的误解。牛顿具有生长在一系列伟大人物之后这一有利条件。在这些伟大人物中,特别需要提到意大利的伽利略,他已在前两个世纪中重建了科学,并创立了研究科学的正确方法。牛顿完成了自己前辈们的工作。于是,在他的头脑中,最终形成了力、质量、距离的清晰而又明确的概念,并且认识到这些概念的重要性,以及它们与苹果的下落和行星运动的关系,他提出了万有引力定律,并证明它是永远能满足这些不同运动的公式。

在数学公式的应用方面,极其重要的一点是:应该具有清晰的概念,并对它与所观察现象的贴切程度,具有正确的估计。自然现象的重要性给我们上古祖先印象之深,以及他们想采取有力措施以控制事件发生的顺序这种愿望之强烈,并不逊于我们的感受和意愿的强烈程度。在无意义的概念的影响下,他们举行煞费苦心的宗教仪式,以帮助月亮逃脱天狗的吞食,他们在日食的时候举行献祭,以拯救太阳。没有理由认为,他们比我们愚蠢。这只是因为在那个时代,还没有让清楚而贴切的概念得以缓慢积累的机会。

电磁学这门科学逐渐发展的历史,说明了物理科学是怎样发展成为一种能用数学方法加以处理的形式这一过程。大雷雨是一规模巨大的事件,它使人们甚至动物惊恐。从最远古的时代开始,大雷雨从来就是各种不切实际的和荒诞的假设的对象,尽管与电有关的我们现代的科学发现,比野蛮人的任何不可思议的解释,是否就更不令人惊讶,这一点也许还值得怀疑。希腊人知道,琥珀(希腊语,电子)当受到摩擦后,会吸引很轻的干燥物体。1600年,吉尔伯特博士在科尔切斯特发表了关于这一问题的首部著作,他在该著作中遵循了所有的科学方法。他制作了一个表,其中列举了具有类似于琥珀性质的其他物质;他肯定还具有把电和磁两种现象联系起来(虽然是模糊地)的功劳。17世纪末和整个18世纪,知识发展了。制成了各种电气机,可以用它们产生电花;发明了莱顿瓶,用它可以增强这些效应。人们正在获得有系统的知识,但仍然没有发现贴切的数学概念。1752年,富兰克林将一只风筝放入云层中,从而证明了大雷雨是带电的。

另一方面,中国人早在公元前2634年就在利用罗盘指针的独特的性质了,但似乎并未将其与任何理论概念联系起来。人类生活中真正深刻的变化,最终源自

为了知识本身的目的而被追求的知识。罗盘的利用直到12世纪末才传入欧洲，这离它在中国的首次被利用，已经过去了三千多年。以后，电磁学这门科学才在人类生活的每个领域里显示了它的重要性，这并非由于欧洲人较高的实用倾向，而是由于下述事实，即在西方，电和磁的现象乃是由一些纯粹为了抽象的理论兴趣而进行研究的人所研究之故。

电流的发现应归功于两位意大利人，伽伐尼于1780年以及伏打于1792年。这一伟大发现揭开了一系列新的需要进行研究的现象。科学世界至此有了三个单独的(虽然是有联系的)事件群体：电摩擦的电气机产生的"静"电效应、磁现象，以及由电流引起的效应。从18世纪末以来，这三个方面的研究迅速地相互联系、交错，建立了电磁学这门现代科学，现在它有改变人类生活之势。

现在，数学概念出现了。在1780到1789这10年过程中，法国人库仑证明了两磁极互相吸引或排斥，此种吸引力或排斥力之大小与两磁极距离的平方成反比，同一定律也适用于电荷，这些定律与万有引力定律令人惊讶地相似。1820年，丹麦人奥斯忒发现了电流会对磁体产生力，几乎紧随其后，法国人安培正确地用公式表示了该力的数学定律，安培还证明了两个电流会相互产生力。

"这种实验研究——安培利用它而建立了两个电流之间力学的作用之定律——乃是科学中最卓越的成就之一。整个工作(理论和实验)似乎一下子就因'电学牛顿'的智力天赋而完全成熟了，十分完备了。它在形式上是完整的，并且在精确度上是不容置疑的，它被概括成一个公式，一切现象均可用该公式加以推论，该公式必然永远都是电动力学的基本公式。"

1831—1832年期间，迈克尔·法拉第发现了好几项电流与电流之间以及电流与磁体之间的电磁感应的重要定律。人们问法拉第："这一发现有什么用?"他回答说："一个孩子有什么用——用处就在他将长大成人。"法拉第的"孩子"已经长大成人，现在成了电学的一切现代应用的基础。法拉第还阐明了电磁学的全部理论概念。法拉第的概念未能被当时的科学界充分理解，克拉克·麦克斯韦于1873年发展了法拉第的概念，并用直截了当的数学形式加以表现。作为其数学研究的结果，麦克斯韦认识到，电振动应予扩展。他立刻提出，形成光的那些振动乃是电振动。这一见解后来得到了证实，因而现在光学的整个理论，只不过是电学这门伟大科学的一个分支。1888年，德国人赫兹根据麦克斯韦的概念，成功地用直接的电学方法产生出电振动。他的实验乃是我们无线电报的基础。

在更近的年代里，人类完成了甚至更带有根本性的发现，电磁学的理论重要性和实践利益在继续增长。电磁学发展的粗略概述说明了：经由确切的理论概念——它们被实验所提出，而它们本身又提出了新实验——的逐渐引入，一大堆孤立的、甚至琐碎的现象，是怎样被结合起来成为一门表达清楚的科学的，在该科学中，抽象的数学演绎——它从少数简单的假设的定律出发——为复杂的、乱七八糟

的事件进程提供了说明。

最后，倘若我们把眼光超出电磁学和光学这些特定的科学，我们就能在更大的范围内概括我们的观点，并将我们的注意转向数学物理学——它被认为是科学思想的伟大的一页——的发展。首先，我们极简要地来谈一下它的发展过程。

它不是作为一门科学或者作为某一群人的成果而开始的。迦勒底[①]的牧羊人注视着苍穹，美索不达米亚政府和埃及的官员在丈量土地，僧侣和哲学家在思索一切事物的共性。大量的大自然的作用，看来只能归因于深奥莫测的力量。“风向着它要吹的方向吹”，这句话确切地表明当时存在着这样的情况，即完全不了解具体制约着各种现象产生顺序的任何不变的法则。概括地说，当时和现在一样，事件的规律性是明显的。但是精密地探索这些事件的相互联系则是不可能的，人们甚至连怎样建立这样一种科学也不知道。

进行一些孤立的推测，就事物的性质作出少许恰当的或不恰当的猜测，这就是当时所能取得的最高成就。

与此同时，对土地进行丈量产生了几何学，对苍穹的观察揭示了太阳系的精确规律性。某些后来的希腊人——例如阿基米德——才刚刚考虑流体静力学和光学。确实，应该将兼备了数学天才和物理学的深刻见解的阿基米德与牛顿（后者生活在几乎两千年以后）并列而作为数学物理学的奠基人之一。阿基米德居住在叙拉古（西西里的巨大希腊城市）。当罗马人围攻该城时（公元前212年—公元前210年），据说他利用多面镜子聚集太阳的光线而焚毁罗马人的船只。该故事很可能不确实，但却是阿基米德在其同时代的人之中，以其光学知识而享有声誉的一个确证。叙拉古被攻陷后，他惨遭杀害。根据普卢塔克的一则记述（在他所写的马塞卢斯[②]传记中），当一名罗马士兵发现阿基米德时，后者正全神贯注于几何学图形的研究而在其室内的沙地上描绘。他未能立即服从该士兵的命令，所以惨遭杀害。必须指出，为了罗马将军的荣誉，他们已向士兵们下达了不伤害阿基米德的命令。他的另一则著名的轶事则具有非常有力的内在的证据，因为被认为是属于他的这一发现，与他的数学和物理学的研究天才是极为相符的。幸运的是，我们只需用很少的篇幅，就能详细阐明该发现。他是把数学概念应用于物理学这一方法的最好的简易实例之一。

叙拉古国王希罗有一次把一定数量的黄金交给某个金匠，命令后者为其制作一顶王冠。他怀疑金匠盗窃了黄金，在其王冠内掺进了其他金属。希罗将王冠交给阿基米德，要他进行检验。现在我们有无数的化学检验法可供利用。但在当时，

---

① 今叙利亚南部。——译者注

② 马塞卢斯为古罗马名将，公元前214—前211年率兵在西西里作战，终于攻克叙拉古城。——译者注

阿基米德却是白手起家，从零开始地思索这一问题。当他躺在浴缸中洗澡时，他突然想出了答案。他一跃而起并跑上大街，边跑边嚷："Eureka! Eureka!"（我想出来了！我想出来了！）这一天——如果我们知道它是哪一天的话——应该作为数学物理学的诞生日来庆祝；当牛顿坐在其果园中时，这门科学已步入其成年。阿基米德实际上完成了一项伟大的发现。他发现，当一物体被浸入水中时，周围的水对它产生一向上的托力，其大小等于其排掉的水的重量。这一定律可以根据流体静力学的原理从理论上加以证明，也可以通过实验予以证明。设王冠在空气中的重量为 W 磅，王冠完全浸入水中后，被其排掉的水之重量为 w 磅，因此，在水中支撑王冠尚需一额外的向上托力 $W-w$。

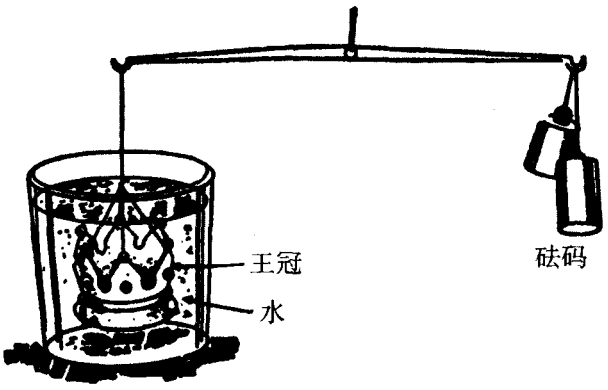


图 3

我们看到，这一向上托力只需称出一浸于水中的物体之重量（如图 3 所示），就能容易地测定。倘若天平右端的砝码为 F 磅，这就是说，王冠在水中的重量为 F 磅；因而我们可得

$$F=W-w$$

也即

$$w=W-F$$

并且

$$\frac{W}{w}=\frac{W}{W-F} \qquad (A)$$

式中 W 及 F 可用简易且相当精确的称重量的操作加以确定。因此，在方程（A）中，$\frac{W}{w}$ 为已知。但 $\frac{W}{w}$ 是王冠之重量与同体积的水的重量之比值。对任何同样材料的一块金属而言，这一比值都是相等的，我们称之为金属的比重，它仅仅取决于物质固有的性质，而与其形状或数量无关。由此可见，为了检验该王冠是否用纯金制成，阿基米德只需取一块毋庸置疑的纯金，按上述同样方法求出其比重。如果两者比重相等，则王冠系纯金制成，如果二者不相等，则说明王冠中掺进了次金属。

我在最后提到这个论证，不仅因为它是将数学概念应用于物理学的第一个精确的实例，还因为它是这样一个完全的和简单的实例，它说明了不论在什么时代，

必须具有什么样的方法和精神。

阿基米德死于罗马士兵之手这一事实，乃是一个具有最重要意义的世界变化的象征：在欧洲世界的领导中，最爱好抽象科学的、推理的希腊人被实用主义的罗马人所取代了。比肯斯菲尔德勋爵在他写的一部小说中，将实用主义者解释为沿袭其前人错误的那样一种人。罗马人是一个伟大的民族，但是他们为因实用性而产生的缺乏生气所苦恼。他们没有发展其前人的知识，他们的全部进展局限于工程学次要的技术细节。他们缺乏足够的幻想以获取新的观点，这种新观点能使人类具有对大自然力量更带根本性的支配。还没有一个罗马人曾因全神贯注于数学图解而失去其生命。

作者简介：艾尔弗雷德·诺思·怀特海(Alfred North Whitehead，1861－1947)，英国哲学家和数学家，与罗素合著有《数学原理》(1910－1913)，开创了数学基础的逻辑主义的学派。他的思想博大精深，在哲学界和科学界均有深入的影响。著作中译本有《科学与近代世界》(商务印书馆 1959 年版)、《思想方式》(华夏出版社 1999 年版)、《观念的冒险》(贵州人民出版社 2000 年版)、《自然的概念》(中国城市出版社 2002 年版)、《教育的目的》(三联 2002 年版)、《过程与实在》(中国城市出版社 2003 年版)等。

文献来源：罗伯特·哈钦斯、莫蒂默·艾德勒主编《西方名著入门·数学》，商务印书馆 1995 年出版，本文选自怀特海《数学入门》第一至三章，王铁生译，第 70－78 页。标题为编者所加。

数学的研究

罗 素

关于各种形式的人类活动，都应该不时地提出一个必要的问题：什么是它的目的与理想？对于人类存在的美，它以什么方式作出贡献？值得很好地提醒一声，对于那些只会在遥远的将来，通过提供生活途径的办法作出贡献的研究和追求，我们所寄予的希望，并非仅仅是生活的改善，而且还有思考伟大事物时生活态度的升华。尤其是关于那些除去本身之外再无其他目的的业余爱好，假如要判断它们是否正当，其标准应该是它们给世界总的永恒的财富究竟增添了什么，那就有必要保持住关于他们目的意图的生动知识，清晰地预见到创造性想像力得以在其中体现的那所殿堂。

习俗决定用来训练年轻人的学习材料，与实现上述要求的距离，确实还遥远得令人沮丧，——遥远得使得提出这样的要求都显得荒谬。伟人们把毕生奉献给深知其魅力的沉思，希望与别人分享其喜悦，让人类相信要把那些缺少了就不可能跨过文明门槛的机械（定型了的）知识世世代代传递下去。但是灌输这种知识的特权是由枯燥乏味的腐儒们掌握的，他们忘记了这只是用来打开殿堂大门的钥匙；虽然他们的一生都花费在通向那些神秘大门的台阶之间，他们却是执拗地用背对着那座殿堂，完全忘却了它的存在，至于那些有可能催逼向前，以引荐给殿堂美轮美奂的拱门的热切少年，却被命令所迫，转过身去数台阶。

与对希望和罗马的研究相比，在文明的应有位置中人们遗忘数学的情况要更为严重。虽然传统习惯一直都规定，大多数受过教育的人至少应知晓这门学科的原理，但是怎么会形成这一传统的理由却被忘却了，淹没在大批卖弄浅薄和迂腐学问的垃圾下面。对于数学的目的究竟是什么的询问，回答往往是它为机器的制造，各地间的旅行，在军事或商战中胜过敌国，提供了方便。假如有人反对说，强令那些不会成为数学专家的人学习的仅仅是初等的材料，对于推进这些目的——所有这些目的的价值也值得怀疑——来说是无济于事的，可算正确的答复是：数学训练了思维能力。然而，即使是作这样回答的人，极大多数仍不愿意放弃自己也明知其

为谬见的说教，因而会遭到每一个有思考能力的学习者，以其质朴的思想进行本能的抵制。而思维能力本身，对于那些鼓吹其开发的人说来，一般都设想为不过是避免掉进陷阱的工具，有助于发现实际生活中的指导规则而已。无可否认，所有这些都是应该归功于数学的重要成就，然而也没有哪一项值得人们把数学捧到在每一种开明教育中都占有的那种位置。我们知道，柏拉图把数学真理的思考看成连神也值得这样做的事，而且柏拉图也许要比任何一个其他的个人更能认识到，在人类生活的组成部分中有哪些值得在天上占一席之地。他说，正是在数学之中"有某些东西是必要而不能搁置一边的……而且，假如我没有弄错的话，它们在天上也是必要的；因为对于许多人谈论的人类所必需的事物来说，再也没有什么比文字的应用更可笑的了。克利尼阿斯。那么，异乡人，在必需的知识中什么是属于上天而非人类的？雅典人。那是指这样的东西，一个人不利用它或不具备关于它的知识，他对世界就不是主宰，不是精灵，成不了英雄，而且也不能真诚地为人设想和关心人。"① 这就是柏拉图对数学作出的判断。但是数学家不读柏拉图，而读柏拉图的人又不懂数学，并且认为他对这一问题的见解仅仅是一种奇特的梦呓。

正确地说，数学拥有的不仅是真理，而且还有至高无上的美——就跟雕塑一样的冷峻、简朴的美，它无须求助于我们那些比较软弱的天性，也不需要绘画和音乐中具有的华丽装饰，它庄严而纯粹，能像只有最伟大的艺术才能显示的那样，达到严格的完美。堪称至善至美试金石的真正精神上的喜悦和提高，那种超凡入圣的感觉，确实可以在数学中找到，就像在诗的意境中一样。数学里的最好的东西，不仅值得人们像一项任务那样来学习，而且也值得像日常思想的一部分那样加以同化吸收，并且以永不衰减的热情一次又一次地呈献于思维面前。对极大多数人说来，现实生活是一个漫长的不得已而求其次的经历，是理想与可能之间永恒的妥协；然而在纯粹理性的世界里，对于体现在辉煌大厦中的创造活动，对于所有伟大业绩从中涌现的追求完善的激情，却不知道什么妥协，不承认实际的局限，也不存在障碍。一代又一代的人，不顾人类的好恶，甚至也不考虑自然中不值一顾的事实，已经逐渐创造出一个有序的天地宇宙，纯粹的思维在那里可以像在自然的家里那样安居，而在我们的高贵动机中，至少有了一个场所，可摆脱现实生活的令人志气消沉的折磨。

然而，数学家为美的意图如此之少，以至于在他们的著作中极少有以此为自觉之目的的。许多人受到自己并不觉察之趣味的影响，形成了自己的风格，这是出于不由自主的本能，反而比公开承诺的信念更起作用，但也有许多著作在什么才合适见解的引导下走上了歧途。数学的超群脱俗的特征，只能在严格逻辑的推理中找到：逻辑规则之对于数学，就像结构对建筑那样重要。最美的著作，呈现出一条论证的链，其中的每个环节都有必不可少的重要性，其中从头到尾存在着一种宁静与

① 柏拉图的这段话是吉尔伯特·默里教授给我指出来的。

清澈的氛围，而且通过看来是自然而不可避免的工具，由前提条件推导出了比可能想像到的更多的结论。文学体现的是特定环境中的普遍性，它的普遍的意义要通过各自的服饰才闪耀光辉；数学力求显现的是存在于它的纯粹之中的最普遍的东西，从不需要任何无关的修饰。

应该怎样进行数学的教学，才能将这种最高的理想尽可能多地传授给学习者呢？在此，必须在很大程度上以经验作为我们的指导，但从我们想要实现的最终目的考虑，可以得出若干准则。

在教得正确的情况下，数学要服务的一个主要目的，就是要唤醒学习者对推理的信念，树立起被论证了的真理的信心，并认识到论证的价值。现在的教育并没有为这个目的服务，但不难看到可能使之提供这种服务的方法。目前，在讲授算术时，给予孩子们的是一组规则，它们本身看来无所谓对与错，而只像是教师意志的体现，在孩子们看来，这是教师为了某种深奥莫测的理由，要大家照此玩游戏的方式。在这样一种有确定的实际用途的学习中，这种做法在某种程度上无疑是不可避免的；但只要有可能，就要用无论何种最容易被孩子们稚嫩的头脑接受的方法来说明规则的理由。在几何学里，不应该从一开始就用沉闷的看来无聊的证明方法去处理欧几里得几何学中开头部分的那些明显的自明之理，而应该允许初学者把每一项明显的东西假定为真理，并且应该教他们去论证诸如三条甚至更多条直线交于一点的定理，它们开始时让人惊讶，却又易于用实际的作图来验证。信心就这样地产生了：它使人认识到推理可以得到虽然令人惊讶，然而可用事实来验证的结论；这样就可以逐步克服对抽象和理性的道理的本能的不信任感。遇到含有难点的定理，应该先当作几何作图的练习来教，直到图形已变得完全熟悉为止；在此基础上再讲授与此有关的各种直线与圆之间的逻辑关联，才会是一种学生同意的进步。在例示定理时，画出图形的所有可能的情况及形状，也同样合乎需要，只有这样，几何学所涉及的抽象关系，才会作为蕴含于如此巨大而明显的多样性中所残剩的共性而显现出来。在这种教学方式中，抽象的验证应该只是几何教学的一小部分，而且放在用具体的实例使之熟悉之后，这时学生才会觉得论证是可见事实的自然体现。在这个早期阶段，不应该为追求证明的完善而令人感到迂腐；肯定是装模作样的方法，像重叠法那样的方法，应该完全在初学时排除掉，但是在不用这些方法，证明会非常困难的场合，就应该用议论和例证使结果成为可接受的，可议论和例证与论证是明显地对立的。

初学代数学时，即使是最聪慧的孩子也会感到非常大的困难。使用字母是神秘的，在孩子看来，使用字母只是为了故弄玄虚。在开始时，只要教师揭示出字母代表着什么数，几乎就不可能不再让孩子们去想每个字母都在代表某个具体的数。事实在于我们在代数学中才第一次教育他们去考虑一般的真理，一种并不仅仅对这个或那个具体的事物成立，而是对一整批事物中的任一个都成立的道理。正是靠理解和发现这类真理的能力，智者才握有对世界上实际与可能事物的优势；而处

理这种普遍性的能力，也正是数学教育应该馈赠的一种礼物。但是，一般而言，能向学习者说清楚代数学与算术之间这个巨大差异的教师极少，而学习者在力求领会而去思考这两类的区别时，得到的帮助又更少！通常，算术中一直在采用的方法延续了下来：规定了若干规则，对它们的根据却不作适当的说明；学生盲目地只顾眼前地学习使用规则，一旦他得出了教师想要的答案，就觉得已经掌握了学科中的难点。但是对于自己所应用的过程的内在理解，很可能毫无收获。

在学过代数之后，一切都会进行得相当平稳，直到我们的学习接触到无穷概念的运用为止——这里遇到了无穷小的演算以及整个高等数学。过去围绕于数学中之无穷的诸多疑难的得到解决，很可能是我们的时代值得大吹大擂的最大成就。从希腊思想的开始时期起，这些困难就已经知晓了；每个时代中的最优秀的才智之士都在徒劳无功地力图解答由埃利亚的芝诺提出来的不能回答的问题。最后格奥尔格·康托尔找到了答案，从而为理智征服了一大片新的、原先只能拱手让给混沌的疆域。在康托尔和狄德金建立起相反的理论之前，一直有一条当作自明道理的假设：假如从事物的任何一个集合中取走了一些事物，剩下的事物数总要比原来的事物数少。事实上，这个假设仅对有限的集合才成立；而且，在涉及无限时，已经表明，否定这一假设，就消除了在此以前在这件事情上一直困惑着人类理性的诸多困难，而且使创建一门关于无限的确切的科学成为可能。这个了不起的事实应该在数学的高等教育中产生一场革命；它本身就增添了这一学科的不可限量的教育价值，而且它终于使许多直至最近都掩盖在谬误和含混之下的研究，有了以逻辑上的准确性来加以处理的工具。对那些沿着旧的路线受教育的人，新的工作被认为是惊人的困难、深奥和模糊；而且也必须承认，发现者本人也像大多数情况下常见的那样，很难说已经从他本人智慧的光辉所驱散的迷雾中脱身出来。但是从内在的实质来说，无限的新学说大大便利了所有正直而有探索精神的人去把握高等数学；因为在此之前，一直必须用冗长的诡辩过程，学着去同意那种初一接触就可正确地判断为混乱和错误的议论。那根本不是对理性萌生无畏的信念，也不能培育凡不能满足逻辑的最严格要求就敢于否定的勇气；那是在既往两个世纪中进行的一种数学训练，它鼓励一种信仰：有许多东西，虽然按照严格的研究会因其谬误而加以拒绝，但因为在数学家称之为“实际”的场合行得通而仍然必须接受。用这样的方法，就在只应由理性来治理的领域里，培育出了一种怯懦的妥协精神，或者说，一种祭司式的神秘信仰，对于不皈依者根本无法理解。现在已经是把所有这些都扫除掉的时候了；要让那些愿意进入数学竞技场的人立即就受到真实的理论的教育，既要全部按照它逻辑的纯洁性，又要置于相互联系事物的关系之中，而这种关系是根据有关实体的本质建立起来的。

如果我们把数学本身考虑为目的，而不是看成是对工程人员的技术训练，就非常需要保持数学推理的纯洁性与严密性。遵此要求，应该引导那些已经对数学的较容

易部分充分熟习的人回过头来，即从那些他们已经当作自明之理加以承认的命题返回到越来越基本的原理，从这些原理出发可以推导出原先似乎是前提条件的东西。应该教给他们——正像无限的理论已经很恰当地说明了的——在未经训练的头脑看来似乎是自明的许多命题，在详加考虑之下会证明是错误的。用这种方法，可以引导他们去对第一原理进行大胆怀疑的探索，去考察整幢推理大厦赖以建立的基础，或者借用一种可能更贴切的比喻，去审视繁茂的枝叶据以发芽的巨大躯干。到了这个阶段，就完全可以重新学习数学的基本的部分，不再仅仅是询问某个已知的命题是否为真，而且还要考察它是如何从逻辑学的核心原理生长出来的。这样性质的问题，现在才可以精确而肯定地加以回答，而在此之前却是完全不可能的；而且只有在作此回答所需的推理长链中，整个数学研究的统一性才会显露出来。

在大多数数学教科书中，方法的统一性以及围绕一中心主题的系统开发，都完全欠缺。种类十分多样的命题，全都用被认为是最易理解的随便用什么方法来证明的，而且有许多篇幅被那些只能满足好奇而对主要的论述并无贡献的材料所占据。但是，在最伟大的著作中，统一性和必然性都像戏剧的展开那样可以感觉得到。在前提中，提出了要加以考虑的课题，而在以后的每一步中都在掌握其性质方面有肯定的进展。对系统和对内在联系的深情钟爱，这也许是智能性冲动的最内在的本质，再没有别的地方能像在数学中那样得到自由的显露。感受到这种冲动的学习者，实在不应该被大量无意义的例题所干扰，也不能因逗弄人的古怪东西而分心，相反，必须鼓励他们去仔细思考中心的原理，去熟悉放在他面前的各种学科中的结构，去一步步熟练地跨越更重要推演中的步骤。以这样的方式，可培养出良好的精神状态，也教会了他们根据对重要和本质事物的爱好进行有选择的专注。

当每一个将数学划分开的独立研究，都被看成是一逻辑的整体，看成是从一些构成了它们原理的命题自然成长的结果时，学习者就将能够理解一门基本的学科——那个将整个演绎推理统一起来并予以系统化的学科。这就是符号逻辑——虽然这是最早由亚里士多德发端的研究，从它的广泛发展来说，几乎全是19世纪的产物，而且不能不承认，即使在今天也仍然在迅速长大。符号逻辑中的求得新发现的真正的方法，而且或许也是向已经熟悉数学中的其余部分的学习者介绍这一研究的最佳方法，是对演绎推理的实例进行分析，在分析时要着眼于其中所运用之原理的发现。这些原理中的极大部分，一直镶嵌在我们进行三段论推理的本能之中，它们如此天衣无缝，以致它们的运用完全是不自觉的，而且更需要不少耐心的努力，才能识别它们。但当它们最终被发现时，就可看到它们的数量其实并不多，而且是纯数学中每一样东西的惟一源泉。发现到所有的数学全都是一小组基本定律的必然结果，无可估量地加强了整体的理性美。对于那些因为现有的大多数演绎推理的链支离破碎、不完整的性质而感到压抑的人，这样的发现无异是带来了具有至高无上威力的启示。就好像一个旅行者爬上一座意大利的山坡，见到一座宫

殿从秋天的雾霭中涌现一般，整幢数学大厦的庄严楼宇，在此展现了它们应有的秩序与比例，而且在每一部分都有一种新的完美。

在符号逻辑取得它目前的发展之前，数学赖以建立的原理一直被假定为哲学的，而且只能够借助于迄今为止由哲学家所运用的、不肯定而且非逐步推演的方法来发现。只要人们还这么认为，数学就似乎不能独立存在，而要依靠于所使用的方法完全不同的另一类研究。此外，由于据以推演出算术、分析、几何学的公设的性质，还淹没在形而上学讨论的传统的晦涩含混之中，建筑在如此可疑基础之上的大厦，在人眼里就不会比空中楼阁好多少。考虑到这样的情况，发现到数学的真实原理也像它的任何结果一样，都是数学的一部分，就是极大地增加了人们所追求的理性上的满足。能够领略和享受的学习者不应该拒绝这种满足感，因为这也增加了对人类能力的敬重以及对属于抽象世界之美的知识的敬重。

哲学家通常一直认为，成为数学之基础的逻辑定律，是思维的定律，是规范我们头脑之操作的定律。理性的真正的高贵，被这种意见大大地贬低了；理性不再是对一切实际和可能事物之核心以及永不更易之本质的一种探究，相反，倒变成了对多多少少属于人类的某种东西的一种探索，而且还受到人类之局限性的约束。关于非人类事物的思考，关于我们的头脑能够处理并非由大脑创造之材料的发现，总之，关于美就像属于内心那样的也属于外界的认识，是我们克服自己软弱、无力、被放逐于敌对势力之间等恐惧感的首要工具，这是一种在意识到几乎具有无限威力的异己力量后极易于滋生的感觉。悲剧的使命，是用展示其可怕的美的办法，安抚我们，使我们顺从命运的统治，——其实命运也者，不过是这些异己势力在文学中的人格化形象而已。但是数学则更进一步，把我们从人事范围带进了绝对必然性的领域，带向不仅是现实世界，而且每一种可能的世界都必须遵循的规律；并且就在此处，它建造了或者说发现了一个永恒存在的居所，在那里我们的理想得到充分的满足，而我们最好的愿望也决不会受到挫伤。只有到那个时候，我们才彻底地理解了我们的完整的独立性，这种独立性属于理性所发现的那个世界；也只有到那个时候，我们才彻底理解并能够认识到那个世界之美的深刻重要性。

不仅仅是数学独立于我们和我们的思想，而且从另一种意义上说，我们以及现存事物的整个宇宙也都独立于数学。如果我们想要正确地理解数学在艺术中间的位置，对这种纯理想性格的理解就是必不可少的。以前人们曾假设，纯粹理性能在某些方面决定实际世界的性质：至少人们认为几何学就在安排我们生存于其中的空间。但现在我们明白，纯粹数学从来也不能对实际存在中的问题作出断言：在某种意义上，理性的世界控制着实际的世界，但一点也不是说前者创造了事实，而且在将理性世界的结果应用于时空之中的世界时，它的肯定性与准确性就失落在近似与假设之中。在过去，数学所考察的对象，一直是由现象提出来的，但是抽象的想像力应该完全从这样的限制中解放出来。其实这是互惠的解放，一方面理性不能支配世界上的

事实，另一方面，事实也不能限制理性的特权，它根据对美的钟爱，去处理似乎值得研究的对象。在此，也像在任何其他场合一样，我们从世界上找得到的片段中创造出了我们的理想，而到最后就很难说那个结果到底是创造还是发现。

在教育工作中，不仅让学生相信重要定理的准确性，而且让他珍视在定理可能采取的一切可能方式中，这个方式本身所拥有的最高的美，是十分符合需要的。不能像传统的讲授方法让人想到的那样，对于论证的真正兴趣，不应全部集中于其结论；如果发生了这种情况，那应该看成是一种失败，需要加以治疗。一种只为证明一个结果服务的议论，就像是为了宣扬某种道德而编造的故事一样：对于美学的完善来说，整体的任何一个部分都不应该仅仅是一种工具。在数学教学中盛行的，不恰当地强调结论的现象，应由急于征服新领域，想快点进步的急功近利的精神和愿望负责。更好的方式是提出几个供人考虑的主题——在几何学中是具有重要性质的图形；在分析中，研究之后有启发作用的函数，等等。只要证明依赖的只是某些记号，而我们又是用它们来定义需要研究之对象时，就应该将这些记号分离出来，并专门对之进行研究。在一个议论中运用了超出作结论所必需的前提，就要认为是一次失败：数学称之为优雅的，是那些在证实论题为真的时只运用了最本质前提的论述。欧几里得的功绩是在他运用平行公理之前，已前进到了他能达到的最远点——他之所以尽量不运用这条公理，并不是像人们通常说的，是因为这条公理有内在要不得的东西，而是因为，在数学中每增添一条新的公理，就会缩减由此得出的定理的普遍性，而最大可能的普遍性才是要追求的高于一切的东西。

关于数学在其本身范围之外的后果问题，写过的东西要比数学本身应有什么正当理想的多得多。有关哲学的后果，在过去一直是最引人注目，而且也是变化最多的。在 17 世纪，有唯心论和唯理论；到 18 世纪，成了唯物论和感觉论，而且似乎都是它的后裔。关于它在将来会有什么后果，多说话显然是轻率的，但在有一个方面似乎可能有好的结论。对于因为路途艰辛，目的地又无把握因而抛弃了理想的那种怀疑论，在其自身领域内的数学，可谓是一个完整的答案。经常听到一种说法，不存在绝对真理，有的只是意见和私人的判断；说什么我们每一个人，在关于世界观方面，都因各人的特点、趣味和偏爱，而受到制约；说什么并没有外部的真理王国，那种凭借耐心和苦行终究可以得到入场券的真理王国，有的只是为我、为你、为每个单独个人的真理。按照这种思维习惯，人类追求的一个主要目的就被否定掉了，而正直、无畏的实事求是的无上美德，也从此在我们的道德视野中消失。对于这样的怀疑论，数学是一剂永恒的谴责，因为它的真理大厦不可动摇地屹立在那里，是一切玩世不恭的犬儒武器所无法攻破的。

数学对实际生活产生的效果，虽然不应该看成是我们研究的动机，却可以用来回答独居寂寞的学生一定常常会有的疑问。在一个充满了罪恶与苦难的世界里，一个人隐退到沉思的象牙之塔中，去追求那种纵使高贵却总归只能由少数人享受

的乐趣，从拒绝分担无公平可言的偶然事故所强加于人之负担来说，不能不说是有点自私吧！我们禁不住要问，我们中的任何人有没有这样的权利，从当前的罪恶面前后退，让我们的伙伴孤立无助，而我们自己却去过一种，虽说是艰辛而严酷，但从其性质来说却是平静良善的生活呢？在这样的问题面前，真实的答案是：毫无疑问总得要有某些人去保持圣火不灭，在每个世代中都必须要有某些人去保存那些能预示惊心动魄的目标遥遥在望的、使人梦萦魂绕的远见。但是当这样的回答显得过分冷酷——而这样的时机有时确会发生——的时候，当我们因为未给予援助而为那些苦难的景象逼得几乎癫狂的时候，我们可以反过来思考一下，数学家间接地为人类幸福作出的奉献，要比他的任何一个更实际积极的同代人都要大。科学史提供了充分的证据，一组抽象的命题——即使是像圆锥曲线这样约有二千年的漫长岁月都与日常生活无缘的命题——仍然有可能在任一时刻被利用来在每个公民的习惯思想以及职业中引起一场革命。蒸汽和电力的利用——让我们举一个显著的例子——只是因为数学才有可能。世界从抽象思维的结果中，拥有了一笔资本，而迄今为止尚未发现运用这一资本去为普通人造福，存在着什么极限。经验还不能提供任何工具，无法决定数学的哪一部分才是有用的。所以功利只能在感到失望的时刻给人以宽慰，却不能指引我们的研究方向。

为了道德生活的健全，为了使一个时代或国家有崇高的风尚，更为严正的美德具有一种较为神奇的力量，较之那些未经思潮熏陶，未曾纯化的人的势力来，远为优越。在这些更严正的美德里，对真理的钟爱是对亏蚀中信心的主要的鼓励，而在数学中，对真理的钟爱要比其他地方更易找到。每个伟大的研究不仅本身就是目的，而且也是创造和坚持高贵的精神习惯的工具；而这样的目的应该始终在数学的教与学中牢牢记住。

作者简介：伯特兰·罗素(Bertrand A. W. Russell，1872－1970)，英国哲学家和数学家，与怀特海合著有《数学原理》(1910－1913)，开创了数学基础的逻辑主义学派。他还是一位有世界影响的英语散文作家和社会活动家，博学多产，一生写有70多部著作，曾获1950年诺贝尔文学奖。罗素曾于1920年应邀来华讲学一年，在中国学术界产生了巨大的影响，所以他的著作中译本众多，主要有《西方哲学史》、《西方的智慧》、《人类的知识》、《数理哲学导论》、《社会改造原理》、《通往自由之路》、《婚姻革命》、《教育论》、《论历史》等。

文献来源：罗伯特·哈钦斯、莫蒂默·艾德勒主编《西方名著入门·数学》，商务印书馆1995年版，罗素《数学的研究》(第96－108页)一文由陈尚霖译。沿袭原有标题。

数学物理学的起源

彭加勒

让我们进一步深究一下，比较仔细地研究一下容许数学物理学发展的条件。我们立即看到，科学家的努力总是为了把实验直接给出的复杂现象分解为为数众多的基本现象。

这可以用三种不同的方式来作：首先，在时间里分解。其目的仅仅是把每一时刻与紧挨它的前一时刻联系起来，而不是把现象的渐次发展包容在它的整体中。人们承认，世界的实际状态只依赖于紧挨着的过去，也可以说，它不受遥远的过去的记忆的直接影响。由于这个公设，我们不去直接研究现象的整个接续，可以把我们自己局限于它的“微分方程”。我们用牛顿定律代替开普勒定律。

其次，我们尝试在空间中分析现象。实验给予我们的是一堆混乱的事实，这些事实在相当大的舞台上演出。我们必须试图发现基元现象，这些现象反而将定域在很小的空间区域。

举几个例子也许可以更充分地理解我的思想。假如我们希望研究正在冷却的固体的温度分布，我们永远也不会成功。如果我们想到固体的一点不能直接把它的热传给遥远的点，那么一切就变得简单了；该点将把它的热仅仅传给紧邻接的点，然后热流逐渐地到达固体的其他部分。基元现象是两个相邻点之间的热交换。只要我们承认——这是很自然的——它不受其距离是易觉察的分子的温度的影响，那么问题就被严格定域了，也就比较简单了。

我折弯一根棒。它将呈现出十分复杂的形状，直接研究这种形变是不可能的。但是，不管怎样，我能够着手处理它，只要我注意到棒的弯曲是棒的很少的要素形变的结果，而且这些要素每一个的形变只与直接施加在它上面的力有关，而与可能作用在其他要素上的力根本无关。

我可以毫不费力地举出许多例子，在所有这些例子中，我们承认不存在超距作用，或者至少认为不存在大距离的作用。这是一种假设。它并非总是为真，引力定

律向我们表明了这一点。因此，它必须受到证实。如果它被确认了，即使是被近似地确认了，那也是宝贵的，因为它能使我们至少用逐次逼近法来建造数学物理学。

如果这个假设经不起检验，那我们就必须寻找其他类似的东西，因为还有其他手段达到基元现象。如果几个物体同时作用，那么可能发生这样的情况：它们的作用可以是独立的，而且或者作为矢量，或者作为标量，彼此简单地相加。基元现象因而是孤立物体的作用。或者，我们不得不再次处理小运动，或更普遍地处理小变分(Variations)，这服从众所周知的叠加律。于是，所观察到的运动将被分解为简单的运动，例如声被分解为谐音，白光被分解为单色光。

当我们发现在什么方向对于寻找基元现象来说是可取的时候，我们用什么办法才能达到目的呢？

首先，常常会发生这种情况：为了检测它，或者更恰当地讲为了检测它对我们有用的部分，没有必要深入到机制之内，大数定律就足够了。

让我们再举一个热传播的例子。每一个分子都向每一个邻近的分子发出辐射线。我们并不需要知道按照什么定律。如果我们就此作出任何假定，那么它可能是中性假设，从而它是无用的、不能证实的。事实上，由于平均作用和媒质的对称性，所有差别都被拉平了，而且不管可能作什么假设，结果总是相同的。

在电理论和毛细现象理论中，也现出同样的情况。邻近的分子相互吸引和排斥。我们不需要知道按照什么定律。在我们看来，只要这种引力仅在小距离内才可察觉，只要分子是极多的，只要媒质是对称的就足够了，我们只要让大多数定律起作用就行了。

在这里，基元现象的简单性再次藏匿在可观察现象的复杂性下面，但是，这种简单性本身只是表象的，它隐蔽着极其复杂的机制。

达到基元现象的最好手段显然是实验了。我们应当用实验设法解开自然界供给我们研究的一捆复杂的乱丝，仔细地研究尽可能多的孤立的要素。例如，自然界的白光可以借助棱镜分解为单色光，可以借助起偏振镜分解为偏振光。

不幸的是，这既非总是可能的，亦非总是充分的，有时心智要超过实验。我将只引证一个例子，这个例子经常强烈地震撼着我。

如果我分解白光，我将能够把光谱的一小部分孤立起来，但是这部分无论可能多么小，它总会保持一定的宽度。同样地，所谓单色光的自然光给我们一条十分窄的线，但是不管怎样，它并不是无限窄。可以设想，在用实验研究这些自然光的特性时，用越来越精细的光谱线做实验，最后便通过一个极限，于是可以说，我们成功地获悉了严格的单色光的性质。

这不可能是准确的。设从同一光源发出两束光线，我们先使它们在两个垂直平面上偏振，然后使它们返回到同一偏振面，再试图使它们发生干涉。如果光严格地是单色的，那么它们就会干涉。用我们的接近单色的光做实验，就没有干涉现

象，无论谱线多么窄也不行。为了发生干涉，就必须使谱线比已知的最精细的谱线还要窄几百万倍。

可是在这里，我们被通过极限欺骗了。心智必须超过实验，如果能成功地做到这一点，那正是因为心智容许自己受简单性本能的指导。

知道基本事实能使我们用方程表达问题。此外只要通过组合，从这个方程演绎出能够观察和能够证实的复杂事实就行了。这就是所谓的积分，它是数学家的事务。

人们可能要问，在物理科学中，概括为什么如此迅速地采取数学形式呢？现在，理由是很容易看到的。这不仅因为我们具有用数字表示的定律，还因为可观察的现象是由大量的完全相似的基元现象叠加而成的。从而很自然地引入了微分方程。

每一个基元现象服从简单的定律还是不够的，所有这些组合在一起的现象必须服从相同的定律。惟有这样，数学的介入才会有用处。数学实际上教导我们把同类的东西与同类的东西组合起来。数学的目的在于了解组合的结果，不需要重新一个一个地组合。如果我们不得不数次重复同一运算，那么由于它通过一种归纳法预先告诉我们运算的结果，从而能使我们避免这种重复。在上面的关于数学推理的那一章中，我已经说明了这一点。

但是，就这一点而言，所有的运算必须是相似的。在相反的个例中，显然必须在实际上一个接一个地顺从作运算，而数学也就变得无用了。

可是，多亏物理学家所研究的物质的近似的均匀性，数学物理学才可能诞生。

在自然科学中，我们再也找不到这些条件：均匀性、远离部分的相对独立性、基本事实的简单性，这就是为什么博物学家被迫诉诸其他概括方法。

作者简介：昂利·彭加勒（Jules Henri Poincare，1854－1912），法国数学家和物理学家，在数论、代数学、几何学、拓扑学等多个数学领域卓有建树，对狭义相对论的建立亦有重要贡献，被誉为“最后的数学全才”。他的四部科学哲学著作全有中译本：《最后的沉思》（商务印书馆 1995 年版）、《科学的价值》（辽宁教育出版社 2000 年版）、《科学与方法》（辽宁教育出版社 2001 年版）、《科学与假设》（辽宁教育出版社 2001 年版）。

文献来源：彭加勒《科学与假设》，李醒民译，辽宁教育出版社 2001 年版，第四编第九章（第 114－117 页）。标题为编者所加。

几何学与经验[①]

爱因斯坦

为什么数学比其他一切科学受到特殊的尊重，一个理由是它的命题是绝对可靠的和无可争辩的，而其他一切科学的命题在某种程度上都是可争辩的，并且经常处于会被新发现的事实推翻的危险之中。尽管如此，要是数学的命题所涉及的只是我们想像中的对象而不是实在的客体，那么别的科学部门的研究者还是没有必要去羡慕数学家。因为，如果人们已经同意了基本命题(公理)，以及由此导出其他命题的方法，那么，毫不奇怪，不同的人必定会得出同样的逻辑结论。但是数学之所以有崇高声誉，还有另一个理由，那就是数学给予精密自然科学以某种程度的可靠性，没有数学，这些科学是达不到这种可靠性的。

在这里，有一个历来都激起探索者兴趣的谜。数学既然是一种同经验无关的人类思维的产物，它怎么能够这样美妙地适合实在的客体呢？那么，是不是不要经验而只靠思维，人类的理性就能够推测到实在事物的性质呢？

照我的见解，这问题的答案扼要说来是：只要数学的命题是涉及实在的，它们就不是可靠的；只要它们是可靠的，它们就不涉及实在。我觉得，只有通过那个在数学中叫做“公理学”(axiomatics)的趋向，这种情况的完全明晰性才成为公共财产。公理学所取得的进步，在于把逻辑—形式同它的客观的或者直觉的内容截然地划分开来；依照公理学，只有逻辑—形式才构成数学的题材，而不涉及直觉的或者别的同逻辑—形式有关的内容。

---

① 这是爱因斯坦于1921年1月27日在普鲁士科学院所作的报告。讲稿最初发表在《普鲁士科学院会议报告》，1921年，第一部，123—130页，但删去了后面一小半；1921年柏林Springer出版的单印本《几何学和经验》(*Geometrie und Erfahrung*)则是全文。这里译自《思想和见解》，232—246页。——原编者注

作者简介:阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein,1879—1955),德裔美国物理学家,相对论的创立者,因用量子理论解释光电效应而获 1921 年诺贝尔物理学奖。他富有哲学思想,1949 年美国《在世哲学家文库》专门编辑了一本爱因斯坦卷,把他与当时最伟大的哲学家并列。他有着强烈的社会责任感,毫不犹豫地对黑暗的时政提出公开的批评。商务印书馆出版的《爱因斯坦文集》1—3 卷(1976—1983)为中文读者提供了一个比较全面的选本,湖南科技出版社正在出版《爱因斯坦全集》,前 5 卷已经面世。

文献来源:《爱因斯坦文集》第 1 卷,许良英、李宝恒、赵中立、范岱年编译,商务印书馆 1976 年版,第 136—137 页。沿袭原有标题。

牛顿综合的意义

柯瓦雷

要想用短短几句话就说清楚牛顿科学的世界观的诞生、成长以及衰落的历史，这显然是根本不可能的，即便要列出一个牛顿著作的比较完整的清单，也同样会使人一筹莫展。[①] 于是我不得不根据需要，把自己限于那些最关键的地方，以对这个主题作出提纲挈领的把握。而且，我这样做时将假定读者已经具备一定的知识。我想这个假设还算合理，因为事实上我们每个人对牛顿都略知一二，而且对他的了解一定比生活于17世纪——这个世纪曾被怀特海称为"天才的世纪"——的其他大科学家和哲学家都多。

例如，我们知道光的分解的想法以及关于谱色的第一个科学理论[②]，要归功于

---

① 关于牛顿科学工作最优秀的一般性论著仍然是 F. Rosenberger, *I. Newton und seine physikalischen Principien*（《牛顿及其物理学原理》）(Leipzig, 1895)。也可参见 H. W. Turnbull, *The Mathematical Discoveries of Newton*（《牛顿的数学发现》）(London: Blackie, 1945); S. I. Vavilov, *Isaac Newton*（《伊萨克·牛顿》）(Moscow: Akademiia Nauk, 1943), German translation (Berlin: Akademie—Verlag, 1951); 以及 I. B. Cohen, *Franklin and Newton*（《富兰克林与牛顿》）(Philadelphia: The American Philosophical Society, 1956)。牛顿最出色的传记是 L. T. More, *Isaac Newton*（《伊萨克·牛顿》）(New York and London: Scribner, 1934)。

② 用晶体和水滴来产生谱色，以及随之发展出来的彩虹理论，有着一段相当长的历史与历史背景，它可以从中世纪一直追溯到古代。17世纪对它进行研究的著作主要有：Marcus Antonius de Dominis, *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride tractatus*（《论透视镜中的可视与可见半径及论海潮》）(Venice, 1611); Descartes, *Discours de la méthode*（《方法谈》）(Leiden, 1637)后面所附的"Dioptrique"（屈光学）和"Météores"（气象学）, Marcus Marci, *Thaumanthias, liber de arcu coelesti deque colorum apparentium natura*（《关于天弧（彩虹）及其表面颜色的本性》）(*Prague*, 1648); *F. M. Grimaldi, Physico—mathesis de lumine, coloribus et iride*（《关于光、色与潮的物理数学探讨》）(Bologna, 1665); 特别是 Robert Boyle, *Experiments and Considerations Upon Colours*（《关于颜色的实验和思考》）(London, 1664)和 Robert Hooke, *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies made by Magnifying Glasses*（《显微术》）(London, 1665)。牛顿的功劳并不是发现这些现象，而在于(1)把精确的测量应用于他的研究，(2)把谱色解释成白光被棱镜分解（且重新组成）为各单色光，而不是像此前所认为的，是白光在通过棱镜时发生了质的改变。关于这个问题的历史，可以参见 Vasco Ronchi, *Storia della luce*（《光的历史》）(Bologna: Zaichelli, 1939; 2nd ed., 1952)以及 Roberto Savelli, *Grimaldi e la rifrazione*（《格里马尔迪与折射》）Cesalpina, 1951。

牛顿的洞察力及其实验天才——不是技能，其他人，比如胡克的技能并不亚于他，甚至比他还高；运动与作用力的基本定律[①]得以明确提出——尽管不是被发现——以及科学探索的方法和意义得以被清楚地认识，也都要归功于他那深刻的哲学思想；是他发明的微积分，使得天上地下的引力能够被证明是一致的，并且找到了把无限宇宙中最小与最大的物体——星体与原子——联系起来（至少到目前为止还是如此）的引力所遵从的基本规律。当然，我们也知道不是牛顿，而是其伟大的对手莱布尼茨[②]使无穷小演算[③]有了实际的传播与发展，否则，牛顿的"世界体系"（systema mundi）将不可能被逐渐拓展与完善。

而且，即使不是所有的人，我们中的大部分人也是出生并且成长于——或者更确切地说，不是出生于（因为这是不可能的），而只是成长于——牛顿的，或至少也是半牛顿的世界中。我们所有人，或近乎所有的人，都已经把牛顿的世界机器当成宇宙的真实图景和科学真理的体现，这是因为在二百多年里，它一直都是近代科学以及经过启蒙时代洗礼后的人类的普遍信条和常识（communis opinio）。

于是我似乎可以假定，当说到牛顿和牛顿主义时，我们都或多或少地知道所谈的是什么。或多或少！不知怎地，当这个词和牛顿连在一起使用时，我总是感到不太恰当，因为在以牛顿为继承者和最高表现的17世纪中，可能牛顿主义甚或整个科学革命的最深层的意义和目标，恰恰就是要粉碎一个"或多或少"的世界，一个充满着质和可感知觉的世界，一个沉醉于日常生活的世界；取而代之的则是一个精确的、可以被准确度量、并且被严格决定了的（阿基米德式的）宇宙。

现在让我们来仔细研究一下这场革命，自从两千年前希腊人发明了cosmos[④]

---

① 运动定律的发现归功于伽利略和笛卡儿。参见我的 *Études galiléennes*（《伽利略研究》）（Paris：Hermann，1939）；还可参见 R. Dugas，*Histoire de la mécanique*（《力学史》）（Paris：Éditions Dunod，1950）和 *La Mécanique au XVII^e siècle*（《十七世纪的力学》）（Paris：Éditions Dunod，1954），以及 A. R. Hall，*The Scientific Revolution*（《科学的革命》）（London：Longmans，Green，1954）。

② 今天没有人会怀疑莱布尼茨发明微积分的完全的独立性，也从未有人怀疑过莱布尼茨发展的符号体系的优越性。参见 H. G. Zeuthen，*Die Geschichte der Mathematik im XVI. and XVII. Jahrhundert*（《十六、十七世纪数学史》）（Leipzig：Teubner，1903）；C. B. Boyer，*The Concepts of the Calculus*（《微积分概念史》）（Columbia University Press，1939；2nd ed.，New York：Hafner，1949）。因此注意到下面这一点是很有趣的，阿达玛教授曾经认为莱布尼茨的体系逊于牛顿的体系就像"微分"的概念逊于"流数"的概念一样。参见 Jacques Hadamard，*Newton and the Infinitesimal Calculus*（《牛顿与无穷小演算》）in the Royal Society of London，*Newton Tercentenary Celebration*（《牛顿三百周年文集》）（Cambridge，England：University Press，1947），pp. 35—42。

③ 无穷小演算（infinitesimal calculus）是微积分（differential and integral calculus，或简称calculus）的旧名。——译者注

④ cosmos是指和谐、有序、结成整体的宇宙概念。——译者注

以来，它即使算不上是人类所取得——或遭受——的最深刻的变革与转换，也至少是其中之一。[①] 这场革命已经用许多方式被描述和解释过了——其中解释远多于描述——某些人强调了新科学中经验与实验所扮演的角色，近代的人开始与学究式的学习相抗争，他们开始相信自己，相信通过对感官与智力的训练，人就可以凭借自己的力量去发现真理。这些信念被培根和笛卡儿强有力地表达了出来，一反以往流行的对传统和神的权威凌驾于一切之上的价值的信仰。

另一些人则强调了近代人的实用态度。中世纪和古代的人据称在沉思的生活(vita contemplativa)中看到了人的生活的极致，而近代人则从中摆脱出来而转向了行动的生活(vita activa)。因此他再也不能从纯粹的沉思和理论中获得满足，而是渴望一种能够实际运用的知识：用培根的话来说，这是一种行动的或操作的知识(scientia activa, operativa)，或者用笛卡儿的话说，这是一种使人变成自然的拥有者与主宰者的科学。[②]

我们有时会听到这样的说法，认为新科学是一种工匠与技师的科学，一种实用的、富有创业精神并且精于策略的商人的科学，说到底，它是一种近代社会新兴资产阶级的科学。[③]

---

① 参见我的 *Galileo and the Scientific Revolution of the Seventeenth Century*(《伽利略与十七世纪科学革命》)，*Philosophical Review* 52(1943)，pp. 333—348。

② 哲学家们经常容易错误地判断其同时代哲学的地位，(当考察过去时)他们往往会忘记哲学的(和宗教的)的学说与其说是在表达，不如说是在反对当时流行的趋势。

③ 关于近代科学兴起的心理社会学解释，通常是两种毫不等价的理论的混合体：(1)近代科学是16、17世纪技术发展的衍生物，它是由技术专家，民间的特别是军事的工程师(莱奥纳多，斯泰里努斯)、威尼斯军械库的工匠等创造的；(2)近代科学是由于随着工艺学日益增长的重要性，以及16、17世纪资产阶级的不断壮大，一些科学家开始思考从阿基米德时代就一直被忽略了的问题而产生的。在我看来，这两种理论都缺少以下几点内容：(1)对纯数学理论的兴趣在导致——并被保持下去——希腊科学再发现的过程中所扮演的角色；(2)天文学研究压倒一切的重要性及其独立的发展，它主要是由对宇宙结构的纯理论兴趣所推动的，相比之下，那些实际的需要，比如确定海上的经度等所起的作用则要小得多。再有，他们忘记了数学家和天文学家(更不用说实验物理学家)同神学家和律师一样(甚至有过之而无不及)也需要钱，因此他们很可能故意去强调自己工作的实用价值，以把他们的科学"卖给"那些富有但却无知的赞助人。这种宣传手段绝不只是20世纪的特色，它从16世纪就开始了。培根主要是由于作为一个宣传家的技巧和效果(运用面部肌肉的能力)，才使自己在17、18世纪的科学家中流行的。关于心理社会学(马克思主义者和半马克思主义者)理论的最好文献可以参见：F. Borkenau, *Der Uebergang vom feudalen zum bürgerlichen Weltbild*(《从封建的世界观到资产阶级世界观的转变》)(Paris: Alcan, 1934)；B. Hessen, *The Social and Economic Roots of Newton's Principia*,(《牛顿〈原理〉的社会和经济根源》)in *Science at the Cross-roads*(《十字路口的科学》)：*Papers Presented to the International Congress of the History of Science and Technology Held in London*, 1931, by the delegates of the U. S. S. R. (London: Kniga, 1931)；以及 E. Zilsel, *The Sociological Roots of Science*(《科学的社会学根源》)*American Journal of Sociology* 47(1942)，544—562。

在这些描述和解释中当然存在着某些真理：很清楚，近代科学的成长是以城市的发展为前提的。火器，特别是火炮的发展，显然使弹道学的问题受到了重视；航海，特别是通往美洲和印度的航行，也推进了钟表的制造，等等。然而我必须承认，我对这些解释并不满意。我看不出所谓"行动的科学"是怎样帮助微积分发展的，还有资产阶级的兴起是怎样服务于哥白尼以及开普勒的天文学的。至于经验与实验——我们不仅需要把这两样东西区别开，甚至还应把它们对立起来——我确信实验科学的兴起与发展，是那种对于自然的新的理论理解，即新的形而上学理解所导致的结果，而并非相反是它的原因。这种新的理解构成了17世纪科学革命的基本内容，在试图给出一个关于它的历史出现的解释之前（不论它是什么样的解释），我们必须首先弄清楚它的内容。

因此，我将把这场革命的特征归为两点，它们紧密联系甚至互补：(a)cosmos的瓦解，以及基于这个概念的所有想法——即使实际上不全是，至少原则上也是如此——都随之从科学中消失；[①](b)空间的几何化，也就是用均匀的、抽象的——无论我们现在认为它是多么真实——用欧几里得几何刻画的度量空间，来取代前伽利略物理学与天文学所采用的具体的、处处有别的位置连续区。

事实上，这种特征的赋予近乎等同于把自然数学化（几何化），因而也近乎等同于把科学数学化（几何化）。

cosmos的消失——或瓦解——意味着，科学的世界或者真实的世界不再被认为是一个有限的、秩序井然的、从而在质上和本体上都处处有别的整体，而被认为是一个开放的、无定限的、甚至是无限的宇宙，它不是因其固有结构，而是由于它所容纳的东西和基本规律的一致而统一起来；[②]传统观念认为有两个世界，即生成的世界与存在的世界，或是天上的世界和地上的世界，它们相互分离，彼此完全不同。

关于对它的批评，参见 G. N. Clark, *Science and Social Welfare in the Age of Newton*（《牛顿时期的科学与社会状况》）(London: Oxford University Press, 2nd ed., 1949); H. Grossmann, *Die gesellschaftlichen Grundlagen der mechanistischen Philosophie und die Manufaktur*,（《机械论哲学的社会基础与生产者》）*Zeitschrift fürSozialforschung*, 1935, pp. 161 sq。也可参见 P. M. Schuhl, *Machinisme et philosophie*（《机械论与哲学》）(Paris: Presses Universitaires de France, 1938; 2nd ed., 1947)，以及我的论文 *Les Philosophes et la machine*,（《哲学家与机器》）*Critique* 23(1948), 324—333 and 27: 610—629；以及 *Du monde de l'à peu près à L'univers de la prècision*,（《从大概的世界到精确的世界》）*Critique* 28(1948), 806—823, *reprinted in Études d'histoire de la pensée philosophique* (Paris: Armond Colin, 1961)。

① 正如我们所要看到的，牛顿的科学，或者至少是牛顿的世界观，断言了世界（太阳系）的目的论特征，但它不是从一个目的来导出世界的特征的。开普勒仍然沿用了这种解释方式。

② 空间的几何化必定隐含着空间的无限化，因为我们不能给欧几里得空间设定界限。相应地，秩序的瓦解可以被描绘成——按 M. Nicolson 小姐的说法——"圆的打碎"，或者——我自己的描述——"冲破天球"。

现在的宇宙则与此相反，它所有的组分似乎在本体论上都没有什么差别，天上的物理(physica coelestis)和地上的物理(physica terrestris)是相同的和统一的。在这个宇宙中，天文学和物理学由于服从几何而变得相互依赖和统一。①

这又反过来暗示着，所有基于价值、完满性、和谐、意义和目的的想法都要从科学思想中消失——或者说是被强行驱逐出去——因为从现在起，这些概念只是些主观的东西，它们在新的本体论中没有地位。或者换句话说，所有作为解释方式的形式因和终极因在新科学中消失了——或者说是被抛弃掉了——取而代之的则是一些最有效力的甚至是物质的原因。只有这些原因，才有可能被纳入这一几何实体化了的新宇宙中，也只有在这个抽象物体在抽象空间中运动的抽象且真实的(阿基米德的)世界中，新的——古典的——科学中有关存在与运动的定律才可能是有效的和真实的。

现在就很容易理解，为什么古典科学——正像通常所说的那样——是用一个量的世界取代了一个质的世界。这是因为——这一点亚里士多德早就清楚地知道——在一个数或几何图形的世界中是没有质可言的，在以数学为本体的王国中不会有它们的位置。

不仅如此，现在也很容易理解，为什么古典科学——这一点很少被注意到——是用一个存在的世界取代了一个生成与变化的世界。正如亚里士多德也说过的，这是因为在数和图形中没有变化与生成。② 但是为了达此目的，它的基本概念，比如物质、运动等都不得不重新建构、重新表述或是重新发现。

如果考虑到这场如此深刻与根本的革命的范围之巨大和意义之深远，我们就不得不承认，总体说来，它发生的速度是惊人的。

正是在1543年——牛顿诞生100年前——哥白尼把地球从其根基中扭出，抛入了天穹。③ 在接下来一个世纪之初(1609年和1619年)，开普勒提出了它的天体运动定律，摧毁了那些包围着世界且使之得以维持在一起的轨道和天球；④与此同

---

① 参见我的 *Études galiéennes* 和 *Galileo and Plato*(《伽利略与柏拉图》)，*Journal of the History of Ideas* 4 (1943)，400—428，reprinted in Philip Wiener and Aaron Noland，eds.，*Roots of Scientific Thought* (New York：Basic Books，1957)。

② 因而牛顿的《光学》否认光透过棱镜时会发生任何质的改变。棱镜只是相当于一个把混合物分离开的筛子，它把白光分解成几种不同的光线，其实它们在混合的白光中就是这样。按照牛顿的说法，棱镜实验就像每个好的实验一样，它揭示了某种早已在那的东西，而没有产生任何新的东西。

③ *De revolutionibus orbium coelestium*(《论天球的旋转》)(Nuremberg，1543)。

④ 前两条定律在 *Astronomia nova AITIOΛOΓΟΓΗΤΟΣ sive physica coelestis tradita commentariies de motibus stellae martis*(《新天文学》)(1609)中；第三条定律在 *Harmonices mundi*(《世界的和谐》)(Lincil，1619)中。

时，伽利略正在制造着第一批科学仪器，向人类展示着肉眼从未见过的东西[①]，从而拉开了对无限大与无限小这两个彼此相连的世界进行科学研究的序幕。

而且，伽利略正是通过“让数支配运动”，才为建构那些物质与运动的新概念扫清道路，这些新概念成了新的科学和宇宙论的基础；[②]笛卡儿 1637 年[③]试图通过一些概念——把物质与空间等同起来——来重建世界，结果失败了，而牛顿则通过另外一些概念——重新区分物质与空间——来进行他自己的重建工作，结果是那样地辉煌和成功。

在古典科学中运用得如此成功的新的运动概念是相当简单的，它是那样地简单，以至于虽然很容易使用——一旦像我们这样习惯了它——却很难完全理解和把握它。我不能在这里去分析它们了。[④]不过我想指出一点，正如笛卡儿明确告诉我们的，新的运动概念是用一个纯数学的观念取代了一个物理的观念。在前伽利略和前笛卡儿的观念里，运动是一种变化的过程，它可以影响运动的物体，而静止则不会；与此相反，新的——或者古典的——概念则把运动当成一种存在，也就是说它不是一个过程，而是一种状态（status），这种状态同静止一样持久和难以破坏[⑤]，而且它们都不会对运动物体产生什么影响。运动与静止就这样被置于同一本体论层次，它们质的区别被消除了，彼此变得无法区分。[⑥] 它们仍然是相反的——甚至还超过以前——但这种相反变成了一种纯粹的关联。运动与静止再也不为物体本身所具有，物体只是彼此之间或相对于它们存在、静止或运动于其中的空间而言是静止或运动的；尽管运动与静止都被看作状态，但它们是有联系的。正是这种概念——牛顿无疑是很清楚其内在困难的——承载着——也许是暗中破坏着——

---

① *Sidereus nuncios*（《星际使者》）（Venice, 1610）。

② *Dialogo…sopra i due massimi sistemi del mondo*（《两大世界体系的对话》）（Florence, 1632）和 *Discorsi e dimostrazioni intorno à due nuove scienze*（《两门新科学的对话》）（Leiden, 1638）。

③ *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la verité dans les sciences*（方法谈）（Leiden, 1637）与 *Principia philosophiae*（《哲学原理》）（Amsterdam, 1644）；但在 1629 与 1630 年他未发表的 *Mondeou traité de la lumière*（《论世界或论光》）中已经出现了。

④ 参见我的 *Études galiéennes*。

⑤ 因此，运动可以独自存留（sua sponte）——就像静止一样——它不需要一个内或外的动力或原因就可以持续。相应地，运动保持不变——因为变化隐含着原因——也就是说在同一方向保持同样的速度。正是对于这种运动——直线的和不变的——牛顿才用了“惯性的”这个术语。“惯性”这个术语起源于开普勒，他赋予了它“对变化的抵抗”的含义。于是对开普勒来说，运动是一种变化，惯性就是对运动的抵抗；而对牛顿来说，运动不再是变化，惯性也成了对（正的或负的）加速度以及方向变化的抵抗之力。

⑥ 笛卡儿曾明确地（expressis verbis）断言直线运动与静止的等价性。在牛顿的物理学中，相对运动和静止是等价的，而绝对运动和静止当然是不等价的。不幸的是，它们至少对我们来说还是不可区分的，如果对上帝而言不是这样的话。

古典科学辉煌的结构体系。正是关于这种运动，牛顿在其著名的第一定律或公理中告诉我们：每个物体都保持其静止或沿一直线作匀速运动的状态，除非有力加于其上迫使它改变这种状态（corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum nisi quatenus a viribus impressis corgitur statum illum mutare）。①

这个定律中所涉及的运动并不是我们经验中的物体的运动，我们在日常生活中并没有碰到它，因为它是几何（阿基米德的）物体在抽象空间中的运动，这就是为什么它与变化无关的原因。几何物体在几何空间中的"运动"什么也不能改变，在这样一种空间中的"位置"是等价甚至是等同的。或许我可以这样说，它是一种不变的变化，是柏拉图在其《巴门尼德篇》（*Parmenides*）中竭力——最后失败了——要实现的一种奇怪的、对同与不同的悖论式的调和。

如果我们不得不让数来支配运动，以便进行数学上的处理和建立起一门数学物理学的话，那么运动概念的转变，即用实体化了的数学概念来取代经验概念就是不可避免的。但这还不够，数学自身也还必须转变（这种变革能够实现，牛顿功不可没）。在某种意义上，数学中的实体不得不与物理靠近一些，同样要受运动的支配，它们要在自己的"生成"或"流动"中，而不是在"存在"中发挥作用。②

几何曲线和图形只能这样来理解：它们并非由其他几何元素所构成，也不是几何体与几何面在空间中交截出来的东西，甚至也不是一种用代数公式表示的它们自身结构关系的空间图像，而只能被当成是由空间中点和线的运动所产生或划出的东西。当然，我们这里所谈论的是一种非时间性的运动，或者更奇特地说，是一种在非时间性的时间中进行的运动——这种说法与不变的变化同样具有悖论意味。然而只有当不变的变化得以在非时间性的时间中进行之后，我们才能——理智且有效地——处理那些诸如运动物体在其轨道上任意一点，或是任一时刻所具有的速度、加速度和运动方向等等实在。

这是一段震撼人心的历史。为了提出那些新奇的想法，为了建构或者如斯宾诺莎意味深长地说，为了杜撰（forge）那些新的思想工具与理解方式，人类付出了艰苦卓绝的努力。整整用了 50 年的时间，《方法谈》（*Discours de la méthode*）才与

---

① Issac Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, axiomata sive leges motus, Lex I（《自然哲学的数学原理，运动公理或定律，定律一》）。按照这条定律，运动是一种状态，加速度则是一种变化。圆周运动之所以是一种加速运动，是因为它暗含了方向的连续变化，因此很容易与静止相区别。马赫在他那部著名的牛顿批判著作中似乎忽视了这个简单的事实，参见 *The science of Mechanics*（《发展中的力学》），trans. T. J. McCormack（La Salle, Illinois: Open Court, 1942）, pp. 276—285。

② 参见 Hadamard, *Newton and the Infinitesimal Calculus*，以及 Boyer, *The concepts of the Calculus*。

《自然哲学的数学原理》(*Philosophiae naturalis principia mathematica*)分开。一系列伟大的思想家——这里只提及卡瓦列里、费马、帕斯卡、沃利斯、巴罗和惠更斯——都对最终的成功作出了贡献,没有他们,《原理》绝不可能写成;即使是对牛顿来说,这项任务也是太艰巨了,它超出了人之所能(qui genus humanum ingenio superavit)。①

因此,如果把牛顿在致胡克的信中的那段著名陈述稍加改动,我们可以实事求是地说,牛顿之所以比前人看得更远,是因为他是一个站在其他巨人肩上的巨人。②

我刚才一直在描述的那种把自然数学化的倾向,肯定是17世纪科学思想最新颖、最重要的思潮。然而与之相伴的还有另外一种倾向,它更少数学与演绎,更加重视经验和实验。由于这种倾向少了些自命不凡(或是更缺乏信心),它并不试图像数学家那样做彻底的综合,而是对此疑虑重重甚至怀有敌意,它把自己严格限于发现新的事实,以及建构不完整的理论对其进行解释的工作上。

这种倾向不是被柏拉图的数学结构的理念以及存在的决定论所引发,而是由卢克莱修的、伊壁鸠鲁的、德谟克利特的原子论思想所激起(这似乎很奇怪,大多数的近代思想都可以追溯到古希腊的某些设想)。伽桑狄、罗贝瓦尔、玻义耳(这个群体中最杰出的代表)、胡克——他们都用这种更加胆怯、更加谨慎和更加稳妥的微粒哲学去对抗伽利略和笛卡儿的那种泛数学主义。③

于是当伽利略告诉我们,自然这本大书——中世纪的人从中觉察到了上帝的遗迹(vestigia)与上帝的映像(imagines Dei),认识到了在那些美与光辉的可感象征中所表现出来的上帝的荣耀,它们揭示了上帝创世的隐秘目的和意义——事实上是由圆、三角形和正方形等几何符号写成的,它们只不过告诉了我们一些理性联系与秩序的奇妙事实时,玻义耳反驳道:自然之书当然是"一个经过周密计划的奇迹",它的每一个部分都"被上帝用全知之手速记了下来",并且与任一其他部分相关联;但它不是用几何符号,而是用微粒符号写成的。

对于他而言,是微粒的构造而非数学的结构才是存在物的内部实在。要解释宇宙,我们只能起始于——或终止于——物质,但这种物质不是同质的笛卡儿的物

---

① Zeuthen, *Die Geschichte der Mathematik im XVI. und XVII. Jahrhundert*; L. Brunschvicg, *Les Étapes de la philosophie mathématique*(《数学哲学的发展》)(Paris: Alcan, 1912)。

② 这段名言不是牛顿的发明,而是可以追溯到中世纪的夏特尔的贝纳尔,而且在16、17世纪也都被使用过。

③ 参见 K. Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*(《原子论史》)(Leipzig, 1890), wol. II; R. Lenoble, *Mersenne et la naissance du mécanisme*(《梅森与机械论的诞生》)(Paris: Vrin, 1943); Marie Boas, *The Establishment of the Mechanical Philosophy*,(《力学哲学的建立》)*Osiris* 10 (1952), 412—541,以及 E. J. Dijksterhuis, *Die Mechanisierung des Weltbides*(《世界图景的机械化》)(Berlin: Springer, 1956), trans. C. Dikshoorn as *The Mechanization of the World Picture*(Oxford: Clarendon Press, 1961)。

质，而是已经被上帝用各种不同方式决定的微粒所形成的物质。这才是运动构筑起神圣奇迹的含义。

由此，我们很清楚地看到，牛顿是把这两种倾向或观点综合了起来。在牛顿那里，自然之书是用微粒符号和微粒语言写成的，这一点同玻义耳一样；然而，把它们结合在一起并赋予整本书意义的句法却纯粹是数学的，这一点又同伽利略和笛卡儿一样。

因此，与笛卡儿的世界相反，牛顿的世界不再是由两种成分（广延与运动），而是由三种成分所组成：(1)物质，即无限多彼此分离的、坚硬的、不变的——但互不相同——微粒；(2)运动，这是一种奇特的悖论式的关系状态，它并不影响微粒的本质，而仅把它们在无限的同质的虚空中到处传递；(3)空间，即那种无限的同质的虚空，微粒（以及由之构成的物体）在其中运动而不对其产生任何影响。①

当然，牛顿的世界中还有第四种组成部分，即把它结合并维持在一起的引力②。然而这不是它的一种构造成分；它或是一种超自然的力量——上帝的行动——或是制定自然之书句法规则的一种数学结构。③

在牛顿的世界中引入虚空——连同与其相关的引力——这是天才迈出的有决定性意义的关键一步，尽管这个概念后来引出了物理的和形而上学的巨大困难（超距作用和虚无的存在）。正是这一步，才使牛顿能够真正地——而不是像笛卡儿那样表面上——把物质的不连续与空间的连续同时对立并且统一起来。强调物质的

---

① 关于牛顿的空间观念，参见 Léon Bloch, *La Philosophie de Newton*（《牛顿的哲学》）(Paris: Alcan, 1908); E. A. Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*（《近代物理科学的形而上学基础》）(London: Kegan Paul, 1925; 2nd ed., 1932); Hélène Metzger, *Attraction universelle et religion naturelle chez quelques commentateurs anglais de Newton*（《万有引力与自然宗教》）(Paris: Hermann, 1938)；也可参见 Max Jammer, *Concepts of Space*（《空间概念的发展》）(Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1954); Markus Fierz, *Ueber den Ursprung und die Bedeutung der Lehre Isaac Newtons vom absoluten Raum*,（《论牛顿绝对空间理论的起源与意义》）*Gesnerus* 11(1954), 62—120；以及我的 *From the Closed World to the Infinite Universe*（《从封闭世界到无限宇宙》）(Baltimore: Johns Hopkins Press, 1957)。还可参见 A. J. Snow, *Matter and Gravity in Newton's Physical Philosophy*（《牛顿物理哲学中的物质与引力》）(New York: Oxford University Press, 1926)，以及 Stephen E. Toulmin, *Criticism in the History of Science: Newton on Absolute Space, Time and Motion*,（《科学史批判：牛顿论绝对空间、时间与运动》）*The Philosophical Review* (1959)。对牛顿而言（也对 H. 莫尔或布雷德沃丁而言），或许可以这么说，空间是上帝在场与活动的永恒领地——它不仅是其感觉中枢（sensorium），而且也是其行为中枢（actorium）。

② 准确地说，我也应当提及斥力，它使微粒得以分离而不致集聚成团。然而，这些斥力是短程力，虽然它们在物理学中非常重要，但只要没有被用于建构一种以太理论，即"解释"以太是怎样作用于物体而产生引力的，那么它对于宇宙的建造就没有任何作用。

③ 事实上，它两者都是，即一种按照严格的数学定律起作用的超自然力量。

微粒结构，为把数学动力学应用于自然提供了坚实的基础[①]，而且还给出了空间关系的基础(fundamenta)。谨慎的微粒哲学并不真正清楚它自身的意义，但事实上，正是它给牛顿综合数学与实验指明了道路。

虚空……虚空中的作用……超距作用(引力)——正是牛顿的世界观的这些特征与含义，激起了欧洲大陆牛顿同时代的那些伟大人物——惠更斯、莱布尼茨、伯努利——的反对，他们受过良好的笛卡儿主义的训练，以抵抗那些模糊的无法理解的观念。[②]

在那本赫赫有名的《英格兰书简》(*Lettres anglaises*)，即后来被正式更名为《哲学书简》(*Lettres philosophiques*)的书中——直到今天它都很有可读性——伏尔泰非常机智地总结了这种状况：一个法国人到了伦敦，发觉自己身处一个完全陌生的世界中。他去的时候还觉得宇宙是充实的，而现在他发现宇宙空虚了。在巴黎，宇宙是由精细物质的漩涡构成的，而在伦敦，人们却一点也不这样看。在法国人看来，每样事物都是用无人理解的推力来解释的，而在英国人看来，则是用同样无人理解的引力来解释的。[③]

伏尔泰是完全正确的：牛顿的世界主要就是由虚空构成的。[④] 它是一个无限的虚空，仅有非常小的部分——无限小的部分——被物质所填充或占据。这些物体冷漠而且彼此分离，在那无界无底的深渊中自由地、完全不受阻碍地运动穿行。然而它却是一个世界，而不是一种彼此无关的孤立微粒的混沌聚集。这是因为所有这些微粒都是由一个非常简洁的数学定律，即引力定律联系和聚集在一起的——按照这个定律，它们中的每一个微粒都与另一个相关联、相统一。[⑤] 这样，每

---

① 按照波斯考维奇的说法，中心力的物理学必然包含了一种物质的原子结构，即使物质被简化成点也是如此。

② 笛卡儿对引力概念的批评是他在攻击罗贝瓦尔时作出的。罗贝瓦尔曾在其 *Aristarchi Sami De mundi systemate partibus motibus eiusdem libellus cum notis. Addictae sunt AE P. de Roberval notae in eundem libellum*(《萨莫斯的阿里斯塔克的世界体系》)(Paris, 1644)中断言了万有引力，梅森又在其 *Novarum observationum physico－mathematicarum*(《数学物理学的新观察》)(Paris, 1644), vol. III 中重新提及。笛卡儿指出(参见他 1646 年 4 月 20 日致梅森的信，*Oeuvres*(《笛卡儿全集》), ed. C. *Adam and P. Tannery* [Paris, 1897—1913], IV, 401)，为了吸引物体 B，物体 A 应当知道在哪里才能找到它。换句话说，引力包含着泛神论(这一点吉尔伯特与罗贝瓦尔都认识到了，但未把它当成反对的理由)。

③ 参见 *letter XIV*, Lanson edition, II, 1。

④ 不仅天上的空间是空荡荡的，甚至是所谓的“固体”中也都充满了虚空。构成它们的微粒绝不是紧紧堆在一起，而是被虚空彼此隔开的。从本特利开始的信奉牛顿学说的人，都对指出“物质”实际上只占据空间中无限小的部分而倍感骄傲与欢乐。

⑤ 按照牛顿的说法，只有这些微粒的引力才是真实的，无论它们到底是什么。它们的合力绝不是真实的力，而只是“数学的”力。因此，不是地球在吸引月球，而是地球上的每一微粒都去吸引月球上的每一微粒，这样产生的整体的引力只是一种数学的存在。

一个微粒都为建造世界体系(systema mundi)发挥着自己的作用。

引力定律的普遍应用,恢复了牛顿的宇宙物理上的统一性,同时也赋予了它理智的统一性。同样的关系把同样的事物结合在一起。或者换句话说,支配无限宇宙中的运动的,乃是同一套定律:它使苹果落到地上[①],也使行星绕着太阳旋转。不仅如此,同样的定律不但可以解释天体运动的统一模式(被开普勒发现),而且还可以解释个体间的差异;不但可以解释规则性,而且还可以解释不规则性(不对等性)。困扰了精明的天文学家和物理学家多少世纪的全部现象(比如说潮汐),似乎都是同一些基本定律联系组合的结果。

牛顿的引力定律说,力的减小是与距离的平方成正比的。它不仅是解释各种事实的同类理论中惟一的定律,而且也是惟一能够被普遍应用于诸如苹果和月球这样大小悬殊的物体上的定律。因此,可能只有这条定律才会被上帝采纳而用于创造。[②]

然而尽管具备所有这些长处,尽管牛顿定律本身就合乎理性,而且具有数学上的简洁(平方反比律正是球面波的传播定律,它与光的传播定律相同),但其中仍然存在着某些困扰人的问题。物体相互吸引,相互作用(或至少好似如此),但虚空把它们如此彻底地分离开和孤立起来,它们到底是怎样克服其阻隔而进行作用的呢?我们必须承认,连同牛顿在内,没有人能在当时(或现在)知晓这是怎么可能的。

我们知道,牛顿本人从未承认过引力是一种"物理的"力。他曾一遍遍地重申,它只是一种"数学的力",超距作用,即不通过中介——不仅对于物质,也对于上帝——就能直接作用于其他物体,是绝对不可能的。因此——这为我们理解所谓牛顿的经验主义所具有的局限性,提供了一种独特的视角——引力不能被当作物体(或物质)的一种本质的和基本的属性,而广延性、运动性、不可入性、质量等性质则相反,它们既不能被减少也不能被增加,[③]引力是一种需要被解释的属性。他无

---

① 有一个经常被世代历史学家视作传说的著名故事说,牛顿关于引力的思想是由苹果落地所引发的。现在看来,这种说法似乎是完全真实的,佩尔塞尼尔在 *La Pomme de Newton*,(《牛顿的苹果》)*Ciel et terre* 53(1937),190—193 中令人信服地证明了这一点。也可参见 I. B. Cohen, *Authenticity of Scientific Anecdotes*,(《科学逸事的真实性》)*Nature*157(1946),196—197 以及 D. McKie and G. R. de Beer, *Newton's Apple*,(《牛顿的苹果》)*Notes and Records of the Royal Society* 9 (1951—1952),46—54, 333—335。

② 引力大小与距离的平方成反比的定律,是惟一可能把地球对苹果的吸引与对月球的吸引直接进行对比的定律,因为只有这样,地球或一个球体对外部物体的吸引才可以被视作好像质量都集中于球心,而不管它们之间的距离为多少。当然,它与另外一条定律,即引力大小与距离成正比的定律都有同样的数学性质,但由于在这种情况下,所有的天体都会同时结束它们的圆周运动,因此,这显然不是我们这个世界中的定律。

③ 如果一种性质不能被增加也不能被减少,那么它就属于事物的本质属性。

法做到这一点。[1] 由于他不想在缺少合适理论的时候就贸然给出一个假想的解释，而且由于科学（自然的数学哲学）没有这种解释也能进行得很好，所以他宁愿对此不作解释（这是他著名的“我不杜撰假说”[Hypotheses non fingo]的一个意思），而使之保持悬而未决的状态。[2] 然而奇怪的是，其实也可以说是很自然地，没有人——除了麦克劳林以外——在这一点上认同他。牛顿的第一代学生（科茨、基尔、彭伯顿），都认为引力是物质所具有的一种真实的、物理的、甚至是首要的属性。他们的这种学说传遍了欧洲，遭到了牛顿同时代的欧洲大陆学者持续而强烈的反对。

牛顿并不承认超距作用，然而，正如莫泊丢与伏尔泰非常合理地指出的，从纯经验知识的观点来看（这似乎就是牛顿的观点），引力和物体的其他属性是无法在本体论上进行区分的。不错，我们并不理解引力，但我们理解其他属性吗？不理解并不意味着要去否认一个事实。[3] 既然现在引力已经是一个事实，那么我们就不得不接受它，就像承认物体具有其他那些事实或属性一样。谁知道我们还会发现什么未知的属性呢？谁又知道上帝到底赋予了物质什么样的属性呢？

对牛顿主义——这被认为是物理学——的反对在开始时是深刻而强烈的，然而渐渐地却销声匿迹了。[4] 这个体系的成功证明了自身的价值，引力也逐渐不再是那样地不可思议。正如马赫非常精当地指出的，“非同寻常的不可理解性变成了一种寻常的不可理解性”。一旦习以为常，人们——除极少数的人以外——就不再去思考它了。于是，在《自然哲学的数学原理》——这与先于它八十年的开普勒的《天的物理学》（*Physica coelestis*）和晚于它 200 年的柏格森的《创造进化论》（*Evolution créatrice*）同样大胆和富有挑战意味——于 1687 年出版 50 年后，欧洲最重要的物理学家和数学家——莫泊丢、达莱洛、克朗伯、欧拉、拉格朗日和拉普拉斯——开始奋力完善牛顿的宇宙结构，发展数学与实验研究的工具和方法（德萨居利耶、

---

① 事实上，他曾经——三次——试图用以太的压力来解释引力。参见 Philip E. B. Jourdain, *Newton's Hypotheses of Ether and Gravitation*,（《牛顿关于以太和引力的假说》）*The Monist* 25(1915)。

② 在《原理》第二版的“总释”中的那句著名的“我不杜撰假说”，并不意味着蔑视科学中的所有假说，而仅仅是针对那些不能被用数学处理的实验证明或否证的假说而言的，尤其是笛卡儿曾经试图作的那种整体上的质的解释。在牛顿那里，这句话的轻蔑意味与非轻蔑意味并存（在《原理》第一版中，运动的公理或定律被称为假说），这肯定是他从巴罗和沃利斯，甚至是伽利略那里继承来的。

③ 对于马勒伯朗士和洛克而言，一个物体对另一个物体的所有作用——对运动的传递——都是不可理解的。

④ 参见 Brunet, *L'Introduction des théories de Newton en France*, vol. I。

赫拉弗桑德和米森布鲁克)[①],引领它走向一个个的成功,到了18世纪末拉格朗日《分析力学》(*Mécanique analytique*)与拉普拉斯《天体力学》(*Mécanique céleste*)的出版,牛顿科学可以说是达到了其最终的绝对完美——它是如此地完美,以至于拉普拉斯可以自豪地宣称,他的《宇宙体系论》(*System of the World*)没有留下任何悬而未决的天文学问题。

对于数学家和科学家,我们已经说得够多了。还有其他一些人,比如说洛克,他们无法理解几何推理与无穷小推理中那些错综复杂之处,而只能姑且把它们当成是正确的(惠更斯让他可以放心)。他们写了一大批书——其中不乏优秀之作——比如彭伯顿的《对伊萨克·牛顿爵士的哲学的考察》(*View of Sir Isaac Newton's Philosophy*)(伦敦,1728年;法译本,巴黎,1755年),伏尔泰的《哲学书简》与《牛顿哲学概要》(*Eléments de la philosophie de Newton*)(阿姆斯特丹,1738年),阿尔加罗蒂的《为女士写的牛顿学说》(*Il Newtonianismo per le dame*)(那不勒斯[米兰],1737年;第二版,1739年;法译本,巴黎,1749年),麦克劳林的《论伊萨克·牛顿爵士的哲学发现》(*Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries*)(伦敦,1746年;法译本,巴黎,1749年)[②],欧拉的《致一位德国公主的信》(*Lettres à une princesse d'Allemagne*)(彼德堡,1768—1772年),最后还有拉普拉斯的《宇宙体系论》(*Système du monde*)(1796年),它们用清晰易懂的语言,把牛顿数学物理和实验科学的福音传播给了那些"绅士"(honnête homme)甚至是"淑女"(honnête femme)。

难怪牛顿主义——与洛克的哲学奇特地混在一起——成了整个18世纪的科学信条。[③] 对于其同时代的年轻人,特别是对于后世来说,牛顿似乎是一个超人[④],

---

① J. T. Desaguliers, *Physicomechanical Lectures*(《物理力学讲演录》)(London, 1717), in French translation(Paris, 1717); *A System of Experimental Philosophy*(《实验哲学体系》)(London, 1719); *A Course of Experimental Philosophy*(《实验哲学教程》)(London, 1725; 2nd ed. In 2 vols., London, 1744—1745); W. J. s'Gravesande, *Physices elementa mathematica experimentis confirmata, sive introductio ad philosophiam Newtonianam*(《物理学纲要》), 2 vols. (Leiden, 1720—1721); *Philosophiae Newtonianae institutions*(《牛顿哲学教程》)(Leiden, 1728); *Éléments de physique ou introduction à la philosophie de Newton*(《物理学纲要或牛顿哲学导论》)(Paris, 1747); Petrus Musschenbroek, *Epitome elementorum physicomathematicorum*(《物理学数学原理精要》)(Leiden, 1726); *Elementa physics*(《物理学纲要》)(Leiden, 1734)。参见 Pierre Brunet, *Les Physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIII siècle*(《荷兰物理学家与十八世纪法国的实验方法》)(Paris: Blanchard, 1926)。

② 所有这些书,如果它不是用法文写的,就会马上被译成法文,以使欧洲所有有教养的人学习。

③ 在伏尔泰和孔多塞看来,洛克与牛顿代表着哲学和科学的顶峰。

④ 有一段流传很广的故事说,洛比达曾经很严肃地问道,是否牛顿也像其他凡人那样进食与睡眠。

他已经一劳永逸地解决了宇宙之谜。

所以当哈雷写下"没有凡人能比他更接近上帝"[①](nec fas est propius Mortali attingere Divos)这样的话时,他绝不是为了恭维,而确是出于内心深处的信念。过了一百多年,拉普拉斯不是不无遗憾地把《原理》置于一切其他人类作品之上了吗?的确,正如拉格朗日感慨地说,我们只有一个宇宙需要解释,没有人能重复牛顿的工作,他是我们之中最幸运的一位。

于是也不足为奇,在牛顿科学已经取得长足进步的18世纪末,蒲柏能够写出这样的诗句:

自然和自然律隐没在黑暗中:
神说,让牛顿去吧!万物遂成光明。

蒲柏不可能知道,

没过多久,
魔鬼吼道,"哦,让爱因斯坦去吧!"
黑暗遂重新降临。

不过现在我们还是回到牛顿。常有人说,牛顿思想和工作的伟大之处,就在于他把高超的实验能力和过人的数学天赋结合了起来。也有人说,牛顿科学的显著特征,就在于他把数学与实验连在了一起,用数学来处理现象,也就是说,处理实验或(因为在天文学中我们无法做实验)观测数据。然而,虽然这种描述无疑是正确的,但在我看来,它还不算完整,牛顿的思想绝对含有比数学和实验多得多的东西。比如——除了宗教与神秘主义——一种对自然作纯机械解释的局限性的深刻直觉。[②] 我已经说过,由于牛顿科学是建立在微粒哲学的稳固基础之上的,所以就会导致对整体事件和作用进行原子分析这样一种特别的逻辑方式(一般说来,这与数学的处理方法完全不同),或者更恰当地说,是把这种方式发展到了最完美的地步,即把既定的数据约化为原子的基本成分(它们首先就被拆成了这些东西)之和。

由于牛顿物理学所取得的巨大成功,人们不可避免地将其特征当成了建立科学——任何种类的科学——的必要因素。于是18世纪涌现出来的所有新科

---

① *Isaac Newton, and Ode*,(《伊撒克·牛顿与赞颂》)trans. Leon J. Richardson in *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy*, trans. Andrew Motte, ed. Florian Cajori (Berkeley: University of California Press, 1947), p. xv.

② 在我看来,牛顿一定会得出结论说,对引力作纯机械的解释是绝对不可能的,因为若是如此,他只好假设另一种力——没有引力那么难堪,但仍是非机械的——即斥力的存在。

学——关于人的科学和关于社会的科学——都试图遵循牛顿的经验—演绎知识模式，并且遵守牛顿在其著名的“哲学思考的规则”(Regulae philosophandi)中定下的准则，这些准则被如此频繁地引用，也被如此频繁地误解。这种对牛顿逻辑的痴迷，即不假思索地妄图把牛顿的(或称伪牛顿的)方法机械地应用于那些完全违背其初衷的领域，它所造成的后果绝非令人快慰，这一点我们马上就会看到。不过在把注意力转向这些以前，作为与牛顿主义相关的东西，我们不得不以一种不尽合理的方式，考察一下普遍接受牛顿的综合所带来的一些更为一般和广泛的结果。其中最重要的一点，似乎是极大地强化了那条古老的教理式的信仰，即所谓自然的“简单性”，以及通过科学向自然引入一些非常重要而且影响深远的要素，这些要素不仅在事实上不合理，甚至在结构上也不合理。

换句话说，牛顿的物理学不仅事实上(de facto)使用了诸如能力和吸引这样含混的概念(欧洲大陆的学者反驳说，这些概念表明了墨守成规与虚妄)，不仅放弃了用理性的方式来演绎天地万物和谐共在的构造，而且其基本的动力学定律(平方反比律)虽然看似合理，却绝非必然，正如牛顿曾经谨慎地说，它们是可以与此大相径庭的。[①] 于是，引力定律本身不过仅仅是个事实罢了。

而且如果要把所有这些事实全都纳入到空间数学秩序(spatiomathematical order)的理性框架和世界的美妙结构中去，似乎就必定要排除机遇的亚理性(subrationality of chance)，取而代之的则是目的的超理性(suprationality)。看来很清楚，它不能通过必然的原因，而只能通过选择的自由来解释。

正如牛顿所言，世界精妙的运行机制似乎显然要用一个有目的的行为来解释。或者用伏尔泰的话来说：钟表机械隐含着钟表匠的存在(l'horloge implique l'horloger)。

于是，尽管牛顿的科学被称作自然的数学哲学，从而明确放弃了对原因(物理的与形而上学的)的寻求，但从历史上看，它却是基于一种物理因果性的动力学概念之上，并且与有神论或自然神论的形而上学联系在一起。当然，这种形而上学体系并没有把自己显示为牛顿科学的一个必要组成部分，它还没有进入其形式结构中去，但对牛顿本人，也对所有信奉牛顿学说的人而言——除了拉普拉斯——这种科学隐含着一种对上帝的合理信仰，这绝不是偶然的。[②]

自然之书似乎又一次揭示了上帝的存在，只不过这次是一个机械师的上帝，他不仅把世界造成了钟表，而且还必须不断地监护它，以在必要时能够及时修补(莱

---

① Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Book I, Theorem IV, Corr. 3—7。

② 参见 Metzger, *Attraction universelle* 以及 John H. Randall, *The Making of the Modern Mind*(《近代心灵的构建》)(Boston: Houghton Mifflin, 2nd ed., 1940)。

布尼茨反驳说，牛顿的这个上帝是一个糟糕的钟表匠），这样才能表明他的存在和对造物的兴趣。唉，可惜这种逐渐揭示出造物主完美技艺及其作品无限完美性的牛顿科学，其后来的发展却给上帝的介入留下了越来越少的余地。世界这座大钟似乎越来越不需要拧紧发条或进行修补，它一经启动，就会永远地走下去，创造的工程一经完成，牛顿的上帝——一如笛卡儿的上帝对物质第一次（和最后一次）弹指一挥（chiquenaude）之后——就可以隐退了。与笛卡儿和莱布尼茨的上帝——这遭到牛顿学说的信奉者的激烈反对——类似，他与世界再也没有什么关系了。

不过只是到了18世纪末，随着拉普拉斯《天体力学》的出版，牛顿的上帝才达到了逍遥神（Dieu fainéant）的崇高地位，而这实际上是把上帝从世界中驱逐了出去（“我不需要那个假设”，拉普拉斯在拿破仑问及上帝在其体系中的位置时这样答道）。然而对于包括牛顿在内的第一代信奉牛顿学说的人而言，事实则正好相反，上帝一直是一个积极活动的现实的存在。他不仅给这个世界机器提供动力，而且还按照其自由制定的规律积极“驱动”着这个宇宙。①

正是这种上帝在世界中在场与活动的观念，构成了18世纪宇宙感情的智力基础，并且给它赋予了独特的情感结构，它的乐观主义、对自然的预言能力，等等。既然自然和自然律是上帝意志和理性的体现，那么，它们除了是善的还能是什么呢？服从自然，并把自然律当作最高的准则，这与一个人服从上帝的意志和命令是一致的。②

那么，如果自然界中明显地充满着秩序与和谐，为什么人类世界中却如此缺少这些东西呢？答案似乎是清楚的：混乱与不和谐是人创造出来的，是人盲目地试图左右自然定律，甚至是想用人为的规则来超越它们所导致的后果。补救方法似乎也很清楚：让我们回到自然，回到我们自己的本性中去，按照其规律去生活和行动。

但什么是人的本性呢？我们应该怎样来确定它呢？当然，我们不应当从古希腊或经院哲学家那里直接照搬一个定义，也不能从近代哲学家如笛卡儿或霍布斯那里寻求解答，我们只能依照既定模式前进，运用牛顿业已给我们指出的规则，通过观察、经验甚至是实验去寻求那些基本的永恒的方面，寻求人类的存在与特征中那些一成不变的性质。我们不得不找出那些把人的原子连在一起的彼此相关的作用方式或行为定律，再从这些定律中导出所有别的东西。

一个宏伟的工程！唉，可惜它的运用并没有产生预期的结果。事实证明，定义

---

① 在一个由绝对坚硬的微粒构成的世界里，必定会有能量的不断损失，因此，牛顿的上帝必须不仅提供初始能量，而且还要不断地补偿能量损失。自然地，最后他只不过变成了一个修补匠。

② 18世纪的乐观主义不仅可以在牛顿的世界观中，而且也可以在与之敌对的莱布尼茨的世界观中找到其哲学来源。更为重要的是，它只是基于社会、经济与科学的进步所带来的氛围中。18世纪的生活是非常愉快的，而且至少在前半个世纪是有增无减。

"人"要远比定义"物质"困难得多，人的本性仍然要通过大量不同的甚至是相互冲突的方式来确定。然而，人对"自然"的信仰是如此之强烈，牛顿的（或者伪牛顿的）秩序图景的魅力是如此之令人慑服，它从孤立且自足的原子的相互作用中自动产生出来，以至于无人敢去怀疑，秩序与和谐一定也能被人本身的原子依其本性以某种方式产生出来，无论这种本性是什么——游戏与快乐的本能（狄德罗）也好，或是对私人占有的追求（斯密）也好。于是，回到自然就意味着激情的放纵与自由的竞争。不用说，这是最后一种流行的解释。

事实证明，这种对牛顿的（或伪牛顿的）原子分析方式的极力仿效（或伪仿效）与改造，到目前为止在物理学[①]、化学[②]甚至是生物学中仍旧很成功，而在其他领域则导致了相当糟糕的后果。于是，把牛顿与洛克的学说强行结合起来就产生了一种原子心理学，它把心灵解释成一种"知觉"与"观念"通过关联（引力）定律拼接而成的东西。我们也有了原子社会学，它把社会视作人的原子的聚集，这些原子完整且自足，它们只是相互地吸引和排斥而已。

当然，牛顿绝不应对此负责，或是对过分拓展——或仿效——他的方法所产生的其他畸胎（monstra）负责，他也不应对普遍接受整体事件和作用的原子分析方式所带来的更一般的，甚至是灾难性的后果负责，按照这种处理方式，这些事件和作用不再真实，而只是数学结果或潜在的基本因素的总和。这种分析方式导致了一个对全体（totum）与其部分之间关系的唯名论的错误看法，事实上这相当于完全否定了全体（tota）（一个被分解为部分之和的 totum 就不再是 totum 了），19 世纪和 20 世纪的思想非常难于克服这个观念。无人应对别人误用他的成果和曲解他的思想负责，即使从历史上看，这样一种误用或者曲解似乎是——或已经是——不可避免的。

不过有些东西是牛顿——或者更确切地说不是牛顿自己，而是一般意义上的近代科学——要负责的，即我们这个世界被分成了两个部分。我总是说，近代科学打破了天与地的界限，把宇宙统一成了一个整体，这是正确的。然而我也说过，这样做是付出了一定代价的，即把一个我们生活、相爱并且消亡于其中的质的可感世界，替换成了一个量的、几何实体化了的世界，在这个世界里，任何一样事物都有自己的位置，惟独人失去了它。于是科学的世界——真实的世界——变得与生活世界疏离了，最终则与之完全分开，那个世界是科学无法解释的——甚至称之为"主观"也无法将其解释过去。

---

① 当今的物理学被迫超越了解释的原子模式：总体不再等于部分之和，粒子不再能与其环境分割开，等等。

② 关于牛顿对化学的影响，参见 Hélène Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*（《牛顿、斯塔尔、布尔哈维与化学学说》）（Paris: Alcan, 1930）。

的确，这两个世界每天都——甚至是越来越——被实践(Praxis)连接着，然而在理论上，它们却为一条深渊所隔断。

两个世界：这意味着两种真理。或者根本没有真理。

这就是近代思想的悲剧所在，它“解决了宇宙之谜”，却只是代之以另一个谜：谜本身之谜。①

作者简介：亚历山大·柯瓦雷(Alexandre Koyré，1892－1964)，俄裔法国科学史家，现代科学史学科的重要创始人之一。著作中译本有《伽利略研究》(江西教育出版社 2002 年版)、《牛顿研究》(北京大学出版社 2003 年版)、《从封闭世界到无限宇宙》(北京大学出版社 2003 年版)等。

文献来源：柯瓦雷《牛顿研究》，张卜天译，北京大学出版社 2003 年版，第一章(第 2－17 页)。沿袭原有标题。

---

① 参见 Alfred North Whitehead, *Science and the Modern World*(《科学与近代世界》)(New York: Macmillan, 1925); Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*。

数学有何用

斯图尔特

我们现在已建立了无可争议的概念:大自然充满模式。但我们想把模式怎么样呢?我们能做的是任其自然并赞美模式。与自然交流对我们所有人来说都有好处:它提醒我们,我们是什么。绘画、雕塑和写诗是表达我们对世界、对我们自己的感受的有效和重要方式。企业家的本能是利用自然;工程师的本能是改造自然;科学家的本能在于力图认识自然,搞清楚自然界究竟在发生着什么;数学家的本能是通过寻求贯穿显见部分的普遍性,刻画这个认识过程。我们的内心都具有所有这些本能的一部分,每种本能都既有好的一面又有坏的一面。

我想向你显示数学本能对人类的认识所起的作用,但首先我想谈一下数学在人类文化中的作用。你在购买一样东西之前,通常对想用它做什么有一个明确的想法。如果它是一台电冰箱,你当然想用它来储存食物,但你的想法远不止于此。应该用它储存多少食物?把它放在什么地方较适合?这不仅仅是一个使用问题。你可能想买一幅画,但你仍然会自问把它放在什么地方合适,配有雅致镜框的这幅画是否值所开的价。数学以及其他任何智慧世界观(科学的、政治的或宗教的)都面临同样的问题。你在买东西之前,明白想用它派什么用场是明智的。

那么,我们想从数学中得到什么呢?

每一个自然之模式都是一个谜,它几乎总是高深莫测。数学在帮助我们解谜方面功勋卓著。在发现隐藏在某个观察到的模式或规律性背后的规律和结构,进而利用那些规律和结构解释正在发生的事情等方面,数学是一套基本上自成体系的方法。数学随着我们对自然认识的不断加深而发展。我在上文提到过开普勒对雪花的分析,但他最著名的发现是行星轨道的形状。开普勒对他同时代的丹麦天文学家第谷·布拉埃(Tycho Brahe)所作的大量天文观测结果进行数学分析,最终得出行星按椭圆轨道运动的结论。椭圆是一种卵形曲线,古希腊几何学家对它作过许多研究,但古代天文学家喜欢用圆(或许多组圆)描述轨道,所以开普勒的结论

在当时是激进的。

人们常常根据对他们来说是否重要来解释新的发现。当天文学家获悉开普勒的新思想时，他们得到的启示是，那种源于希腊几何学后被忽视的概念或许有助于他们解开预测行星运动之谜。不用费很大的劲他们就可以看到，开普勒已向前迈出了一大步。各种天文现象（如月食、日食、流星雨和彗星）可能服从同样类型的数学。对于数学家来说，他们得到的启示却迥然不同。他们认为椭圆确实是有意义的曲线。他们一眼看出曲线的一般理论可能更加有意义。数学家能得出椭圆的几何规则，并加以修改，看看能得到其他何种曲线。

无独有偶，当牛顿史诗般地发现了物体的运动可用作用于物体上的力与物体具有的加速度之间的数学关系来描述时，数学家和物理学家从中得到的东西大不相同。不过，在叙述这些之前，我想对加速度作些解释。加速度是一个难以形容的概念，它不是一个基本量（如长度或质量），它是变化率。实际上，它是“二阶”变化率——变化率的变化率。物体的速度（物体在给定方向上运动的速度）就是一个变化率：它实际上是物体在距某个选定点距离变化的速率。如果一辆汽车以每小时60千米的稳定速度运动，则它距出发点的距离每小时变化60千米。加速度是速度的变化率。如果这辆汽车的速度从每小时60千米增加到每小时65千米，则它按一个确定量加速。这个量不仅取决于初速度和末速度，而且取决于速度变化的快慢。若汽车的时速从60千米增加到65千米，共花了一个小时，则加速度很小；若只用了10秒钟，则加速度相当大。

我不想在这讨论加速度的测量，我的着眼点只在加速度是变化率的变化率这一更为一般的问题上。你可以用卷尺测量距离，但测量距离的变化率的变化率则难得多。这就是人类花那么长时间，到了牛顿才发现运动定律的原因。如果这个模式早已成为距离的明显特征，那么我们可能早就把握住运动规律了。

为了处理与变化率有关的问题，牛顿和德国数学家戈特弗里德·莱布尼兹各自独立地发明了一个新的数学分支——微积分。它（事实上和在隐喻意义上）改变了地球的面貌。但由这个发现而引发出来的思想还是因人而异。物理学家继续寻找能够用变化率解释自然现象的其他自然定律。他们用这只铲斗找到了它们——热学、声学、光学、流体动力学、弹性力学、电学、磁学等。尽管诠释以及在某种程度上隐含其中的世界观有所不同，但最深奥的现代基本粒子理论仍然运用着同一类型的数学。即便如此，数学家发现有待探究的一系列问题却全然不同。首先，他们花了很长时间才搞清楚“变化率”的确切含义。为了计算运动物体的速度，必须测量这物体在某时刻所处的位置，确定它后来在一个极短的时间间隔内运动到了什么地方，然后把运动的距离除以所花的时间。但是，若物体正在作加速运动，则结果依赖于所取的时间间隔。如何对待这一问题，数学家和物理学家都有相同的看法：所取的时间间隔应当尽可能地小。要是能取零时间间隔，那再好不过了，但不

幸的是此路不通，因为物体经过的距离和所花的时间都将为 0，而 0/0 的变化率毫无意义。非零间隔的主要问题在于，无论你挑选哪个间隔，总存在可以取而代之的更小的间隔，从而得到更精确的答案。采用最小的非零时间间隔该有多好，可是根本不存在这样的间隔。因为给定任意一个非零数，这个数的一半也是非零的。要是时间间隔能取无限地小（即“无穷小”），则万事大吉。然而不幸的是，存在着与无穷小概念相联系的难解的逻辑悖论。特别是，如果我们把自己局限于通常词义上的数，那么根本不存在无穷小。所以，在两百多年的时间里，人类对于微积分的态度十分奇特。物理学家利用它来认识自然和预言自然的一些行为方式，取得了巨大的成功。而数学家操心的是它的确切含义和如何最好地给它下定义，使它像一种可靠的数学理论那样管用；哲学家则在论证它毫无意义。最终一切问题都解决了，但你仍会发现各学科之间在态度上的强烈差别。

微积分的故事，告诉了我们数学的两个主要功用：为科学家计算自然正在做什么提供工具，以及令人满意地为数学家提供有待解决的新的问题。这些是数学的外表和内里，它们往往被称作应用数学和纯粹数学（我不喜欢“应用”和“纯粹”这两个形容词，更加讨厌那暗示的分离）。在这种情况下可能显示物理学家所设立的议程：如果微积分方法看上去管用，它何以管用又有何妨呢？如今你会听到以实用主义者自居的人们表达的同样看法。我并不反对这个看法，他们的主张在许多情况下是对的。设计桥梁的工程师有权运用标准的数学方法，即使他们不知道证明这些方法成立的详细而又往往深奥的推理。但我个人感到，如果驾车驶过那座桥而意识到没有人知道那些方法为什么成立的话会很不舒服。因此，在文化层次上，应当有人为实用方法操心，并试图搞清楚到底什么使之管用。那就是数学家所做的一部分工作。他们喜欢进行研究，正如我们将看到的，数学家以外的人得益于各种各样的数学派生产品。

短期内，数学家是否对微积分的逻辑可靠性感到满意，尚无关宏旨。但从长远看，数学家因关心数学本身的内部问题而得到的新思想，证明确实对数学以外的世界很有用。在牛顿时代，不可能预言哪些可能的用途。但我认为你或许可以预言（甚至在那时）哪些用途将出现。数学与“现实世界”之间关系最奇特也是最鲜明的一个特征，在于好的数学（不管它的来源如何）终究是有用的。为什么会这样，有各种各样的理论：从人类心智的结构，到宇宙在某种程度上是由少许数学构件建立的思想。我的感觉是，答案可能相当简单：数学是关于模式的科学，大自然中的模式应有尽有。我承认很难提供大自然何以如此行事的令人信服的理由。或许这个问题应当反过来提：可能关键在于那种能够提出此种问题的生物只有在具有此种结构的宇宙中才可以进化。①

---

① 对这一解释及其他解释的讨论，见杰克·科恩（Jack cohen）和伊恩·斯图尔特合著的《混沌之解体》（*The collapse of chaos*）一书。

不管是什么原因，数学肯定是认识自然的一种有用方式。对于我们观察到的模式，我们想让数学告诉我们什么呢？有许多种回答。我们想了解模式如何发生；了解模式为什么发生（这与前一个问题不同）；以最令人满意的方式建立基本的模式和规律；预测自然将如何演变；为我们自身的目的控制自然；以及实际运用我们所学到的关于这个世界的知识。数学能帮助我们做所有这些事，并且它往往是必不可少的。

作者简介：伊恩·斯图尔特（Ian Stewart），英国数学家，科普作家，《科学美国人》的"数学游戏"专栏主笔。著作中译本有《上帝掷骰子吗——混沌之数学》（上海远东出版社 1995 年版）、《自然之数——数学想像的虚幻实境》（上海科技出版社 1996 年版）。

文献来源：斯图尔特《自然之数——数学想像的虚幻实境》，潘涛译，刘华杰校，上海科学技术出版社 1996 年版，第二章（第 11－15 页）。沿袭原有标题。

6 实验 ≫

实 验

贝尔纳

我们对于周围环绕的事物可以由以下两种方式获得教导：即经验式的与实践式的。首先有一种无意识的经验式的知识或经验，是从每种事物的实践中得来，但这种认识的获得并不缺乏一种朦胧的实验推理，不过这种推理人们作了而没有体会到，并且根据这种推理与事实相印证而下一种判断。所以经验可以由经验的、无意识的推理得到。但是这种意识模糊的而且自发的进展方式，在科学家明确的推理方法建立之后，进展的速度就比较快，而且从无意识的方式通向确定的目标。这样才是科学上的实验方法，据此经验总是根据精确的推理得来，这种推理建立在由观察产生并由经验检验的一种观念之上。事实上，实验的全部认识包含有三个阶段：作了观察、树立了比较观念和论证了判断。因此，所谓实验的方法不是别的，正是对我们周围的事物下一个“判断”，借助另一个能检验该判断并能得出“经验”的事实作为“标准”。就这样广义而言，实验是人类认识的惟一源泉，思想本身只是对事物必然关系的感觉，而它只能通过实验认识这种关系的形式。

因此，实验方法中应注意的有两件事：(一)用严密的研究方法取得正确事实的技巧；(二)为了提取现象规律的认识，用实验的推理方法运用这些事实的技巧。实验的推理永远必然地同时使用于两种事实，一个作为出发点，就是“观察”；另一个作为结论或检验，就是“实验”。归根结底，无非只就逻辑的抽象性说明而已，而在推理上说，只能从两种事实所占的位置来区别、观察事实和实验事实。

除了实验推理以外，观察和实验两词就不再有前面所述的抽象意思。原来两词同样都是运用严密而正确的研究方法来获得具体的事实。我们以后还要讨论到，研

究者本身应分为“观察者”与“实验者”，不应当依据在现象产生中他的态度是消极的或积极的来分，而是应当看他是否对现象产生参加活动，使自己成为现象的主宰。

作者简介：克洛德·贝尔纳(Claude Bernard，1813－1878)，法国生理学家、医学家，实验生理学的重要奠基者，最早成功地运用活体解剖来研究生理学问题，其《实验医学研究导论》一书已成为科学史上的经典著作。

文献来源：贝尔纳《实验医学研究导论》，夏康农、管光东译，郭庆全校，商务印书馆 1991 年版，第一章第二节(第 14－15 页)。标题为编者所加。

观察与实验

贝尔纳

我们刚才讲过，从研究技术的观点来看，观察与实验都只应该看作是研究者所揭示的“事实”，我们又说过，研究的方法不分观察者与实验者。那么，人们可以发问，究竟观察者与实验者的区别在什么地方呢？我的答案如下：所谓的“观察者”，是那些应用简单的或复杂的研究方法，依着自然赋予的现象的本来面目加以搜集的研究者。所谓的“实验者”，是那些应用简单的或复杂的研究方法，为了某种目的，变更自然现象，使自然本来并不显露的条件下或情况下的现象显示出来的研究者。在这个意义上说，“观察”是研究自然现象；而“实验”则是研究由研究者变更了的现象。像这样的区别，似乎完全是外来的，只是字面上的定义，可是，我们在下面就可以看出，这正是必须理解观察的科学与实验的科学之间的重要区别的惟一意义。

我们在前面的一段文字里曾经说过，从实验的推理观点看，“观察”与“实验”两词的抽象意义是：前者为单纯的事实察看，而后者则是用事实检验思想。但是，仅仅从这样抽象的意义来了解“观察”，我们也许不可能从中得出一种观察的科学来。简单地察看事实，永远不可能构成一种科学。我们尽管不断地多作观察，结果只能算看见了许多事实而已，不可能知道得更深。如要使自己获得知识，必须就观察所得的事实加以推理，加以比较，并取另一部分当检验用的事实来判断某种事实。所以，一种观察可以检验另一种观察。这样，“观察科学”只是由种种观察而完成的一种科学，也就是说对自然观察的事实加以推理的一种科学，我们在前面已经阐明。“实验的科学”则是用实验才能完成的一种科学，也就是说，在这种科学中人们根据实验者自己创造的和决定的条件所获得的实验事实来加以推理。

有的科学，例如天文学对我们来讲，永远只能是一种观察的科学，因为它所研究的现象，超出我们活动的范围，但是地球的科学，则可以同时是观察的，又是实验的科学。更进一步也可以说，所有这后一类的科学，开始都是纯观察性的科学，只

有在深入到现象分析时才变为实验性的科学，因为观察者设想某些研究方法，深入研究事物的内部，并变更现象产生的条件，于是他们就逐渐变为实验者。因此“实验”就是实验者特有的研究方法的实施。

现在我们就要论到“实验的推理”了，这是对于观察的科学与实验的科学都绝对相同的内容。两者都需要依据两种事实才能比较，才能判断。一种事实作为比较判断的出发点，另一事实作为推理的结论。只是在观察的科学里，两种事实总是由观察得来；而在实验的科学里，则视情况和根据我们对实验分析深入研究的程度，两种事实只能由实验得来，或同时由观察和实验得来。一个医生观察某种病症发生的各种情况，他推断这些情况的影响，他从中得出通过其他的观察而检验出的结果。这位医生尽管没做实验，却作了实验的推理。可是，假如他想进一步探求疾病的内在机制，了解隐藏的现象的话，那么，他将成为实验者，不过他的推理仍旧一样。

一位动物学家观察某种事物生活的各种条件，他从这些观察得出由其他的观察检验和核实的某些结论：这位动物学家运用了“实验的方法”，尽管他并没有做过真正的实验。但是，假使他要观察胃脏内消化的现象，他就必须设计或简或繁的实验方法，才能见到原来看不出的腔脏的内容，可是他的实验推理仍然相同。莱渥穆和斯巴朗扎尼最初研究自然历史观察或消化生理实验同样采用了这种实验方法。帕斯加尔在巴黎近郊圣乐克塔下做了气压观察以后，又移到塔顶上作了另一次观察，我们都承认他是作了实验，然而这只是两次关于空气压力的观察，是为了证明气压应随高度而变异的预想而进行的。反之，珍纳[①]戴着一架望远镜观察树上杜鹃的生活，为了不惊动它，他作的是一次简单的观察，因为他并不把这次观察与其他的观察作比较，以求得出某种判断的结论。同样，一个天文学家先作一些观察，然后推理，得出一组概念，他通过在特定条件下为这一目的所作的一些观察来检验这些概念。这样，这位天文学家的推理正如实验科学家一样，因为获得的经验，都含有用一种观念将两种事实联系到思想中去加以判断和比较的成分。

但是，正如我们已经说过，必须把天文学家与研究地球科学的学者加以区别：天文学家只限于观察，因为他不能到天空中去对天体做实验。正由于研究者具有研究自然现象的能力，才有所谓“观察的科学”与“实验的科学”的区别。

拉普拉斯认为天文学是一种观察的科学，因为我们只能观察行星的运动，确实不能到达行星，以改变它们的运行和对它们做实验。“在地球上，”他说，“我们用实验的方法变更现象，对于天空我们只能谨慎地确定天体运动显示给我们的一切现象。”现今某些医学家也认为医学是一种观察的科学，因为他们错误地假定实验不适用于医学。

---

① 珍纳(Jenner)，《论杜鹃的天然史》(《哲学汇编》)，1788年，第14章，432页。

归根结底，一切科学推理的方式都相同，都具有相同的目的。它们都想要认识自然现象的规律，为了能预见、改变和控制这些现象。不过，天文学家能预测天体的运动，从而提出大量实用的概念，但是他却不能像物理学家与化学家研究他们各自本门科学那样通过实验来改变天空的现象。

所以，从哲学方法的观点来看，如果观察的科学与实验的科学之间并无重要的区别的话，那么，从人类实际收获的观点与他们利用手段达到相对的能力来看，两者的区别又非常明显。对于观察的科学，研究者观察并作实验性的推理，但是“他并不做实验”，在这一意义上，我们可以说观察的科学是“消极性的科学”。对于实验的科学，研究者观察，但是他还进一步动手探索研究的对象，分析其性质，按照自己的要求促成现象的产生，这些现象的产生固然永远按照自然规律进行，可是自然时常还不具备实现现象的条件。借助“积极性的实验科学”，人类成为现象的创造者，成为真正的造物主，在这种关系上说，随着实验科学的未来进展，人在自然中获得的能力可以无限发展。

现在剩下一个问题需要了解，医学是否应当是一门观察的科学，或者应当成为一门实验的科学？自然，医学的初步研究，必须从临床的简单观察开始。其次，由于一个具有生命的机体，自身就是一组很和谐的单位，是大世界（宏观宇宙）里的一个小世界（微观宇宙），因此人们以往认为生命是不可分离的整体，人们应当只限于“观察”健康的与病理的人体向我们显示的全部现象，并且满足于对观察所得的事实加以推理。但是，如果我们承认必须受这种说法的约束，并且从原理上提出医学只是一种消极性的观察的科学，那么医生将如天文学家不能碰触行星一样不能碰触人体。从此正常解剖学或病理解剖学，应用于生理学、病理学、治疗学上的活体解剖等科学都成了徒劳无用的了。如此设想的医学势必只可希望得到某种程度的治疗与卫生的处方而已。但是，这就否定了积极性的医学，也就是说否定了真正科学的治疗学。

这里不是研究像“实验的医学”这样重要的定义的场所。我保留在其他著作里有必要全面详尽地论述这个问题的权利。这里我只发表我的扼要的意见：我认为医学必须成为一门实验和进步的科学，也正由于这一点信念，我才着笔写这一部著作，为了尽我的一份力量推动这门科学的医学或者说实验的医学的发展。

尽管我们刚才指出了所谓观察的科学与所谓实验的科学之间重要的区别，可是观察者与实验者，在他们的研究中共同的和直接的目的是：尽可能严格地确定和察看事实或现象，并且都借助最适当的手段，毫无不同之点，他们进行研究仍如进行两种普通的观察一样，事实上两者都是察看事实。惟一的区别在于：实验者所要察看的事实不是自然地在他面前显示，而是他使事实表现出来，也就是说，根据一种特殊的推理，按确定的目的促成事实。因此，我们可以说：事实上实验就是一种具有某种目的而促成的观察。就实验方法说，事实的研究即调查永远伴随着推理，

因此，通常实验者做一种实验，总是为了检验或证明某一种实验观念的价值。因此，我们又可以说：在这种情况下，实验是一种以检验为目的而促成的观察。

然而，在这里值得提起的是，为了补充说明我们下的定义，并将它用于观察科学，这就是：为了检验一种观念正确与否，倒不一定总是需要实验者亲自动手去做实验或进行观察。当人们必须促成的观察在自然界中并没全部准备就绪时，他只好求助于实验。但是，如果某一种观察业已实现，或由于自然，或出于偶然，或者借另一个研究者之手完成，那么，他就可以直接引用现成的观察，用来检验他的实验观念。简而言之，在这种情况下，实验只是一种以检验观念为目的而"引用的"观察。由此可见，要完成实验推理，大致必须先有一种观念，然后再促成或引用事实，也就是用来检验这种预见的观察。

我们以后还要研究实验要有预见的重要性，现在提出来说的是：实验所要求证明的观念，可以随研究对象的性质，以及从事实验的科学的完善状态而明确其程度。事实上，实验的指导思想必须包含有关研究对象所有已经研究明白了的一切知识，以便更可靠地指导研究工作，解决新的问题，推进本门科学的进步。如像物理学与化学这种比较成熟的科学，实验观念之兴起，恰如主导理论的一种逻辑结果之演绎，实验观念服从实验的检验意思极其明确。可是像医学这样比较幼稚的科学，存在一些复杂而晦涩、还未经人研究过的问题，从这样广泛的研究对象中永远也产生不出明确的实验观念来，那么，又该怎么办呢？是否应当调头不管，或者静待观察将比较明确的观念自己送到我们眼前来呢？这种静待往往是守株待兔式的空等，我以为总是从事实验为好。不过，在这种情况下，我们的研究只能根据某种直觉，按预见的可能性进行，如果研究的题目完全茫无头绪，从未经人探讨过，生理学家不应惧怕动手，为了试验甚至会发生一些意外，比方一句俗语，他不妨浑水摸鱼。这话也就是说，在他实验产生的生理机能扰乱中，他可以希望看见某种预料不到的现象出现，以引起新的观念指导他的研究方向。像这种探索式的实验，常见于心理学、病理学与治疗学，因为这些科学复杂和落后，所以这种试验可以称为"试试看的实验"，因为它的目的是产生某种事先意料不到的，事先没确定的初次观察，但是这种观察一旦出现，就可以启发一种实验的观念，开辟一条新的研究途径。

既然如此，在有的情况下，实验不必要有某种观念等待证明。但是，就在这种情况下，实验工作也仍然在于促成一种观察，不过它所促成的观察目的在于找到一种观念，而这种观念就向他指出以后应遵循的研究途径。这样，我们又可以说，实验是一种"以产生观念为目的而促成的观察"。

归结起来说，研究者既追求，也下结论，这就包含着观察者与实验者。他一方面追求新观念的发现，同时又追求新的事实，从中得出一种结论，或者做检验其他观念的一种特有的实验。

从一般和抽象的意义上讲，"实验者"就是在某种确定条件之下促成或引用观

察的事实以求得到他所希望的教导，即有经验的人。“观察者”，则是从观察得到事实，并采用适当方法以判断这些事实是否确定成立与确实认清的人。否则，根据这些事实而下的结论就缺乏坚实的基础。所以，实验者必须同时又是高明的观察者，就实验方法说，观察与实验永远并列前进。

作者简介略。

文献来源：贝尔纳《实验医学研究导论》，夏康农、管光东译，郭庆全校，商务印书馆 1991 年版，第一章第四、五节（第 17—23 页）。标题为编者所加。

实验和概括的作用

彭加勒

实验是真理的惟一源泉。惟有它能够告诉我们一切新东西，惟有它能够给我们确定性。这是毋庸置疑的两点。

然而，假如实验即是一切，那么给数学物理学还会留下什么位置呢？实验物理学与这样一个似乎无用的、也许甚至有些危险的助手有什么关系呢？

可是数学物理学还是存在着，它作出了无可怀疑的贡献，在这里我们有一个必须说明的事实。

要说明的是，只有观察还是不够的。我们必须利用我们的观察资料，去做我们必需概括的工作。这正是人们一向所做的事情。只是由于记着过去的错误，才使他们越来越小心谨慎，他们愈来愈多地进行观察，即愈来愈少地从事概括。

每一个时代都嘲笑在它之前的时代，指责它概括得太快了、太天真了。笛卡儿曾为爱奥尼亚人感到遗憾，但是笛卡儿本人又使我们发笑。无疑地，我们的孩子某一天将会讥笑我们。

但是，我们为什么不能直接抵达终点呢？这不是避免我们预见的嘲笑的方法吗？我们不能仅仅满足于赤裸裸的实验吗？

不，这是不可能的；这就完全误解了科学的真实本性。科学家必须按顺序配置。科学是用事实建立起来的，正如房子是用石块建筑起来的一样。但是，收集一堆事实并不是科学，正如一堆石块不是房子一样。

尤其是，科学家必须预见。卡莱尔(Carlyle)[①]在某处曾经说过与此类似的话："没有什么比事实更为重要了。让·桑·泰尔(Jean Sans Terre)曾经过这里。这里有一些值得赞美的东西。这里有一种实在，为此实在我愿献出世界上所有的理

① 托马斯·卡莱尔(Thomas carlyle，1795—1881)是苏格兰散文作家和历史学家。主要著作有《法国革命》、《论英雄、英雄崇拜和历史上的英雄事迹》等。

论。”卡莱尔是培根(Bacon)的同胞,但培根却不这样说。那是历史学家的语言。物理学家宁愿说:“让·桑·泰尔曾经过这里;这件事与我无关,因为他永远也不会再从这条道路经过。”

我们大家都知道,有好的实验,也有不好的实验。不好的实验再多也无用,尽管人们可能做了千百个实验,但是真正的大师——例如巴斯德(Pasteur)——的工作的一个片断就足以使人们忘却那些实验。培根也许完全理解这一点,正是他发明了判决实验(Experimentum crucis)这个词。但是,卡莱尔却不能理解它。事实就是事实。一个小学生读了温度计上的某一数目,他毫不在意地记下了这个数目。不要紧,他读了它,如果这只是一个可以计及的事实,那么这里就有一个和国王让·桑·泰尔旅行具有同一等级的实在。为什么这位小学生作出的这个读数的事实没有什么趣味,而熟练的物理学家作出的另一读数的事实相反地就十分重要呢?这是因为从第一个读数中我们不能推论出任何东西。那么,什么是好的实验呢?好的实验就是除了一件孤立的事实外,还能告诉我们一些东西;好的实验能使我们预见,也就是说,能使我们概括。

因为没有概括,便不可能预知。人们工作过的环境从来也不会同时统统复现。从而,观察过的行为永远不会发生。能够确认的惟一事情就是,在类似的环境下将产生类似的行为。于是,为了预见,至少必须乞求类比,这就是说,此时已经概括了。

不管人们多么胆怯,还是有必要进行内插。实验只给我们一定数目的孤立的点。我们必须用一条连续的线把这些点联结起来。这就是名副其实的概括。但是,我们还要做得更多一些。我们所画的曲线将通过所观察的点之间,并邻近这些点,它不会通过这些点本身。这样一来,人们并未仅限于概括实验,而且还要矫正它们。如果物理学家企图逃避这些矫正,而真的以赤裸裸的实验为满足,那么他便会被迫说出一些十分离奇的定律来。

因而,赤裸裸的事实对我们来说总是不够的,这就是为什么我们必须拥有有序化的科学,或者宁可说必须拥有经过组织的科学。

人们常说,必须毫无先入之见地做实验。这是不可能的。这不仅会使一切实验毫无结果,而且人们作过这种尝试,都一事无成。每一个人在他的心智中都有他自己的世界概念,他无法轻易地使自己摆脱它。例如,我们必须使用语言;我们的语言正是由先入之见构成的,而不可能是其他。不过这些只是无意识的先入之见,它们比别的先入之见还要危险一千倍。

如果我们引入了其他我们已经充分意识到的先入之见,那么我们只会更加不幸,我们可以这样说吗?我认为不能。我宁可相信它们将起到相互平衡的作用——我将要说它们是解毒剂;一般说来,它们将难以相互一致——它们将彼此冲突起来,因此我们不得不从各个方面考察事物。这足以使我们不受束缚。由于他

能够选择他的主人，他不再是奴隶了。

于是，多亏概括，每一个观察到的事实都能使我们预见大量的其他事实。不过，我们务必不要忘记，只有第一个事实是确定的，其他的仅仅是可能的。一个预见在我们看来不管建立得可能多么牢固，如果我们着手证实它，我们从来也没有绝对保证实验不会与它矛盾。可是，这种概率常常如此之大，以至于我们实际上可以满意它。与其根本不去预见，还不如作即使不确定的预见。

因此，当机会来到时，我们永远也不要不屑于去证实。但是所有的实验都是长期的、困难的。勤勉的人没有几个，而我们需要预见的事实的数目是巨大的。与这么大的数目的直接证实相比，我们能够作的直接证实永远只不过是沧海之一粟而已。

我们必须最充分地利用我们能够直接得到的这几个结果。很有必要从每一个实验中获得尽可能多的预见，而且具有程度尽可能高的概率。可以说，这个问题就是增加科学机器的收益。

让我们把科学和应该不断扩充的图书馆比较一下。图书馆员没有供他采购的充裕资金。他应当尽量不浪费资金。

正是实验物理学被委托做采购工作。而且，惟有它才能使图书馆丰富起来。

至于数学物理学，其任务将是编制节目。即使书目编得再好，图书馆也不会更为丰富，但却有助于读者使用它的丰富藏书。

而且，由于它把藏书的脱漏告诉图书馆员，因而能使他明智地使用他的资金。这是更为重要的，因为资金严重匮乏。

于是，数学物理学的作用就是如此。它必须以这样的方式直接概括，以便增加我刚才所谓的科学的收益。它用什么方法能够达到这一点，它如何能够安全地去做，这就是留给我们去研究的问题。

作者简介：昂利·彭加勒(Jules Henri Poincare，1854－1912)，法国数学家和物理学家，在数论、代数学、几何学、拓扑学等多个数学领域卓有建树，对狭义相对论的建立亦有重要贡献，被誉为"最后的数学全才"。他的四部科学哲学著作全有中译本：《最后的沉思》(商务印书馆 1995 年版)、《科学的价值》(辽宁教育出版社 2000 年版)、《科学与方法》(辽宁教育出版社 2001 年版)、《科学与假设》(辽宁教育出版社 2001 年版)。

文献来源：彭加勒《科学与假设》，李醒民译，辽宁教育出版社 2001 年版，第四编第九章(第 105－108 页)。标题为编者所加。

生物学实验

贝弗里奇

"实验有两个目的，彼此往往互不相干：观察迄今未知或未加释明的新事实；以及判断为某一理论提出的假说是否符合大量可观察到的事实。"

——雷内·杜博斯[①]

我们今天所认识的科学，可说是从文艺复兴时期实验方法的采用开始的。然而，尽管实验对于多数学科都很重要，却并非适用于一切类型的科学研究。例如，在描写生物学、观察生态学或者多种类型的医学临床研究中，都不用实验。但即使如此，后一类型的研究也利用了很多同样的原则。其主要不同点在于：假说的检验是通过从自然发生的现象中收集资料，而不是从人为地发生于实验条件下的现象中收集资料。

通常，实验在于使事件在已知条件下发生，尽量消除外界无关的影响，并能进行密切的观察，以便揭示现象之间的关系。

"对照实验"是生物学实验中最重要的概念之一。在"对照实验"中有两个或两个以上的相似组群（除了一切生物体所固有的变异性外，相似组完全相同）：一个是"对照"组，作为比较的标准；另一个是"试验"组，要通过某种实验步骤，以便人们确定它对试验组的影响。人们通常使用"随意抽取样品"的方法来编组，即用抽签或其他排除人为挑选的方法，把样品个体编入甲组或乙组。按照传统的实验方法，除要研究的那一个变数外，各组其他一切方面都应尽量相似，而且实验应该很简单。"一次变化一个因素，并把全部情况进行记录。"这一原则现仍广泛采用，特别在动物实验方面。但是，有了现代统计方法的帮助，现在已有可能设计同时试验几个变

① 杜博斯（René Jules Dubos），法国血统的美国微生物学家和病理学家。——译者注

数的实验了。

应该尽可能在研究工作的开头进行一项简单的关键性实验，以判断所考虑的主要假说是否成立。细节的计划则可稍后作出。因此，在对各部分试验之前先对整体试验，往往是明智的。例如：当你想用纯细菌培养物再次引起疾病之前，一般最好先试着用带病组织传染；在试验化学分馏物的毒性、抗原性及其他影响前，应先试验其原始提取物。这一原则貌似简单、明显，但常遭忽视，从而浪费了时间。同样这个原则还有一个应用，在初步试验某个定量因素影响时，通常最好在一开始就断定在极端条件下，例如在使用大剂量的条件下，是否会产生任何影响。

与此十分相似的另一条一般原则是逐步排除的方法。有种猜谜游戏，提出诸如"动物、植物，还是矿物"等一连串问题，就很好地说明了这种方法。用逐步缩小可能性的方法，常常比直接但是盲目的猜测能更快地找到未知数。该原则应用于称重时，先试验过重和过轻两个重量，然后使这两个极端重量逐步接近。在用化学方法寻找一种未知的物质时，这种方法特别有用，但是这种方法也同样经常应用于生物学的各个分支中。例如，在研究某种疾病的起因时，有时，我们排除各种可能的选择方案，最后只剩下一个很窄的范围，以便集中精力进行研究。

在生物学上，开始的时候进行一种小规模的初步实验往往是一种好方法。除了经济上的考虑以外，在最初阶段就进行复杂的实验，试图对所有的问题作出全面的回答，往往很难得出理想的结果。不如让研究工作分阶段逐步进行，因为后面的实验可能要根据前面实验的结果加以修订。"试点"实验是初步实验的一种，常用于以人或家畜为对象的实验中。这是一种小规模的、往往在实验室进行的实验，旨在确定是否值得进行全面的现场实验。另一种初步实验是"观测"实验，目的是对主要实验的部署进行指导。让我们以传染因子或毒性因子的活体滴定分析为例。在"观测"实验中，稀释度间隔很大（如一百倍），用于每一种稀释度的动物很少（如两头）。取得结果以后，在可能的滴定终点两侧再选择间隔小（如五倍）的稀释度，同时使用较大的动物群（如五头）。通过这种方法，我们便可用最少量的动物而获得准确的结果。

所谓的"筛选"试验也是一种初步实验。这是用大量物质进行的一种简单的试验，目的在于找出其中哪一种值得进行进一步试验，以便用作譬如药物之类的东西。

偶尔，可以安排一种小型实验或者试验，以便短时间内指出某一设想中有没有什么东西本身佐证不够，不值得进行大型的实验。这类性质的简略实验有时可以如此安排：若是这样的结果就有价值；若是那样的结果就没有价值。然而，这里有一个最低的限度，即使是初步实验，把"规模"降低到这个限度之下也就没有用了。假如实验确实有进行的价值，则应将其安排得至少很有可能取得有用的结果。由于急躁或是缺乏资金，年轻科学家往往鲁莽从事，进行计划不周的实验，而这种实

验几乎没有可能取得有意义的成果。只有当简略实验作为某项预计会得出可靠结果的复杂实验的初步实验时，才有理由进行这种简略实验。研究工作要在每一步确定无疑以后才能进展到下一步，否则全部工作可以被称为“草率马虎”。这样说是很恰如其分的。

作为一次成功的实验，其最基本条件是要能再现。在生物学实验上，这一条件常常很难满足。在已知因素未变的情况下，如果实验的结果不同，往往说明是由于某个或某些未被认识的因素影响着实验的结果。我们应该欢迎这种情况，因为寻找未知的因素可能导致有趣的发现。正像我的一位同事最近对我所说：“正是实验出毛病的时候我们得出了成果。”然而，我们首先应该知道是不是出了错误，因为最常犯的是技术上的错误。

做实验的时候，在技术要点上采取极其审慎的态度是非常值得的。一种新技术方法的发明人，由于勤勉刻苦，对重要的细节小心重视，有时能够获得一些结果；这是其他对该课题不够熟悉、不够刻苦用心的研究人员难以重现的。就这一点而言，卡莱尔所说“天才就是无止境刻苦勤奋的能力”一语千真万确。赖特（Almroth Wright）爵士选用罗林斯（Rawlings）伤寒杆菌菌株作为预防伤寒的接种疫苗，就是一个很好的例证。直到最近，由于利用了某些新技术，人们才发现罗林斯菌株是一种极好的制作疫苗用的菌株。赖特当初慎重地选择了这种菌株，其理由在大多数人看来都是微不足道的。西奥博尔德·史密斯是一位难能可贵的大细菌学家，他在谈到研究工作时说：

“决定结果的正是我们在处理表面上微不足道、枯燥乏味、而且不胜麻烦的细枝末节时所采取的谨慎小心的态度。”然而，应该有辨别能力，因为可能在次要工作的无用细节上大做文章，以致浪费了时间。

对实验工作的全部细节作详尽的记录是一条基本而重要的规则。人们经常需要回过头来参看以前的某个实验细节，而该细节所具有的意义在进行实验的时候还意识不到。这种情况发生之频繁是令人惊讶的。巴斯德保存的笔记就是这种精心记录全部细节的出色例证。除了为所做的工作和所观察到的现象提供可贵的记录外，做笔记也是促使自己进行细致观察的一种有用方法。

实验人员必须正确认识自己使用的技术方法，认识这些方法的局限性和各种方法所能达到的精确程度。他们必须非常熟悉实验用的方法，才能把它用于研究工作，并且必须能够取得稳定可靠的结果。任何方法都难免要出差错，难免会得出使人误解的结果，实验人员应能迅速发觉这类问题。如果可能，关系重大的估定和滴定分析都要用另一方法加以核对。科学家对于自己的仪器也必须有所了解。现代的复杂仪器常常很便利，但也并不都是稳妥可靠的。所以有经验的科学家常常避免使用这种仪器，以防产生给人错误印象的结果。

在安排对象是人或珍贵家畜这种只能对之进行有限的对照实验时，常常出现

一些困难。如不能满足对照实验的基本要求，则最好放弃这种尝试。这种说法看起来可能是不言而喻的，但是，研究人员常常觉得困难太大，而采取妥协办法作了一些无用的安排。具备一个令人满意的对照组是必要的，而这种必要性绝不是用大的数量能代替的。儿童接种卡介苗的经过就是一个极好的例子。卡介苗的接种是25年前采用的，当时认为它能使人们免于感染结核病。尽管25年来作了大量的实验，但是直到今天，卡介苗在欧洲人种免疫问题上是否有价值仍有争论。由于对照者都经不起严格的比较，大多数的实验说明不了问题。威尔逊(Graham Selby Wilson)[①]教授有关卡介苗接种的评论很好地说明了实验工作的困难和可能的危险。他的结论是：

这些结果表明，在从事以人为对象的对照实验时，非常重要的一点是保证受接种的儿童和作为对照的儿童在包括下列各种因素在内的各个方面都十分相像：年龄，种族，性别，社会、经济以及居住条件，智力水平，父母合作程度，感染疾病的可能性，享受幼儿保健等机构的福利，以及病时得到的治疗。

威尔逊教授在谈话中向我指出：一种据称是对人类有效的药物，如果不在实际使用之前做过有决定意义的实验，那么想在其后用未经治疗的对照者进行实验，简直是不可能的。于是，这种据称是有效的药物就被普遍采用，至于它是否真正有效，则无从得知。例如，巴斯德的狂犬病治疗法从未经过充分的实验，以证明这种治疗法对于被狂犬咬过的人们有防止狂犬症的效能。因而，一些权威人士怀疑该疗法是否真有价值。但是，现在已经不可能再去进行一种试验：不给受狂犬咬过的对照组的人进行治疗。

使各组处于不同环境之中，有时是现场实验中不可缺少的组成部分。在这种实验中，人们难以确定观察到的差异究竟是由观察的特定因素造成，还是由与不同环境相关的其他变量造成。有时，我们用这样的方法克服这个困难：照样再编成试验组和对照组，从而，暴露甚至消除环境造成的任何影响。如果不能排除那些观察到、但认为是外来的变量，那么，也许有必要使用一系列的对照组，或进行一系列的实验，以便把被比较的两个群体中每一已知的差异从实验上分离出来。

如有可能，应该用某种客观的尺度来评定实验结果。然而，这一点有时做不到，比如，当实验结果是关系到临床症状的严重性或是对有机体组织结构变化进行比较时，对实验结果的评定可能会受到主观因素的影响。这时，应该保证对结果进行判断的人肯定不知道每一个个体属于哪一组，以求得到其判断的客观性，这一点是重要的。不论科学家确信他自己是如何的客观，如果在进行判断时他知道哪些

① 威尔逊，英国细菌学家。——译者注

病例属于哪一组的话，就很难保证他的判断没有下意识地受到偏见的影响。一个责任心强的实验人员，由于意识到这种危险，甚至也有可能犯那种使他的判断偏向到与预期结果相反方向上的错误。当然，智力活动上完完全全的老实态度是实验工作的首要条件。

在完成了实验，并且必要时借助生物统计学评定了实验结果以后，应将实验结果与已知有关该课题的一切加以联系，作出解释。

作者简介：威廉·伊恩·比德莫尔·贝弗里奇（William Ian Beardmore Beveridge），英国动物病理学家，1947 年出任剑桥大学动物病理学教授，1975 年退休。著作的中译本有《科学研究的艺术》（科学出版社 1979 年版）、《发现的种子》（科学出版社 1987 年版），这两部谈科学发现的通俗著作，深入浅出，例证充分，深受读者的喜爱。

文献来源：贝弗里奇《科学研究的艺术》，陈捷译，科学出版社 1979 年版，第二章第一节（第 14—20 页）。沿袭原有小节标题。

观　察

贝弗里奇

“知识来源于对周围事件中相似处和重视情况的注意。”

——威尔弗雷德·特罗特

实例

巴斯德很想知道有的地方为什么不断发生炭疽病，而且总是发生在同样的田野里，有时相隔数年之久。巴斯德从埋了十二年之久、死于炭疽病的羊尸体周围土壤中，分离出这种病菌。他奇怪这种有机体为什么能这样长时间地抗拒日照以及其他不利因素。一天巴斯德在地里散步时，发现有一块土壤与周围颜色不同，遂请教农民。农民告诉他，前一年这里埋了几只死于炭疽病的羊。

一向细心观察事物的巴斯德注意到土壤表层有大量蚯蚓带出的土粒。于是他想到蚯蚓来回不断从土壤深处爬到表层，就把羊尸体周围富有腐殖质的泥土以及泥土中含有的炭疽病芽胞带到表层。巴斯德从不止步于设想，他立刻进行了实验。实验结果证实了他的预见。接种了蚯蚓所带泥土的豚鼠得了炭疽病。

这个例子很好地说明了直接亲身观察的价值。如果巴斯德坐在安乐椅中思索，那就不可能弄清流行病学中这个有趣的问题。

一天，有人给贝尔纳的实验室送来了几只从市场上买来的兔子。贝尔纳注意到实验桌上兔子排的尿清亮而带酸性，不像寻常食草动物那样混浊而带碱性。他推断，多半由于没有喂食，兔子从自己身体的组织中吸取养分，因而处于食肉动物的营养状况。他用喂食和禁食互相交替的方法证实了这个观点，这种作用过程果

然使兔尿反应发生了预期的变化。这是一次精彩的观察，多数研究人员也就心满意足了，但贝尔纳却不然。他要求“反证”，于是用肉喂食兔子。果然不出所料，兔尿呈酸性，贝尔纳为了完成这项实验最后对兔子作了解剖。用他自己的话说：

我偶然注意到白色乳状的淋巴液初见于离幽门约三十厘米处十二指肠下部的小肠中。这引起了我的注意，因为在狗的身上淋巴液初见于十二指肠的上部紧靠近幽门的地方。

再仔细观察，他看到胰导管的开口是与淋巴液开始含有白色乳糜的位置是一致的，脂肪质的乳状液使这种乳糜成为白色。这样就发现了胰液在脂肪消化中的作用。

达尔文说过一件事，叙述他和一个同事在探测一个山谷时，如何对某些意料之外的现象视而不见：

我们俩谁也没有看见我们周围奇妙的冰河现象的痕迹；我们没有注意到有明显痕迹的岩石、耸峙的巨砾、侧碛和终碛。

这些现象并没有被人注意到，因为这些既不是意料之中的，又不是特地寻找的现象。

巴斯德在观察引起酪酸发酵的细菌运动时，注意到当接近滴液边缘时有机体停止了运动。他猜测，这是由于接近空气处的液体里有氧气存在。从这一点出发，他作出了具有深远意义的推断：没有氧气生命也能生存。这一点在当时被认为是不可能的。进而，他阐明了发酵是一种代谢过程，通过这一代谢过程，微生物从有机物质中得到氧气。这些日后为巴斯德所证实的重要设想起源于对细节的观察，而很多人对这种细枝末节是会忽视的。

观察中的某些一般原则

乔治在谈到目击者观察日常生活现象之全然不可靠性时说：

观察到什么现象取决于观察者是什么人。要使观察者之间意见一致，必须保证：他们注意力十分集中，他们不应觉得自己的生命受到威胁，他们主要的生活必需品得到满足，并且不能出其不意使他们惊慌失措。如果他们观察的是短暂的现象，必须使其重复多次，观察者最好不仅注视而且必须搜寻每一个细节。

为了说明很难作出细致的观察，乔治讲了下面的故事：

在戈廷根(GÖttingen)一次心理学会议上,突然从门外冲进一人,后面追着一个手里拿着手枪的人。两人正在屋子中央混战时突然响了一枪,两人又一起冲了出去。从进来到出去总共二十秒钟。主席立即请所有的与会者写下他们目击的经过。这件事是事先安排,经过排演并全部照下相来的,尽管这种情况与会者当时并不知道。在交上的四十篇报告中,只有一篇在主要事实上错误少于百分之二十,有十四篇有百分之二十到四十的错,有二十五篇有百分之四十以上的错误。特别值得一提的是:在半数以上的报告中百分之十或更多的细节纯属臆造。这次观察尽管效果很差,但条件是有利的,因为整个经过十分短暂,并非常惊人足以引起人们注意,细节又是事后立刻记下,记录者都惯于作科学观察,并且与事件都无个人牵连。心理学家常作这类实验,其结果大体雷同。

要懂得观察,也许首先必须知道:观察者不仅经常错过似乎显而易见的事物,而且更为严重的是,他们常常臆造出虚假的现象。虚假的观察可能由错觉造成,出现错觉时感觉使头脑得出错误的印象,或是头脑本身滋生了谬误。

各种几何图形能造成视觉上的错觉,光在水、玻璃及热空气中折射造成的畸变也使人产生视觉上的错觉。视觉观察不可靠之最突出的例子就是魔术师的戏法。还有,将一手浸入热水,一手浸入冷水,几分钟后把两手都浸入温水之中,也说明感觉器官能提供假象。古代希腊历史学家希罗多德(Herodotus)曾记载过一个这类性质的荒谬现象:

> 这条溪水清晨是温和的,当市场热闹起来时凉了许多,到中午已经很冷了。因此人们此时浇花灌水。下午日头向西,溪水的温度又有回升,到太阳落山时,溪水又变得温和起来。

实际上水温保持不变,变化的是随着气温而变的水与空气的温差。声音上的错觉也会造成类似错误的观察。

在记载和报告观察到的现象时,产生的第二种谬误是头脑本身滋生的。许多这类错误之所以出现,是由于头脑容易无意识地根据过去的经历、知识和自觉的意愿去填补空白。歌德曾说:

> 我们见到的只是我们知道的。

俗话说:"我们容易看到眼睛后面而不是眼睛前面的东西。"描写狮子追逐黑人的电影就是一例。镜头上时而出现狮子追逐,时而出现黑人逃跑,几次重复以后,最后我们看到狮子往深草中的一个东西跃去。虽然银幕上并未同时出现狮子和人的形象,但是大部分观众相信自己确实看见了狮子向人扑去,甚至有人严肃地抗议

不该牺牲土著拍摄这样的电影。下面的故事也同样说明了主观上的谬误。曼彻斯特市有个医生，在教学生的时候，用手指蘸糖尿病人尿的样品来尝味。然后，他要求全体学生重复这个动作。学生们勉勉强强愁眉苦脸地照着做了，而一致同意尿是甜的。这时医生笑着说："我这样做是为了教育你们观察细节的重要性。如果你们看得仔细，就会注意到我伸进尿里的是拇指，舔的却是食指。"

众所周知，不同的人在观察同一现象时，各人会根据自己的兴趣所在而注意到不同的事物。在乡间，植物学家会注意到不同的植物，动物学家注意动物，地质学家注意到不同的地质结构，农夫注意庄稼、牲畜，等等。一个没有这些爱好的城市居民，见到的则可能只是悦目的风景。许多男人同一个女人呆上一天，过后对她的穿戴只有极模糊的概念，但是大多数的女人在见到另一个女人以后几分钟就能详细描述那个女人的服饰。

反复看见某一事物而未加记忆是完全可能的。举例说，初到伦敦的人会对伦敦居民说起许多公共汽车前面油漆的那些眼睛。伦敦人很吃惊，因为他从来没有注意过。但是，一旦被提醒了，在以后的几个星期中他每看到一辆汽车几乎总是意识到那些眼睛的存在。

人们往往会注意到一个熟悉的场景上出现的各种变化，尽管原来也许并未有意识地注意这个场景的细节。确实，有时人们可能注意到了一个熟悉的场景有所变化，但却说不出是什么变化。乔治说：

记忆似乎就像照片底版那样保存了一个熟悉的场景。第二次检查时，人们无意识地将记忆的形象置于眼前出现的视觉形象之上。就像重叠两张相似的照相底片时，人们立刻注意到那些不完全一致的地方，即一张上有所变化的地方。值得注意的是：有时不能忆起记忆中的整体，因此无法对细节加以描述。

这一比喻也许不够贴切，因为在故事或音乐等其他事物的记忆上也同样发生这一现象。在给孩子讲一个他所熟悉的故事时，任何细小的更动都会引起孩子的注意，尽管孩子并不会背诵这个故事。乔治继续说：

对变化的敏感似乎是一切感官的特性，因为声音、味觉、嗅觉和温度上的变化都能被立刻觉察……甚至可以说：一个连续不断的声音只有在停止或变化的时候才能被听见。

如果我们认为新旧影像的对比是在头脑的下意识部分进行的，那么，有关直觉如何进入自觉思维的假说与之亦有相似之处。我们希望人们即使意识不到全部细节，也要觉察出那些值得注意的事实，即变化。

必须懂得所谓观察不仅止于看见事物，还包括思维过程在内。一切观察都含有两个因素：(1)感官知觉因素(通常是视觉)；(2)思维因素，这一因素如上所述，可能是半自觉半不自觉的。当知觉因素处于比较次要地位时，往往很难区分观察到的现象和普通的直觉。例如，有时把“我注意到当我走近马匹时我就患枯草热”这类的话当成观察到的现象。枯草热和马匹都是显而易见的，而二者之间的关系，在起初如无一定的机敏则不可能注意到，这就是一种不易与直觉区别的思维过程。有时，注意与直觉之间可能是泾渭分明的。例如，亚里士多德说：观察到月亮的光亮面总是朝着太阳，观察者就可能突然想到这是由于月亮借太阳的光发亮。在本章开始所引的三个小故事中，观察也都发生在直觉之前。

科学的观察

由上所述，可以看到观察者对复杂情况所做的报告是如何不可靠。确实，即使对简单的现象进行观察和作准确的描述也是十分困难的。科学实验在于挑选出某些事物，借助适当的方法和工具进行观察。这些方法和工具一般误差极小，作出的结果能够再现，且能符合科学知识的普遍观念。贝尔纳将观察分为两种类型：(1)自发观察或被动观察，即意想不到的观察；(2)诱发观察或主动观察，即有意识地安排的，通常是根据假说安排的观察。此处我们所关心的主要是前一种类型。

进行有效的自发观察，首先必须注意到某个事物或现象。观察者自觉或不自觉地将观察到的事物与过去经验中有关知识联系起来；或在思考这一事物的过程中提出了某种假说，这时，观察到的事物才有意义。上一节中我们谈到思维对于变化或差异具有特殊的敏感性。这一点对于科学的观察十分有用，但是更重要而且更困难的是，观察(此处主要是思维过程)事物之间表面上貌似无关的相似点或者相互关系。本章开始引用的特罗特的话就是指这个而言。只有富兰克林(Benjamin Franklin)[①]超群出众的才能，才看到了摩擦生电和闪电之间的关系。最近，兽医发现一种狗的疾病，症状为脑炎和爪垫硬化。过去或许也见过多起这类病例，但没有人注意到脑炎和爪垫硬化间的奇怪联系。

人们不可能对所有的事物都作密切的观察，因而，必须加以区别，选其要者。在从事某一学科方面的工作时，“有训练的”观察者总是有意识地搜寻根据自己所受教育认为有价值的具体事物，但是，在进行科学研究时，他常常只能仰仗自己的辨别能力，只能靠自己的一般科学知识、判断，以及有时靠自己设想的假说来指导。正如洛克菲勒基金会医学科学会主任格雷格所说：

---

① 富兰克林(1706—1790)，美国政治家和科学发明家。——译者注

研究人员必须运用其绝大部分的知识和相当部分的才华，方能正确选出值得观察的对象。这是一个举足轻重的选择，往往决定几个月工作的成败，并往往能把一个卓绝的发明家同……一个只是老实肯干的人区别开来。

据说法拉第被邀请观察实验时，总是问要看的是什么东西。但同时，他自己也还注意观察其他现象。他遵循上一节中乔治所列举的原则，即应该搜寻每一个细节的原则。然而，在做创造性的观察时，这一原则是帮助不大的。贝尔纳认为，人们在观察实验时思想应该不受约束，以免在出于先入之见只是搜寻预期的特征时，忽视了其他的情况。他说，这是实验方法的一个最大障碍，因为看不到意料之外的东西就可能导致给人错误印象的观察。他说："走进实验室时，摆脱掉你的想像力，就像脱掉你的大衣一样。"达尔文的儿子这样写到达尔文：

他渴望从实验中得到尽量多的知识，所以不让自己的观察局限于实验所针对的那一点，而且他观察到大量事物的能力是惊人的……他的头脑具有一种技能，对他作出新发现似乎是特殊可贵的有利条件。这就是从不放过例外情况的能力。

做实验的时候，我们如果仅仅注意那些预期的事物，就很可能错过预料之外的现象。而这些现象，尽管开始时可能令人不解，却最可能导致意想不到的重要事实的发现。有人说，正是例外的现象可能用来解释常见的现象。每当发现不正常的现象时，就应搜寻与之可能有联系的情况。要作出创造性的观察，最好的态度不是仅只注意主要之点而排除其他，而是留神意外的现象，须知所谓"观察"不是消极地注视，而是一种积极的思维过程。

对事物进行科学的观察，就是要进行最专注的详审细察，必要时要借助摄影。做详尽的笔记和绘图都是促进准确观察的宝贵方法。这就是要求学生在实习课中画图的主要原因。伯内特爵士在研究流感的过程中解剖了数以万计的老鼠，对每一只老鼠的肺部他都用透镜进行了检查并精心绘制了损害情况。在记录科学的观察时，我们永远应该精益求精。

培养那种以积极探究的态度注视事物的习惯，有助于观察力的发展。在研究工作中养成良好的观察习惯比拥有大量学术知识更为重要，这种说法并不过分。在现代文明中，我们的观察器官迅速退化，而原始时代的狩猎者却非常发达。科学家需要有意识地发展这种能力，而实验室和临床的实际工作应在这方面起有益的作用。举例说，观察动物时，应该有计划、有步骤地进行观察，并有意识地记录下诸如品种、年龄、性别、颜色斑纹、形态特征、眼睛、天然孔口、饱腹或空腹、乳腺、皮毛状态、举止行为等特点，并记录其周围环境，包括其粪便排泄物或食物渣滓。当然，除此以外，对有病的动物还要进行临床检查。

进行任何形式的观察都要有意识地寻找可能存在的每个特点，寻找各种异乎寻常的特征，特别是寻找见到的各事物之间，或是事物与已有知识之间任何具有启发性的联系或关系。这最后一点我指的是在观察平皿培养时注意细菌菌落是抑制还是助长其附近的菌落；在实地考察时，要注意疾病与牧场类型、气候或管理制度之间的联系。我们观察到的大部分关系都是出于机遇，并不具有重要意义，但偶尔也有一两点导致富有成效的设想。观察时最好将统计学置之脑后，并对观察到的资料中那些最微小的联系所可能具有的意义加以考虑，尽管从数学角度乍一看去可能是不屑一顾的。对十分有限的素材进行认真观察得到的发现，要超过将统计学应用于大量素材而得到的发现。后者的价值主要在于检验由前者产生的假说。在观察时，人们应该培养善疑多思的思想方法，注意搜寻值得追踪的线索。

观察训练遵循着与其他任何方面的训练相同的原则。首先必须刻苦勤奋，随着实践的增多，行动逐渐变得不知不觉或无意识，遂养成习惯。进行有效的科学观察还必须有良好的基础，因为只有熟悉正常情况，才能注意到不寻常或未加释明的现象。

提要

要对复杂情况作出精确的观察是极端困难的，观察者往往不自觉地产生谬误。有效的观察意指注意到某个事物，并通过将它和某个注意到的或已知的事物联系起来，赋予其意义。因此，观察既包含知觉因素又包含思维因素在内。

观察到一切是不可能的，因此观察者必须把大部分注意力集中在选定的范围内，但应同时留意其他现象，尤其是特殊的现象。

作者简介：威廉·伊恩·比德莫尔·贝弗里奇(William Ian Beardmore Beveridge)，英国动物病理学家，1947 年出任剑桥大学动物病理学教授，1975 年退休。著作的中译本有《科学研究的艺术》(科学出版社 1979 年版)、《发现的种子》(科学出版社 1987 年版)，这两部谈科学发现的通俗著作，深入浅出，例证充分，深受读者的喜爱。

文献来源：贝弗里奇《科学研究的艺术》，陈捷译，科学出版社 1979 年版，第八章(第 100—109 页)。沿袭原有章节标题。

7 博物 ≫

博物学家的实验

威尔逊

岛屿——大自然的实验室

当我步出维提拉武岛的机场大门并环顾四周之际，我知道，一个真正的生物地理学岛屿，会是一个将岛上大部分生物紧密地安置在境内的世界。它是一个研究进化的理想单位。必须要有足够多的外来客，不管是用飞的、用游的或用漂流的方式登上岛屿，并落脚繁衍，然而，在每个世代里头，却没有太多外来客能令族群扩大。如果这座岛屿够大、够老、够遥远的话，外来客的子孙将会针对新家的环境，进化出独特的新品种。如果时间够长，这些新品种将和它们在邻近大陆及邻近岛屿上，属于同物种但不同品种的姊妹族群，分歧发展得愈来愈远，最后终于达到分类学上另起新物种的标准。

我们把这类区域性的生物品种及物种称作“特有种”(endemic)，它们是原产在这个岛屿上的，而且不存在世上其他地方。夏威夷鹰(Hawaiian hawk)就是特有种的绝佳例证，另外还有牙买加巨型燕尾蝶(Jamaican giant swallowtail)以及诺福克岛屿松(Norfolk Island pine)等。生物学家可以根据岛屿的年龄以及外来者移入的时间，分析重建当地动植物的进化过程，这要比分析大陆动植物进化的过程容易得多。正因为具备这种“单纯性”，使得岛屿成为天然实验室中的佼佼者。

这儿的实验进行方式和一般实验室刚好相反，是在追溯过去已经发生了的事件，而非预测未知的结果。大多数生物学家是在人为控制的情况下改变几个因子，然后再观察各项因子改变后所造成的影响。但是，进化生物学家却是先观察已经由博物学研究得来的结果，然后再推论进化过程中的变因。于是，实验生物学家预测实验结果，但进化生物学家则反推大自然已经做完的实验过程，也就是说，是反

过来用历史考证科学。又因为在整个进化以及新种生成的过程中，曾经有过这么多的导引因子，因此，反推方法只有在较小、较单纯的生态系中，才能得到最理想的结果。岛屿正是这样的生态系。

敞开心胸进入田野

和实验生物学家不同，进化生物学家对于博物学十分精通，那里有丰富的答案等着人们来挑拣。对进化生物学家来说，最重要的是提出适当的问题；最重要的进化生物学家是那些能发掘出最重要问题的人。他们汲汲寻找大自然所要告诉我们最精彩的故事，因为他们是负责说故事的人。如果他们同时也是博物学家（一流的进化生物学家绝大部分也是博物学家），他们会张大眼睛，敞开心扉，进到田野中，朝各个方向观察，寻找重大问题，寻找主要的机会，他们是全然的机会主义者。

要进展到这样的程度，博物学家必须精通一到两种动物或植物，熟练到有办法分辨标本属名或种名的程度，而这些被挑中的生物就是他想像中戏院里的演员。否则，缺乏这类知识的博物学家，到野外后将会发现自己迷失在一片绿雾之中，不知所从，既分辨不出其间的生物，也无法区分出什么是新现象，什么是早已为人熟知的老现象。然而，要是他有备而来的话，他可以一边飞快地搜集资料信息，一边不停地思考：这份资料会形成什么样的模式？这模式代表什么意义？它们解答了什么样的问题？我能根据这些说出什么样的故事？我就是带着这样的策略去拜访太平洋岛屿上的蚂蚁。我打算搜集每一种找到的蚂蚁，观察它们的生态及行为，完整地记录下来。同时，一边留心观察地理趋势的形成模式以及物种适应环境的模式。对于自己所钻研的学科里的现存理论和一般知识，我都非常清楚，但是我仍然会敞开心胸，随时准备迎接美妙的新现象。

作者简介略。

文献来源：威尔逊《大自然的猎人——生物学家威尔逊自传》，杨玉龄译，上海科学技术出版社 2000 年版，第二部第十章（第 172—174 页）。标题为编者所加。

遗传学家与博物学家联手

迈　尔

科学中的进步很少是稳步和规则的，很难按照库恩(T. Kuhm)的观点，将科学的进步描述为由稳定发展的常态科学间隔的一系列的革命。相反，当我们研究特定的科学学科时，就会发现极大的不规则性：有些理论受人欢迎，有些则遭到冷落；在有些领域中，主要的研究者们对于某些观念达成了共识，而在另一些领域中，则分成了相互仇视的不同阵营。1859 年至 1940 年的进化生物学领域的情况就属于后者。

在《物种起源》发表后的 80 年间，对自然选择的反对意见从未休止过。除了极少数博物学家外，没有哪个生物学家，尤其是没有哪个实验生物学家，认为自然选择是导致适应产生的惟一原因。人们可能会希望 1900 年孟德尔法则的重新发现会立刻改变人们对于自然选择的态度，但是情况并不是这样。当时遗传学的发现使人们清楚地认识到遗传物质是颗粒状的(因此遗传不可能是融合的)，而且遗传是“硬的”(即不可能存在获得性遗传)。然而著名的孟德尔主义者，诸如贝特森、德弗里斯和约翰森，并不接受自然选择。他们反而认为进化是由于突变压力导致的。

到了 20 世纪 20 年代，多数研究进化的人属于三个生物学领域中的一个：遗传学、系统分类学或者古生物学。他们不仅兴趣不一样，而且知识的类型也有所不同。博物学家(包括系统分类学家和古生物学家)并不是十分熟悉 1910 年以后遗传学的进展，因此他们一直反对孟德尔主义者错误的进化概念，并将这些概念视为仍旧是遗传学的观点。而遗传学家仍然忽视有关地理变异和成种事件的丰富文献，其结果是摩尔根、H. J. 穆勒(H. J. Muller)、费舍尔(R. A. Fisher)或者霍尔丹的进化著作中都没有解释物种的增殖、更高分类阶元的起源或进化新奇生物的起源。而且这两个阵营关注的是不同层次的问题：遗传学家关注的是基因层次的群体内变异，而博物学家关注的则是群体和物种内的地理变异。如果当时的遗传学家和古生物学家或者遗传学家和分类学家参加同一个会议时，他们相互之间的

背景差异太大，以至于彼此之间都无法交流。

在20世纪20年代，已经为日后的共识奠定了基础。在这一时期遗传学家不仅令人信服地否定了软遗传，而且明确地确定了自发突变的发生，这些都是在19世纪持决定论的物理主义者无法接受的。而且摩尔根及其学派以及依斯特(E. East)和鲍尔(E. Baur)发现多数突变对表现型的影响很小，与早期的孟德尔主义者所面对的大型突变的效应完全不一样。在这一时期，搞清楚了基因型与表现型之间的差别，理解了选择作用的是整个基因型，而不是单个的基因。这样人们就将遗传重组、而不是突变看作供选择作用的遗传变异的根源。随着人们理解的深入，对于选择在群体中的作用方式也有了更好的理解。

想不到的是，经过了几年的时间，就在遗传学家、系统分类学家和古生物学家之间达成了广泛的共识。“进化论的综合”这个词是J. 赫胥黎引入的(Huxley, 1942)，用来指以前相互仇视的进化论者的阵营接受了一种统一的进化理论。为什么这么快就达成了出人预料的共识？1974年，召开了两次专题研讨会来探讨这一问题(Mayr and Provine, 1980)。很显然，当一些分类学家——切特维里科夫(S. Chetverikov)、杜布然斯基、福特(E. B. Ford)、伦施(B. Rensch)以及我本人熟知了后孟德尔时期的遗传学(即群体遗传学)并发展出将遗传学和系统分类学中最好的成分结合起来当作最新的达尔文主义时，就实现了相反意见的综合。此外，辛普森为这次综合增添了古生物学和宏进化的内容。他表明，古生物学家所研究的现象，即宏进化现象，或者种以上水平的进化，在任何方面都符合现代遗传学的发现和达尔文主义的基本概念。德国的伦施和美国的植物学家斯特宾斯(G. L. Stebbins)也独自得出了同样的结论。

杜布然斯基的《遗传学与物种起源》(1937)预示并推动了这次新的共识的达成，接着就是J. 赫胥黎的《进化：现代的综合》(1942)、迈尔的《系统分类学与物种起源》(1942)、辛普森的《进化的节奏与模式》(1944)、伦施的《进化论中的新问题》(1947)和斯特宾斯的《植物的变异与进化》(1950)。人们常把这些学者称作综合进化论的缔造者。这样说多少有些武断，在综合进化论的缔造者中还应加上1937年以前发表过有关文章的人，比如切特维里科夫、萨姆纳、斯特雷斯曼、费舍尔、霍尔丹和赖特。

进化论综合的性质

从1936年到1950年间发生的进化论的综合并不是一场科学革命，而是使原先分割的领域统一起来。进化论的综合之所以重要是因为我们从中知道如何可以达成一种统一的认识，并不是通过引入一种新的革命概念，就像将房间打扫干净一样，而是通过最终否定了导致以前异议的一些错误理论和信念。在这次综合中，相

关的领域找到了一些共同的语言，对于进化及其基本概念的诸多方面进行了澄清。

进化论的综合时期并不是有重大创新的时期，而是双方互相得到教育的时期。那些从前对于遗传学并不了解的博物学家从遗传学家那里学到了遗传总是硬的，而不是软的。环境不能影响生物的遗传，后天获得的形状无法遗传下去。魏斯曼的理论在提出以后的五十多年，终于被人们普遍接受。遗传学的另一项发现，即颗粒遗传，也为人们广泛接受。在此之前，许多博物学家将性状分成孟德尔式（颗粒）性状（他们认识到这种性状在进化中并不重要）和逐渐或融合的性状，并且像达尔文一样，认为逐渐或融合的性状是真正的进化物质。

接受了这两项遗传学的发现有助于抛弃自《物种起源》发表以来与自然选择对立的三种主要的进化理论（Bowler，1983）。我们已经知道这些理论是：（1）新拉马克主义（获得性遗传）和其他形式的软遗传理论；（2）基于相信生物体内存在趋向进化进步力量的自动发生理论（直生论、芒状进化论、从优发生理论、欧米加原理）；（3）跳跃进化论，这个理论认为会突然产生出全新的生命形态（德弗里斯的突变论）。对于否定这三种理论贡献最大的大概就数辛普森了，他的《进化的节奏和模式》（1944）和《进化的意义》（1949）中有大量否定这些理论的证据。

但是进化论的综合也不仅仅指博物学家普遍接受理论群体遗传学的一些原理。为了理解综合进化论的成就，就必须认识到最初的孟德尔主义者们的进化观点中有很多类型学和跳跃论的成分（Provine，1971）。将孟德尔主义等同遗传学是一种错误的辉格主义史观。孟德尔主义和遗传学确实也都反对软遗传和融合遗传。但是另一方面，在进化论的综合期间，贝特森、德弗里斯和约翰森的进化观则遭到了抛弃（Mayr and Provine，1980）。实际上，新拉马克主义在解释进化时似乎比孟德尔主义的跳跃理论做得更好一些。

综合进化论的一个主要成就是发展了一种关于遗传变化性质的统一理论。达尔文由于受到当时人们普遍接受的观点影响，曾经认为存在着两种变异：一种是剧烈的变异，通常也叫做芽变；另一种是比较缓慢的变异，即逐渐或数量变异。在达尔文看来，对于进化来说重要的是逐渐变异。相反，孟德尔主义者则坚持认为新物种的产生是通过剧烈的突变。20 世纪头 30 年尼尔森—埃勒（Nilsson－Ehle）、依斯特、卡斯特尔（Castle）和摩尔根的遗传学研究清楚地证明，剧烈变异和差别细微的变异都是连续变化中的极端情况，他们还证明，突变的遗传机制与所有其他程度的差异都具有相同的机制。

这一发现产生出大量的重要结果。这样就可以将孟德尔主义者和研究数量遗传的人的意见协调起来。而且还可以在宏进化与微进化之间铺设一座桥梁。最重要的是，这一发现否定了本质论的信条。一致的物种本质上并不存在，存在的只是每一种个体所具有的异质性很高的基因型（不同个体的基因型不一样）。在 20 世纪 30 年代的时候，仍然有很多人相信存在着两种变异，但是在进化论的综合期间，

新的整合遗传变异的方法完全取得了胜利(Sapp，1987)。

认识到可以从孟德尔遗传(颗粒遗传)的角度来解释逐渐变异还导致任何融合遗传信念的终结。尼尔森—埃特、依斯特等人所作出的对基因型和表现型的清晰划分对这件事起了推动的作用，尽管内在的遗传因子具有颗粒性，但是表现型的性状也完全可以"融合"。

博物学家的贡献

由于遗传学的这些进展，所以有时有人提出进化论的综合只不过是将孟德尔遗传学应用到进化生物学中。这种提法忽视了两个重要的因素。一是遗传学家，尤其是实验遗传学家和数学遗传学家，从博物学家那里获得的东西并不少于博物学家从遗传学家那里获得的东西。第二，进化生物学的概念框架的丰富主要得益于博物学的概念和事实，这些概念和事实在遗传学家的著作当中显然很缺乏。

例如，按照遗传学家的定义，进化是"群体中基因频率的变化"，这就等于将进化实质上视为一种严格的暂时性的现象。H. J. 穆勒的论述中反映出了这一点，他说："成种事件并不是进化的必要阶段，不过成种事件是逐渐实现的，在逐渐形成过程中族与成种事件之前和之后的族差异小得难以察觉。"从遗传学的文章看，他们差不多只关心进化中的暂时性问题。古生物学家由于必然要从化石的垂直序列角度考虑问题，在他们的思想与博物学家的历史传统结合之前，也是只研究垂直进化问题。作为达尔文的继承人，博物学家的最重要贡献就是将地理思想引入到综合进化论中。只有援引地理进化，才能处理物种增殖、多型种、生物学的物种概念、物种与成种事件在宏进化中的作用等许多进化问题。

结合了地理角度的考虑对于解释宏进化现象尤为重要。很长时间以来，古生物学家就认识到达尔文的渐变论(得到了群体遗传学的证实)与古生物学的实际发现相矛盾。种系随时间的变化似乎只表现出了微弱的逐渐变化，但是没有确凿的证据表明一个物种可以转变成一个不同的属，或者可以逐渐产生出新奇的进化事物。在化石记录中，真正新奇的事物差不多总是突然产生出来的。在进化论的综合时期，人们清楚了新的进化趋异现象似乎总是发生在区域性隔离的群体中，化石记录反映不出来这些序列并不奇怪。纯粹的垂直研究无法解决这一明显的矛盾。

博物学家所作出的另一个同样重要的贡献是向遗传学中引入了群体思想。孟德尔主义中有浓厚的类型学色彩，不是突变就是野生型。即使到了后来，在许多遗传学家的思想里，不仅摩尔根和戈德施密特的思想，甚至 H. J. 穆勒在寻找完美的基因型时，以及费舍尔的思想中，都有很多本质论的成分。群体思想强调群体中的个体具有独特性，这种思想引入到遗传学中是通过切特维里科夫及其学生——包括蒂莫菲夫—雷索夫斯基(Timofeeff—Ressovsky)、杜布然斯基和鲍尔。除了极少

数的例外，所有进化现象同时也是一种遗传现象和一种群体现象。

最后，博物学家，至少是某些博物学家，试图用整体论的研究来取代很多遗传学家的严格的还原论思想。遗传学家说，进化只不过是群体中基因频率的改变，这是一种还原论的观点，但是进化过程还与器官、行为以及个体和群体的相互作用有关。在整体论的态度上，博物学家与发育生物学家的观点一致。

自然选择的胜利

综合进化论再次证实了达尔文提出的所有进化变化都是由于自然选择对大量变异的指导所致的公式。今天我们完全使用达尔文的公式，并且甚至忘却了这一公式与达尔文反对者对进化的解释有很大的差别。

从一开始，遵循达尔文传统的博物学家们就坚定地捍卫自然选择。但是像达尔文一样，他们同时也倾向于相信某种程度的软遗传。现在软遗传已经被根本否定，博物学家成了最坚定支持自然选择的人。

但是，从历史上看，遗传学家却不太接受自然选择。切特维里科夫、蒂莫菲夫一雷索夫斯基和杜布然斯基深受俄国传统的影响。而自然选择没有在哪个国家像在俄国那样受到了广泛的支持。但是由于意识形态和政治的原因，这一很成功的遗传学成就被斯大林的统治彻底毁灭，他们的地位也被好说大话的李森科(Lysendo)及其追随者所僭越。在英国的剑桥也有着很强的选择论者传统，如兰克斯特(Lankester)、波尔顿(Poulton)等人，但是经典孟德尔主义者并没有利用自然选择学说，而在美国，摩尔根的思想也在很大程度上继承了这一传统。在美国还有第二种传统，虽然这种传统主要存在于哈佛的布西研究所(卡斯特尔、依斯特、赖特)，这一传统显然毫不犹豫地接受了自然选择。在法国，巴斯德研究所的勒沃夫(Lwoff)是最坚定的选择论者，接下来的就是埃弗鲁斯(Ephrussi)、雷利特(L'Heritier)和泰瑟尔(Teissier)。但是现在法国的生物学家中严格的选择论者却很少。在进化论的综合时期以后，除了苏联，每一个国家的选择论者都在逐年增多。

在进化论综合的早期阶段，人们普遍强调应该重视自然选择的压力，对此并不难理解，因为在老一辈进化论者中仍有相当数量的拉马克主义者。不过只要这一阶段过去，就会有人倾向于考虑其他的因素。现代的生物学家与达尔文最大的不同大概就是比达尔文或者早期的新达尔文主义者更重视随机过程的作用。偶然性所起的作用不仅体现在自然选择的第一个阶段，即通过重组和突变产生出新的可遗传的独特个体阶段，而且也体现在决定了这些个体生殖成功的随机过程。所有的限制都会永远妨碍"完美"的建立。虽然自然选择是一个最优化的过程，但是因为大量反向影响的存在，导致不可能达到最优。

综合进化论使进化生物学的统一图景变得更加清晰：逐渐进化是由于自然选

择使遗传变异更规则，而且所有进化现象都可以通过已知的遗传机制来解释。考虑到生命的过程很复杂，通常要涉及不同的层次并需要多元的解决办法，这种图景便显得很简单。1940 年综合进化论产生出来以后，进化生物学的工作就成了将粗糙的进化理论转变为精制的、更加实在的进化理论。捍卫达尔文主义不再有什么限制，综合进化论的追随者们经过了详细的分析研究之后，开始清理依然存在的观点差异，不仅是还原论者和遗传学家与系统分类学家和古生物学家在对生物看法上的差异，而且还有对进化理论其他方面看法上的差异。

作者简介略。

文献来源：迈尔《很长的论点——达尔文与现代进化思想的产生》，田洺译，上海科学技术出版社 2003 年版，第九章（第 150－158 页）。标题为编者所加。

麦克林托克的遗传学研究

伊夫林·凯勒

在三十五六岁的时候，巴巴拉·麦克林托克特殊的科学风格已被很好地确立了。她应付自如。那独有的特征是性格上的两极：这是从两种相反的倾向中辩证地导出的。读者可能记得起在前面的章节里，摩尔根把她的工作特征刻画成“高度特殊化的”。虽然很少有人会认为摩尔根所描述的玉米遗传细胞学的范畴比果蝇遗传细胞学更为狭窄，麦克林托克科学兴趣的那一面，可能很容易地使她会这样进行描述：她注意的重心是最最微小的东西，她搜寻每一条可见的染色体改变所表现出来的耐心，她的一丝不苟和严谨，再加上第一流的技术——所有这些可能使人认为她研究的重点是狭窄的。事实上，她坚持进行探索的不是别的，而是对整个生物体的了解。

“了解”一词和她所赋予的特别含义是：它成了她整个科学研究的奠基石。对于她，最微小的细节也提供了较大的整体的钥匙。她的信念是越集中注意力，她就越注意某一棵植物、某一颗籽粒和某一条染色体的完整的特征，她对玉米植物作为一个组织化的整体的普遍原理就了解得越多，她“对生物体就越是钟情”。

她所讲的、在某种程度上阐明了“了解”的意义的故事使人回想起可能被称为“博物学家”的传统——这一传统在生物学方面极大部分早已被实验传统所代替，可是那踪迹在20世纪30年代中期依然存在。麦克林托克能够合并、综合这些不需要完全通过实验才能成立的踪迹。从来没有一个科学家能在真空中发展，但是要找出任何认为是与她的思想基础直接有关的智力上的影响却是困难的。倒不如说，看来她通过自己个人奋斗的道路完成了这一综合。与其说她受外界力量的支配，还不如说她受内在力量的支配。她的故事本身就反映了这一点。

例如，她讲到在她早年在密苏里的时候的一次经历，她在考虑如何对环形染色体进行描绘。“大部分时间环形染色体进行半保留复制，但偶然通过姊妹线交换产生了比一般的大一倍的环，它有两个着丝粒。”她说，“在后期（那两个着丝粒）开始

走向相对的两极，但（由于）它的环是一般的两倍，它断裂了，在不同的地方断裂，断裂端愈合形成与旧环不同的新环。如果这些环比较小的话，它们常常会丢失而不形成细胞分裂的末期。在我所栽培的植物中间，我处理过各种各样的组合：可能有一个、两个或三个环。一个环可能小些，另外两个可能略大些。在这些植物里，环形染色体携带着显性基因。为了得到隐性表达，带基因的环就得流失。”

在辨认染色体由内部结构改变而显示出来的外部特征方面，她变得如此的熟练，以至于只要看一看植物本身，就能知道以后在显微镜观察下所呈现的细胞核情况。“在检验染色体之前，我穿过田野。我对每棵植物作出猜测，它应该有哪一种环？是一个、两个还是三个？是小是大？哪些组合了？除了一次之外，我从来没有错过。当我检验这一棵植物时，心里难受极了。我跑步穿过玉米田。它错了，它没有像我笔记本表明的那样！我发现……记错了号码，我记的是旁边那棵植物的号码，而那一棵我还没有切开呢。接着什么事情都又对了。”

她相信大脑的作用“好像一部计算机”，处理和合并数据，远比我们可能意识到的更为复杂。找到了错误的原因之后——归档的错误——她放心了。“那使我觉得满意，因为这件事告诉我：只要计算机在工作，就会准确无误。”她意识到全部工作就是“注视这些隐性组织美丽的条纹”，她说，计算机是不休息的，“我从未错过一次”。对于她，这个故事的最重要之点是：必须对脑子的情况作这样的判断。“这是靠完全的自信、完全的了解才得以完成的。我了解每一棵植物。在未能知道我在综合什么，我了解了表型。”在这儿，了解意味着什么呢？“它意味着我在使用一部计算机，它工作得非常迅速，非常准确。我不可能训练任何人那样干。”

自从她作为一个年轻的研究生时候起，她总是自己做研究工作中最劳累的部分，不论是繁重的工作还是例行公事都不假手于人。在这方面，几乎所有的科学家在开始时都和她一样。但大多数科学家一旦成名，就学会把越来越多的例行公事委托给别人去做。当然也有例外，如埃默森就是一个。他遵照哈里特·克顿的指示：“不要把任何事情当作例行公事”，以自己亲手做工作而引以为骄傲。至于麦克林托克，问题并不在于骄傲，她的精湛技巧在于她观察的能力，在于处理和解释她观察所得的能力。随着岁月的增长，把她任何一部分工作委托于人的可能越来越少，她发展的技巧连她自己也不能确定，更不用说传授给别人了。

科学上洞察力的性质和任何其他方面一样，是非常难以理解的。几乎所有懂得培养洞察力的大科学家都懂得尊重它的神秘的作用。正是在这儿，它们的推理能力找到了本身的极限。在公然对抗合乎情理的解释时，创造性的洞察力激起了那些实践那种能力的人的敬畏。他们终于知道、相信而重视了它。

当你忽然看到了问题，有些事发生了，在你能化为文字语言前，你就有了答案。一切都下意识地完成了。对我，这已发生了多次，我知道什么时候把它当真的。我

是绝对肯定的。我不去说它，我不对任何人说它，我只是肯定这是它。

这种自信不是新的东西。她说了早年在康奈尔的一件事——这看来是越过任何的自觉意识的另一"了解"的事例："一棵特殊的植物因一次易位而杂合了，就是说，一条染色体进行了易位，而同源的另一条染色体却是正常的。按照减数分裂的分离定律，它通常产生百分之五十缺陷性的花粉粒（从此不育），百分之五十正常的花粉粒。那时有一位博士后生刚开始研究易位。他从这些植物检测花粉，希望它们或者是完整的（没有易位），或者是杂合的（百分之五十的花粉不育）。他跑来对我说，'有的植物只有百分之二十五到三十不育，不是百分之五十不育。'他是在田里告诉我的，他被扰乱了。"麦克林托克也被扰乱了——扰乱得这样厉害，以致她离开了玉米田，走过洼地，回到实验室，在那儿坐了约半个小时，"就是想那件事，忽然之间我跳了起来，一直跑到田里。在田的高处（别人都在田的低处），我喊道，'尤蕾加，我解决了它！我知道答案了！我知道这百分之三十的不育是什么。'"当她走到洼地底，一群玉米遗传学家聚在她周围，她认识到不能通过她的洞察力来提出证据。"证明它，"他们说，"我坐下来，取出一个纸袋和一支铅笔，开始草草涂写，那是我从前在实验室里从未做过的。很快，一切都过去了，答案有了，我就跑开了。现在我可以一步一步地做出来了——那是一系列复杂的步骤——我就按照实际情况把它画出来。（那个博士后生）看了看材料，那恰恰跟我所说的一样，跟我画的图一样。好了，为什么我不在纸上画就可以知道呢？为什么我是那样的肯定以致我会那样激动，只是说，'尤蕾加，我解决了它'呢？"

那答案可能又一次是因为她熟悉每一棵植物，她不断地对它们进行研究，获得了全部的知识。一个同事有一次评论说她能够为她所研究的每一棵植物写"传记"。虽然她也考虑到这项工作在智力上的深度以及她对植物研究复杂性也有所了解，但她自信，只要小心谨慎，她能信任由一个直觉所产生的另一个直觉。在未来的岁月里，那自信心将成为巨大支持的源泉。

作者简介：伊夫林·凯勒（Evelyn Fox Keller，1936－），美国生物数学教授，女性主义科学史家，著有《对有机体的情感》（1983 年版，中译本译成《情有独钟》）、《对性别与科学的反思》（1985 年版）、《生之秘密死之秘密》（1992 年版）等，力图揭示科学研究的另类传统，即通过亲知、感性接触等"女性"方式而非理性推演、实验操控等"男性"方式来理解自然奥秘的传统。

文献来源：伊夫林·凯勒《情有独钟》，赵台安、赵振尧译，三联书店 1987 年版，第六章（第 114－119 页）。标题为编者所加。

8 科学与哲学 ≫

探索的动机

——在普朗克六十岁生日庆祝会上的讲话[①]

爱因斯坦

在科学的庙堂里有许多房舍，住在里面的人真是各式各样，而引导他们到那里去的动机实在也各不相同。有许多人所以爱好科学，是因为科学给他们以超乎常人的智力上的快感，科学是他们自己的特殊娱乐，他们在这种娱乐中寻求生动活泼的经验和雄心壮志的满足；在这座庙堂里，另外还有许多人所以把他们的脑力产物奉献在祭坛上，为的是纯粹功利的目的。如果上帝有位天使跑来把所有属于这两类的人都赶出庙堂，那么聚集在那里的人就会大大减少，但是，仍然还有一些人留在里面，其中有古人，也有今人。我们的普朗克就是其中之一，这也就是我们所以爱戴他的原因。

我很明白，我们刚才在想像中随便驱逐了许多卓越的人物，他们对建设科学庙堂有过很大的也许是主要的贡献；在许多情况下我们的天使也会觉得难于作出决定。但有一点我可以肯定：如果庙堂里只有我们刚才驱逐了的那两类人，那么这座庙堂就决不会存在，正如只有蔓草就不成其为森林一样。因为，对于这些人来说，

---

① 这是爱因斯坦于1918年4月在柏林物理学会举办的麦克斯·普朗克六十岁生日庆祝会上的讲话。讲稿最初发表在1918年出版的《庆祝麦克斯·普朗克60寿辰：德国物理学会演讲集》(*Zu Max Plancks 60 Geburtstag: Ansprachen in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*)上。1932年爱因斯坦将此文略加修改，作为墨菲(J. Murphy)编译的普朗克的文集《科学往何处去?》(*Where Is Science Going?*)的序言。(该书有中译本，1934年上海辛垦书店出版，译者皮仲和。)这里译自《思想和见解》，224—227页。标题是照原来所用的。(《思想和见解》一书中的标题是"研究的原则"。)

普朗克(Max Karl Ernst Ludwig Planck)，德国物理学家，生于1858年4月23日，卒于1947年10月4日。——原编者注

只要有机会，人类活动的任何领域他们都会去干；他们究竟成为工程师、官吏、商人还是科学家，完全取决于环境。现在让我们再来看看那些为天使所宠爱的人吧。他们大多数是相当怪癖、沉默寡言和孤独的人，尽管有这些共同特点，实际上他们彼此之间很不一样，不像被赶走的那许多人那样彼此相似。究竟是什么把他们引到这座庙堂里来的呢？这是一个难题，不能笼统地用一句话来回答。首先我同意叔本华(Schopenhauer)所说的，把人们引向艺术和科学的最强烈的动机之一，是要逃避日常生活中令人厌恶的粗俗和使人绝望的沉闷，是要摆脱人们自己反复无常的欲望的桎梏。一个修养有素的人总是渴望逃避个人生活而进入客观知觉和思维的世界；这种愿望好比城市里的人渴望逃避喧嚣拥挤的环境，而到高山上去享受幽静的生活，在那里，透过清寂而纯洁的空气，可以自由地眺望，陶醉于那似乎是为永恒而设计的宁静景色。

除了这种消极的动机以外，还有一种积极的动机。人们总想以最适当的方式来画出一幅简化的和易领悟的世界图像，于是他就试图用他的这种世界体系(cosmos)[①]来代替经验的世界，并来征服它。这就是画家、诗人、思辨哲学家和自然科学家所做的，他们都按自己的方式去做。各人都把世界体系及其构成作为他的感情生活的支点，以便由此找到他在个人经验的狭小范围里所不能找到的宁静和安定。

理论物理学家的世界图像在所有这些可能的图像中占有什么地位呢？它在描述各种关系时要求尽可能达到最高标准的严格精确性，这样的标准只有用数学语言才能达到。另一方面，物理学家对于他的主题必须极其严格地加以限制：他必须满足于描述我们的经验领域里的最简单事件。企图以理论物理学家所要求的精密性和逻辑完备性来重现一切比较复杂的事件，这不是人类智力所能及的。高度的纯粹性、明晰性和确定性要以完整性为代价。但是当人们畏缩而胆怯地不去管一切不可捉摸和比较复杂的东西时，那么能吸引我们去认识自然界的这一渺小部分的究竟又是什么呢？难道这种谨小慎微的努力结果也够得上宇宙理论的美名吗？

我认为，是够得上的。因为，作为理论物理学结构基础的普遍定律，应当对任何自然现象都有效。有了它们，就有可能借助于单纯的演绎得出一切自然过程(包括生命)的描述，也就是说得出关于这些过程的理论，只要这种演绎过程并不太多地超出人类理智能力。因此，物理学家放弃他的世界体系的完整性，倒不是一个有什么基本原则性的问题。

物理学家的最高使命是要得到那些普遍的基本定律，由此世界体系就能用单纯的演绎法建立起来。要通向这些定律，并没有逻辑的道路；只有通过那种以对经验的共鸣的理解为依据的直觉，才能得到这些定律。由于有这种方法论上的不确

① “cosmos”原来的意思是“宇宙”，是指广包一切，秩序井然的整个体系。——原编者注

定性，人们可以假定，会有许多个同样站得住脚的理论物理体系。这种看法在理论上无疑是正确的。但是，物理学的发展表明，在某一时期，在所有可想像到的构造中，总有一个显得比别的都要高明得多。凡是真正深入地研究过这问题的人，都不会否认惟一地决定理论体系的，实际上是现象世界，尽管在现象同它们的理论原理之间并没有逻辑的桥梁；这就是莱布尼茨非常中肯地表述的"先定的和谐"①。物理学家往往责备认识论者对这个事实没有给予足够的注意。我认为，几年前马赫同普朗克之间所进行的论战的根源就在于此。

渴望看到这种先定的和谐，是无穷的毅力和耐心的源泉。我们看到，普朗克就是因此而专心致志于这门科学中的最普遍的问题，而不使自己分心于比较愉快的和容易达到的目标上去。我常常听到同事们试图把他的这种态度归因于非凡的意志力和修养，但我认为这是错误的。促使人们去做这种工作的精神状态是同信仰宗教的人或谈恋爱的人的精神状态相类似的；他们每天的努力并非来自深思熟虑的意向或计划，而是直接来自激情。我们敬爱的普朗克就坐在这里，内心在笑我像孩子一样提着第欧根尼的灯笼②闹着玩。我们对他的爱戴不需要作老生常谈的说明。祝愿他对科学的热爱继续照亮他未来的道路，并引导他去解决今天物理学的最重要的问题，这问题是他自己提出来的，并且为了解决这问题他已经做了很多工作，祝他成功地把量子论同电动力学和力学统一于一个单一的逻辑体系里。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第1卷，许良英、李宝恒、赵中立、范岱年编译，商务印书馆1976年版，第100－103页。沿袭原有标题。

---

① "先定的和谐"(harmonia praestabilita)是莱布尼茨所用的术语。他说一切"单子"之间，特别是心同物之间，存在着一种预先被永远确定了的和谐。——原编者注

② 第欧根尼(Diegenes)是公元前4世纪的希腊犬儒学派的哲学家，他衣食极简陋，常露宿或住在大木桶里。据说他曾在白昼提着灯笼到处寻找诚实的人。——原编者注

自由和科学[①]

爱因斯坦

我知道，要对基本价值的判断进行争论，是一件没有希望的事。比如，如果有人赞成把人类从地球上消灭掉作为一个目标，人们就不能从纯理性的立场来驳倒这种观点。但是如果有某些目标和价值是大家一致同意的，人们就能够合理地来议论达到这些目的的手段。现在，让我们来指出两个目标，凡是读到这篇东西的人大概都会完全同意的。

1. 为维持全部人类的生活和健康所必需的资料应当由总劳动量中尽可能少的部分来生产。

2. 满足物质上的需要，固然是美满的生活所不可缺少的先决条件，但只做到这一点还是不够的。为了得到满足，人还必须有可能根据他们个人的特点和能力来发展他们理智上的和艺术上的才能。

其中第一个目标是要求增进一切有关自然规律和社会过程规律的知识，也就是要促进一切科学工作。因为科学工作是一个自然的整体，它的各个部分彼此相互支持着，固然支持的方式还没有人能预料到。但是科学进步的先决条件是不受限制地交换一切结果和意见的可能性——在一切脑力劳动领域里的言论自由和教学自由。我所理解的自由是这样的一种社会条件：一个人不会因为他发表了关于知识的一般和特殊问题的意见和主张而遭受危险或者严重的损害。交换的自由是发展和推广科学知识所不可缺少的。这件事有很大的实际意义。首先它必须由法律来保障，但单靠法律还不能保证发表的自由。为了使每个人都能表白他的观点而无不利的后果，在全体人民中必须有一种宽容的精神。这种外在的自由的理想是永远不能完全达到的，但如果要使科学思想、哲学和一般为创造性思想得到尽可

---

① 此文最初发表在1940年出版的安新(R. N. Anshen)编的文集《自由的意义》(*Freedom, Its Meaning*，纽约 Harcourt, Brace 公司出版)上。这里译自《思想和见解》，31—32页。标题是照原来所用的。《思想和见解》和《晚年集》中此文的标题为"论自由"。——编译者

能快的进步，那就必须始终不懈地去争取这种自由。

如果要保证第二个目标，也就是要使一切个人的精神发展成为可能，那么就必须有第二种外在的自由。人不应当为着获得生活必需品而工作到既没有时间也没有精力去从事个人的活动的程度。而没有这第二种外在的自由，发表的自由对他就毫无用处。如果合理的分工问题得到解决，技术的进步就会提供这种自由的可能性。

科学的发展，以及一般的创造性精神活动的发展，还需要另一种自由，这可以称为内心的自由。这种精神上的自由在于思想上不受权威和社会偏见的束缚，也不受一般违背哲理的常规和习惯的束缚。这种内心的自由是大自然难得赋予的一种礼物，也是值得个人追求的一个目标。但社会也能做很多事来促进它实现，至少不该去干涉它的发展。比如学校可以通过权威的影响和强加给青年人过重的精神负担来干涉内心自由的发展；而另一方面，学校也可以由鼓励独立思考来支持这种自由。只有不断地、自觉地争取外在的自由和内心的自由，精神上的发展和完善才有可能，由此，人类的物质生活和精神生活才有可能得到改进。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第 3 卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆 1979 年版，第 179－180 页。沿袭原有标题。

科学定律和伦理定律[①]

爱因斯坦

科学所研究的是那些被认为是独立于研究者个人而存在的关系。这也适用于把人本身作为研究对象的科学。科学陈述的对象还可以是我们自己创造出来的概念，像在数学中就是那样。我们不一定要假设这种概念是同外在世界里的任何客体相对应的。但是，一切科学陈述和科学定律都有一个共同的特征：它们是“真的或者假的”（适当的或者不适当的）。粗略地说来，我们对它们的反应是“是”或者是“否”。

科学的思维方式还有另一个特征。它为建立它的贯彻一致的体系所用到的概念是不表达什么感情的。对于科学家，只有“存在”，而没有什么愿望，没有什么价值，没有善，没有恶，也没有什么目标。只要我们逗留在科学本身的领域里，我们就决不会碰到像“你不可说谎”这样一类的句子。追求真理的科学家，他内心受到像清教徒一样的那种约束：他不能任性或感情用事。附带地说，这个特点是慢慢发展起来的，而且是现代西方思想所特有的。

由此看来，好像逻辑思维同伦理毫不相干。关于事实和关系的科学陈述，固然不能产生伦理的准则，但是逻辑思维和经验知识却能够使伦理准则合乎理性，并且连贯一致。如果我们能对某些基本的伦理命题取得一致，那么，只要最初的前提叙述得足够严谨，别的伦理命题就都能由它们推导出来。这样的伦理前提在伦理学中的作用，正像公理在数学中的作用一样。

这就是为什么我们根本不会觉得提出“为什么我们不该说谎?”这类问题是无意义的。我们所以觉得这类问题是有意义的，是因为在所有这类问题的讨论中，某些伦理前提被默认为是理所当然的。于是，只要我们成功地把这条伦理准则追溯

---

① 这是爱因斯坦为菲利普·弗兰克（Philipp Frank）：《相对论——一个丰富多彩的真理》（*Relativity—A Richer Truth*，波斯顿 Beacon 出版公司，1950 年）一书所写的序言。这里译自该书 v—viii 页。标题照《晚年集》中所用的。——原编者注

到这些基本前提，我们就感到满意。在关于说谎这个例子中，这种追溯的过程也许是这样的：说谎破坏了对别人的讲话的信任。而没有这种信任，社会合作就不可能，或者至少很困难。但是要使人类生活成为可能，并且过得去，这样的合作就是不可缺少的。这意味着，从“你不可说谎”这条准则可追溯到这样的要求：“人类的生活应当受到保护”和“苦痛和悲伤应当尽可能减少”。

但这些伦理公理的根源是什么呢？它们是不是任意的？它们是不是只是以权威为根据而建立起来的？它们是不是来自人们的经验并且间接地受着这些经验的制约呢？

从纯逻辑看来，一切公理都是任意的，伦理公理也如此。但是从心理学的和遗传学的观点看来，它们绝不是任意的。它们是从我们天生的避免苦痛和灭亡的倾向，也是从个人所积累起来的对于他人行为的感情反应推导出来的。

只有由有灵感的人所体现的人类的道德天才，才有幸能提出应用如此广泛而且根基如此扎实的一些伦理公理，以致人们会把它们作为在他们大量个人感情经验方面打好基础的东西而接受下来。伦理公理的建立和考验同科学的公理并无很大区别。真理是经得住经验的考验的(Die Wahrheit liegt in der Bewährung)。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第 3 卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆 1979 年版，第 280－281 页。沿袭原有标题。

科学与哲学

玻　恩

我想就科学对于我以及对于社会的意义提出一些见解，而且我要先说一句平凡肤浅的话来开头，这句话就是：生活中的成就和胜利，在很大程度上依赖于好运气。就我的双亲，我的妻子，我的孩子，我的老师，我的学生和我的合作者来说，我是幸运的。在两次世界大战和几次革命中，我都幸运地活下来了，其中包括希特勒的那一次，对于一个德国犹太人来说，这是非常危险的。

我希望从两个角度来观察科学，一个是个人的角度，另一个是一般的角度。正如我已经说过的那样，我一开始就觉得研究工作是很大的乐事，直到今天，仍然是一种享受。这种乐趣有点像解决十字谜的人所体会到的那种乐趣。然而它比那还要有趣得多。也许，除艺术外，它甚至比在其他职业方面做创造性的工作更有乐趣。这种乐趣就在于体会到洞察自然界的奥秘，发现创造的秘密，并为这个混乱的世界的某一部分带来某种情理和秩序。它是一种哲学上的乐事。

我曾努力阅读所有时代的哲学家的著作，发现了许多有启发性的思想，但是没有朝着更深刻的认识和理解稳步前进。然而，科学使我感觉到稳步前进：我确信，理论物理学是真正的哲学。它革新了一些基本概念，例如，关于空间和时间（相对论），关于因果性（量子理论），以及关于实体和物质（原子论），等等，而且它教给我们新的思想方法（互补性），其适用范围远远超出了物理学。最近几年，我试图陈述从科学推导出来的哲学原理。

当我年轻的时候，工业中需要的科学家很少。他们谋生的惟一途径是教学。我觉得在大学里教书是最有趣的。以有吸引力的和有启发性的方式来提出科学问题，是一种艺术工作，类似于小说家甚至戏剧作家的工作。对于写教科书来说也是同样情况。最愉快的是教研究生。我很幸运，在我的研究生中间有许多有天才的人。发现人才并把他们引导到内容丰富的研究领域是件了不起的事情。

因此，从个人观点来看，科学已经给了我一个人所能期望于他的职业的一切可能的满足和愉快。但是，在我一生的时间里，科学已经成为公众关心的事情，我青年时期那种“为艺术而艺术”的观点，现在已经过时了。科学已经成为我们文明的

一个不可缺少的和最重要的部分，而科学工作就意味着对文明的发展作出贡献。科学在我们这个技术时代，具有社会的、经济的和政治的作用，不管一个人自己的工作离技术上的应用有多么远，它总是决定人类命运的行动和决心的链条上的一个环节。只是在广岛事件以后，我才充分认识到科学在这方面的影响。但是后来科学变得非常非常重要了，它使我考虑在我自己的时代里科学在人类事务中引起的种种变化，以及它们会引向哪里。

尽管我热爱科学工作，可是我考虑的结果是令人抑郁的。在很少几行文字里不可能论述这个重大问题。但是，如果不简要地提一下我的观点，那么对我一生的素描就会是不完备的。

在我看来，自然界所作的在这个地球上产生一种能思维的动物的尝试，也许已经失败了。其理由不仅在于核战争也许会爆发，毁灭地球上的一切生命，这种可能性是相当大的，而且总是在增长。即使这样一场浩劫可以避免，对于人类来说，除了黑暗的未来以外，我什么也看不到。人因为有大脑，所以相信自己比所有其他动物都优越；而就他的意识状态来看，人是否比其他哑巴畜牲更快乐呢？这却是可以怀疑的。人类历史已经有几千年了。这部历史充满着激动人心的事件，但总的来说却是千篇一律的，那就是和平与战争，建设与破坏，发展与衰落的交替。在人类历史上总是有某些由哲学家发展的基本科学，和某些实际上不依赖于科学而掌握在技工手里的原始技术。两者都发展得很慢，慢得在一个长时期里几乎看不出变化，而且对人类舞台也没有多大影响。但是，大约在三百年前突然间爆发了智力活动：现代科学和技术诞生了。从那时以来，它们以不断增长的速度发展着，大概比指数还快，它们现在把这个人类世界已经改变得使人认不出了。但是，这种改变虽然是由精神造成的，却不受精神的控制。这几乎不需要举例说明。医学已经战胜了许多瘟疫和流行病，而且仅仅在一代人的时间里使人的平均寿命增加了一倍，其结果出现了灾难性的人口过剩的前景。城市里挤满了人，同自然界完全失去了接触。野生动物式的生活在迅速地消失。从地球的一个地方到其他地方几乎立即可以通讯，旅行已经加速到难以置信的程度，其结果是，这世界的一个角落里的每一个小小的危机，都会影响到其余所有的角落，并且使合理的政治成为不可能了。汽车使整个农村成为所有人都可以到达的地方，但是道路被堵塞了，休养地被污损了。可是，这种技术上的误用可以由技术上的和行政上的补救办法来及时纠正。

真正的痼疾更为深刻。这种痼疾就在于所有伦理原则的崩溃，从前即使在残酷的战争和大规模的破坏时期，这些原则也曾在历史进程中进化并保持一种有价值的生活方式。传统的伦理因技术而瓦解的问题，只要举两个例子就够了：一个是和平时期的，另一个是战争时期的。

在和平时期，艰苦的工作是社会的基础。人类因自己学会了做什么以及用自己的双手所生产的东西而感到骄傲。技巧和专心受到高度重视。今天这种情况所剩无几了，机器和自动化已经贬低了人的工作并且摧毁了这种工作的尊严。今天这种工

作的目的和报酬是金钱。为了购买别人为金钱而生产的技术产品，就需要金钱。

在战争时期，体力和勇气，对战败了的敌人的宽大，对没有防御能力者的同情，昔日是模范战士的特征。现在这些东西什么也没有剩下了。现代的大规模毁灭性武器没有为伦理上的约束留下余地，并且使士兵沦为有技术的屠杀者。

这种伦理上的贬值是由于人类的行动要经过漫长而复杂的道路才能达到其最终效果的缘故。大多数工人在生产过程的一个特殊部门里，只熟悉自己很小范围内的专门操作，而且几乎从来没有看到过完整的产品。自然他们就不会感到要对这个产品或对这个产品的使用负责。这种使用无论是好还是坏，是无害还是有害，是完全在他们的视野以外的。行动和效果的这种分割的最可怕的结果是在德国的纳粹统治时期消灭了几百万人；艾希曼式的屠杀者不服罪，因为他们在“干他们的工作”，而与这种工作的最终目的无关。

使我们的伦理规范适应于我们这个技术时代的形势的一切尝试都已经失败了。就我所见，传统的道德观的代表们、基督教教会，已经找不到补救办法。共产主义国家只是抛弃了对每个人都适用的伦理规范的观念，而代之以国家法就代表道德规范这个原则。

乐观主义者也许希望，从这个丛林里将会出现一种新的道德观，而且将会及时出现，以避免一场核战争和普遍的毁灭。但是，与此相反，这个问题很可能由于人类思想中科学革命的性质本身而不能得到解决。

关于这个问题，我已详细论述过，在这里只能指出主要的几点。普通人都是朴素实在论者：就像动物一样，他把自己的感官印象当作实在的直接信息来接受，而且他确信人人都分享这种消息。他没有意识到，要证实一个人的印象（例如，一棵绿树的印象）和另一个人的印象（这棵树的印象）是否一样，是没有办法的，甚至“一样”这个词在这里也是没有意义的。单个感官经验没有客观的，即能表达的和可证实的意义。科学的本质在于发现两个或者更多的感官印象之间的关系，特别是相同的陈述，是可以由不同的个人来表达和检验的。如果人们只限于使用这样一些陈述，那么就得到一个客观的世界图景，尽管它是没有色彩的和平淡无味的。这就是科学所特有的方法。[①] 这种方法是在所谓物理学的古典时期（1900 年以前）里，

---

① 我并不认为科学认识的这个定义是新的，它是包含在许多科学家的著作里的。但是我没有找到它的明确的阐述，甚至现代的科学的哲学家对它也没有作出明确的阐述。例如亨利·马格脑写了一本书，叫做《伦理学和科学》（普林斯顿，D. 范·诺斯特兰德公司，1964 年），在这本有趣的书的第一章里，以作者和哲学家诺思罗普之间争论的形式，提到了这个问题。但是，我认为是本质的那个论点，即那些客观的、能表达的和可证实的陈述，不能只谈单个的感官印象，而只能谈一对对的感官印象，在书中连提都没有提到。这本书的目的在于表明，伦理学可以用类似于科学方法的方法建立起来。这本书对我的论点，即科学和技术也许已经无法挽回地摧毁了文明的道德基础，就我所看到的来说，并没有讨论。

慢慢地发展起来的，而在现代原子物理学里，成了占优势的方法。这种方法在宏观宇宙里和在微观宇宙里一样，大大地拓宽了认识的范围，惊人地增强了支配自然力的能力。但是，这种进步是付出了惨痛的损失的。科学的态度对传统的、不科学的知识，甚至对人类社会所依赖的正常的、单纯的行动，都容易造成疑问和怀疑。

还没有一个人想出过不靠传统的伦理原则而能把社会保持在一起的手段，也没有想出过用科学中运用的合理方法来得出这些原则的手段。

科学家本身是不引人注目的少数，但是令人惊叹的技术成就使他们在现代社会中占有决定性的地位。他们意识到，用他们的思想方法能得到更高级的客观必然性，但是他们没有看到这种客观必然性的极限。他们在政治上和伦理上的判断因而常常是原始的和危险的。

非科学的思维方式，当然也取决于少数受过教育的人们，如法学家、神学家、历史学家和哲学家，他们由于受训练的限制，不能理解我们时代最强有力的社会力量。因此，文明社会分裂为两个集团，其中一个是由传统的人道主义思想指导的，另一个则是由科学思想指导的。最近，许多著名的思想家，例如 C. P. 斯诺（《科学和政府》，伦敦，牛津大学出版社，1961 年，英文版）已经讨论了这种形势。他们一般认为，这是我们的社会制度的一个弱点，但是相信，这可以由完全平衡的教育来补救。

朝这个方向改进我们的教育制度的建议很多，但是到目前为止仍然无效。我的个人经验是，很多科学家和工程师是受过良好教育的人们，他们有文学、历史和其他人文学科的某些知识，他们热爱艺术和音乐，他们甚至绘画或演奏乐器；另一方面，受过人文学科教育的人们所表现出来的对科学的无知，甚至轻蔑，是令人惊愕的。以我自己为例，我熟悉并且很欣赏许多德国和英国的文学和诗歌，甚至尝试过把一首流行的德文诗歌译成英文（威廉·比施：《画家克莱克赛儿》，纽约，弗雷德里克·昂加尔书店，1965 年，英文版）；我还熟悉其他的欧洲作家，即法国、意大利、俄国以及其他国家的作家。我热爱音乐，年轻的时候钢琴弹得很好，完全可以参加室内乐的演奏，或者同一个朋友一起，用两架钢琴演奏简单的协奏曲，有时甚至和管弦乐队一起演奏。我读过并且继续在读关于历史以及我们现今社会的经济的和政治的形势方面的著作。我试图通过写文章和发表广播讲话来影响政见。我的许多同事都有这些爱好和活动——爱因斯坦是一个很好的小提琴家；普朗克和索末菲是出色的钢琴家，海森伯和其他许多人也是如此。关于哲学，每一个现代科学家，特别是每一个理论物理学家，都深刻地意识到自己的工作是同哲学思维错综地交织在一起的，要是对哲学文献没有充分的知识，他的工作就会是无效的。在我自己的一生中，这是一个最主要的思想，我试图向我的学生灌输这种思想，这当然不是为了使他们成为一个传统学派的成员，而是要使他们能批判这些学派的体系，从中找出缺点，并且像爱因斯坦教导我们的那样，用新的概念来克服这些缺点。因

此，我认为科学家并不是和人文学科的思想割裂的。

关于这个问题的另一方面，在我看来是颇为不同的。在我碰到过的受过纯粹人文学科教育的人当中，有非常多的人对真正的科学思想没有一点知识。他们常常知道各种科学事实，有些甚至是我也没有听到过的很难懂的科学事实，但是他们不知道我上面所说的科学方法的根源；而且他们似乎不能掌握这种思索的要点。在我看来，巧妙的、基本的科学思维是一种天资，那是不能教授的，而且只限于少数人。

但是，在实际事务中，特别是在政治中，需要那些把人类相互关系中的经验和利益同科学技术知识结合起来的人物。而且，他们必须是行动的人而不是沉思的人。我有这样一种印象：没有一种教育方法能产生具备所需要的一切特性的人们。

由于科学方法的发现所引起的人类文明的这种破裂也许是无法弥补的。这种思想时常萦绕在我脑际。虽然我热爱科学，但是我感到，科学同历史和传统的对立是如此严重，以至于它不可能被我们的文明所吸收。我在我的一生中目睹的政治上的和军事上的恐怖以及道德的完全崩溃，也许不是短暂的社会弱点的征候，而是科学兴起的必然结果，而科学本身就是人的最高的理智成就之一。如果是这样，那么人最终将不再是一种自由的、负责的生物。如果人类没被核战争所消灭，它就会退化成一种处在独裁者暴政下的愚昧的没有发言权的生物，独裁者借助于机器和电子计算机来统治他们。

这不是预言，而只是一个恶梦。虽然我没有参与把科学知识用于像制造原子弹和氢弹那样的破坏性目的，但我感到我自己也是有责任的。如果我的推理是正确的，那么人类的命运就是人这个生物的素质的必然结果，在他身上混合着动物的本能和理智的力量。

但是，我的推理也许完全错了。我希望如此。也许有朝一日有一个人显得比我们这一代人中的谁都聪明能干，他能把这世界引出死胡同。

作者简介：M. 玻恩(Max Born，1882－1970)，德国理论物理学家，量子力学的创始人之一，晶体动力学的开创者，因提出波函数的统计解释而获 1954 年诺贝尔物理学奖。他毕生保持着对哲学的关注，并认为"科学的哲学背景始终比科学的特殊成果更使我感兴趣"。其著作中译本有《我这一代的物理学》(商务印书馆 1964 年版)、《关于因果和机遇的自然哲学》(商务印书馆 1964 年版)、《我的一生和我的观点》(商务印书馆 1979 年版)等。

文献来源：玻恩《我的一生和我的观点》，李宝恒译，商务印书馆 1979 年版，第一部分第三章(第 20－27 页)。标题为编者所加。

知识伦理学

莫 诺

古老盟约的废弃和现代灵魂的烦恼

如果说，人类先天就需要一种尽善尽美的解释，找不到这种解释就会在内心深处引起极度痛苦；如果说，对整个历史作出解释的方式是宽慰灵魂的惟一解释方式，而这种方式就是把人安置在自然界图式中的一个必然的位置上，从而揭示出人的意义；如果说，一种真正的、有意义的、令人感到宽慰的“解释”非得同长期以来的万物有灵论的传统糅合在一块；那么，我们就可以理解：为什么几千年来一直采用这种解释的观念王国，却遭到了另一个观念的入侵，这个观念就是认为客观知识是真理的惟一可靠的源泉。

这个观念冷酷无情，不做什么解释就对所有别的精神食粮来一个禁欲主义式的否定；这个观念并不能使忧虑消释，反而加深了忧虑。它宣称，它已把成为人类本性之一的十万年来的传统，一下子荡涤殆尽。它宣布了人同自然界间的古老的万物有灵论的盟约已告终结，它用在荒漠孤寂的宇宙里进行不安而急切的探索来代替这种可贵的盟约。这个观念除了某种清教徒式的傲慢自大外，再也没有什么可以推荐的了。这个观念又怎么能为大家所接受呢？它不可能被大家所接受，它还没有被大家所接受。可是，它已获得了承认，这是因为而且仅仅是因为它的行动的力量是巨大的。

在几个世纪的历程中，建立在客观性假设基础上的科学，已在社会中和人类实践中赢得了自己的地位，但它并没有占领人心，并没有在人们心中扎根。现代社会是建立在科学之上的。现代社会把自己的财富和力量统统归功于科学，并且坚信，如果我们希望的话，在未来，科学会带给我们更多的财富和力量。可是，也还有另一点值得注意的，那就是，像在生物进化中最初的一次“选择”决定了某个物种的整个未来一样，科学实践在开始时的一次无意识的选择，也就推动了文化朝着一定的

方向去进化；19 世纪的科学主义认为这样的进化行程必然是不断向上的，一定会导致作为人类发展顶点的极盛时代的到来，可是照我们看来，我们今天所能看到的却是一个阴森莫测的深渊。

现代社会接受了科学向它提供的财富和力量。可是它还没有收到——甚至还没有听到——科学所指明的影响更为深远的教训：那就是，科学确定了真理的一个崭新的、独特的源泉，它要求彻底修正伦理学的前提，要求同万物有灵论的传统全面决裂，最终废弃“古老的盟约”而订立一个新的盟约，等等。现代社会能用一切力量武装起来并享用一切财富，这统统要归功于科学，可是我们的社会却仍在那里宣扬一些早已被科学连根拔起的价值系统，并妄图用它们来指导人们的生活。

我们以前的社会，都不曾被如此苦恼的矛盾弄得四分五裂。在原始文化和古典文化中，万物有灵论的传统认为知识和价值是同根生的。因为在历史的最初时刻，一种文明在试图成型时总是死抱住万物有灵论的传统不放，试图以此来证明自身的价值；与此同时，却又否认它是知识的、真理的源泉。西方“自由”社会由于自己的道德基础，仍然是在那里传授——或者说在念经般地空谈由犹太基督教教义、科学进步主义、人类“天然”权利的信条、功利实用主义等拼凑成的令人作呕的大杂烩。可是，所有这些扎根于万物有灵论的、同客观知识不相容的体系可以说都背离了真理，而且对科学来说都是陌生人，都对科学根本敌视；这些体系都喜欢利用科学但并不尊重科学。裂隙是如此巨大，谎言是如此昭彰，以致折磨着稍微有一点文化、稍微有一点知识，并被创造性的源泉何在这一道德问题所激动着的任何一个人的良知。也就是说，对于人类中间的那些要对社会和文化的发展负有责任或将负起责任的人来说，这是一种苦恼和灾难。

正是这种谎言在折磨着现代精神，牢牢地掌握了人类道德和社会本性的核心。正是这种或多或少遭到胡乱诊断的苦恼，使今天有很多人如果不是对科学表示嫌恶和憎恨，至少也是心存疑惧；一句话，对科学敬而远之。当他们公开表露他们的苦恼时，通常是把矛头指向科学的技术副产品，如炸弹、自然界的破坏、人口急剧增长，等等。当然最方便的回答是：技术同科学并不是一回事，原子能的利用马上就会变成使人类生存下去的一股活力；自然界的破坏意味着工艺技术还不够完善，而不是过多；至于人口剧增，那是由于每年从死亡线上拯救了几百万名儿童，难道要我们开历史倒车而听任他们夭折吗？

这是把骚扰不安的征候同它的根本原因混为一谈的肤浅回答。说实在的，这只是把有待证明的问题当作证明的论据的一种狡辩。因为在抗议的背后，是对科学所指出的教训的否定。这是一种生怕亵渎了神圣的恐惧，是生怕凌辱了价值的恐惧。这是完全有理由的恐惧。科学凌辱了价值，这是千真万确的。但它不是直接地凌辱价值，因为科学根本不对价值作任何判断，但它必然会无视价值；科学必然会破坏每一个神话或每一种哲学的“个体发生”史，因为从澳洲土著到辩证唯物

主义者的所有的万物有灵论的传统，都是把价值、责任、权利和禁诫等所有伦理学，建立在这些“个体发生”史的基础之上的。

如果人类接受了这个教训，接受了这个教训所包含的全部内容，那么就一定会从千年的梦幻中苏醒过来；这样，人类就会发现他自身是完全孤独的、与外界根本隔绝的。他最后会认识到，他就像一个吉普赛人那样生活在异国他乡的边境上。在那个世界里，对他所弹奏的音乐是充耳不闻的，对他的希望、苦痛和罪恶也是漠不关心的。

可是，千秋功罪今后又将由谁来评说？是非善恶又将由谁来断定？所有的传统体系都把伦理和价值置于人类力所能及的范围之外，价值不属于人类，而人类却属于价值。可是，现在人类知道了价值是属于他的，而且是只属于他的，但价值归他所有以后，又立刻会在世界的可怕的虚空中消逝掉！于是，现代人就转向科学，或者不如说转向反对科学，最后则去估量科学所具有的不仅能毁灭肉体，而且能毁灭灵魂的可怕力量。

价值和知识

补救的办法上哪儿去找呢？难道人们一旦形成了客观真理同价值理论构成了永远分离和互不相通的两个领域的观点以后，就不能再改变了吗？现代大多数思想家，包括作家、哲学家和科学家在内，都持这种态度。可是我认为，对于绝大多数人来说，这种态度只能使他们的忧虑更加久远和更加恶化，所以这是不足取的；我还认为，这种态度是绝对错误的，主要理由有二：

一、价值和知识在行动时就像在论述时一样，总是而且必然是相联系的，这一点是很清楚的。

二、因为“真正”的知识的定义，归根到底是建立在一种伦理学的假定之上的。这是最主要的一个理由。

这两个理由，每一个都需要作一番简短的解释。

伦理学和知识，必然在行动中以及通过行动而联系起来。行动使知识和价值同时发挥作用，或同时成为问题。一切行动都意味着是有利于或者有损于某些价值的伦理学行动；或是构成了、或企图构成对价值的一种选择。另一方面，知识必然包含在一切行动之中；反之，行动是知识的两个必然来源中的一个来源。

在万物有灵论的体系中，伦理学和知识是相互沟通而不会有矛盾的，因为万物有灵论回避了这两个范畴的基本区别，把它们看成是同一个实在的两个侧面。建立在人类的“天然”权利这一基础上的社会伦理学观念，反映了这种想法；而在把马克思主义所隐含着的伦理学叙述出来时，这种想法就更系统更突出了。

当人们把客观性当作真正知识的必要条件时，就已经在伦理学同知识这两个

领域之间，划定了为探求真理所必需的根本区别。知识本身是排斥一切价值判断的（“认识论的价值”除外）；本质上是非客观性的伦理学，则永远排除在知识的范围之外。

事实上，这种根本区别被规定为一条公理以后，就创造了科学。我打算再加上一句，如果这种文化史上没有行例的事件，发生在基督教的西方，而不是发生在其他文明中，那么其原因也许一部分是由于教会在神圣的和世俗的这两个领域之间，已经划定了根本的区别。这种区别不但允许科学按照自己的道路发展下去（倘若它不侵犯神圣的领域），而且它为人们作好了思想准备，使人们认识到客观性原则所提出的更带有根本性的区别。西方人对于某些宗教在神圣的和世俗的之间竟没有、而且竟不可能有区别，感到困惑不解。比如，印度教认为万事万物都是神圣的，因此“世俗的”这个概念就成为不可思议的。

可是，让我们回到我们的主要之点。客观性假设在废弃“古老盟约”的同时，也就杜绝了价值判断与通过知识而达到的判断之间出现任何混淆。可是，这两个范畴在行动的形式中（包括在议论或论述这种行动的形式中），事实上还是不可避免地统一起来的。为了坚持我们的原则，我们的看法是，没有哪一种议论或行动可以认为是有意义的和真实的，除非这种议论或行动在它所连接的两个范畴之间划定而且保持了一种明确的区别。这样规定以后，真实性概念就成了伦理学和知识再次会合的共同基础；在那里，相互有联系的、但不能相互替代的价值和真理，向跟它们起共鸣作用的、专心致志地在观察的人们，显示出它们的全部重要意义。反过来说，把两个范畴混为一谈的不真实的议论，只能导致极端有害的谬论，导致虽然出自无心但却是有罪的谎言。

（很清楚，在“政治”议论中，总是一贯地、系统地把两个范畴混为一谈。而且不光是职业政治家这么干，就连科学家本身在他们的专业范围以外，也常会遇到不能区别价值和知识这两个范畴的危险。）

我们在前面已经说过，万物有灵论根本不需要、而且也不可能在价值判断同以知识为依据的议论之间，建立起一种绝对的区别。由于已经假定在宇宙中存在着一种意向，虽然这是精心伪装了的意向，那么这种区别又有什么意思呢？在一个客观系统中，情况正好相反：一般认为，知识同价值混在一起是非法的，是应加以禁止的。可是——这里是关键性的一点，也就是使知识同价值在它们的核心上结合起来的逻辑联系——这种禁止，这种保证客观知识创立基础的“第一诫”，它本身却不是客观的。何况它也不可能是客观的，因为它是一种伦理的指导方针，是一条行动的准则。真正的知识是不晓得什么价值不价值的，但它只能以价值判断为基础，或者说，以不证自明的价值为基础。很清楚，以客观性原理作为真正知识的条件的论断，构成了一种伦理学的选择，而不是构成从知识得出的判断，因为根据客观性假设自己的用语来说，在这种随意选择以前，是不可能有任何一种“真正”的知识的。

为了确立知识的规范，客观性原理规定了一种价值，即客观知识本身构成了一种价值。于是，在赞同客观性原理的人当中，就有人宣称他坚持一种伦理学系统的基本陈述，而有人则主张知识的伦理学。

知识的伦理学

所以我们可以说，知识来源于对原始价值的伦理选择。也正由于此，所以知识的伦理学根本不同于万物有灵论的伦理学，后者声称它是以宗教的或"自然的"内在规律的"知识"为基础，并假定这些规律是有权支配人类的。但知识的伦理学并不把自身强加于人；恰恰相反，正是人把它指派给人自身，正是人把它作为一切议论和一切行动的真实性的不证自明的条件。笛卡儿的《方法论》提出了一种规范的认识论，但我们首先还必须把它当作一本道德沉思录和精神训练的课本来阅读。

真实的议论转过来奠定了科学的基础，并把在今天既是有利于、同时又是有害于人类的巨大力量，送回到人类掌握之中。通过科学而结合起来的、以科学的成果为其生存和成长条件的现代社会，它依赖于科学的程度正好像服药成瘾的人离不开药物那样。现代社会把自己所享有的一切物质手段，统统归功于作为知识基础的这种伦理学，而把自己的道德上的观点，则归罪于已被知识本身所破坏了的但同自己仍然有关的那些价值系统。矛盾是无法调和的。就好比是在挖掘捕兽的陷阱时，我们却发现这个洞竟是挖在我们自己的脚下。创造现代世界的知识伦理学，是惟一适合于现代世界的伦理学；我们一旦理解和接受它以后，我们就将发现它是惟一能指导现代世界进化的伦理学。

它能够被理解和接受吗？如果真是像我所认为的那样，对孤寂的恐惧和对一种完备的、有约束力的解释的需要，都是来自先天的——就是说，这种远古万世遗留下来的遗产不仅是文化的遗产，或许也是遗传的遗产——那么，人们可以设想一下，这样一种严格、抽象而又高傲的伦理学能不能消除那种恐惧、满足那种需要呢？对此，我只能回答：我不知道。但也许这不是绝对不可能的。知识伦理学所无法提供的也许不止是一种解释，而是人类跳出自我的圈子的热切希望。伟大的社会主义梦想之所以能持久地存在于人们的心坎上，就是暗示着这种希望是存在的。可以说没有一种价值系统构成了一种真正的伦理学，除非它提出了这样一种理想：如果有必要，就摆脱个人和自我的羁绊，甚至到达勇于作自我牺牲、并以自我牺牲为理所当然的境界。

由于知识伦理学的极其崇高的抱负，它也许可以满足人类朝某种方向前进的冲动。它显示了一种超越的价值和真正的知识，并诱导人们不是为了谋私利才去运用它，而是要人们根据审慎和自觉的选择去为它服务。同时，它也是一种人道主义，因为在人们中间，只有那种超越价值的创造者和具有真正知识的人，才受到知

识伦理学的尊重。

在某种意义上来说，知识的伦理学也是“伦理学的知识”，它是对生物的需求和限度、冲动和激情的一种高明的估价。它比较对照了动物和人，不是把人看作是无意义的，而是看作奇特的；之所以是奇特的，那是因为人同时属于动物界和观念界。人被这种对立的二重性搞得既烦恼异常，又生活得越来越充实，就像在艺术和诗文中以及在人类之爱中所表明的那样。

反之，万物有灵论体系一定会在某种程度上无视、诽谤或吓唬生物学的人，并向他灌输对自己的动物本性所固有的某些性质的嫌恶和恐惧。另一方面，知识伦理学则鼓励他去尊重并承受这份遗产，并懂得在必要时如何去控制它和支配它。至于人类的高贵品质如勇敢、利他主义、宽厚豁达、创造性的雄心壮志等，知识伦理学既承认它们的社会生物学的起源，又肯定它们服务于它所规定的理想事业的崇高价值。

作者简介略。

文献来源：莫诺《偶然性和必然性——略论现代生物学的自然哲学》，赵寿元、全增嘏译校，上海人民出版社 1977 年版，第九章（第 126－135 页）。标题为编者所加。

物理学与东方神秘主义

卡普拉

东方的宗教哲学涉及永恒的神秘主义知识，这是一种超出了理性的范围，无法用语言适当地表述的知识。这种知识与近代物理学的关系只不过是它的许多方面之一，这一个方面和其他方面一样，也无法明确地说明，而只能靠直觉去体验。因此，我所希望达到的目的，在某种程度上，与其说是作严格的说明，不如说是使读者有机会不时地重温一种体验；对于我来说，它已成为乐趣和灵感的不竭源泉，这种体验就是，近代物理学的主要理论所导致的宇宙观与东方神秘主义的观点有内在的一致性，并且完全互相协调。

对于那些已经体验到这种和谐性的人来说，物理学家与神秘主义者宇宙观的相似性是毫无疑问的。于是，他们感兴趣的问题就不是这些相似性是否存在，而是它们为什么存在，以及它们的存在意味着什么。

人们在试图了解人生的奥秘时，采用了多种不同的方法，有科学家的方法、神秘主义者的方法，以及许多其他方法，包括诗人的、儿童的、愚昧无知的人的和巫师的方法，等等，不胜枚举。这些方法产生了对世界的描述，包括言词的和非言词的描述。它们强调着不同的方面，在各自的产生和发展中都是有根据和有作用的。但是，它们都只是对实在的描写或表述，因此带有局限性，其中没有一种方法能够给出世界的完整图像。

经典物理学机械论的宇宙观对于描写我们在日常生活中所遇到的那类物理现象来说是有用的，所以也适用于研究我们的日常环境。现在已经证实，对于作为技术的基础来说，它是极为成功的，然而却不适于用来描写亚微观领域的物理现象。与机械论的宇宙观相反，神秘主义者的宇宙观可以用“有机的”这个词来概括，因为它把宇宙中一切现象都看成是一个不可分割的和谐整体的组成部分。这种宇宙观是在神秘主义的传统中，从沉思的意识状态产生的。神秘主义者在描写世界时所用的概念来自这些不寻常的体验。因此，一般说来，它不适于对宏观现象作科学的

描述。在一个人满为患的世界上，这种有机的宇宙观无论是对于建造机器，还是对于解决技术问题来说，都没有什么帮助。

于是在日常生活中，机械论的和有机的宇宙观都是正确而有用的，前者用于科学和技术，后者则用来使精神生活充实和保持平衡。然而，超出了我们的日常环境之外，机械论的概念就失去了它们的正确性而不得不代之以有机的概念，这种有机的概念与神秘主义者所采用的概念十分相似。这就是近代物理学的主要经验，也是我们已经讨论的主题。20 世纪的物理学表明，有机的宇宙观虽然对于人类尺度上的科学和技术来说意义不大，但是在原子和亚原子层次上却是极为有用的。因此，有机的观点看来要比机械论的观点更为基本。经典物理学所依据的是后者，量子理论则隐含着前者；可以从量子理论推导出经典物理学，然而却不可能从经典物理学推导出量子理论。这一点似乎初步地说明了，为什么我们可以预期近代物理学的宇宙观与东方神秘主义的宇宙观相似。这两种宇宙观都是在我们探究事物的本质时产生的，当我们在物理学中研究更深的物质领域，在神秘主义中研究更深的意识领域，也就是当我们在日常生活表面的机械外貌的背后发现有一个不同的实在时产生的。

物理学家与神秘主义者研究问题的具体方法虽然不同，但是在其他许多方面相似。当我们回想起这一点时，他们的观念之间的相似性就显得更为可信了。首先，他们的方法都是纯经验的。物理学家们从实验中获得知识，神秘主义者则通过沉思下的顿悟。这两种方法都是观察，他们都认为观察是知识的惟一来源。在这两种情况下，观察的对象当然十分不同。神秘主义者在不同的层次上内观和探究自己的思想意识，并且把身体当作精神的有形的体现而包括在内。事实上，在许多东方的传统中都强调个人身体的感受，并且常常把它看作是对世界的神秘主义体验的关键。在我们健康的时候，不会感觉到自己身体里任何个别的部分，而只知道它是一个完整的整体，这种认知产生着一种幸福和愉快的感觉。同样地，神秘主义者意识到整个宇宙的整体性，并把它当作自己身体的外延来体验。用噶文达喇嘛的话来说：

> 觉悟了的人……的意识领会着宇宙，对于他来说，宇宙成为他的“身体”，他有形的身体成为宇宙精神的体现，他内心的想像表现着最高的实在，而他的话语则表达着永恒真理和彻悟的力量。①

与神秘主义者相反，物理学家从研究物质世界着手来探索事物的本质。他越深入物质世界，就越认识到一切事物在本质上的统一。不仅如此，他还认识到，他

---

① Lama Anagarika Govinda, *Foundations of Tibetan Mysticism*, p. 225.

自己和他的意识都是这个统一体的部分。这样，神秘主义者和物理学家得出了同样的结论，前者从内部世界出发，后者则从外部世界出发。他们在观点上的和谐一致，进一步证实了古代印度人的智慧：外部的终极实在，即“梵”，与内部的终极实在，即“大我”，是同一的。

物理学家与神秘主义者所用方法的相似性，还在于他们进行观察的领域都是普通的知觉达不到的；在近代物理学中是原子和亚原子世界的领域，在神秘主义中则是超越了感觉世界的、不寻常的意识状态。神秘主义者常常谈论对更高维的体验，意识的不同中心在其中结合成一个和谐的整体。近代物理学中也存在着类似的情况，发展了一种四维时空的表达方式。它把普通三维世界中属于不同范畴的概念和观察结果统一起来。在这两个领域中，多维的经验都超越了感觉的世界，因而几乎不可能以普通的语言来表达。

我们看到，近代物理学和东方神秘主义的方法初看起来似乎完全没有联系，但是实际上却有许多共同之处。因此，他们对世界的描述有着惊人的相似性是不太令人感到意外的，一旦承认了西方科学与东方神秘主义之间的这些相似性，就产生了一些有关它们的含义的问题：现在科学虽然用了许多很复杂的仪器，是否只不过是重新发现了东方的贤哲们几千年前就已经知道了的古代智慧？物理学家们是否因此就应当抛弃科学的方法而开始沉思？科学与神秘主义是否互相影响，甚至合而为一？

我认为所有这些问题的答案都是否定的，并且认为科学和神秘主义是人类精神两种互补的表现，一种是理性的天赋，另一种是直觉的天赋。近代物理学家通过理性智能极端的专门化去体验世界，而神秘主义者则通过直觉智能极端的专门化去体验世界。这两条途径完全不同，它们所涉及的，要比某一种物质观丰富得多。然而，我们在物理学中得知二者是互补的。它们既没有哪一个包含另一个，也没有哪一个可以归结为另一个，对于更充分地认识世界来说，二者都是必要的和互补的。有一句古代中国格言的大意是：神秘主义者了解“道”的根本，而不是它的枝节；科学家则了解它的枝节，而不是它的根本。科学不需要神秘主义，神秘主义也不需要科学，但是人们却需要这二者。神秘主义的体验对于认识事物最深刻的本质来说是必要的，而科学则对于现代生活来说是必要的。因此，我们所需要的并不是神秘主义直觉与科学分析的综合，而是它们之间动态的相互作用。

我们的社会迄今尚未达到这一点。用中国的词汇来说，目前我们的观念过分偏重于“阳”，过分富于理性、男性和进取性。科学家们本身就是典型的例子。虽然他们的理论导致了与神秘主义者相似的宇宙观，然而令人惊讶的是，这对于大部分科学家的观念的影响却是多么地微弱。按照神秘主义的观点，知识是无法与一定的生活方式分开的，后者生动地体现着前者。要获得神秘主义的知识就意味着要进行一种变革。甚至可以说知识就是这种变革。但是科学知识往往停留在抽象和

理论上。因此，大部分当代的物理学家似乎并没有认识到自己的理论在哲学、文化和精神方面的含义。他们之中许多人在积极地支撑着一个仍然以机械论的，不完整的宇宙观为基础的社会，却无视于科学正在超越这种宇宙观而朝着宇宙整体性的观点发展。在宇宙整体中不仅包含着我们的自然环境，而且也包含着人类自身。我认为，近代物理学所含有的宇宙观与我们当前的社会是不协调的，这种社会并没有反映出我们在自然界中观察到的那种和谐的相互联系。要达到这样一种动态平衡的状态，就需要一种根本不同的社会和经济结构，需要一次真正的文化革命。整个人类文明的延续，可能就取决于我们能否进行这种变革，归根结底，取决于我们对东方神秘主义某些"阴"的观点的接受能力，体验自然界的整体性的能力，以及与之和谐地共存的才艺。

作者简介：F. 卡普拉(Fritjof Capra)，美国当代理论物理学家，卓有影响的系统论思想家和绿色思想家，著有《物理学之"道"——近代物理学与东方神秘主义》(1975 年版)、《转折点》(1982 年版)、《非常智慧》(1988 年版)、《生命之网》(1996 年版)和《隐蔽的联结》(2002 年版)。

文献来源：卡普拉《物理学之"道"——近代物理学与东方神秘主义》，朱润生译，北京出版社 1999 年版，后记(第 292－296 页)。标题为编者所加。

9 科学与宗教 ≫

我的宗教观

达尔文

在这两年中[①]，我被引导着对宗教问题进行了很多思考。当我在“贝格尔舰”上的时候，我持有十分正统的宗教观念。我记得，我曾引用《圣经》作为不可反驳的依据来说明一个道德问题，有几位军官为此而哈哈大笑（虽然他们的宗教观念也是正统的）。我猜想使他们发笑的原因是那个论点的新奇性。但在这一时期，即1836年到1839年，我逐渐看明白了“旧约”比印度教徒的圣书和野蛮人的信仰并没有更值得相信的地方。（这是由于《圣经》明显地伪造了世界历史、通天塔以及把虹作为一种征兆等等，等等，这还由于它使人感到上帝是一个善于报复的暴君。）以后，这个问题继续出现在我的思想中，并且不能把它赶走——如果上帝现在对印度教徒作一次启示，允许把这种启示同对毗瑟奴[②]、湿婆[③]的信仰联系起来，就像把基督教同旧约联系起来那样，这是可信的吗？据我看，这是完全不可信的。

我们可以进一步地想到，必须有明显的证据才能使一个精神健全的人相信那些支持基督教的奇迹；我们越是认识自然界的固定法则，奇迹就变得越不可信；古代的人们是那么无知和轻信，简直达到了我们几乎不能想像的程度；人们不能证明《新约四福音书》是随着事件的发生而同时写在的；这些事件的许多重要细节都记述得不符合真相，据我看，这些细节是太重要了，以致我们不能承认它们是目击者的通常错误。我提出这些想法，并不是由于它们有什么新奇性或价值，只是因为它们影响了我，通过这些想法，我逐渐变得不相信基督教是一种神的启示。有许多虚假的宗教像野火般地传播到了地球上的大部区域，这个事实对我是重要的。（“新

---

① 1836年10月至1839年1月。——F.达尔文

② Vishnu，印度三大神之一。——译者注

③ Siva，婆罗门教和印度教主神之一，即破坏神、恶神。——译者注

约”在伦理方面写得是漂亮的，但几乎无法否定它的完整性是靠隐喻和寓言所做的部分解释来完成的。）

但是我很不愿意放弃我的信仰；我确实有着这样的感觉，因为我记得很清楚，我一次又一次地堕入幻想，好像是在庞贝[①]或其他地方发现了著名的罗马人彼此间来往的旧信和手稿，这些东西会以最动人的方式来证实《新约四福音书》中所写的一切。但是，如果对于我的幻想不加任何限制的话，我觉得我就更加难以找出足以说服我的证据。因此，怀疑以一种很慢的速率在我的心中滋长着，但最后还是完成了。速率是那样的慢，以致我没有感到什么痛苦。（而且此后我连一秒钟也没有怀疑过我的结论是正确的。的确，我简直看不出人们怎么应该相信基督教是正确的；如果人们是这样相信的话，那是因为《圣经》的经文似乎明显地表示了凡是不信仰基督的人们，其中包括我的父亲、兄弟以及几乎一切我的最好朋友，都要永世受到惩罚。这是一种该死的教义[②]。）

在我一生中相当晚的一个时期以前，我没有多想过一个具有人性的上帝的存在问题，虽然如此，我还要在这里举出我被迫得出的一些模糊结论。从前，佩利根据自然界中的设计而举出的那个陈旧论点，对我似乎是非常有说服力的，现在这个论点已失去了它的效力，因为人们已经发现了自然选择的法则。我们再也不能这样论证：譬如说，一种双壳类的美丽铰合都一定是由一个有智慧的神创造的，就像门上的铰链是由人创造的那样。生物的变异性和自然选择作用中的设计似乎并不比风向中的设计为多。（自然界中的每一事物都是固定法则的结果。）我已在我的《动物和植物在家养下的变异》一书的末尾讨论了这个问题[③]，就我所知，那里所举的论点从未遭到过任何反驳。

但是，避开各处都可以遇得到的那些无穷的美丽适应性不谈，人们可以发问，对于世界上的一般都是仁慈的安排这一点，又该如何解释呢？有些作者确是因为

---

① 被火山灰埋没了的意大利古城。——译者注

② 达尔文夫人对这一段亲手写了批注。她写道：“我不喜欢发表括弧里的这一段。在我看来这一段是不成熟的。对不信仰基督就要受到永世惩罚这一教义，不必说得那样过于严重——但现在很少有人称其为‘基督教’了（虽然还写着这样的话）。这里还有口头上的神灵启示问题。艾玛·达尔文。”1882 年 10 月。这个批注于她丈夫死后半年写在弗郎西斯第二次亲笔手抄本上的。这一段当时未得发表。——巴洛

③ 我父亲问道：“人们把从悬崖上滚下来的岩石碎块制成所需要的形状和大小以建造房屋，我们是否应当相信碎块的形状是上帝预先注定的呢。如果不应当这样相信，那么为什么我们要相信家养动物或栽培植物的变异是为了饲养家的缘故而被上帝预先注定了呢？”“但是，如果我们在这一种情形下放弃了这个原则，……我们便没有丝毫理由去相信变异是受了有意的和特别的引导；自然界的变异也是一样的，都是同样的一般法则的产物，变异是世界上最善于适应的动物（包括人类在内）通过自然选择而被形成的基础”。——《动物和植物在家养下的变异》，第 1 版，第 2 卷，431 页。——F. 达尔文

世间痛苦太多而深受感动，所以他们怀疑——如果我们注意一下一切有感觉的生物——究竟是痛苦多呢，还是快乐多呢？这个世界从整体来看，究竟是善的呢，还是恶的呢？依照我的意见，快乐无疑是占优势的，虽然这点是很难证明的。如果这一结论的真实性被人承认了，它同我们预料中的自然选择的效果是非常一致的。如果一个物种的一切个体惯常地遭受极端的痛苦，那么它们就会放弃传续它们的种族；但是我们没有理由去相信这种事曾经发生过，也没有理由相信至少是时常发生过。再者，一些其他考虑使我们产生了一种信念：一切有感觉的生物的形成，按照一般规律来说，是为了享受快乐。

我相信，一切生物的肉体器官和心理器官（对具有者既无利又无害的器官除外）是通过自然选择或适者生存，再加上使用或习性的作用[①]而发展起来的；每一个也这样相信的人都会承认，这些器官之所以形成是由于具有这等器官的生物因此能够同其他生物胜利地进行竞争，并且增加了它们的数量。于是，一种动物可能被苦痛如疼痛、饥渴和恐惧，或是被快乐如吃、喝、物种的繁殖等等，或是被两种方式的混合体如寻找食物，而被引导着去遵循一种对自己种族最有利的方式进行活动。但是如果长期继续下去，任何种类的痛苦或苦难都会引起精神上的沮丧并且会减少活动的能力，但这十分适于使一个生物保护自己免受任何重大的或骤然的损害。另一方面，愉快感觉可以长期继续下去而不起任何降低情绪的作用；相反地，它会刺激整个系统增加活动。因此，已经发生的事情是这样，大多数或一切有感觉的生物都是通过自然选择而发展起来的，因而愉快的感觉也就惯常地成为它们的指南。我们可以在下列的一些愉快感中看到这点：从劳动得到的愉快，甚至从高度的体力劳动或脑力劳动偶尔得到的愉快，从每日三餐中得到的愉快，特别是从交际和爱慕我们的家庭得到的愉快。这些愉快是习以为常的，或是时常重现的；我相信，这些愉快的总和使大多数有感觉的生物所得到的快乐超过了所得到的痛苦，虽然有许多生物偶尔遭受了很多痛苦。这种苦痛同自然选择的信念是十分一致的，自然选择在其作用上并不是尽善尽美的，但它的趋势仅是使每一个物种在同其他物种的生活斗争中，在非常复杂的变化多端的环境中尽可能地取得胜利。

世界上存在着大量的苦难是一件公认的事实。有些人曾企图从人类方面来解释这点，他们幻想苦难有改进人类道德的作用。但是同一切其他有感觉的生物相比，世界上人类的数目是非常微小的，而这些生物常常遭受巨大苦难却没有得到任何道德上的改进。（一种生物如此强有力而且如此富有知识，像能够创造宇宙的上帝那样，以我们有限的智力看来，它是全能和全知的，而且同我们的理解相反，他的仁慈并非无限的，因为，千百万低于人类的动物在几乎无尽的时间里所遭受的痛苦

---

① “再加上使用或习性的作用”这一句是以后补充进去的。对这一句话做过多次修改和变动，说明他对自然选择以外发生作用的其他力量的可能性日益注意到了。——巴洛

对它们有何利益可言呢?)这个古老的论点——根据痛苦的存在来反对一个有智慧的神的存在——在我看来似乎还是一个有力的论点;况且刚才已经说过了,大量痛苦的存在和一切生物通过变异与自然选择而发展起来的观点是非常一致的。(但无可怀疑的是,印度教徒、回教徒以及其他教派的教徒都可以按照同样的方式和同等说服力主张一神或多神的存在,或者像佛教徒那样,主张无神的存在。还有许多野蛮的部族,没有任何道理可以说他们是信仰我们所谓的那个上帝的:其实他们所信仰的是灵魂或鬼,正如泰勒和赫伯特·斯潘塞所阐明的,这正可以解说这样一种信仰可能是如何发生的。)

今天,关于一个有智慧的神的存在的最常用的论点,是从大多数人的内心深处的信念和情感引出来的。

从前,类似刚才说过的那种情感曾使我(虽然我认为宗教情感在我心中从未有过强烈的发展)坚信上帝的存在以及灵魂的永生。我在《航海日记》中写道,当站在一处宏伟壮观的巴西森林之中时,"惊奇、赞美和对神的崇敬这些比较高尚的情感便充满了并且鼓舞了一个人的思想,把这些情感充分地描写出来简直是不可能的事"。我记得很清楚,我曾相信人类不仅有肉体的呼吸,其中还有更多的东西。但是现在最壮丽的风景也不会在我心中引起这样的信念和情感了。我可以老老实实地说,我好像是一个患了色盲症的人,但人们普遍地相信红色是存在的,这把我现在的失去视觉作为证据就毫无价值了。如果所有种族的人都在内心中同样地相信有一位上帝存在,那么这大概是一个有效的论点。但我们知道情形远非如此。所以作为某种东西确实存在的证据来说,我看不出这种内心的信念和情感有什么分量。伟大的风景从前曾在我的心中激起了一种与相信神的存在有密切关系的心情,这种心情同通常所称的那种崇高感觉并没有本质上的差别;不论解释这种感觉的来源是如何困难,我们也不能把它提出来当作支持上帝存在的论点,这种感觉同音乐所激起的那种强烈而模糊的类似情感并没有什么两样。

关于永生的问题,我看到这种信仰是非常强烈而且几乎是直觉的,使我最能看清这点的莫过于大多数物理学家现在所持的观点,他们认为,除非确有某种巨大的物体冲进了太阳,因而把新的生命赋给了它,太阳和所有的行星将来都会变得过于寒冷以致不适于地球上生物的生存。既然像我相信的那样,在遥远的将来,人类会变成比现在更加完善的生物;那么还要说人和一切其他有感觉的生物经过了这种长期继续的缓慢进步以后,注定还要遭受完全毁灭,这简直是一种不可容忍的思想。有些人完全承认人的灵魂是永生的,对这些人来说,世界的毁灭不会显得十分可怕。

相信上帝存在的另一个起源是同理智有关而同情感无关的,我认为这种信念有更大的分量。这种信念的产生,是因为非常难以或者应该说不可能把这个伟大而奇异的宇宙,包括具有高瞻过去远瞩未来的能力的人类,看作是从盲目机会或需

要中产生出来的，当这样想时，我就感到我被迫去指望有一位神，他在某种程度上具有类似人类的聪慧头脑；于是我值得被称为有神论者了。

就我所能记忆的来说，大约在我写《物种起源》一书的时候，这个结论在我的思想中是强有力的；可是从那时起，它以非常缓慢的速度，通过许多波动，而变得较为微弱了。但是，这时出现了一个疑问：如我充分相信的那样，人类的头脑是由一个类似最低等动物的低级头脑发展出来的，不过做出这样伟大的结论时，这种想法能够得到人们的信任吗？（这些信仰也许不是根据因果关系做出来的，大概是仅仅根据遗传的经验做出来的吧？我们千万不要低估下述可能性，即，把一种对上帝的信仰向孩子思想中反复灌输，这对他们尚未充分发育的头脑将会产生一种非常强烈的、也许是遗传的效果，以致他们很难放弃对上帝的信仰，这正如一个猴子很难放弃对蛇的本能的恐惧和厌恶一样[①]。）

我不能假装可以对深奥的问题作一点最低限度的解释。万物肇始的奥秘不是我们所能解决的；人们必须满足做一个不可知论者，我就是这些人中的一个。

作者简介：查尔斯·达尔文(Charles Darwin，1809－1882)，英国生物学家，进化论的创立者，著有《物种起源》(1859 年版)、《人类的由来及其性选择》(1871 年版)等。科学出版社于 1994－1998 年间陆续出版了《达尔文进化论全集》共 13 卷，其中第 1 卷是《达尔文自传与书信集》，第 2 卷是《贝格尔舰环球航行记》，第 3 卷是《物种起源》。

文献来源：弗朗西斯·达尔文编《达尔文自传与书信集》(上册)，叶笃庄、孟光裕译，科学出版社 1994 年版，第二章(第 65－71 页)。标题为编者所加。

---

① 这一段是以后补充进去的。艾玛·达尔文给弗兰克写信叫他把这一段删去，当时他正在编《自传》(1885)。原信如下：

"艾玛·达尔文给他儿子弗朗西斯的信(1885 年)。

亲爱的弗兰克：

我非常希望把《自传》中的这一句话删掉，毫无疑问，这部分地因为你父亲关于所有道德都是由于进化而发展起来的意见对我来说是痛苦的，这还因为如果不删去这句话，将会使人感到震惊——并且使人乘机去说(虽然这是不公平的)他认为一切精神信仰并不高于遗传的好恶，譬如说猴子对蛇的恐惧。如果把这句臆测的话的第一部分留下，而不举猴子和蛇的例子来证明，我想就不至于出现失礼的情况。我以为你没有必要去同威廉商量是否删掉这句话，因为这并没有改变《自传》的全部要旨。我希望，如果可能的话，要避免使你父亲的信仰宗教的朋友们感到痛苦，他们都深深地爱慕他，我以为这句话会对他们是个打击，甚至对埃伦·托利特和劳拉那样具有自由主义思想的人们也会如此，对沙利文海军上将、卡罗琳伯母等人更要厉害，即使对那些老仆人也会一样。

埃玛·达尔文

这封信载于 H. 利奇菲尔德编的《艾玛·达尔文》，这是剑桥大学出版部 1904 发行的内部版本。1915 年约翰·默里书店公开发行的版本没有载入这封信。——巴洛

宗教同科学不可和解吗?[①]

爱因斯坦

宗教同科学之间真正存在着不可克服的矛盾吗?宗教能被科学代替吗?多少世纪以来对这两个问题的回答曾引起不少的争论,事实上还引起了残酷的斗争。但照我自己的见解,无可怀疑的是,对这两个问题作冷静的考虑只能得出否定的答案。可是使答案复杂化的是:虽然大多数人对于"科学"的意义是什么,容易取得一致的意见,但是对"宗教"的意义的看法却多半是各不相同的。

对于科学,就我们的目的来说,不妨把它定义为"寻求我们感觉经验之间规律性关系的有条理的思想"。科学直接产生知识,间接产生行动的手段。如果事先建立了确定的目标,它就导致有条理的行动。至于建立目标和作出对价值的陈述则超出了它的作用的范围。科学从它掌握因果关系这一点来说,固然可以就各种目标和价值是否相容作出重要的结论,但是关于目标和价值的独立的基本定义,仍然是在科学所能及的范围之外。

至于宗教,则相反,大家一致认为:它所涉及的是目标和价值,并且一般地也涉及人类思想和行动的感情基础,只要这些不是为人类的不可改变的遗传下来的本性所预先决定了的。宗教关系到人对整个自然界的态度,关系到个人生活和社会生活理想的建立,也关系到人的相互关系。宗教企图达到这些理想,它所用的办法是对传统施以教育的影响,并且发展和传布某些容易被接受的思想和故事(史诗和神话),这些思想和故事都适宜于按照公认的理想来影响价值和行动。

正是宗教传统的这种神秘的内容,或者更确切些说,这种象征性的内容,可能会同科学发生冲突。只要宗教的这套观念包含着它对那些原来属于科学领域的论题所作的一成不变的教条式陈述,这种冲突就一定会发生。因此,为了保存真正的宗教,最重要

---

① 这是爱因斯坦给纽约"自由牧师俱乐部"的回信,发表在《基督教纪录报》(*The Christian Register*)127卷(1948年),6月号,第19页。——原编者注

的是要避免在那些对实现宗教的目的实际上并非真正必要的问题上引起冲突。

当我们考查一下各种现存的宗教，撇开它们的神话，而只看它们的基本实质时，我就觉得它们彼此之间，并不存在根本的区别，像“相对主义”或者传统理论的倡导者所要我们相信的那样。这本来是没有什么可奇怪的。因为一个受宗教支持的民族的道德态度，总是以保护和促进集体及其个人的心智健全和精力充沛为其目的，否则，这个集体必然要趋于灭亡。一个以虚伪、诽谤、欺诈和谋杀为光荣的民族，一定是不可能维持很久的。

但是在碰到了特殊的情况时，要明确地决定什么是值得想望的，什么是应当戒绝的，倒不是一件容易的事，正像我们很难决定，成为一幅好的绘画或者一首好的乐曲的究竟是什么一样。这些东西用直觉去感觉也许要比用理性去理解更加容易一点。同样地，人类道德上的伟大导师，在某种意义上也可以说是生活艺术中的艺术天才。在那些直接出自保护生命和免除不必要苦痛的动机而提出来的最基本的箴言以外，还有一些别的箴言，虽然从外表来看还不能同那些基本箴言相提并论，但我们还是要给它们以很大的重视。比如说，在为了达到真理和接近真理就必须在工作上和幸福上作出很大的牺牲时，还应不应当无条件地去追求真理呢？有很多这样的问题，它们从理性的立场看来是不容易回答的，或者是根本无法回答的。然而我还是不认为所谓“相对主义”的观点是正确的，即使在对待比较难以捉摸的道德问题的决定时也如此。

即使是从这些最基本的宗教要求的观点来考查今天文明人类的实际生活情况，人们对自己所看到的东西也必定会深深感到苦痛的失望。虽然宗教规定在个人之间和团体之间都应当兄弟般地相亲相爱，但实际景象倒更像一个战场，而不像一个管弦乐队。在经济生活和政治生活中，到处都是以牺牲自己的同胞来无情地追逐名利为指导原则。这种竞争精神甚至流行在学校里，它毁灭了人类友爱和合作的一切感情，把成就看作不是来自对生产性和思想性工作的热爱，而是来自个人的野心和对被排挤的畏惧。

有些悲观主义者认为这种状况是扎根于人类本性中的；提出这种观点的人是真正宗教的敌人，因为他们由此暗示宗教的教义是乌托邦的理想，不配用来指导人类的事务。但是关于某些所谓原始文化的社会范式的研究，似乎已足以证明这种失败主义的观点是完全站不住脚的。谁要是关心这个在宗教本身的研究中具有决定意义的问题，不妨去读一下鲁思·本尼迪克特（Ruth Benedict）[①]的《文化的范

① 鲁思·本尼迪克特（1887—1948），美国女人类学家。她著的《文化的范式》，是人类学、社会学、心理学和哲学综合研究的结果，1934年出版。她于1946年出版的《菊花和军刀：日本文化的范式》（*The Chrysanthemum and the Sword: Patterns of Japanese Culture*）一书对战后美国对日政策的制定有重大影响。——原编者注

式》(*Patterns of Culture*)这本书中关于普韦布洛印第安人[①]的描写。在最困难的生活条件下,这个部落显然完成了艰巨的任务,把它的人民从竞争精神的灾难中解救了出来,并且在部落里培养了一种有节制的、合作的生活方式,在那里没有外界压力,也没有任何剥夺幸福的行为。

这里提出的对宗教的解释,意味着科学对宗教态度的一种依存关系,在我们这个物欲主义占优势的时代,这种关系真是太容易被忽视了。固然科学的结果是同宗教的或者道德的考虑完全无关的,但是那些我们认为在科学上有伟大创造成就的人,全部浸染着真正的宗教的信念,他们相信我们这个宇宙是完美的,并且是能够使追求知识的理性努力有所感受的。如果这种信念不是一种有强烈感情的信念,如果那些寻求知识的人未曾受过斯宾诺莎的"对神的理智的爱"(*Amor Dei Intellectualis*)的激励,那么他们就很难会有那种不屈不挠的献身精神,而只有这种精神才能使人达到他的最高的成就。

作者简介略。

文献来源:《爱因斯坦文集》第3卷,许良英、赵中立、张宣三编译,商务印书馆1979年版,第253—256页。沿袭原有标题。

① "普韦布洛"(Pueblo)是西班牙语"村落"的译音,这里是指以农村公社形式定居的从事农业的印第安部落,以区别于那些比较不开化的流动的印第安人部落。他们居住在砖坯或石块砌成的公屋里,过的是原始共产主义生活。目前主要分布在美国新墨西哥州格兰德河(Rio Grande)两岸。——原编者注

科学和宗教[①]

爱因斯坦

要我们对什么是科学得出一致的理解，实际上并不困难。科学就是一种历史悠久的努力，力图用系统的思维，把这个世界中可感知的现象尽可能彻底地联系起来。说得大胆一点，它是这样一种企图：要通过构思过程，后验(posterior)[②]地来重建存在。但我要是问自己，宗教是什么，我可就不能那么容易回答了。即使我找到了一个可能在这个特殊时刻使我满意的答案，可是我仍然相信，我决不可能在任何情况下都会使所有对这个问题作过认真考虑的人哪怕在很小程度上表示同意。

因此，我想先不去问宗教是什么，而宁愿问，一个我认为是信仰宗教的人，他的志向有哪些特征：在我看来，一个人受了宗教感化，他就是已经尽他的最大可能从自私欲望的镣铐中解放了出来，而全神贯注在那些因其超越个人的价值而为他所坚持的思想、感情和志向。我认为重要的在于这种超越个人的内涵的力量，在于对它超过一切的深远意义的信念的深度，而不在于是否曾经企图把这种内涵同神联系起来，因为要不然，佛陀和斯宾诺莎就不能算是宗教人物了。所以，说一个信仰宗教的人是虔诚的，意思是说，他并不怀疑那些超越个人的目的和目标的庄严和崇高；而这些目的和目标是既不需要也不可能有理性基础的。但是它们的存在同他自己的存在是同样必然的，是同样实实在在的。在这个意义上，宗教是人类长期的事业，它要使人类清醒地、全面地意识到这些价值和目标，并且不断地加强和扩大它们的影响。如果人们根据这些定义来理解宗教和科学，那么它们之间就显得不可能有什么冲突了。因为科学只能断言“是什么”，而不能断言“应当是什么”，可是在它的范围之外，一切种类的价值判断仍是必要的。而与此相反，宗教只涉及对人

---

① 这是爱因斯坦于1940年9月间在美国“科学、哲学和宗教同民主生活方式的关系讨论会”第一届会议上所作的发言，讲稿最初发表在该讨论会所出版的文集《科学、哲学和宗教》(*Science, Philosophy and Religion*，纽约，1941年版)上。——原编者注

② “后验”是指从结果或经验事实推出原因或原理，同“先验”相对立。——原编者注

类思想和行动的评价：它不能够有根据地谈到各种事实以及它们之间的关系。依照这种解释，过去宗教同科学之间人所共知的冲突则应当完全归咎于对上述情况的误解。

比如，当宗教团体坚持《圣经》上所记载的一切话都是绝对真理的时候，就引起了冲突。这意味着宗教方面对科学领域的干涉，教会反对伽利略和达尔文学说的斗争就是属于这一类。另一方面，科学的代表人物也常常根据科学方法试图对价值和目的作出根本性的判断，这样，他们就把自己置于同宗教对立的地位。这些冲突全都来源于可悲的错误。

然而，尽管宗教的和科学的领域本身彼此是界线分明的，可是两者之间还是存在着牢固的相互关系和依存性。虽然宗教可以决定目标，但它还是从最广义的科学学到了用什么样的手段可以达到它自己所建立起来的目标。可是科学只能由那些全心全意追求真理和向往理解事物的人来创造。然而这种感情的源泉却来自宗教的领域。同样属于这个源泉的是这样一种信仰：相信那些对于现存世界有效的规律能够是合乎理性的，也就是说可以由理性来理解的。我不能设想一位真正的科学家会没有这样深挚的信仰。这情况可以用这样一个形象来比喻：科学没有宗教就像瘸子，宗教没有科学就像瞎子。

虽然我在上面曾经断言宗教同科学之间实在不可能存在什么正当的冲突，但我还是必须在一个重要地方再一次对这个断言作一点保留，那就是关于历史上宗教的实际内容。这种保留必然同上帝的概念有关。在人类精神进化的幼年时期，人的幻想按照人自己的样子创造出了各种神来，而这些神则被认为通过它们意志的作用在决定着，或者无论如何在影响着这个现象世界。人们企求借助于巫术和祈祷来改变这些神的意向，使其有利于他们自己。现在宗教教义中的上帝观念是古老的神的概念的一种升华。比如，人们用各种祈祷来恳求所信奉的神明的援助，以求得满足他们的愿望，这一类事实就说明了这种上帝观念的拟人论的特征。

肯定不会有人否认，这个认为有一个全能、公正和大慈大悲的人格化了的上帝存在的概念，能给人以安慰、帮助和引导。因为这个观念比较简单，它也容易被最不开化的心灵所接受。但是另一方面，这种观念本身有它致命的弱点，这是有史以来就被苦痛地感觉到了的。这就是，如果这个神是全能的，那么每一件事，包括每一个人的行动，每一个人的思想，以及每一个人的感情和志向也都应当是神的作品，怎么可能设想在这样全能的神面前，还认为人们要对自己的行动和思想负责呢？在作出赏罚时，神会在一定程度上对它自己作出评判。怎么能够把这样的事同神所具有的仁慈和公正结合起来呢？

今天宗教领域同科学领域之间的冲突的主要来源在于人格化了的上帝这个概念。科学的目的是建立那些能决定物体和事件在时间和空间上相互关系的普遍规律。对于自然界的这些规律或者定律，要求——而不是要证明——它们具有绝对

的普遍有效性。这主要是一种纲领，而对于这种纲领在原则上是可以完成的信仰，只是建立在部分成功的基础上的。但是大概不会有谁能否认这些部分的成功，而把它们归之于人类的自我欺骗。至于我们能够根据这些定律很精密和很确定地预测一定范围内的现象在时间上的变化情况，这个事实已经深深地扎根于现代人的意识之中，即使他对这些定律的内容也许还了解得很少。他只要考虑一下这样的例子就行了：太阳系中行星的运动可以根据少数几条简单的定律，事先非常准确地计算出来。同样，尽管精确程度有所不同，但还是可能事先算出电动机、输电系统、或者无线电装置的运转方式，甚至在处理比这些还要新的事物时也是这样。

显然，当一个复杂现象中起作用的因子数目太大时，科学方法在多数情况下就无能为力了。人们只要想起天气就可知道，对于天气，甚至要作几天的预测也不可能。但没有谁会怀疑，我们这里所碰到的是这样一种因果联系，它的起因成分大体上我们是知道的。这个领域里的现象之所以在精确预测的范围之外，是因为起作用的因素的庞杂，而不是因为自然界中没有什么秩序而言。

关于生物领域里的规律性，我们所洞察到的还很不深刻，但至少也已足以使人感觉到它是受着确定的必然性的支配的。人们只要想一想遗传中有规律的秩序，以及毒物（比如酒精）对生物行为的影响就可明白。这里所缺少的仍然是对那些具有广泛普遍性的联系的了解，而不是秩序知识的本身。

一个人愈是深刻感受到一切事件都有安排好的规律性，他就愈是坚定的深信：除了这种安排好的规律性，再没有余地可让那些本性不同的原因存在。对他来说，不论是人的支配还是神的支配，都不能作为自然界事件的一个独立原因而存在着。固然，主张有一个能干涉自然界事件的人格化的上帝这种教义，决不会被科学真正驳倒，因为这种教义总是能够躲进科学知识尚未插足的一些领域里去的。

但我确信：宗教代表人物的这种行为，不仅是不足取的，而且也是可悲的。因为一种不能在光天化日之下而只能在黑暗中站得住脚的教义，由于它对人类进步有着数不清的害处，必然会失去它对人类的影响。在为美德而斗争时，宗教导师们应当有魄力放弃那个人格化的上帝的教义，也就是放弃过去曾把那么大的权力交到教士手里的那个恐惧和希望的源泉。在他们的劳动中，他们应当利用那些能够在人类自己的身上培养出来的善、真和美的力量。不错，这是一个比较困难的任务，然而却是一个价值无比的任务。[①] 在宗教导师们完成了上述的净化过程以后，他们必定会高兴地认识到：真正的宗教已被科学知识提高了境界，而且意义也更加深远了。

如果要使人类尽可能从自私自利的要求、欲望和恐惧的奴役中解放出来是宗

---

① 这种思想令人信服地表现在赫贝特·萨缪耳（Herbert Samuel）的书《信仰和行动》（*Belief and Action*）中。——原注

教的目标之一，那么科学推理还能够从另一角度来帮助宗教。固然科学的目标是在发现规律，使人们能用以把各种事实联系起来，并且能预测这些事实，但这不是它惟一的目的。它还试图把所发现的联系归结为数目尽可能少的几个彼此独立的概念元素。正是在这种把各种各样东西合理地统一起来的努力中，它取得了最伟大的成就，尽管也正是这种企图使它冒着会成为妄想的牺牲品的最大危险。但凡是曾经在这个领域里胜利前进时有过深切经验的人，对存在中所显示出来的合理性，都会感到深挚的崇敬。通过理解，他从个人的愿望和欲望的枷锁里完全解放出来，从而对体现于存在之中的理性的庄严抱着谦恭的态度，而这种庄严的理性由于其极度的深奥，对人来说，是可望而不可及的。但是从宗教这个词的最高意义来说，我认为这种态度就是宗教的态度。因此我以为科学不仅替宗教的冲动清洗了它的拟人论的渣滓，而且也帮助我们对生活的理解达到宗教的精神境界。

在我看来，人类精神愈是向前进化，就愈可以肯定地说，通向真正宗教感情的道路，不是对生和死的恐惧，也不是盲目信仰，而是对理性知识的追求。从这个意义上来说，我相信，一个教士如果愿意公正地对待他的崇高的教育使命，他就必须成为一个导师。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第 3 卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆 1979 年版，第 181—186 页。沿袭原有标题。

科学真理和宗教真理[①]

海森伯

我感谢您们给我的荣誉，这是和罗曼诺·瓜尔迪尼(Romano Guardini)[②]的名字相联系的。这对我特别重要，因为瓜尔迪尼的精神世界早在我青年时期就给我以深刻的影响。当我还是一个青年人的时候，我读了他的著作，通过他的评介来看陀思妥耶夫斯基作品中的人物，后来我又很幸运地与他有个人的交往。瓜尔迪尼的世界是宗教的世界，而且是彻底的基督的世界，乍看起来似乎很难找到它与科学的世界之间的联系，而我从学生时代起就在科学的世界之中从事工作了。你们都知道，在科学的发展过程中，自从对伽利略的著名审判以来，人们已一再地表示了这样的意见，即科学真理不能与对世界的宗教解释相调和。尽管我深信科学真理在它自身的领域内是不容置疑的，但是我决不能排斥宗教思想的内容，不能认为它只是我们曾经经历过的人类意识的一个阶段而在将来我们就可以排除这部分内容。所以在我一生中，我不得不持续不断地思考这两个精神世界之间的关系，因为我从来不能够怀疑它们两者所指示的真理。我想在我这个讲话中首先谈谈科学真理价值的不容置疑的特性，然后谈谈更广泛的宗教领域，这里要涉及瓜尔迪尼以如此令人信服的方式论述过的基督教，最后——这将是最难以表述的方面——谈谈两种真理彼此之间的关系。

关于现代科学的开始，即哥白尼、伽利略、开普勒、牛顿的发现，人们通常是这样说的，圣经和教会神父的著作中所断言的宗教天启的真理曾支配了中世纪的思想，这时被补充以感觉经验的实在，它可以由每个人的健全的五官加以检验，如果检验时足够小心，其结果是无可怀疑的。但是这种最初的描述新思想的方法只对了一半，它忽略了某些十分重要的因素，忽视了这些因素，我们就不能理解这种新

---

① 这是海森伯于1973年3月在慕尼黑接受巴伐利亚天主教科学院瓜尔迪尼奖时的演说。——译者注

② 罗曼诺·瓜尔迪尼(1885—1968)，是德国著名天主教宗教哲学家和作家。——译者注

思想的力量。现代科学的开始是同否定亚里士多德而接受柏拉图相联系的，这决不是偶然的。早在古代，亚里士多德作为一个经验论哲学家，就曾经抨击过毕达哥拉斯派（而我们必须把柏拉图算作其中的一个）不是从事实寻求解释和理论，而是根据某些理论和所珍爱的观念来摆弄事实，而且我们可以说，他们把自己看成是参与给宇宙以形状的（我在这里基本上是引用亚里士多德的原话）。事实上，新科学并不像亚里士多德批评时所主张的那样直接来自经验，我们只要想一想对行星运动的理解。直接的经验教导我们，地球静止不动而太阳绕它运转。今天，我们甚至可以以更极端的形式说，“静止”一词是由地球静止着这个陈述来定义的，并且我们把相对于地球是不动的每一物体描述为静止的。如果对“静止”一词作如此理解——而这是普遍接受的意义——那么，托勒密是对的，哥白尼却错了。只有当我们沉思了“运动”和“静止”的概念，并把运动理解为至少是关于两个物体的关系的陈述，我们才能够把关系倒转过来，使太阳成为行星系的不动的中心并获得一个简单得多、也更统一的关于行星系的观点，后来牛顿充分评价了这种观点的阐明的力量。因此，哥白尼把一个全新的要素加到直接经验之上，我称这个要素为“自然定律的简单性”，而它与直接经验毫无关系。从伽利略的落体定律可以看到同样的情况。直接的经验教导说，轻的物体比重的物体落得更慢些。可是，伽利略主张，在真空中一切物体落得同样快，而且它们的降落运动可以用数学表述的定律，即伽利略的落体定律，作正确的描述。那时还不可能观测真空中的运动。直接经验的位置被经验的理想化形式所取代，而这成了理想化的正确形式，在这种形式中可以使数学结构在现象中显现出来。毫无疑问，在现代科学的早期阶段，对新发现的数学定律产生了最大的信心。这些数学定律是神的意志的明显的表示——我们从开普勒的著作中读到这句话——并且开普勒对他自己是第一个认识到神的创作之美的人而感到狂喜。由此可见，这种新思想与排斥宗教毫无关系。即使新的发现确实在某些地方违背了教会的教义，但是如果一个人能够如此直接地体验上帝在自然界中的创造，上述违背就无关紧要了。

当然，我们在这里所说的上帝是安排秩序的上帝，我们不知道他是否等同于我们祈求的上帝，我们把生命归之于他的上帝。所以，我们或许可以说，过去的着重点是在神的创造的这一部分，因此产生了失去整体观点、广泛联系的观点的危险。但这也是新科学取得巨大成果的真正理由。哲学家和神学家关于事物的广泛联系谈了那么多，以至于在这个题目上没有多少新东西可讲了；经院哲学已经为思维过程耗尽了精力。但是很少有人深入自然事件的细节。这是少得多的人物能够作出贡献的那种工作，此外——也考虑到关于这些细节的知识有某些实际的用途。在当时出现的某些学会中，只讨论观测到的细节，而不讨论广泛的联系，几乎成了一个神圣的原则。他们处理的不是直接经验，而是理想化了的经验，这一事实导致新的实验和量度技术，作为一种接近理想情形的方法，它可以得出总可能与实验结果

相符合的结论。这当然不如在以后几个世纪显得那么明显，因为它假定在同样条件下总是发生同样的事情。人们开始发现，如果人们可以通过仔细地选择实验条件并与外部世界相隔绝而创立某种现象，那么支配这些现象的定律就会以纯粹的形式出现，而现象则由明确的因果性所决定。这提高了对事件的因果性过程的信任，人们认为它是客观的并且不依赖于观测者的，这成了新科学的基本假设。你们都知道，几个世纪以来的事实已经证明了这个假设的价值，而只是到了最近，我们通过关于原子的实验才被迫认识到这种方法的极限。即使把这些经验记在心中，我们似乎仍有一个不容置疑的真理标准。可重复的实验的自然界最终总是使人们同意自然界的真实的行为。

随着这种新科学的总方向，我们看到后来时常讨论的特征的开端，这就是对定量的强调。要求准确的实验条件和精密的量度，要求精密、明确的语言和一种理想现象的数学表示，决定了这种科学的特征，并给予它以“精密科学”的名称。这个名称有时是褒义词，有时是贬义词。如果强调它的陈述的可靠性、严密性和不容置疑性，这是褒义词。如果这意味着它不适用于大量性质不同的经验，它的范围过于狭窄，这是贬义词。我们今天的科学技术面貌是由它发展过来的，比以往进步得多了。我们只要想一想登月所要求的极端准确性、几乎是难以想像的可靠性和准确性，就可以认识到现代科学要求多么牢固地奠基在真理之上啊。

但是我们当然要问这样的问题：这样集中注意实在的一个局部的方面，并且局限于实在的特殊部分所获得的这些成就，究竟有什么样的价值？我们知道我们这一代对这个问题作出了相互冲突的回答。我们读到了科学的善恶相克。我们知道在世界的哪些部分，把科学和技术成功地联系起来了，贫苦阶级的物质贫困已经大部分消除了，现代医药已经防止了成百万人因病死亡，交通和电讯已使生活方便多了。另一方面，科学可以被误用来发展具有最可怕的破坏力的武器，技术的优先发展损害并威胁了我们的生存空间。但是除了这些直接的威胁，我们的价值（伦理标准）也改变了。对物质生活的富裕这一狭窄领域注意过多，而生活的其他方面却被忽视了。虽然科学技术只能用作达到某个目的的手段，但其结果却决定于使用它们的目的是否善良。目的不能由科学技术内部来决定。我们必须从整个人类和人类的整个实在的观点出发，而不是从它的一小部分出发来作出决定，否则我们将完全误入歧途。关于这个实在包含了许多我们还没有讨论过的东西。

首先，事实是人类只能在人类社会关系中发展他的智力。区分人类与其他生物的真正本性是他超越纯粹感觉并珍视其他东西的能力，这些本性是以他是能说话并能思维的人类社会的一部分为基础的。历史教导我们，这样的社会不仅具有物理的形式，而且具有精神的形式，但是在我们所知的精神形式中，除了直接可见的和可感知的，人们试图寻求有意义的与整体的联系，这种意图几乎总是起着决定性的作用。只是在这种精神形式之中，在社会上有效的“学说”之中，人们才发现了

他们自己行动的指针，而这里不仅是反映外部状况的问题，正是在这里首次决定有关价值（伦理标准）的问题。但这种精神形式不仅决定一个社会的伦理学，而且决定它的整个文化生活。只有在这里我们看到了真、善、美的密切关系；只有在这里我们可以谈论个人生活的意义。我们称这种精神形式为社会的宗教。这里赋予宗教一词的意义比通常理解的要更广泛一些。这意味着包含各种文化和不同时期的精神内容，甚至包含上帝的概念尚未出现的时期。只有在现代的极权国家中（那里完全排斥先验的东西）所采取的社会思维形式中，才可能怀疑宗教一词是否还能有益地运用。

瓜尔迪尼在他的有关陀思妥耶夫斯基的人物的书中论述了一个人类社会的形式和其中的个人生活如何打上了宗教的印记，关于这个问题很难有人比他叙述得更好了。这些人物的生活在每一瞬间都充满了为宗教真理的斗争，它好像是渗透了基督教精神，所以这些人在行善的斗争中的胜败并没有多大影响。即使他们之中的最大的恶棍还知道什么是善和恶，并且他们也按照基督教的信仰给予他们的伟大榜样来指导他们的行动。通常的一种反对基督教的意见，即认为基督教内的人和教外的人行为一样可怕，在这里就不成立了。当然，这种情况不幸是真有其事的，但是留在基督教内的人有明确的分辨善恶的能力，而且因为只有在那里我们有这种分辨善恶的能力，所以我们才有进步的希望。如果没有榜样来指引道路，我们就失去了价值（伦理标准）的尺度，随之也就失去了我们的行动和忍受痛苦的意义，最后的结果只能是否定和失望。所以宗教是伦理的基础，而伦理是生活的先决条件。因为我们每天必须作出决定，我们必须知道决定我们行动的价值（伦理标准），或者至少隐约地想到它们。

在这里我们看到了真正的宗教（在其中精神世界、万物的中心的精神秩序起着主要的作用）和更局限的思维形式，特别是当代的思维形式（它只与人类社会的经验方面有关）之间的特征性区别。关于后一种思维形式，我们在西方世界的自由民主中找得到，我们在东方的极权国家制度中也找得到。在这里也形成了一种伦理学，但只涉及道德行为的规范，而这种规范是从对直接可见的经验的观察推论出来的。宗教本身并不讲规范，而是讲指导性理想，我们用这些指导性理想指导我们的行为，而且我们至多也只能接近这些理想。而这些指导性理想并不是以直接可见的世界为基础，而是以在它之后的“王国”为基础，这个王国柏拉图称之为理念的王国，而圣经的说法是“上帝就是一种心灵”。

但是，宗教不仅是伦理的基础。它首先是信任的基础，这我们也可以从瓜尔迪尼那里学到，正如我们在儿童时期学语言一样，感到语言中所包含的理解是人们之间信任的最重要部分，所以宗教的形象和比喻是一种诗的语言，它在世界中，在我们存在的意义中产生信任。有许多不同的语言这一事实并不是障碍，我们似乎是由于机遇而生于某种语言或宗教的社会并带有它们的印记这一事实也不是障碍。

惟一重要的是我们被引向世界中的这种信任，而这种信任可以在任何语言中碰到。对于俄国人，例如，他出现在陀思妥耶夫斯基的小说中，瓜尔迪尼写到了他，上帝在世界中的创造物是被持续不断地重复的直接经验，所以他们的信任是被持续不断地更新，甚至生理的需要似乎也以它们的方式牢固地坚持着。

最后，如我曾经说过的那样，宗教对于艺术也是最为重要的。如果，像我们前面所说的那样，我们称宗教仅仅是与人类社会有关的精神形式，那么几乎自然地会认为艺术必然是宗教的一种表现。看一看各种文化史就可以知道，我们事实上能够最直接地从现存的古代艺术作品确定那个时代的精神形式，即使我们已不再知道表现这些精神形式的宗教意义。

但是我在这里关于宗教所说的一切对于与会的您们是早已熟知的东西。我之所以重复叙述它，只是为了强调：一个科学界的代表，如果他努力思索了宗教真理和科学真理的关系，也必须承认宗教的无所不包的意义。自从十七世纪以来，这两种真理相互冲突的事实已对欧洲思想史产生了决定性的影响。人们普遍认为冲突的开端是罗马宗教法庭在 1616 年对伽利略的审判，当时的争执是哥白尼学说，几星期之前我们刚庆祝了哥白尼诞辰 500 周年。我必须更深入地谈一谈这个开端。伽利略主张哥白尼学说，按照这个学说——与当时占统治地位的托勒密的世界观相对立——太阳停留在行星系的中心，地球绕太阳运转，24 小时转一圈。伽利略的学生卡斯泰利提出了这样一个论点：神学家对圣经的解释必须与已证实的科学事实相一致。这样一种说法可以被认为是对圣经的一种攻击，多明尼加的神父卡奇尼和洛林尼把问题提交宗教法庭。在 1616 年 2 月 23 日的审判中，哥白尼的两个论点被宣判为在哲学上是荒谬和异端的，这两个论点就是：第一，“太阳是世界的中心，因此是不动的”；第二，“地球不是世界的中心，不是不动的，而是天天在转动着”。经过教皇保罗五世的批准，贝拉尔明主教受命去规劝伽利略放弃哥白尼学说。如果他拒绝放弃，主教就要下令不许讲授这样一种学说，不许为它辩护，也不许讨论它。伽利略相当忠诚地服从了这个命令，但是在教皇乌尔班八世即位以后，他认为他可以继续公开地进行他的研究了。在 1632 年出版了著名的论战性的《对话》之后，引起了第二次审判，在这次审判中伽利略必须宣誓放弃一切形式的哥白尼学说。今天我们对审判的细节并不感兴趣，对双方的缺点也没有兴趣。但是我们能够也必须探索冲突的更深一层的缘由。

首先，重要的是双方在内心都明确相信他们自己是正确的。教会的权威和伽利略都同样相信很高的价值（伦理标准）处于危险之中，保卫这些标准是他们的责任。如我前面提到过的那样，伽利略通过仔细地观测地球上和天空上的现象，体验了落体和行星的运动，数学定律变得很明显，它使得以往不知道的现象的简单性程度变得明白可见了。他已认识到从这种简单性产生新的理解的可能性，我们能够在现象世界的永恒秩序中得出局部的体系。哥白尼对行星系的解释比传统的托勒

密解释要简单，它允许一种新的理解，而伽利略无论如何也不愿意放弃他对神的秩序的新见识。相反教会则相信，不应该动摇许多世纪以来作为基督教思想不可分割的一部分的世界观，除非有十分令人信服的理由使人不得不这样做。不论是哥白尼或是伽利略都提不出十分令人信服的理由。事实上，这是争论的哥白尼学说的第一个命题，十分肯定是错的。今天的科学也不会说太阳是世界的中心，因而是不动的。在第二个讨论地球的静止位置的命题中，人们必须首先解释"静止"和"运动"二词的意思。如果人们给予它们一个绝对的意义，就像朴素的思想所认为的那样，那么它只是一个定义：地球是静止的。不管怎样，我们是在这个意义上用这个词，而不是在别的意义上。如果我们认识到这些概念没有绝对的意义，它们涉及的是两个物体之间的关系，那么人们是否把太阳或地球看作静止或在运动都没有什么关系。在这种情况下确实没有什么理由要改变旧的世界观。

还有，我们可以设想，宗教法庭的成员在简单性概念之内还包含着权力的观念，而伽利略自觉或不自觉地主张简单性概念，这从哲学上来看是从亚里士多德回到柏拉图。法官们显然也极大地尊敬伽利略的科学权威，因此他们并不希望阻挠他作进一步的研究，但是他们希望防止不安定和不确定的因素影响传统的基督教世界观，这种世界观在中世纪社会中起过如此决定性的作用，而且还继续起着这种作用。科学发现，特别是当它们还是新发现时，常常还要改变，最终的判定大多要在几十年的检验之后才能作出。为什么伽利略不应该等待一下，晚一点发表他的作品呢？因此我们必须恢复宗教法庭的名誉，他们在第一次审判时试图作出一种和解，并且通过了一个我们很容易接受的判决。但是一旦后来伽利略超越了第一次审判给他的科学活动规定的界限，第二次审判就使这样一些人占了上风，他们认为使用权力比作出和解要更为简单，所以对伽利略作出了影响极坏的严厉判决，它对以后的教会有十分巨大的损害。

今天有这样一种议论：作为一个社会的精神结构一部分的世界观曾经在使社会生活和谐方面起过重要的作用，人们不应该过早地把不安定和不确定的因素带入这种世界观。我们究竟应该给这种议论以怎样的评价呢？许多激进分子今天会用嘲笑反对这种议论，他们会提出这样的论据：这仅仅是保存腐朽的权力结构的问题，相反，人们应该试图尽可能快地实现变革或瓦解这些权力结构。但是必须提醒这些激进分子，科学同占统治地位的哲学之间的冲突在我们这个时代仍在进行，特别是在把辩证唯物主义选作思想基础的国家内。因此，苏联的官方哲学在与相对论和量子论搞好关系之前曾经历了一段艰难的时期，在宇宙学方面也有过激烈的意见冲突。最后，在1948年，在列宁格勒开了一次关于天文学的意识形态问题的会议，试图通过讨论和协议澄清争论问题，并引向和解的道路。

这里基本上不是事实问题，正如对伽利略的审判一样，而是社会的精神形式（它在本性上是静态的）和科学的经验和思想形式（它们是持续不断地扩展和更新

的，因此具有动态的结构）之间的冲突。即使一个社会是经过巨大的革命动荡而产生的，它仍力求巩固它那种要成为新社会的永恒基础的精神根源。可是，科学却为扩展而斗争。即令人们要用自然科学或者某些其他学科作为活的哲学的基础——而在辩证唯物主义中人们也尝试着某种类似的东西——那它也只能是过去几十年或几个世纪的学科，并且它一旦用语言固定下来，那就又成为以后的冲突的基本条件。所以一开始就通过更广范围的形象和比喻来阐明它，运用诗的语言（它是对所有人类的价值[伦理标准]都开放的，充满着活生生的象征），而不是运用科学的语言，似乎还更好一些。

尽管有这些一般的困难，我们必须回过头来考虑关于审判伽利略的事实问题。哥白尼对某些天文观测的解释不同于托勒密，这对基督教社会重要吗？是否天空中有水晶球，是否行星木星被一些卫星所环绕，是否地球或太阳是宇宙的中心，这些问题对于基督教徒个人的生活基本上没有什么关系。对于个人来说，地球确实位于中心，它是他的生存空间。它又不全是无关紧要的。两百年后，歌德仍以恐惧和敬慕的心情谈到人们承认哥白尼体系时必须作出的牺牲。他作出了牺牲，但不是心甘情愿的，虽然对他自己说来，他深信这个学说的正确性。也许罗马宗教法庭的法官们已经猜疑到，伽利略的科学可能引起向危险的方向变化。当然，他们可能并不否认像伽利略或开普勒那样的自然界的探索者发现了现象中的数学结构，把神的世界秩序的部分结构揭示了出来。但是关于光耀夺目的部分的这种观点或许会使得关于整体的观点显得暗淡无光；它可能带来这样的后果，当与整体联系的观点在个人的意识中消失时，社会的内聚的感情就受损害了，并受到衰败的威胁。随着受技术支配的过程取代天然的生活条件，个人与社会之间的疏远也发生了，而这就带来了危险的不稳定性。在贝尔托耳特·布莱希特的剧本《伽利略》中，一个修道士说："反对哥白尼学说的教令启示我了解到人类在太缺少控制的科学研究中所包含的危险。"我们不知道这种考虑是否在当时已起了作用，但是自那时以来，我们已经知道这会带来多大的危险。

我们还可以从科学在基督教铸造的欧洲世界中的发展学到更多的东西，我希望在我讲话的最后一部分讨论这个问题。前面我已经试图说明，用宗教的形象和比喻，我们有了一种语言，它使我们理解在现象之后的可领悟的有秩序的世界，而没有这种语言我们就没有伦理学和价值（伦理标准）的尺度。这种语言在原则上同任何别的语言一样是可以取代的；在世界的其他地方，现在有、过去也有别的语言，它们也帮助人们去理解。但是我们生在一个特定的语言地区内。这种宗教语言与诗的语言的关系比它与那种以准确性为目的的科学语言的关系更为密切。因此两种语言中的词常常意指着不同的东西。圣经中的天堂（heavens）与我们把飞机与火箭送上去的天空（heavens）很少共同之点。在天文学宇宙中，地球只是无数银河之一中的一小点尘埃而已，但对于我们它将是世界的中心——它真正是世界的中

心。科学试图赋予自己的词以客观的意义。但宗教语言却必须避免把世界分为它的客观方面和主观方面的这种区分，因为有谁会说客观方面比主观方面更重要呢？我们不应当混淆两种语言；我们应该用一种比人们过去惯用的思考方法更聪明的思考方法去思考。

而且，近一百年来科学的发展在它自己的领域中产生了这种更聪明的思考方法。自我们不再以直接经验的世界，而以一个我们只有用现代技术的工具才能深入进去的世界作为我们的研究对象以来，日常生活的语言不再适用了。当然我们最终能够在数学公式中表示这个世界的形式结构，从而实现对这个世界的理解；但当我们要谈论它的时候，我们必须使用形象和比喻几乎就像宗教语言中的形象和比喻一样，所以我们已经学会更谨慎地使用我们的语言，并且认识到表面的矛盾可能来源于语言的不适用性。现代科学已经揭示了一些范围宽广的定律，比伽利略、开普勒所揭示的定律适用范围要广泛得多。但是现代科学也已证明，随着对现象解释的广泛程度和抽象程度的增多，理解和困难也增长了。甚至关于客观性的要求，过去长时期来被认为是一切科学的前提，现在在原子物理学中也受到下例事实的限制，即不再可能把一个受观测的现象完全与它的观测者相分离。哪里还有科学真理与宗教真理之间的矛盾呢？

在这个问题上，物理学家沃耳夫冈·泡利有一次谈到两个对立的极端概念，二人在人类思想史上都极其富有成果，虽然它们哪一个也不符合于真正的真理。一个极端是客观世界的概念，它在时空中按照不依赖于任何观察主体的规律而运动——这是现代科学的指导原则。另一极端是主体的概念，它神秘地体验了世界的统一，它不再面对着任何客体，也不面对客观世界——这是亚洲人的神秘主义。我们的思想大致在这两个对立的极端概念之间摆动；我们必须承受这两极产生的张力。

谨慎地把宗教语言和科学语言区分开，也可以避免由于混淆它们而减少它们的内容。已经证实了的科学结论的正确性应当合理地不受到宗教思想的怀疑，反之亦然，发自宗教思想内心的伦理要求不应当被科学领域的极端理性的论证所削弱。无疑，随着技术能力的发展，产生了不容易解决的新的伦理学问题。我可以举一些例子，例如一个科学家对他的研究成果的实际应用要负什么样的责任？或者在现代医学领域中提出的甚至更困难的问题：一个医生应该或者可以把一个垂死的病人的生命延长多久？对这样一些问题的考虑绝不是要削弱伦理原则。但是我也不能设想这样一些问题仅仅用实用的权宜之计就可以解决。或许在这里有必要采取整体的观念：即用宗教语言表示的做人的基本态度，它是伦理原则的渊源。

或许今天我们有可能重新更正确地来分配着重点，这些着重点由于近百年来科学技术的巨大发展而失调了。我所谓的着重点是指我们对人类社会中的物质条件和精神条件的重视程度。物质条件是重要的，当技术和科学提供了机会时，社会

有责任去消除广大人民群众在物质上的匮乏。但当做到了这一点时，仍留下许多苦难，并且我们已经看到，个人是多么需要一个社会的精神方面能够提供给他的保护，不管他是自觉地要求还是认为理所当然。或许我们最重要的任务正在于此。如果在今天的青年学生中有许多不幸，那么原因不在于物质上的贫乏，而是在于缺乏信任，这使得个人难以为他的生活找到目的。所以我们必须尝试着去克服孤立，它威胁着生活在被技术的实际需要所支配的世界中的个人。心理学问题或社会结构的理论考虑也没有多大帮助，除非我们通过实际的行动在生活的精神和物质领域方面重新成功地实现自然的平衡。这是在日常生活中恢复深藏在社会的精神方面的价值（伦理标准），并赋予这些价值（伦理标准）以如此巨大的光辉，使人们把它们当作他们自己个人生活的指针。

但是我的任务不是谈论社会；我应该讨论的是科学真理与宗教真理的关系。科学在近百年内作出了巨大发展。在这个发展过程中，我们用宗教语言谈到的生活的更宽广的范围被忽视了。我们不知道我们是否会成功地以老的宗教语言来表示我们未来社会的精神形式。理性主义地玩弄词句没有多少用处；诚实和方向是我们最需要的东西。但是，既然伦理是人类社会存在的基础，并且伦理只能从最基本的做人的态度（这种做人的态度我称之为人类的精神方面）中得到，那么我们必须都作出种种努力，和青年一代建立共同的做人的态度。我深信，如果我们又能够在两种真理之间重新找到正确的平衡，那么我们在这方面就能够取得成功。

作者简介：W·海森伯（Werner Heisenberg，1901－1976），德国物理学家，量子力学的创始人，哥本哈根学派的主要代表人物之一，1932 年因创建量子力学（矩阵力学）以及提出测不准原理而获诺贝尔物理奖。他在古典哲学方面有深厚的修养，对物理学的哲学问题有深入的思考，写出了不少哲学著作。著作中译本有《严密自然科学基础近年来的变化》（上海人民出版社 1978 年版）、《物理学家的自然观》（商务印书馆 1990 年版）和《物理学和哲学》（商务印书馆 1981 年版）等。

文献来源：海森伯《物理学和哲学》，范岱年译，商务印书馆 1981 年版，第 160－173 页。沿袭原有标题。

科学与宗教在变化着的世界中

保罗·戴维斯

有智慧的人将宗教和科学理论并用，以调节自己的操行。

——J. B. S. **哈尔旦因**

因本宗教法庭命令我要完全放弃那种认为太阳是不动的中心的错误论点，并且禁止我以任何方式持有、捍卫、或宣讲该错误信条，我发誓弃绝、诅咒并憎恶上述谬误及邪说，以及一切其他与上述教会相悖的谬误及教派。

——**伽利略**

科学与宗教代表了人类思想的两大体系。对这个行星上的大多数人来说，宗教对他们处理事务是具有最显著的影响的。而科学与他们的生活的接触，却不是在心智层面上，科学实际上是通过技术影响到他们的生活。

尽管宗教思想在普通公众的日常生活中影响巨大，但我们的大多数社会事业机构是按照务实的方式组织起来的，其中即使有宗教，也只是把宗教淡化为一个程式化的角色而已。例如，英国教会在宪法中的地位就是这样的。也有些例外，如爱尔兰和以色列在法律意义上就仍然是宗教国家，而好战的伊斯兰教的复兴则正在增加宗教在政治和社会决策方面的影响力。

在工业化世界中，科学的影响及成就是最为明显的，因而，人们与主要的传统宗教机构的联系急剧减少。在英国，按时参加教堂礼拜的人占总人口的百分比很低。然而，假如就此得出结论，以为参加教会活动的人数的减少可以直接归因于科学技术地位的提高，那可就错了。很多人在其个人生活中仍对可被划为宗教性的世界抱有很深的信仰，尽管他们或许已经放弃了或至少是无视了传统的基督教信

条。任何一位科学家都会证实，即便说宗教已被逐出人们的意识领域，也不能说宗教空出的地盘肯定已被理性的科学思想所占领。因为科学正像任何一种排他性的宗教一样，尽管在实际的层面上对日常生活影响很大，但对普通公众来说，也是同样地令人无从捉摸，同样地难以领悟。

与宗教的衰落较为相关的原因是，科学通过技术使我们的生活发生了急剧的变化，以致传统的宗教或许显得失去了那种直接性，而那种直接性又是在人们应付现今的个人及社会问题时向他们提供现实的帮助所不可缺少的。假如教会在今天受到了很大程度的忽视，那也并不是因为科学在与宗教进行的长期战斗中取得了最后胜利，而是因为科学如此彻底地使我们的社会重新定向，以至圣经所描绘的世界图景现在似乎在很大程度上是缺乏时代性了。正如最近一位在电视上挖苦人的人所说，我们的邻居很少有人有牛或驴供我们贪恋了。①

世界上的各个主要宗教都是建立在公认的智慧和信条上的，它们都根植于过去，难以应付变化着的时代。教徒们匆忙之中发掘的灵活性，已使基督教能够容纳一些现代思想的新观念，以致今天的教会领袖在一个维多利亚时代的人眼里，很可能被认为是个异端分子。但是，任何一种以古代的概念为基础的综合性哲学都面临着适应太空时代的艰难任务。因而，很多幻灭的信徒转向了"次要的"宗教，这些宗教似乎与星球大战及微晶体的时代更合拍。与不明飞行物体、超感官知觉、心灵交往、信念治疗方法、超验冥想相关的崇拜以及其他基于技术的信仰大行其道就证明，在一表面上是理性的、讲科学的社会中，信仰和信条具有持久的吸引力。因为这些古怪的信念是属于毫不羞耻的非理性的，虽然它们都有一个科学的外表。用克里斯多弗·埃文斯 1974 年在 Panther 出版社出版的一本书的标题来说，这些信念都是对"非理性的崇拜"。人们转向它们，并不是为了求得心智上的启蒙，而是为了在一个艰难而无常的世界中获得精神上的安慰。

科学侵入了我们的生活、我们的语言和宗教，但这并不是在理智层面上的入侵。绝大多数的人对科学的原则不理解，而且也不感兴趣。科学仍然是一种巫术，投在科学的实践者们身上的目光仍是恐惧与怀疑参半的。随便到哪家书店去看看，就可以看到关于科学的书通常都是归在"秘学"类下的，而现代天文学教科书则因书架不够，与《百慕大三角》和《众神之车》挤在一起。为了在我们现今的社会中建立秩序，人们对科学及理性思维的重要性倍加称道，但在个人层面上，大多数人仍然觉得宗教教旨要比科学论点来得更有说服力。

我们生活于其中的这个世界，尽管外表上很科学化，但骨子里仍是属宗教的。在像伊朗、沙特阿拉伯这样的国家里，伊斯兰教仍是占有优势的社会力量。在工业

---

① 圣经记载，上帝通过摩西向以色列人传达的十诫中，有"不可贪恋人的牛驴"的话。见《圣经·出埃及记》第 20 章第 17 节。——译者注

化的西方，尽管宗教已经分裂，多样化了，有时还变成了模模糊糊的伪科学性的迷信，但人们仍旧在继续寻求生命的更深的意义。这种寻求也不应该受到嘲弄，因为科学家们自己也在寻求一种意义，他们想在宇宙组成、运行的方式，生命的本质以及人的意识等方面获得更多的发现，以便能得出宗教信仰赖以形成的原材料。假如科学的测定揭示出地球的年龄为 45 亿年，那么，再去争论上帝创造天地是在公元前 4,004 年或公元前 10,000 年就没有什么意思了。任何宗教，假如其信仰的基础是可被证明为错误的假设，那么这种宗教就别想长命。

在本书中，我们将要看看某些基础科学的最新发现，并要探寻一下这些发现对宗教的含义。在很多情况下，我们可以看到，原先的宗教观念与其说是被现代科学所证伪，不如说是被现代科学所超越。科学家们通过一个不同的角度观察世界，可以得出新鲜的见解，并且可以为人类及人类在宇宙中的地位描述出新的画面。

科学和宗教都有两个方面，即理智方面和社会方面。科学与宗教的社会效应都还很不能令人满意。科学或许确实减轻了人类因疾病而遭受的苦难，为人类节省了诸多的苦劳，提供了一系列发明，给我们带来了娱乐与方便。但科学也引出了用于大规模毁灭的可怕的武器，因而严重降低了生活质量。科学对工业社会的影响是好坏参半的。

在另一方面，有组织的宗教境况更糟。当然，没有人否认，在世界各地的宗教社区工作者中，有很多个别的无私奉献的例子，但宗教长久以来就已经制度化了。宗教常常更关注权力、政治，而不关注善与恶。宗教激情则更为经常地导致暴力冲突，搞乱了人类正常的宽容精神，释放了野蛮与残暴。基督徒在中世纪对南美当地人进行的种族灭绝就是较为可怕的例子之一，而在欧洲的历史之路上则到处都横陈着人类的尸体，那是些因为微小的教义分歧而被杀戮的人。即便是在那所谓的启蒙时代，宗教仇恨和宗教冲突也遍布世界。具有讽刺意味的是，尽管大多数宗教都赞美爱心、和睦、谦卑，并将这些称之为美德，但世界上各大宗教组织的历史却常常是以仇恨、战争、傲慢为其特色的。

许多科学家对有组织的宗教持批评态度，其原因倒不是因为他们自己在精神上与这些宗教有什么不合，而是因为这些宗教所发生的影响在他们看来搞乱了正派的人类行为，在这些宗教卷入权力政治之争时尤其如此。物理学家赫尔曼·邦迪是个对宗教持严厉批评态度的人。他把宗教看作是“一种恶，一种严重的，能够形成习惯的恶”。他举出当年欧洲对巫师进行疯狂大搜捕时的暴行为例：

在信仰基督教的广大欧洲地域，敬畏上帝的人常把怀疑为巫婆的妇女烧死。这些人觉得这是他们应该勉力完成的职责，这职责是圣经明明白白地分派给他们的。事情很清楚，首先，是信仰使得那些本来正派的人干出了难以名状的可怕的事，这表明了人类日常的善心和对残暴的嫌恶何以而且也确实为宗教信仰所压倒。

再者，这揭示了所谓宗教确立了绝对的、不变的道德根基的说法是完全不实的。

邦迪声称，教会以及其他的宗教机构多少世纪以来所掌握的残暴的权力，已使它们在道德上名誉扫地了。

尽管宗教在四处自夸，但没有人会否认宗教仍是社会中最能引起分裂的力量之一。不管信仰虔诚的人们主观愿望是多么善良，血迹斑斑的宗教冲突史说明，没有什么证据能够证明在各大有组织的宗教里含有人类道德的普遍准则。而且，我们也没有理由相信，那些不属于这些宗教组织的人就是缺乏爱心和热心，或就是彻头彻尾的无神论者。

当然，并不是所有的信教的人都是宗教狂热分子。绝大多数基督徒今天都嫌恶宗教冲突，而且也为教会在过去卷入酷刑、凶杀、镇压而感到痛惜。但是打着上帝旗号的野蛮暴力时常爆发，触目惊心，至今仍袭扰着社会。这并不是宗教的反社会方面的惟一表现。在所谓的文明开化的国家如北爱尔兰和塞浦路斯，人们仍旧因为宗教原因而在教育甚至是居住方面实行隔离，即便是在自己的内部，宗教组织也常常准许歧视的存在，歧视妇女、少数民族，歧视同性恋者或宗教组织的领袖所认定的任何劣等人。我觉得，天主教及伊斯兰教中妇女的地位，以及南非教会中黑人的地位特别令人难以忍受。尽管许多人在他们的宗教被形容为罪恶、褊狭时会被吓得要死，但他们却很痛快地一致认为，世界上的其他宗教都是作恶多端的。

宗教组织一旦制度化了，法制化了，宗教偏执的伤心惨目的历史似乎就注定不可避免了。而且宗教偏执行为在西方世界引起了人们对国教的极大的不满。许多人正转而投奔所谓的“次要”宗教，以图找到一条获得精神满足的途径，不那么刺耳，而是那么温柔。当然，现在各式各样的新宗教运动多的是，其中的某些运动比传统的宗教更褊狭，更邪恶。但是，现在有很多人强调神秘主义以及安宁的内心探索的重要性，并以此与传道的狂热相对，因而吸引了对定为国教的宗教的社会及政治影响持批评态度的那些人。

关于宗教的社会方面就谈这些。那么，宗教的理智内容又是什么呢？

在人类历史的大部分时期，男男女女们之所以皈依宗教，并不只是为了寻求道德指引，而且也是为了寻求关于存在的基本问题的答案。宇宙是如何被创造的？宇宙又会怎样终结？生命和人类的起源是什么？只是到了近几个世纪，科学才开始为这类问题的解决作出自己的贡献。科学随之与宗教发生了冲突，这些冲突都被详细记录下来。由伽利略、哥白尼、牛顿打头，随后来了达尔文、爱因斯坦，直到计算机和高技术的时代，现代科学对很多根深蒂固的宗教信念进行了阐明，这些阐明是冰冷的，有时是具有威胁性的。于是，这就造成了一种感觉，觉得科学与宗教是天生的死对头。这种看法得到了历史的鼓励。早期的教会试图顶住科学的闸门，阻止科学进步的洪水滔滔而下，造成的结果是从事科学的人从此对宗教产生了

深深的怀疑。科学家们毁坏了很多人所珍视的宗教信念，于是他们被很多人看成是信仰的破坏者。

然而，科学方法所获得的成功是毫无疑问的。物理学，诸科学之王，为人类的理解开辟了几个世纪以前想都没有想到过的新路。从原子内部的作用到黑洞的玄妙，物理学使我们得以理解自然中某些最隐秘的秘密，而且也使我们得以控制我们的环境中的许多物理系统。科学推理的巨大力量使每一日都有许多现代技术的奇观得以证明。那么，对科学家所持有的世界观也抱有一些信心，似乎就是顺理成章的了。

科学家与神学家是从完全不同的出发点出发，对有关存在的深刻问题进行探索的。科学以仔细的观察、实验为基础，使理论得以建立，将不同的经验联系起来。科学寻求的是自然在运行中的规律性，这些规律性很有希望地揭示了制约着物质和力的基本规律。科学对存在的问题进行这样的探索，其中的关键是，科学家假如遇到了他所持有的理论的反证，他就得放弃那个理论。尽管个别的科学家或许会顽固坚持某个他们所珍视的观点，但科学界作为一个群体是随时乐于采纳新观点的。科学原则之争不会引发人类相互残杀的战争。

与科学相比，宗教是建立在启示和公认的智慧的基础上的。声称包容了不可更改的真理的宗教信条是难以作出修正以适应变化着的观念的。真正的信徒必须坚持自己的信仰，不管有什么明显的反证。这“真理”据说是直接传达给信徒的，没有经过集体调查过程的筛选、提炼。天启“真理”的麻烦之处在于，这样的真理有可能是错的，即便它是对的，其他的人也需要想好了之后才能赞同信徒们的信仰。

很多科学家对天启的真理持嘲笑态度。其中有些科学家甚至认为所谓的天启真理是明白无误的一种恶：

一般说来，一个受到启示的信徒的思想处于可怕的自大状态。处在这样的状态之中，他就能说这样的话：“我知道，我明白，而那些跟我信仰不同的人是错的。”这样的自大心态在宗教领域最为普遍，而且只有在宗教领域里，人们才对他们的“知识”觉得有如此这般彻底的把握。在我看来，一个人竟能这么自我感觉良好，竟自觉这么出类拔萃，而不把所有那些与他们信仰不同的人放在眼里，这样的一个人是很令人讨厌的。这本来就够糟的了，但很多信徒还竭尽全力传播他们的信仰，至少是向他们自己的孩子传播，但也更经常地是向别人传播（而且，在历史上，有很多靠武力和惨无人道的野蛮传播信仰的好例子）。明摆着的事实是，最诚实的人以及所有智力水平高低不同的人都各不相同；而且宗教信仰一直是不同的。因为最多只有一种信仰是真实的，那么，这自然就是说，人类极其可能在天启宗教方面坚决而诚实地信仰了某种不真实的东西。人们本可以期望这一明显的事实能够引出某种谦卑，使信徒多少想到不管一个人的信仰有多么深，一个人很可能是信错了的，

但任何信徒都没有这基本的谦卑。信徒不把自己的信仰强行灌输到他所掌管的人的脑子里便不肯罢手(这种情况在现今的发达国家一般限于信徒对其子女)。

然而,那些有过宗教体验的人总是把他们自己获得的启示看作是比多少科学实验都坚实的信仰基础。不错,很多职业科学家也笃信宗教,而且显然并不觉得让他们的人生观的这两个方面和平共处有什么智力上的困难。问题是如何将许多根本不相同的宗教体验变成一连贯的宗教世界观。例如,基督教的宇宙论就与东方的宇宙论差异巨大。至少,二者之中有一个是错的。

但是,若从科学家对天启真理的怀疑推开去,推出科学家是冷酷的、不通人情的、工于计算、没有灵魂的人,只对事实和数字感兴趣,那可就大错特错了。新物理学兴起的同时,科学家对科学的更深的哲学含义的兴趣也有了巨大增长。这种兴趣是科学工作不那么广为人知的一个方面,而且常常是完全突然地产生的。在筹划一部关于精神和超自然现象的电视系列片时,病理学家、作家、电视制片人基特·派德勒这样描述了他见到现代物理学家们对超出物理学的问题如此关心时所感到的惊讶:

几乎整整二十年来,我作为一个快乐的信仰还原论的生物学家进行我的研究,以为只要我努力研究,最终就能揭示出基本的事实。后来,我开始阅读新物理学的书。结果,我以前的信仰被粉碎了。

作为生物学家,我以前认为物理学家都是头脑冷静、清晰、不易动感情的男男女女,他们以一种冷静的、局外人的眼光居高临下地看待自然,把落日的光辉分解成波长和频率。他们是一帮观测者,把结构精巧的宇宙撕成死板的形式成分。

我的错误是巨大的。于是,我开始研读有着传奇式的大名的人的著作——爱因斯坦、波尔、薛定谔、狄拉克。我发现,他们并不是冷静的局外人,而是一些富有诗意、笃信宗教的人。他们所想像的东西是那么巨大,那么新奇,以至我所谓的"超自然的东西"相形之下显得几乎平淡无奇了。

具有讽刺意味的是,一直走在各学科之前的物理学现在正对精神越来越倾向于肯定;而生命科学则仍旧走在上一个世纪的物理学的路上,现在正试图完全取消精神。心理学家哈罗德·莫洛维茨对物理学和生命科学如此转换对精神的看法提出了如下的评论:

实际情况是,生物学家们从前认为人的精神在自然界的分类等级之中占有一个特殊的地位,现在则义无反顾地走向赤裸裸的唯物论,而19世纪的物理学就是以唯物论为其特色的。与此同时,面对着咄咄逼人的实验证据的物理学家们则脱

离严格机械的种种宇宙模型，转而把精神看作是在一切物理事件中扮演着一个与事件不可分离的角色。这两个学科就像是坐在两列逆向飞驰的火车上的乘客，彼此都没注意对开过来的火车上正发生什么事。

我们将要看到新物理学如何赋予“观察者”在物理实在的自然中的中心地位。越来越多的人认为，基础科学近来的进展更有可能揭示出存在的更深一层的意义，而不是投合传统的宗教。总之，宗教对这些科学进展不可能视而不见。

作者简介：保罗·戴维斯(Paul W. Davis)，当代英国理论物理学家，著名科普作家，以在量子引力领域的工作而闻名，目前在澳大利亚工作和生活。著作中译本有《原子中的幽灵》(湖南科技出版社 1992 年版)、《上帝与新物理学》(湖南科技出版社 1992 年版)、《宇宙的最后三分钟》(上海科技出版社 1995 年版)等。

文献来源：保罗·戴维斯《上帝与新物理学》，徐培译，湖南科学技术出版社 1992 年版，第一章(第 1—9 页)。沿袭原有标题。

⑩ 科学与美 ≫

精密科学中美的含义

海森伯

一位自然科学的代表人物应邀在艺术研究院的集会上发言时，他决不会贸然对艺术问题发表意见，因为艺术的确同他自己的活动领域相去甚远。但是，也许可以允许他来探讨一下关于美的问题。因为，虽然“美的”（或“精巧的”）这个表示性质的形容词在这里确实是用来表征艺术的特性的，但美的王国却远远延伸到艺术领域之外。它无疑也包括精神生活的其他领域；自然美也反映在自然科学的美之中。

如果一开头不去对“美”这个概念进行哲学分析，而只是问在精密科学的领域中哪里可以碰到美的东西，这大概是最适合的。这里或许可以允许我从个人的亲身经历来开始说起。当我还是个小孩子的时候，在慕尼黑马克斯文科中学上低年级，我对数就开始感兴趣。了解到数的性质，比如说，弄清楚它们是不是素数，试验它们是否或许能被表示为平方和，或者终于证明必定存在有无限多个素数，曾使我情趣盎然。由于我父亲认为我的拉丁文知识要比我对数的兴趣重要得多，有一天他从国立图书馆给我带回家来一篇由数学家克隆内克（Lepold Kronecker）用拉丁文写的论文，在这篇论文中，整数的性质与等分圆这个几何问题联系了起来。我父亲怎么凑巧碰到上世纪中叶以来这项特殊的研究工作，我并不知晓。但是学习克隆内克的著作却给我很深的印象。由分割圆的问题（其最简单的情况，我们在学科里自然就已经熟悉了），有可能学到一些关于在初等数论中的完全不同类别问题的知识，这一事实使我感到有一种相当直接的美。诚然，在遥远的年代里，就已经浮现出这个问题：整数和几何形式是否存在，也就是说，它们是否存在于人的心灵之外，或者它们仅仅是心灵创造出来的理解这个世界的工具。可在那时，我还不可能思考这样一些问题。然而，有些东西很美的这种印象完全是直接的，这无需任何辩

护和解释。

但是在这里什么是美的呢？甚至在古代美也有两种定义，它们在某种程度上是彼此对立的。特别是在文艺复兴时期，它们之间的争论曾起过很大的作用。一方说，美是部分同部分，部分同整体的固有的协调。另一方，起源于普罗替诺，说美根本不涉及部分，而把美说成是“一”的永恒光辉透过物质现象的朦胧的显现。在我们的数学实例中，我们开始将不得不暂且停留在第一个定义上。这里，部分是整数的性质和几何结构的定律，而整体显然是算术和欧几里得几何所隶属的基本的数学公理系统——是由公理系统的自治性所保证的互相联系的巨大结构。我们察觉到个别的部分配合在一起，作为部分它们的确属于这个整体，不用想我们就感觉到这个公理系统的完备性和简单性是美的。因此美涉及“一”与“多”这个古老的问题，它——同“存在”与“生成”密切相联——在早期希腊哲学中占据了中心地位。

既然正是在这一点上，还可以找到精密科学的根源，那么也应该概略地追溯一下那个古代的思潮。希腊自然哲学的出发点是丰富多彩的现象能借以得到解释的本原问题。不管我们可能感到多么不可思议，按照尼采的说法，众所周知的泰勒斯的答案——“水是万物的物质本原”——包含着三项在随后的发展中日益变得重要的基本要求：第一，必须寻求这样一个统一的本原；第二，这个答案必须只用理性来给出，也就是说，不涉及到神话；第三，也是最后的要求，在这一范围内，世界的物质方面必须起决定性的作用。在这些要求的背后，当然坚持着没有说出来的认识：理解永远不可能比联系的知觉有更多的含义，这些联系也就是在多样性中相似性的统一的特征或标志。

但是，如果这样一种万物的统一本原存在的话，那么——这是沿着这条思路的下一步——人们直接面临这样的问题：它怎样才能用来说明变化这个事实。这种困难在著名的巴门尼德悖论中是特别显明的。只有存在，没有不存在。但是如果只有存在那就不可能有任何东西在此存在之外，与它相连接，或者能够引起变化。因此存在必须设想为是永恒的，均匀的，并在空间和时间上是无限的。于是，我们体验到的这些变化只能是一种幻觉。

希腊思想不可能同这个悖论长期并存。表象的永恒的变化是直接呈现的，问题是（怎样）解释它。在企图克服这个困难时，形形色色的哲学家沿着不同的方向奋力前进。一条路导致德谟克里特的原子论。除了“存在”之外，仍然可以存在着“不存在”，它作为一种可能性，即作为运动的形式和可能性，或者换句话说，作为空虚的空间而存在。“存在”是可重复的，于是我们得到了虚空中的原子图像——这个图像以后作为自然科学基础而有无限的成效。但是关于这条路我们现在不想再多说什么了。我们的目的倒是要更细致地描述另一条路，它曾导致柏拉图的理念，而现在则直接把我们引入美的问题。

这条路起始于毕达哥拉斯学派。数学，数学的秩序，是能用来说明现象的多样

性的基本原则，这个想法据说是来源于这个学派。关于毕达哥拉斯本人我们不甚了解。他的门徒实际上好像已经成为一个宗教派别，只有轮回学说和某些道德的及宗教的准则与戒律才可以确确实实地追溯到毕达哥拉斯。但是在这些门徒之中——而且这是关系到后来的事——专心致力于音乐与数学起了重要的作用。据说，毕达哥拉斯曾经作出了著名的发现：一些长度处于一种简单的数值比的振动的弦，如果在同样的张力之下就会一起发出和谐的声音。这种数值比作为和谐源泉的数学结构，在人类历史上无疑是最重大的发现之一。两根弦的和谐一致产生出优美的声音。由于敲打效果产生的不谐和音的干扰，人耳感到不愉快，但是对于谐音，谐调的和平，它就感到美。因此数学关系也是美的源泉。

美，如我们的第一个古代定义所说的，是部分与部分彼此之间以及部分与整体之间固有的协调一致。在这里，部分是个别的音符，整体则是和谐的声音。数学关系因而能把两个原来是彼此独立的部分配合成一个整体，这样就产生了美。在毕达哥拉斯学说中，这个发现促进了一种向全新的思维形式的突破，并且使得万物的终极基础不再被设想为一种感性的物质——比如泰勒斯学说中的水——而是设想为一种理想的形式原则。这就表述了一种后来为一切精密科学提供了基础的基本思想。亚里士多德在他的《形而上学》中讲到毕达哥拉斯学派时说："他们是最早从事数学的人，他们不仅推进了这一研究，而且在这方面受到教育，他们认为，数学的原则就是万事万物的原则……因为他们看到音阶(musical scales)的调整和比值都是可以用数来表示的；而且，因为一切别的事物就它们的整个性质来说，似乎都是用数来模拟的；而数看来是自然界整体中基始的东西，他们就设想数的元素就是万事万物的元素，而整个天国就是音阶和数。"

于是，对于现象的丰富多彩的多样性的理解，就出现于在其中认出可以用数学语言来表示的统一的形式原则。据此，在可理解的东西和美的东西之间也就建立起一种密切的联系。因为，如果美的东西被理解为部分与部分彼此之间的以及部分与整体之间的谐调一致，而且，在另一方面，如果一切理解只有借助于这种形式上的联系才开始可能做到，那么，对美的东西的体验事实上就等同于对联系的体验，不管这些联系是理解到的或者至少是猜测到的。

沿着这条路，下一步是柏拉图表述了他的理念理论。柏拉图把感觉的物质世界之不完美的模样同数学之完美的形式加以对比，比如说，把星体的不完美的圆周轨道同数学上定义的圆周的完美性加以对比。物质的东西都是理想模样在实在世界中的复本和幻象。此外，正如我们现今一定会被诱惑去继续那样看的，这些理想模样是真实的，因为它们在物质事件中是"主动"的，而且也只限于如此范围内。就这样，柏拉图在这里十分明确地把感官所能接收的物质存在同不能由感官而只能通过心灵的作用才能理解的纯粹理想的存在区别开来了。这个理想存在，为了显现在人的面前，根本不需要人的思想。恰恰相反，它是真实的存在，物质世界和人

的思维都不过是它的摹本。正如它们的名称已经表明的那样，人的心灵对于理念的领悟宁可说是一种艺术直觉，一种半直觉的指示而不是理解（力）所传达的一种知识。这是形式的一种回忆，这些形式在这个灵魂存在于地球之前就已经安放于其中了。中心理念是关于美的东西和善的东西的理念，在这个理念之中，神圣的东西变得可见了，一见到它，灵魂的羽翼就开始生长起来。《斐德罗篇》中有一段话表达了如下思想：灵魂一见到美的东西就感到敬畏而战栗，因为它感到有某种东西在其中被唤起，那不是感官从外部曾经给予它的，而是早已一直安放在深沉的无意识的境域之中。

那就回过头来再谈谈理解，从而回到自然科学上来。遵照毕达哥拉斯和柏拉图的意见，现象的丰富多彩的多样性是可以理解的，因为而且只要它是以能用数学表示出来的统一的形式原则为基础的。这个假说已经构成对于当代精密科学全部纲领的一种期望，不过，在古代它是不可能完成的，因为在那时关于自然过程细节的经验知识基本上是短缺的。

我们知道，首先想要深入到这些细节中去的是亚里士多德哲学。但是，鉴于最初呈现在这个观察自然界的学者面前的是无限丰富的多样性，而又完全缺乏任何可以用来辨别（它们的）秩序的观点，毕达哥拉斯和柏拉图所寻求的统一形式原则就只好让位于对细节的描述。因此引起了今天仍在争论中的冲突，比如，实验物理和理论物理之间的冲突，实验工作者和理论工作者之间的矛盾。前者以细心审慎的细节观察首先为理解自然提供了先决条件，后者创造数学图像借以探索秩序和理解自然——数学图像，不仅由于它们正确地描述了经验，而且更主要地由于它们的简单性和美，证明它们本身就是作为自然过程基础的真实理念。

亚里士多德本人作为一个经验主义者，曾经对毕达哥拉斯学派有过批评。他说（《论天》）这些人“不是寻求说明被观察事实的理论和原因，反而倒要把他们的观察结果强行纳入他们自己的某些理论和见解之中”，从而可以说，他们正在开始成为宇宙的共同组织者。如果我们回顾一下精密科学的历史，大概可以断言，对自然现象的正确表述正是从这两种对立观点的紧张关系中发展形成的。纯粹数学的思辨不会有什么成效，因为它玩弄着大量可能的形式，就不再去寻找回溯到少数几个实际上借以构造自然界的形式了。而纯粹的经验主义也不会有什么成效，因为它最终陷入无止境地制造无内在联系的表格的困境之中。只有通过这种紧张关系，通过大量事实和可能适合它们的那些数字形式之间的相互作用，才能够涌现出决定性的进展。

但是，在古代，这种紧张关系是无法接受的，因此通向知识的道路长期地偏离通向美的道路。只是在现代时期开始之际，一旦发现了从亚里士多德回到柏拉图的道路，美的东西对于理解自然的重要意义才再度变得明晰可见。只有通过这种路线的变化，由毕达哥拉斯和柏拉图开创的思想方式才显现出它的全部成效。

这一点最明确地表现在著名的落体实验上，实际上伽利略也许并没有从比萨斜塔上做过这个实验。他不顾及亚里士多德的权威，而是遵循毕达哥拉斯和柏拉图的教导，从细致的观察结果开始，力求找到同这些由实验得到的事实相对应的数学形式，于是获得他的落体定律。然而，这一点是关键，他为了认识现象中数学形式的美，不得不把这些事实理想化，或者如亚里士多德所非难的，强制它们。亚里士多德曾经讲过，一切正在运动的物体，不受外力作用，最终会静止的，而且这曾经是普遍经验。相反，伽利略认为，没有外力，物体继续处于匀速运动状态。伽利略能够这样贸然强制这些事实，因为他能指出，运动的物体自然总是受到摩擦阻力的影响，而且，实际上愈是能够有效地去掉摩擦力，运动就能继续得愈久。代之以这种强制事实和使其理想化的方式，他得到一个简单的数学定律，而这就是近代精密科学的开端。

几年之后，开普勒在他关于行星轨道的十分细致的观察数据中成功地发现了新的数学形式，并提出三条以他的名字命名的定律。在这些发现中开普勒觉得自己同古老的毕达哥拉斯论据是多么的接近，这种联系的美是多么有效地引导他提出这些定律，这可以从下述事实中看得很清楚：他把行星绕日运动同弦的振动相比较，并说到不同的行星轨道的和谐一致，说到这些星球的和谐。在他关于宇宙和谐的著作结尾的地方，他突然欢呼起来："感谢我主上帝，我们的创造者，您让我在您的作品中看见了美。"开普勒在这里碰巧发现一种中心的联系——一种至高无比的美的联系，这种联系以前并未为人所知，一直保留着让他首先来认出，这个事实深切地感动了他。几十年之后，牛顿在英国以最完备的方式提出了这个联系，并且在他的伟大著作《数学原理》中详细地加以叙述。精密科学的道路就这样在将近两个世纪之前被指明了。

但是，我们在这里只是讨论知识，还是也涉及美的东西呢？如果美的东西也包括在内，那么它在发现这些联系中起什么作用呢？让我们再次回忆古代给出的第一种定义：美是部分与部分彼此之间和部分与整体之间固有的协调。这一判别准则完全适用于像牛顿力学这样一种结构，那几乎是不需要加以说明的事。部分就是个别的力学过程——我们用仪器小心地加以隔离的那些过程并不比那些无法分割地发生在我们眼前的色彩缤纷的现象的过程要少。整体则是统一的形式原则，所有这些过程都遵守这个原则，牛顿以简单的公理系统从数学角度建立起这个原则。确实，严格地说，统一性和简单性并不就是一回事。可是，在这样一个理论中，"多"面对着"一"，在其中"多"被统一了，这个事实本身具有无可置疑的后果：我们同时也感到它是既简单又美的。美对于发现真的重要意义在一切时代都得到承认和重视。拉丁格言"Simplex sigillum veri"——"简单是真的印记"——以大字刻在哥廷根大学的物理学报告厅里，作为对于那些将发现新事物的人们的一种告诫。另一句拉丁格言"Pulchritudo splendor veritatis"——"美是真理的光辉"——其含

义也可解释为，探索者最初是借助于这种光辉，借助于它的照耀来认识真理的。

在精密科学的历史中，伟大联系的这种灿烂光芒不止两次成为重大进展的决定性的信号。这里，我想到我们这个世纪物理学中的两件事，相对论和量子论的出现。这两种情况都是经过多年努力但仍不能理解之后，一大堆杂乱无章的细节由于出现了一种联系而几乎马上变得井然有序了，这个联系基本上是非直觉的，但就它的本质来说仍然极其简单，凭借它的完备性和抽象的美，它立即就令人感到信服——那就是说，使得所有一切能够懂得并说出这样一种抽象语言的人都心悦诚服。

不过，现在我们不去进一步追究事件的历史过程，而是直截了当地提出这样的问题：在这里闪耀着光辉的东西是什么？伟大的联系带着这种美的熠熠光彩进入精密科学，甚至在细节得到了解之前，在能够合理地加以证明之前，就成为可认识的，这是怎么一回事呢？这种启发性力量何在？它对于科学进步有何影响？

也许我们在这里应当从回想一个现象开始，这个现象可以说成是抽象结构的展开。它可以用我们一开头就曾提到过的那个数论的例子来说明，但人们也可以提出艺术进化中的可比较过程。对于算术的数学基础或数论来说，几条简单的公理就够了。事实上，这几条公理不过精确地定义了什么是计数。但用这几条公理我们就已经为安排十分丰富的形式打下基础，这些形式只是在素数理论、二次残数理论、数值同余式理论等等学科的长期历史过程中才进入数学家心中的。人们可以说，在数中并用数来设置作为前提的那些抽象结构只有在数学史的过程中才展示可见，它们产生了构成复杂的数论科学内容的大量命题和关系。某些简单的基本形式，例如，罗马式建筑中的半圆和直角，也占据了相似的地位——比如说，在建筑中一种艺术风格开始的时候。在历史过程中，从这些基本形式就产生出新的、更加复杂的、而且特征上也有所变化的形式，但是它们在某些方面仍可认为是同一主题的变化，于是从这些基本结构就出现了建筑物的新式样、新风格。然而，我们有一种感觉：在这些原始的形式中，甚至一开始就已经可以看出发展的种种可能性；不然的话，那就几乎不能理解许多有天才的艺术家竟然如此迅速地下决心去追求这些新的可能性。

抽象的基本结构的这样一种展现，在我从精密科学历史上列举的那些事例中肯定也出现过。直到上世纪中叶，在牛顿力学中这种新分支的增长和不断发展还在继续发生。本世纪，在相对论和量子论中我们经历了类似的发展，这种增长还没有结束。

此外，在科学中也像在艺术中一样，这种过程也有重要的社会的和伦理的方面，因为有许多人可以在这个过程中积极活动，中世纪要建造一座大教堂，就得雇佣许多技艺高超的泥瓦匠和手艺人。他们心中充满了以原始形式为基础的美的观念，由于任务的驱使，他们遵循这些形式进行准确精巧的工作。同样，在牛顿的发现之后两个

世纪中，许多数学家、物理学家和技术专家都被请来按牛顿的方法研究处理特殊的力学问题，进行实验或者实现技术上的应用。在这里，为了获得在牛顿力学框架内是可能的东西，也常常要非常细心。也许一般可以这样说，依靠基础结构（在此情况下，就是牛顿力学），描出指导路线，甚至提出价值标准，借此可以客观地决定一项提出的任务是做好了还是做坏了。这的确是个事实，种种特殊的要求已经提出来了，每个人能以微小的贡献协助达到巨大的目标，他贡献的价值能够客观地加以测定，这样对于大批与此有关的人们来说，就会对这样一种发展感到满意。因此，对于我们这个时代来说，甚至工艺技术在伦理学上的重要性也不应当低估。

举个例子，科学技术的发展也已经产生了飞机这个观念。各个为这架飞机装配零部件的技术员，制造零部件的工人，都知道他的工作需要极其小心和精确，许多人的生命完全有赖于它的可靠性。因此，当他觉得飞机的技术目标已经用精确适当的手段实现了的时候，他会因为很好地完成一件工作而感到骄傲，而且他也像我们一样对飞机的美感到喜悦。美，像我们再三引证的那个古代定义所说的，是部分与部分彼此之间，部分与整体之间固有的协调，这个要求在一架良好的飞机中也必须满足。

可是这样说明了美的基本结构的演化，并指出在历史发展过程中后来出现的伦理价值和要求，我们还没有回答我们以前提出的问题，那就是，在这些结构中闪耀的光辉究竟是什么？甚至在细节上得到理解之前怎样认识这个伟大的联系呢？这里我们必须预先考虑到这种认识甚至有可能建立在幻觉的基础之上。但无可置疑的是确实存在着这种完全直接的认识，存在着柏拉图在《斐德罗篇》中所说的那种在美的东西面前的战栗。

对所有认真思考这个问题的人来说，似乎普遍都已经承认这种直接的认识并不是推论的（理性的）思维的结果。这里我可要引证两段话，一段出自我们已经提到过的开普勒的著作，另一段则出自我们当代的苏黎世原子物理学家 W. 泡利（W. Pauli），他是心理学家荣格（Carl Jung）的朋友。第一段话可以在开普勒《世界的和谐》一书中找到：

在给予感官的东西中以及在感知之外的其他事物中，感知与认识到它们崇高的比例的能力必须归属于灵魂的较低部位。它与给感官提供形式的先验模式的能力非常相近，或者还要深邃一些，因而与灵魂的纯粹的生命力相邻接。它不像哲学家那样进行推论性的思考（即进行推理），也不采用经过仔细考虑的方法，因此并不是人所特有的，而是野兽和家畜所共有的……现在可以提出这样的问题：灵魂的这种本领，既然不从事概念思维，因而也就不可能有关于和谐关系的正确知识，究竟怎么能够认识在外部世界中特定的东西呢？原因在于认识就是把外界的感觉与内心的原象加以比较，并断定外界的感觉同这些原象符合一致。普罗克勒斯（Pro-

clus)在他关于觉醒的明喻中巧妙地把这件事说成是来自梦境。因为,就像外部世界中在感觉上表现出来的事物使我们想起原先在梦中感知到的东西一样,感觉中给出的数学关系也唤起了早就在心中给出的概念的原型,于是它们现在就真实如生地在灵魂中闪耀出光辉,而以前它们在那儿只是隐隐约约地存在着。可是它们是怎样到达心中的呢?对此我的答复是,所有纯粹的理念或和谐的原型样本,诸如我们所谈到的,先天地存在于那些能够理解它们的人心中。但它们首先不是通过理解过程吸收到心灵中来的,毋宁说,作为一种对于纯粹量的本能直觉的产物,是那些个体生来就有的,正如植物的花瓣数目就它的结构原则而论可以说是生来就有的,或者,像苹果的子房数目是生来就有的一样。

开普勒的话就引这些。他在这里向我们提到在动物界和植物界已经发现的(种种)可能性,提到导致对形态有所认识的生来固有的原型。在我们的这个时代,泡特曼(Adolf Portmann)特地描述了这样种种的可能性,比如说,他说明在鸟的羽毛上所看到的特殊彩色图案,这些图案只有当它们被同类的别的鸟也感知到时才能具有一种生物学上的意义。因此感觉能力正如图案自身一样必须是生来就有的。这里我们也可以考察一下鸟类的歌声。起初,生物学上的需要在这里可能十分单纯,要有一种特殊的声频信号用来寻找配偶并让后者了解。但是,这种直接的生物功能在重要性方面一旦衰退,现存的形式就可能接着发生有趣的增长,把基础的旋律结构加以展开,甚至连人这样不同的种类都觉得它像歌一样地迷人。识别这种自由地玩弄形式的本领至少必须是上述鸟类所固有的,因为它肯定不需要推论的理性的思想。引用另一个例子,人可能有一种天赋能力,理解手势语的某些基本形式,从而决定,比如说,别人是好意还是敌意——这对于人类社会生活是极为重要的一种能力。

泡利在一篇论文中曾提出过同开普勒的这些话很类似的思想,他写道:

因此,实质上,理解过程以及人们在理解中所感到的喜悦,即在开始了解新知识时所感受的快乐,看来都依赖于一种对应关系,也就是,预先存在的人类内在的表象与外部客体及其行为逐渐达到一致。当然,关于自然知识的这一观点可回溯到柏拉图……开普勒也很坦率地采纳了这一观点。事实上,后者谈及理念,它作为上帝的表象,预先存在于上帝的心中,从而铭刻在灵魂之中。开普勒称这些原始的表象为原型,灵魂可以借助于天赋的本能来感知这些原始的表象。这与荣格引进现代心理学中的原始的表象或原型之间有着极其广泛的一致性,这些原型起的作用是观念的本能的样式。现代心理学已经证明,所有的理解都是长时间的事情,在意识内容可以由理性加以系统表述出来之前,长时间地伴随着处于无意识状态的种种过程,它又把注意力转到了认识的前意识的废而不用的阶段。在这一阶段中,清晰的概念被具有强

烈情绪内容的表象所替代，这些表象不是思想，而是仿佛在心灵的眼睛前面图画般地看到的东西。在这些表象表现一种猜测的但却仍然未知的事态范围内，根据荣格提出的符号定义，它们也可以称为象征性的。这些原型作为在这个象征性的表象世界中的调整控制器和造字要素，实际上起着感觉和理念之间有效的桥梁作用，因而也是形成科学理论必要的先决条件。然而必须注意把这一直觉的知识转移到意识之中，使它与特殊的、在理性上可以系统表示的理念联系起来。

在他进一步探究的过程中，泡利接着表明，开普勒最早并不是从任何特定的天文观测数据，而是从哥白尼图像与荣格称之为神象（mandala）的原型的一致，才获得他对哥白尼体系正确性的信念的。开普勒也把这种原型作为三位一体的象征。上帝，像原始的推动者，被理会是在球的中心；世界，圣子工作的地方，相当于球的表面；圣灵则与从球心辐射到球面的光线相对应。它们实际上不可能用理性甚至也不可能用直觉来加以描述的，这自然是这些原始表象的特征。

虽然开普勒可以从这种原始表象获得他对哥白尼理论正确性的信念，但是，对于任何有效的科学理论来说，尚须一个决定性的先决条件，那就是，它应该接着经受得住经验的检验和理性的分析。在这方面科学要比艺术幸运，因为科学有一种毫不宽容、不可改变的价值标准，没有一件工作可以回避它。哥白尼体系、开普勒定律和牛顿力学在解释现象上，在观察结果上以及在工艺技术中，在这个范围内以这样极高的精确性相继地证明了自己，以致在牛顿的《原理》之后再也不可能怀疑它们的正确性了。但是，即使在这里还是存在一种复杂的理想化过程，柏拉图曾经认为它是必要的，而亚里士多德却对之加以非难。

只是在大约五十年前，这一点才完全清楚地显示了出来，那时，从原子物理学的研究结果中认识到牛顿的概念体系对于研究原子内部的力学现象来说已不再能胜任了。自从 1900 年普朗克发现作用量子以来，物理学就出现了一派混乱。两个多世纪以来一直成功地用来描述自然界的旧定律不再适用于新的研究结果了。甚至这些研究结果本身也是常有矛盾的。某一实验证明了的假说对于另一个实验就不适用。旧物理学的美和完备性似乎破坏了，谁都不能从往往全异的实验中得到一种真正的洞察力，看到新的不同种类的联系。我不知道拿普朗克的发现（这个发现在我是青年学生时也曾碰到过）之后 25 年来物理学的状况与同一时期中的现代艺术情况相比较是否合适。但我必须坦率地说，这种比较在我心中反复地进行着。在面临关于这些令人迷惑的现象怎么办的问题时无依无靠，惋惜失去那些看来仍然是如此令人信服的联系——所有这些不满，以一种类似的方式塑造了完全不同的两个学科、两个时期的面貌。这里，我们所关心的显然是一个必要的中间阶段，我们不能绕过这个阶段，而是在这个阶段准备着即将到来的发展。因为，正如泡利告诉我们的，所有的理解都是一种持续的事情，它在意识内容可以由理性加以系统

表述出来之前很久，在无意识状态的种种过程中开始的。原型起的作用如同感觉与理念之间理想的桥。

然而，在真正的理念出现的那一刻，看到它们的人，在他的灵魂内发生一个完全不可描摹的极度紧张的过程。这就是柏拉图在《斐德罗篇》中所说的惊异的畏惧，借此灵魂回忆起仿佛始终无意识地保持在灵魂中的某种东西。开普勒说"Geometria est archetypus pulchritudinis mundi"，或者如果我们可以用比较普通的话来翻译，那就是"数学是这个世界之美的原型"。在原子物理学中，这一过程发生在近五十年前，它在崭新的前提下又一次使精密科学恢复了那种已失去长达四分之一世纪的和谐与完备状态。我看不出有任何理由（可以说明）为什么在艺术中就不会有一天也发生同样的事。但是，还必须补充告诫一下，这样的事情不能人为地使之发生，它必须自行出现。

我向你们介绍了精密科学这一侧面，是因为精密科学与艺术的类似变得极为显而易见了，也因为在这里可以消除那种误解，以为自然科学和技术只涉及精确的观测和理性的推论思想。诚然，这种理性的思维与细致的测量属于科学家的工作，正如使用锤子和凿子属于雕塑家的工作一样。但是在这种情况下，它们都不过是工具，并不是工作的内容。

最后也许我可以再向你们提一下关于美这个概念的第二种定义，它起源于普罗替诺，在这个定义中根本没有说到部分和整体："美是'一'的永恒光辉透过物质现象的朦胧的显现。"在我们经常渴望回顾的一些重要的艺术时期中，这种定义要比第一种定义更合适些。但是当代却很少有人从这一方面来谈论美了，遵守我们必须在其中生活的时代的传统习惯并对难说事保持沉默，也许这是个良好的章则。事实上，两种定义并非相去甚远。因此，我们就满足于美的第一种更为适度的定义吧，这个定义在自然科学中也肯定意识到了，我们可以开诚布公地说，在精密科学中，丝毫也不亚于在艺术中，它是启发和明晰的最重要的源泉。

作者简介略。

文献来源：《自然科学哲学问题》1982 年第 1 期，第 40－47 页，曹南燕译。

美和理论物理学[①]

杨振宁

科学中存在美，所有的科学家都有这种感受。美的定义是什么？韦伯斯特(Webster)大学辞典中对美是这样定义的："一个人或一种事物具有的品质或品质的综合，它愉悦感官或使思想或精神得到愉快的满足。"这是一个不到25个字(在英语中这段话仅24个词——译者注)的简洁的定义。当然，美的概念实际上比这个定义复杂得多。你会问在文学、绘画、音乐和科学中，美的含义是什么？当你这样提问时，你会意识到，这个问题相当复杂，也许很难给出一个周全的定义。

毫无疑问，很早科学家们就懂得科学中蕴含奇妙的美。1542年[②]出版的哥白尼的伟大著作《天体运行论》中的第一句话是"在哺育人的天赋才智的多种多样的科学和艺术中，我认为首先应该用全副精力来研究那些与最美的事物有关的东西"。哥白尼选择这样一句话来开始他的著作，清楚地表明了他是多么欣赏科学中蕴含的美。实际上，通观全书，人们会发现还有一些类似的段落也表现了他那难以置信的精神上的愉快。

今天，不同科学学科的美既密切相关，又不完全相同。我的题目是理论物理中的美，如李泼斯肯(Lipscomb)教授已经强调的那样，物理学——当然包括理论物理学——中的许多美是与数学中的美的观念紧密相关的。1870年，19世纪最伟大的物理学家之一麦克斯韦(Maxwell)在就任不列颠学会中数学物理学部A组主席的演说中，谈到他对一位卓越的数学家、前任主席西尔威斯特(Sylvester)教授的印象。他说，西尔威斯特具有"和谐性鉴赏的观念"，"他感到这是一切知识之本，一切快乐之源，它构成了各种行动的前提。这位数学家首先具有对称的眼力"。

一脉相承，我们发现19世纪另一位伟大的物理学家玻尔兹曼(Boltzmann)说：

---

① 原载 *The Aesthetic Dimension of Science*. ed. Deane W. Curtin, pp. 25—40, Philosophical Library, N. Y. 1982. 译者张美曼。——原编者注

② 实为1543年。——原编者注

音乐家在听了最初几小节后便能辨别出这是莫扎特、贝多芬还是舒伯特；同样，数学家在读了开始的几页后便能辨别出这是柯西(Cauchy)、高斯(Gauss)、雅可比(Jacobi)、亥姆霍兹(Helmholtz)还是基尔霍夫(Kirchhoff)。法国作者极为注意形式上的优美，而英国人，尤其是麦克斯韦则表现出具有戏剧感。例如，谁不熟悉麦克斯韦有关空气动力学理论的回忆录？先是庄严地展开速度的变化，接着从一个方面引入状态方程，从另一个方面引入中心场的运动方程。公式的变化令人眼花缭乱。突然，我们好像听到了四次定音鼓的冲打声，“取 n=5”，这不吉利的精灵 V(两个分子间的相对速度)消失了；就像迄今在乐曲中的低音部里占主导地位的形象突然沉默了一样，这个起初看来不可克服的困难就像变魔术一样被克服了……这还不是问为什么要用这个或那个来替代它的时候。如果你跟不上这些发展，那就放下这篇文章。麦克斯韦写的并不是附有说明注解的标题音乐……一个结果迅速地接着另一个结果，直到最后，作为一个意外的高潮，我们得到了热平衡条件和转移系数的表达式。帷幕降下来了。

玻尔兹曼就是这样将阅读麦克斯韦空气动力学理论的杰出论文时所获得的喜悦和聆听美妙的乐曲时所得到的喜悦相比拟的。

在为这个会议做准备时，我考虑了试图用一些词来定义科学中的美的可能性。显然，这样一些词，如：①和谐、②优雅、③一致、④简单、⑤整齐等等都与科学中的美，特别是与理论物理中的美有关。但是，思索着怎样把这些词组合在一起去形成“美”的定义时，我开始意识到，事实上“物理学中美的概念不是固定的”。这个概念是发展的，因为理论物理学的题材是发展的，并且我强烈地觉得在所有自然科学的分支中都存在这种情况。

我们对理论物理学中美的理解是变化的。对于这种变化，影响最显著最重要的是理论物理学日益增长的数学化。让我从历史的角度向你解释我的意思是什么。人们公认伽利略时代是现代物理的诞生的时期。他留给我们一些重要的发现，但是如果你想一下，虽然这时发现很重要，但它们并不是最重要的遗产，更重要的是他教给我们应当怎样去研究物理学。

也许麦克斯韦 1870 年讲演中的另一段话是最好的解说：

缺乏训练的探索者所看到的那种最有力地表现出来的特征，也许在经验丰富的科学家看来并不是最基本的现象：任何成功的物理学研究，都依赖于明智地选择什么是被观察到的最重要的现象，并用心灵对那些看上去很吸引人、然而我们还没有充分地在科学研究中获得好处的特征进行随意的抽象。

正是伽利略教导科学界说，如果你明智地选择了你观察到的事物，你将会发现，从一些纯化的理想化的关于自然界的实验中得出的物理定律，可以用精确的数学语言来描述。这就是伽利略的伟大教导，这当然也就是定量的物理学的开始。伽利略的观念是一种深刻的美的观念。

后来是牛顿，我们都知道牛顿给了我们一个完整的经典力学体系，这个体系统治物理学约 200 年，以至于后来人们要脱离它时变得十分困难。通过他的工作，物理学的数学化取得了进展，并被认为是非常严格的数学化。

接着是 18 世纪后期，那时物理学家的注意力转到了电学和磁学。在大约 50 年的时间里，通过大量的实验研究，物理学家发现了四个电学和磁学定律。第一个是库仑定律(Coulomb's law)。库仑的装置由一个大球组成，它能使一根悬挂在它旁边的细长的棒带电。随着这个球带电和不带电，悬挂在它旁边的细长的棒将会交替地以不同的频率摆动。观察这个频率及荷电球与细长棒之间的距离，库仑导出了平方反比定律，它是四个电磁学定律，即库仑定律、高斯定律(Gauss's law)、安培定律(Ampère's law)和法拉第定律(Faraday's law)中第一个重要的定律。这些发现导致了电学的诞生，甚至导致了现代世界。

然而，为了继续前进，我们需要的不仅是这些经验定律。我们还需要麦克斯韦的重要的场的概念，需要用这一概念来代替超距作用的概念——在麦克斯韦之前，这是一个流行的概念。例如甚至像高斯这样伟大的数学家兼物理学家也非常喜欢超距作用的概念。而法拉第却感到力的超距传递是前后矛盾的。他宁可认为每一个物体都作用于它的近邻，而近邻又作用于它的近邻，等等，直到最后力被传递到另一端。

力线和场是极为重要的概念。它们的重要性不仅仅在于它们导致了对电学和磁学的深入了解。

然而，虽然法拉第的这些观念很重要，但它们却是一些没有用数学形式来表达的直观观念。法拉第有着很了不起的直觉意识，但他不是一个数学家。实际上如果你读他的文章，你几乎找不到一个数学公式。令人惊异的是，他怎么竟能不用数学工具而具有这么透彻的直觉。

麦克斯韦比法拉第年轻 40 岁，他恰好在这个时候出现了。麦克斯韦非常敬慕法拉第，他尝试用数学形式把法拉第的思想表达出来。法拉第的思想是直观的、非数学化的，所以这确实极为困难。麦克斯韦为此奋斗了几乎 20 年，最后导出了伟大的麦克斯韦方程。在题为"电磁场的动力学理论"的文章中，麦克斯韦第一次写出了他的方程式，毫无疑问，这是 19 世纪理论物理学方面最伟大的文章。麦克斯韦方程表达了实验发现的库仑定律、高斯定律、安培定律和法拉第定律。用数学表达出这些定律是一个伟大的进步。把它们用数学形式表达出来，麦克斯韦便可以运用数学家们在过去所有世纪中所发展出来的智慧和技巧。这样，麦克斯韦和他

的追随者就可以以这些方程导出许多结果，而如果没有这些方程，这些结果是得不到的。例如，从这些方程出发，麦克斯韦能够断定光的科学不过是电学和磁学的一个分支。于是他便可以预言电和磁能以波的形式传播。而这种波在麦克斯韦逝世10年后确实被发现了。

然而，如果以为麦克斯韦的努力和结果在当时被普遍地接受了，那就错了。法拉第本人就很为麦克斯韦的这种工作担忧。在1857年，当时麦克斯韦还没有完全完成他的工作，他把自己的部分结果寄给法拉第，法拉第写了一封有趣的信回答他：

我亲爱的先生：

收到了您的文章我很感谢。我不是说我敢于感谢您是为了您所说的那些有关力线的话，因为我知道您做这项工作是由于对哲学真理感兴趣。但您必定猜想它对我是一件愉快的工作，并鼓励我去继续考虑它。当我看到把这种数学力强加到这个学科上时，我最初几乎吓坏了，然后惊讶地看到这门学科竟然能够很好地容忍这种数学力。

实验物理学家，还有某些理论物理学家，对复杂的数学形式化的怀疑是很常见的，我认为这是正常的。原因是多数关于物理现象的复杂的数学形式化最后都一无所获。然而，尽管情况的确如此，但当伟大事件出现时，我们必须承认它，在上面这个例子中，当麦克斯韦完成了他的工作时，电学和磁学无疑便有了最重要的转折。麦克斯韦方程导致了对电磁和光学现象的极其详细的、极其准确的、极其全面的理解。麦克斯韦方程导致了其后的电气工程和整个通讯事业的发展。在纯学术方面，对麦克斯韦方程的研究导致了本世纪初的两个深刻的物理学革命，即狭义相对论和广义相对论的建立。我后面还要回到这个题目上来。

在更近的时候，对麦克斯韦方程的研究和它们的推广导致了我们这样的假设，即基本物理定律中的对称性表现了自然界是怎样构成的最重要的方面之一。一切相互作用的力，所有自然界的力都是从四种基本的力导出的。现在一般认为这些基本力的存在和性质都可以从一些特殊的对称原理导出。所有的这些发展都是对麦克斯韦方程直接的或间接的更深入理解的结果。

在最近的物理学中，数学化正在加速进行，狭义相对论和基础是四维连续时空概念，如李泼斯肯教授已经指出的那样，广义相对论是建立在黎曼几何的基础上的。量子力学的概念的数学基础是称之为希尔伯特空间的漂亮而抽象的数学理论，非阿贝尔规范物理理论是令人惊奇地建立在纤维丛几何上的，而纤维丛几何与1920年代和1930年代产生的物理学没有任何关系，是由数学家们独立讨论的。

所有这些数学发展对20世纪的物理学是非常重要的，它们相当抽象又非常美丽。

也许现在我们可以开始去了解，为什么物理学数学化的加速，导致了理论物理学中美的概念的变化。考虑到这一点，我建议存在三种美：现象之美、理论描述之美、理论结构之美。当然，像所有这一类讨论一样，它们之间没有截然明确的分界线，它们之间有重叠，还有一些美的发展，人们发现很难把它们归入哪一类。但我倾向于认为一般来说，在理论物理学中有不同类型的美，而我们对这些美的鉴赏稍有不同，这取决于我们已在讨论的是哪一类美。而且，随着时间的推移，我们对于不同类型的美的欣赏也随着变化。

我说的"现象之美"是什么意思呢？这很容易解释，就我们的直感来说，有许多物理现象是美的。早在童年时，看到虹我们会脱口而出"美极了"。当然，有许多美丽的实验现象只有训练有素的人才能观测到。例如，行星的轨道都是椭圆的，这是非常美的现象。当第一次发现这些轨道是完美的椭圆时，人们感到极大的喜悦。再举一个例子——谱线。原子的谱线是非常独特的，有严格的光学性质。麦克斯韦发现它们是美的，因为它们似乎与发光原子所处的外界条件无关。正如19世纪科学家所发现的那样，如果你把发光原子置于高压下，光谱毫无变化，这似乎揭示了原子的一些内在性质，当然这是一个非常美的想法。

再比如：超导性现象。当发现电流在一个通有电流而不带电池的线圈中成年累月地流动而不停下来，可以想像，发现这一现象的人将会多么惊讶。所以，物理现象中显然存在着美。

我所说的"理论描述之美"是什么意思呢？关于库仑力的定律是一个漂亮的描述；它描述了先前不服从任何特殊定律的现象，而现在它们却服从了。热力学的第一、第二定律是对自然界某些基本性质的很美的理论描述。第一、第二定律的结论和对这些定律精确的观察是每一位学热力学的学生都很欣赏的课题。

再举一个例子，本世纪初发现了放射性，并很快地测定到放射性将导致放射性元素的蜕变，但正是卢瑟福(Lord Rutherford)给了我们一个精确的定律。这是一个有很高精确度的指数衰变定律，直到今天，我们也没有发现对它的偏差。

最后，什么是"理论结构之美"？当一个理论公式化时，特别是在20世纪，它趋向于有一个漂亮的结构，这通常是指它本身的数学结构。自然界为它的物理定律选择这样的数学结构是一件神奇的事，没有人能真正解释这一点。显然，这些数学思想的美是另一种美，它与我们前面讨论的美很不相同，物理的日趋数学化意味着在我们的领域内这最后一种美越来越重要。

在这个问题上，也许另一个例子将有助于说明问题：对周期表之美的深入认识。众所周知，周期表最初是在上个世纪构造出来的，那时发现，如果把性质相似的元素按纵列放在一起，可以得到一个美妙的表——但表中有一些空缺。这促使人们去寻找那些空缺的元素。这些元素一个接一个地被找到了。这是一个很美妙

的并具有重大实用意义的结果。然而，我认为这属于现象之美。但是后来出现了玻尔原子和量子力学，这些发展给周期表的结构提供了一个更基本的理论理解，即一个元素在周期表中应占的位置与该元素的原子结构中所拥有的电子数目有关。这的确是一个深刻的发现。

这样，在量子力学之后，我们的理解又进一步深化了。正如李泼斯肯教授所阐述的，周期表包含了长度为 2、2、6 的周期，这些数字与数学中称之为"群论"的概念紧密有关，群论描述了物理定律的基本对称性。奇妙的是，当用群论的深刻数学语言去描述基本对称概念时，就能以毫不含糊的、确切的方式得到这些数。通过这些发展，科学家们懂得了自然界有人们先前没有想像到的，但可以立志去了解的模式。

在最近的物理学中，我们常常发现我们是先导出一个方程，然后讨论它的物理含义。这与早期的发展方式有很大差别。前面我们说过电学和磁学的那些重要定律是先从实验中发现，然后用数学形式表达出来。写出这些方程之后，人们再用它去寻找它们所表示的电学和磁学的基本对称性。而在最近的物理学中，人们先从对称性出发，然后再得到方程。

从历史的观点看，对早期发展模式的偏离是以下列方式产生的。当初麦克斯韦刚写下他的那些方程时，人们认为这些方程非常晦涩难懂，根本不理解它们。在一本纪念洛伦兹的文集中，福克教授(A. D. Fokker)说：

麦克斯韦的著作是晦涩难懂而神秘的，对不得不消化这些著作的那代人来说，他那些电学和磁学方面的一系列论文正如埃伦费斯特(Ehrenfest)所说的那样，成了一种理智的混乱，它的毫无约束的想像力几乎无法理解。洛伦兹自己说："麦克斯韦的思想并不总是容易理解的，他的书中确凿地表明了他从旧思想到新思想的逐渐变化，因而人们认为在他的书中缺乏一致性。"洛伦兹、海因里希·赫兹(Heinrich Hertz)和奥立佛·亥维赛德(Oliver Heaviside)是麦克斯韦的科学遗产的主要注解者。这里洛伦兹开始了一系列的回忆。

福克指的是什么呢？麦克斯韦的确是伟大的，但他没能摆脱那个时代的偏见。问题是，是否存在一种传播电磁场的媒介物质。如果你阅读麦克斯韦的著作，你会发现他有两种思想，有时他似乎说这种介质是不必要的，但有时他似乎说这种介质是真实存在的。他自己思想中的这种含糊不清也反映在他的著作中，由此产生了很大的混乱。

实际上这种混乱如已经知道的那样，直到 1905 年才由爱因斯坦彻底地澄清。这位 26 岁的物理学家告诉人们，不存在这种介质，人们所设想的，其实是一种数学游戏。最重要的是，爱因斯坦有勇气对"同时性"这个概念提出疑义，也许这是在他

之前所有物理学家的最大绊脚石，因为每一个人都深信他懂得同时性概念。

两年后，爱因斯坦决定倒转他的做法。如洛伦兹和爱因斯坦两位指出的那样，这是因为与爱因斯坦的相对同时性概念密切相关的对称性是麦克斯韦方程的一个结果。这是一个如此令人难忘的发展，爱因斯坦决定将正常的模式颠倒过来。首先从一个大的对称性出发，然后再问为了保持这个对称性可以导出什么样的方程来。20 世纪物理学的第二次革命就是这样发生的。

狄喇克在 1963 年的《科学美国人》(*Scientific American*)写道："使一个方程具有美感比使它去符合实验更重要。"狄喇克是健在的最伟大的物理学家。[①] 他有感知美的奇异本领，没有人能及得上他。今天，对许多物理学家来说，狄喇克的话包含有伟大的真理。令人惊讶的是，有时候，如果你遵循你的本能提供的通向美的向导前进，你会获得深刻的真理，即使这种真理与实验是相矛盾的。狄喇克本人就是沿着这条路得到了关于反物质的理论。

我将向你提供另一个例子，数学方程预测了物理现象。这是一个比爱因斯坦的狭义相对论更复杂的故事，经历了更长时间的奋斗，但它也是一个伟大的发展。到 19 世纪末，在物理学界有一场关于热力学的大辩论。热力学在 19 世纪中叶已经建立，辩论的焦点是热力学是否建立在物质的原子和分子理论的基础上。在今天这种疑问是完全不可思议的，但是甚至直到 19 世纪末仍然有人不相信必须要有原子和分子。有许多年，一些伟大的物理学家持有这种观点，即原子和分子理论都是错误的。例如玻尔兹曼在他 1898 年的伟大著作《气体理论讲义》中写道：

> 按照我的意见，如果由于对气体理论一时不喜欢而把它埋没，对科学将是一场大悲剧。例如，由于牛顿的权威而使波动理论受到的待遇就是一个教训。我意识到我只是一个以微弱的斗争反对潮流的孤独的个人。但我将以我的能力继续在这一方面努力，以便当气体理论再次复活时，不需要去重新发现什么东西了。

什么是他所说的潮流呢？这是指这样一种看法，即认为气体的分子理论和热力学的统计基础是完全错误的。当时，许多卓越的物理学家和化学家，包括 1909 年诺贝尔奖获得者奥斯特瓦尔德(Ostwald)也死硬地反对分子理论，这引起了玻尔兹曼的深深失望，加上他的另一些困难，使玻尔兹曼非常消沉，最后于 1906 年在意大利自杀。

不只是玻尔兹曼一个人在这方面遭受这样的痛苦。19 世纪伟大的美国物理学家吉布斯(Gibbs)也不得不为这同样的问题而斗争。当时有各种各样的实验结果与分子理论矛盾，这也是为什么反对这个理论的力量占上风的部分原因。然而

---

① 狄喇克已于 1984 年逝世。作者写这篇文章是在他逝世之前。——原编者注

吉布斯继续对他所谓的“热力学的合理基础”进行研究，1902 年吉布斯写了一本书，题为《由热力学的合理基础发展出来的统计力学基本原理》，这本书与玻尔兹曼的思想一起奠定了统计力学这门科学。他在这本书中写道：

此外，当我们放弃了构成关于物体构造的假说的尝试时，我们便避免了最严重的困难。我们把统计研究作为理论力学的一个分支进行研究。在目前的科学状况下，似乎很难去构造一个分子运动的动力学理论，这个理论将包括热力学现象，辐射和与原子体系有关的电的现象。至今，没有一个理论是明显合适的，它们都没有考虑所有这些现象。即使我们把注意力限制在特殊的热力学现象上，我们也不能克服在处理自由度的数目与双原子气体那样简单的物质时所遇到的困难。众所周知，虽然理论可以赋予气体以每个分子有 6 个自由度，但在关于比热的实验中，我们能处理的自由度数不超过 5。显然使工作依赖于关于物质结构的假说，就会建立在一个靠不住的基础上。

我们当然知道后来发生了什么。到了 1925 年量子力学创立时，这一点变得很清楚了，与实验不符并不是玻尔兹曼和吉布斯的错，而是理论的缺陷。只要用量子力学来代替原来的理论，按照吉布斯的“合理基础”，量子统计力学就诞生了，他的发现就与全部实验结果完全符合了。

由于在理论物理学中这样强调美，你会毫不奇怪地发现现代许多大物理学家反复地强调美对物理学中将来的工作的重要性。1933 年爱因斯坦说：“创造性的原则寓于数学之中，因此在一定意义上，我以为正如古人所梦想的那样，纯粹的思想能够把握实在。这是真的。”还有他 1934 年所说的：“理论科学家越来越不得不服从纯数学的形式考虑的支配。”我前面已经引证过，狄喇克说如果他必须在美和与实验符合二者之中选择的话，他将选择美。对爱因斯坦和狄喇克来说，这种强调并不奇怪，如果你注意一下他们研究物理学的风格，美始终是一个指导原则。

海森伯也采取了同样的观点，这多少有点奇怪，在 1973 年，即他逝世前几年，海森伯说：“我们将不得不放弃德谟克利特的哲学和基本粒子的概念，而应当接受基本对称性的概念。”

从海森伯那里说出这种话也许是令人惊讶的，他的工作很难区分是追求美多还是坚持与事实和实验的关联多。我们大家都知道，海森伯对 20 世纪物理学作了一个最大的贡献，当时他是最早创建量子力学这门科学的人之一，后来第一个提出测不准原理。但我仍然认为以下说法是正确的：在海森伯的工作中看不到美是他的工作指导原则，而这种指导原则不论在狄喇克的工作中或是在爱因斯坦的工作中都可以看到。那么怎样来理解上面引用的这段话呢？我想实际上也不难理解。在同一本书中海森伯也提到了量子力学在 1925 年的发展：“新的数学方案与老的

完全不同，令人惊奇的是这样的方案确实存在。在这之前玻尔(Bohr)有这样的感觉，即我们知道牛顿力学不适用了，这也许意味着自然界是如此不合理，以至于我们永远找不到任何一致的数学结构来描述。"换言之，在 1925 年量子力学发明之前，事情是那样难以捉摸，是那样奇怪，以至于玻尔这位高大的人物担心自然界也许是无理性的。在主张遵循实验的指导思想下，海森伯写下了一些方程。那时他还年轻，他不懂得这些方程的数学结构，他从来没有学过矩阵理论，所以他写下这些方程时，是他的导师玻尔[①]辨认出了那是矩阵乘法。了解到这点你就会理解海森伯所说的"我们看到数学家做了我们自己做不到的事"。所以我要说海森伯是经由一条不同的道路而获得了对理论物理学的美的鉴赏。他没有遵循由美的观念所指导的直觉去进行工作，他被自己的发现搞糊涂了，最后结果是他的数学完全预言了这些事实，从那以后他变成了数学美的皈依者。

最后，什么是美的最终标准？我想答案与研究的具体领域有关。在自然科学中我认为最终的判断是，它是否可用于自然界。在这一方面，科学中的美与数学的美不相同，在数学中，最终标准必定是美是否与数学的其他部分有关。在前几个世纪里，这也许不是数学的标准，但今天它是正确的。最后，除了自然科学和数学，在其他领域内，如艺术、文学、音乐中，美也是重要的。在这些领域内我主张美的最终标准是人是否与它有关。

作者简介：杨振宁(1922—)，华裔美国物理学家，因对宇称定律的深入研究而与华裔物理学家李政道分享 1957 年诺贝尔物理学奖。

文献来源：《杨振宁文录——一位科学大师看人与这个世界》，杨建邺编，海南出版社 2002 年版，第五章第一节(第 263—275 页)。沿袭原有小节标题。

① 原文如此。恐系 M. 玻恩(Born)之误。——原编者注

门外美谈

冼鼎昌

在许多人的心目中，科学与艺术是很不相干的，否则为什么从中学起，就有文科和理科的分班呢？可是我有完全不同的看法，我认为在中学就把学生定向到文科或是理科并不是很妥当的做法。

也许有人会争辩说，科学追求的是严，艺术追求的是美，一个是理性的演绎，另一处是灵感的发挥，二者南辕北辙，没有共通之点的。

其实这真是不幸的误解。有一位很有点名气的文艺理论家叫作丹纳[①]的说过："一个人之所以成为艺术家，是因为他惯于辨别事物的根本性质和特色；别人只见到部分，他却见到全体，还抓住它的精神。"

如果把这番话中艺术两字改成科学两个字，谁能不说对于科学这是同样精辟的论断呢？可见艺术创作和科学创造是有共性的。有共性的东西就可以拿来比较，比如说科学中的美和艺术中的美，这种比较可以说是科学和艺术的比较美学。

美

什么是美？"美是难以定义的"，研究美的一位祖宗柏拉图[②]早就这么叹息过。科学家也有类似的观点。狄拉克[③]——本世纪最伟大的物理学家中的一位——也说过："数学美与艺术美一样是无法定义的。"不过他又跟着说："但研究数学的人鉴赏数学美并不会觉得困难。"大哲学家大科学家尚且如此说，门外谈美就大可不必讲究什么美与审美

---

① 丹纳(Taine, H. A. 1828—1893)，法国文艺理论家、文艺史家、美学家。

② 柏拉图(Plato，公元前427—公元前347)，古希腊哲学家，客观唯心主义哲学系统的奠基人，对认识论、辨证法、宇宙论、政治思想、美学、艺术理论多方面有极为重要的开创性贡献。

③ 狄拉克(Dirac, P. A. M. 1902—1984)，英国物理学家。以其对量子力学和量子场论的贡献获1933年诺贝尔物理学奖。

的定义、什么美的主观性与客观性等等，只须承认美的存在就可以谈下去。

承认了美的存在，还需要有能够感知它的东西才能谈美。这东西大哲学家柏拉图说是灵魂，大数学家庞加莱[①]说是纯理智，灵魂也罢、理智也罢，反正是思维的器官，一牵涉到思维，谈美当然必须限定在一定的历史时期里才有意义，因为不同历史时期人们的思维是大不相同的。

古代的思想家把美与和谐划上等号。希腊古典时代的大哲学家们认为，美在于和谐，美应当是完美的。自然是美的，自然的规律也是美的，所以亚里士多德[②]说，完美的天上物质构成的天体的运动轨道，必定是完美的曲线。而最完美的曲线，就是圆，所以所有的天体都是以圆轨道运行的。那位对比例和数字情有独钟的哲学家毕达哥拉斯[③]（就是发现直角三角形三条边的平方之间关系的那一位）进一步认为，整个宇宙就是一种和谐，就是一种数，在数字之间有着能够产生和谐关系的比例。据说他发现了黄金分割比例，即使在今天，那些残存下来的，在长、宽、高三个方面的尺寸遵循这种比例建成的希腊神庙还会在现代人的心灵中引发出巨大的肃穆感和美的战栗。

和谐与对称

千百年来，这些观点深刻地影响了一代又一代的人。包括现代科学的两位奠基人哥白尼[④]和开普勒[⑤]。

哥白尼提出的日心体系理论，带动了近代科学思想的一场革命。在哥白尼的理论里，不是太阳绕着地球转，而是地球，还有当时知道的另外五个星体——土星、木星、火星、金星和水星绕着太阳转。它们的轨道都是圆。按古希腊哲学家的观点，宇宙应当是和谐的，而和谐的轨道应当是对称的，具有最大对称性的运动轨道是圆，这是很自然的。另一位大天文学家开普勒则进一步想从毕达哥拉斯的和谐对称的原理来确定这六个行星的轨道。他的做法是这样的：在几何学中，除了球体

---

① 庞加莱（Poincare，J. H. 1854—1912），19世纪下半叶至20世纪初杰出的法国数学家。

② 亚里士多德（Aristotle，公元前384—322），古希腊哲学家，柏拉图的弟子，他在逻辑学、伦理学、政治学、物理学、美学、宇宙观等多方面的学说对后世有重要的影响。

③ 毕达哥拉斯（Pithagoras，公元前580—500），古希腊哲学家，科学家。他提出"数"是万物的本原的原则，第一次提出了宇宙的概念，从数与音乐的对比提出宇宙是和谐的统一体。

④ 哥白尼（Copernicus，N. 1473—1543），波兰天文学家，行星运动的日心说的创建者，近代天文学的奠基人。

⑤ 开普勒（Kepler，J. 1571—1630），德国天文学家，1601年在前人与自己长期的观察基础上，经过系统的整理及分析，发现了行星运动的三大定律。开普勒的发现导致后来牛顿万有引力定律的建立。

之外，有着最大对称的几何体是正多面体，自然界存在的正多面体只有五种：正四面体、正六面体、正八面体、正十二面体和正二十面体，对每一种正多面体都可以作一个外接球面和一个内切球面，于是由这五种正多面体可以作出六个这样的球面，它们是行星的圆轨道所在的球面。定出这些轨道后，又由于和谐的要求，天体在这些圆形轨道上应当作匀速运动，这样就可以确定这些天体的公转周期。现代人回过头来看这种做法真有点匪夷所思，但据说当时计算的结果居然和当时的天文观察数据相当符合！1596 年开普勒把这些想法和结果写在一本专著里，题目就叫做《论自然界的和谐及相似》。

如果开普勒停留在这种符合上，那也就不会有他日后的重大发现了。幸好他送了一份专著给当时欧洲最负盛名的天文观察家，丹麦人第谷[①]。第谷读了论文，极为赏识作者的才华，也给作者一个忠告："首先要通过实际观测来为自己的观点打下坚实的基础，由此提高，才能深究事物的根由。"幸亏听从了这个忠告和获得第谷以毕生的努力累积下来的系统的、极为精确的观测数据（这是第谷临终前传给他的），才使他得以作出科学史上划时代的三个大发现。头一个发现是，行星的轨道并不是完美的圆曲线，而是椭圆曲线。第二个发现是行星在轨道上的运动并不是匀速运动。看起来开普勒最后的发现完全偏离了他最初的（也是简单的）对和谐的想像，然而事实上，在他的三大发现导致的牛顿力学的更高的基础上，这些发现又是如此令人震惊地和谐。

和谐与对称是紧密地联系起来的。到过北京故宫的游客，谁不被这组巨大的建筑群的对称与和谐所震慑呢？在古典的绘画、雕塑和音乐里，处处体现了对称与和谐的美。有一年我到米兰，第一眼看到米兰的大教堂，就有似曾相识的感觉，我一路参观一路想，这感觉到底从何而来？等从教堂出来，我想出来了：这就是巴赫[②]伟大的《恰空舞曲》，那里三十二个变奏组成的对称如此严谨，音乐的洪流如此和谐流畅，音乐的表象如此庄严雄伟、气势磅礴，就如这座教堂一样，直入云霄，欲与天齐。多年以后我才从一本书里读到一个论点，说"建筑是凝固的音乐"。说这句话的人相当有道理。

在自然界，对称现象是一个很常见的现象，对称性分析能够把许多问题高度简化。但是，在这现象的背后有着极为深刻的内涵，它导致本世纪的物理学中一个非常深刻的重大发现，就是对称性和守恒律的内在联系，这是一位当时居住在德国的杰出女性，艾米·诺特[③]所发现的。诺特是数学家，1918 年她在哥廷根学报上发表了一篇

---

① 第谷（Ticho，B. 1546—1601），丹麦天文学家。

② 巴赫（Bach，J. S. 1685—1750），德国作家家、管风琴演奏家，作品数目庞大，使用了他的时代所有的音乐形式，对后世的影响巨大，一直延续至今日。这里提到的《恰空舞曲》是巴赫写的 d 小调无伴奏小提琴组曲中的最后一个乐章。

③ 诺特（Noether，E. 1882—1935），杰出的德国女数学家，抽象代数的奠基人。

极为深刻、影响深远的论文，证明了自然界的每一个准确的对称性，都对应一个守恒律，相应有一个守恒量：如果物理学对于时间原点的选择是对称的，即在任何时刻开始计时，都观测到同样的物理规律，那么能量是守恒的；如果物理学对于空间坐标的选择是对称的，即在任何地点都可以选择为坐标的原点，那么动量是守恒的，等等。

不过如果只有对称，那么美术里只剩下图案，科学里也没有了许多学科，例如，只剩下完美晶体的物理而没有表面物理、没有界面物理，没有半导体物理，这太遗憾了——现代人怎么能够想像没有半导体晶体管，没有集成电路芯片，没有移动电话的生活呢？好在自然也好，人也好，在尊重对称性的同时也容许一点差异的。比如说，人们最先认识到对称、和谐的美，为了美，甚至可以对通行原则作重大的修改。中国佛寺的山门殿内两旁竖立的金刚力士，本来按佛经说只有一位，是佛的随从侍卫的首领，不过为了对称，就不理会原来典籍是怎样说的，硬是让他成了双。如果限于完全的对称，美的表达能力会大受限制，所以成了双的两尊金刚力士，还要让他们一个张口，一个闭口，有点不一样，成为哼哈二将。音乐里的情况也是一样，完全和谐的乐曲是没有表现力的。记得“文革”时听当时来访的朝鲜歌剧院唱的《卖花姑娘》，头五分钟觉得好极了，在神州大地上只剩下语录歌的时代真是大的享受！再听下去，便不对头了，旋律确是很流畅，和声也很谐美，但是咏叹调之后还是咏叹调，永远陪衬着缠缠绵绵的、甜甜蜜蜜的和声。再过几分钟之后，简直令人不能忍受，只好把收音机关掉。

在19世纪就要结束之前，至少在物理学，似乎对和谐的追求已经达到极致。英国皇家学会会长开尔文勋爵[①]——一位杰出的大科学家认为当时在物理学的天空上除了两朵小小的乌云之外是一片晴空，当时已知的物理现象都可以归纳到力学、电磁理论、热力学等高度完美的理论框架里，也许留给后代人解决的物理问题已经不多了。然而正是这小小的两朵乌云引来下一世纪物理学的巨大变革，导致“相对论”和“量子论”两大理论的建立。然而新的观念与传统的观念难以调和，新的理论并不具有传统意义下的完美。传统的完美起码要符合完整、清晰的概念，但是在新的物理学里情况却不是这样：传统的清晰性被新理论内禀的一种不确定性所代替，而完整性只有在统计和几率的意义上才能谈到。这使得科学上的巨人爱因斯坦[②]——20世纪一个新生理论“相对论”的创立者——在最高的层次上对另一新生的理论“量子力学”进行毕生的质疑，留下也许不见得是正确的名言：“上帝是不掷骰子的。”

---

① 开尔文勋爵(Lord Kelvin, 1824—1907)，英国物理学家，在电磁学、热力学、电工学、电工技术等多个领域中有重大贡献。

② 爱因斯坦(Einstein, A. 1879—1955)，德国出生的物理学家，被认为是20世纪最伟大的自然科学家，他创立的“狭义相对论”从根本上改变了人们对时间和空间的概念，他创建的“广义相对论”从根本上影响了人们的宇宙观。他在热力学、量子物理、光学等方面都有开创性的贡献。他不能接受量子力学里的不确定性描述，说“上帝是不掷骰子的”。

不对称与不和谐

在艺术里相应的变革来得稍稍早些，那就是由向对称与和谐的古典美挑战的印象派开始的新潮流。不过艺术家们不像物理学家那么走运，最初连每一个走过展览印象派作品的房子的肉店小伙计都认为有资格揶揄这些画家一番。在音乐领域中，印象音乐的遭遇比较起来就要好得多，虽然在结构和主题发展的原则上偏离了传统，但是它的始创者德彪西[①]的和声与旋律的巨大天才很快就征服了传统的听众，使他们领略到这个流派带来的前所未有的美。往后在斯特拉文斯基[②]作曲的芭蕾舞剧《春之祭》的首演上，怪异的旋律、不谐的和声以及为耳朵所不习惯的配器，引得喝倒彩的喊叫声和口哨声响成一片，赞成的和反对的观众当场打起架来，台上的舞蹈演员根本听不到乐队在奏什么。然而现在回过头看，莫奈[③]、雷诺阿[④]、德加[⑤]、德彪西、斯特拉文斯基的作品都已经成为新的"古典"，如果就从一个新的角度描写了本来在自然界就存在的现实来说，和谐与不和谐、对称与不对称，本来都是客观存在的，何况最初时的不对称与不和谐是作为小量引入对称与和谐之中的，当年引起的骚乱和大惊小怪倒是有点难以理解的了。

20 世纪的科学与艺术经历了令人目眩的发展，从美的角度来看，特点是远离了古典的对称与和谐，用科学的术语来说，引入的不对称和不和谐的量越来越大。在 1957 年，两位居住在美国的华裔物理学家李政道和杨振宁[⑥]提出一个理论说，并不是所有的对称性都被自然尊重的，例如，大自然有时并不尊重左和右的对称性。他们的理论引起轩然大波，许多大物理学家不相信，诺贝尔奖金得主泡利[⑦]说，他不

---

① 德彪西(Debussy, C. 1862—1918)，法国音乐家，印象派音乐的始创人。他写的前奏曲《牧神的午后》被认为是音乐中印象主义的开端。

② 斯特拉文斯基(Stravinsky, I. F. 1882—1971)，美籍俄罗斯音乐家，是对 20 世纪音乐最有影响的音乐家中的一位。1913 年为俄罗斯芭蕾舞《春之祭》谱写音乐，《春之祭》是一部以原始部落的祭礼作为背景的芭蕾舞，作曲家使用了强烈的节奏、大量的不谐和声、浓厚的管弦乐配器，前所未闻的音乐加上台上演员褴褛的装束和粗犷的舞姿，在剧院里引起一场支持者与反对者之间的骚乱。

③ 莫奈(Monet, C. 1840—1926)，法国画家，印象派绘画的代表。"印象派"一词来自他的绘画《日出·印象》。

④ 雷诺阿(Renoir, P. A. 1841—1919)，法国印象派画家。

⑤ 德加(Degas, E. 1834—1917)，法国印象派画家。

⑥ 李政道(1926—)，华裔美国物理学家；杨振宁(1922—)，华裔美国物理学家。他们因为发现左和右的不对称性获 1957 年诺贝尔物理学奖。

⑦ 泡利(Pauli, W. 1900—1958)，瑞士物理学家。因对量子力学的贡献获 1945 年诺贝尔物理学奖。

相信上帝是个左撇子！然而华裔大物理学家吴健雄[①]精密的实验证明他是错的，上帝有时是个百分之百的左撇子。在李和杨提出的理论里，左和右甚至是百分之百地不对称的！于是，在物理学中开始了一个研究对称性被破坏的新浪潮。研究的结果使得科学家对于自然中对称性的深刻内涵又有了进一步的了解：对称性确定物体的运动方程，而对称性的破缺决定物体之间的相互作用。在这个基础上，一些物理学的基本理论——电磁现象和弱作用现象的理论、广义相对论等——显示出空前的、惊人的美。

在艺术领域，即便经历过从莫奈到高更[②]的冲击，但是康定斯基[③]、毕加索[④]、夏加尔[⑤]的作品还是使人感到不知所措，不知道是艺术家疯了还是自己跟不上疯狂发展的20世纪。这种惶惑不只是观众才有，艺术家也有，画家如毕加索不断在改变自己的风格，作曲家如勋伯格[⑥]和斯特拉文斯基不断推出半音阶音乐、无调性、十二体系、多调性等等，这些正是杰出的天才们在变化的急流中狂热求索的记录。

探索与美

在科学领域里，人们越来越多地听到了爆炸、混沌、大爆发等等新的词句。直到不久前，谈论宇宙的起源和大小似乎还只是哲学家的专利，但是在20世纪30年代，出现了宇宙起源的大爆炸理论，而到了20世纪60年代，科学家直接得到支持大爆炸理论的观察证据。为了说明所有目前累积起来的天文观察数据，看起来大爆炸说是最合理的。我们的宇宙在时间和空间上都不是永恒的。澄明的夜空给予人们宇宙的宁静感是一个错觉，宇宙本身就是从混乱中诞生，也可能最终走向一个混乱的结局。虽然这个理论从根本上背离从古典时期到浪漫主义时期关于宇宙是最完美的艺术作品的概念，要接受它有一定的难度，但这毕竟是客观存在。20世纪物理学大师劳厄[⑦]说过一番话，对于如何看待物理学中美的观念的发展和变迁是很有见地的。他说："物理学从来不具有一种

---

① 吴健雄(1912—1997)，华裔美国女物理学家，曾任美国物理学会会长。她以精确的实验证实了李政道和杨振宁的理论。

② 高更(Gauguin, P. 1848—1903)，法国后印象主义画家。象征主义绘画的代表。

③ 康定斯基(Kandinsky, W. 1866—1944)，法籍俄罗斯画家，抽象主义绘画的创始人。

④ 毕加索(Picasso, P. 1881—1973)，西班牙出生的法国画家，画风多变，是对20世纪绘画最有影响的画家之一。

⑤ 夏加尔(Chagall, M. 1887—1919)，俄裔法国画家，在流派多变的20世纪初的法国画坛以个人独特风格名世。

⑥ 勋伯格(Schoenberg, A. 1874—1951)，奥地利作曲家，是无调性音乐及十二音体系的创始人，对20世纪音乐有重大影响。

⑦ 劳厄(Laue, M. von 1879—1960)，德国物理学家，以其在X光晶体研究领域的贡献获1914年诺贝尔物理学奖。

对一切时代都是完美的、完满的形式；而且它也不可能具有完美的、完满的形式，因为它的内容的有限性总是和观察量的无限丰富的多样性相对立的。”

如果把劳厄话中物理学这个词儿改成艺术，把观察量这个词儿改成艺术对象，于是他的话变成：“艺术从来不具有一种对一切时代都是完美的、完满的形式；而且它也不可能具有完美的、完满的形式，因为它的内容的有限性总是和艺术对象的无限丰富的多样性相对立的。”这番话对于如何看待艺术中美的观念不是同样很有见地的吗？

是不是一切新的探索最终都归结到美呢？不一定。在艺术上如此，在科学上也如此。在科学上一切探索都最终要受实验的考验，而在艺术上则是时间的考验。如果它们确是被挖掘到的世界的一个新的方面，那它们是美的。美不能先验地规定，就像毕达哥拉斯和开普勒那样。大师也会犯错误的，有时还是大错误。20 世纪的一位数学大师外尔[①]说：“我的工作总是尽力把真和美统一起来，但当我必须在两者中选一个时，我通常选择美。”

正是他关于美的先验的标准使他相信左和右在宇宙里是对称的，从而放弃了他发现的一个重要理论——中微子的两分量理论，在这个理论中左和右是完全不对称的。然而上面提到的李政道和杨振宁的工作证明，这个被发现者放弃的理论其实是正确的。外尔的观点在科学界是很典型的，他的朋友爱因斯坦也是一样，爱因斯坦认为，美是探求理论物理学中重要结果的一个指导原则。不过，在平衡美学的追求与科学的探索时，我想，当年第谷对开普勒的忠告是非常值得记取的。

在回顾已经过去的 20 世纪时，人类有理由为文明在这一百年里的突飞猛进感到自豪，但是也应当充分地认识到一个事实，就是我们解决的问题远没有我们发现的问题多，我们驰骋过的领域远没我们未曾涉足的领域大，这就是今后艺术和科学继续发现的根据，也是今后人们美学观要继续发展的道理。也许科学和艺术在一点上有很大的差异，那就是，重大的艺术成就总是给人们带来慰藉，而重大的科学成就则并非必定如此。无怪乎在深入研究宇宙的起源之后，对于眼前的世界，诺贝尔奖金得主温伯格这样写道：“很难理解这只不过是一个充满敌意的宇宙中的一小部分，更无法想像到现在的宇宙是从一个难以言传的陌生的早期状态演化而来，而又面临着无限冰冷的，或是炽热难耐的末日。宇宙越可理解，也就越索然无味。”

不过从美的观点来看，怡人的美和悲怆的美同样动人，同样有追求的价值。

作者简介：冼鼎昌（1935—　），中国理论物理学家，中国科学院院士。

文献来源：冼鼎昌《爱丁堡随想》，福建教育出版社 2003 年版，第 36—53 页。沿袭原有标题。

① 外尔（Weyl，H. 1885—1955），德国数学家。20 世纪最重要的数学家之一。

科学与艺术

卢里亚

艺术是产生想像、从事实的桎梏中迸发创造性激情的主要领域。可是在科学活动中，想像也扮演了极其重要的作用，虽然在这里它涉及的范围要受到自然现象的结构和其组成关系的限制。既然在科学家的工作中，想像是一个必需的成分，那么我们也许要问：科学本身是不是艺术？想像是否以在绘画、音乐或诗歌中同样的方式起作用？这些问题经常地、虽然不是激烈地在科学家中引起争论。作为一名科学家，我仅能表达出我对自己工作的回顾以及对其他科学家的观察所得到的体会。

讨论要从某些习以为常的事情开始，对于科学的误解已是如此根深蒂固以至人们对科学家的工作普遍存在着一种错误的印象：对客体的观察和测量越来越精确；对数据进行机械的分析；提出一个明确的假说并完成对这些假说的关键测试；最后总结出复杂的理论。事实上，科学家是在“对付着”源源不断地产生着的数据和概念，正如一个小孩对付玩具并从游戏中若有所悟。像小孩那样，科学家先是提出各种解释，随后从中进行选择，选择标准不仅要“真”而且要“美”。他经常会受到“下一步该做什么”这一问题的困惑，正如一个美术家在一幅油画的创作过程中所面临的相似境地。有时一个科学家碰到麻烦不是为了他已有的数据而是为了他还没有得到的数据，但是为了形成一个首尾一致的、连贯的理论必须要有这些数据。上百个事实也许都围绕着一个新发现的解释——那就是其中有说服力的事实是否已足够建立起一个自洽的理论体系？有时，像一个正在玩耍的孩子，科学家会放弃搜寻。但是，有时经过苦苦思索之后，会突然涌现一种狂喜兴奋的感觉——终于澄清了一个问题的结构。对我来说，狂喜的一刻出现在——当我正在思索细菌突变的分布、或者说试图解释被辐射过的噬菌体的存活性时。虽说从表面上来看，这些思考与一台正在工作中的吃角子老虎机风马牛不相干。但是，在那特殊的时刻，想像并不是呼之即来。科学家的整个工作程序，如同画家或艺术家那样，是一连串想像的迸发——其中某些深遂，某些肤浅，还有许多则落入俗套。特别有生命力的顿

悟是稀少的，但正是它们标志着科学的真正进步：如沃森(Watson)和克里克建立DNA双螺旋模型以及发现他们的模型蕴含了对遗传物质复制机制的解释；雅可布和莫诺在基因调节领域中联合提出的操纵子模型等。

说到假说的美学特征，我认为是指一个假说，除了必须满足对数据的解释之外，还须具有某些使人愉悦的特点，通常表现为简洁性。这种简洁性能满足科学家的审美情趣，即使它结果不是真的。一个好的假说，可通过确定的步骤，使得一个强有力的预言被证实或否定。但是，一个优美的假说，往往会有一种出乎预料性，一种令人惊奇的成分。一个值得回味的例子是对于遗传密码的研究。遗传信息通过密码贮存在基因的DNA链中，DNA链由四种不同碱基所组成，它的排列方式被翻译成为蛋白质——那是由20种不同的氨基酸所构成的生物大分子。对于这一过程的描述，即阐述遗传密码是如何起作用的，有许多种模型。其中有些是粗糙的，有些是简单的。然而，当这一方案一经出现在悉尼·布瑞纳(Sydney Brenner)和弗兰西斯·克里克(Francis Crick)的设想和实验中时，它那极其优美的简单性和清晰性立刻俘获了科学家的注意力。又如DNA双螺旋模型，也以其崭新的视角吸引了科学家。记得当初我在仅读过两页的文字说明之后，就对麻省理工学院的学生做了一个即兴讨论式的演讲，我是如此地兴奋以至于在解释时，竟会显得可笑地慌乱紧张。

在科学研究中，与想像的地位相似的是风格问题。没有两个科学家，尤其是能干的科学家，在做法上会完全相同，正如不会有两个小提琴手在弹奏巴赫(Bach)的舞曲时，会采用完全同样的手法。我选择这一例子是要说明，虽然小提琴手和科学家都只享有有限的自由，前者被乐谱所束缚，后者要依附于事实内容，但是在可供他们自由发挥的范围内，每一工作都会带有独特的个人风格。正像一个有经验的听众能说出哪一位高手正在演奏，一个有经验的科学家也能指出哪一位行家是一篇重要科学论文的作者。甚至一个小规模的群体也会带有极其鲜明的特征，正如我们的集体。确实很容易就能在德尔布吕克、赫尔希和我之间，辨别出不同的风格及思维模式。

这一差别不是体现在写作上，而是在思维和实验的特点上：从赫希(A·Hershey)或查尔士·扬诺夫斯基(Charles Yanofsky)在工作中所表现出的精练简洁性，到西莫·本泽(Seymour Benzer)在研究和写作、讲演中所具有的不拘一格的特色；从索尔·斯比格曼(Sol Spiegelman)的与众不同的方式到西莫·科肯(Seymour Coher)的大胆进取的模式。这些一流科学家中的每一个都具有独特的风格，因为他们中的每一位都具有一个独特的自我和研究项目，而自我已与他的工作融为一体。

我的风格又是什么呢？我能用几句话来定义出我自己的风格正如我对朋友们所做的那样？那也许更为艰巨。假设研究风格是一个人人格的表现，是各种动机、压抑心理和补偿机制的组合，我也许会说，我在工作和科学探索中的风格是不稳定

的，这反映了我的情绪的捉摸不定，从易于激动和大胆进取转变到自我怀疑和沮丧失望。有时我也许会精心构筑出一个假说，以满足对一系列事实的解释，然而由于缺乏足够的自信心，又常常半途而废。像许多主要以口才取胜的人一样，我善于和同事及学生进行交谈。人与人之间的交流，给我以自信心，因为它为我提供了一个显示才能的舞台，从中我又恢复了大胆进取的勇气。我敢于声称，在我的科学生涯中，有一种值得肯定的成分那就是在我的性格中所表现出来的锲而不舍性，几乎可说是固执性，它使得当我在专业和情感上面临巨大的障碍时，仍能义无反顾地走下去。同样的固执性以及对工作的执著追求，还使得我的生活中总是充满了各种与科研有关的任务，例如教学和写作。我的生活节奏会出现不可避免的周期性，但即使当我在精力和运气上都处于低潮时，工作仍能使我振作起来。我强烈地认为对于科学家来说，除了那些最具才能的人之外，都应涉足教学工作，并有一本专著或正在写作中的论文。

在40多年之前我就得知，根据伟大的物理学家尼尔斯·玻尔(Niels Bohr)的说法，在一个成功的科学家身上，10%是能力，90%则是克服障碍的勇气。这句格言道出了某种真理。每个人的不同风格部分即体现为面对障碍时所采取的态度，亦即是否勇于去克服。

让我再回到科学与艺术的关系上来。其间一个重要的差别就是我称之为独特性的东西。一件艺术品——米开朗基罗的《圣母怜子》(*Pieta*)表现圣母玛丽亚悲痛地抱着耶稣的尸体，也译为《哀悼耶稣》或《威尼斯的死亡》(*Death in Venice*)，绝对是独特的。它能被复制或模仿，但它"不可能再发生一次"。在科学中，一个发现，一旦被完成或实现，也不可能再次发生。这一事实是被生物哲学家冈琴·斯坦特(Gunther Stent)精心论证过的。但是，两者在独特性的层次上却有所不同。

如果米开朗基罗没有雕塑出《圣母怜子》，那件特殊的艺术品就不会存在；同样地，如果《威尼斯的死亡》是被其他人而不是被曼所写，或者《暴风雨》(*The Tempest*)不是由莎士比亚所写，这些伟大的作品也将不复存在。然而，大多数的科学发现，作为对自然界探索的结果，却具有连续性、积累性的特点，它不是一系列个人想像力的迸发。如果一个发现不是由X所做出，它也必将被Y所完成。事实上，许多发现几乎同时由二或三个科学家所做出。它们通常由不同的方式所完成，因为每个人的思维模式、风格和想像力有所不同，那正是审美的成分。如果沃森和克里克没有发现DNA的双螺旋结构，它也将会被其他人用同样的实验手段在数周或数月内所发现。惟一的差别在于由沃森所撰写的《双螺旋》一书就不会出现。同样地，如果我没有发现噬菌体的限制和修饰，它们也将会在数月之内于其他地方被其他人所发现。

当然并不是所有的发现都是如此。当1910年(应为1913年，原文有误——译者注)玻尔提出他的原子模型时，这是他个人想像力的一种独特、大胆的发挥。这一模型通过对已有力学原理的违背，阐明了许多以前无法解释的现象。玻尔的模

型有正确的一面，也有错误的一面，但它毕竟为15年以后关于这个问题的最终解决打开了视野。也许没有一个人能发明玻尔的原子模型，至少不是以同样的方式。

在一个狭窄的领域，我通过涨落实验所得到的细菌自发突变的证据，正如我曾经描述的，如果我没有做这一实验的话，细菌自发突变的证据就决不会以这样的形式出现。这一实验起到了关键的作用，但却不是必需的一步，在科学进步的航程中，它是一个漂亮的迂回战。那就是说，细菌突变的发现有可能来自于某个不同的、但更为直接的实验证明，如此，涨落实验的概念就决不会出现。

在科学工作中，想像要受到实验事实的限制。比之于艺术，科学中的想像对精确性和直接性有着更为严格的要求。而艺术品的成功与公众反应密切相关，而且其评判标准相对来说不太严格。几个世纪以来的文学和艺术作品，在风格和品味上依然保持着连续性，从中我们可以生动地体会、感悟人类情感的发展历史以及其间所经历的变化。但科学就不是以这样一种方式延续下来。作为一种知识体系它依旧富有生命力，但这仅指已被充分证明是有效的概念和理论。在科学中，甚至一个新理论的接受速度也要取决于那个特殊时代的主流思想。没有一个科学家（除了科学史家）会去关心一个被否证的发现或已被证明是错误的理论。我们仍在讲授和赞美开普勒（Kepler）的行星运动定律和牛顿的力学定律，但那并不是因为它们的历史地位，而是因为它们仍是现代科学的一部分，还因为它们是人类智慧出类拔萃、科学想像力自由翱翔的见证。

为了竭力表明艺术和直觉要比科学对于实在的研究更占优势，赫伯特·马尔库塞（Herbert Marcuse）写道："艺术能够与真理、与客体相沟通……而日常语言和日常体验却无法接近它们。"[①]对此我不同意。艺术的价值在于它使得同各种感情而不是真理或客体的交流成为可能，艺术仅需要共同分享感觉和情感体验。然而科学对真理和客体的交流，则需要有共同的逻辑体验和实验事实作为基础。除了心理学，科学不涉及情感，虽然它的发生过程充满了情感。艺术倒是能传递情感，因为它的语言就是来自于日常经验世界。

作者简介：萨尔瓦多·E. 卢里亚（Salvador Edward Luria，1912－1991），意大利裔美国生物学家，具有物理学和生物学双重学术背景，因为发现病毒的复制机制和遗传结构而获1969年诺贝尔生理学和医学奖。

文献来源：卢里亚《熊掌与鱼——一位诺贝尔奖得主的精神历程》，颜青山、陈蓉霞、陈志夏、禹宽平译，青岛出版社1999年版，第八章（第156－161页）。标题为编者所加。

---

① *An Essay on Liberation*（Boston. Beacon，1969）——原注

第　三　部　分

科学的社会责任

题说

近代科学经过艰苦的努力，终于赢得了极大的自主性。科学共同体形成了自己的精神传统和学术规范，科学的问题必须诉诸科学的方式来解决已成为共识。正像教会迫害科学家受到历史的谴责一样，政治干涉和介入科学也被认为是自由社会的大忌。然而，在科学的内在性拥有了体制化的保障之后，也有些人产生了一种错觉，以为科学对外部事物可以不加关注，以为科学本身是价值无涉的，从而误认为科学家对科学的技术运用及社会后果可以不负责任。但是，20 世纪的科学实践和社会运动把科学的社会责任问题醒目地提示了出来。

科学家已成为当代社会精英，但是，我们的科学教育是否能够自动地担负起培养社会精英的重任？科学的专业教育能不能替代人文教育（自由教育）？这是令许多杰出的科学家十分忧虑的一个重大问题。作为社会精英，不仅要以其聪明才智为社会创造财富，而且以其在美和道德方面的良好教养帮助社会敦风化俗、主持正义和公道。如果科学家只是在自己专门的领域里拥有一技之长，而不能对公共事务发挥作用，那就算不得是真正的社会精英。

诚然，在科学还是科学家的个人爱好、科学的社会影响还很小的时候，在科学需要通过技术这个环节相当间接地被表达为力量的时候，科学的社会责任问题并不是一个严重的问题。但是今天，科学已经由“小科学”进入“大科学”，科学与技术之间的界限越来越模糊，科学转化为生产力的速度越来越快，科学的社会影响空前强大，科学技术的负面后果日益明显，每一项新技术都有可能作为政治因素而改变人类社会的权力结构和力量格局，科学的社会责任问题已不可逃避地摆在科学家的面前。

我们选取了若干著名的科学家在教育（人性）问题、政治问题和环境问题上的言论，来展示这些伟大的心灵所感受到的责任。20 世纪在科学的社会后果方面触目惊心的两大问题，一是核能的开发导致的核战争威胁、核军备竞赛和核污染，一是环境污染、生态破坏和生物多样性的丧失，但正是在这些问题上，科学家们最早发出了警醒的

声音。

爱因斯坦对年轻的理工科学生说:“如果你们想使你们一生的工作有益于人类,那么,你们只懂得应用科学本身是不够的。关心人的本身,应当始终成为一切技术上奋斗的主要目标。”这段话对当代中国的理工科大学生也许更有针对性。如果我国未来的科学家掌握了越来越巨大的能量和权力,但在运用权力和释放能量时却缺乏道德上的制约,那该是一件多么不幸的事情。

11 科学与人性 ≫

培养独立思考的教育[1]

爱因斯坦

用专业知识教育人是不够的。通过专业教育，他可以成为一种有用的机器，但是不能成为一个和谐发展的人。要使学生对价值[2]有所理解并且产生热烈的感情，那是最基本的。他必须对美和道德上的善有鲜明的辨别力。否则，他——连同他的专业知识——就更像一只受过很好训练的狗，而不像一个和谐发展的人。为了获得对别人和对集体的适当关系，他必须学习去了解人们的动机、他们的幻想和他们的疾苦。

这些宝贵的东西，是通过同教育者亲身接触，而不是——至少主要的不是——通过教科书传授给年轻一代的。本来构成文化和保存文化的正是这个。当我把“人文学科”(the humanities)作为重要的东西推荐给大家的时候，我心里想的就是这个，而不是历史和哲学领域里十分枯燥的专门知识。

过分强调竞争制度，以及依据直接用途而过早专门化，这就会扼杀包括专业知识在内的一切文化生活所依存的那种精神。

使青年人发展批判的独立思考，对于有价值的教育也是性命攸关的，由于太多和太杂的学科(学分制)造成的青年人的过重负担，大大地危害了这种独立思考的发展。负担过重必导致肤浅。教育应当使所提供的东西让学生作为一种宝贵的礼物来领受，而不是作为一种艰苦的任务要他去负担。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第3卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆1979年版，第310页。沿袭原有标题。

---

① 这是爱因斯坦应《纽约时报》教育编辑请求而写的声明，发表在1952年10月5日的《纽约时报》(*New York Times*)上。这里译自《思想和见解》第66—67页。——原编者注

② 此指社会伦理准则。——原编者注

科学和社会[①]

爱因斯坦

科学对于人类事务的影响有两种方式。第一种方式是大家都熟悉的：科学直接地、并且在更大程度上间接地生产出完全改变了人类生活的工具。第二种方式是教育性质的——它作用于心灵。尽管草率看来，这种方式好像不大明显，但至少同第一种方式一样锐利。

科学最突出的实际效果在于它使那些丰富生活的东西的发明成为可能，虽然这些东西同时也使生活复杂起来——比如蒸汽机、铁路、电力和电灯、电报、无线电、汽车、飞机、炸药等等的发明。此外，还必须加上生物学和医药在保护生命方面的成就，特别是镇痛药的生产和贮藏食物的防腐方法。所有这些发明给予人类的最大实际利益，我看是在于它们使人从极端繁重的体力劳动中解放出来，而这种体力劳动曾经是勉强维持最低生活所必需的。如果我们现在可以宣称已经废除了苦役，那么我们就应当把它归功于科学的实际效果。

另一方面，技术——或者应用科学——却已使人类面临着十分严重的问题。人类的继续生存有赖于这些问题的妥善解决。这是创立一种社会制度和社会传统的问题，要是没有这种制度和传统，新的工具就无可避免地要带来最不幸的灾难。

机械化的生产手段在无组织的经济制度中已产生这样的结果：相当大的一部分人对于商品生产已经不再是必需的，因而被排除在经济循环过程之外。其直接后果是购买力降低，劳动力因剧烈竞争而贬值，这就要引起周期越来越短的商品生产严重瘫痪的危机。另一方面，生产资料的所有制问题带来了一种为我们政治制度传统的保卫者所无法与之抗衡的力量。人类为了适应这种新的环境而卷入了斗争——只要我们这一代显示出能够胜任这项任务，斗争就会带来真正的解放。

---

① 此文最初发表在美国《科学》(*Science*)周刊 1935—1936 年冬季特刊上。这里译自 1950 年出版的爱因斯坦文集《晚年集》第 135—137 页。——原编者注

技术也使距离缩短了，并且创造出新的非常有效的破坏工具，这种工具掌握在要求无限行动自由的国家的手里，就变成了对人类安全和生存的威胁。这种情况要求对我们这整个行星有一个惟一的司法和行政的权力机构，而这种中央政权的创立受到民族传统的拼命反对。这里我们也处在一种斗争之中，这种斗争的结局将决定我们大家的命运。

最后，通讯工具——印刷文字的复制过程和无线电——同现代化武器结合在一起时，已有可能使肉体和灵魂都置于中央政权的束缚之下——这是人类危险的第三个来源。现代的暴政及其破坏作用，清楚地说明了我们还远未能为人类利益而有组织地来利用这些成就。这里的情况也需要一种国际的解决办法，但这种解决办法的心理基础还没有奠定。

现在让我们转到科学对于理智所产生的影响。在科学出现以前的时代，单凭思考是不可能得到全人类都会认为是确定的和必然的结果的，更不用说要使人相信自然界所发生的一切都是受着确定不易的规律支配的。原始的观察者所看到的自然规律的片断性，正好引起他对鬼神的信仰。因此，即使在今天，原始人还是生活在经常的恐惧之中，害怕超自然的和专横的力量会干扰他的命运。

科学的不朽的荣誉，在于它通过对人类心灵的作用，克服了人们在自己面前和在自然界面前的不安全感。在创造初等数学时，希腊人最早作出了一种思想体系。它的结论是谁也回避不了的。然后文艺复兴时代的科学家把系统的实验同数学方法结合起来。这种结合，使得人们有可能如此精密地表述自然规律，并且有可能如此确定地用经验来检验它们，结果使得自然科学中不再有意见的根本分歧的余地。从那个时候起，每一代都增加了知识和理解的遗产，而丝毫没有碰到过危及整个结构的危险。

一般公众对科学研究细节的了解也许只能达到一定的程度，但这至少能标示出这样一个重大的收获：相信人类的思维是可靠的，自然规律是普天之下皆准的。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第 3 卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆 1979 年版，第 135－137 页。沿袭原有标题。

文明和科学[①]

爱因斯坦

我很高兴，你们让我有机会作为一个人，一个善良的欧洲人和一个犹太人，向你们表达深挚的谢意。通过你们精心的救济计划，你们不仅对那些无辜遭受迫害的学者，而且对全人类，对科学都作出了伟大的贡献。你们证明了，你们和全体英国人民仍然忠诚于宽容和正义的传统；几个世纪以来，你们国家值得自豪地保持了这个传统。

正是在像我们今天到处都经历着的经济艰难的时代，我们才会认识到一个民族生气勃勃的道义力量的现实意义。我们希望，在未来的某一时候，当欧洲在政治上和经济上统一起来以后，历史学家作出的判断会说：在我们亲身经历的日子里，这个大陆的自由和荣誉是靠西欧各国拯救出来的；它们像中流砥柱，在严酷的时代里坚定地反对仇恨和压迫；它们成功地保卫着个人自由，这种自由给我们带来了各种知识上的进展和发明，要是没有这种自由，凡是有自尊心的人都不会觉得还有活下去的价值。

要去裁判多年来把我也算作它的一个公民的那个国家的所作所为，这不可能是我的任务；在迫切需要行动的时候，甚至连试图去评价它的政策或许也是无益的。今天的关键问题是：我们怎样来拯救人类和它的文化遗产？怎样来保卫欧洲使它不遭受另一次灾难？

---

① 这是爱因斯坦为躲避德国纳粹特务的谋杀从比利时流亡到英国以后所作的公开演讲。这次演讲由英国"流亡者援助基金会"组织，于 1933 年 10 月 3 日在伦敦皇家阿耳伯特纪念厅(Royal Albert Hall)举行，听众有一万人。当时伦敦警察厅得到情报，知道有一个企图暗杀爱因斯坦的阴谋在进行，于是对会场作了严密戒备，但爱因斯坦在讲话时神态自如，仿佛不知有任何危险。这篇讲稿最初发表在 1933 年 10 月 4 日的伦敦《泰晤士报》和《纽约时报》上。《晚年集》中此文的标题是《科学和文明》，内容不全，编者说在此之前未曾发表过，显然不确。这里译自《爱因斯坦论和平》第 237—239 页。标题是《泰晤士报》上最初所用的。——原编者注

无可怀疑，目前的世界（经济）危机，以及由它所引起的痛苦和穷困，在很大程度上是今天我们所目睹的危险动乱的原因。在这样的时代里，不满产生仇恨，而仇恨又导致暴力行动、革命甚至战争。这样，我们就看到了困苦和灾难怎样招致新的困苦和灾难。

像二十年前的情况一样，处于领导地位的政治家们又要再一次担负起十分重大的责任。人们只能希望，在时间还不算太迟以前，他们将为欧洲订立一些其含义完全一清二楚的国际条约和保证，使一切国家都会认识到，任何战争冒险的企图全都是枉费心机的。不过，政治家的工作，只有当他们受到人民的诚挚的和坚决的意志支持时，才能获得成功。

我们所碰到的，不仅是保障和维持和平的技术问题，而且还有启蒙和教育的重要任务。如果我们要抵抗那些威胁学术自由和个人自由的势力，我们就应当清醒地意识到，自由本身正处在危险之中；我们应当体会到，我们的先辈通过艰苦斗争所赢得的自由，给了我们多大的恩惠。

要是没有这种自由，就不会有莎士比亚、歌德、牛顿、法拉第、巴斯德和李斯特。人民群众就不会有像样的家庭生活，不会有铁路和无线电，不会有防治传染病的办法，不会有廉价书籍，不会有文化，不会有艺术的普遍享受。也就不会有把人从生产生活必需品所需要的苦役中解放出来的机器。要是没有这些自由，大多数人会过着被压迫和被奴役的生活，就像在古代亚洲的庞大专制帝国中所过的生活那样。只有在自由的社会中，人才能有所发明，并且创造出文化价值，使现代人生活得有意义。

没有疑问，目前的经济困难将会产生一些法律上的措施，使劳动的供求之间、生产与消费之间的调节，经常通过政府的控制来实现。但这些问题也必须由自由的人来解决。在寻求解决时，我们必须注意不要被驱使到一种会阻碍健康发展的奴役制度中去。①

我还想讲一讲我最近想起的一个主意，当我孤独地生活在乡间时，我注意到单调的清静生活怎样激起了创造性的心理活动。即使在现代社会里，也还有某些职业，要求人孤独地生活，而不需要付出很大的体力或者脑力劳动。我所想到的就是像看守灯塔或者灯塔船这类职业。难道不能让愿意思索科学问题，特别是带有数学或者哲学性质问题的青年人去从事这种职业吗？有这种抱负的青年，即使在他们一生最多产的时期，也很少有几个能有机会有一段时间不受干扰地专心致志于科学问题。一个青年人即使非常幸运地得了一种有一定期限的奖学金，他也总是被迫要尽快地得出确定的结论。这种压力，对于从事纯粹科学的学生只能是有害

---

① 据《爱因斯坦论和平》编者按，原来的德文手稿中并无下面的三段，这三段话显然是爱因斯坦演讲时临时插进去的。——原编者注

的。事实上，青年科学家参加了一种使他足以糊口的实际职业，情况就要好得多；当然，先得假定这种职业能使他有足够的时间和精力去进行他的科学工作。

难道我们只能哀叹我们生活的时代是一个紧张、危险而匮乏的时代吗？我并不以为然。人，也像一切动物一样，本性是被动的。除非受到环境的刺激，他简直不愿费神去考虑他的状况，而往往像机械人那样机械地动作。我想以我的年纪，我已经有资格来说，在我的幼年和青年时代，我是经历过这样一个阶段的。在那段时期，人们只想到个人生活的琐事，把头发向后梳得光光的，讲话和行动都力求同他们的同伴们一样。人们总是好不容易才会发觉隐藏在行为和言词的习俗假面具后面的是些什么东西。这个假面具把真正的人掩盖了起来，就好像他是被棉花包裹着的那样。

今天却是多么不同呀！在这个暴风雨时代一阵阵通明彻亮的闪电中，人们能够看清楚赤裸裸的人和人的价值。每一个国家和每一个人现在都清楚地暴露出他的优点和弱点，他的志向和激情。在当前事变的冲击下，通常的行为就变成毫无意义了；习俗常规就像干枯的外壳一样脱落了。

人们在困苦中会觉悟到经济制度的不合理和需要有超国家的政治约束。只有遭到危险和社会动乱时，国家才会真正感到不得不采取进步性的政策；人们只能希望目前的危机会引导我们到一个更加美好的世界。

可是，除了这条颇为抽象的途径以外，我们决不可忘记那些至高的和永久的价值，惟有有了它们，生活才有意义，我们应当尽可能把它们作为一份遗产传给我们的子孙，而这份遗产该比我们从自己的父母手里接受下来的那一份还要更加纯净，更加丰富。像你们所做的那种高尚的努力，将会有助于这个目标的实现。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第 3 卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆 1979 年版，第 117—120 页。沿袭原有标题。

要使科学造福于人类，而不成为祸害

——对加利福尼亚理工学院学生的讲话[①]

爱因斯坦

看到你们这一支以应用科学作为自己专业的青年人的兴旺队伍，我感到十分高兴。

我可以唱一首赞美诗，来颂扬应用科学已经取得的进步；并且无疑地，在你们自己的一生中，你们将把它更加推向前进。我所以能讲这样一些话，那是因为我们是生活在应用科学的时代和应用科学的家乡。但是我不想这样来谈。我倒想起一个娶了不称心的妻子的小伙子，当人家问他是否感到幸福时，他回答说："如果要我说真心话，那我就不得不扯谎了。"

我的情况也正是这样。试设想，一个不很开化的印第安人，他的经验是否不如通常的文明人那样丰富和幸福？我想并不如此。一切文明国家的儿童都那么喜欢扮"印第安人"玩，这是值得深思的。

这样了不起的应用科学，它既节约了劳动，又使生活更加舒适，为什么带给我们的幸福却那么少呢？坦率的回答是，因为我们还没有学会怎样正当地去使用它。

在战争时期，应用科学给了人们相互毒害和相互残杀的手段。在和平时期，科学使我们生活匆忙和不安定。它没有使我们从必须完成的单调的劳动中得到多大程度的解放，反而使人成为机器的奴隶；人们绝大部分是一天到晚厌倦地工作着，他们在劳动中毫无乐趣，而且经常提心吊胆，惟恐失去他们一点点可怜的收入。

你们会以为在你们面前的这个老头子是在唱不吉利的反调。可是我这样做，

---

① 这是爱因斯坦于1931年2月16日对美国加利福尼亚理工学院学生的讲话，讲稿最初发表在1931年2月17日的《纽约时报》上。这里译自H.夏普利等人编的《科学宝典》(*A Treasury of Science*, H. Shapley, S. Rapport, H. Wright编，1943年纽约Harper公司出版)第43—44页和《爱因斯坦论和平》第122页(不全)。标题为译者所加。最初《纽约时报》上用的标题是《科学和幸福》。——原编者注

目的无非向你们提一点忠告。如果你们想使你们一生的工作有益于人类，那么，你们只懂得应用科学本身是不够的。关心人的本身，应当始终成为一切技术上奋斗的主要目标：关心怎样组织人的劳动和产品分配这样一些尚未解决的重大问题，用以保证我们科学思想的成果会造福于人类，而不致成为祸害。

在你们埋头于图表和方程时，千万不要忘记这一点！

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第 3 卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆 1979 年版，第 72—73 页。沿袭原有标题。

科学对生活的精神意义

薛定谔

科学研究的价值是什么？众所周知，在我们这个今非昔比的时代里，每一位志愿在科学领域中做出真正贡献的人，都不得不使自己专业化：即投身于某一狭窄的研究领域，学习其中已被获得的全部知识，然后试图通过自己的努力——研究、实验、思考，来增加这方面的知识。由于从事如此专业性的活动，我们会很自然地不时停下来思考：它的用处究竟在哪里？增加某一狭窄领域的知识，其本身有何价值？即便将某一学科如物理学、化学、植物学或动物学的几个分支所取得的成就综合起来，又有何价值？甚至将所有学科的成就加在一起，其价值又是什么呢？

许多人，特别是那些对科学并不十分感兴趣的人，对这个问题的回答，往往是指出科学成就在改造技术、工业、工程等等方面的实际结果，指出如下事实：在不足两个世纪里，正是科学超乎想像地改变了我们的整个生活方式，并且在不远的将来会进一步甚至以更快的速度使其发生变化。

对这种从实用主义的角度来评价科学家的工作，几乎没有哪一位科学家会持赞同态度。当然，价值问题是最为棘手的，要给出无可争议的答案几乎是不可能的。不过，还是让我给大家提出 3 条主要论据，以反对上述观点。

首先，我认为自然科学与其他方面和知识——或者用德语表示为 Wissenschaft(科学)——即在大学或其他研究中心获得的知识是居于同等地位的。考虑一下在历史学、语方学、哲学、地理学或音乐史、绘画史、雕塑史、建筑史，甚至考古学和史前历史学等方面的学习与研究吧，作为研究人员的主要目标，没有人愿意把这些活动同人类社会状况的进步联系起来，尽管这些活动对社会的进步确实经常起到很大的作用。在这一方面，我看不出科学[①]有什么特殊的地位。

另一方面(即我的第二个观点)，有一些自然科学的学科对人类社会的生活丝毫不产生实际影响，如天体物理学、宇宙哲学以及地球物理学的一些分支。以地震

① 此处应指自然科学。——译者注

学为例，众所周知，预报地震的可能性几乎没有。要事先警告人们离开他们的住所，绝不像通知拖网渔船在风暴来临之前归岸那样简单。地震学所能做到的，只是告知那些尚未定居的人们，哪里是危险地带。然而，即使没有科学的帮助，恐怕这些地带也已因惨痛的经历而昭著于世了。但它们往往还是人口密集的地方，因为人类对沃土的需求变得越来越迫切。

第三，在自然科学突飞猛进的推动下，技术与工业的不断发展，是否增加了人类的幸福？对此，我深表怀疑。这里，我不想涉及过多的细节，也不讨论未来的发展，像地球表面受到人工放射性污染的危害，以及人种面临的可怕结局——如奥尔德斯·赫胥黎(Aldous Huxley)最近发表的恐怖而有趣的小说《猿和本质》(*Ape and Essence*)中所描述的那样。这里，我只想谈谈这个由于神奇的现代交通工具而导致"时空急剧缩小"的世界。当我们用最快的交通工具以小时数替代英里来测量空间时，所有的距离几乎都变成了零。而当计算旅行的费用时，即便是使用最便宜的交通工具，在这最近的10—20年里，也已增加了一倍甚至两倍。于是，许多家庭和好友们前所未有地被分散在地球的各处。多数情况下，经济状况的制约使他们无缘再见。即便有些人能够见面，但短暂的相聚之后，也要承受痛苦的分别。这带给人们的难道能称之为幸福吗？这些只是令人触目惊心的事例的一部分罢了；在这个话题上展开去，我们可以谈上几个小时。

让我们转向人类活动中不太阴暗的一面吧。现在你可能会问，而且你一定会问我：那么，你认为自然科学的价值是什么？我会回答：它的影响范围、目标和价值与人类知识的其他分支是同等重要的。不仅如此，只有针对由它们组成的统一整体，而非某一个单独的分支，讨论它的范围或价值才会有意义。这描述起来很简单：遵从特尔斐神[①]的神喻，认识你自己。或者简单地用柏罗丁(Plotinus)[②]说过的感人妙语："那么我们，我们到底是谁呢？"他回答："或许在这个宇宙存在之前，就已经有了我们人类，但也许是另一种人类，甚至是某种神、纯净的灵魂和思想。它们同整个宇宙相联系，是这个可被认识的世界的一部分，不可被分离或隔断，与整个世界融为一体。"

我生于这样一个处境中——不知道自己从何而来，又去往何方，也不清楚我是谁。这是我的情形，也是你的，你们每一位都如此。每一个人都是这样的处境，并且永远都将如此。这一现实不能给我任何答案。我们热切地想知道自己从哪里来到何处去，但惟一可观察的只有身处的这个环境。这就是为什么我们如此急切地竭尽全力去寻找答案。这就是科学、学问和知识，这就是人类所有精神追求的真正源泉。对我们所置身的时空环境，我们总是尽可能想知道更多。当努力寻找答案时，我们乐在其中，并且发现它引人入胜(或许这不是我们的终极目标所在？)。

---

① 特尔斐是古希腊城市，因有阿波罗神庙而著名。——译者注

② 古罗马哲学家，新柏拉图学派主要代表，提出"流溢说"，著有《九章集》。——译者注

这看起来似乎是简单且不证自明的，但仍须强调：一群专家在一个狭窄的领域所取得的孤立的知识，其本身是没有任何价值的，只有当它与其他所有的知识综合起来，并且有助于整个综合知识体系回答“我们是谁”这个问题时，它才真正具有价值。

加塞特(José Yortegay Gasset)，著名的西班牙哲学家，经过多年的流放现在回到马德里(尽管我认为他像一个社会民主党人一样，有一点法西斯主义倾向，但仍是一位通情达理的普通人)。本世纪20年代，他发表了一系列的文章。令人欣喜的是，后来这些文章都被收进了名为《民众的反抗》(*La rebelión de las masas*)一书中。顺便说一下，该书与社会的或其他的革命毫无干系，这里的“反抗”仅仅是一种隐喻。机器时代将人口数目及人们的需求推向了一个个前所未有、不可估量的高峰。这使得我们每一个人的日常生活都是在与他人的接触、应付中度过，并且变得越来越纠缠不清。不管我们需要什么、向往什么，一条面包或一磅黄油，搭乘一次公共汽车或购一张剧院门票，一个清净的旅游胜地或一次出国观光的机会，一间住房或一份可谋生的工作……总是有难以数计的人有同样的需求或向往。这种需求的空前高涨所带来的新状况与发展正是加塞特书中的主题。

书中充满了妙趣横生的观察报告。给大家举个例子吧，尽管它并不涉及到我们现在的话题。书中有一章的标题是 *El major peligrl*，*elestado*：《最大的危险——政府》。他在书中声明，政府正在以不断增长的势力剥夺公民的个人自由。虽以保护我们为托辞，却全无必要。这将是未来文化发展的最大危险。这里我想谈及的是前一章，名为《专业化的野蛮》(*La barbarie del “especialismo”*)。乍看上去，标题似乎显得荒谬，没准吓你一跳。作者大胆地将专业化的科学家描写成没有理性的、无知的乌合之众的典型代表，是“易受大众传媒影响的人”(hombre masa)，危及真正文明的存活。我只从他的文章中挑出几段，看看他是怎样精彩地描述“这类史无前例的科学家”的。

在一个真正受过教育的人应该掌握的知识当中，他只是熟知某一特殊的学科，并且也只是了解这门学科中他所研究的那一小部分。他声明根本不要过问自己所专攻的狭窄领域以外的任何其他知识，这被他看作是一个优点。并且，他抨击那些对所有知识之大成感兴趣的人是一知半解、浮夸浅薄的。

值得注意的是，尽管这样的人被自己专业的狭隘遮住了视线，却的确成功地取得了新发现，推动了他的学科的发展(他本人对该学科却知之甚少)乃至促进了完整的人类思想随同它一起前进——这是被他完全忽视了的。这样的事情是怎样发生的？为什么仍可能继续发生？我们必须十分重视这个不容否认的异常事实：实验科学已被那些十分平庸的人所做的工作，推向了十分先进的程度。

这里，我不想过多地引用原文，但我热切地建议你找到原著，继续读下去。距离该书第一次出版，已有二十几年了。在这些年里，我发现，与加塞特书中抨击的

可悲事态相反，现在已出现了前景光明的迹象。我们并不是要完全杜绝专业化，即便希望如此也是不可能的。然而，人们意识到了专业化不是优点而是一个无法避免的弊端，意识到了所有的专业研究只有放在完整的知识体系当中才有价值。这些都是正在取得的进展。一个敢于用超出自己本专业的知识来思考、讲述、甚至撰写新课题的人，曾被说成是"半瓶子醋"，现在这种谴责声已显得越来越微弱了。对这种尝试进行猛烈攻击的无外乎来自两类人群。一类是科学界的，另一类是非科学界的。在这两种情况下，攻击的理由均是显而易见的。

伊顿[①]中学的校长罗伯特·伯利(Robert Berley)，在一篇名为《德国的大学》的文章(1949 年 12 月 11 日发表在《观察者》上)中，从德国高校改革委员会的报告中引用了几段话。这些话引用得恰到好处、重点突出，我十分赞同。报告中是这样写的：

每一位在工科大学的讲师，都应具备以下能力：

(1)能够看到本专业的局限性。在教学过程中，使学生了解这些局限性；并且告诉他们，超出其界限，起作用的力量就不再是纯粹理性的了，而将源于生活及人类社会本身。

(2)对每一个专业，都要教会学生如何突破其狭窄的范围局限，从而拓展更宽阔的视野，等等。

我不能说这些简洁的阐述是独特的、新颖的，但有谁指望一个委员会、调查团或董事会之类的组织必须得有创造性呢？人类一直都是极其平凡的。然而我们可以惊喜地甚至是心怀感激地发现这种态度正在盛行起来。惟一的批评(如果能称之为批评的话)就是还找不到一个合理的解释，为什么只是对德国工科大学的老师提出上述要求呢？我认为它们适合于任何大学的任何一位老师。不仅如此，对世界上所有学校的教师都适用。我在此总结这些要求如下：

要敏锐地注意到，你的特殊专业在人类生活悲喜剧的舞台上所扮演的角色；要联系生活，不仅要联系实际的生活，而且要联系生活的理想背景，这一点通常显得更为重要。同时，还要使自己紧跟时代。如果你不能最终告诉别人你一直在做什么，那么，你的研究也就一文不值。

作者简介略。

文献来源：薛定谔《自然与古希腊》，颜锋译，丁凤新校，上海科学技术出版社 2002 年版，第 94－100 页。沿袭原有标题。

① 在伦敦附近的白金汉郡，泰晤士河边的一个市镇。——译者注

科学研究的道德观

贝弗里奇

有一些道德观点是科学家普遍承认的。其中最重要的一条是：在报道研究成果时，作者对他所参考利用的前人成果以及任何曾经实质上为他的研究提供过帮助的人，有责任给予应有的肯定和感谢。这条不成文的基本法规并不总是受到应有的、一丝不苟的尊重。违犯者应该懂得，虽然在不知内情的读者眼里他们提高了声誉，但是，却完全抵不过了解情况的那几个人的意见带给他们的耻辱，这些人的意见才是真正举足轻重的。我们有时听到某人在谈话中引用别人的意见就好像是自己的一样，这是对上述不成文法规的一种常见的、轻微的触犯。

科学上一种严重的不道德行为是：盗窃别人谈话时透露的设想或初步的成果，加以研究，然后不经许可就予以报道。这不比普通的盗窃好多少。我曾听到人们把一个屡犯不改的人称为“科学强盗”。违犯了这种道德的人是不易再受信任的。另一种不妥的行为是：一个研究工作的指导者仅仅指导了某项研究，但在联名发表时他的名字排在第一，这样就把研究工作的主要功劳攫为己有。遗憾的是，这种现象并不如人们想像的那么罕见。名字排在前面的作者是资格较高的作者，但所谓资格高指的是他在这项研究中负责的工作多，而不是指他担任的职位高。大部分指导人员更关心的是鼓励青年工作人员，而不是自己抢功。我这里并不是说，如果老资格的研究人员在研究工作中确实起了作用也根本不应提自己的名字。过于认真且慷慨大方的人有时就是如此。但是，最好的办法常常是把自己的名字放在年轻科学家名字的后面，这样，年轻人就不会仅仅被当作是“参与合作者”之一而遭忽视。在年轻作者自己尚未成名时，写上一个在研究工作中出过力的知名科学家的名字，有助于作为工作质量的保证。每个科学家都有责任慷慨地给予力所能及的建议和意见，并且，通常不应该因给予这种帮助而要求别人来表示正式的感谢。

我的一些同事和我本人都曾发觉，有时我们认为是新设想的东西，在查看了自己先前就比课题所作的笔记后，发现并不是独创的。这种不完全的记忆有时造成

不自觉地剽窃了别人的设想。有时别人谈话中提到的设想，后来在回忆时想不起是谁说的，从而以为是自己的。

完全的诚实当然是科学研究所必要的态度。正如克拉默(Gramer)所说：

"从长远来看，一个诚实的科学家是不吃亏的，他不仅没有谎报成果，而且充分报道了不符合自己观点的事实。道德上的疏忽在科学领域里受到的惩罚要比在商业界严厉得多。"

把自己的佐证作最有利的报道是徒劳的，因为严峻的事实日后总会被别的研究人员所披露。实验人员自己最清楚自己成果中最可能的谬误。他应该老老实实地报道自己的工作，必要时指出可能出现了的错误。

如果作者发现自己后来不能证实原先报道的一些成果时，他应该发表更正，以免使别人误入歧途，或是费了九牛二虎之力去重复这项工作，而结果只是知道出一个错。

当一个科学家开辟了一个新的研究领域时，有些人认为有礼貌的做法是，不要立即冲进这个领域，而应在一段时间内将它留给发现者，让他有机会去收获第一批成果。我个人看不出有什么必要这样做，只要第一篇论文已经发表就行了。

不利用别人得到的知识而作出新发现几乎是不可能的。如果科学家们不汇集他们的贡献，就不可能积聚今天我们所能得到的丰富的科学知识宝藏。将实验结果和观察到的现象发表出版，以便别人可以利用并给予批评，这是作为现代科学基础的一条基本原则。保密违反科学上的最大利益和科学精神，它使科学家个人无法为科学的进一步发展作贡献。这通常意味着：科学家或他的雇主，想要利用别人慷慨提供的知识为基础而作出的发展来为自己的私利服务。很多工业上和政府国防部门的研究工作是秘密进行的。在今天这样的世界上，这似乎不可避免，但是，在原则上却是错误的。理想地说，只要研究成果有一定的价值，那么，出版自由应是一切研究人员的基本权利。据说，甚至在农业研究方面，偶或有研究成果因有碍政府当局的脸面因而受到压制的现象。这似乎是一种危险而又短视的政策。

实验室不受限制，而研究人员个人将实验活动保守秘密的情况还是常见的。这些研究人员害怕别人剽窃他们的初步结果，抢在他们自己之前作出成果并予以发表。这种暂时保密的形式不能看成是破坏科学道德。然而，这种情况尽管可以理解，却不应予以提倡，因为自由交流情报和思想有助于加速科学的发展。但是，别人请你对告诉你的情况保守秘密，是应该受到尊重的，不应再传给他人。一个旅行中的科学家参观各种实验室，他自己也许恪守信用，决不利用人家告诉他的未发表的资料，但是却可能无意中把这样的资料告诉了一个原则性不如他强的人。为了避免这种危险，这位科学家最好请别人不要把希望保守秘密的情况告诉给他，因

为要记住哪些情况传播上有限制，哪些没有限制是很困难的。

遗憾的是，即使在科学的领域内，人们偶尔也会遇到国家之间的妒忌。表现为对别国所做的研究成果不赞赏、不承认。这一点，不仅作为对科学道德观和科学国际精神的不可辩解的破坏而言是可悲的，而且，违犯者会自食恶果，常常损害了自己和自己的国家。不承认别国所做科学发展的人，可能被遗留在他应该留在的死水滞流之中，而且他的行为也说明他是个二流科学家。在广大科学家之间存在着一种天然同情、互相理解的国际精神，这是人们对人类的未来抱有信念的一个主要原因。看到这一点被个别人狭隘的私心所玷污，是令人沮丧的。

作者简介略。

文献来源：贝弗里奇《科学研究的艺术》，陈捷译，科学出版社 1979 年版，第十一章第三节（第 149—152 页）。沿袭原有小节标题。

12 科学与政治 ≫

我的世界观[①]

爱因斯坦

我们这些总有一死的人的命运是多么奇特呀！我们每个人在这个世界上都只作一个短暂的逗留；目的何在，却无所知，尽管有时自以为对此若有所感。但是，不必深思，只要从日常生活就可以明白：人是为别人而生存的——首先是为那样一些人，他们的喜悦和健康关系着我们自己的全部幸福，然后是许多我们所不认识的人，他们的命运通过同情的纽带同我们密切结合在一起。我每天上百次地提醒自己：我的精神生活和物质生活都依靠着别人（包括生者和死者）的劳动，我必须尽力以同样的分量来报偿我所领受了的和至今还在领受着东西。我强烈地向往着俭朴的生活。并且时常为发觉自己占用了同胞的过多劳动而难以忍受。我认为阶级的区分是不合理的，它最后所凭借的是暴力。我也相信，简单淳朴的生活，无论在身体上还是在精神上，对每个人都是有益的。

我完全不相信人类会有那种在哲学意义上的自由。每一个人的行为，不仅受着外界的强迫，而且还要适应内心的必然。叔本华（Schopenhauer）说："人虽然能够做他所想做的，但不能要他所想要的。"[②]这句话从我青年时代起，就对我是一个真正的启示；在我自己和别人生活面临困难的时候，它总是使我们得到安慰，并且永远是宽容的泉源。这种体会可以宽大为怀地减轻那种容易使人气馁的责任感，也可以防止我们过于严肃地对待自己和别人；它还导致一种特别给幽默以应有地位的人生观。

---

① 此文最初发表在1930年出版的《论坛和世纪》（*Forum and Century*）84卷，第193－194页。当时用的标题是《我的信仰》（*What I believe*）。这里译自《思想和见解》第8－11页和《我的世界观》英译本第237－242页。——原编者注

② 叔本华这句话的德文原文是："Ein Mensch kann zwar run，was er will，aber nicht wollen，was er will."——原编者注

要追究一个人自己或一切生物生存的意义或目的，从客观的观点看来，我总觉得是愚蠢可笑的。可是每个人都有一定的理想，这种理想决定着他的努力和判断的方向。就在这个意义上，我从来不把安逸和享乐看作是生活目的本身——这种伦理基础，我叫它猪栏的理想。照亮我的道路，并且不断地给我新的勇气去愉快地正视生活的理想，是善、美和真。要是没有志同道合者之间的亲切感情，要不是全神贯注于客观世界——那个在艺术和科学工作领域里永远达不到的对象，那么在我看来，生活就会是空虚的。人们所努力追求的庸俗的目标——财产、虚荣、奢侈的生活——我总觉得都是可鄙的。

我对社会正义和社会责任的强烈感觉，同我显然的对别人和社会直接接触的淡漠，两者总是形成古怪的对照。我实在是一个"孤独的旅客"，我未曾全心全意地属于我的国家，我的家庭，我的朋友，甚至我最接近的亲人；在所有这些关系面前，我总是感觉到有一定距离并且需要保持孤独——而这种感受正与年俱增。人们会清楚地发觉，同别人的相互了解和协调一致是有限度的，但这不足惋惜。这样的人无疑有点失去他的天真无邪和无忧无虑的心境；但另一方面，他却能够在很大程度上不为别人的意见、习惯和判断所左右，并且能够不受诱惑要去把他的内心平衡建立在这样一些不可靠的基础之上。

我的政治理想是民主主义。让每一个人都作为个人而受到尊重，而不让任何人成为崇拜的偶像。我自己受到了人们过分的赞扬和尊敬，这不是由于我自己的过错，也不是由于我自己的功劳，而实在是一种命运的嘲弄。其原因大概在于人们有一种愿望，想理解我以自己的微薄绵力通过不断的斗争所获得的少数几个观念，而这种愿望有很多人却未能实现。我完全明白，一个组织要实现它的目的，就必须有一个人去思考，去指挥，并且全面担负起责任来。但是被领导的人不应当受到强迫，他们必须有可能来选择自己的领袖。在我看来，强迫的专制制度很快就会腐化堕落。因为暴力所招引来的总是一些品德低劣的人，而且我相信，天才的暴君总是由无赖来继承，这是一条千古不易的规律。就是这个缘故，我总是强烈地反对今天我们在意大利和俄国[①]所见到的那种制度。像欧洲今天所存在的情况，使得民主形势受到了怀疑，这不能归咎于民主原则本身，而是由于政府的不稳定和选举制度中与个人无关的特征。我相信美国在这方面已经找到了正确的道路。他们选出了一个任期足够长的总统，他有充公的权力来真正履行他的职责。另一方面，在德国的政治制度[②]中，我所重视的是，它为救济患病或贫困的人作出了比较广泛的规定。

---

① 第二次世界大战期间，爱因斯坦承认他在战前很长一段时期受了反苏宣传的影响，以后他对这问题的看法有一些改变。参见他1942年10月25日在美国"犹太人支援俄国战争公会"一次宴会上的演讲和1950年3月16日给美国反共"理论家"胡克的一封信。——原编者注

② 指1918年第一次世界大战结束时建立、1933年被希特勒推翻的"魏玛(Weimar)共和国"。本文最初发表时用的不是"德国的政治制度"，而是"我们的政治制度"。——原编者注

在人生的丰富多彩的表演中，我觉得真正可贵的，不是政治上的国家，而是有创造性的、有感情的个人，是人格；只有个人才能创造出高尚的和卓越的东西，而群众本身在思想上总是迟钝的，在感觉上也总是迟钝的。①

讲到这里，我想起了群众生活中最坏的一种表现，那就是使我厌恶的军事制度。一个人能够洋洋得意地随着军乐队在四列纵队里行进，单凭这一点就足以使我对他轻视。他所以长了一个大脑，只是出于误会；单单一根脊髓就可满足他的全部需要了。文明国家的这种罪恶的渊薮，应当尽快加以消灭。由命令而产生的勇敢行为，毫无意义的暴行，以及在爱国主义名义下一切可恶的胡闹，所有这些都使我深恶痛绝！在我看来，战争是多么卑鄙、下流！我宁愿被千刀万剐，也不愿参与这种可憎的勾当。② 尽管如此，我对人类的评价还是十分高的，我相信，要是人民的健康感情没有被那些通过学校和报纸而起作用的商业利益和政治利益蓄意进行败坏，那么战争这个妖魔早就该绝迹了。

我们所能有的最美好的经验是奥秘的经验。它是坚守在真正艺术和真正科学发源地上的基本感情。谁要是体验不到它。谁要是不再有好奇心也不再有惊讶的感觉，他就无异于行尸走肉，他的眼睛是迷糊不清的。就是这样奥秘的经验——虽然掺杂着恐怖——产生了宗教。我们认识到有某种为我们所不能洞察的东西存在，感觉到那种只能以其最原始的形式为我们感受到的最深奥的理性和最灿烂的美——正是这种认识和这种情感构成了真正的宗教感情；在这个意义上，而且也只是在这个意义上，我才是一个具有深挚的宗教感情的人。我无法想像一个会对自己的创造物加以赏罚的上帝，也无法想像它会有像在我们自己身上所体验到的那样一种意志。我不能也不愿去想像一个人在肉体死亡以后还会继续活着；让那些脆弱的灵魂，由于恐惧或者由于可笑的唯我论，去拿这种思想当宝贝吧！我自己只求满足于生命永恒的奥秘，满足于觉察现存世界的神奇的结构，窥见它的一鳞半爪，并且以诚挚的努力去领悟在自然界中显示出来的那个理性的一部分，即使只是其极小的一部分，我也就心满意足了。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第3卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆1979年版，第42—46页。沿袭原有标题。

---

① 爱因斯坦由于目睹德国军国主义的泛滥和法西斯瘟疫的蔓延，对群众和群众运动产生了不正确的看法，这种看法也常在别的文章中流露出来。——原编者注

② 1933年7月以后，爱因斯坦改变了这种绝对的反战态度，积极号召反法西斯力量武装起来，对抗法西斯的武装侵略。参见1933年7月20日给A.纳翁的信。——原编者注

科学家对政治问题不应当明哲保身

——1933年5月26日给冯·劳厄的信[①]

爱因斯坦

我不同意您的看法，以为科学家对政治问题——在较广泛的意义上来说就是人类事务——应当默不作声。德国的情况表明，这种克制会导致：不作任何抵抗就把领导权拱手让给那些盲目的和不负责任的人。这种克制岂不是缺乏责任心的表现吗？试问，要是乔尔达诺·布鲁诺、斯宾诺莎、伏尔泰和洪堡也都是这样想，这样行事，那么我们的处境会怎样呢？我对我所说过的话，没有一个字感到后悔，而且相信我的行动是在为人类服务。你以为我会因为不能在目前状况下留在你们的国家里而感到后悔吗？这对我来说是不可能的，即使他们让我过着养尊处优的生活。但是，我对您和另外几位德国朋友的情谊给我的感觉依然是强烈的。我希望在一个比较愉快的时候我们将重新相会。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第3卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆1979年版，第112页。沿袭原有标题。

---

① 这是爱因斯坦于1933年5月26日在英国牛津给麦克斯·冯·劳厄(Max von Laue)的信。这里译自《爱因斯坦论和平》第218—219页。标题为编者所加。

爱因斯坦自希特勒上台后发表了一系列谴责纳粹暴行的言论，并宣布同德国脱离关系。他的挚友冯·劳厄写信劝他对政治问题要采取克制态度。爱因斯坦回信表示不同意。劳厄虽然没有像爱因斯坦那样在政治上公开谴责纳粹，但在学术上他始终旗帜鲜明地抵制纳粹的倒行逆施。他反对普鲁士科学院辞退爱因斯坦，公开为相对论辩护，阻止希特勒追随斯塔克(J. Stark)当选为科学院院士。为此，爱因斯坦于1934年3月23日写信给劳厄说："亲爱的老同志：从你那边传来关于你的每一条消息多么使我高兴。事实上，我始终觉得并且了解，你不仅是一个思想家，而且也是一个高尚的人。"(见《科学传记词典》[*Dictionary of Scientific Biography*]，纽约Scribner，第8卷，1973年，第52页。)——原编者注

科学家的道义责任

——给“意大利科学协进会”的贺信[①]

爱因斯坦

首先让我对你们邀请我参加你们这次会议的盛情表示最诚挚的感谢。要是健康允许，我是应当乐意接受这次邀请的。情况既然如此，我就只好远隔重洋从家里给你们写这样一封简短的贺信。这样做时，我并不幻想我有什么竟然会扩大你们的见识或者增加你们的理解的话要说。可是，我们是生活在一个内外都那么严重不安的时代，它的特征就是缺乏明确的目标，因此，仅仅表白一下我们的信念会是有益的，尽管这些信念也像一切价值判断一样，都是不能由逻辑演绎来证明的。

马上出现了这样的问题：追求真理——或者比较谨慎地说，我们通过构造性的逻辑思维去理解可认识的宇宙的那种努力——是不是应该成为我们工作的独立目标？或者说，追求真理是不是应该服从某些别的目标，比如服从一些“实用上的”考虑？这个问题不能根据逻辑来作出决定。可是，不管我们的决定是怎样做出的，只要它是出自深挚的、不可动摇的信念，它就会对我们思想上和道义上的判断产生很大影响。那么就让我来表白一下：我认为，为求得更深广的见识和理解而斗争，是这样一些独立目标之一，要是没有这些目标，一个有思想的人对待生活就不会有积极自觉的态度。

我们为求得更深广的理解所作的努力，其本质就在于：人一方面企图包罗大量的、各种各样的人类经验，而另一方面，他又总是在追求基本假定中的简单和经济。鉴于我们的科学知识处于原始状态，相信这两个目标能够并列存在，那只是一个属

---

① “意大利科学协进会”(Sciera Iraliana per il Progresso de la Scienze)于1950年10月在卢加(Lucca)举行第42次会议，爱因斯坦写了这封贺信。这封信最初发表在“联合国教育、科学及文化组织”(UNESCO)在巴黎出版的刊物《科学和技术的影响》(*Impact of Science and Technology*)第一卷(1950年)第3—4期，第104—105页。德文原文最初发表在柏林，《物理学报》(*Physikalische Blätter*)，1952年第2期。这里译自《爱因斯坦论和平》第534—537页。——原编者注

于信仰的问题。但要是没有这种信仰，我就不能对知识的独立价值有如此强烈和坚定的信念。

从事科学工作的人的这种态度，在某种意义上来说是一种宗教的态度，对他们的整个人格也有一定的影响。因为，除了科学工作者从积累的经验和逻辑的规律所获得的知识以外，在理论上就不存在任何可以把自己的决定和论述宣布为"真理"的权威。这就导致了个人的自相矛盾的情况，他尽他的一切力量去研究客观的事物，但从社会的观点来看，他却由此而发展成为一个极端个人主义者；至少在原则上，这种个人主义除了相信他自己的判断以外，什么也不相信。因此十分有可能来作出这样的断言：智力活动的个人主义同对科学知识的渴望，在历史上是同时出现的，而且直到现在仍然是形影不离。

也许有人会认为，这里所讲的这样的科学家，只不过是一种抽象，就像古典经济学中的经济人（Homo oeconomicus）[①]那样，在这个世界上实际上是不存在的。可是，照我看来，要是这样的科学家在很多世纪中实际上都不曾存在过，那么，像我们今天所知道的这种科学，就既不可能出现，也不可能保持其蓬勃的生气。

当然，并不是每一个学过使用那些直接或间接地看来像"科学的"工具和方法的人，都能算是我的心目中的科学家。在我讲到科学家时，我只是指那些科学精神状态真正是生气勃勃的人。

那么，今天的科学家对当前社会的态度又是怎样的呢？显然，使他感到相当自豪的是，科学家的工作，由于实质上淘汰了手工劳动，已经帮助人类彻底改变了经济生活。但另一方面，科学家又感到苦恼，那是因为他的工作已经落到那些盲目行使政治权力的人手里，使他的科学劳动成果竟成为对人类生存的一种威胁。他又意识到，因他的工作而成为可能的那些技术方法，已经使经济权力，从而也使政治权力集中在少数人手里，这些人终于完全支配了那些日益显得涣散的群众的生活。更严重的是，经济和政治权力集中到愈来愈少的人手里，不仅使科学家经济上依附于人，而且也从精神上威胁着他的独立；对科学家在理智上和心理上施加影响的种种狡诈伎俩，会阻碍真正独立人格的发展。

因此，正如我们能够目睹耳闻的，科学家遭到一种真正是悲惨的命运。在他真心诚意地企图达到思想明晰和内心独立时，通过他的纯然是超乎常人的努力，结果却制造出了那些不仅会奴役他，而且还会从内心上毁灭他的工具，由于那些挥舞政治权力的人的压制，他不得不噤若寒蝉。当他是一名士兵时，他就要被迫去牺牲自己的生命和消灭别人的生命，尽管他确信这种牺牲是荒谬愚蠢的。他十分明白：普

① "经济人"是以亚当·斯密（Adan Smith）为代表的资产阶级古典经济学中的一个抽象概念，这种人既没有阶级性，也没有任何别的动机，只是追求着经济利益，按照经济原则进行活动。——原编者注

遍的毁灭不可避免，因为历史的发展已经导致经济、政治和军事的全部权力都集中到国家政权手里。他也认识到，只有创立一个以法律为根据的超国家制度来消灭兽性的暴力手段，人类才能得救。可是科学家却已倒退到这样程度，他居然把国家政权强加给他的奴役当作不可避免的命运接受下来，他甚至自甘堕落到这种地步，竟然驯服地献出自己的才能，去帮助完成那些注定要造成人类普遍毁灭的工具。

难道科学家真的无法逃脱这种命运吗？难道他真的必须容忍和遭受所有这些侮辱吗？科学家通过他的内心自由，通过他的思想和工作的独立性所唤醒的那个时代，那个曾经使科学家有机会对他的同胞进行启蒙并且丰富他们生活的时代，难道真的就一去不复返了吗？当他把他的工作放在一个过于理智的基础上时，他岂不是忘记了作为一个科学家的责任和尊严吗？我的回答是：一个天生自由和严谨的人固然可以被消灭，但是这样的人决不可能被奴役，或者被当作一个盲目的工具听任使唤。

如果今天的科学家能够有时间和勇气来诚恳地、批判地考虑自己的处境和所面临的任务，并且由此相应地行动起来，那么，要求公正地并且妥善地解决目前危险的国际局势的可能性就会大大增加。

作者简介略。

文献来源：《爱因斯坦文集》第3卷，许良英、赵中立、张宣三编译，商务印书馆1979年版，第289—292页。沿袭原有标题。

宇宙航行的祸福

玻　恩

宇宙航行的热心人看到这一章的题目也许会想，看呀！这个宇宙航行的死敌已经转变到这样的程度，以至他一面宣传宇航的祸害，一面也理解它的可能有的福泽了。我必须请他不要高兴得太早。当然，我要收集一切可以宇宙探险辩护的论点，但另一方面，我要对这种论点作出评价并得出我的结论。

如果你要对宇宙航行的价值作出判断，你就必须从这个问题着手：对谁有价值？科学的许多部门都牵涉到了，例如天文学、物理学、地球物理学、气象学、宇宙学、生物进化论及其他。所有这些学科都想了解些外部空间以及在其中运动的天体，不仅想了解月球、行星和恒星，而且还想了解无数极不相同的原子粒子。除科学家外，形形色色的技术专家，材料和推进器领域的研究者，火箭制造者，电子学专家和其他技术人员，以及他们为之服务的各种工业所以想要了解这种知识，很少是为了知识本身，而自然是为了利用它来赚钱。还有所有那些通讯工具的发明者和应用者，借助于人造卫星横跨大洋，因此使洲际电视广播成为可能，他们也是为了赚钱。最后，还有军人，他们把空间探索看成是研究他们的核弹运载工具的各种手段，并且希望它们能立刻把外部空间包括在他们的战略计划里。

这还不够吗？当然我忘了提许多重要事情，我的确不是宇宙航行专家。对于这一切我们能不愉快和骄傲吗？当然，所有那些专家和有关的人都会感到愉快和骄傲的。但是我们，即你和我站在什么立场上呢？请允许我违反礼仪常规，先从我自己谈起。我是一个物理学家，我对空间研究中与大气物理学、环绕地球的辐射带、宇宙线、流星有关的那些结果感兴趣。行星运动定律以前只能通过观察自然界的天体轨道来检验，牛顿差不多在三百年前已阐明了这些定律。现在，这些定律已经被用人造的物体所做的直接的实验证实了，对我来说，这是一种智力上的快乐。今天，爱因斯坦的相对论力学取代了牛顿的古典力学。可以预料，在不久的将来，爱因斯坦的相对论力学将由用人造卫星做的实验来检验。那将给我以更大的愉

快。

但是有多少人能分享这些快乐呢？他们会证明我们在宇宙航行方面的努力是正确的吗？只有非常专心致力于他的专业，以至根本不考虑其他一切观点的人才会这样认为。做实验要花钱，研究越深入，代价就越大。但是，费用和结果必须保持合理的比例，而空间研究却不是这样。这些结果对专家来说，是很有趣的，但是正是这些科学上有趣的结果使外行寒心。

你们中间有多少人能分享我刚才提到的我在证明古典力学和相对论力学上所感到的快乐呢？有多少人对发现范·艾伦带，对流星计数，对测量我们大气外面的宇宙辐射会产生深刻印象呢？谁对宇宙的大小即使仅仅有一个清晰的概念呢？谁都知道天文学家用一个选得很拙劣的术语——“光年”来量度宇宙的大小，说它拙劣，因为它表示的不是时间而是距离，即光在一年中通过的距离。光每秒走300000千米。最近的恒星大约有四光年远；最远的可见物体大约有好几十亿光年远。但是到月球的距离大约是一光秒，即不到一光年的三千万分之一。因此，当我们在月球上着陆成功时，也将只是达到了到最近的恒星的距离中那极小的一部分。

登月确实会是技术上和组织上的一个大胆而辉煌的成就。但它真是一种进入宇宙的航行吗？也许它可以被认为是进入行星系的一种冲刺。这是值得达到的目标吗？我们知道，其他行星没有一个那么像我们的地球，足以使它们上面可能有人类生命。它们是冰冷的，或者是通红的热球，没有水和空气，完全不适合于移民。有些恒星很可能带有适于居住的行星，但到恒星去旅行今天仍然是个荒诞的梦。当然有些火箭专家在研究这个计划的技术问题，例如，利用辐射压力的推进装置，或者在考虑漫长的旅行时间问题。为此目的，就要利用爱因斯坦相对论的结论，根据这种结论，一个作接近光速的高速运动的旅行家比他的留在家里的孪生兄弟老得慢。这些在理论上和实验上已完全被证实了的考虑，使宇宙航行的推测加上科学方法的魅力。但是它们并没有把我们带回到合乎理性的领域。

1958年2月，我(在克洛斯特洛卡姆[Kloster Loccum]福音学院举行的讨论会上)说过：宇宙航行是智慧的胜利，但也是理性的惨败。于是这句话常常被引用。在《基督和世界》杂志1960年4月号上，这句话再次被引用，并且还加了一句：“我十分清楚：我的评论不会阻止这些事情，而且它们也不可能被阻止。”事实上，我并没有说“它们也不可能被阻止”。如果我说了，那我就变成否定我的责任感了，正是这种责任感决不让我被技术发明的玩意儿迷惑到那样的程度，以至看不见整个人类文化的框架中各门科学的远景。

在1916年6月一次“进入黑暗的航行”的电视节目中，我用下面的话补充了这个思想：“智慧区别可能的和不可能的；理性区别明智的和不明智的。甚至可能的也可以是不明智的。”有人把这句话解释成我认为人类的存在是不明智的。我不是这样一个悲观主义者。我相信，人类一旦警觉起来就会摆脱技术的统治和抛弃人

是无所不能的吹嘘，并将恢复明智和必需的真正有价值的准则：和平，人类之爱，谦逊，尊敬，满足，高尚的艺术和真正的科学。现在所谓的宇宙航行，在我看来，不是真正的科学。甚至连这个名称也是一种欺骗。这件事与无边无际的宇宙空间无关。这是绕地球的超大气层环行和向月球以及最近的行星冲刺的问题；总之是对地球邻居的探索。

有些第一流的天文学家和物理学家今天对“宇宙航行学”并没有表示巨大的热情。英国讽刺杂志《笨拙》周刊不久以前发表了一篇论文，其中收集了天文学家从发射第一个苏联人造卫星起一直到现在为止关于宇宙航行的声明。在那儿可以看出，对为各种科学上的目的而进行的宇宙航行的评价，已经从最初的赞同变为最激烈的反对。著名的剑桥大学天文学家弗雷德·霍依尔说过：“苏美空间竞赛对于科学研究来说几乎是没有价值的。所完成的还不值所耗费的千分之一。”英国物理学家、诺贝尔奖金获得者约翰·考克罗夫特爵士说：“我们微笑着在电视上看到你们宇宙飞行。你们的努力名义上是与苏联竞争，实际上是对科学的一种歪曲。”

普通老百姓为宇宙航行而奉纳他的不小一部分税款的动机，当然不是由于科学上的兴趣。但那又是为了什么呢？或许是为了能够实际利用，例如，改进天气预报，或者借助于人造卫星扩大电视播送范围，是吗？我不相信普通老百姓是受这类动机支配的。谁关心气象学家是如何得出他们的结论的呢？谁急于要看亚非国家的某个首脑在电视屏幕上的“实况”，而不能等到几天之后在新闻片上看到他呢？但是，一个个的老百姓没有什么选择权。

然而，社会生活中有许多部门期望从行星研究和空间研究的发展中得到好处。让我们来看看这里隐藏着多少福利。工业就是这些部门之一。制造火箭对材料的完善化和加工的精确度提出了很高的要求。因而，它迫使我们走向新的技术进步。尤其在电子学自动化、燃料化学和爆炸性物质化学，以及冶金学的领域里确实是这样。有人声称，一个国家不参加宇宙航行就会在所有这些领域里一直处于落后地位，而不能与人竞争。与此相反的事实是，宇宙航行技术吸收的可用智囊的百分率很高，它把从事其他目的的智囊吸引了去。因此，整个经济所受到的损失是否能用宇宙航行中所得到的利益来平衡是令人怀疑的。在这里似乎并没有隐藏着纯粹的福利。

军方是社会生活中另一个从宇宙航行得益的部门。他们不断需要更加完善的用来发射原子弹的火箭。宇宙航行显然是在科学的伪装下达到这个目的的绝妙手段。只有在这样一件外衣下，庞大的费用才有可能被用于空间研究。在洲际弹道导弹的目的达到以后，已经考虑用人造卫星从事间谍活动和丢炸弹，资源断续在流失。今天这些战争武器的实用性是令人怀疑的，因为环绕地球不动的人造卫星比弹道导弹更容易受到攻击。不管怎么样，除了军事专家和政治家以外，大概没有一个人会把宇宙航行的这些应用看成是幸福的源泉。战争从来不属于理性的领域，

今天战争纯粹是发疯。

所以，我们得出的结论是，从科学上和实用上考虑很容易说明各类专家在空间研究方面的兴趣，但不能说明作为总体的人类在这方面的兴趣。然而这样一种兴趣毫无疑问是存在的。它的根源是什么呢？这项事业的光辉灿烂，它的巨大的代价，复杂的情况，设备的复杂性和规模、人员、机械和材料的耗费把人类给迷惑住了。况且还有进入未知和不确定领域的浪漫倾向。另外还有人类使自己从大地母亲脱离出来并到达其他星球这个古老的渴望。再加上对聪明而坚韧的工程师的羡慕，他们设计了这一切并使之实现——还有对这项事业的英雄宇宙飞行员们的羡慕。甚至连那些人，他们知道这些宇宙飞行员并不是像阿基里斯或西格费里德那样的英雄，而是一种由别人设计和操纵的装置的一个灵活的配件，也不能不佩服他们的勇敢。这些动机全都诉诸我们的最高理想。它们为科学、技术、工业、政治和战争的专家们所利用，为的是促进他们的特殊利益，使他们的计划受欢迎，并从纳税人那里得到更多的钱。

所以我看不出美国、苏联和其他国家今天所从事的宇宙航行中有任何福音。如果这是各国人民为调解对抗和保持和平而进行的共同事业，那就不同了。但那恰恰是它所不做的。它是大国之间竞争的标志，冷战的武器，民族虚荣心的象征，力量的示威。而且，我也不相信常说的一种看法，即宇宙航行是防止我们天生的侵略性和狂暴性发作的避雷针，否则它们就会迸发为战争。因为它直接被用于备战，这是一种危险的游戏。例如，在到达月球的竞赛中并没有担保会保留运动中习以为常的那种公正品德。谁能向我们保证，在这种比赛中获胜的一方不会情不自禁地疯狂起来，相信自己拥有绝对优势，而且不会设法利用这个时机以赢得对地球的主宰呢？只要这些宇宙航行的计划仍然同那种民族伟大和民族才能的概念密切联系在一起，只要一般公众还被它们在科学上和实用上的前景所蒙蔽，我就不能从其中发现任何福音，不管我如何钦佩其成就。

作者简介略。

文献来源：玻恩《我的一生和我的观点》，李宝恒译，商务印书馆 1979 年版，第二部分第四章（第 78—83 页）。沿袭原有标题。

还有什么可以希望的呢

玻　恩

希望这个词在物理学文献中未必能找到。一篇论文以设计一个实验或者在预期的基础上提出一个理论而开始。但是几乎都不会有什么话提到希望。

然而，当我回想起我在长期的科学生涯中的实际经验时，我有一个不可磨灭的记忆：当结果同我所预期的不同时，就失望。但是失望只有当有希望时才能发生。

没有一种科学是同生活绝对脱离的。即使是最沉着的科学家同时也是一个人；他希望是正确的，希望看到他的直觉被证实；他希望成名，希望成为一个有成就的人。这样一些希望，正像对知识的渴望一样，是他工作的动机。

今天，有可能在客观知识和对知识的追求之间作出明确划分的信念，已经由科学本身摧毁了。在科学的作用以及科学的道德方面已经发生了一种变化，使科学不可能保持我们这一代所信仰的为科学本身而追求知识的古老理想。我们确信，这种理想决不可能导致任何邪恶，因为对真理的追求本身是善的。那是一个美梦，我们已经从这美梦中被世界大事惊醒了。即使是睡得最熟的人，在 1945 年 8 月第一颗原子弹掉在日本城市里时也醒了。

从那时以来，我们已经认识到，由于我们自己的工作的结果，我们已经同人类生活，同它的经济和政治，同国家之间争夺权力的社会斗争完全纠缠在一起了，因此，我们负有重大责任。

按照我的看法，原子弹只是可以追溯到很远的一种发展过程的最后一环，现在，这种发展过程已经引向危机，可能引向最后的破坏性的灾难。防止这种灾难的任何希望，只能以理解把我们引进目前形势的这个过程为基础。

人们并没有委托我以抽象的哲学方式来谈论希望，它也不是我的本分。我只能谈谈我自己的经验，以及这些经验使我期望什么。我很想用某些例子来表明，应用于战争的技术科学怎样逐渐地破坏了道德上的约束，以致现在再也没有约束了。从这个情况出发，再也不能向原来的方向前进了。只能停止，然后也许还要向后

转。这正是我们可以希望的。

我对现代技术在战争中的作用的最初一些知识来自学校里的历史课：例如，针击枪在1866年怎样帮助普鲁士军队在对奥地利的战争中获胜，然而，法国尽管拥有优良的有枪栓的来福枪——后膛快枪，但在1870－1871年的战争中还是战败了。这表明，在那时，技术上的优越性似乎已经很重要，但还不是决定性的。然而，那固有的道德上的危险已经被认识到了，并且遭受到了把战争人道主义化那种思想的对抗，这种思想表现在红十字会以及关于禁止某些武器、保护和平居民等等的日内瓦公约之中。

在第一次世界大战中，事态是以不同的方式发展的。战争是以行军、会战等古老的方式开始的。但是，不久会战的特征从根本上改变了。战斗地带变得固定了，并且发展了堑壕战，与此相联系的是通过密集的炮火反复企图突破堑壕。士兵越来越成为一种纯粹的靶子，成为由技术科学提供的超人力量摧毁的对象。决定性的因素是后方的工业能力和技术发明的能力。

我本人作为柏林某军事当局的一个成员，充当了这台机器中的一个小零件，我在那儿同其他物理学家一起研究所谓声波测距法。这种方法通过在不同观察哨所测量炮声到达时间来确定敌人的炮位。即使在这小小的、不很重要的领域里，一切也都明显地依赖于整个工业的情况。为使这种方法更加有效，我们向当局要求准确测量时间的仪器，却被拒绝了，因为工业方面不愿为这样一些小事匀出时间、劳动力和材料来。然而英国人碰到这样的要求时却没有讲求节约。

观察家只要没有被爱国主义的宣传搞得昏头昏脑，战争提供给他的见解就是：男青年在其中牺牲的战役，胜败事实上是由后方的技术和原材料的供应决定的。即使在那时，在我看来这也是最不道德和最不人道的。我开始明白，从此以后不是英雄主义而是技术成了战争中的决定因素；在人类社会中，技术已经使战争过时了。

让我提出第一次世界大战中的两次经验来说明这一点，这两次经验都同伟大的化学家弗里茨·哈伯的姓名联在一起。战争爆发前不久，他发明了一种固定大气中的氮（像硝酸那样）的方法，并因而创造了第一种人造肥料，硝酸钾。现在，正如大家知道的，这也是炸药的一种成分。德国总参谋部显然准备了一切，但没有考虑到硝酸钾来自智利，现在这种进口已经被封锁切断了。没有哈伯的发明，德国人在开战以后六个月因为缺乏炸药很可能就会失败了。因此，在这种情况下，科学思想和把这种思想付诸应用的技术能力是世界史的决定因素。

第二次，为了突破固定的堑壕战，并使战线移动，哈伯又介入了。他发明了化学战——为了把敌人赶出壕沟而利用毒气（开始用氯气，后来用其他许多更有害的气体）。这种方法最初是成功的。但是它依赖于风向和天气，防毒面具的发明也限制了它的效果，而且，敌人不久就知道了如何在同样范围内甚至在更大范围内利用

毒气。

我的许多同事，甚至道德信念很强的人，都参加了这项工作。像哈伯一样，对他们来说，保卫祖国是最高的圣训。至于我自己，我感到良心上的冲突。问题不在于毒气手榴弹是否比高爆炸药弹更不人道，而在于毒物（那从古以来就被认为是一种卑怯的谋杀工具）是否应当被认可为一种战争武器，因为要是对可以容许的东西不加限制的话，很快一切都会被容许。但是，只是在许多年以后，事实上是在广岛事件以后，我才形成明确的信念。否则，关于科学家的社会责任的认识当然会在我的早期教育工作中表现出来，同时，也许我就不会有那么多学生乐于协作搞原子弹了。

1933 年，当我作为一个难民来到英国剑桥时，有一次经验使我认识到，即使在第一次世界大战期间也不只是我一个人有我这种疑虑。我受到了很亲切的接待，而哈伯则不受欢迎——尽管他在第一次世界大战中曾为德国的事业服务，还是被迫移居外国了。卢瑟福勋爵，这位核物理学的奠基人，我们时代最伟大的物理学家之一，拒绝了到我家来的邀请，因为哈伯也在。他不愿同化学战的发明者握手。卢瑟福在保卫他的祖国方面在技术上起过重大作用，因而绝不是一个和平主义者。但是，他划了一条线，在这条线以外，杀人的工具就不能被认为是一种武器。我相信，他会解释说，要是武器的运用没有道德上的分界，那么破坏就不可能有界限，这会带来文明的终结。

这种见解已经被证明是正确的。化学战是人类道德的决定性败北。虽然毒气在第二次世界大战中并没有使用，虽然日内瓦公约已经禁止了它，可是所有军事强国都已经创立了各种研究和进行化学战的组织。一个国家要是证明了化学武器在军事上有好处，那就几乎不会害怕去利用其中的某一种的。

化学战的道德上的约束被抛弃以后，19 世纪已经接受的原则——即各国进行战争只可以针对敌人的军事力量而不可以针对和平居民，也随之崩溃了。

我不是一个国际法专家，几乎没有读过格罗提斯及其继承者的著作。因此我不能介绍这种原则的历史，而只能根据我目睹的事件介绍我的印象。很明显，平民要是住在战斗地带总是受到战争的严重损害。那些被围困的城市以至整个国家的饥荒（即使敌对行动已经停止，像第一次世界大战以后那样）似乎也被认为是“可以容许的”。在第二次世界大战期间，作为空军发展的一个结果，这种屏障已经崩溃。德国带头空袭不设防城市——华沙和其他波兰城市，然后是鹿特丹、奥斯陆、考文垂，在敦刻尔克撤退以后，又有组织地轰炸伦敦。那时我在爱丁堡，常常从同事和朋友那里听到对这种不道德的战争的轻蔑的评论，并且认为英国决不会模仿这种榜样。但是这种预言已经被证明是错的了。

这是怎样发生的呢？决定轰炸战的著名人物是两位英国物理学家蒂泽德和林德曼。他们的经历开始一样的：在研究工作中经历了一个光辉的开端以后，两个人

都可能对自己是否会成为科学上的优秀人物产生了怀疑。因此，他们转向政府机关和政治。

蒂泽德成了防空委员会主席，并且因为他在正需要的时候及时在空战发展使用雷达的方法中起了作用而博得了热烈的欢呼。他使小小的英国空军赢得了著名的“不列颠之战”，因此打乱了德国人的入侵计划。

林德曼的影响也是以他在技术战中的工作为基础的，但是更重要的是由于他同邱吉尔的友谊。这要追溯到第一次世界大战中的一件小事，当时他为了证明对某种飞机的稳定性的计算的准确度，他自己驾驶了其中一架飞机，并成功地进行了旋冲。在这次显示机敏和勇敢以后，邱吉尔完全信任林德曼，任命他为他的首席科学顾问，并以彻威尔勋爵的称号授予贵族爵位。

1942 年，林德曼·彻威尔建议用英国轰炸机中队去摧毁德国大城市中的工人住宅区。然而，蒂泽德认为对军事目标的空袭会更有效得多；至于第一个计划的不人道，他是否重视，我不知道。邱吉尔站在他的朋友彻威尔一边。后来，事实证明，彻威尔对一千架轰炸机进行的多次袭击所造成的损失估计大约比实际高出六倍，而且这些空袭对战争的结果并不是决定性的，因而蒂泽德是正确的。

结果，德国的城市炸平了，几十万平民被埋葬在废墟下。防止野蛮行为的道德屏障同它们一起又一次倒塌了。邪恶被报以更大的邪恶，而这种邪恶又被报以甚至更大的邪恶：我指的是德国人后来使用的所谓超级武器。这些是用遥控杀人的不人道方法的最初几个例子，用不着个人冒险，因此也没有个人的责任：那就是纯技术战争，“按钮战争”。

国际法专家也许能用更多的例子来说明这种道德衰落的悲惨历史的概况：例如，自引进潜水艇以来的海战的例子，别忘了第一次世界大战中沉没的“卢西塔尼亚”号。

在技术的影响下，战争双方已经走得如此之远，以至于故意消灭平民并证明这是正确的。让我们来看一看在最后三次大战中被杀害的平民和士兵的数字比例，那时还没有用原子武器进行战争。

在第一次世界大战中，杀死的总数大约是一千万，其中百分之九十五是士兵，百分之五是平民。在第二次世界大战中，杀死了五千万以上，士兵和平民的数目几乎相等（百分之五十二对百分之四十八）。在朝鲜战争期间，死九百万，百分之八十四是平民，只有百分之十六是士兵。那些还相信战争是政治的合法的工具，并坚持英雄为妻儿和保卫祖国而死的传统思想的人，现在应当认识到：这些是神话，而且还不是令人愉快的神话。

正如每个人知道的那样，核武器已经把这种发展推进到极端。人们不能责备那时（1939—1945 年）为核裂变工作的人们，因为铀裂变的发现来自希特勒的德国，人们必须设想：纳粹会尽一切努力把它发展成为一种不可抵御的武器。这是必

须防止的。

但是，当美国准备好了第一颗原子弹以供随时使用时，希特勒德国已经投降，而日本也已奄奄一息，甚至已经通过外交渠道请求和平。

当时，一切正像彻威尔和蒂泽德争论的那样发生了。军事领袖们，尤其是领导核能计划的格罗夫将军，只想到眼前的军事上的好处，他们计算了，要是不用入侵日本就能迫使它投降，可以少牺牲多少生命。当然，日本人的生命是不在考虑之内的。而且，格罗夫也不愿意放弃以极其恐怖的方式向全世界显示"他的"成就这件乐事。他甚至不让事实上做出了这一成就的科学家们对这件事有任何发言权。在这些科学家中间有一群明智的人，他们准确地预言了日本城市上丢这种炸弹的长期后果，因此在所谓的弗兰克报告中警告了政府。然而，杜鲁门总统任命的一个顾问委员会却作出相反的决定，这个委员会的成员包括几个杰出的物理学家。这些成员追随彻威尔的先例，因此最终越过了界线，走上了人类有可能毁灭自己的下坡路。

我只须简要地指出已经发生的事情：把核技术放在国际基础上的尝试失败了。俄国赶上了美国，而且比预期的要快得多。美国发明了氢弹以后，很快就出现了苏联的发明。然后就发生了两大强国在发展洲际弹道导弹方面的竞争，并以探索空间计划作为掩盖手段。现在这两个强国各自所拥有的核武器足够多次地消灭人类。

政治家们知道什么已经处在危险之中，他们设法保持恐怖的平衡。但是这种平衡是不稳固的。人民因为蔓延着的道德上的麻痹而对这种危险漠不关心；政治家们变得更加玩世不恭，而危险在一再增长，它可以使平衡倾覆，就像在古巴危机中所发生的那样。

还有什么可以希望的呢？人们能希望人类对原子危险的洞察将拯救人类吗？

能拯救我们的惟一的东西是人类的一个古老的梦想——世界和平和世界组织。这些过去被认为是不能达到的，是乌托邦。人们相信：人类的本性是不能改变的，既然过去总是有战争，那么将来也总是有战争。

今天，这种观点已经不再是能接受的了。在一个已经变得比较小的世界上，普遍的和平不再是乌托邦，而是必需的，是人类生存的条件。因此，这种见解传播得越来越广。直接的结果是政治的瘫痪，因为不靠武力威胁，不以战争作为最后手段来达到政治目的的有力的方法至今还没有发现。

许多聪明人在想这个问题，我确信，只要我们有充分的时间就能找到解决的办法。这种期望是以长期的生活经验为依据的。现在存在的无数事物，在我年轻时都被认为是乌托邦。我的科学领域——原子学和电子学——现在已经导致对物质结构的深刻理解，而那时它们正处在开始阶段。要是有人像我们今天这样来描述这种知识的技术上的应用就会遭到嘲笑。那时没有汽车，没有飞机，没有无线电通

讯，没有收音机，没有电影，没有电视，没有装配线，没有大规模的生产，等等。从我的青年时代以来，所有这些东西都产生了，并且在人民生活中造成了经济上和社会上的变化，这些变化比以前历史上一万年中的任何事件都更深刻、更基本：半封建的帝国已经成为社会主义共和国；分散的黑人部落已经成为有现代宪法的有组织的国家；空间研究已经开始，没有人对宇宙航行员的那些最大胆的、花钱最多的计划感到激动。

但是，最重要的一个问题是：政治上、经济上和意识形态上的争论只能用暴力和战争来解决吗？人类本性不能改变的假设是不会受到挑战的：既然从来就是如此，那么将始终是如此。

在我看来，这种说法即使由伟大的政治家和哲学家来宣扬也是荒唐的。除非拒绝承认这个假设，人类是注定要毁灭的。我们的希望是以下面两种精神力量的联合为基础的：在道德上认识到堕落为大量屠杀毫无防御能力的人民的战争是不能接受的，还有在理性上认识到技术战同人类生存是不相容的。

惟一的问题是我们是否有足够的时间让这些认识生效。因为，现在的形势是非常不稳定的，并通过它自己的作用过程而变得日益危险了。一个人或者一台仪器的错误计算，一个领导人的盲目怒火，群众在意识形态上的或民族方面的误会随时都能导致灾难。我们在思想上和行动上发生变化以前，也许免不了遭到一场可怕的事件。

但是，我们必须希望。希望有两种。如果某人希望天气好，或者赢得全部赌注，那么希望对究竟发生什么并没有影响；要是下雨了或者抽了空签，我们只得服从现实。但是，在人民的共处方面，特别是在政治方面，希望是一种动力。只有我们希望，我们才会行动起来，使希望的实现更加接近。我们必须不知疲倦地同今天仍然统治着这个世界的不道德行为和不合理行为作斗争。

我很想在这里引用一位伟大人物的话，他不是一位政治家或哲学家，而是一位注重实际的人，他就是医生和诺贝尔奖金获得者格哈特·多马格，他在化学疗法方面的发现已经保护了无数人的健康和生命。正像他所说的："忏悔，恳求，同时也是警告，但却充满着希望。"他表达如下：

"在这个世界上，真正重要的是什么？那就是我们个人相互间的融洽相处，我们尽最大努力去互相了解和互相帮助。对于我们医生来说，这是自然的。为什么对所有其他人来说这竟然是不可能的呢？不要对我说这（会）是乌托邦！每一项发明事前都被看成是乌托邦。为什么我们宁可等待大国的再一次较量，我们实在是苦头吃足，从而已经变得明智了。但是，墨守成规是轻松自在的，仿效暴虐的统治者、性情暴躁的人、偏执狂和其他精神错乱的人倒比独立思考，寻求重新和解的道路而不互相毁灭，更为轻松自在。"

这些都是坦率的话。这些话出自一个为生命而战斗的人，出自一个不仅希望

从疾病中拯救人类，而且把他的全部知识和能力都用于为人类工作的人。

至于迫使现存的愚蠢行动停止下来，这就取决于我们，取决于是世界上的每个国家里的每个公民。今天，威胁着我们的不再是霍乱或瘟疫病菌，而是政治家的传统的吹毛求疵、强词夺理的推理，群众的漠不关心和无动于衷，以及物理学家和其他科学家的逃避责任。正如我试图说明的，科学家已经做的那些事是无可挽回的：知识不能被消灭，而技术也有它自己的规律。但是，科学家们能够而且应当像戈丁根十八人一度尝试过的那样，运用他们由于他们的知识和能力而得到的尊敬，向政治家们指明回到合乎理性和人道的道路。

我们大家都必须进行斗争：反对官方的谎言和侵占；反对有了掩蔽部和紧急条例就可以防止核武器杀伤的论断；反对镇压那些在这方面启发公众的人；反对狭隘的民族主义和光荣；反对对统治权的贪得无厌；我们尤其必须同那些宣布自己的教义一贯正确并因此把这世界分为势不两立的阵营的意识形态作斗争。

希望还是有的，但是这种希望只有在我们不顾一切、全力以赴投入这场反对我们时代的疾病的斗争中去的条件下，才会实现。

作者简介略。

文献来源：玻恩《我的一生和我的观点》，李宝恒译，商务印书馆 1979 年版，第二部分第六章（第 102—111 页）。沿袭原有标题。

科学家的责任

海森伯

在1945年8月6日的下午，威尔兹突然冲进来告诉我一个特别的新闻：美国在广岛投下了一枚原子弹。最初我不愿意去相信它，因为我一直确信建造原子弹需要相当庞杂的技术尝试和大约几十亿美元的经费。同时我还觉得我所熟悉的科学家们在这样一个科研究目背景下，完全能很好地摆脱他们的全部责任，这从心理学角度来看是难以置信的。在这种情况下，我还是倾向于相信那些审问我们的美国物理学家，而不大相信那些被别人指派去广播各种宣传报道的电台播音员。此外，威尔兹告诉我在新闻报道中没有提到"铀"，这好像暗示着即使有炸弹投下来，它们还称不上我们所说的原子弹。但在后来的一个晚上，当新闻广播者叙述已经取得的巨大技术成就时，我才勉强地接受了那一种我参加长达二十五年之久而现在又导致十万以上的人死亡的原子物理学进展的事实。

我们之中受打击最大的是哈恩，他的非常重要的科学发现铀裂变，早已成为通往原子能道路的决定性步骤。正是这一发现，现在导致了一个巨大城市及其居民——许多手无寸铁的无辜人民的可怕的毁灭。这怎么不使他痛心呢！他怀着深受责备和战颤的心情回到他的房间去。我们都替他担心，惟恐他会做出伤害自己的事来。那天晚上，我们谈了许多缺乏全面考虑的事情，直到第二天早晨，我们才能使自己从混乱的思想中平静下来。

在法姆大厅这一古老的红砖建筑物的后面，有一片多少被人遗忘的草地，当时我们常常在那里玩手球。在草地和作为我们活动的边界的有顶围墙中间，是一个细长的玫瑰花园，这个花园主要是由盖纳赫管理着。花园为我们所使用的小路所环绕，宛如中世纪僧侣必须使用的回廊一样。那里正是私下密谈的好地方。在那个可怕的新闻播送后的第一个早晨，弗里德利希和我在这条路上来回走了几个小时，边想边谈。我们开始表露出对哈恩的担心，弗利德利希那时表达了我们大家都

感到难以忍受的心情：

“哈恩为什么这样沮丧，这是容易理解的。他的最伟大的科学发现现在带来了想像不到的恐怖。但是他真正意识到有罪吗？难道说他比我们这些在原子物理方面工作的其他人更有罪吗？难道我们之中没有人应为他承担部分责任，与他分担一部分罪过吗？”

我告诉他说，我并不这样认为，虽然我们大家都同构成这一重大悲剧的因果链条联系着，但是也不能使用“罪恶”这个词。哈恩和我们大家只不过是在现代科学的发展中发挥了应有的作用。这个发展是必不可少的过程，人类或者至少是欧洲人，在若干世纪以前就已开始了这一过程。或者，你宁愿提出一种他能接受的刺激性较小的说法。我们凭经验知道，这种过程能导致好的结果，也可能导致坏的结果。但是我们大家，特别是十九世纪理性主义者前辈们都确信，随着知识的增长，将是抑恶扬善。在哈恩的发现之前，谁也不会严肃地想到有建造原子弹的可能性；当时的物理学家中根本没有人暗示过这种倾向。在这么极其重要的科学探索中起作用，无论如何也不会被认为是一种罪过。

弗利德利希评论说：“当然，有少数人要坚持科学早已走得很远。他们要企图证明，未来有更重要的社会、经济和政治的任务需要去完成。当然，也许我们是对的，但是所有那些像他们一样考虑问题的人未能认识到，在现代社会中，人们的生活已开始依赖于科学的发展。如果我们把日益扩大的知识置诸脑后，那么在不久的将来，生活在地球上的人口势必发生根本的削减。而这意味着只能通过像原子弹一样恐怖或者甚至比这更可怕的手段来实现。

“那时，知识就是一种力量，它像地球上的权力斗争一样长远，只要当这种斗争的终局尚未呈现在眼前时，我们还必须为获得知识而斗争。也许有一天我们会有一个世界政府，我们期望着在这个政府统治之下，将能够充分自由地对科学知识进行探索，而不会像今天这么狂乱。但这不是我们今天的问题。目前，科学的发展对于全人类来说是不可缺少的，因而任何个人对它的发展所作出的贡献决不能被认为是犯罪。我们现在的任务，同过去一样，是促使科学朝着正确的目标发展，扩大对于全人类谋利益的知识范围，而不是去阻止科学本身的发展。因此，正确的问题是：每一个科学家为实现这一任务能够做些什么？科学研究的人员确切的职责是什么？”

“如果我们把科学的发展作为一个世界规模的历史过程来看待的话。”我回答说，“那么你的问题使我想起个人在历史上的作用的老问题。任何一个领域，个人总是可以更替的，这看来是毫无疑义的。如果爱因斯坦没有发现相对论的话，它将迟早被另外什么人发现，也许是彭加勒，或是罗仑兹。如果哈恩没有发现铀裂变，也许在几年之后费米或居里会发现它。我不认为，如果我们这样来认识问题，就是贬低了个别人的伟大成就。正是由于这一原因，我们不能说，那些做出决定性发现

的科学家对于科学发现的后果所承担的责任，要比以往曾为科学的发展作出贡献的其他科学家更大些。历史是会把先驱者摆在恰当的位置上的，而且他迄今所作的一切也仅仅是历史赋予他的应该履行的职责。作为一种结果，他或许有能力对他的科学发现及其后来的进展产生一点重大影响，但也只不过如此而已！事实上，哈恩总是强调指出铀裂变的全部应用应该有利于和平的目标；在德国，他也一直坚持反对把原子应用到战争中去的任何企图。当然，他的这一切努力并没有影响美国的发展。”

此外，弗里德利希继续说：“我们大概有必要明确区分一下发现者和发明者的概念。一般说来，发现者在他的贡献应用于实际之前，是不能够预测出它的实践后果的，以至有的要经过很多年，才能应用到实际中去。例如伽伐尼和伏打对电机工程后来的进展就完全不知道，因此对后来成果的利用和滥用，丝毫也不能要他们负责任。而发明者似乎是处于与此完全不同的位置上，他们在心目中有一个明确的实际目标，并能评价这个目标的利弊。因此我们可以明显地掌握发明者对他们的成果应负的责任。然而，确切地说，正是发明者才能够充分地为社会造福，而很少顾及自己的利益。例如，电话的发明者了解到社会迫切需要加速通讯联络。同样，火器的发明者，可以说是按照社会军事力量迫切要求增长的命令而付诸行动的。至少只要当发明者和社会都不能预见到他的发明的全部后果时，那么仅仅把责任加于他们哪一个都是不公平的。例如，发明了一种农用杀虫剂的一个化学家，他所能告诉你的由于应用他的农药而引起的关于害虫总体变化的最终结果，远不及一个农民所说的多。总之，我们对科学家个人提出的要求仅仅是，他应该力求把自己的目标放在更加广泛的基础之上，以及他不能轻率地为着少数人而去危害多数人。我们所能真正地要求每一个科学家的全部事情是，他应当审慎地注意到科学技术进步所必须遵循的体制，即使这样做似乎与他眼前的爱好不相符。”

“如果你想在发明和发现之间划一道界线，那么像原子弹这一最近的和最恐怖的技术进步的产物，你应该把它列入哪一类呢？”

“哈恩的裂变实验是一个发现，而原子弹的制造是一个发明。在美国制造原子弹的物理学家们是发明者。他们并不按照他们自己的利益，而是按照一个急于使其军队获得最大打击力量的战争集团的公开的或不公开的命令而行事的。你曾经说过，单就心理学上的原因，你不能想像美国物理学家能这么专心致志地去生产原子弹，只是在昨天你才勉强地相信了广岛事实的真相。现在，你是怎么看待我们在美国的同事呢？”

“也许美国物理学家们害怕德国首先制造出原子弹，而这种担心是可以理解的。因为铀裂变是哈恩发现的，而且在希特勒驱赶一大批最有能力的物理学家之前，德国的原子物理学已经达到了一个很高的水平。拥有原子弹的纳粹获胜，必将被看成是一个如此可怕的威胁，以致一切旨在制止纳粹拥有原子弹的行动看来不

无道理。如果我们能考虑到发生在集中营中的一切，我认为我们谁都不会真的去反对它。毫不怀疑，在欧洲战争结束之后，许多美国的物理学家曾经劝告人们不要去使用这种可怕的武器。但是那时，他们拥有决定性的发言权的时间并不长。在这方面，我们也不必认真地去批评他们，因为我们中有哪一位能为了上述原因阻止我们的政府去犯罪呢？我们不知道这些罪行的详尽程度这一事实，并不构成求得谅解的理由，因为我们本来就应该尽最大的努力去揭发它。

“最有害的看法在于把犯罪看作是不可避免的。纵观历史，人们曾经按照‘强权就是真理’的原则行动。或者，以更露骨而又荒唐的方式宣扬，只要理由正当，可以不择手段。这样，我们能作出什么抉择以抑制这种偏见呢？”

弗里德利希回答说：“我们已经说过，我们可以期待发明者的目标能符合人类技术进步的广阔方面。让我们考虑这个观点的含义吧！在经历一场巨大灾难之后，人们倾向于对此尽早作出评论。这时他们可能会说原子弹已促使战争很快地结束，那里也许已经有更多的受害者允许屠杀以较缓慢的方式进行，我认为，你自己昨晚就曾提到过那个争端的问题，但是所有的估计仍是很不令人满意的，因为我们中的任何人都不能预见原子弹的政治影响。难道说由于原子弹而引起的灾难不该为今后需要付出更大代价的战争负先导之责吗？新的武器不会带来各国之间力量对比的变化，也就是说，一旦所有的大国都拥有原子弹，那么要改变军事力量的对比，能不以无数生命的牺牲为代价吗？我们没有一个人能够预见这些发展，因此所有这些关于均势的议论只不过是空谈。可是我们为什么不从与此完全不同的、我们经常讨论的原则，即确定一种事业还是否合乎正义的原则出发去考虑问题呢？”

我回答说：“科学与技术的进步将不可避免地导致数量越来越少的超级大国的不断扩张。这一结果将是空前规模的权力集中，这样，我们仅能期望给予个人和个别民族的行动自由。这方面的发展在我看来似乎是不可避免的；现在的问题在于，世界最终地进入更加稳定的秩序之前是否不会发生许多新的灾难。总之，我们可以认为，在这次战争之后，少数超级大国将尽可能地扩大他们的势力的范围。而要实现这一点，他们只能在彼此间的共同利益以及社会制度或他们赞同的社会准则的相似性基础之上建立联盟，否则就得通过经济上的控制以及政治压力的手段。每当一个处于某霸权国家势力范围之外的弱国受到某一强国的威胁或压迫时，该霸权国就可能给予支持，以便增强自己的影响。这就告诉我们应当怎样去看待美国在两次世界大战中的干涉，并且现在还没有理由认为这种倾向即将结束，我也不能理解为什么我们还要去反对这种倾向。

“当然，有些人会给所有这些实施这类扩张主义政策的大国打上帝国主义者的标记，但是在这里，比起其他地方更多的手段的选择，在我看来是更明确的标准。一个大国在同外国的交往中，不动用大棒，而宁愿选择正常的经济和文化手段，并

尽量避免干预邻国的事务，往往比起公开使用武力的国家更少受到公开的指责。而且大国实行的那种避免所有非法的强制形式的政治制度，很可能成为未来世界模式。现在很多人已逐渐把美国看作是一个自由的堡垒，认为在这种社会制度下，个人能够最充分地发展他的个性。人民享有完全的言论自由。重视人的首创精神，尊重个人的见解，对待战俘比大多数国家要好些。所有这些，以及很多其他事实已引起人们强烈的反应，希望美国的政治制度能为世界其他国家提供需要的模式。美国政府在决定是否下命令在日本投下原子弹的时候，本应记住这一希望。我担心由于使用原子弹，这些希望已遭受沉重打击。现在美国的所有的竞争者将发出对'帝国主义'的声讨声，而且他们的呼声必然产生重大的影响。恰恰因为取得胜利不再需要原子弹了，因而它的使用会被看作是一种赤裸裸的武力炫耀，所以要理解我们怎样才能从这里走向真正的自由的世界制度是确实困难的。"

弗里德利希重复说："换句话说，你确实认为原子弹的技术前景，本应从更为广泛的方面进行评价，也就是说，作为不可避免地导致统一的世界制度所确立的科学技术发展总进程的一部分来估价。因此，在这种情况下，对于任何人都很清楚，当胜利已经有了把握的时候，无论如何使用原子弹是一个错误的决策，它削弱了人们对美国的美好诺言的信任，引起了对美国世界使命的怀疑。虽然原子弹的存在并不构成灾难，但这却有助于政治上取得完全独立仅局限于少数经济实力很强的大国，而一些弱小国家则会丧失他们的某些独立。但这并不意味着对个人自由的限制，可以看作是为了普遍改善生活条件，我们不得不付出的代价。

"然而，我们正偏离了现实的问题。当我们生活在一个观念、感情和错觉充满冲突的世界里的时候，个别科学家仍然关心着技术进步的行为真叫人感到迷惑不解。我们在这个问题上的观念看来是相当模糊的。"

我反驳说："我们不过是赞成个人解决一个科学任务或技术任务罢了，不管该任务如何重要，都必须尽力去考虑它的较主要的结果。而且事实上，他要是不这样做的话，那么第一，他为什么这样努力呢？其次，如果他考虑的因素越是全面，他就将越发容易得到正确的答案。

"既然那样，假如他想成为最好的人，而又不只是停留在美好的愿望中，那么他就可能在社会生活中不得不扮演一个更审慎的角色，并设法在社会事务中取得更多的发言权。也许，我们应当欢迎这种倾向，因为由于科学和技术的进展符合于社会利益，因而对此负责任的人将会被赋予比他们通常享有的更大的权力。显然，这并不意味着物理学家和技术专家们能比政治家做出更好的政治决策。但是科学工作本身就教育他们客观地、真实地、而且更重要的是全面联系地考虑问题。因此他们可能会把符合逻辑的、更客观的以及更尊重事实的方法运用到政治方面。如果我们相信这一点，那么我们就不得不谴责美国物理学家。因为自从他们听任别人作出使用原子弹的决定以来，他们一直未能坚决地公开地发表谴责意见。因此我

根本不怀疑，对于他们来说，从一开始，使用原子弹的罪恶结果想必是相当清楚的。

“我不知道，‘谴责’这个词用在这一意义上是否适当。我仅仅感到，在这一特殊方面我们碰巧比大西洋那边的我们的朋友更幸运些。”

作者简介略。

文献来源：海森伯《原子物理学的发展和社会》，马名驹等译校，中国社会科学出版社 1985 年版，第十六章（第 210—218 页）。沿袭原有标题。

萨哈罗夫其人

杨诺赫

1953年，一位不知名的人被选入苏联科学院。当时，甚至连广见博闻的科学界也几乎不知道他的名字。而且他被直接选为科学院的正式院士，跳过一般院士必须经历的通讯院士阶段，在这个阶段大多数院士要度过十年或者更多的时间。他也是难以置信地年轻——当时还不足三十二岁。在苏联科学院，这真是一件前所未闻的事件，因为院士的平均年龄大约为六十岁。

他的名字叫安德列·基米特里维奇·萨哈罗夫(Andrey Dmitrievich Sacharov)，1921年5月21日生于莫斯科。1942年，他以优异的学业成绩毕业于莫斯科大学物理系，开始到一个兵工厂做工程师，当时正值第二次世界大战。在那里，这位年轻的物理学家表现出非凡的天才。不久在生产自动控制方面，他作出了几项发明，并获得了专利。大战结束后，他到莫斯科物理研究所当研究生，他的导师是后来的诺贝尔奖金获得者伊戈尔·塔姆(Igor Tamm)。

1948年，在结束了学位论文答辩之后，萨哈罗夫开始参与苏联核武器工程计划。过了不多久，他就成了整个工程的“首席理论家”。他常常称为苏联氢弹之父，这显然是名副其实的。苏联的氢弹不是利用液氘和液氚，而是利用锂与氘、氚的固态化合物，因而其重量远远小于同时代的美国氢弹，这完全归功于他。1953年12月8日，当氢弹在美国兰格尔(Wrangell)岛爆炸之时，就宣告它已“可为军事目的服务”。(被称为“懒鬼”[Mike]的第一颗美国氢弹比苏联的第一颗氢弹早10个月爆炸。然而，“懒鬼”是一个重量超过六十吨的庞然大物。与其说是一个战斗武器，倒不如说更像一个复杂的实验室。)

到50年代末期，美苏两霸全力进行核武器竞赛。1957年，萨哈罗夫就已认识到，大气中的核试验因其放射性元素而污染我们的环境，这些放射性元素能引起癌症，致使成千上万无辜的人死亡。1958年，安德烈·萨哈罗夫和苏联强有力的军

事工业集团之间首次发生冲突。他试图停止核试验，按照他的看法，从科学观点看来，核试验并没有什么意义。1961 年，赫鲁晓夫召集原子能科学家开会，萨哈罗夫在会上力图主张停止核试验。萨哈罗夫后来写道："我记得 1961 年夏天，苏联部长会议主席赫鲁晓夫与原子能科学家一起开了一个会。会议决定，我们要准备进行一系列的核试验，以支持苏联在德国问题（柏林墙问题）上的新政策。我递给赫鲁晓夫一张条子说：'在暂停三年之后恢复核试验，会破坏关于禁试和裁军的会谈，会导致新的一轮军备竞赛——特别是在洲际导弹和反导弹防务工程方面。'赫鲁晓夫阅后，把这张条子放入他胸前的口袋里，并请全体与会者进餐。在饭桌上，赫鲁晓夫发表了一篇即席演说，我能回忆起他的坦率言词，这些言词与他的个人地位一点也不相称。演说大致是这样的：萨哈罗夫是一位优秀的科学家。但是请把制定对外政策交给我们这些处理棘手问题的老手吧！只有实力是至关重要的……惟一重要的是要把敌人弄得晕头转向。我们不能大声喧嚷说，我们是从实力地位出发来执行自己的政策，可是我们必须这样做。假如我依萨哈罗夫的爱好行事，我就是一个笨蛋，而不是部长会议主席……"

下面让我们再听一听赫鲁晓夫这次演说的一些言论吧："萨哈罗夫是一个忠于科学、忠于和平……的科学家，他想创造条件使人民生活得更好……他不愿毁坏大气、污染大气，他不愿伤害人民、残杀人民。我告诉他：'萨哈罗夫同志，我可以给你说些什么呢？鉴于我担负着政府和国家的职责，我没有权力禁止核试验。'他继续固守他的主张，他坚持说，我们不应该继续搞核试验。我意欲诚恳地对待他，我告诉他：'萨哈罗夫同志，我对你的请求抱以十分的同情，可是我是一个负责我国打击力量的人，我没有权力禁止核试验。如果那样做，就会对我们的国家犯罪，对我们的人民犯罪。请你正确地理解我，我并不能满足你的请求……如果听信于你，就意味着宣判我们的国家的武器远远落后于美国及其盟国……因此，我们一定要继续进行我们的试验……'显然，我未能用我的论点说服他，但是他也不能用他的论点说服我。"

1962 年，萨哈罗夫再次试图阻止一次新的巨大核弹的爆炸。他想通过电话说服赫鲁晓夫。后来萨哈罗夫回忆说："第二天，我和赫鲁晓夫的一个亲密顾问谈了话。但是，那时试验时间已经提前。运载飞机已经把它的载荷运到指定的爆炸地点。那天，我感到浑身无力、十分恐惧，这种感觉自那以后一直留在我的记忆里。我的态度转变到现在的地步，其间经历了很大的变化。"

尽管萨哈罗夫那时仍然是核武器工程规划的首席理论家，但是他的心和他的科学兴趣已经从五十年代开始转移到其他方面——受控热核反应，如果掌握了这种技术，就会给人类带来用之不竭的廉价能源。萨哈罗夫与他从前的老师塔姆一道提出了一个革命性的思想。为了引起受控热核反应，需要把等离子体加热到摄

氏几千万度。然而，在已知的材料中，没有一种材料可以经受住这样高的温度。到什么地方去加热等离子体呢？萨哈罗夫和塔姆的回答是：在一个“罐子”内。这个“罐子”的壁由磁场形成！这个思想成为目前大多数建造聚变反应堆设想的基础。

当时，安德烈·萨哈罗夫的生涯是最为优越的：除了被选为科学院院士而外，还被各种各样的赞扬所包围。他数次获得斯大林和列宁奖金，他曾三次荣获社会主义劳动英雄称号，这是苏联的一种最高荣誉。他的工资比苏联最低的工资高几百倍。大量的奖赏和奖金使他拥有巨额存款。与此同时，像许多其他参加核武器研制工作的科学家（例如，像住在美国的爱因斯坦、玻尔、奥本海默）一样，萨哈罗夫明显地感到，自己对这项发明负有极大的责任，这项发明可能灭绝地球上的生命，但是它却落入他的政府的手中。1968 年，他突然决定，把他整个 139,000 卢布的积蓄（相当于苏联一个清洁女工一千多年的工资！）捐赠给苏联红十字会作为诊治癌症之用。

1958 年，萨哈罗夫首次公开露面。他与另一个著名物理学家、科学院院士泽尔多维奇（Ya. B. Zelovich）一起发表了一篇文章，就苏联的教育政策提出一些非常根本性的问题。事实上，这篇文章是给赫鲁晓夫的企图的一个回答和影射批评，赫鲁晓夫试图改革苏联教育制度，他要求学生在工厂或在农村至少参加几年的实际工作锻炼之后，才准进入高等学校。萨哈罗夫和泽尔多维奇强烈反对这个计划，他们争辩说，对年轻科学家的培养应当加速而不应延迟。因为科学家最多产的年龄通常在三十岁以下。

萨哈罗夫第二次公开露面是在 1964 年，那一次露面使得尼基塔·赫鲁晓夫如此生气，以至于他想要关闭苏联科学院，或者至少严格限制它的自主权。在选举生物学家努日金（Nuzhdin）进入科学院以前，萨哈罗夫院士得到了发言权，他呼吁各位尊敬的与会者投反对票：“我以个人名义向大家讲话。让那些与努日金、李森科同流合污的人去投努日金的票吧，他们要为给苏联的科学发展带来的羞耻和痛苦承担责任，幸运的是，这个时期已经快结束了……”科学院院长凯尔迪什（Keldysh）认为，萨哈罗夫的干预是不得体的，李森科称萨洛罗夫的话是造谣中伤。然而，通过秘密投票，全体与会者选举结果表明，萨哈罗夫是对的：赞成努日金的仅有 22 人，反对的多达 126 人。

在六十年代后半期，萨洛罗夫转向理论物理的基本问题的研究。在引力、宇宙学、基本粒子和场论等方面的许多研究成果都发表在苏联的科学杂志上，在物理学最复杂、最前沿的领域里显示出他的博学和才能。

1968 年（特别是在“布拉格之春”的影响下），安德烈·萨哈罗夫写了一篇文章：《关于进步、和平共处和思想自由的见解》。这篇文章所引起的反响至少等于一颗“萨哈罗夫氢弹”。萨哈罗夫文章的清楚而强有力的语言使得任何人都不能漠然置之。文章说：“人类的分裂总是使自己面临着毁灭的危险。一场世界性的热核战

争，世界上大多数人所遭受的灾难性的饥饿，由于'通俗文化'、麻醉剂以及官僚化教条主义所造成的麻痹状态，把全世界人民和领土置于残酷而奸诈的煽动家的权力之下的大量神话的传播，由于我们星球上生命条件的突然变化带来的无法预见的后果而造成的毁灭和退化，都会危及文明世界。

"在这些危险面前，任何加剧人类分裂的行动，任何鼓吹世界上各种意识形态和民族不可共处的滥调，都是愚蠢之举和犯罪行为。惟有在思想自由、在高尚的社会主义道德观念和劳动观念的条件下所进行的普遍合作，伴随着教条主义的消灭和统治阶级的隐蔽利益的压力的消除，文明才得以保持。

"……思想自由对人类社会来讲十分重要——这里所谓的自由是指获得和发布消息的自由，是指坦率地、毫无顾忌地争论的自由，是指摆脱官僚作风和偏见的压力的自由。思想自由的这三个互相联系的方面是对抗大量神话对人民毒害的惟一保证。这些神话如果被奸诈的伪君子和煽动家所利用，就可能转化为流血的专政。思想自由是科学而民主地研究政治、经济和文化的可行性的惟一保证。

"但是，在现代社会里，思想自由面临着三种威胁：一种来自蓄意制造的通俗文化麻醉剂，一种来自胆小、自私和庸俗的意识形态，第三种来源于官僚独裁者的僵化的教条主义及它的得意武器——思想检查制度。因此，思想自由要求保护一切有思想的诚实的人。这不仅是一种保护知识分子的使命，而且也是保护所有社会阶层的使命，特别是它的最积极、最有组织的阶层——工人阶级。战争、饥荒、个人崇拜以及官僚主义等世界范围的威胁，这一切都是全人类面临的危险。

"热核武器的三个技术方面构成了热核战争对人类真正生存的危险。这三方面是：热核爆炸的巨大摧毁力量，火箭-热核武器相对说比较廉价，以及实际上不可能有效地防御一场大规模的火箭-核武器的攻击。"

这篇文章在西方发表后，萨哈罗夫立即就被解除了现行职务，发落到莫斯科列别捷夫(Lebedev)物理研究所。

1970年，萨哈罗夫与其他两位科学家特维尔多克列沃夫(A. N. Tverdokhlevov)和恰利泽(V. N. Chalidze)一起，创立了著名的莫斯科人权委员会。他们为政治犯的自由而斗争，反对任何形式的残害行动，写抗议书，接见来访者。按俄国知识界的最好的传统，他很快变成了俄国的良心所在。让我再次引用赫鲁晓夫的几句话：

"萨哈罗夫不但给我以深刻的印象，而且也给所有其他人以深刻的印象。他是一位具有水晶般纯洁道德的人……"

面对萨哈罗夫的各项活动，苏联当权派不知好何是好，他们利用广泛影响的宣传工具(例如报纸、广播、电视等)，组织了一个空前的诽谤运动：几百个工人、集体农庄庄员及知识分子对萨哈罗夫，对从不准他们看到的萨哈罗夫的文章表示了极大的愤慨和严厉的谴责。

1957年，安德烈·萨哈罗夫被授予诺贝尔和平奖金。“萨哈罗夫……对精神自由的勇敢捍卫，他的大公无私以及强烈的人道主义信念，使他变成了一位人类良心的代言人。”

在诺贝尔和平奖的整整七十五年的历史中，安德烈·萨哈罗夫是不被他的政府准许参加在奥斯陆举行的授奖仪式的第二个这种奖金的获得者。（第一个获奖人是德国的和平主义者卡·冯·奥西茨基[Carl Von Ossietzky]，获奖时间是1935年，当时他在集中营里。）

萨哈罗夫的利他主义是无限的。他的一个西方同事问他：“西方怎么帮助你才最好？”安德烈·萨哈罗夫回答说：“最好是帮助我的朋友们。”最近，从他的流放地偷偷地传来他的近期口信，他请求西方营救苏联政治犯。

1978年，安德烈·萨哈罗夫发表了他的文章《核力能学和西方自由》。在这篇文章中，他强有力地为核能作了辩护，他指出核能是实现能源独立自给的必要条件。因此甚至也是工业化的西方世界的自由的必要条件。他这样写道：

“在人民中间，反核情绪的基本原因多半是由于下述事实：他们对所涉及的许多复杂而又十分专门的问题缺乏足够的信息。由于这种信息不足，现代人类对保护自然环境的自然而合理的关心就迷失了方向。

“即使是真实事实，对于外行也很难解释：核电站的核反应堆一点也不像原子弹，与相同容量比的原子能发电站或增殖反应堆相比，烧煤和烧油的电站会给环境带来更大的危险和危害，会给人们带来生理上的威胁。

“某些技术部门，例如冶金、炼焦化学、采矿、化学工业、燃煤发电站、现代运输业、农业化学化等等，在其发展过程中，对安全技术和环境保护问题注意得不够，然而核技术的发展对此一直给予了更多的注意。因此，从安全和对环境的可能影响的角度来看，核电站的目前状况相对较好。进一步改良它的途径也十分清楚。把核技术和使用化学燃料的技术区分开的基本特点是，危险副产品的浓度高、体积小，以及该过程作为一个整体范围也小。与使用煤、石油等等作燃料的发电站相比，核电站更容易解决安全问题和环境污染问题。

“人民必须具有机会，也就是说有知识和权利去考虑包含在发展核电站过程中相互关联的经济、政治和生态问题，以及包含在经济发展的可供选择的各种方式中的一些问题。他们必须平静而负责地考虑这些争端，而不应夹杂毫无根据的感情与偏见。这里所包含的并不只是合适，或者维护所谓的生活水平……而是更为基本的经济独立和政治独立问题，以及维护他们子孙的自由的问题。”

关于放射性废物的处理问题，安德烈·萨哈罗夫在另一篇文章里进行了讨论。他在那篇文章中写道：“……毫无疑问，（在下个五十年里——本文作者注）核子力能学将经历一个极大的发展，大约在这一时期结束，热核力能学（核聚变动力）将进入历史舞台。放射性废物的处理问题现在已经是一个纯粹的经济问题，照此看来，

处理放射性废物与从燃煤发电站收集二氧化硫和二氧化氮在将来同样重要，而前者的复杂程度和所花费用并不会比后者大。”

注意到这一事实是很有趣的：有关核电站和放射性废物的处理问题，安德烈·萨哈罗夫的观点与苏联官方的观点完全一致，这可由苏联科学院院长亚历山德罗夫(A. P. Alexandrov)所一再表示的观点看出。

1980 年 1 月，在苏联侵入阿富汗之后，他立即对此提出强烈抗议，苏联领导集团作出了一个异乎寻常的决定：把安德烈·萨哈罗夫因发明而授予他的所有勋章和奖金统统剥夺(这难道意味着，由于苏联政府的决定，萨哈罗夫的所有发明不再是可靠的？或者萨哈罗夫不再是它们的创造者了？)，并把他流放到高尔基城。然而，安德烈·萨哈罗夫并未被逐出科学院。这是为什么呢？也许是政府害怕，在相对来说比较独立而且思想比较自由的科学院，提出驱逐萨哈罗夫，在秘密投票中就得不到必须的三分之二多数票？或者也许是由于下述原因：据说佩特尔·卡皮查(Pert Kpaitsa，1978 年诺贝尔奖金获得者)说过，从科学史上看，他了解到仅有一个类似的情况，爱因斯坦被从普鲁士科学院驱逐出去。或者也许是政府担心，如果萨哈罗夫被驱逐，苏联科学院的许多国外院士就会辞职？(苏联科学院已经收到几封这种性质的警告信。)

下面是萨哈罗夫描述他的高尔基城的目前状况的一段话：“在高尔基城，没有我可以去的科学图书馆……我不能与当地科学家接触……因为我处于几乎与世隔绝的状态。除了会见我的妻子和另外两个得到克格勃允许的、从高尔基城来的人，我被剥夺了会见任何人的可能性。任何其他人都被军人轰走，不准接近我。这些军人二十四小时日夜值班看守，离门口只有一米……我可以再补充一句，我没有电话，也不能从邮局向外打电话。我被剥夺了通常给我看病的医生的诊治，我的信件都被克格勃仔细查过，仅有一小部分到达我的手里，在我住的屋子旁，有一部私人无线电干扰设备……”

就在高尔基城流放期间，萨哈罗夫教授庆祝了他的六十寿辰，在苏联，官方对他的六十岁寿辰保持沉默。然而，世界科学团体并未忘记他，在整个世界，它们利用这个机会向安德烈·萨哈罗夫表示敬意。1981 年 2 月 16 日，他被选进法国科学院。5 月 1 日至 5 月 2 日，纽约召开了一次规模很大的关于萨哈罗夫的生平及其工作的国际专题讨论会。全世界许多大学都授予他名誉博士学位。

安德烈·萨哈罗夫成功地向在纽约举行的关于科学家责任的讨论会发出了一封贺信，他的这封贺信论述了对科学和技术起着决定性作用的当今世界上科学家的特殊作用。他强调，科学家不仅限于研究科学技术发展的诸问题和作为环境问题、核能问题、裁军问题的科学技术的社会影响，而且还要研究诸如保卫人权、见解自由、交换信息的自由和迁徙自由的问题。

安德烈·萨哈罗夫在结束贺信时，用下面激动人心的言语呼吁他的西方同事：

“我请求科学家们处处保护那些受压制的人，我相信，为了保护这些无辜的人，采取诸如中止科学交流或进行其他形式的联合抵制行动是容许的，在许多情况下也是必要的。我同样极力主张使用宣传和外交的可能性。在致函苏联领导时，重要的是要考虑到他们不知道——恐怕他们也不想知道——直接寄给他们的大多数信件和要求。因此，经常与他们的苏联对手会见的西方官员的私人干预有特殊的意义。西方科学家们应当利用他们的影响力量加强这种干预。

“我期望，在保护受专制镇压的受害者时，仔细谋划和组织的各种行动将会改善他们的处境，而且会增强国际科学团体的力量、权威和能量。

“我把这封信定名为《科学家的责任》，塔泰纳·维利卡诺瓦（Tatiana Velikanova）、尤里·奥洛夫（Yury Orlov）、谢尔盖·科瓦列夫（Sergei Kovalev）和许多其他的人已下决心承担起这个责任，主动地、不惜牺牲自己地为争取人权和开放社会而斗争。他们的牺牲是巨大的，但是他们不会劳而无功。这些仁人志士在改变我们世界的道德观念。

“他们的很多同事则不同，至今还未在他们身上发现这种斗争力量，他们力图忠实地完成他们的职业责任。事实上，重要的是以自己的职业为社会工作。但是，那些与其亲密的朋友们在一起时经常流露出自己的理解力和不墨守成规的科学家们，难道他们没有机会以具有更大的社会意义的某些方式表现他们的责任感？难道他们没有机会至少在诸如保护他们的遭到迫害的同事、监督忠实执行国家法律和履行国际义务中，采取更为公开的立场吗？每一位真正的科学家无疑应当振作足够的勇气与正直精神，去抵制诱惑和俯首听命的习惯。不幸的是，在苏联，我们熟悉的反面例子太多了：有时以保护某人的实验室或研究所为托辞（通常只不过是一种借口），有时以某人的职业为理由，有时因为去外国旅游（在像我们这样的对外封闭的国家里，这要算是庞大的浪费）的缘故。尤里·奥洛夫的同事秘密地把他驱除出亚美尼亚加盟共和国科学院，而苏联科学院的其他同事对此却而视不见，也不管他的健康状况（他几乎快要死了），这难道不是太可耻了吗？在这样的事情上，许多主动的和被动的同谋自己总有一天也可能引起莫洛克神（Moloch，古代腓尼基人所信奉的火神，以儿童作为献祭品）的日益增长的食欲。这根本不会产生什么好结果，最好还是防止它。

“西方科学家不会因公开的立场而面临把他们处以监禁或押送到劳动集中营的威胁；他们不可能因得到去外国旅行的承诺而受贿，他们摒弃这样的行动。但是，这无论如何也没有减轻他们的责任。一些西方知识分子反对把社会牵连关系作为一种政治形式。但是，我并未谈到权力斗争——那不是政治。正是维护和平和维护那些作为我们的文明而被发展起来的伦理价值的斗争，才是政治斗争。按照他们的榜样和命运，有良心的丧失自由的人断言，维护正义、避免个人牺牲于暴力的国际保护、保卫人类的持久利益都是每一个科学家的责任。”

伟大科学家和人道主义者安德烈·萨哈罗夫的案件远未结束，他的未来命运在很大程度上将决定于世界舆论的反应，安德烈·萨哈罗夫案件，即俄国的和世界的良心，这是苏联政府宣言和承诺的所有言辞的试金石。

作者简介：扬诺赫(Frantisek A. Janouch，1931—)，瑞典籍捷克核物理学家，曾任欧洲物理学会副主席。

文献来源：《科学与哲学》1983 年第 4 期，扬诺赫《萨哈罗夫——人和物理学家》(第 203—215 页)一文由程建兆译，李醒民校。标题为编者所加。

⑬ 科学与自然 ≫

像山那样思考

利奥波德

一声深沉的、骄傲的嗥叫，从一个山崖回响到另一个山崖，荡漾在山谷中，渐渐地消失在漆黑的夜色里。这是一种不驯服的、对抗性的悲哀，和对世界上一切苦难的蔑视情感的迸发。

每一种活着的东西（大概还有很多死了的东西），都会留意这声呼唤。对鹿来说，它是死亡的警告；对松林来说，它是半夜里在雪地上混战和流血的预言；对郊狼来说，是就要来临的拾遗允诺；对牧牛人来说，是银行里赤字的坏兆头；对猎人来说，是狼牙抵制弹丸的挑战。然而，在这些明显的、直接的希望和恐惧之后，还隐藏着更加深刻的含义，这个含义只有这座山自己才知道。只有这座山长久地存在着，从而能够客观地去听取一只狼的嗥叫。

不过，那些不能辨别其隐藏的含义的人也都知道这声呼唤的存在，因为在所有有狼的地区都能感到它，而且，正是它把有狼的地方与其他地方区别开来的。它使那些在夜里听到狼叫，白天去察看狼的足迹的人毛骨悚然。即使看不到狼的踪迹，也听不到它的声音，它也是暗含在许多小小的事件中的：深夜里一匹驮马的嘶鸣，滚动的岩石的嘎啦声，逃跑的鹿的砰砰声，云杉下道路的阴影。只有不堪教育的初学者才感觉不到狼是否存在，和认识不到山对狼有一种秘密的看法这一事实。

我自己对这一点的认识，是自我看见一只狼死去的那一天开始的。当时我们正在一个高高的峭壁上吃午饭。峭壁下面，一条湍急的河蜿蜒流过。我们看见一只雌鹿——当时我们是这样认为——正在涉过这条急流，它的胸部淹没在白色的水中。当它爬上岸朝向我们，并摇晃着它的尾巴时，我们才发觉我们错了：这是一只狼。另外还有六只显然是正在发育的小狼也从柳树丛中跑了出来，它们喜气洋洋地摇着尾巴，嬉戏着搅在一起。它们确确实实是一群就在我们的峭壁之下的空

地上蠕动和互相碰撞着的狼。

在那些年代里，我们还从未听说过会放过打死一只狼的机会那种事。在一秒钟之内，我们就把枪弹上了膛，而且兴奋的程度高于准确：怎样往一个陡峭的山坡下瞄准，总是不大清楚的。当我们的来福枪膛空了时，那只狼已经倒了下来，一只小狼正拖着一条腿，进入到那无动于衷的静静的岩石中去。

当我们到达那只老狼的所在时，正好看见在它眼中闪烁着的、令人难受的、垂死时的绿光。这时，我察觉到，而且以后一直是这样想，在这双眼睛里，有某种对我来说是新的东西，是某种只有它和这座山才了解的东西。当时我很年轻，而且正是不动扳机就感到手痒的时期。那时，我总是认为，狼越少，鹿就越多，因此，没有狼的地方就意味着是猎人的天堂。但是，在看到这垂死时的绿光时，我感到，无论是狼，或是山，都不会同意这种观点。

自那以后，我亲眼看见一个州接一个州地消灭了它们所有的狼。我看见过许多刚刚失去了狼的山的样子。看见南面的山坡由于新出现的弯弯曲曲的鹿径而变得皱皱巴巴。我看见所有可吃的灌木和树苗都被吃掉，先变成无用的东西，然后则死去。我看见每一棵可吃的、失去了叶子的树只有鞍角那么高。这样一座山看起来就好像什么人给了上帝一把大剪刀，并禁止了所有其他的活动。结果，那渴望着食物的鹿群的饿殍，和死去的艾蒿丛一起变成了白色，或者就在高出鹿头的部分还留有叶子的刺柏下腐烂掉。这些鹿是因其数目太多而死去的。

我现在想，正是因为鹿群在对狼的极度恐惧中生活着，那一座山就要在对它的鹿的极度恐惧中生活。而且，大概就比较充分的理由来说，当一只被狼拖去的公鹿在两年或三年里就可得到补替时，一片被太多的鹿拖疲惫了的草原，可能在几十年里都得不到复原。

牛群也是如此，清除了其牧场上的狼的牧牛人并未意识到，他取代了狼来调整牛群数目以适应其牧场的工作。他不知道像山那样来思考。正因为如此，我们才有了尘暴，河水把未来冲刷到大海去。

我们大家都在为安全、繁荣、舒适、长寿和平静而奋斗着。鹿用轻快的四肢奋斗着，牧牛人用套圈和毒药奋斗着，政治家用笔，而我们大家则用机器、选票和美金。所有这一切带来的都是同一种东西：我们这一时代的和平。用这一点去衡量成就，全部是很好的，而且大概也是客观的思考所不可缺少的，不过，太多的安全似乎产生的仅仅是长远的危险。也许，这也就是梭罗的名言潜在的含义。这个世界的启示在荒野。大概，这也是狼的嗥叫中隐藏的内涵，它已被群山所理解，却还极少为人类所领悟。

作者简介：奥尔多·利奥波德(Aldo Leopold,1887－1948)，美国环境保护主义理论家，长期从事林学和野生动物管理研究，被称为美国野生生物保护之父。

文献来源：利奥波德《沙乡年鉴》，侯文蕙译，吉林人民出版社 1997 年版，第二篇第三章第二节(第 121－124 页)。沿袭原有小节标题。

忍耐的义务

卡　逊

地球上生命的历史一直是生物及其周围环境相互作用的历史。可以说在很大程度上，地球上植物和动物的自然形态和习性都是由环境塑造成的。就地球时间的整个阶段而言，生命改造环境的反作用实际上一直是相对微小的。仅仅在出现了生命新种——人类之后，生命才具有改造其周围大自然的异常能力。

在过去的四分之一世纪里，这种力量不仅在数量上增长到产生骚扰的程度，而且发生了质的变化。在人对环境的所有袭击中最令人震惊的是空气、土地、河流以及大海受到了危险的、甚至致命物质的污染。这种污染在很大程度上是难以恢复的，它不仅进入了生命赖以生存的世界，而且也进入了生物组织内。这一邪恶的环链在很大程度上是无法逆转的。在当前这种环境的普遍污染中，在改变大自然及其生命本性的过程中，化学药品起着有害的作用，它们至少可以与放射性危害相提并论。在核爆炸中所释放出的锶$_{90}$，会随着雨水和飘尘争先恐后地降落到地面，停驻在土壤里，然后进入其生长的草、谷物或小麦里，并不断进入到人类的骨头里，它将一直保留在那儿，直到完全衰亡。同样地，被撒向农田、森林和菜园里的化学药品也长期地存在于土壤里，然后进入生物的组织中，并在一个引起中毒和死亡的环链中不断传递迁移。有时它们随着地下水流神秘地转移，等到它们再度显现出来时，它们会在空气和太阳光的作用下结合成为新的形式，这种新物质可以杀伤植物和家畜，使那些曾经长期饮用井水的人们受到不知不觉的伤害。正如阿伯特·济慈所说："人们恰恰很难辨认自己创造出的魔鬼。"

为了产生现在居住于地球上的生命已用去了千百万年，在这个时间里，不断发展、进行和演变着的生命与其周围环境达到了一个协调和平衡的状态。在有着严格构成和支配生命的环境中，包含着对生命有害和有益的元素。一些岩石放射出危险的射线，甚至在所有生命从中获取能量的太阳光中也包含着具有伤害能力的短波射线。生命要调整它原有的平衡所需要的时间不是以年计而是以千年计。时

间是根本的因素，但是现今的世界变化之速已来不及调整。

新情况产生的速度和变化之快已反映出人们激烈而轻率的步伐胜过了大自然的从容步态。放射性远在地球上还没有任何生命以前就已经存在于岩石放射性本底、宇宙射线爆炸和太阳紫外线中了；现在的放射性是人们干预原子时的人工创造。生命在本身调整中所遭遇的化学物质再也不仅是从岩石里冲刷出来的和由江河带来大海去的钙、硅、铜以及其他的无机物了，它们是人们发达的头脑在实验室里所创造的人工合成物，而这些东西在自然界是没有对应物的。

从大自然的尺度来看，去适应这些化学物质是需要漫长时间的；它不仅需要一个人的终生，而且需要许多代。即使借助于某些奇迹使这种调整成为可能也是无济于事的，因为新的化学物质像涓涓溪流不断地从我们的实验室里涌出，单是在美国，每一年几乎有 500 种化学合成物付诸应用。这些数字令人震惊，并且其未来含义也难以预测。想像一下——人和动物的身体每年都要千方百计地去适应 500 种这样的化学物质，而这些化学物质完全都是生物未曾经验过的。

这些化学物质中，有许多曾应用于人对自然的战争中，从 19 世纪 40 年代中期以来，两百多种基本的化学物品被创造出来用于杀死昆虫、野草、啮齿动物和其他一些用现代俗语称之为“害虫”的生物。这些化学物品是以几千种不同的商品名称出售的。

这些喷雾器、药粉和喷洒药水现在几乎已普遍地被农场、果园、森林和家庭所采用，这些没有选择性的化学药品具有杀死每一种“好的”和“坏的”昆虫的力量，它们使得鸟儿歌唱和鱼儿在河水里的欢跃静息下来，使树叶披上一层致命的薄膜，并长期滞留在土壤里——这一切的产品本来的目的可能仅仅是为了除灭少数杂草和昆虫。谁能相信在地球表面上撒放有毒的烟雾弹可能不给所有生命带来危害呢？它们不应该叫做“杀虫剂”，而应称为“杀生剂”。

使用药品的整个过程看来好像是一个没有尽头的螺旋形的上升运动。自从 DDT 可以被公众应用以来，随着更多的有毒物质的不断发明，一种不断升级的过程就开始了。这是由于根据达尔文适者生存原理这一伟大发现，昆虫可以向高级进化从而获得对某种杀虫剂的抗药性，兹后，人们不得不再发明一种致死的药品，昆虫再适应，于是再发明一种新的更毒的药。这种情况的发生同样也是由于后面所描述的这一原因，害虫常常进行“报复”，或者再度复活，经过喷撒药粉后，数目反而比以前更多。这样，化学药品之战永远也不会取胜，而所有的生命在这场强大的交叉火力中都被射中。

与人类被核战争所毁灭的可能性同时存在的还有一个中心问题，那就是人类整个环境已由难以置信的潜伏的有害物质所污染，这些有害物质积蓄在植物和动物的组织里，甚至进入到生殖细胞里，以至于破坏或者改变了决定未来形态的遗传物质。

一些自称为人类未来设计师的人们，曾兴奋地预期总有一天能随心设计改变人类细胞原生质，但是现在我们出于疏忽大意就可以轻易做到这一点，因为许多化学药物，如放射性一样可以导致基因的变化。诸如选择一种杀虫药这样一些表面看来微不足道的小事竟能决定了人们的未来，想想这一点，真是对人类极大的讽刺。

这一切都冒险做过了——为的是什么呢？将来的历史学家可能为我们在权衡利弊时所表现的低下判断力而感到无比惊奇。有理性的人们想方设法控制一些不想要的物种，怎么能用这样的方法既污染了整个环境又对自己造成疾病和死亡的威胁呢？然而，这正是我们所做过的。此外，我们之所以这样做，是因为我们检查出原因也没有用。我们听说杀虫剂的广泛大量使用对维持农场生产是需要的，然而我们真正的问题不正是"生产过剩"吗？我们的农场不再考虑改变亩产量的措施，并且付给农夫钱而不让他们去生产，因为我们的农场生产出这样令人目眩的过剩谷物，使得美国的纳税人在1962年一年中付出了比10亿美元还多的钱作为整个过剩粮食仓库的维修费用。当农业部的一个部门试图减少产量时，另一个部门却在1958年宣布："通常可以相信，在农业银行的规定下，谷物亩数的减少将刺激对化学品的使用，以求在现有耕地上取得最高的产量。"若是这样，对我们所担忧的情况又有何补益呢？

这一切并不是说就没有害虫问题和没有控制的必要了。我是在说，控制工作一定要立足于现实，而不是立足于神话般的设想，并且使用的方法必须避免将我们随着昆虫一同毁掉。

试图解决某个问题但随之而带来一系列灾难，这是我们文明生活方式的伴随物。在人类出现很久以前，昆虫居住于地球——这是一群非常多种多样而又和谐的生物。在人类出现以后的这段时间里，50多万种昆虫中的一小部分以两种主要的方式与人类的福利发生了冲突：一是与人类争夺食物，一是成为人类疾病的传播者。

传播疾病的昆虫在人们居住拥挤的地方变成一个重要问题，特别是在卫生状况差的情况下，像在自然灾害期间，或者是遇到战争，或者是在非常贫困和遭受损失的情况下，于是对一些昆虫进行控制就变得非常必要。这是一个我们不久将要看到的严肃事实，大量的化学药物的控制方法仅仅取得了有限的胜利，但它却给企图要改善的状况带来了更大威胁。

在农业的原始时期，农夫很少遇到昆虫问题。这些问题的发生是随着农业的发展而产生的——在大面积土地上仅种一种谷物，这样的种植方法为某些昆虫数量的猛烈增加提供了有利条件。单一的农作物的耕种并不符合自然发展规律，这种农业是工程师想像中的农业。大自然赋予大地景色以多种多样性，然而人们却

热心于简化它。这样人毁掉了自然界的格局和平衡，原来自然界有了这种格局和平衡才能保有自己的生物品种。一个重要的自然格局是对每一种类生物的栖息地的适宜面积的限制。很明显，一种食麦昆虫在专种麦子的农田里比在麦子和这种昆虫所不适应的其他谷物掺杂混种的农田里繁殖起来要快得多。

同样的事情也发生于其他情况下。在一代或更久以前，在美国的大城镇的街道两旁排列着高大的榆树。而现在，他们满怀希望所建造起的美丽景色受到了完全毁灭的威胁，因为一种由甲虫带来的疾病扫荡了榆树，如果掺杂混种使榆树与其他树种共存，那么甲虫繁殖和蔓延的可能性必然受到限制。

现代昆虫问题中的另一个因素是必须对地质历史和人类历史的背景进行考察：数千种不同种类的生物从它们原来生长的地方向新的区域蔓延入侵。英国的生态学家查理·爱登在他最近的著作《入侵生态学》一书中这个世界性的迁徙进行了研究和生动的描述。在几百万年以前的白垩纪时期，泛滥的大海切断了许多大陆之间的陆桥，使生物发现它们自己已被限制在如同爱登所说的“巨大的、隔离的自然保留地”中。在那儿它们与同类的其他伙伴隔绝，它们发展出许多新的种属。后来，当这些陆块被重新连通的时候，这些物种开始迁移到新的地区——这个运动现在仍在进行中，而且正在得到人们的大力帮助。

植物的进口是当代昆虫种类传播的主要原因，因为动物几乎是永恒地随同植物一同迁移的，检疫只是一个比较新的但不完全有效的措施。单美国植物引进局就从世界各地引入了几乎 20 万种植物。在美国将近 90 种植物的昆虫敌人是意外地从国外进口带过来的，而且大部分就仿佛徒步旅行时常搭乘别人汽车的人一样乘植物而来。

在其故乡数目不断下降的植物或动物，在新的地区中，由于逃离了其天敌对它的控制而可能蓬勃发展起来。因此，我们最讨厌的昆虫是传入的种类，这不是偶然的。

这些入侵，不管是天然发生的，还是仰仗人类帮忙而发生的，都好像是在无休止地进行。检疫和巨大的化学药物行动仅仅是买取时间的非常昂贵的方法。我们面临的情况，正如爱登博士所说的：“为了生和死，不仅仅需要寻找镇压这种植物或那种动物的技术方法；代之的是，我们需要关于动物繁殖和它们与其周围环境关系的基本知识，这样做将可以促使建立稳定的平衡，并且封锁住虫灾爆发的力量和新的入侵。”

许多必需的知识现在是可以应用的，但是我们并未应用。我们在大学里培养生态学家，甚至在我们政府的机关里雇用他们，但是，我们很少听取他们的建议。我们任致死的化学药剂像下雨似的喷洒，仿佛别无他法，事实上，倒有许多办法可行，只要提供机会，我们的才智可以很快发现更多的办法。

我们是否已陷入一个迫使我们接受低劣、有害的命运而失去意志和判断如何

是好能力的迷惘之中？这种想法，如生态学家保罗·什帕特所说："难道只要生活在环境恶化的允许限度之上一点点以摆脱困境就是我们的理想吗？为什么我们要容忍带毒的食物？为什么我们要容忍一个家庭建在枯燥的环境中？为什么我们要容忍与不完全是我们敌人的东西去打仗？为什么我们一面怀着对防止精神错乱的关心，而一面又容忍马达的噪音？谁愿意生活在一个仅仅不是十分悲惨的世界上呢？"

但是，一个这样的世界正在向我们逼近。建立一个化学消毒、无虫害的世界的十字军运动看来已在许多专家和大部分所谓虫害管理部门中唤起巨大的热情。从每一方面来看，存在着证据说明那些喷洒药物的工作显示出一种残忍的力量。康涅狄格州的昆虫学家尼勒·特诺说过："制定法规的昆虫学家们的职能好像是替起诉人、法官、陪审、估税员、收款员和州长实施自己发布的命令。"对农药最恶劣的滥用不管在州还是在联邦的政府部门内都在毫无阻拦地进行。

我的意见并不是化学杀虫剂根本不能使用。我所争论的是我们把有毒的和对生物有效力的化学药品不加区分地、大量地、完全地交到人们手中，而对它潜在的危害却全然不知。我们促使大量的人去和这些毒物接触，而没有征得他们的同意甚至经常不使他们知道。如果说民权条例没有提到一个公民有权保证免受由私人或公共机关散播致死毒药而导致的危险的话，那确实只是因为我们的先辈由于受限于他们的智慧和预见能力而无法想像到这类问题。

我进一步要强调的是：我们已经允许这些化学药物使用，然而却很少或完全没有对它们在土壤、水、野生生物和人类自己身上的效果进行调查。我们的后代未必乐意宽恕我们在保护负担着全部生命的自然界的完美方面所表现的过失。

对自然界所受威胁的了解至今仍很有限。现在是这样一个专家的时代，这些专家们只眼盯着他自己的问题，而不清楚套着这个小问题的大问题是否褊狭。现在又是一个工业统治的时代，在工业中，不惜代价去赚钱的权利难得受到谴责。当公众以自己面临着应用杀虫剂造成的有害后果的明显证据提出抗议时，一枚小小镇定丸就会使人满足。我们急需结束这些伪善的保证和包在令人厌恶的事实外面的糖衣。被要求去承担由除虫者所造成的危险的是民众。民众应该决定究竟是希望在现在的道路上继续干下去呢，还是等拥有足够的事实后再去行动。金·路斯坦德说："忍耐的义务给我们知道的权利。"

作者简介：雷切尔·卡逊（Rachel Carson，1907－1964），美国海洋学家。其经典之作《寂静的春天》（1962）的出版，宣告了群众性环境保护时代的到来。

文献来源：卡逊《寂静的春天》，吕瑞兰、李长生译，吉林人民出版社 1997 年版，第二章（第 4－11 页）。沿袭原有标题。

热爱生命

威尔逊

你是否曾想过，一千年后的人们会怎样看我们呢？（一千年相当于我们现在追溯到查理大帝的年代。）我想，通常会有下面一些词语来形容我们：他们永不停息地进行着全球化的科技革命；拥有相当于人脑智能的计算机；机器人辅助组织激增；可以进行分子水平的细胞重建；已开始拓殖宇宙空间；人口增长逐渐得到了控制；全球的民主化；世界贸易加速发展；人们比任何时候都生活得更充实、更健康并享受着更长的寿命和宗教自由。

在对21世纪的美丽憧憬中，我们是否忽略了人类在历史上应起的某些作用呢？我们是否忽略了，并且可能是永远失去了一些东西呢？在公元3000年，这个问题的答案可能将是：人类占有了世界上所剩下的生命中的绝大部分。

一些技术爱好者存在着不同的意见。从长远的眼光来看，这对人类究竟意味着什么呢？我们已经生存了这么长的时间，并且还将这样继续生存下去。至于留下的生命，它们还将继续存在。我们能够将濒危物种的受精卵和克隆组织保存在液氮里，将来用它们重新构建已破坏的生态系统。甚至这些可能根本没有必要。在未来，利用遗传工程技术可以创造出全新的物种和生态系统，它们将比旧的类型更适合于人类的需要。人类也许会沿着这条道路选择对自己进行重新设计，以使我们更好地生活在这个自己创造出来的新生命秩序中。

这就是技术狂们把技术应用在自然世界的最终结果。就我看来，如果再继续下去，最后的结果将是一场危险的赌博，在赌桌上掷出一颗骰子将决定生命的未来。恢复或是重新合成我们所需要的几千种物种——如果加上我们尚未发现的大量微生物，可能会达到几百万种——再将它们装配成一个具有一定功能的生态系统，这远远超过了任何已经存在的科学理论的想像。每一个物种都适应自己栖息的特殊生理环境和化学环境，它们通过进化来适应周围其他的一些物种，而这种进化方式生物学家才刚刚理解。在裸地或是空无一物的水中合成生态系统并不比教

活深冻的人类尸体的可行性高。而且重新设计一组适应已经破坏的生物圈的人类基因型只是科幻小说中的题材，我们只能将它留在那个虚幻的世界里。

还有另外一个原因要求我们放弃这场赌博，不要让我们的自然界就这样消失。为了论证需要，我们假设新的物种可能通过基因工程创造，并且如果将它们集中在一起可以构建成一个稳定的生态系统。即使某一天人类有了这种高超的能力，我们是否应该为了短期的利益而继续让原始的物种和生态系统慢慢消失呢？真的吗？抹去地球生命的历史？然后也将图书馆和美术馆烧掉，将乐器变作一堆木材，把乐谱捣成纸浆，忘记莎士比亚、贝多芬、歌德和甲壳虫乐队。这么做都是因为所有这一切——至少是相当好的替代物——都可以重新创造出来这样一条理由。

就像所有伟大的决定一样，这个决定是有关道德规范层次的。科学技术让我们可以做什么，而道德规范决定我们应不应该做。源于伦理学的道德规范，它是一种价值观支撑的行为标准：而价值观依赖于一个人的目标。无论是个人的还是全球的，无论是由良知驱动的目标还是被刻录在神圣庄严的文本上的目标，都表达了我们对自己和对世界的想法。简而言之，伦理的形成是不连续的前进，从自我形象到目标，从目标到价值观，从价值观到伦理，再从伦理到道德推理。

一种自然保护的伦理观就是要把除人类以外的世界尽量完整留给子孙后代。了解这个世界是为了获得这个世界的所有权；充分地了解这个世界是为了热爱她并愿意为她负责。

美洲鹰、苏门答腊犀牛、背部平坦只有三颗锯齿的蜗牛、光亮的马先蒿属植物，以及其他那些和我们生活在一起的上千万种，甚至更多的物种中的每一个成员都是大自然的杰作。创造这些生灵的大自然艺术家是自然选择：在漫长的进程中，遵照基因突变和遗传重组的规律来进行。当对每一个物种进行仔细审视的时候，我们可以发现它们都是对人类知识和艺术欣赏的一种无止境的恩惠，它们都是活生生的图书馆。组成真核生物，如道格拉斯冷杉或是人类的基因数量有几万个。组成它们的碱基对，即编码生命蛋白的遗传密码，在这几亿到几十亿的生物中完全不同。举个典型的例子，如果将小白鼠细胞中的 DNA 首尾连接，将其放大到一根包装线的宽度，其长度将会超过 900 千米，其中每米就有 4000 个碱基对。如果以纯信息的位数测量，细胞的基因组相当于大英百科全书从最初 1768 年以来的所有版本。

从你脚下消失的生物，如一只小虫或是一株野草，都是一件大自然的杰作。它们都有一个名字，有一百万年的历史，在地球上拥有自己的一个位置。在生态系统中，它的基因组适应它们所处的特殊生态位。我们周围的生命形式太古老、太复杂，具有巨大的潜在价值，我们绝对不应该粗心地忽略它们，这就是我们对它们的生物学特征研究后得出的伦理观。

生物学家提出了另一个在伦理学上很有价值的观点：所有生物的基因拥有统

一性。所有的生物都是由遥远的同一个祖先遗传而来的。遗传密码的解读表明，所有生物物种的共同祖先与现今的细菌、古细菌以及分类学和分子组成最简单的单细胞微生物相似。正是这个于35亿年前在地球上产生的构造简单的祖先，使今天所有物种在一定程度上都分享着相同的基本分子特性。它们的组织被分成一个个细胞，周围包裹着一层细胞膜以调节外环境和细胞内部的物质交换。它们产生能量的分子机制都是相似的。基因信息被存储在DNA中，转录为RNA，再被翻译为蛋白质。最终，大量的相似蛋白簇——酶——加速了生命进化的过程。

另外一个有价值的观点是统一管理(stewardship)的思想，它源于人类社会行为中的组织方式，也同样存在于每一种基因之间的联系之中。所有生物都由一个相同的祖先进化而来，因此可以说在人类诞生的时候，考虑问题时就必须把生物圈作为一个整体。如果人类以外的其他生物是身体的话，我们人类就是大脑。从伦理学的角度来看，我们在自然界中的任务就是考虑所有的生物并保护这个生机盎然的地球。

作者简介略。

文献来源：威尔逊《生命的未来——艾米的命运，人类的命运》，陈家宽、李博、杨凤辉等译校，上海人民出版社2003年版，第六章(第184－206页)。沿袭原有章节标题。

爱护动物，帮助动物

古多尔

保护野生动物生活的环境是非常重要的。动物和我们人类拥有同等的生存权力，但如果我们对自然界的破坏太严重，就会剥夺那些即将生活在这个世界上的物种的生存权力，从而也毁灭了它们将会带给我们这个世界的美丽。

一些生物物种的灭绝对我们的影响是灾难性的。我们知道很多重要的药物都是从植物甚至昆虫身上提取的，我们破坏了自然界，就可能彻底灭绝了一些动植物的物种，它们将永远消失，也许我们正在浑然不觉地灭绝那些可以治愈癌症甚至艾滋病或其他可怕疾病的生物。

在一个森林生态系统或任何天然区域里，所有不同的动物和植物组成一个完整的、精确的、复杂的模式，如果我们扰乱了这个模式，一切就都乱套了。比如，当年，全英国的兔子死于传进来的兔黏液瘤病，狐狸由于没有充足的食物而开始吃农民养的鸡，于是农民们就起来打狐狸，结果却发现由于没有狐狸吃老鼠而使老鼠泛滥成灾，老鼠破坏了农民地里和仓库里的粮食，结果，农民们因老鼠的祸害所受的损失与因兔子减少带来的损失一样多，甚至更多。

再设想一下，那些在地里喷洒杀虫剂来消灭祸害庄稼的昆虫的方法，它同时也杀死了成千上万的无辜的昆虫，包括很多益虫，比如为花授粉并给我们提供蜂蜜的蜜蜂，那些以昆虫为食的动物，特别是鸟类也很快死亡了。最终，由于污染的化学剂的广泛使用，使得人类也因此患病。

也许你会愿意去帮助动物们生活得好些。那么首先，你要先会发现问题所在。动物被虐待的方式有很多，有些甚至我们还不知道，或者是那些虐待动物的人们以为自己与此事无关，其实，根本就不是这么回事。

比如，我们来设想一下，如今在农场饲养的动物都是被怎样对待的，我们称之为“工业农场”或“集约农业”。在大多数的西方国家，鸡通常是被三只甚至更多只挤在一个小笼子里养大，因为怕它们互相啄而把它们的喙都拔掉了，它们就是这么

被伤害的。还有猪，其实它们和狗一样聪明，也同样被挤在一起，根本不能在地上刨坑玩。把小猪关起来尤其残忍，因为它们天性好动，喜欢跑来跑去逗着玩。

自从了解了这种工业饲养，我就不再吃肉了。但也有很多农民用很“原始”的方式，友好地对待他们的动物，这样，他们的产品价格要贵一点（因为这样的动物是自然长大的，没有使用化学杀虫剂和除草剂），但如果有越来越多的人来买这种食品，它们就会便宜起来，这种被称作“自然放牧”的方式会使成千上万的动物的生活质量大大改善。

每年有上千只的动物被用来做新产品试验，像清洁剂、化妆品等等。其实，几乎所有出现在市场上的新产品都经过动物试验。兔子、几内亚猪，甚至猫、狗和猴子都被拿来做实验，还有老鼠。有时这种试验会给动物带来很大痛苦。很多人都在努力争取改变这种状况。一些科学家们正在努力研究出一些试验物质，来替代把动物作为试验品。你也可以通过拒绝购买用动物做试验的产品来帮助实现这个理想。

当然，还有很多动物被用于医学研究领域，它们不仅要忍受很多痛苦，还被关在极狭窄的笼子里。遗憾的是，很多此类研究对人类几乎没有任何意义，所有的痛苦都是徒劳的。

我们也不能忘记那些仅为满足人类对知识的获取而被虐待的动物。有些科学家在科学研究中，不是静静地耐心仔细观察动物，而是更乐于杀死他的研究对象，来了解其内部的奥秘。上百只鸣鸟通过手术被人为弄聋，以便研究它们是本能天生就会鸣叫，还是后天才学会的。野生的小猴子被人为弄瞎，好看看它们怎么生活（大多数都死了）。我看过一个电视节目，一个科学家骄傲地宣布他是怎么用突发的高噪声杀死小老鼠的。心理学家们还在通过用电棍惩罚动物的方式来训练他们，等等。想一想在教学科研中使用的动物有多少，在中学、兽医学校和医学院，每年都要杀死上千只。但现在也有一些最受尊敬的好学校已经不再进行这种没有必要的动物展示了。

为什么我们要在乎动物们所受的虐待？它要紧吗？而且，现在还有好多人的处境也很悲惨，为什么我们不先去帮助他们呢？当然，我们也应该去帮助受苦的人们，但我要问你为什么？为什么我们要在乎人们所受的苦呢？因为他们和你我是同一种动物，所以我们能理解他们的感受，我们知道他们和我们一样会感到痛苦，我们知道他们也会悲伤、恐惧、绝望、孤独和寂寞。那好，如果我告诉你，黑猩猩也能感受这一切，猫和狗和猪，和很多其他动物，他们也都能感受到这一切。你同意吗？如果你同意，那你就能明白为什么我们要关注这些动物们的痛苦了。

残忍是可怕的，我认为这是人类的天性中最丑恶的一面。当你残忍时，你使别人忍受毫无必要的痛苦。如果一个医生在战场上为了挽救一个人的生命，不得不在不施麻药的情况下做截肢手术，这虽然很痛苦，但并不能算是残忍的行为，但如

果这个医生在现代化的医院里也这么做，那就是残忍。如果一个没有人类感觉的聪明的生物忽然从别的星球上来到地球，它不能感受任何痛苦，那么，即使它做了给我们带来巨大痛苦的事情，我们也依然不能称之为残忍。

也许我们的世界还远不是一个远离残忍的世界，但我认为我们至少可以一点一点地帮助这个世界少一点残忍，我们每个人都能从自己的身边做起。如果你的邻居每天晚上出门，把他们的小孩子独自留在家里哭，你肯定会马上向有关人员报告此事，但如果你的邻居在虐待他的狗呢？你也会把它当回事吗？我相信你会的，如果主人折磨他的狗，你可以通知当地的防止虐待动物组织（ASPCA），如果狗总是连续几个小时被关在家里，你可以征求父母的同意，去带他散步。

为了爱护动物，我们每个人在发现问题时敢于出来仗义执言是很重要的，但这并不容易。我小的时候，曾见过四个比我大得多的男孩儿，把螃蟹的腿一条一条地拔掉。我很伤心，问他们为什么要这么做，他们说“不关你事”。我说这太残忍了，结果他们哈哈大笑。

于是我就走开了。现在，四十年过去了，我仍为此感到羞愧。为什么我当初没有上前去阻止他们折磨那只螃蟹呢？

我儿子就强多了。有一次，他五岁的时候，在加利福尼亚上幼儿园（曾有一阵子，我每年的四分之一的时间在斯坦福大学教书）。一天，他看见一个七岁的男孩子拿着水管子冲一只笼子里的吓坏的兔子，还高兴得哈哈大笑。格鲁布冲上去抢他的水管子，男孩不答应，于是格鲁布就和他打起来了，虽然他比人家小多了，但他尽了全力去赢。

老师因为他打架很生气，还惩罚了他，当然，我们并不能总是靠打架来解决问题，但她却没有惩罚那个残忍的男孩，其实他也应该受到惩罚，你说呢？

我还要告诉你一个真实的故事，是关于一只名叫“老人”的黑猩猩的。它成年后被北美的一家动物园买走了，我们对它的经历一无所知，也许它曾在实验室或马戏团待过，它非常憎恨人类。后来，它被送到一个岛上去和另外三只成年雌黑猩猩一起生活，它和它们相处得很好，其中的一只还生了个小孩，“老人”就是孩子的父亲。

就在这个时候，一个名叫马克·库萨诺的人来负责照顾它们，所有人都告诉他它们是多么危险。确实，被捕获的黑猩猩常常是很危险的，因为他们中的大多数都可能被虐待过。所以，马克没有带着黑猩猩的食物直接上岛，相反，他划了一只小船靠到岸边，把食物扔到岸上。

马克也同时注意观察它们。他看到了“老人”对小孩子是多么轻巧、怜爱，他看到它们在吃饭的时候兴奋得相互拥抱和接吻，他也开始意识到它们是多么好的动物。于是，他决定自己主动去和它们建立起更好的关系，他开始和它们交朋友。他把船划得越来越近。而且终于有那么一天，“老人”从他手里接过了一个香蕉。“珍

妮,”他后来告诉我,“现在我能理解当灰胡子大卫从你手里接过香蕉时,你的那种感受了!”这是友谊的开始。不久,他终于敢弃船登岸了,“老人”允许马克给他梳毛,他们有时还在一起玩,三只雌性的态度比较冷淡,但它们对马克到岛上来并不介意。

忽然有一天,马克不小心滑倒了,小黑猩猩就在旁边,被吓了一跳,它恐惧得大叫了一声,它的母亲以为是马克欺负它了,一下子冲过来,一口咬住他的脖子,他觉得血都凝固了,还没等站起来,另外两只雌黑猩猩也冲过来,一只咬住他的胳膊,另一只咬住他的腿,他觉得他的手都没知觉了,他想完蛋了,这下可跑不了了。

这时,“老人”冲了过来,一把抓住它们,一只接一只地把它们从马克身边拉走,赶跑了。马克拖着身子挪到船边,“老人”紧挨着他,每当它们要上来袭击时就威胁它们。最后,马克终于离开了小岛,是“老人”救了他的命。

这个故事教给了我很多,如果黑猩猩能站出来帮助人,那我们人类当然也能站出来,来帮助黑猩猩们和其他与我们共同生活在这个世界上的动物。

这就是我在努力做的事,希望你也能帮助我。

作者简介略。

文献来源:珍妮·古多尔《和黑猩猩在一起》,秦薇、卢伟译,科学出版社 2000 年版,第九章(第 110—118 页)。标题为编者所加。

多样性濒临危险

盖尔曼

生物多样性的保护

我们已经指出了向每个人传达(例如通过计算机模拟的方式)这样一个观念的重要性,即一个祖先怎样通过传递差错与基因重组及自然选择而产生出有效复杂性,这种复杂性已由当今存在的生命形式惊人的多样性所显示。那些生命形式包含了大量信息,这些信息是通过地质年代而逐渐积累起来的,其中包含有地球上的生存方式及各种不同生命形式之间的相互作用方式。但迄今为止,这些信息为人类所了解的仅是多么小的一部分!

然而,通过大量生育及每个人(特别是每个富人)对环境造成的破坏性影响,人类已经开始导演一出绝灭之剧,最终它的破坏性也许能同过去的一些大绝灭一比高下。历经如此漫长时期的进化才积累起来的复杂性,在几十年的时间里就毁灭掉其中很大一部分,这难道合理吗?

难道我们人类将像某些其他动物那样,为生物需要所驱使而见缝插针地去占据每个可利用的地方,直至饥荒、疾病与战争来限制我们的人口吗?或者我们将利用我们自己引以为豪的、也是我们人类这一物种所特有的智慧?

随着20世纪临近结束,人类所面临的最重要任务之一就是保护生物多样性。这一事业涉及世界各地各行各业的人们,我们应该用多种方法来决定需要做些什么,特别是首先需要做什么。虽然在不同的地方优先的选择有所不同,但还是存在一些普遍适用的原理与策略。

热带地区的重要性

最需要保护的地方(尤其是陆地上)似乎在热带地区,那里物种最多,但同时使

用自然资源来养活一个贫穷而又快速增长的人群的压力也最大。这样一种状况——物种较多，但被毁的危险也更大——使热带地方的生物保护尤为紧迫。

热带与温带的区别不仅在于物种的数量不同（其中热带许多物种现在正濒临危急），而且还在于对它们的了解程度不同。在温带地区，通常可以通过考察单个物种（至少对"高等"植物与动物可以这样）并测定哪些物种在地方、国家或世界范围处于危急状态，来判断一个地方需保护的程度。如果考虑生态群落的话（这当然也是应该考虑的），我们可将它们看作由已知物种所组成的团体。

但在热带地区，还有无数物种尚为科学所未知，甚至还有整个的生态群落也没有得到充分的研究。在这种条件下，以基于物种的方式这样一个通常规则来确立保护目标，是不切实际的。我们常常需要将精力集中于拯救典型系统上，这些系统包含着具有代表性的单个物种。但是，如何定义这些系统也并非总是轻而易举的事。

科学的作用

科学对于热带生物保护具有重要的作用。如果我们没忘记科学的目标不仅是积累事实，而且还要通过发现信息中的结构（即规律性），以及尽可能探究出现象所反映出的机制（即动力学解释），以此来增进理解，那么，科学在热带生物保护事业中的作用将更加明了。

有一系列的方法可以用来收集、组织与解释有关整个热带地区自然群落状态的数据。分类生物学家（那些研究动物分类与分布的科学家）比较赞成长期性的研究，这些研究可能需要耗费好几十年的时间，所得出的研究结果也将在未来的长时间内具有很大的重要性。短期研究则是通过诸如卫星摄影术与空中摄影术这样的技术进行研究，它们能很快产生出一些有关地表植被变化的粗略指标。为了弄明白那些变化意味着什么后果，还需要了解"地面事实"，这些事实就得多少要细致一些，通常需要通过探险活动与大量分类工作才能完成。这种工作是介于长期的地面研究与快捷的空中及太空考察之间的一种中等时限的研究。

对于在热带地区已开始发生大规模的、人为的绝灭性行为这一事实，人们已经不再有任何严重的分歧。对一些人来说，不应该肆意毁坏经数十亿年进化而得到的产物是不言自明的；但对另一些人来说，则需要摆出一些额外的理由才能使他们相信保护面临危险的事物的重要性。这些理由包括，我们正在消灭的那些甚至还不为我们所了解的物种对人类具有潜在用途；更重要的是，它们对将来几代人才能理解的那些相对来说尚处于不那么恶化的状态的复杂生态系统之运作，有很大的价值。科学家的任务之一，就是详细地解释这些论据。科学不仅能为优先权的确立提供指导，而且还能为这些优先权提出易于被人们理解的解释。

换句话说，生物多样性的保护需要更多的科学知识，以使保护主义者对于如何进行保护有一个清楚的概念，而且也使人们能够理解他们所采取的行动。正确的、组织得当的信息，能够帮助更广大社会阶层的人们认识到保护各种不同生态群落的活样本的重要性。我敢断言，在这项努力中，使用与发展生物地理学学科具有重要意义。

生物地理学是研究动植物分布，以及那些分布如何演变的学科，其中还涉及地质概况与地形的影响。它研究变异、散布、生存及绝灭等过程，不仅包括那些正在进行的、决定当今各种生物分布区域的过程，而且还包括过去所经历的发展阶段。生物地理学与分类学和生态学均有着密切的连带关系，它可以提供一个理论体系，帮助我们将有关动植物物种发生的资料，作出有效的组织和分类。它还能提供一种生态群落分类法，而且它还能帮助规划出切合实际的保护区之轮廓，对判断已有系统所存在的漏洞也有很大的帮助。

快速评估

从科学的观点来看，坚持那种不能提供即时结果但能给出持久性结果的长期研究是必要的。然而，保护行动显然不能等那些结果出来再进行。如果等到野外生物学家完成对一个特定热带地区动植物的详细、彻底的研究，再来推动对那一整个地区或其中部分地区自然群落的保护，可能为时已晚，因为那些群落可能已不复存在。

如果按照保护行动所必要的科学方法来行事，这将要求人们创造性地利用所有潜在的资源。尤其是，一些野外生物学家（例如动植物学家、鸟类学家和爬虫学专家），从他们的个人训练、野外经验及科学知识中，学会了如何对他们所研究的热带区域的物种作一个快捷的、粗略性的普查。他们对各种生态群落之成分有一个大致的概念，并提出了一些快捷的方法来确定一个环境的退化程度。他们的知识与智慧可以、也应该应用到保护工作中去。他们不仅能帮助评估一个特定地区的生物多样性及其自然群落的保护状态，还能帮助确定哪些生态群落局限在小区域内，哪些处于严重的危急状态，因而能为那些确立保护优先权的人提供非常有价值的建议。这些野外生物学家不仅能促成分类生物学与生物地理学方面长期研究的成功，还能在很大程度上促使那些为卫星摄影提供地面事实的短期探险获得成功。

培养更多像他们那样的科学家非常重要，在热带国家尤其如此。

通过约翰·D与凯瑟琳·T.麦克阿瑟基金会（John D. and Catherine T. MacArthur Foundatation，我在其中任理事），我帮助设立了由国际保护协会赞助的快速评估计划（Rapid Assessment Program）。其中的核心团体由一个鸟类学家、一个哺乳动物学家和两个植物学家组成。通过与其他野外生物学家联合，他们成立

了几个小组来考察一些特定的地方(迄今为止主要集中在美洲地区)。到目前为止,那些小组已经考察了最初在空中视察时辨认出来的各种不同的地域,包括干燥森林、山地云雾林及低地雨林。考察目的是为了查明它们是否具有足够的生物多样性,以及它们是否被保护得足够好。

1989 年,我与当时是国际保护协会官员的斯彭瑟·比伯(Spencer Beebe)及评估计划成员鸟类学家特德·帕克(Ted Parker),一起参加了一次空中观察。我们在玻利维亚发现了一个非常大而且保护得很好的森林区,阿尔托马迪的(Alto Madidi),并把它确定为评估计划的一个近期目标。这一地带从亚马逊低地雨林延伸到好几种高山森林(虽然它距亚马逊河有数百千米远,但其多余的雨水仍然通过亚马逊河支流汇入到主河道中)。后来,评估小组考察了该地区,并在地面上对它进行了研究,结果发现它在多样性与质量方面甚至比我们在空中观察时所估计的还要更引人注目。如今,玻利维亚科学院和玻利维亚政府正考虑将保护区扩大到阿尔托马迪的的可能性。

与特德·帕克一起穿行在南美森林中,我发现他的确很出色,一点不负我曾听到的对他的崇高评价。在所有我陪同过的相当熟练的野外鸟类学家当中,他给我留下的印象最深刻。他记住并能识辨出三千多种新大陆鸟类的鸣叫声。往往一连几天,他仔细识辨青蛙、昆虫或一个特殊鸟种所发出的每一种声音。每当我们录下鸟类的叫声,并通过重放它们的叫声而将鸟类招引过来时,他的判断总是得到证实。但是在以后的某一天,当他听到发自矮树丛的一种模糊不清的"啪嘶特"声时,他可能会惊呼:"我搞不清楚那是什么!"必然无疑,它将是当地或该国家的一种新鸟,有时它甚至可能是科学上的一个新物种。

在黎明时分驻足倾听林中的鸟鸣声,他能估计出该栖息地的鸟类多样性与质量。他的同事,哺乳动物学家路易斯·艾孟斯(Louisr Emmons)和植物学家阿尔温·根特瑞(Alwyn Gentry)和罗宾·福斯特(Robin Foster),在他们各自的专业领域也有同样的熟练程度。

最近,一场悲剧降临到这个杰出的小组。特德与阿尔温以及一位厄瓜多尔同事艾都尔多·阿斯比竹(Eduardo Aspiazu),在一次空中观察中因飞机坠毁而身亡。飞行员也牺牲了。像往常一样,生物学家要求飞行员飞低一点,以使他们能在空中更仔细地巡察森林(他们正在搜寻瓜亚基尔附近一小片在其完全消失之前应该加以保护的幸存干燥森林)。突然,飞机误入云层,能见度突然急剧降低,他们撞到了附近一座山上。

在哀悼我们的朋友不幸去世的同时(他们似乎留下了难以弥补的空白),我们中间那些参与热带保护的同仁希望,快速评估计划的工作能继续进行下去。我们希望,他们留下的空缺将被其他差不多具有同等熟练程度的专业野外生物学家来填补上,也希望训练一批新人,特别是热带国家的公民。

通常，热带生态多样性保护的前途，在很大程度上依赖于热带国家本地不断壮大的科学家与保护主义者群体的行动。总的说来，重大的保护决策必须在国家层次上作出，各个国家应有数量越来越多的民间组织担负起生物多样性保护的主导任务。温带国家中一些国际著名的科学家有时能施加有效的影响，但如果没有地方与国家的支持，保护就不可能实现。

文化多样性的保护

就像在几十年里浪费掉大部分历经数十亿年进化而得的丰富生物多样性是疯狂行为一样，允许大部分文化多样性消失也是同样狂热的行为，这种文化多样性是以与生物进化差不多相似的方式经过数万年进化出来的。然而，人类的联合（以及人类同与我们共享生物圈的其他生命形式和平共处）现在是一个比以往任何时候都更重要的目标。那么各方面的利害关系怎么样协调起来呢？

还在很早的时候我就开始意识到了统一与多样性之间的紧张状态。当我还是个小孩的时候，我向父亲提出了这样一个古老的问题：人类是否可以通过只使用一门世界语就能促进普遍的和平？作为答复，他向我描述了在两百年以前的文艺复兴与法国革命时期，文艺复兴人物与浪漫主义运动的先驱，德国思想家赫德（Herder）的一段话：有必要为保护语言多样性而拯救处于威胁之中的拉脱维亚语与立陶宛语，这是两种非常古老而且与古代印欧语系很相近的语言。在当时本土作家如立陶宛诗人多涅莱狄斯（Donelaitis）的帮助下，保护那些文化 DNA 的工作取得了成功。如今拉脱维亚与立陶宛又一次成为独立国家，两百年前从绝灭的边缘拯救起来的那些语言，现在是他们的国语。

极具挑战性的文化保护问题牵涉到土著人，尤其是那些因为其落后的技术状态而有时被称为原始人的土著人。许多情况下，这些土著民族要么受到疾病与暴力的威胁，或遭到驱散与排斥而被迫背井离乡，要么其文化遭到消灭。一个世纪之前，在美国西部一些地方，少数人仍然在周末射杀“野印第安人”。如阿尔弗雷德和梯恩多拉·克鲁耶伯（Alfred and Theodora Kroeber）所记述的那样，最后一个雅希（Yahi）人艾希（Ishi）就是这样悲惨地失去了他的家庭和朋友。如今，北美人对其他国家发生的此类暴行深恶痛绝。让我们期望，这种危险情形在现在能很快得到改善，使那些民族具有更好的生存与选择机会。要么任他们暂时保持现有的生活方式，要么帮助他们实现根本性的现代化，但要在一定程度上保持其文化连续性与传统。

世界各地的土著民族的风俗习惯与生活方式，以及他们所掌握的丰富民间知识，构成了一个关于人类组织与思想方式各种可能性的信息宝库。其中许多民族还具有关于如何在一个热带群落中生存的宝贵知识。（应该注意的是，另外有些民

族还一直在破坏着自然环境，尤其是那些在从前没有人烟的大岛或小岛上生活还不到一两千年的民族。某些情况下，土著人民与自然和谐相处的观念只能是美好的愿望而已。）

可是，让我们试想一下，某些部落的巫师该掌握多么丰富的植物性能方面的知识啊！这些巫师有许多正面临后继无人的危险。伟大的哈佛大学的民族植物学家（ethnobotanist）理查德·舒尔特施（Richard Schultes）花了许多年时间研究亚马逊盆地上有药用价值的植物。他说，每死去这样一个巫师，就好比烧掉了一部文库。舒尔特施已经培养了许多年轻民族植物学家，他们将赶在那些文库全部消失之前从其中抢救出尽可能多的秘诀。他们之中一个叫马克·普洛特金（Mark Plotkin）的学者最近出版了一部名为《一个巫师学徒的故事》（*Tales of a Shaman's Apprentice*）的书，记述了那些奇异的经历。

经过数百年或数千年的试误式学习，人类提炼出了大量有关使用生物来为其衣食及治病服务的信息。学习的过程有时肯定是相当富于戏剧性的，比如亚马逊雨林中苦木薯被人们认识的过程可能就是如此。森林地被上生长的植物不多，因为上、中与较低层的树冠挡住了大部分的阳光。在这种条件下，苦木薯（其块茎可提炼出木薯淀粉）就成了很有营养价值的食物资源。但是，未经提炼的块茎含有大量的氰氢酸，因而对人类有很大的毒性。只有通过加热使之分解，除去氰氢酸之后才可以食用。亚马逊丛林中各种群体或部落里饥饿的人们在学习如何使用苦木薯的过程中，肯定有无数人为此失去了生命。

通过试误式学习揭示出植物与植物药剂的有益性能的现象，并不仅仅是在这些比较不发达地区存在。民间医药对世界各地人们的生活有着巨大的影响。当然，并非所有的民间药方都有效，但至少其中一些已被现代科学所证实。在我父亲身上就曾发生过这样一件事情。我爷爷曾经是位林务员，在我父亲小的时候他们居住在奥地利东部接近俄国边境的一片山毛榉树林中。一次，我父亲不小心用斧子砍断了一节手指。他找到掉落的那节手指，用水洗净，将它放回原处，然后用面包做成的糊剂将它裹起来。一个环状伤疤此后一直伴随着他，但那节手指头确确实实接上了。很多年以后，现代科学才认识到面包霉中的“特异青霉”（一种产生青霉素的真菌——译者注）具有抑制细菌的性能；毫无疑问，正是这一性能挽救了我父亲的手指。

在人们作出这种有用发现的适应过程中，选择压力必然也与科学一样，提出了非常相似的一些问题：这一过程真的管用吗？人们能安全地食用这种食物吗？用这种方式包扎的伤口能愈合吗？这种药草能在预产期过后帮助妇女开始分娩吗？

起源于交感巫术的民间疗法则又是另一幅不同的图景。建立在相似性基础上的传统疗法中，有一种是针对黄疸病（实际上是肝病的一种症状）的，它要求病人盯着一个石制杓鹬的金黄色眼睛。如果我父亲试用那种方法，那么除了有少许心身

效应之外，很可能不会有什么益处。在普遍存在于世界各地各民族中的交感巫术的发展过程中，正如前面我们已经强调过的那样，其选择压力通常不同于在客观上取得成功的那些选择压力。

然而，对那些民族来说，巫术与动植物真正用途的发现这两者之间，未必有什么明显的区别。但巫医总归是巫医，即便他们的确教会现代人们使用一些天然药物，比如能从金鸡纳树皮提炼出用于治疗疟疾的金鸡纳霜（奎宁）。文化传统往往不可能轻易地划分成这样两部分，即其中一部分容易与现代观点相合，而另一部分则与现代观点相抵触。

启蒙与文化多样性之间的紧张状态

启蒙所拟想的普遍性需要与我们保护文化多样性的需要之间的紧张关系，至今依然存在。在讨论地球的未来时，我们利用科学研究结果，并试图用理性的方法来思考这些结果的含义时，我们深为迷信的盛行所困扰。坚持错误的信仰更加重了这样一个普遍存在的时代性错误，即不能认识到我们地球人所面临的迫切问题。显然，哲学上的不统一，尤其是消极的排他主义，正以多种方式严重地威胁着我们。这种排他主义仍然以古老的宗派主义形式而存在于很多地方，但如今它可能还与国籍、语言、宗教差别或其他一些差异有关。这些差别有时如此之小，以至于局外人几乎察觉不到；但在适当条件下仍然足以引起极度的对立与仇恨。

但与此同时，文化多样性本身又是应受到保护的宝贵遗产：各种语言的混杂，宗教与伦理系统的大拼凑，形形色色的神话，政治与社会传统的大杂烩，而它们通常都伴随有多种形式的非理性与排他主义。人类面临的主要挑战是使诸如科学、技术、理性及思想自由之类的普遍化因素，与诸如地方传统和信仰以及资质、职业、地理差异等特殊因素协调起来。

普遍的大众文化

然而，世界各地的地方文化模式所受到的侵蚀，并不全是或甚至并不主要是由于科学启蒙的普遍化作用所致。大多数情况下，大众文化（popular culture）在抹去两个地方或社团之间的差异方面极其有效。牛仔裤、快餐、摇滚乐以及美国电视连续剧已风靡世界许多年。而且，普遍化影响不能简单地归类于科学文化或大众文化，相反，它们构成一个连续系统，一个包括各种不同文化影响在内的整个范围。

占据深奥文化与通俗文化之间一个中间位置的是有线新闻网（Cable News Network，缩写为 CNN）这样一些机构。在某些地方及某些情形，CNN 广播能为你提供在别处得不到的很有价值、及时、重要思想的来源，以及准确公正的信息。在

其他情况下，它们似乎被认为代表一种娱乐形式，是普遍化大众文化的一部分。无论如何，世界各地接收到的新闻广播与许多国家中日报与周报或周刊上发表的新闻文章，被认为是世界性“信息爆炸”(information explosion)的一个方面，此外，其他非小说性刊物与书也大大地增加了，更不用说迅速增加的电子邮件网络与即将到来的交互式多媒体通信爆炸。

信息(或错误信息?)爆炸

不幸的是，上述信息爆炸很大程度上是错误信息的爆炸。我们所有人都处于大量资料、信息的包围之中，它们包括数据、观点与结论——其中大部分是错误的或被误解的，或简直就是混乱的。现在急需更多富有才智的注释与评论涌现出来。

我们应当高度赞扬这样一种创造性工作，即撰写严肃的评论文章与书，将可靠的与不可靠的信息区分开来，并以合理、成功的理论与其他图式形式将看似可靠的东西加以系统化与归类。如果一个学者发表一个科学或学业知识前沿的新研究结果，那么他或她可能会得到奖赏，或获得一个教授职位，或得以晋升级别，即便其结果在后来可能被证明是完全错误的。然而，仅解释过去已做工作的意义(或将值得学习与不值得学习的东西分别开来)是不太可能获得晋升机会的。如果对奖励结构作些修改，以使职业选择压力不仅偏向于信息获取，同样也对信息的分类工作有利，那么人类的前景将更加美妙。

容忍不愿容忍的——这是否可能呢?

那么，我们怎样对各种思想进行批判性审查呢？怎样带着对文化多样性的宽容——甚至带着赞美与保护的心态——去识辨与归类错误性的东西呢？我们已经讨论过每种特殊的文化传统怎样将一些不同的观点与信仰纳入自己的文化中，作为其艺术的主题，其特有的统一社会的力量，以及作为面对悲剧时的个人安慰感的源泉。如我们所强调的，这些观点与信仰中有许多从科学的角度来看是错误的(或至少是没有证据证明的)，而另一些则描述了关于自然界、人类个体以及社会发展之可能形式的宝贵发现(或许还包括开辟神秘主义经验的新领域和促成物质欲望退居精神欲望之下的价值系统形成)。然而，文化多样性的保护必须设法超越这种差异。作为文化 DNA 要素的图式或模式，不能轻易地划分成值得保护的与不值得保护的两类。

还有更大的困难。许多地方思想与行为模式不仅与有害的错误及消极的排他主义结合在一起，而且尤为重要的是，这些模式还牵涉到针对那些支持普遍化科学而非宗教文化、强调理性与个人权利的人们的侵扰与迫害。不过也正是在这样一

种文化中，你常常可以发现人们在原则上关心文化多样性的保护。

不管以什么方法，人类必须设法尊重与使用大量的文化传统，同时还要抵制传统中那些不时引起不团结、压迫与反启蒙主义的思想的威胁。

作者简介：M. 盖尔曼(Murray Gell-Mann，1929－　)，美国物理学家，粒子物理学中夸克模型的创立者，因其在基本粒子分类和相互作用的研究而获 1969 年诺贝尔物理学奖。

文献来源：盖尔曼《夸克与美洲豹——简单性和复杂性的奇遇》，杨建邺、李湘莲等译，湖南科学技术出版社 1998 年版，第四篇第二十一章(第 325－339 页)。沿袭原有章节标题。

第　四　部　分

科学的激情生活

题说

在这一部分，我想通过几个传记片断展示一下科学家的科学生活和日常生活。在传统的科学故事中，科学的生活是乏味、单调、冷静、刻板的，科学家的形象也显得缺少人情味。这其实是一个巨大的误解。不仅科学家本人，在生活世界之中跟普通人一样经受痛苦和欢乐、希冀和绝望、忍耐和抗争，就是在他们进入工作状态时，也一样遭遇创造性劳动必定会遭遇的那些愉快或不愉快的场景。科学的生活是丰富多彩、充满激情的。

伟大的科学发现有些来自科学家个人的苦思冥想(如爱因斯坦的相对论)，有些来自小圈子里的反复讨论(如量子力学的哥本哈根学派)，有些来自艰苦的实验室工作(如居里夫人发现镭)，有些则来自灵机一动的奇妙构思(如 DNA 双螺旋结构之发现)。这些情况足以表明在科学的发现中并不存在一个简单明了的逻辑通道，相反，它是一个充满了社会的、心理的复杂因素的过程。

伟大的科学家往往处在学术争论的漩涡之中。这些争论有时是愉快和友好的(如爱因斯坦—玻尔关于量子力学之完备性的争论)，有时是伤感情的(牛顿与胡克以及惠更斯关于颜色理论的争论)，有时是科学家个性之间的冲突(比如同为哈佛生物学教授的威尔逊与沃森之间)，有时则是他们禀承的哲学背景之间的对抗。这些争论中有的是高超的智力较量，充满着令人拍案叫绝的睿智，也有的根源于傲慢和自负，让人深感人性的弱点之顽固和普遍，伟大如自然的探索者亦不能幸免。

哲学背景的差异所导致的争论没有办法最终解决，科学家需要有博大的胸怀和宽容之心来对待他们的敌手。在世界本质上是实在论的还是反实在论的问题上，爱因斯坦与玻尔进行了长达半个世纪的争论。他们尊重自己的论敌，精心构造自己的论证，相互激发了深邃的思考，为学术争论树立了“和而不同”的好榜样。然而可惜的是，在生命科学界，还原论与整体论、分子生物学与博物学之争没有出现同样动人的场面。爱因斯坦说过，“人们只会同他的兄弟或者亲密的朋友发生真正的争吵”，争论应该来

自深刻的认同。

像所有的年轻人一样，著名科学家在他们的年轻时代也都曾有过各自的浪漫历程。达尔文在贝格尔舰上的经历，居里夫人的恋爱，爱因斯坦在伯尔尼专利局时期组织的奥林匹亚科学院，以及科学顽童费曼学生时代与大师的相遇，无不洋溢着朝气蓬勃的青春气息。每一个有志于毕生从事科学研究的大学生，应懂得无拘无束这种自由的天性对于科学的创造也很重要。

14 激情发现 ≫

镭的发现

艾芙·居里

这个年轻的妻子料理家务，给她的小女儿洗澡，并且把平底锅放到火上……而在理化学校的那个简陋的实验室里，这个女学者又做出了近代科学上最重要的发现。

两个学士学位，考取大学毕业生在中等教育界任职的文凭，一篇回火钢的磁化作用专论，这些是玛丽到1897年年底的活动总结。分娩后刚刚复元，她就回去工作。

按照合乎逻辑的发展次序，她的事业的下一步，当然是考博士学位；为了这一件事，她踌躇了好几个星期。她必须选一个充分发挥的新颖的研究题目。玛丽细读物理学方面最新的著作，想找出一个论文题目来。

在讨论这个重大问题的时候，比埃尔的劝告很重要。他是玛丽所在的实验室的主任，是她的"保护者"，而且他的年纪比较大，经验也丰富很多。在他身边，玛丽总认为自己有点像个学徒。

虽然如此，这个波兰女子的脾气，她生来的天性，在选择题目上，有重大影响。玛丽从童年时代起，就有探险家的好奇心和勇气，这种本能，从前驱使她离开华沙到巴黎和索尔本来，驱使她放弃德卢斯基家那个安乐住所，孤独地住在拉丁区。在树林里走的时候，她总是选没有人走过的路线和荒凉小道。

她像一个计划走远路的旅行者；这个旅行者低头看着世界地图，发现遥远国度里有个奇怪的地名激发了她的想像力，便忽然决定要到那里去，而不到任何别的地方去。玛丽翻阅最近的实验研究报告，注意到一个法国物理学家亨利·柏克勒尔[①]前一年发表的一些著作。比埃尔和她已经看过这些著作，现在她再读一遍，用她习惯的谨慎态度加以研究。

---

① 亨利·柏克勒尔(1852—1980)，法国著名物理学家。1896年发现铀的放射性。1903年与居里夫妇合得诺贝尔物理学奖金。

自从伦琴[①]发现X射线之后，亨利·普安加瑞就有意研究，与X射线类似的别种射线是否是“荧光性”物质在光的照射下放射出来的。亨利·柏克勒尔也注意同样的问题，他观察了一种“稀有金属”——铀盐；但是没有得到他预测的现象，却观察到另外一种完全不同并且不可解的现象：铀盐自发地放射一种性质不明的射线，不必先受光的照射。把铀的一种化合物放在黑纸包的照相底片上，它可能透过黑纸使底片感光；这种奇怪的“铀”射线和X射线一样，能把周围空气变为导电体，使验电器放电。

亨利·柏克勒尔肯定这种特性并不取决于预先的日光照射；把铀的化合物放在黑暗中很久，这种特性依然存在。他发现了后来玛丽·居里叫做放射性的现象，但是这种放射性的来源还是一个谜。

柏克勒尔发现的射线引起了居里夫妇极大的兴趣。铀化合物不断地以辐射形式发出来的这种能量——当然极小——是从哪里来的？这种辐射的性质是什么？这是极好的研究题目，极好的一篇博士论文！因为这个题目还是个未经开发的领域，对玛丽更有吸引力。柏克勒尔的著作是新的，据她所知，欧洲所有的实验室中还没有人深入研究铀射线；全部关于这个题目的书籍，只有亨利·柏克勒尔在1896年提交科学院[②]的几篇学术报告，玛丽只能以此为研究的出发点。这样大胆地去从事一种冒险，进入一个未知的领域，是令人兴奋的！

剩下的问题只是要找个地方，使玛丽能进行试验，而困难就从这里开始。比埃尔向理化学校的校长请求了好几次，得到了一个很一般的结果：玛丽可以自由使用一间在学校大楼底层装有玻璃的工作室。这是一间贮藏室和机器房，很局促，潮湿得冒水，技术设备很简陋，舒服更谈不上。

这个青年妇人并不气馁；虽没有合用的电气设备，也没有开始科学研究所需的一切材料，她仍找到了办法能在这间陋室里运用她的仪器。

这很不容易。精密仪器有许多阴险的仇敌——潮湿和温度的变化。这间小工作室的气候对于灵敏的静电计是致命的，对于玛丽的健康也颇有妨害……不过这无关紧要，是不是呢？这个女物理学家觉得太冷的时候，就在她的工作笔记本上记下摄氏温度计指明的度数，作为报复。我们在公式和数字之间，看到1898年2月6日的记载是：“温度六度二十五分。”

六度，这真是太低了！玛丽加上了十个小惊叹号，表示她的不满。

这个博士应考人第一关心的是测量铀射线的“电离能力”，即铀射线使空气变

---

① 伦琴(1845—1923)，德国著名物理学家。发现X射线。1901后获得诺贝尔物理学奖金。

② 科学院，法国最高研究机构法兰西学士院五部之一。

为导电体并使静电计放电的能力。她所使用的那种极好的方法(这种方法将成为她的试验获得成功的关键),原是她熟识的两个物理学家——比埃尔和雅克·居里——以前为研究别种现象而发明的。玛丽用的设备是由一个"电离室"、一个居里静电计和一个压电石英静电计组成。

几星期后有了初步结果:玛丽断定这种惊人的辐射的强度与检查过的化合物中铀的含量成正比;这种辐射,可以精确测量,不受化合情形或外界环境——"照度"或温度——的影响。

这些发现外行人并不觉得有什么了不起,但是对于学者们却有极大的吸引力。物理学上常有一种不可解的现象,经过几次研究之后,却可以归入以前已知的定律,这么一来研究者也就立刻失掉对它的兴趣!正如在写得不好的侦探小说中,我们在第三章就知道,那个外表凶险、很像罪犯的妇人,实际只是资产阶级中一个诚实的女子,过的是一种毫无秘密的生活,我们一定觉得失望,并且立刻就不再读下去。

玛丽的研究绝不是这样。她越深入研究铀射线,越觉得它不寻常,具有一种未知的性质,同任何东西都不相像,也不受任何东西影响。虽然它的能量很弱,却有一种特殊的"个性"。

她把这种奥秘反复思考,追求真相,同时加快步伐,不久就可以确定这种不可解的辐射是一种原子的特性。她又自问:虽然只观察到了铀有这种现象,但是没有什么理由可能证明铀是惟一能发出射线的化学元素。为什么别的物质却没有同样的能量呢?射线先在铀里发现也许是偶然的,物理学家心里就把它与铀连在一起了,现在应该在别的地方去找它。

想到了立刻就做!玛丽扔下了对于铀的研究,决定检查所有已知的化学物质;不久就有了结果。另外一种物质——钍——的化合物,也自发发出射线,与铀射线相似,强度也相似。这个青年妇人有了很清楚的观念,这种现象决不只是铀的特性,必须给它一个不同的名称。居里夫人提议把它叫做放射性。铀和钍这些有这种特殊"辐射强度"的物质,就叫做放射元素。

放射性简直迷住了这个女物理学家,她毫不疲倦地永远用同样的方法研究各种极不相同的物质。在玛丽的性格里,好奇心,妇女的非凡的好奇心,学者的第一种美德,发展到了最高度。她不限于观察盐类和氧化物这些简单化合物,她忽然想要把理化学校采集的矿物加工做成各种标本,当作消遣,用静电计随便把它们作一种海关检查。比埃尔赞成她的意见,并且帮助她挑选硬的、容易碎的、奇形怪状的矿脉碎片。

玛丽的见解很简单,像天才的偶然发现一样简单。居里夫人站在那里的十字路口,有几百个研究者曾经停留过许多月,或许多年。他们检查所有已知的化学物质之后,像玛丽一样发现了钍射线,仍继续无结果地自问这种神秘的放射性是由哪里来的。玛丽也这样自问,也觉得惊异,但是她的惊异转化为有结果的行动,她已

经用尽所有明显的可能性，现在要转向深奥的、未知的东西。

她先就知道，或者更确切地说，她以为自己知道检查矿物的结果是什么：不含铀或钍的标本，一定显得完全“不放射”；含铀或钍的，一定有放射性。

事实证明了这种预见。玛丽抛开那些不放射的矿物，专心研究其余的矿物，并且测量它们的放射性。测量中有了一个戏剧性的发现：这种放射性的强度，比通常根据其中铀或钍的含量预计的强度大很多！

这个年轻的妇人想：“这一定是试验的错误……”学者们对于出乎意料的现象的第一个反应，总是怀疑。

玛丽毫无动摇地重新开始测量，用同样的产物，重复测量了十次二十次。她不得不承认这个事实：在这些矿物中的铀和钍的含量，决不能解释她观察到的这种异乎寻常的辐射强度。

这种反常的而且过度的放射性是哪里来的？这只能有一种解释：这些矿物一定含有少量的一种比铀和钍的放射性强得多的物质。

但是，这是什么物质？玛丽在以前所作的试验中，已经检查过所有已知的元素了。

这个女学者以极伟大的心智所特有的把握和极大的勇气，回答了这个问题。她提出一个很大胆的假定：这些矿物一定含有一种放射性物质，它是今日还不知道的一种化学元素——一种新物质！

一种新物质！这是一个迷人的、引诱人的假定……不过，它仍只是一个假定而已。直到此刻，这种放射性很强的物质只在玛丽和比埃尔的想像中存在，但是它在那里很稳定地存在着！玛丽有一天用一种勉强克制着的激动的声音对布罗妮雅说：

你知道，我不能解释的那种辐射，是由一种未知的化学元素产生的……这种元素一定存在，只在去找出来就行了！我们确信它存在！我们对一些物理学家谈到过，他们都以为是试验的错误，并且劝我们谨慎。但是我深信我没有弄错！

这是一个独特生活中的独特时期。外行人对于研究者和他的发现，总有一种完全错误的浪漫观念。实际上“发现的瞬间”并不是永远存在的。学者的各种工作都是极为细致的，成功的把握不会在他的艰苦进程中像闪电那样突然闪现，以它的光芒使他眼花缭乱。玛丽站在仪器前面的时候，也许没有突然感到获得胜利之后的陶醉，这种陶醉的心情却化成了好几天的坚决工作，为一种极大希望而兴奋。但是在她费脑力进行严密推理，证实了自己是在追踪一种未知的物质之后，她把这个秘密告诉她的姐妹——她的同盟，那时候她一定是高兴极了。这两个姐妹并没有说什么表示亲爱的话；然而一定是在一种充满了回忆的狂喜中重温了等待的几年，重温了她们相互的

牺牲，重温了她们学生时代度过的充满了梦想和信心的艰苦生活。

不到四年以前，玛丽写过下面几句话：

我们任何一个人的生活都不容易，但是那有什么关系？我们应该有恒心，尤其要有自信！我们必须相信，我们既然有做某种事情的天赋，那么无论如何都必须把这种事情做成。

这种“事情”，乃是把科学送到一条没有人料到的路上去。

在一篇交给科学院的科学报告里（这是李普曼教授代送的，后来在1898年4月12日的会议的《论文汇编》上发表），“玛丽·斯可罗多夫斯卡·居里”宣布，在沥青铀矿的矿石中很可能有一种新物质，具有很强的放射性：

……两种铀矿：沥青铀矿（二氧化铀）和铜铀云母（磷酸铜和磷酸氢双氧铀）比纯铀的放射性强得多。这种事实极可注意；它使人相信，这些矿物中含有一种比铀的放射性强得多的元素……

这是镭的发现的第一阶段。

玛丽的直觉告诉她自己这种未知物质一定存在，她也已经宣布了它的存在；但是她还须打开它的秘密。现在她必须以实验证实假定，必须把这种物质分离出来，必须做到能够公布：“它在这里，我已经看见它了。”

比埃尔·居里热切地关注他妻子的实验的迅速进展，他虽然没有直接加入工作，可是时常以他的意见和劝告帮助玛丽。鉴于所得到的结果的惊人重要性，他决定暂时停止自己在结晶体方面的研究，把他的力量用来与玛丽一同找寻这种新物质。

如此，在一个紧迫的大量工作出现并且要求合作者的时候，这个女物理学家身边就有一个大物理学家出现，这个大物理学家原是她的终身伴侣。

三年前，爱情已经把这个与众不同的男子和这个与众不同的妇人结合在一起；这种爱情也许是一种神秘的预见，是合作者的正确本能。

现在奋斗的力量加了一倍，在娄蒙路的潮湿的小工作室里，有两个头脑、四只手在找寻那未知的物质。从此以后，居里夫妇的工作中就不可能辨别哪一部分是哪一个人的成绩了。我们知道，玛丽在选铀射线为论文题目时，发现了别种也有放射性的物质。我们知道，她在检查一些矿物之后，已经能够宣布有一种新的化学元素存在，它的放射性很强；我们也知道，这个结果的重要性，已经驱使比埃尔·居里中止他自己的完全不同的研究，而和他的妻子一起来离析这种元素。他们从

此——1898 年 5 月或 6 月——开始合作，持续八年，直到突然发生了一件致命的意外事件，才残酷地破坏了这种合作。

我们不能，也不应该把这八年的探寻分出某部分是玛丽的成绩，某部分是比埃尔的成绩；这是这对夫妇绝不愿意的事。我们由比埃尔·居里在此次合作之前所完成的独创性工作，已经可以认识他的个人天才。而在这次发现的最初直觉和令人震惊的开端中，我们也已看到了他妻子的天才。后来成了未亡人的居里夫人又不屈不挠地把一种新科学的重担挑起，以不断的探索研究把这种新科学一步一步地导向和谐的发展，那时她的天才又单独表现出来了。因此，我们有正式凭据证明他们两个人在这种伟大的夫妇合作中，彼此交换的力量是相等的。

这种凭据应该满足我们的好奇心和我们的钦慕。我们不必分清这一对彼此深深地爱恋着的夫妇的工作，在那些写满了公式的工作笔记本里，两个人的字迹夹杂着混在一起，他们发表的科学著作差不多都是签着两个人的名字。他们写道："我们发现……我们观察到……"有几次因为事实使他们不得不分清楚是谁的工作，他们就总是用下面的这种动人的写法：

某些含有铀和钍的矿物（沥青铀矿、铜铀云母、云母铀矿），由发出柏克勒尔射线这一点看，都是放射性很强的。在以前一篇报告中我们中之一已经指出，它们的放射性比纯铀或纯钍强得多；并且已经发表意见，认为这种结果是由于这些矿物中含有另一种少量的放射性极强的物质……（比埃尔和玛丽·居里，1898 年 7 月 18 日科学院《论文汇编》。）

居里夫妇在铀的一种矿石——沥青铀矿——里找寻这种"放射性很强的物质"，发现未经炼制的沥青铀矿的放射性，比其中所含纯二氧化铀的放射性强了四倍；但是这种矿石的成分已经精确地知道了……那么这种新元素的含量一定很少，所以一直到当时学者们还没有注意到，严密的化学分析也没有发现它！

真正的物理学家在两种可能性中，总是采取比较不甚吸引人的一种；比埃尔和玛丽就是这样，据他们的计算——"悲观的"计算——这种新物质在矿石中的含量，至多不过百分之一。他们想这是太少了……如果他们知道这种未知的放射性元素，在沥青铀矿里的含量只不过百万分之一，他们该是何等沮丧啊！

他们耐心地开始探索，用的是他们根据放射性发明的一种方法：他们先依照化学分析的普通程序，把组成沥青铀矿的各种物质分开，然后逐一测量所分开的物质的放射性。连续淘汰几次之后，他们渐渐能够看出来那种"反常的"放射性，是隐藏在这种矿石的某几部分中，他们的工作愈向前进展，探索的范围就愈缩小。这正是警察使用的方法，他们总是把一个街区中所有各家逐一搜查，以期找到罪犯的踪迹并加以逮捕。

但是，这里面不只是一个罪犯：放射性主要集中于沥青铀矿的两个化学部分里面。居里先生和夫人认为这是有两种不同的新物质存在的迹象。到1898年7月，他们已经可以宣布发现了这两种物质之一。

比埃尔对他的年轻的夫人说："你应该给'它'定一个名字！"

这个原叫斯可罗多夫斯卡小姐的物理学家，默默地想了一会儿；她的心转向那已经从世界地图上消失了的祖国，她隐隐约约地想到，这件科学大事将会在俄罗斯、德意志、奥地利——压迫者的国家——发表，于是她羞怯地回答说：

我们可否叫它"钋"[①]？

在1898年7月科学院的《论文汇编》里，我们读到下面这一段：

……我们相信我们从沥青铀矿中提取的物质，含有一种尚未受人注意的金属，它的分解特性与铋相近。如果这种新金属的存在确定了，我们提议把它定名为钋，这个字来源于我们之一的祖国的国名。

这个名称的选定可以证明，玛丽虽然已经成了一个法国人和物理学家，却并没有背弃她青年时期的热情。还有一件事也可以证明这一点：她提交科学院的文章《论沥青铀矿中所含的放射性新物质》还没有在《论文汇编》上发表之前，玛丽已经把原稿寄回祖国一份，交给她从前作初步试验的工农业博物馆的实验室主任约瑟夫·柏古斯基。差不多在巴黎发表的同时，这篇文章在华沙的一个叫做《斯维阿特罗》的画报月刊上发表了。

格拉西埃尔路那所房子里的生活没有变化。不过玛丽和比埃尔的工作比往常更忙，如此而已。夏天炎热暑到来时，玛丽抽出时间到菜市上买了几篮果子，照例用居里家所用的方法，把它们煮好，收藏到果酱罐里供冬天食用。然后她关上那对着晒焦了的树叶的窗户上的百叶窗，到奥尔良车站托运了那两辆自行车，像成千年轻的巴黎妇女一样，同丈夫、女儿一起去度假。

这对夫妇在奥佛尼的奥户租了一所农家房屋。在娄蒙路有毒的氛围中过了许多日子之后，现在呼吸了新鲜空气，真是舒服极了！居里夫妇到满特[②]、勒普[③]、克

① 钋(Polonium)这个元素的名字的词根和波兰国名的词根相同，居里夫人以此纪念她的祖国。

② 满特，法国南部城市。

③ 勒普，法国南部城市，在满特东北。

勒蒙[1]、多雷山[2]去游历。他们上山、下山，去看山洞，在河里沐浴。他们每天单独在乡下谈论他们叫做"新金属"的钋和另外尚待发现的一种。到九月，他们回到那个潮湿的工作室，又拿起那些无光泽的矿物，以新的热情继续他们的研究工作。

一件伤心的事扰乱了玛丽的工作热诚：德卢斯基夫妇快要离开巴黎了。他们决定到奥属波兰去住，在喀尔巴阡山的察科巴纳地方建立一个结核病疗养院。玛丽同布罗妮雅的分别十分悲哀。她失掉了她的朋友和保护者，第一次感觉到远离祖国的痛苦。

1898 年 12 月 2 日，玛丽写给布罗妮雅的信上说：

……你想像不到你给我留下的空虚之感。你们两个一走，除了我的丈夫和小孩之外，我对于巴黎一无系恋；而且除了我们的住房和我们工作的学校之外，现在我似乎觉得巴黎已经不存在了。

请你问问德卢斯卡老夫人，你们留给我的观叶植物是否应该浇水？每天应该浇几次？这是否需要很高的温度和充足的日光？

天气很坏，雨多泥深，不过我们都很好。伊雷娜长成了一个大孩子，她吃东西很麻烦，除了牛奶木薯糨之外，差不多任何东西都不肯按规定吃，连鸡蛋她也不喜欢。请你写信告诉我，像她这样大的孩子吃什么东西比较合适……

居里夫人在那可纪念的 1898 年中写的一些笔记，我们觉得颇有引述价值，虽然它们很平淡——也许正因为这种性质更值得引述。

下面这一段，是写在一本叫作《实惠食谱》的书的页边空白上，说明做醋栗果冻的方法：

我用八磅果子和等量的冰糖，煮沸十分钟，然后用细筛滤过。这样得到十四罐很好的果冻，不透明，可是凝结得很好。

在一本灰布封面的学校笔记本上，这个年轻的母亲每天记载小伊雷娜的体重、她的食物和乳齿的生长情况。我们看到 1898 年 7 月 20 日，即宣布发现钋之后一星期，她在本子上作了下面的记载：

伊雷娜会用手势"道谢"……她现在很会爬，她说："走哩，走哩，走。"她整天在梭镇的公园里，放在一块毯子上。她会滚，会自己站起来，会坐下去……

---

① 克勒蒙，法国中南部城市，在阿利埃河畔。

② 多雷山，在法国中南部。

8月15日在奥户的记载是：

伊雷娜长了第七颗牙，在下面左边。不用人扶，她可以站半分钟。三天以来我们在河里给她洗澡，她哭，但是今天（第四次洗澡）她不哭了，并且在水里拍手玩。

她同猫玩，大喊着追它。她不怕生人了，她常唱歌。把她放在椅子上，她就爬上桌子……

三个月后，在10月17日，玛丽骄傲地写道：

伊雷娜已经很会走路，她再不爬了。

1899年1月5日记载的是：

伊雷娜有十五颗牙了！

在两段记载之间（一段是1898年10月17日记载伊雷娜不爬了，一段是1899年1月5日记载她有十五颗牙），在果冻记载之后，还有一段值得提到的记载。

这是玛丽和比埃尔·居里，还有一个合作者G.贝蒙一同写给科学院的报告，在1898年12月26日会议的《论文汇编》上发表；这篇报告宣布沥青铀矿里有第二种放射性化学元素存在。

下面是这篇报告里面的几行：

……上述各种理由使我们相信，这种放射性的新物质里含有一种新元素，我们提议给它定名为镭。

这种放射性新物质的确含有很大一部分钡，虽然如此，它的放射性仍很可观，足见镭的放射性一定是大极了。

作者简介：艾芙·居里（Eve Curie，1904－　），居里夫妇的次女，音乐教育家和人物传记作家。

文献来源：艾芙·居里《居里夫人传》，左明彻译，林光校，商务印书馆2003年版，第二卷第十二章（第168－181页）。沿袭原有章节标题。

爱丁顿对广义相对论的验证

钱德拉塞卡

爱因斯坦1905年创立了狭义相对论原理，接下来的十年里他致力于使牛顿的引力理论与狭义相对论中的两个原理，特别是任何信号都不能以超过光速的速度传播这一原理相一致。在经历多次失败后，1915年夏秋季爱因斯坦在写给柏林科学院的一系列引人注目的短信中，达到了目标。战争仍在进行，要不是荷兰的中立以及爱因斯坦与洛仑兹(H. A. Lorentz)、埃伦菲斯特和德西特(W. de Sitter)的私交，爱因斯坦成功的消息就不可能越过英吉利海峡(更不必说大西洋了)。德西特将爱因斯坦论文的复本寄给爱丁顿，并在1916－1917年间将他自己的三篇论文送交皇家天文学会，这三篇文章部分是阐述性的，部分是他本人的贡献。现在所称的德西特宇宙，在上述三篇文章的最后一篇里作了描述。

那时爱丁顿担任皇家天文学会秘书职务，他必须对德西特的论文进行处理。从他在1917年12月的皇家天文学会会议上对德西特三篇文章最后一篇所作的说明，人们可以推测地仔细阅读了这些文章，并亲自进行了审定。

人们会记得，爱因斯坦在最后一封信中阐述了他的基本场方程，结束时还预言般地说："任何充分理解这一理论的人，都无法逃避它的魔力。"爱丁顿一定是着了魔，因为不到两年时间，他就为伦敦物理学会写出了《关于引力相对论的报告》。这是一篇情绪激昂的报告，写得清晰而又简洁，即使在今天，它仍是低年级学生的一本好的入门读物。

毫无疑问，正是爱丁顿对广义相对论的热情，成功地影响了他的亲密朋友和同事费兰克·戴逊爵士，并使这位皇家天文学会会员对广义相对论着了迷；不久，他们共同制订了一个考察计划，如果"那个时刻到来之际文明状态允许的话"(引自琼斯之语)，他们打算对1919年5月29日的日食现象进行观测。对于自己参与制订这次考察计划并取得成功一事，爱丁顿认为是"在我天文学研究中最激动人心的事件"。有

许多有趣的事情，真不知该从何谈起。请让我先谈谈爱丁顿曾给我作的说明。

记得有一次，我告诉爱丁顿说我非常钦佩他的科学敏感性：在未来显得异常暗淡的情况下，他还制订了那次远征的计划。令我吃惊的是，爱丁顿对这一评价未作任何赞许，并还告诉我，如果全由他自己决定，他决不会组织那样的考察，因为他完全相信广义相对论的正确性！他还介绍了参与这次考察的经过。这些我在《皇家学会评论和记录》上介绍过，不过请允许我再重复一下。

1917 年，战争已经进行两年多，英国制订了对所有强壮男子的征兵法令；爱丁顿时年 34 岁，合乎征兵条件，但作为热心虔诚的教友派信徒，他是一个基于道义的反战者。人们知道而且预料他会以此为理由要求延缓服兵役。第一次世界大战期间，英国国内的舆论对于那些真诚的反战者是非常不利的，事实上，与拒服兵役者结交被认为是一种社会耻辱。那个时候，剑桥的一些忠实朋友们，如约瑟夫·拉莫爵士(Joseph Larmor，拉莫进动即以他的名字命名)、纽沃尔(H. F. Newall)教授及其他一些人，试图通过内政部以使爱丁顿缓服兵役，他们提出的理由是：爱丁顿是一位著名科学家，让他在军队服役不符合英国的长远利益。英国科学家们对莫斯利(Moseley)阵亡加里波利的事记忆犹新。拉莫等人的努力差不多就要成功，内政部给爱丁顿去了一封信，他只需签上自己的名字寄回就行了。可爱丁顿在回信上加了一个附注，大意是说如果不能因为所述理由缓服兵役的话，他就以基于道义的反战来要求缓服兵役。这样的附注自然将内政部置于窘境，因为规定凡拒服兵役者必须送入军营；拉莫他们为此也非常生气。但爱丁顿告诉我说，他不明白他们生气的理由。当他表达自己意见的时候，他的许多教友派朋友正在北英格兰的军营里削马铃薯皮，他认为他没有任何理由不和他们一起。显然是由于戴逊的调停(作为皇家天文学家，他与海军军部联系密切)，爱丁顿终于延缓了兵役，他们达成明确的条件：如果战争在 1919 年 5 月前结束，爱丁顿就要率领一个考察队去验证爱因斯坦的预言！

关于这些事件已公开发表了一些略有不同的说法；不过它们仅在侧重点和较次要的情节上有所不同。好在爱丁顿本人也曾叙述了这次考察的计划和进行过程。他写道：

光线的弯曲影响太阳附近的可见恒星，因而只有在日全食期间，月亮遮住炫目的太阳光线时，才能进行观测。即使在那时，仍有大量的日冕光线在日面上延伸很远。因此，必须观测太阳附近很亮的恒星，它们才不会淹没在日冕的强烈照射之中。另外，这些恒星的位移只能相对于其他一些恒星来测量，那些恒星离太阳较远而且位移较小；我们需要一定数量的外围亮星作为参考点。

在迷信年代，自然哲学家如想进行一项重要实验，就会求助占星家确定实验的黄道吉日。今天的天文学家借助更可靠的理性，经研究后人们发现，一年中观测光线最好的日子是 5 月 29 日。理由是太阳绕着黄道的周年转动中，要穿过稀密不同

的恒星域，但只是在5月29日这一天，太阳处于一团由明亮恒星——毕宿星团的一部分——组成的特殊区域的中央，这真是理想的最佳星域。如果在历史上别的时候提出这样的问题的话，或许得等上好几千年才会在这个幸运日子发生日全食，可运气好得出奇，就在1919年5月29日发出了日食……

1917年3月，皇家天文学家（戴逊爵士）提醒人们注意这个难得的机会；皇家学会和皇家天文学会组成的一个委员会开始了观测的准备工作……

……在大战中的1918年就开始制订计划，但直到最后一刻还不能确定考察队能否出征……戴逊爵士在格林威治组织了两个考察队，一个去巴西的索布拉尔，另一个去西非的普林西比岛。克罗梅林（A. C. D. Crommelin）博士和戴维逊（C. Davidson）先生去索布拉尔，柯丁罕（E. T. Cottingham）先生及我去普林西比。仪器制造商们在停战前无法动工；同时因考察队必须在二月份起航，准备工作就相当匆忙。去巴西的那一组碰上好天气；由于一些偶然情况，他们的观测结果一直拖了好几个月才整理出来，不过最终还是提供了最具决定性的证明。我在去普林西比的那一组。发生日食那天，那里正巧赶上阴雨和多云天气，几乎没有任何希望。将近全食的时候，太阳开始发暗；我们仍然完成了工作计划，但愿情况不会太糟糕。云层一定是在全食结束前变薄了，因为尽管有许多照片报废，我们还是得到两张底片，上面有我们所期望的恒星图像。将这些照片与对同样星域在太阳处于别处时拍下的照片作比较，两者之间的差别就表明，恒星由于光线经过太阳附近发生弯曲而造成表现位移。

当时我们面临的情况，存在三种可能性：或许根本不存在什么偏移，也就是说光线不受引力的影响；或许存在“半偏移”，正如牛顿所言，光受重力的影响，遵从简单的牛顿定律；或许存在“全偏移”，从而证实了爱因斯坦定律而非牛顿定律。我记得戴逊将所有这些解释给我的同事柯丁罕听以后，将主要思想总结为偏差越大，就越是激动人心。柯丁罕问：“如果我们得到双倍偏移，那到底意味着什么？”“那么，”戴逊回答说，“爱丁顿就会发疯，你只得孤身一人回去。”

事先就安排当场对底片进行测量，这倒不全是因为急不可待，而是担心回家途中发生什么意外，所以我们立即检查了一张成功的底片。天文测量中所得到的数值与理论预言的一样大，所以一张底片几乎就可决定问题的结果，尽管肯定还会通过其他的底片来加以证实。日食三天之后，计算最终完成，我知道爱因斯坦理论经受住了考验，科学思想的新观点取得了胜利。柯丁罕用不着孤身一人回家。

1919年11月6日，皇家学会主席汤姆逊爵士（J. J. Thomson）主持了皇家学会和皇家天文学会联合会议，会上报告了这次考察的科学结果。这次会议引起了少有的关注，我清楚记得卢瑟福有一次回忆起这次会议受关注的情况。

1933年圣诞假期间，在三一大厅举行的餐会之后，我与卢瑟福、爱丁顿、帕特里克·杜瓦尔（Patrick Duval，著名几何学家）以及阿莫斯爵士（Maurice Amos，1920年

代曾任埃及政府高级司法顾问)围坐在教员休息室的火炉旁交谈着。谈话中间,阿莫斯有一次转身朝向卢瑟福说:“我不明白为什么爱因斯坦会比你赢得更高的赞誉,毕竟是你发明了原子的核模型;并且这一模型给今天物理科学的一切奠定了基础,它的应用甚至比牛顿的引力定律更普遍。还有,爱因斯坦的预言与牛顿理论的差别微乎其微,我不明白所有这些纷纷扬扬的小题大作到底是为什么。”听罢这席话,卢瑟福转向爱丁顿说:“你对爱因斯坦的名望负有责任。”他态度严肃地说:

战争已经结束,维多利亚和爱德华时代的自满已被粉碎。人们觉得一切价值和理想都迷失了方向。突然间,他们得知一位德国科学家提出的一个天文学预言被英国天文学家们证实,这些英国科学家特意去巴西和西非进行了考察,并且还在战争期间就对这次考察作了准备。天文学从来就吸引着大众的想像力;一项天文学发现,超越了世俗的冲突,拨响了人们敏感的心弦。在皇家学会的会议上报告这次英国考察队的结果,这在所有的英国报刊上都成了标题新闻,宣传的飓风跨过了大西洋。从此以后,美国新闻界把爱因斯坦捧上了天。

结束这一节报告之际,我想引述琼斯向戴逊颁发皇家天文学会金质奖章时说过的一段话:

1918 年,战争中最黑暗的日子里,格林威治天文台和剑桥大学分别组织考察队,打算对 1919 年 5 月的日食进行观测,如果那个时刻到来之际文明状态允许的话。这是对爱因斯坦广义相对论的决定性考验。1918 年 11 月签署停战协定后不久,考察队出发了,并且后来带回的结果彻底改变了天文学家关于引力本质的概念以及普通人关于自己生活在其中的宇宙的本质概念。如果这种成功的荣誉必须在戴逊爵士和爱丁顿教授之间分开的话,坦率地讲,我真不知道该以什么比例作出分配。依我之见,与其说是平分荣誉,不如将全部荣誉归于每个人,因为如果他们中的任何人没有发挥作用,或者是缺乏洞察力、热心,或者缺乏把握时机的本领,我怀疑这次考察还能否完成,最早通过观测确定时间和空间到底为何物这一伟大的荣誉,很可能落入他人之手。

我想对这件事作些补充。

戴逊和爱丁顿将他们考察结果的报告讲完后,汤姆逊从会议主持人角度作了如下评述:

事实上,牛顿在其《光学》中的第一个问题提出了这一点,根据他的假定本可以得出现有光弯曲数值的一个半值来。但是,这次测出的这个结果并不是孤立的,它

是科学思想整体的一部分，影响着物理学最基本的概念……它是牛顿时代以来引力理论方面得到的最重要的结果，因而应当在和牛顿密切相关的皇家学会的会议上宣布，这样做是十分恰当的……

如果爱因斯坦的理论是对的，我们对引力就得采取一种全新的观点。如果能够证实爱因斯坦推理的正确性——它已经经受了与水星近日点和现在这次日食有关的两次严峻考验——那么他就是人类思想一项最高成就。这一理论的弱点在于表述上的巨大困难。无论是谁，如果对不变量理论和变量微积分学缺乏透彻的了解，就不可能理解新的引力理论。

正如汤姆逊提到的，广义相对论理解上的“困难”当时并且以后很长一段时间一直也是公认的看法。确实，不久就有“世界上只有三个人懂广义相对论”的神话。事实上这一神话就产生于这同一次会议。

爱丁顿（在我前面提到的那次三一学院餐后谈话中）回忆起，就在皇家学会和皇家天文学会联合会议散会时，希尔伯斯坦（Ludwig Silberstein）走到他跟前说：“爱丁顿教授，您一定是世界上三个懂广义相对论的人之一。”正当爱丁顿对这一说法犹豫不决时，希尔伯斯坦又说：“不要谦虚，爱丁顿先生。”结果，爱丁顿回答说：“正好相反，我在考虑第三个人会是谁。”

我想顺便说一下，人们极大地夸张了理解广义相对论的这种公认的困难，这促成几十年来这一学科的停滞。许多在 60 和 70 年代取得的进展，本可以在二三十年代很容易地得到。

爱丁顿很喜欢重复戴逊对柯丁罕说的话：“爱丁顿就会发疯，你只得孤身一人回去。”在 1932 年 1 月的一次皇家天文学会会议上，当佛伦里奇（Finlay Freundlich）报告说他的日食观测结果给出的光偏移值远远大于爱因斯坦预言值时，爱丁顿重复了戴逊的话，气势咄咄逼人！但里克天文台在 1923 年 4 月的皇家天文学会会议上报告他们 1922 年的观测得出了一致的结果时，爱丁顿作了如下评论：

我想是《怪兽搜捕记》中的贝尔曼订下“事说三遍即为真”的规矩。现在恒星已经对三支独立的考察队重复三次，所以我确信结果是对的。

作者简介：S. 钱德拉塞卡（Subrahmanyan Chandrasekhar，1911－1995），美籍印度天体物理学家，因对白矮星的研究而获 1983 年诺贝尔物理学奖。

文献来源：钱德拉塞卡《莎士比亚、牛顿和贝多芬——不同的创造模式》，杨建邺、王晓明等译，湖南科学技术出版社 1996 年版，第六章第二节（第 120－128 页）。标题为编者所加。

回忆激动人心的年代

狄拉克

我很高兴到瓦伦纳来参加这个暑假讨论班。在这里我学到了很多东西，不仅从各个不同的学术报告中获知了科学史中种种独特的事实，而且还学会了重视科学史家的观点。那确实同从事研究工作的物理学家的观点迥然不同。搞研究工作的物理学家，如果有所发现，那么他关心的是站在他取得的新的有利地位上，全面审视他面临的领域。他的问题是，我们将从这里走向何处？这一新发现有什么用？它在阐明目前尚存在的问题时有多大效力？我们现在面临的主要问题是什么？

他宁愿忘记掉他如何获得这个发现的道路。他曾沿着崎岖的小道前进，跟踪过种种错的足迹，现在他不愿再想起这些了。也许他对自己花了这么长时间而感到有点惭愧，有点悔恨。他对自己说，沿着这条特殊的小路我浪费了多少时间呀！可我本应一眼就看出此路不通。一旦有了发现，它往往显得是那么明显以致人们奇怪为什么以前会没有人想到它。有了这种想法，人们就不愿意记住导致这一发现的全部工作了。

而这恰恰与科学史家的要求相反。科学史家想知道各种有效的影响，各种中间步骤，他甚至会对错误的道路感兴趣。这些是完全对立的观点。我一生大部分时间都持有做研究工作的物理学家的观点，这也就包括着，尽可能快地忘记各种中间步骤。

然而，由于理解了科学史家所关心的东西，我曾努力把往事仔细地想了一想，并尽力回忆五十年前发生的种种事情。我试图指出那些影响，我的各位老师和我受到的训练对我的影响，以便看出这些事情如何使我有了后来所遵循的那种工作风格。

我已把《回忆激动人心的年代》作为标题提出来了。而这一年代则应从 1919 年开始算起。那时，发生了一件惊人的事件。这就是相对论突然问世，带来了巨大的影响。突然间，每个人都谈起相对论来，各家报纸都满载相对论。杂志上也登着

各界人士撰写的关于相对论的文章，这些文章并不全是赞同相对论的，其中也有反对它的。相对论是被人们在非常广泛的意义上加以理解的，它为哲学家和各界人士所接受。

要看出产生这个巨大影响的原因很容易。我们刚刚经历过一场可怕的、十分严酷的战争。这多少也是一场相当无聊的战争。除了那些我们曾经不断获悉的重大伤亡以外，战争的全貌并没有多大变化。前线的位置由于各种不同的进攻而有极微的变化，可能只是前进几百米或撤退几百米，如此而已。

后来，这场可怕的战争结束得相当突然。结果是每个人都十分厌倦这场战争。每个人都想忘记它。那时，相对论作为一种通向新的思想境地的奇妙的想法出现了。这是对战争的一种逃脱。我认为以相对论所产生的影响，不论过去或未来，任何一种扣人心弦的科学思想都是无法与之匹敌的。

相对论的这种影响同时包括狭义相对论和广义相对论在内。当时，从 1905 年算起，狭义相对论实际上已经很老了，但是除了大学里少数几个专家外，没有什么人懂得它。普通老百姓从来没听说过爱因斯坦。突然之间，爱因斯坦被每个人挂在嘴上。爱因斯坦在外国，还是一个关系相当疏远的人物。一个现实得多的人是爱丁顿。他在当时的英国是相对论的领导人。他是一个大权威，每个人都极其尊敬地听从他的意见，更确切地说，他被视为相对论的主要倡导人。而爱因斯坦则处在遥远的幕后。

那时，我是布里斯托大学的一个工科学生，当然，我也被卷进这种由相对论引起的激动人心的浪潮中。我们大家对此谈论得很多。学生们彼此讨论相对论，但极少有什么精确知识可以把讨论继续下去。相对论曾经是每个人都觉得自己有资格以一般的哲学方式写文章讨论的主题。哲学家们只是提出了每一事物都必须相对于其他事物来加以考虑的观点，他们倒声称自己一贯懂得相对论。

你们从霍尔顿的讲演中可以得到一个样本，说明那时形形色色讨论相对论的文章像什么样。他实际上是宣读了奥立弗·劳杰爵士某些作品的摘录。奥立弗·劳杰爵士对相对论十分挑剔。但你们看是不是，用那样的笔调写出来的文章不会有说得很准确的东西，所以，我们这些工科学生卷入的一场讨论谈的是一个我们很少有什么过硬的论据的问题。

听了白劳特一系列的讲演之后，我才首次获得有关相对论的确切知识。那时，白劳特是一个从哲学观点看问题的哲学家。他当时是布里斯托大学的哲学讲师，后来成为剑桥大学教授。几年前才去世。他从哲学观点上讨论相对论，做了十次或二十次学术报告。开始时有几个工科学生听他的课，但他们后来不再来了。我一直坚持到是最后。我竭力想搞懂哲学。这些和我在一起的工科学生有一种很实际的观点，他们说这些哲学问题对一个工程师说来是毫无用处的，所以他们不再来听讲了。然而，我则认为哲学中可能会有某些道理，并且尽力去理解这位哲学家的

观点。我也曾读过一点哲学。我还读完了弥尔关于逻辑学的书。

不过，我试图领悟哲学的努力并不十分成功。那时我感到哲学家所说的一切都是相当不确定的，最后我还得出结论：我并不认为哲学对物理学的进展会有任何贡献。我并不是一下子就有这种看法的，只是在经过许多思考，并且研究了哲学家的议论，特别是白劳特的议论之后才得出这种看法的。

从白劳特那里我不仅听到了这位哲学家的一般见解，而且还得到了一些有关狭义相对论及广义相对论的精确知识。我记得（我想这是在第二次或第三次讲演时）他在黑板上写了一个公式：

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$$

当我看到那个负号时，它对我产生了巨大的影响。我立刻看出这里有某种新东西。早先，在我还是个学童时，我就对时间和空间的关系极感兴趣，也许我可以用这一事实来解释这种巨大影响的原因。我对这些时空关系曾想过很多，时间很像另一个维度，对我来说，这已经是显而易见的了。我想到了有这样的可能，就是，时间和空间之间也许存在有某种联系，我们应该从一般的思维的观点来考虑它们。

然而，当时我所知道的几何学只有欧几里得几何。如果空间和时间可以以任何方式结合起来的话，那就必须在这里用一个加号把它们结合在一起，但显而易见，那是不行的，并且只要有人试图在他的时间轴上作出任何大的改变，就立即会导致荒唐的结果。

在这个问题上，也许我能够说明我为什么总是对几何学极感兴趣。这是使人着迷的数学分支。你们可以把全部数学家分成两类，一类数学家的主要兴趣是几何学，一类主要兴趣在代数学，这种分成两类的办法在很大程度上也是一种种族上的分类法。受过欧洲教育训练的，具有欧洲经历的人，继承着古希腊学派的传统，倾向于对几何学感兴趣。那些主要兴趣在于代数学的人多半是亚洲人，他们继承着阿拉伯人发现代数学的传统。

一个好的数学家必须是精通几何学和代数学的能手，他必须能够按照所处理的问题的性质相当自由地从这种数学转到那种数学。但他还是会常常对一种思想有所偏爱，我就强烈地偏爱几何学这方面，而且一向如此。

这样，白劳特在黑板上写的那个公式使我对几何学有了新的想法。我记得，以前，当我上中学的时候，我的一位数学老师曾经对我说，我可能会对非欧几何很感兴趣，并且提出了这方面我该读的书籍。可是，我那时对此并不感兴趣，其原因是我对现实的物理世界感兴趣，而在我看来，现实的物理世界的基础显然是在于欧几里得几何。因此没有必要考虑任何别的几何学。对于仅从逻辑上的发展，或者是，从不同的一组公理出发，考察可能得到的结果，我都不感兴趣。这也是我终生保持着的一种倾向。我感到兴趣的是现实的物理世界，而不是单纯的逻辑问题。这种对现实的物理世界的兴趣无疑正是我受的工程教育所支持的。

当我从白劳特写在黑板上的公式得到了这个新见解，我立刻就能自己描绘出狭义相对论的基本关系。

我修完了我的工科课程，我很想试图说明这种工程教育对我的影响。我并没有进一步在细节上应用这项成果，但它确实在很大程度上改变了我的整个观点。原先，我只对精确的方程有兴趣。在我看来，如果谁要是用近似法来工作，那么在他的工作中就有不可容忍的丑陋。我非常想保持数学的优美。然而，我接受的工程教育教我容忍近似值，我还能看到，甚至以近似法为基础的理论，它们有时也会有相当多的美。像绕电动机转子中的线卷这样的问题就涉及一些数学。这是关于整数的数学，但其中就有相当多的美。

这是观点上的一种全面变化，也许还有由相对论引起的观点上的另一种变化。我过去的出发点是，相信存在着一些严格的自然定律，我们所必须做的一切工作则是求出这些严格的定律的结果。典型的严格的定律曾经是牛顿运动定律。现在我们弄懂了，牛顿运动定律并不严格，只是一些近似而已，我开始由此作出推论，也许所有的自然定律都仅仅是近似而已。那时我已作好准备把我们的全部方程都看成仅仅表现我们现在知识状态的近似，并且把力图改进它们作为一项任务。

我想，如果我没有受过这种工程教育，在我后来从事的那种工作上就必定不会取得任何成果，因为实际上必须摆脱那种观点，即认为只应当处理精确的方程，只应当处理那些逻辑上能从我们已接受并绝对信任的已知的严格的定律推导出来的结果。工程师所关心的只是要想获得对描述自然界有用的方程。他们不大过问如何得到这些方程。一旦他们得到了这些方程，他们就开始用他们的计算尺来计算它们，获得对他们的工作来说是必要的结果。

那当然使我认为这种观点确实是最好的观点。我们想要描述自然界。我们想要找到可以描述自然界的方程，而我们可能期望的最好的方程通常是近似方程，我们必须安于缺乏严密的逻辑，并把自己局限于力求得到那些在描述自然界实际上很成功的方程。

学完了工学院课程之后，我在布里斯托大学又进修了两年数学。在此数学训练期间，对我影响最大的是弗雷塞。他是一个从未作过任何研究，从未发表过什么论文的数学家，但却是一个了不起的教师。他能够激起他的学生对地数学基本观念的真正的热情。除了在他死时霍杰为他撰写一篇讣告(发表在《伦敦数学学会杂志》1959 年 34.111)之外，我想，现在他是湮没无闻的。霍杰称颂他是一个真正伟大的教师。

我从弗雷塞那里学了两样东西。一是严密的数学。以前我一直只用工程师所满意的那种不严密的数学。工程师只想得到实际的结果。他们不关心严格的极限定义，或者级数加起来有多长等等诸如此类的问题。弗雷塞教导说，处理这类问题有时必须有严格的逻辑观念。

然而，在我后来的工作中，我继续使用的主要是工程师用的不严密的数学。我想，你们会发现我后来的著作大部分涉及不严密的数学。当我引进一个函数时，我不会停下来说它是否连续或可微，或者写下一位纯粹数学家在对这个函数可作出任何陈述之前所要求的其他所有的条件。我只是采取这样的观点，这种函数是物理学家感兴趣的。

然而，这种不严密的数学并不总是有效的。有几次，我曾止步不前，因为需要考虑更加精确的定义，考虑不严密的数学使人陷入的错误的可能来源。

我向弗雷塞学到的第二件东西是投影几何。因为投影几何中有数学美，它对我就有一种深远的影响。它所采用的方法也十分有效。我想，也许大多数物理学家都很少懂得投影几何，那是他们的教育中的一个缺点。投影几何处理的总是平直空间，但它是处理平直空间的一种最有力的工具，它提供一些方法，比如一一对应的方法，这些方法显得很巧妙地给出各种结果；当你运用投影几何的论据时，长期以来使你大伤脑筋的欧几里得几何中的定理就可用最简单的可能的方法得出。

当时，我对数学美深感兴趣，把投影几何介绍给我，对我鼓励很大，可以说，它使我终身受益。

你们也许会认为投影几何对物理学家来说是不大重要的，其实不然。今天的物理学家很关心闵可夫斯基空间。如果你要描绘闵可夫斯基空间中的关系，描绘矢量和张量之间的关系，最好的办法通常是利用投影几何的概念。在我的研究工作中，我一直运用投影几何的观念。如果你要想发现一个特定的量在洛仑兹变换下是怎样变换的，那么处理这个问题经常用的最好的办法是从投影几何的观点出发。

这是最有用的研究工具，但在已出版的我的著作中我却没有提到它。我想，我之所以从来没有在我已出版的著作中提到过投影几何（但我不敢确信这一点），乃是因为我觉得大多数物理学家并不熟悉它。如果我获得了一个特定的结果，我就把它翻译成解析的形式，并用方程来写下这个论据。那种论据是任何一个物理学家都能理解的，即使他不具有这种特殊训练。

然而，为了作研究，当我们进入一个新的领域而不知面前存在着什么的时候，我们就很想把要研究的东西形象化，对此，投影几何的确提供了最好的工具。

这也适用于我后来的旋量工作。我们必须处理一种完全崭新的量，而讨论旋量之间的关系，投影几何的观念也是很有用的。

在布里斯托我花了两年时间学数学，然后到剑桥大学当研究生。剑桥的研究生每人都配备一个学监，学监必须检查研究生的工作，向他们提出问题，并且一般说来，对他们的工作感到兴趣，帮助他们进行工作。

我的学监是 R. H. 福勒，他是另一个对我影响很大的人。指定福勒为我的学监，起初我感到有点儿失望。其原因是，我的主要兴趣是在几何学方面，特别是在

相对论上，而福勒却并不关心相对论。那时康宁安也在剑桥，他是研究狭义相对论的专家。1910 年他就写了这方面的书。但是他不想接受研究生，所以把我交给了福勒。

不久我就发现我原先感到的这种失望阴影是完全没有道理的。福勒向我介绍一个十分有趣的新领域，这就是卢瑟福、玻尔和索末菲的原子（理论）。在此之前，我从未听说过玻尔理论。这下真使人大开眼界。看到人们能够在原子中运用经典电动力学的方程，我感到十分惊奇。我过去一直认为原子完全是假设的东西，而今竟有人实际上在研究有关原子结构的方程了。

我很快就投入最引人注意的那些关于原子的解释问题。其中最深奥的问题是，为什么电子轨道是稳定的？根据经典力学电子应该掉进核中，为什么竟不掉呢？

我开始冥思苦想考虑这些问题，说实在，我把所有的时间都用在这类工作以及其他数学工作上了。

我继续对相对论持有很大的兴趣。我研究了爱丁顿的经典著作《相对论的数学原理》，起初，觉得它相当棘手，但我最后还是掌握了它。实际上有爱丁顿在身边我感到非常高兴，有时我拜见他，同他就运动学的速度和动力学的速度问题作一些讨论，这些讨论的结果使我写出一篇短文章发表在《哲学杂志》上。遇到这位英国相对论鼻祖对我说来真是件可喜的幸事。至于爱因斯坦那是太遥远了。

当时是剑桥大学几何学教授的贝克向我提供了另一个数学活动范围。我未曾去听贝克讲课。我去听了康宁安和福勒的课，而我对几何学则不太关心，所以没有去听见克的讲课，可是每星期六下午，贝克都要举行一次茶会，我也得到邀请，茶会结束时，有人会就几何学的某个问题发表一通议论。所谈的经常是平直空间的几何学，而且总是用投影几何的方法来进行处理的。那时每个人都认为投影几何是惟一值得研究的几何学。它比局限于欧几里得的公理的几何学要有效得多。他们常常引进维数超过三、四、五或六的高维空间，并且研究在这些维数较多的空间中能够构造出来的各种图形。他们的这些方法的威力给了我很深的印象。通过研究这些高维空间中的图形，人们常常能够迅速证明通常三维欧几里得空间中的结论，这些结论要用别的方法来得到，则是十分冗长乏味的。

这些茶会大大激起了我对数学美的兴趣。在这里最重要的事就是努力用优美的形式来表达这些关系，它们是很成功的。我在投影几何方面作过一些工作，有一次茶会上我也谈了谈。这是我生平所作的第一次学术报告，因此我当然记得很清楚。我论述了处理这些投影问题的一种新方法。

以上这些是我所受的影响，它们构成我的知识背景。我有效地生活在原子理论发展的世界中心，得益匪浅。我应该说，玻尔一生始对卢瑟福很友好。他不断地到剑桥来给我们作学术报告。福勒也常去哥本哈根了解最新的情况，当然也把情

况不断地告诉我。事实上，1925 年冬天，福勒在哥本哈根度过了三个月。

我也有幸听到卡文迪希的工作人员谈他们的实验工作。他们是卢瑟福、阿斯顿、威尔逊等等。我学会领悟实验物理学家的问题中的一些道理。

我很乐意谈谈玻尔到剑桥来讲学的事情。他深刻的思想作风给每个人都留下了强烈的印象。他演讲总是要从头开始，从他那能说明巴尔末公式的工作讲起，然后在那个基础上发挥他的思想。他讲得很慢，当然，他得花好多时间才能谈到更加新近的见解，而这却是他讲课的目标。结果他的演讲通常要持续两个小时甚至更长一些时间，但每个人都聚精会神地倾听着，人们被玻尔的发言完全迷住了。

当然，必须全神贯注地听讲，因为他的声很轻，而当时还没有扩音器可用。人们只有竖起耳朵来听，才能明白他在讲什么。

尽管玻尔讲的内容给我的印象非常之深，但他的论点主要是带有定性的性质，而我还不能确实指明在这些论点背后的事实。我所要求的是能用方程来表示的说明，而玻尔的工作很少提供这种说明。我实在不能确定玻尔的这些演讲对我后来的工作有多大影响。这是我不能回答的问题。他当然不曾有直接的影响，因为他并未鼓励人去考虑新的方程。

那时，我还只是个研究生，除了搞研究工作以外别的什么责任都没有，我集中自己的全部精力来更好地理解当时物理学所面临的问题。同目前大多数学生一样，我对政治一点也不感兴趣，我完全投身于科学工作之中，日复一日，从不中辍，只有星期天我才轻松一下，如果天气好，我就独自一人到乡下去走走。目的是在一周的紧张学习之后休息一下，也许还想要得到一个新的看法去研究下星期一的问题。但是这些散步的主要目的是休息，就是有问题我也会把它们置诸脑后，有意识地不予捡起。

那就是我曾经过的那种生活。生活中时时有激动人心的东西产生，玻尔-克拉默斯-斯莱特理论振奋人心。它提出了一种新的见解，在我看来这是非常合理的见解。有玻尔在后面支持，我想它肯定是值得考虑的理论。它意味着细节上放弃能量守恒，我并不太在乎这一点，因为能量守恒只不过是在统计上得到了证明。这里有一条路似乎可以摆脱一些理解辐射问题的基本困难。辐射以波的形式连续地被发射，而又以量子的形式突然地被吸收。这是一种人们以前从来没有想到过的图像，但它却解释了一切当时可以得到的实验证据。

我们对玻尔-克拉默斯-斯莱特理论的满意心情没有维持多久，因不为到一年，盖革和玻特就做了 X 射线被电子散射的精确实验，证实了能量守恒在细节上成立。所以那只是一个转眼即逝的兴趣。

我可以提一下，玻尔-克拉默斯-斯莱特的想法在 1936 年被香克兰复活了。他用 γ 射线代替 X 射线做了盖革-玻特实验，他报道说，在 γ 射线的情况下，不存在细节上的能量守恒。

那时我极其尊重实验工作者，当他们深信不疑地断言某些东西时，我倾向相信他们。我宁愿接受香克兰的观点。我试图考虑为何在高能情况下能量守恒就失败了，即使它在低能时是成立的。我对此甚感兴趣，还为《自然》杂志写了一篇文章。

但是不出一年，香克兰又重复做了他的实验，并报告说，他以前的结果是不精确的，存在着细节上的能量守恒。所以我们又回到了有精确的能量守恒的严谨的量子理论。

另一个早期思想是德布罗意提出的。他曾提出一种把粒子与波联系起来的理论。这是一种很美妙的理论，因为这种联系是相对论性的。这种美立即打动了我。这种联系是这样的，当你让粒子的静质量趋于零时，你就得到光量子和电磁波之间的关系式。

虽然我非常欣赏德布罗意工作成果的美，但我不能认真接受德布罗意波。我深深地沉没在玻尔理论中，我完全从字面上领会玻尔轨道——我们把电子认作是实际的粒子，而德布罗意波在我看来似乎对于物理学家说来只是一种无足轻重的数学虚构。

当然，我的这种观点是很错误的。薛定谔也读了德布罗意的著作。他有不同的见解。他也受过不同的训练。他受过一种包含许多本征值和本征矢量的教育训练，而我在这方面却毫无所知。薛定谔用他的不同的见解是能够发挥德布罗意的思想并获得光辉成果的。他能够把德布罗意的那种仅适用于自由粒子的原始观念推广到在电磁场中运动的粒子上，而这就导致波动力学。

唉，这是我大错特错的一个例子。

你们可能很想知道在我要解决物理问题时，我本人做些什么样的工作？我非常关心弄懂哈密顿动力学。我读了索末菲的《原子结构和谱线》这本书。当时已有英译本可看是很幸运的，因为那时我德语并不十分流畅。该书为取得原子理论的实际工作知识奠定了基础。索末菲的这本书中有一个附录讨论哈密顿动力学及其量子论中的应用。我非常仔细地研究了其中的哈密顿理论，又读了另外一些有关哈密顿动力学的著作。我熟读了与哈密顿动力学有关的高等变换理论，开始通晓，至少也可以说，开始了解了这个理论的一般概念。

剑桥大学的学生中有许多讨论科学问题的集会，其中有一个就是卡皮查俱乐部。卡皮查是一个出生于俄国的年轻物理学家。他很有才能，卢瑟福很赏识他的才华，帮助把他安置在剑桥。卡皮查本人也有一种好动的个性，他建立了一个物理学家俱乐部，有搞理论的，也有搞实验的。当有人要宣读关于物理学新近发展的论文时，我们就在星期二晚餐后聚会。因为晚餐后我总是很困，这时间对我说来实在很不方便。我多半是在早上做工作，我相信早上是一个人脑力最好的时候，而一接近黄昏，我就有点迟钝，特别是在晚餐之后。我并不处于最好的精神状态去接受新知识。但是参加卡皮查俱乐部的这些会议仍是非常值得的。

1925年夏天，海森伯来到剑桥，给卡皮查俱乐部作了一次报告，他讲的主要题目是《塞曼效应中的反常现象》大部分内容我听懂了。可是快结束时他谈了一些他自己的新想法。当时我实在太疲倦了，未能理解他所说的话，我甚至根本没有听进去。他讲到他的这种新力学观念的起源。但我完全没有意识到他其实是在介绍一些非常有革命性的内容。后来我完全忘记了关于他的新理论他曾讲过什么话。我甚至觉得相当可信的是他根本没有讲过这方面的话，但是出席卡皮查俱乐部这次会议的其他人向我保证他曾经讲过。特别是福勒非常肯定这一点，那我只好承认他事实上的确讲过了，而我对它却一点反应也没有，这样我就失去了一个从此开始入手的大好机会。

不久之后我真的从海森伯的新理论入手工作。8月下旬，我回到布里斯托与我双亲一起度过部分假期。那时，海森伯寄给福勒一份他论述新力学的第一篇论文的样本。福勒把它转送给我，并问道："你对此有何想法？"

8月底或9月初我收到这份样本，日期我现在记不准了，但我无疑是看过了。起初它给我的印象并不很深。我觉得它好像太复杂。我确实没有看出它的要点，特别是他那量子条件的推导对我来说太牵强附会了，所以我把它作为无关紧要的东西搁置一边。但是一星期或十天之后，我又回过头来看海森伯的这篇论文，而且较为仔细地研究了它。那时，我突然意识到，它确实为通盘解决我们关切的各种困难提供了钥匙。

我以前的工作全都是研究个别的状态。如果你们想知道我过去做过工作中的错误路径，其中之一就是我曾审查过行星摄动的哈密顿理论，并想知道这一理论能否应用到玻尔原子中各个电子间的相互作用上去。这一工作使我精通了哈密顿的方法，但它当然不会有什么结果。

海森伯提出了这个崭新的观念：我们必须考虑与两个定态而不是一个定态联系在一起的量。

我想我最好就讲到这里，以后再继续讲吧。

作者简介：狄拉克(Paul Adrien Maurice Dirac，1902－1984)，英国物理学家，因在发展相对论的量子力学方面的贡献而获1933年诺贝尔物理学奖，他从理论上预言了正电子的存在。

文献来源：《科学与哲学》1981年第6－7期，狄拉克《回忆激动人心的年代》(第155－170页)一文由曹南燕译，钟烈校。沿袭原有标题。

双螺旋之发现

沃　森

快到4点了，莫利斯正在忙着，我走了进去，告诉他鲍林的模型从根本上错了。于是，我穿过走廊走向罗西的实验室，希望她在。实验室的门虚掩着，我推开门走了进去，看见她伏在一个发光的箱子上，正在测量放在上面的一张X射线照片。我进来时吓了她一跳，她马上镇定下来，直盯着我，她的眼神在告诉我，我这个不速之客应该礼貌地先敲一下门。

我连忙说莫利斯正忙着，没等她嘲讽，我马上问她愿不愿看看彼得的那份鲍林手稿。虽然我还不知道罗西要花多少时间才能发现其中的错误，但她却没有回应我。于是，我便立刻告诉她鲍林的模型错在哪儿。在向她讲述的过程中，我不禁讲起鲍林的三链螺旋同我和弗朗西斯一年零三个月之前给她看的那个模型很相似。鲍林关于对称的推论并不比我们一年前的努力高明多少，我想这一事实会引起她的注意。相反，由于我一再提起螺旋结构，她便显得愈加恼火。她毫不客气地指出，无论是鲍林或其他什么人，都没有任何根据认为DNA是螺旋结构。我对她算是白讲了，因为当我刚一提到螺旋，她就认定鲍林错了。

我打断了她的滔滔不绝，提出任何有规律的聚合分子最简单的形式就是螺旋状。我知道她可能会以DNA的碱基顺序就没有规律来反驳，所以我继续强调，因为DNA分子形成晶体，所以核苷酸顺序不会影响DNA的基本结构。这时，罗西已按捺不住她的怒火，大声告诉我如果我能够停止高谈阔论而去看一下她的X射线照片的证据，显然就会发现我的观点是愚蠢的。

我比她还了解她的那些资料。因为早在几个月之前，莫利斯就将她的所谓"反螺旋"结果的实质告诉了我。因为弗朗西斯曾明确地对我说过，那些结果毫无意义，于是，我决定使她暴怒。我毫不迟疑地向她指出，她根本没有能力解释她的X射线照片。如果她能学习一些理论，她就会明白，她设想的那些"反螺旋"特性，只不过是由于规则的DNA在形成晶格过程中发生微小变形的产物。

突然，罗西从那张把我们分开的工作台后面冲着我走了过来。我怕她在气头上会打我，于是赶快抓起鲍林的手稿，急忙退到门口，正巧遇到探头进来找我的莫利斯。当莫利斯和罗西透过我懒散的身子相互看一眼时，我支支吾吾地对莫利斯说，我和罗西的谈话已经结束，我正要去茶室找他。与此同时，我从他们俩当中溜了出来，让莫利斯和罗西面对面地站在那里。而后，看着莫利斯无法立刻脱身，我真担心莫利斯会出于礼貌邀请罗西和我们一块喝茶。可是罗西却转过身子，砰的一声关上了门，这下莫利斯倒好办了。

我边走边告诉莫利斯，由于他的不期而至，使我免遭了罗西的袭击。他缓慢地告诉我，有可能发生这样的事。几个月前，罗西也同样对他发过一次脾气。那次，他们在他的房间里辩论时，差点动起手来。当他想逃时，罗西堵住了门口，直到最后才放了他。但是，那次可没有第三人在场。

与罗西的这次接触使我对莫利斯有了进一步的了解。现在，我可以很容易地设想到他在过去两年里精神上所受的折磨，他现在完全可以把我当成一个亲密伙伴，而不是那种如果过分信任就会带来痛苦误解的人。令我吃惊的是，他向我透露，他在助手威尔逊的协助下，一直在悄悄地重复着罗西和戈斯林的某些X射线工作。这样，莫利斯研究工作也可以很快有所收获。重要的是，秘密被泄露了：因为自仲夏以来，罗西就已经证实DNA具有一个新的三维构型。当DNA分子被大量水包围时就会出现这种构型。当我问及这种结构究竟是什么样子时，莫利斯便从隔壁房间里拿出一张称为"B型"的照片副本给我看。

我一看照片，立刻目瞪口呆，心跳也加快了。无疑，这种图像比以前得到的("A型")要简单得多。而且，照片上的那种醒目的交叉形黑色反射线条说明只能是螺旋结构。根据"A型"还不能直接提出螺旋结构的观点，而且，也无法说清存在的究竟是哪一种螺旋对称。不过，只要略微看一下"B型"的X射线照片，就能发现到不少重要的螺旋参数。可以想像，只要简单计算一下，就能确定分子内多核苷酸链的数目了。我追问莫利斯，他们利用"B型"照片做过什么工作，他告诉我，他的同事R. D. B. 弗雷泽很早就一直在认真地研究三条链的模型，但迄今尚未取得令人激动的成果。虽然莫利斯承认有关螺旋的证据现在显然符合斯托克斯-考基兰-克里克理论，即螺旋肯定是存在，但是这一点对他说来并没有很大的意义，以前他也认为是会出现螺旋的。真正的问题是还缺少关于螺旋结构的假说来说明螺旋内部碱基的规则性。当然，这也说明罗西把碱基放在中心，而把骨架放在外面的设想是对的。虽然莫利斯对我说过，在这一点上他深信罗西是正确的，但我仍然有所怀疑，因为我和弗朗西斯都还没有看到过她的证据。

在去苏号饭店吃晚饭的路上，我又谈起了鲍林的问题，我强调对他的错误过分嘲笑是很危险的。最多只能认为鲍林仅仅是犯了错误，而不能认为他像个傻瓜，这样才是一种更保险的态度。就算他现在尚未发现自己的错误，但不久的哪一天或

哪一个晚上他就会发现。如果他再派一个助手拍摄 DNA 照片，就更危险了。在帕萨迪纳同样会发现 DNA 的“B 型”结构。然后，顶多一个星期，鲍林就会搞清楚 DNA 的结构。

莫利斯对此并不关心。我像从前的弗朗西斯那样，失态般地不断强调 DNA 结构的问题随时都有可能迎刃而解。多年来，弗朗西斯一直试图告诫莫利斯什么工作才是重要的，可是，莫利斯越是冷静地考虑他的生活，就越是知道他凭自己的预感行事是明智的。在招待站在他的身旁等待我们点菜时，莫利斯却竭力要使我理解，如果我们对于科学发展的方向都持相同看法的话，那岂不是样样事情都可以迎刃而解了，那时我们也不必再费周折，去当工程师和医生也就行了。

上菜以后，我想把我们的思路转到多核苷酸链的数目上来，我认为测量一下位于第一和第二层线上的深部反射，我们就会立刻找着正确的方向。可是，莫利斯却支支吾吾没有说到点子上，我也拿不准他是在说金氏学院还没有人对这些反射进行过测量，还是他想趁热把饭菜吃下去。我吃得很勉强，心里在盘算，等喝完咖啡，能否陪他回公寓，在路上或许还能从他那里得到一些详细的情况。可是，饭前我们要的那瓶法国白葡萄酒却使我不想去打听那些枯燥的事实。当我们离开苏号饭店穿过牛津大街时，莫利斯只是说，他计划在一个比较安静的地段找一套亮堂一点的房间。

然后，我在阴冷、几乎没有暖气的列车车厢里，凭着记忆在报纸的空白边缘上画出“B 型”结构图。列车颠簸地驶向剑桥，我则努力在双链和三链模型之间作出选择。就我所知，金氏学院小组之所以对双链不感兴趣，原因并不简单。这主要是由于 DNA 样品的含水量，他们也承认这个数值可能有很大的误差。因此当我骑自行车回到学院并且从后门爬进去时，我已决定要建造一个双链模型。弗朗西斯也不得不同意。虽然他是物理学家，但他懂得重要的生物体都是成对的。

作者简介：詹姆斯·沃森(James Dewey Watson，1928－　)，美国生物学家，与克里克共同发现 DNA 双螺旋结构，并因此获 1962 年诺贝尔生理学和医学奖。

文献来源：沃森《双螺旋——发现 DNA 结构的个人经历》，田洺译，三联书店 2001 年版，第二十三章(第 130－135 页)。标题为编者所加。

⑮ 学术纷争 ≫

牛顿颜色理论的问世

韦斯特福尔

1672 年，牛顿以给亨利·奥尔登伯格写信的形式，将其论颜色的文章寄给了皇家学会，依他的观点，那里面没有任何新东西。望远镜提供的机遇恰逢其时。按巴罗的要求，整个冬天牛顿都在修改巴罗准备出版的书稿。他认为他的理论所依据的三次棱镜实验，极有说服力，他觉得简要地叙述这一理论并不是很烦人的事。他认为还有必要专写一段，讨论这一发现如何导致他设计了反射望远镜。第一篇论文发表后，引来不间断的通信联系，接下来的六年中不时侵扰他的时间与思维，这也使得他在光学上只作了一点补充：衍射导论及对它的短暂研究。除衍射外，这一时期他对光学的关注全部集中在阐释一个已经精化了的理论上。

不断进行的讨论迫使牛顿澄清某些问题。1672 年他撰文时，还没有完全把光的多质性问题与微粒概念区别开来，就断言说：由于他的发现，“光是否为物体……已不再需要争辩”。他犯了极大的错误。该文发表后不到一周，罗伯特·胡克就提出批评，误将微粒理论当做其中心论点，争论的语气也较激烈。教训并没有白费。牛顿尽管仍然相信微粒概念，但也终于学会坚持他的颜色理论的精华是多质性概念。不过，这只是一种阐释与澄清，而不是改变理论。六年的讨论并未导致任何改变，这是铁的事实。所以，1704 年，《光学》终于出版时，仅仅是重述了 17 世纪 60 年代后期得出的结论，这验证了他早期研究的力度与缜密。

1672 年的论文引起的讨论与其说是让我们了解了光学，还不如说是让我们了解了牛顿。整整八年，他把自己封闭起来，与真理进行义无反顾的争夺战。做牛顿这样级别的天才是要付出代价的。八年来，多少未用之餐，多少不眠之夜；八年来，在迄今人类未知的领域直接面对真理时绵绵不尽的狂喜，为这些他付出了更大的代价。有人说他迟钝愚笨，不可能再在他已从事的新领域纵横驰骋，对此的激愤已

到了他难以忍受的程度。到1672年，他拥有自己的理论已有六年，对他来说，这理论是显而易见的，但对其他任何人而言，仍是有悖常识，难以接受。他们认识不到他的论证的力量，这很快使得牛顿心烦意乱。他恰恰对人们不能马上接受他的理论毫无准备。自以为已解决的问题，却要无休止地去捍卫和解释，这将他投入了个人危机之中。

可以肯定，起初的响应并未暗示接下来会有危机。2月6日的论文几乎墨迹未干，牛顿就收到了奥尔登伯格的信。信中净是溢美之词，通知牛顿说他的论文已在皇家学会宣读，"受到特别的关注和非同寻常的欢迎……"，学会指示，如果牛顿同意，该文将立即在《哲学学报》上发表。牛顿读奥尔登伯格的信时感到欣慰，但欣慰之中可见决定送发论文时的那种紧张心情。

我原来认为能成为这样一个声誉卓著的团体的成员为一大荣幸，而现在更觉获益匪浅。请相信我，先生，我不仅认为与他们共同努力促进真正的知识是我的责任，而且是一种崇高的特权，这样，我就不用将论文交给充满偏见而又吹毛求疵的人(因为这意味着许多真理的受损与丧失)，而是可以自由地将自己交给这样一个明智与公正的群体。

他同意发表这篇论文，只是略有一点犹豫——对他来说，这是必然的。

于是，论文在1672年2月19日的《哲学学报》上发表，下一期还发表了对望远镜的介绍，由此建立了牛顿在自然哲学界的声誉。奥尔登伯格负责与全欧的自然哲学家广泛通信，把这两个项目公布于众。他收到的答复表明：两者都引起了注意。望远镜吸引了各地最有名的天文学家——巴黎的卡西尼、奥祖、德尼，但泽的赫维留。奥尔登伯格特别提请惠更斯注意关于颜色的论文，他把《哲学学报》寄给了他。惠更斯回信说"新理论……在我看来很有独到性"。确实，惠更斯后来表示过对这一理论的保留意见，但在4月，牛顿又收到这位公认的欧洲科学界领袖寄来的，仅能理解为赞扬的信件。后来很快成为第一位皇家天文学家的约翰·弗拉姆斯蒂德当时还年轻，他对论文发表了评论，尽管对它也并未完全看懂。一位住在巴黎的博学多才的年轻德国人也指出他理解这篇论文，他叫戈特弗里德·韦尔赫尔姆·莱布尼兹，当时还默默无闻，但立志要在自然哲学领域做一番事业，而命中注定他一定成功。汤利向奥尔登伯格通报说，斯拉斯要求他将该论文译成法文以便他阅读。而汤利本人认为这篇论文"颇令人赞赏"，催促译成拉丁文出版，以造福全欧洲的科学家。由于望远镜和颜色论文，牛顿很快收到惠更斯和玻意耳赠送的书籍。他再也不可能回到剑桥早期那种默默无闻了。他一劳永逸地置身于欧洲自然哲学家的群体之中，成了领袖人物之一。

奥尔登伯格和其他人收到的对牛顿颜色理论的评论，牛顿并没有全部看到，但

他看到对他论文一边倒的赞赏，足以让他心怀感激。不过，也不完全是赞扬。牛顿在结束该论文时，做出了欢迎评论与批评的要求："如果有任何不足，或与实际相悖，我将作进一步说明；或者，我的观点若有错误，我将乐于承认。"天哪，不出两周就收到了罗伯特·胡克冗长的批评。这位公认的英格兰自然哲学大师居高临下地评论说，牛顿所有的实验他胡克本人都做过，但没有得出牛顿从中得出的结论。起初，牛顿不想理睬胡克那种语气。

2月19日来信收讫，我考虑了胡克先生对我论文的评论；这样一位睿智的反对者居然未能提出丝毫可以削弱我论文任何部分的东西，对此我很高兴。我的观点仍未改变，并且毫不怀疑：只要做更缜密的研究就会发现事实像我认定的那样颠扑不破。您会很快得到我的答复。（牛顿致奥尔登伯格）

然而，这一批评引起的怨尤，他并没有完全发泄出来，奥尔登伯格没有很快得到答复，而是等了三个月，而且这次答复的口气相当不平和。

同时，其他的评论与批评也随之而来。皇家学会第一任会长罗伯特·莫雷爵士建议再做四个实验来检验这一理论（这暴露出他对这一问题的无知）。比较有意义的是法国大路易学院的教授杰苏依特·伊尼亚斯·加斯东·帕尔迪斯的不同意见。他指出：棱镜处于某些位置时，光谱的弥散不能用折射的正弦定律解释，因为太阳的所有光线并不都是以同样角度入射到棱镜表面；他还根据这一非均等入射的原理，对"关键实验"提出了质疑。实际上，牛顿第一篇论文就已经恰当地回答了这两条意见；不过，帕尔迪斯的信是一个显然了解光学的人作出的明智评论，而且语气充满了尊敬。但是帕尔迪斯犯了个错误：信的开头提到的是牛顿"很独特的假设……"。胡克也有几次把牛顿的颜色理论称为"假设"。现在他开始发火了。

（在给帕尔迪斯的复信结尾时，他明显不满地说）如果我的理论被证明未使牧师阁下满意，称它为"假设"我亦心满意足。但我的设计完全不同，它包含的似乎完全是光的某些特性，它们既已发现，我想就不难证明。如果我当时认定它们不是真的，我会心甘情愿地把它当成空泛无用的思考舍弃，而不会承认是我的设想。

帕尔迪斯并不想启动一场争吵。他客气地道了歉。关于太阳射线非均等入射到棱镜上这一论据为什么不能解释光谱弥散的原因，他也接受了牛顿的解释。但是他又提出一个问题：格里莫尔第最近发现了衍射，能否用它解释发散现象呢？

（牛顿回复说）要回答这个问题，首先要注意到：我解释的颜色与折射原理只构成光的某些特性，而不涉及可用来解释这些特性的任何假设。推究哲理的最佳而

又最安全的方法似乎是:先勤勉地探询事物的特性,通过实验确定这些特性,然后慢慢地用假设来解释它们。因为假设只能用来解释事物的特性,而不能指望用来确定这些特性,除非它们能满足实验的要求。如果可以用假设来验证真理或事物的真谛,我就无法理解在任何科学中如何能获得确信无疑的验证,因为不论有什么新困难,似乎都可以设计出无穷无尽的假设来克服。所以我认为有必要抛开所有的假设,视其与我们的目的无关……

正如这次通信进一步显示的,关于颜色的讨论给牛顿提供了第一次严肃的机会来探讨科学方法的问题。对于牛顿提出的附加解释,帕尔迪斯表示满意,尽管无法证实他接受了这一理论。

在此期间,牛顿的脑海里一直回旋着胡克的批评及必须作答的问题。胡克与牛顿也许是命中相克:牛顿构思颜色理论是对胡克理论的回应,而胡克自诩为光学权威,对擅自闯入的人心怀不满。牛顿的望远镜在皇家学会引起轰动时,胡克呈交了一份备忘录,称他发现用折射可以使各种光学仪器尽善尽美,达到任何人可以希望的极限,远远超过牛顿的发明。遗憾的是,他对发现本身秘而不宣。他用同样方法对待颜色论文,那种祖师爷的权威口气连不如牛顿敏感的人也会觉得屈辱。这两位科学家的迥然不同令人难以想像。胡克尽管才智很高,但却不够明智,过于表现自己。他对每一个课题都有观点,并且毫不犹豫地发表出来。与他相反,牛顿则沉迷于缜密的理想,很难自信有什么东西可以出版。后来,胡克承认总共只花了三四个小时撰写对牛顿论文的意见。他有理由懊悔自己的仓促。牛顿则花了三个月时间作答。还有一点或许也有关系:胡克当时重病缠身,筋疲力尽,可能活不过那年了。

牛顿的论文宣读之后一个星期,即 2 月 15 日,胡克将其批评呈交皇家学会,到 2 月 20 日,牛顿收到一份副本。胡克承认牛顿的实验,"成百上千次实验都是这种结果",但他不同意牛顿解释结果的假设。"迄今我做过许多实验与观察,甚至做过他提出的同样的实验;所有这些似乎都向我证明:光仅仅是通过一种均质、均匀而透明的介质传递的脉冲或运动,而颜色仅仅是……折射对光的扰动……"胡克批评意见的核心就是重申他在《显微学》中发表过的"修改理论"。他还批评牛顿放弃折射望远镜的做法。"事实是,要将射线分开,从而将颜色的效果分开是很不方便的,很难做到,但并非不可克服。"他声称,他在显微镜领域已克服这一困难,但一直很忙,来不及把他的发现用于望远镜。胡克像一个真正的机械哲学家一样,总是回到用可画图像(如分裂射线)来表达他的颜色理论。他用同样的方法来看待牛顿的理论,主要看作是微粒假设的一种阐释。他对牛顿保证说,不仅仅是用他自己的假设,还可以用其他两三种假设——都与牛顿的不同——便可以解决光和颜色现象。牛顿的实验证明了光的多质性事实,他完全未能理解。

尽管牛顿一开始答应马上答复，但他计划的答复需要更长时间。无论胡克的批评意见还包含了其他什么，它重申了颜色的“修改理论”，毫不妥协。牛顿决定抓住这一批评提供的机会完整地阐述自己的分析理论。他从《光学讲稿》中吸取了大量的实验支持，而这是他最初的简单论文中省略掉的。他没有就此止步，还撰文阐述了附属于物体颜色与光的多质性的薄膜现象，这超出了1675的《观察论稿》初稿和《光学》第二卷，因为它们在30年后发表时，很多段落都是原文照搬的。1672年初几个月中，牛顿起草的一篇光学论文更为简要地阐述了他最终工作的各个方面（第二卷第四部分[《厚板现象》]，第三卷[《对衍射的简单阐释》]和《问题表》除外）。由于包含了《光的假设》(1675)一文的初稿，它的确含有与《问题表》某些部分相似的材料。这篇小论文如果在1672年发表，本来可以将光学科学向前推进30年。

然而，它没有发表。3月，他告知奥尔登伯格他还没有完成，4月，他再次拖延。也许到这时，他还在找借口不寄这篇论文。两年前，他曾拒绝在年金公式上署名，怕结识更多的人，他尤其要学会的就是少认识人。望远镜和颜色论文已证明他是多么有先见之明。他将望远镜送到伦敦之后四个月，到5月初，他就收到了12封信，回了11封信，都是关于望远镜与颜色的——虽不是压垮人的重负，却没有减少认识人。四年后，讨论那个春天的情况时，牛顿告诉奥尔登伯格：“先是各种人物的信件（都是不同意见和其他事情），接踵而来的是频繁的干扰，极大地妨碍了我（发表《光学讲稿》）的计划。这使我责备自己的不慎，因为迄今追逐的是一个影子，却牺牲了真正重要的东西：我的安宁。”如果牛顿是在寻找借口，奥尔登伯格5月2日的信中给他提供了一个。奥尔登伯格要求他在答复中删去胡克和帕尔迪斯的名字，而只涉及他们的不同意见，“因为皇家学会的成员除了发现真理，增进知识，别无所求。不能因某些人的误解或错误而损害其声誉”。信中还说：“与起初相比，一些人现在开始较为看重（您的光学理论）了。”这也许更增加了牛顿对那一建议的不快。在接受他论文的问题上，奥尔登伯格是否误导了他？开始时，尽管牛顿对这一要求明显不快，但还是保持沉默。在仔细考虑了两周之后，他就不只是不快了。

我不理解您关于删去胡克先生姓名的要求，因为文章的内容一定会透露出作者，除非将大部分内容删去，其余内容则纳入一种新方法，不与他在《显微学》中介绍的颜色假设有任何关系。那它们最终又会成为新的反对意见，我除了现在所写的，又得另作答复。他们指望我回答他们的来信，我不知道是否应该拒绝。

他继续说，他已决定不将自己准备的东西全部寄出，不过他仍打算交出一篇论“电镀物体现象”的论文，证明射线的反射率和折射率均不同，物体的颜色与其粒子的厚度有关。

几天之后，他心血来潮，写信给柯林斯，感谢他提出为他出版光学讲稿——

但我现在对讲稿已另有安排。我已发现出版著作对我几乎毫无用处，我只有结束此事才能重享以前宁静的自由。我希望，只要能保留现在尚存的东西，我马上就可获得这份自由。

他无法把这件事置之脑后，在用一段的篇幅谈及他的数学工作后，又回到这个问题。

能成为皇家学会这一光荣团体的成员，我十分满意，我乐意做任何与之相称的事情。不过，我发现这中止了我的通信自由，有点麻烦；我希望享受这份自由，但如果不得罪一些我一直尊重的人，就不能再享有。不过这无关紧要，因为我使用这份自由并不是为自己或为了私利。

6月11日，牛顿终于寄出这封回信，他抽出了关于薄膜的论文，还有《讲稿》中的大部分材料。他送去的是针对分析学与修改论问题的论点。尽管这不如2月的论文那样有名，但对胡克的答复运用棱镜现象支持了颜色理论，绝妙地补充了2月的论文。并且，它的争论是针对具体人的。牛顿不仅没有删掉胡克的名字，反而在复信的第一句就插进去了，最后一句也有，中间不止25处提到胡克。他几乎是用胡克的名字作了一首迭句诗。文稿接下来的几段像经历了三四个台阶，一个比一个咄咄逼人。

（开头一段最终定稿时，他说）我必须承认，刚收到这些意见时，发现有人对某一假设极感兴趣，我有点不安，因为我恰好是指望他能对我的建议作出公正冷静的考察……提出的第一点就令我反感，我只能如实开始。胡克先生自认为有权指责我在《折射》中放弃了修改光学的想法，但他清楚地知道，任何人都无权规定他人的研究方法，更何况他并不了解别人起步的基础。

直接驳斥胡克之后，牛顿又评论胡克对他的理论的意见。

意见包括：将不是我的假设归到我的名下；论证了一个假设，而其主要部分与我风马牛不相及；如果用那一假设来阐释，他就肯定了我论文的绝大部分内容；他否认的东西，只要用实验检验，就会发现是真理。

牛顿告诉胡克如何将波动假设适从于他的颜色理论，随后他指出，胡克的理论“不仅不完善，而且在某些方面是没有道理的”。胡克曾吹嘘自己能使所有的光学

仪器极尽完美，可牛顿甚至还指导他如何用单色光来改进显微观察，而这是胡克的专门领域。胡克所谓的完美折射仪器之说可以休矣！

在同一天致奥尔登伯格的附言中，牛顿认为胡克不会在复信中发现任何令他反感的内容，因为他回避了“转弯抹角的表达方式……”这就是说，他用的是大刀而非轻剑。胡克的意见居高临下，令人恼怒，而牛顿的回答则是恶狠狠的侮辱——是一篇充满恨与怒的文章。这给他与胡克的关系确定了永不变更的模式。皇家学会不打算发表胡克的批评意见，以免显得对牛顿不敬，但这却让胡克忍受了屈辱：先是在一次会议上听宣读牛顿的答复，然后又见到答复发表在《哲学学报》上。

胡克并不是惹牛顿发火的惟一原因，令他不快的还有整个交流过程，他不得不详述并解释他认为是完全显而易见的东西。6 月 19 日，他要求奥尔登伯格“在更加全面地评价光学理论之前，不要再发表有关它的任何信息”。7 月 6 日，他再次要求不要发表帕尔迪斯的第二封信，不过，在奥尔登伯格告诉他该信已经付印时，他反应平和。在 7 月 6 日的信中，他试图以结束讨论的形式重申这个问题。

确定真理的有效方法，我认为并不是去考察能解释某些现象的各种方法，除非对所有方法都已有完整的论述。大家都知道：探询事物性质的恰当方法是由实验推导。我曾告诉大家，我提出的理论，并不是“推断是这样而不是那样”，并不是仅仅靠反驳相反的意见去演绎，而是靠“直接而肯定的实验结果去推论”。因此，检验我的理论的方法应该是：检验我做的实验是否能证明应用的理论部分。或者，做本理论提出的，作为检验方法的其他实验。

接着，他把自己的理论归纳成能用实验回答的八个问题，让所有来自假设的反对意见收回去。要么证明他的实验不充分，要么设计别的实验来反驳他。“如果我做的实验不充分，那就不难证明其缺陷；但如果很充分，则可证明我的理论，并且一定会证明反对意见的无效。”

牛顿的意思显然是：他送交的那些实验已经解答了他的八个问题，遗憾的是，皇家学会指示要用一些实验来进行证明。奥尔登伯格不知所从，小心翼翼地要求牛顿建议一个实验。牛顿直到 9 月 21 日才作答，却仅仅是说他在忙别的事。那年秋天，奥尔登伯格没有得到答复。牛顿的另一位通信人柯林斯也一样，直到 12 月，他收到一封长信，评论格雷果里关于望远镜的意见。牛顿向柯林斯解释说，他写“这么长……因为格雷果里先生的论文似乎是要发表的”。最后在 1 月，奥尔登伯格收到了牛顿的复信，是回答关于苹果酒这一不大可能成为课题的询问（“我希望您这种酒能在英格兰广为宣传……”）。的确，苹果酒后来成了他通信的常用话题。不论它内涵如何，这一课题不涉及感情投入。

奥尔登伯格不理解这种沉默，在牛顿回信后马上又送去一份新的批评意见，它

出自大人物惠更斯之手。这是牛顿收到的惠更斯的第四篇评论，一篇比一篇缺乏热情。论文刚出现时，惠更斯觉得它“很独特”。到夏天，他仍觉得似乎“很有可能”，尽管他怀疑牛顿所说的色差的大小。牛顿寄去一份简要的解释。到秋天，惠更斯觉得情况与牛顿的理论可能大相径庭，建议牛顿满足于将它作为一个极有可能的假设而听其自然。“此外，如果来自光源的光射线，一些为红色，一些为蓝色，等等，那么，用机械哲学就极难解释这种颜色差异源于何处。”奥尔登伯格将这一评论转交给牛顿，牛顿没有回答。在欧洲的所有自然哲学家中，惠更斯对牛顿的理论作了最深入的研究。1673 年 1 月，他送来了第四次也是最完整的评论，并且也是最富批评性的。

我已看出牛顿先生殚精竭虑地想维护他关于颜色的新理论。我想，以质疑的方式向他提出的最重要的反对意见是：有没有两个种类以上的颜色。就我而言，我相信：如果一种假设能从机械学与运动性质上解释黄色与蓝色，那就足以解释其他所有颜色，即其他颜色只不过是带电更深（如胡克先生的棱镜所示），产生了黑色或深红、深蓝色；而从这四种颜色可以合成所有其他颜色。我也不理解牛顿先生为什么不满足于黄蓝两种颜色，根据运动说，找到解释这两种差异的假设，远比解释其余颜色那么多差异的假设容易。在找到这一假设之前，他无法告诉我们颜色的性质与差异，而只是告诉我们它们的折射率不同这一偶然情况（这肯定也是很值得考虑的）。

机械哲学及其要求有生动解释的图像，再一次阻碍他理解牛顿的发现：光是多质性的。

牛顿又等了两个月才作答复，只是为了表明惠更斯给奥尔登伯格的是私人信件，不需要他作答。然而，如果惠更斯希望有答复，并且希望“将其公布”，如果惠更斯同意“在方便时，我可自由发表我们之间的来往信件”，他愿意这样做。他担心这还不够简明，又为奥尔登伯格的信中加了一些别的内容。

先生，我希望您能尽力使我不再是皇家学会的成员。因为尽管我推崇这个团体，但我看不出我对它会有任何裨益，（从这段经历看）也无法分享其成员的任何利益。我希望退出。

关于退会的威胁，奥尔登伯格简短地规劝了牛顿几句，提出免除他“向学会交季费的麻烦，而且无需任何考虑”。牛顿为的就是避免麻烦，为了不将事态扩大，从此不再提起，这事就这样过去了。4 月，他给惠更斯发去一封复信，重新提到解释性假设的问题。他无法只满足于两种颜色，因为实验证明其他的颜色同样重要，并

且无法从黄蓝两色演变。同样，为只有两种颜色构思一种假设也不容易，“除非较容易假定以太微粒或脉冲的速度或力量只有两种图形、尺寸或大小，而不是有无限种。这肯定是一种十分荒唐的假设”。谁也不会惊奇海的波浪与岸上的沙砾变化无穷，那么，发光物体的微粒为什么就应该只产生两种光线呢？

不过，考察如何用假设来解释颜色并不是我的目的，我从来没有打算证明它揭示了颜色的性质与差异。我只是想证明：实际上，它们是所发出光线固有且不可改变的性质。我留给别人用机械学假设来阐释这些性质与差异，我想这并不是件难事。

接下去他讨论惠更斯提出的其他问题。尽管他在给胡克的答复中避免用故意侮辱的语气，却也掩饰不住他的激愤。奥尔登伯格肯定看得出来。“我可以向您保证，”他写信给惠更斯说，“牛顿先生是一个非常坦率的人，从不轻易说出自己想说的话。”惠更斯不习惯于像犯过错的学生一样受人训导，他也看出来了。“见他颇有些激动地维护自己的原理，”他回信说，“我不想争辩。”他还是禁不住用冷冰冰的傲慢语气发表了几条尖锐的评论。牛顿稍稍冷静后，又给他写了一封信，他们的交流到此结束。尽管惠更斯有充足的理由生气，但他了解对手的特点，情愿不发火。就在他作答的那封信里附了一份名单，列着请奥尔登伯格将他的新作《摆动的时钟》赠送各位英国科学家的名单，牛顿就在其中。更有意义的是，尽管光的多质性构成的困难惠更斯从未能克服，但他还是让自己相信了这种特定形式，并用以表达了他的光的波动理论。

奥尔登伯格向柯林斯提到牛顿威胁要退出皇家学会，柯林斯为此向牛顿表示了看法。

（5月，牛顿写信给他）我想对我并无无礼之举。我没有碰到意外的无礼行为。但我希望在其他一些方面也不受到粗鲁的对待。所以，如果为了防止将来出现此类事故，我拒绝引起过去不快的交结，希望您不要见怪。

柯林斯将此信给奥尔登伯格看了，后者请牛顿“不要”把皇家学会一些成员对他的不宜之举“放在心上”。毕竟，哪个团体都会有一些不够谨慎的成员。

（牛顿告诉他）您提到的不宜之举，我不放在心上。但我如以往一样必须向您表明：我不想再为哲学事务烦心。因此，如果您发现我拒绝再做类似的事，请您不要认为不妥；或者，您干脆帮我一个忙，在您方便的情况下，尽量阻拦任何与我有关的反对意见或其他哲学信件。

一连 18 个月，奥尔登伯格没有收到牛顿的信。

柯林斯也发现通信中断了。1674 年夏，牛顿写信感谢收到一本关于射击学的书，甚至还对书的内容作了评论。“如果您有机会将此意见转告作者，”他补充说，“我希望您不要提到我，因为我不想再为此费心。”1675 年下半年，柯林斯告诉格雷果里，他已有一年没见到牛顿，也没写信给他，为的是“不打扰他正在专注的化学研究与实践。他与巴罗博士都开始认为，数学推算如果不是有几分无聊，至少也是变得很枯燥了”。柯林斯与牛顿再也没有恢复通信。

奥尔登伯格与柯林斯一直是牛顿与剑桥以外知识界的联系人。尽管有很多机会可以直接与格雷果里和惠更斯等有才华的人通信，牛顿都不肯抓住。他通过这两个中间人与其他人联系，这两个人几乎垄断了他的通信。牛顿割断这一联系，是想重回以前的孤独。然而，自从 1672 年出版了著作，这已是不可能了。惠更斯给他送自己的新著《摆动的时钟》就说明了这一点。1673 年 9 月，玻意耳赠他一本自己论以太的书，这又证明了这一点。然而，在眼下，只要一点点批评就足以使他先是发怒，然后寻求孤独。

作者简介：理查德·韦斯特福尔（Richard Westfall，1924－1996），美国科学史家，牛顿研究专家，著有权威的牛顿传记《永不停息》，《牛顿传》则是它的缩写本。

文献来源：韦斯特福尔《牛顿传》，郭先林、尹建新、王建新译，臧惠娟校，中国对外翻译出版公司 1999 年版，第五章（第 89－103 页）。标题为编者所加。

爱因斯坦对新动力学的反应

派依斯

每个熟悉现代物理学的人都知道，爱因斯坦对量子力学是持怀疑态度的，没有哪一本他的传记不提到他说的那句“上帝不掷骰子”的话。他的确喜欢这样说（我凭经验知道），语气还要强，比如，“要看上帝的牌似乎很困难，但我一刻也不相信上帝会玩骰子，或者用‘精神感应’之类的方法（像现代的量子理论说他做的那样）”。然而，诸如此类的话不应造成这样一个印象：爱因斯坦为了探究统一场论，已经失去了对量子问题的兴趣。事实远非如此，即使在统一场论的研究过程中，量子之谜也还一直挂在他的心头。这一点我将稍后讨论。在本章中，我将描述爱因斯坦关于量子力学的立场是如何随时间演变的。在某种程度上，这反映在他以后的科学论文中。从他的几篇自传性作品和往来书信中，这一点可以看得更清楚。我本人对他观点的了解更多地受益于跟他的讨论。

首先，我们来看在1925—1931年间爱因斯坦较多关注的问题：量子力学是自洽的吗？

a. 1925—1931：争论开始

从爱因斯坦关于新气体理论的3篇文章中获益的不只薛定谔一人。在薛定谔发表波动力学论文的半年前，埃尔萨瑟（Walter Elsasser）也承认受到爱因斯坦文章的激发，提出慢电子可能适合于检验“（爱因斯坦的）假设：每一个平移运动的粒子，都应该联系一个决定其运动学的波场”。他还指出，现有的实验结果，如拉姆绍尔（Carl Ramsauer）的、戴维逊（Clinton Joseph Davisson）的、昆斯曼（Charles Kunsman）的以及另外一些人的，似乎已经给出了物质波的干涉与衍射的证据。海森堡写信给泡利说，在研究爱因斯坦的文章之后，他开始对埃尔萨瑟的思想感兴趣了。

爱因斯坦自己也在考虑旧的和新的波场的意义。1925年曾在柏林的威格纳

(Eugene Wigner)告诉我说,爱因斯坦那时认为,波场是一种光子或其他粒子的"引导场"(Führungsfelder),每个粒子都有这样的一个场。"爱因斯坦尽管很喜欢(这个想法),却从没发表过",因为他这种一个粒子一个场的概念不符合严格的能量-动量守恒定律。这个困难,后来被薛定谔解决了,他为联系粒子构形引入一个引导场,即薛定谔波函数。

前面说过,爱因斯坦认为自己关于量子气体的工作不过是暂时离开研究主题的一些题外活动。在量子力学的最初一段时间,我们发现,他"正在为进一步发展联系引力与电的理论而拼命地工作着"。不过,量子理论新进展的伟大意义还是影响着他。玻色曾于 1925 年 11 月访问柏林,他回忆说:"新量子力学使爱因斯坦非常激动。他希望我尝试去发现,光量子统计和辐射跃迁几率在新理论中会是什么样的。"后来回答这个问题的,不是玻色而是狄拉克。他在一篇奠定了量子电动力学基础的文章中给出了爱因斯坦 A 和 B 系数表达式的动力学推导。最初,爱因斯坦对狄拉克工作的反应是断然否定的,1926 年他写信给埃伦费斯特:"狄拉克令我烦恼。这简直是在天才与疯狂之间走钢丝,太可怕了。"几天后,他又说:"我一点也不能理解狄拉克(康普顿效应)。"然而,几年后,他却满怀敬意地写道:"在我看来,我们应该将(量子力学)最完美的逻辑表达归功于狄拉克。"

我们再回到 1925 年秋。在海森堡的论文发表后,爱因斯坦对量子力学强烈的兴趣驱使他立刻给海森堡写信。[①] 不过所有这些信件现在都遗失了,幸好还有几封海森堡给爱因斯坦的信保存着,其中一封(日期为 1925 年 11 月 30 日)显然是一封回信,爱因斯坦可能在他的来信中对新量子力学作了一些评论。海森堡说的一段话特别令人感兴趣:"在这一点上您可能是对的,我们的量子力学方法更接近于玻尔-克雷默-斯莱特的观点,事实上,它(BKS 理论)也的确构成了辐射现象的一个侧面。另一个侧面,就是您的光量子理论,我们希望,终有一天,能量和动量定律在我们的量子力学中的有效性能够把量子力学与您的理论联系起来。"我发现有一点值得注意,爱因斯坦显然感觉到,BKS 理论与量子力学间存在着某种联系。当然,实际上并不存在什么联系。不过,BKS 提议含有我们在前面所看到的统计特征。爱因斯坦能不能早在 1925 年就想到,这些统计因素会被量子力学的描述继承下来呢?

随后的几个月,爱因斯坦对海森堡理论的反应一直是犹豫不决的。1925 年 12 月,他流露出不安,但在 1926 年 3 月,他又写信给玻恩夫妇说:"海森堡-玻恩概念令我们所有的人都大吃一惊,它给持不同理论观点的人都留下了深刻的印象。现在,我们这些怠慢的人,也不再木然沉默了,而感到了奇异的紧张。"下月,他又表示,他相信海森堡-玻恩误入歧途了,这是在一封祝贺薛定谔取得新成就的信中写的。从爱因斯坦和薛定谔工作的科学联系来看,我们不会惊讶,爱因斯坦会对波动

---

① 两人在 1926 年第一次见面。——原注,下同。

力学表现出真正的热情:“薛定谔已经写了两篇关于量子法则的奇妙的文章”,这是1926年5月写的,也是爱因斯坦最后一次拿笔来称赞量子力学。

到这里,他们分路了。

海森堡那篇文章发表大约一年后,量子力学的概念基础有了第一次澄清。它始于玻恩1926年6月的发现:薛定谔波函数的绝对值的平方可以解释为一种几率密度。玻恩简短而基本的文章,触到了决定论的心脏。关于原子碰撞,他写道:

人们无法回答这个问题:碰撞后的状态是什么?而只能回答这样的问题:碰撞的某个效应有多大可能?……从我们量子力学的立场来看,没有任何量(Grüsze)可以在个别事件中因果地确定碰撞的后果。我们是不是应该希望在今后寻找这些性质……并在个别事件中确定(它们)呢?……我本人倾向于在原子世界里放弃决定论。但这是一个哲学问题,单凭物理的论证还不能建立一个标准。

一个月后,玻恩又写了一篇更漂亮的续文,文章指出,他的考虑的出发点,是“爱因斯坦关于波场与光量子之间的关系的说明:他(爱因斯坦)大概说过,这些波将为我们指明通往微粒光量子的道路,并在这种意义下,他提出一种‘鬼场’(Gespensterfeld)”。显然,那是指爱因斯坦的“Führungsfeld”(引导场)。不久以后,玻恩给爱因斯坦写信说:

我把薛定谔的波场当作您所说的那种“鬼场”的思想,在任何时候看来都很有用……几率场的传播,当然不是在普通空间,而是在相空间(或位形空间)。[①]

在这里,我们又一次,但也是最后一次,看到在量子力学诞生时期,承先启后的爱因斯坦。

起初,玻恩的文章在不同程度上为人们所接受。几位最杰出的物理学家发现,放弃经典意义的因果性,即使不是没有可能,但总是难以容忍的。薛定谔就是这样的一位。玻尔不止一次地对我说,薛定谔告诉他,如果他早料到自己的文章会产生那样的后果,当初就不会发表它们。[②] 爱因斯坦在随后几年的立场,可以简洁地用一句话来总结:他反对玻恩在文章中和在后来给他的信中的每一句话。据我所知,他的持久的对立,第一次表达是在1926年12月,事实上,是在给玻恩来信的回答

① 这封重要信件没有收入出版的《玻恩-爱因斯坦通信集》,我感谢斯塔切尔提醒我注意它。

② 薛定谔在他晚年也仍然不太满意量子力学的(几率)解释。

中说的:“量子力学是很动人的。但有个内在的声音在告诉我,它还不是那真正的东西。这个理论产生了很多结果,但它却几乎不可能使我们更接近上帝的秘密。我无论如何相信,他不会玩骰子。$3n$ 维空间的波动(例如橡皮筋),它们的速度是由势能决定的……”

对玻恩来说,“爱因斯坦的论断……如当头一棒”。其他一些时候,爱因斯坦的反应也令许多人感到失落,像是在战场上被自己所敬重的指挥官抛弃了一样。高德斯米特告诉我,在 1927 年中期(就他所记得的,具体日期忘了),埃伦费斯特与他有过一次谈话,埃伦费斯特流着眼泪说,他被迫在玻尔与爱因斯坦的立场之间做出抉择,没办法,他只好同意玻尔,显然,爱因斯坦的反应对老一代科学家的影响比对年轻一代要强得多。

1927 年所发生的重大事件中,下列 4 项对我们现在的话题来说,有特别重要的意义。

1927 年 2 月。据报道,在柏林的一次演讲中,爱因斯坦说过,“大自然向我们要的,不是一个量子理论或波动理论;它向我们要的是这两种观点的综合,这远远超越了物理学家的智力”。这方面的发展将由别人来把握;我们还是再来回想一下,早在 1909 年,爱因斯坦就第一次强调波粒二象性需要纳入物理学理论的基础。

1927 年 3 月。海森堡提出测不准原理(在这篇文章中,海森堡也提到了“爱因斯坦关于波与光量子之间的关系的讨论”)。1927 年 6 月,海森堡在给爱因斯坦的信的开头写道:“衷心感谢您友好的来信。尽管我确实不知道什么新东西,但我还是想再说一次,为什么我相信不确定性,或者说,严格的因果性的失败是必然的(他强调的),而不仅在(逻辑的)一致性上是可能的。”这封信显然是对遗失了的爱因斯坦来信的答复,来信很可能对海森堡的 3 月工作有兴趣。稍后我还会回到海森堡的这封重要信件上来。我在这里提到它,只为要强调爱因斯坦在这些新的发展中并不仅是一个被动的旁观者。事实上,爱因斯坦自己在这时候也正做着量子力学的研究(我想,这是他的第一次)。他问:“薛定谔的波动力学对系统运动的确定,是完全彻底的还是仅在统计意义下的?”[①]海森堡从别人那里听说爱因斯坦“已写了一篇文章……您在文章里主张,比我所期望的更精确地知道粒子的轨道,总还是有可能的”。他希望知道更多的情况,“特别是因为我自己对这些问题也想了很久,经历许多良心谴责之后,还是只能相信测不准关系,尽管现在我已经完全相信它了”。爱因斯坦最终撤回了他那篇文章。

1927 年 9 月 16 日。在科莫(Como)的沃尔塔(Vlota)会议(爱因斯坦收到邀请

① 这是爱因斯坦 1927 年 5 月 5 日为柏林普鲁士科学院会议提交的文章的标题,会议记录表明,当爱因斯坦打电话要求撤回时,文章已经印好了。这篇未发表的原稿现存爱因斯坦档案馆。

但没有出席)上,玻尔第一次宣布了互补原理:"量子理论的这种性质……迫使我们将统一刻画经典理论特征的时空坐标和因果性要求,作为描述的互补和互斥的两个方面,分别象征着观察的理想化和确定性。"

1927 年 10 月。第五届索尔未会议。量子理论的所有奠基人都来了,从普朗克、爱因斯坦、玻尔到德布罗意、海森堡、薛定谔和狄拉克。会议期间,"爱因斯坦除了对几率解释表示了很简单的反对外,几乎没有说什么……然后他又陷入沉默"。如我们曾说的,爱因斯坦谢绝了在会上做关于量子统计的报告的邀请。

不过,并非正式的会议才是讨论问题的场所,所有与会者都住在同一家饭店,在餐厅里,爱因斯坦非常活跃。斯特恩为我们提供了第一手材料:

爱因斯坦下楼来吃早餐,总会表示他对新量子理论的不安,(他)每次都发明一些漂亮的实验,让人一看就觉得(这个理论)错了……在场的泡利和海森堡并不太在意,总说"ach was, das stimmt schon, das stimmt schon"("噢,什么?是这样的,是这样的")。但是,另一方面,玻尔却很认真。傍晚或午餐,我们都在一起,玻尔仔细思考着那些问题。①

于是,玻尔与爱因斯坦之间的一场伟大论战开始了。两人不断推敲和强化自己的观点,从未达到一致。从 1925 年到 1931 年,出现在科学文献中的爱因斯坦的反对文章只有 1927 年索尔未会议的一篇。不过,还有一篇关于那些年间玻尔-爱因斯坦对话的权威性论述,那是玻尔在 1949 年发表的。我在别的场合写过一篇文章②,讨论与爱因斯坦的争论对玻尔一生的深远影响。

关于人们对爱因斯坦评论的反应,索尔未会议记录没有留下多少情况,玻尔在后来的一篇文章中做过仔细分析。我们下面来考虑爱因斯坦评论的内容。

爱因斯坦在开幕词中对自己的评说,比许多书都说得更好:"Je dois m'excuser de n'avoir pas approfondi la mécanique des quanta."很抱歉,我没能足够深入地了解量子力学。③

爱因斯坦接着讨论了一个实验,让一束电子打击带孔的固定屏,穿过小孔的电

---

① 摘自与约斯特 1961 年 12 月 2 日的谈话录音。非常感谢约斯特为我提供了这次谈话中的部分手稿。

② 可参阅派依斯为玻尔写的思想传说:*Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy, and Polity*, Abraham Pais, Clarendon Press, Oxford, 1991.——译者注

③ 该句(与引号中的句子不同)原系德语,德语原文是"Ich(bin) mir des Umstandes bewusst dass ich in das Wesen der Quantenmechanik nicht tief genug eingedrungen bin"。

子束形成的衍射图形，可以在第二个屏上观察。问题是：量子力学能对个别电子事件给出完备的描述吗？他回答：不能。因为设 A 和 B 是第二个屏上的两个不同点，如果我知道某个电子到达 A，那么我立刻就知道它没有到达 B。但这意味着在 A 和 B 之间存在着一种奇异的瞬时超距作用，这是与相对论前提矛盾的。爱因斯坦还（指出），在盖革-波特关于康普顿效应的实验中，我们能够以原则上没有限制的精度，观测到个别过程之间的一致性，而无须求助于超距作用。这种情况，更让人感到衍射描述的不完备性。

对爱因斯坦的诘难，量子力学的回答如下：量子力学的确适用于个别过程，但测不准原理规定和限制了能从给定的实验装置获得的信息量。测不准原理的限定，完全不同于经典统计力学中包含在粗粒描述中的事件信息的限制，那里的限制，是为了能够利用在理想情况下可知的完备的关于个别粒子的动量和位置的明确陈述，来获得一个有效的近似描述，而由理论本身聪明地加上去的。而在量子力学中，刚才说的限定不是理论自身加上去的，它是对第一原理的否定（在细粒水平上可以这么说）。的确，如果我们坚持在实验的每一步骤上，对电子的定域性进行完全的因果性描述，就需要超距作用。而量子力学否定了这种描述的要求，并且断言，在这个实验中，个别电子的最终位置是不可能确定预言的。不过，关于个别电子以多大几率到达第二屏上某给定点，量子力学是能够预言的。当然，预言的证实需要“个别电子实验”足够多的重复，以获得期望精确度下的几率分布。

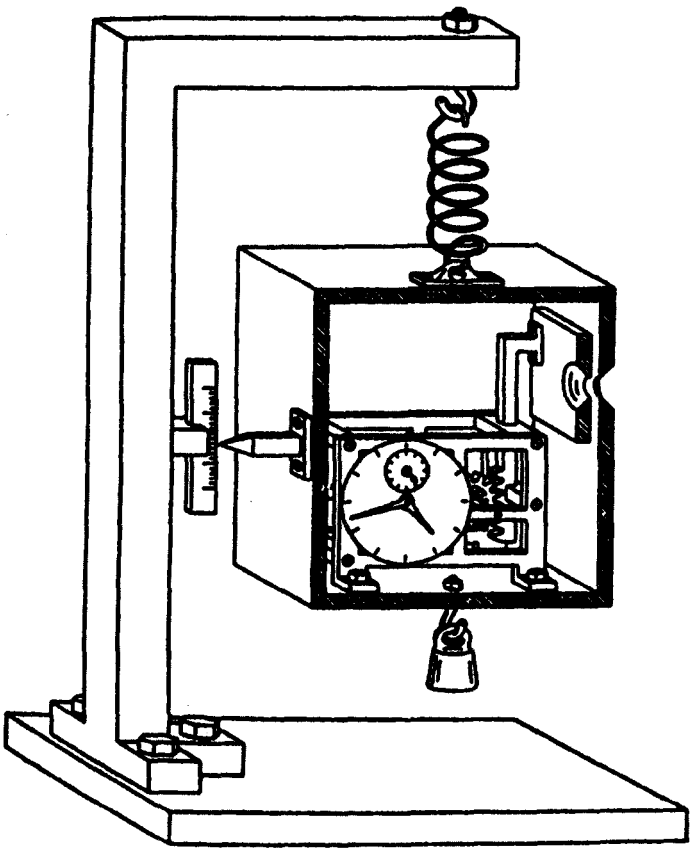
盖革-波特实验也没有矛盾，因为现在涉及的是另一套实验装置，它获得了时空定域化，但在这时，我们却在符合中失去了关于被观测粒子的精确的能量-动量性质的信息。从量子力学的观点来看，这些牺牲都是自然规律的表达。它们也印证了一句俗语：“Il faut reculer pour mieux sduter.”（后退一步是为了跳得更远。）我们将看到，过去和现在都为人们所接受的牺牲，在爱因斯坦看来，却是不能容忍的妥协。在这一点上，他从来不想放弃任何东西。

关于这个简单的问题，我讲那么多，是因为它有爱因斯坦立场的萌芽，关于他的立场，在以后的岁月里，他说得更明白。同时，玻尔和爱因斯坦之间的论战，在 1930 年第六届索尔未会议（主题是磁学）上，又继续展开了。这次，爱因斯坦以为找到了一个测不准原理的反例。论证很精巧。考虑一个盒子，一面壁上有个洞，洞口有扇可以开启和关闭的小门，由盒子内的钟控制，盒内充满辐射。先称盒子的重量，然后，在很短时间内将小门打开，放出一个光子，过些时间，再称盒子的重量。于是（在原则上），我们可以任意精确地得到光子的能量和它通过小门的时间，这就与能量-时间测不准原理相矛盾了。

“这对玻尔真是一个巨大的冲击……他没能马上找到答案。整个晚上，玻尔沮丧极了，他从一个人走到另外一个人，试图说服大家这是不可能的，如果爱因斯坦是对的，物理学就完了。但他讲不出什么反驳的理由。我永远不会忘记这两个对

手离开(Fondation 大学)俱乐部时的情景:爱因斯坦大模大样,带着讥讽的微笑,安详地走着,玻尔疾步赶上去,样子十分激动……第二天早上,玻尔赢了。”

玻尔后来利用下面复制的实验装置说明了他的论证。初始的称量,可以用装在盒子上的指针在固定框架上的标尺所指的位置来表示。因光子逃逸而缺失的重量,可以用一个重物(挂在盒子下面)来补偿,它使指针回到原来位置,回复的距离是 Δq,相应地,重量测量有 Δm 的不确定量。挂上去的重物给盒子一个动量,我们只能在 $\Delta p\Delta q\approx h$ 所限定的精度范围 Δp 内测量它。显然,$\Delta p<gt\Delta m$,其中 t 是调整指针所需的时间,g 是重力加速度。这样,$gt\Delta m\Delta q>h$。接着,玻尔用了红移公式[①],引力场中这只钟的位置的不确定量 Δq,意味着一个确定时刻 t 的不确定量 $\Delta t=c^{-2}gt\Delta q$。因此,$c^2\Delta m\Delta t=\Delta E\Delta t>h$。这样,测量光子能量的精确性限制了决定逃逸动量的精度,符合能量与时间的测不准关系。



玻尔画的爱因斯坦盒子里的钟的实验草图(席尔普教授惠允在此复制)。

① 回想一下,这个公式的推导只需狭义相对论的时间膨胀和等效原理。

注意，图中的每一细节都有着它的实验目的：大螺栓用来固定标尺，指针沿标尺移动；弹簧确保盒子可以在引力场中活动；加在盒子下的重物，用来调整盒子的位置，等等。玻尔强调的这些细节，没有一样是想像的。因为所有物理测量的结果都是用经典语言表述的，所以玻尔宁可把它们都画出来，用以阐明有必要用同样的语言详细说明测量工具。

玻尔如此反驳后，爱因斯坦不再去寻求矛盾了。到 1931 年，他在量子力学方面的立场有了显著的改变。

首先，他随后在 1931 年 2 月提交的一篇关于量子力学的文章中表明，他已接受了玻尔的批评。[①] 文章讨论了一个新的钟盒子实验。这篇文章是下面将要讨论的爱因斯坦-波多尔斯基-罗森文章的前奏，但它的结论，不需要我们记住。[②]

关于爱因斯坦意见更重要的表达，我们可以在他 9 月的一封信中看到。在这封致斯德哥尔摩诺贝尔委员会的信中，他提名海森堡与薛定谔为诺贝尔奖候选人。在他所陈述的原因中，他对量子力学做了这样的评价："Diese Lehre enthalt nach meiner Überzeugung ohne Zweifel ein stück endgültiger Wahrheit."[③]爱因斯坦自己从来不为名誉和荣耀所动，即使如此，他的提名还是显示了他的自由精神和坦荡胸怀。另外，我们从这里最清楚不过地看到了他的思想：他承认量子力学不是离经叛道，而是对物理学的真正的技术性贡献。

爱因斯坦并没有就此停止对量子力学的批判。他已经认识到它有着部分真理，但是他相信，而且永远深信，它还不是全部的真理。从 1931 年起，对他来讲，问题不再是量子力学的自洽性，而是它的完备性。

在生命的最后 25 年里，爱因斯坦坚持认为量子力学是不完备的。他不再认为量子力学是错的，但他相信，物理学界普遍认为量子力学假设是最终的理论，那就错了。他认为那还是原始和未经证实的。他的异议的内容和形式将在下面逐步向大家展开。

1931 年 11 月，爱因斯坦在柏林有过"关于测不准关系"的谈话。谈话的报道没有说爱因斯坦反对海森堡的关系。不过它给人一个感觉，爱因斯坦对下面这样的自由选择感到很不舒服：要么精确测量光线的颜色，要么精确测量光线到达的时间。我的朋友卡斯米尔(Hendrik Casimir)曾写信告诉我，在埃伦费斯特的主持下，

---

① 这篇文章中的理想实验(Gedanken experiment)涉及到时间测量。作者特意这样安排实验，以使"钟的速度……不受称量盒子时引力效应的干扰"。

② 作者们"被迫得出这样的结论：没有办法测量一个粒子的动量而同时又不改变它的值"。这个结论，当然是不能让人接受的。

③ "我相信，这个理论无疑包含着一部分最后真理。"爱因斯坦在 1928 年就曾提名海森堡与薛定谔，1932 年，他再次推举薛定谔。

爱因斯坦在莱顿有过一次讲话(很可能是在1930年11月)。谈话中,爱因斯坦讨论了钟盒子实验的几个方面。在随后的讨论中,有人提到量子力学不存在矛盾,爱因斯坦对这句话的反应是:"Ich weiss es, widerspruchsfrei ist die Sache schon, aber sie enthält meines Erachtens doch eine gewisse Härte."(我知道,这里没有矛盾的事,不过在我看来,它含有一些不合理的东西。)

到了1933年,爱因斯坦已十分明确地表示,他相信量子力学没有逻辑矛盾。在他的斯宾塞演讲中,他说薛定谔波函数"如果要测量的话,我们假定这些函数只不过以数学方式确定了那些客体处在某一特定地方或特定运动状态的几率。这一概念在逻辑上是无懈可击的,而且已经带来了巨大的成功"。

1935年,爱因斯坦第一次明确表示了他的迫切需要,这就是客观存在的标准,他为此奉献了他的余生。

作者简介:阿伯拉罕·派依斯(Abraham Pais,1918－2000),美国理论物理学家和科学史家,对20世纪的物理学史有专深的研究,著有爱因斯坦、玻尔、狄拉克等物理学家的权威传记。

文献来源:派依斯《上帝难以捉摸——爱因斯坦的科学与生活》,方在庆、李勇等译,广东教育出版社1998年版,第六部分第二十五章第一节(第511－522页)。标题为编者所加。

论科学家之争

卢里亚

对科学研究进一步的满足感来自于科学的非权威结构。权威乃科学之敌，因为进步必定是对早期成果的连续的辩证的超越。不管科学家取得了多大的成果，罕有变成为演员或政客那样的偶像的。连真正伟大的科学家贸然进入没有把握的领域时也要受到挑战。在英格兰剑桥的一次宴会上，话题转入伟大的哲人数学家伯特兰·罗素不久前的一次颇为狂妄的发言时，我问道："罗素教授怎能说出那样的话来？"一位物理学家立即答道："卢里亚，你知道，伯蒂（Berti）并非很耀眼（bright）。"一句典型的大学餐桌双关语，当然，是一个不客气的双关语；但也是一句存在于科学家批评者中间不论公正或不公正而从不饶人的隐语。

这则轶事可能滋生普遍性幻觉，科学，尤其是近年来充斥着挑衅和残酷的竞争；科学家处在一场为了优先权和被承认的永恒的竞争中，每一个场合都互相残杀。这里像其他领域一样，事实上存在着渴求成就和成功的竞争。如果不是这样倒令人惊讶，假定有一类相关的工作——为许多认识到的问题寻求有意义的答案——也假定存在科学所诱发的个性——紧张、全神贯注为挑战所驱。然而竞争的程度容易激化。科学家相互竞逐很少是在怀有敌意的暗中进行，较坏的情形是追求诺贝尔奖。更为经常的是，在一个快速推进领域的前锋工作的好几位科学家得到相似的发现，他们通常各发各的文章，一般情况下相互通气。

甚至当他们因竞争而互不欣赏时，大多数科学家并不坚持他们课题境况下的根本哲学分歧。在化学或生物学中不会存在弥漫于人文或社会科学中的理论纷争。我已说过，科学家依赖于共享框架的稳固，在这个框架上他们构建起他们当下的求索。他们并非不断地追问其前提。发生变化的乃是为未来工作所提供的一系列机遇，而这些对所有的人都是公开的。科学史上真正的革命发生得极为罕见——哥白尼和达尔文的或许是重要的两次——结果是为科学经验开辟了一个新的范式。这类革命是那种由理性地分析客观实在代替以宗教权威建立普遍图像的

革命。

今天，纷争只流行于科学的外围领域(outfield)，在诸如宇宙起源或生命起源之类的事情上。在关于宇宙或地球早期或外层空间二氧化碳浓度的“大问题”上，我承认自己缺乏热情，事实上是缺乏兴趣。需要探索这些难题的研究太间接并且积累的是太弱的证据，不合我的胃口。最近，在马克斯·德尔布吕克的自传中，我很愉快地读到，马克斯曾经宣称“(我)不再读任何前生命进化的论文，直到有人制出一个菜谱，那上面写道：这样然后那样，三个月内有东西蠕动”。我也回想起费米对待大宇宙学理论的冷淡态度。在罗马时的某一天，可能有点是开玩笑，他说像所有大理论一样，广义相对论没有解释和预测任何真正重要的物理现象。

像德尔布吕克，也像大多数经验科学的实际工作者，我是一个还原论者，也就是说一个集中关注机理和组分，而不是其整体的复杂系统的人。一般地，还原论生物学家试图用化学和物理学术语来解释生命现象。整体论生物学家则关注作为要素整体的生命体和生物群落的研究。整体论与还原论的区别在于，还原论业已成为生物哲学家们纷争的主题，其中有些人把还原论描述为一种对待自然富于挑衅性和阳刚之气的态度，而把整体论看作为一种仁慈的态度，尊重一种据说是自然本身所有的整体性。否定还原论的观点实际上暗示了对现代科学怀疑、不信任的态度。

关于整体论与还原论之争，我颇为武断的观点是，不同的科学家(与性别无关)在他们的工作中寻找不同的东西。其中一些人想要得到对机制的解释，另一些人则寻求宽泛的理解图式。

科学进步走向可理解的知识结构，其分支愈进行下去，则机制还原论和要素整体论之间相区分的意义越来越小。在物理学中，这种区分实际上已经消失：在关于原子核的最终细节研究中，在关于物质的宏观形态研究中，以及在宇宙物理学研究中，它们融合为同一个事业。在这一谱系的另一极端，在社会科学中，对宽泛假说的挑战源于其相当不坚实的证据，既充斥着诱导性的目标，又充满着牵强的系统化的需求。

我估计我对整体论科学的不悦部分地反映在对职业博物学家的疏远上，他们都是生物学中整体论的预言家。我对户外活动的反感，从孩提时代就已根深蒂固，准保有某种东西禁止我以脸色黝黑、胡子拉碴、身穿牛仔裤、脚蹬出海屐的怪人面目出现，这些怪人过去常盘踞在博物学研究的实验室，栖身于林洞的海滩(在一队打网球的生化学家取代他们之前)。作为一名户内工作的忠诚捍卫者，我感觉受到展现体力的挑战和威胁，体力似与热爱自然和户外活动相生相依。我厌恶上渔船，拒绝徒手去捡螃蟹。

或许我对自然缺乏挚爱，我的兴趣在于问题而不是物体，这使我不是一位“整体论科学家”。我尊重和羡慕我的某一些同行，科学工作似乎占据了他们整个生活

并渗透于他们醒着的每一分钟——或许他们做梦也是这样。这种对科学倾注以一种极端的方式使得一个人在其他方面期望类似的倾注。有一则轶事谈到德国伟大的数学家戴维·希尔伯特(David Hilbert),一天他看到一位同事在流泪(他的妻子离开了他),便伸出手臂抱住年轻人的肩膀说:"Eswird convergieren, es wird convergieren!"(它会收敛的。)还有什么能比一系列拒绝收敛的整数更让一位数学家痛苦的呢?

作者简介:萨尔瓦多·E. 卢里亚(Salvador Edward Luria,1912—1991),意大利裔美国生物学家,具有物理学和生物学双重学术背景,因为发现病毒的复制机制和遗传结构而获1969年诺贝尔生理学和医学奖。

文献来源:卢里亚《熊掌与鱼——一位诺贝尔奖得主的精神历程》,颜青山、陈蓉霞、陈志夏、禹宽平译,青岛出版社1999年版,第六章(第115—117页)。标题为编者所加。

分子大战

威尔逊

现在，我可以不带一丝讥讽地说，才华出众的敌人真是使我受益不浅。他们令我受苦，毕竟他们是我的敌人，但是我却亏欠他们一份大大的人情债，因为他们令我精力倍增，而且还鞭策我踏上新方向。我们的创造生涯中，很需要这类人物。如同米尔(John Stuart Mill，1806—1873，英国哲学家及经济学家)曾经说过的，当旷野中没有敌人时，老师和弟子都会昏睡在岗哨上。

生物学界的暴君

沃森(James Watson，1962 年诺贝尔生理医学奖得主)，这位 DNA 构造的发现者之一，扮演了我生命里的一位负面英雄。在 20 世纪 50 年代及 60 年代，他还是年轻人的时候，我发现，他真是我见过的人当中最令人讨厌的家伙。他于 1956 年进入哈佛，担任助理教授，而我也是在那一年开始担任同样的职位。沃森当时 28 岁，只比我大一岁。他带着一个信念来到哈佛，认为生物学必须转换成由分子及细胞所主导的科学，而且生物学还必须改用物理及化学语言来重写。沃森还用一种革命般的强烈轻蔑态度，来对待生物系其他 24 名成员中的大部分人。他认为，从前所建立的“传统”生物学(也就是“我的”生物学)，当中充斥着一批批才智平庸的人，这批人没有能力把研究主题转换成现代科学，只能扮演集邮者一般的角色。

在系务会议上，沃森轻蔑的态度更是射向四面八方。他特意避开寻常的殷勤及礼貌性对话，显然是认为这样的态度只会鼓励保守的人留在四周。大家之所以容忍他恶劣的态度，是因为他曾经做出过的重大发现，以及这项发现带来的澎湃结果。在 20 世纪 50 年代及 60 年代，分子革命已经开始以山洪爆发之态，横扫生物学界。沃森年纪轻轻便已赢得历史性的声名，顿时成为生物学界的卡利古拉(Caligula，罗马皇帝，生前即命令臣民称他为神)，他享有特权，能够想到什么就说什么，

态度随兴而且极端不敬，并且还期待对方一定要把他的话当真。在他心里，显然他是“诚实的吉姆”——这是他回忆录手稿的标题，后来更名为《双螺旋》(*The Double Helix*)。很少有人敢公开要求沃森，把话解释清楚。

生态学成为禁忌

对我来说，沃森的姿态尤其令人痛苦。有一天，在系务会议上，我很天真地建议道，系里需要更多年轻的进化生物学者，以便平衡发展；最起码，我们应该把现有的人数从一名(就是本人)倍增为两名。我告诉洗耳恭听的教授们，史密斯(Frederick Smith)是一位作风新派、很有潜力的族群生态学家，最近才刚被哈佛的设计研究生院(Graduate School of Design)从密西根大学那儿挖过来。我大略讲述了一下史密斯的优点，并指出教授环境生物学的重要性。我提议，按照系上标准程序聘用史密斯成为生物系里的一员。

沃森轻声哼道：“他们发疯了吗?”

“什么意思?”我是真的听不懂。

“只要疯子才会想要聘用生态学家。”这位分子生物学界的神如此答道。

好一会儿，屋内一片死寂。没人开口为这项提名案辩护，但也没有人附和沃森的话。系主任雷文(Paul Levine)出面终止了这个话题。他说，这项建议并不是当务之急，等到书面资料齐备后，我们或许会再提个时间来审查这项提名案。当然，后来我们并没有这么做。一直等到分子生物学家离开生物系，自创新的学系之后，史密斯才获聘成为哈佛生物系的一分子。

开完这场会议后，我穿过生物实验大楼的中庭，返回比较动物学博物馆。巴宏(Elso Barghoorn)从背后赶上我。他是一位资深的进化生物学教授，也是全球最重要的古生物学家之一，是发现前寒武纪微化石的学者，同时，他也是一位正人君子。“威尔逊，”他对我说，“我想我们不应该再采用‘生态学’这字眼，它已经变成一个脏字眼了。”果然不错，接下来那十年期间，我们多半都不再用“生态学”这个名词了。但是，我后来才领会到这桩事件当中所蕴藏的人类学含义——当某个文化准备消灭另一个文化时，统治者首先要做的，莫过于“在官方场合禁用母语”。

生物学独尊

分子战争已经开打。生物系里有一批生化学家及分子生物学家，在行事态度及思考哲学方面，或多或少也加入了沃森的阵营。这群人包括：不久后(1967 年)即以生化方面的研究荣获诺贝尔奖的沃尔德(George Wald)；蛋白化学先驱艾智尔(John Edsall)，他是一个年纪颇轻的资深成员，经常微笑、颔首，却又莫测高深；新

近由加州理工学院挖来，才华横溢的年轻生物学家梅索森(Matthew Meselson)；以及雷文，他是50年代，除了沃森和我之外，惟一获哈佛聘用的终身助理教授。雷文很快地便摒弃了族群生物学，开始独个儿大力鼓吹新教义。好个热心的变节者，我心里这么想。

教职员会议上，我们聚在一起，形式拘泥而紧张，就好似贝多因部落(阿拉伯游牧民族)酋长团团聚在一口引发争议的水井边一样。我们依次以守旧的方式发言，名誉声望、教授任命以及实验室空间都要依序拿出来讨论。我们全都意识到，这样的争论并不寻常，不是学术式的。赫金斯(Robert Hutchins)曾经说过那类争辩非常可悲，因为其中多的是没意义的事。令人头晕脑涨的权力变换充斥在生物系里，而我们就像是一个狭小的宇宙。哈佛大学里的传统主义者起先非常支持这场革命。我们都同意，系上需要更多分子生物学以及细胞生物学的人才。人文暨自然科学院院长以及连续多位教务长也都很快被说服，同意了教员比例需要来一次大调整的看法。于是，生物系内分子生物及细胞生物学者的人数迅速膨胀。曾经有好长一段时间，他们都保有8席教职任命案中的7个席位。没有人能怀疑他们的成就是否相当，至少整体而言是如此。问题是，没有人知道该如何阻止他们继续霸占生物系，甚至最后消灭了生物学中其他重要的学科。

困坐敌人阵营

我的处境尤其尴尬，因为我的办公室和实验室就位在生物实验大楼中，这儿正是物理及化学进攻过来的桥头堡，如今里面蜂拥着成群经费充裕的分子生物学家。我发觉，这里的气氛非常紧张，令人沮丧。当我和沃森在走廊相遇的时候，沃森从未察觉我的存在，即使走廊上只有我们两人也是如此。我很为难，不知是否也应该假装没看见他(这是不可能的)，或是自取其辱地继续坚持南方人的礼貌(同样也是不可能)。最后，我决定低声咕哝一句寒喧词，草草带过。

沃森那帮人待人的态度从漠然到冷淡不一，只除了沃尔德例外，他具有一种堂皇气派的架势。他是很友善没错，但是却另有一股超然自恃以及屈尊俯就的做作神态。在我们少数几次谈话的过程中，我始终没法甩掉一种感觉：他好像其实是在对我身后所坐着的上百位观众发表演说。事实上，在60年代末期，他的确是把在大批听众前发表政治及道德演讲，当成他的第二项专业。在哈佛校园混乱达到最高潮的时候，沃尔德总是能站在成群活跃的学运分子面前，扮演最佳演讲者的角色。他是属于那种非常优雅、脱俗的知识分子，那种会率先发动革命，而后又第一个走上死刑台的人物。对于我们这门科学的未来，他完全赞同沃森的看法——生物学只有一种，有一次他这么宣称，那就是分子生物学。

我在这群分子生物学家中的地位，并未因1958年我比沃森早几个月获得终身

教职这个事实，而稍稍提高。虽说那完全是一桩时机上的意外事件（斯坦福大学主动邀聘我，而哈佛为了反制，也连忙聘用我），而且我也认为，不论如何，他都远较我更值得获聘，但我可以想像沃森对这件事的感受，一定糟透了。

怪杰沃森

其实，我根本不能说认识沃森这个人。在他 12 年的哈佛任职期以及稍后一段时间，我们直接面对面对话的次数不超过五次，而且史密斯任命案也算是其中的一次。1962 年 10 月，我伸手向他道贺："恭喜你获得诺贝尔奖。全系都与有荣焉。"他答道："谢谢。"谈话结束。另一次，在 1969 年 5 月，他伸手向我道贺："恭喜你被选为国家科学院院士。"我回答："多谢了，沃森。"我很高兴他这么有风度。

不过至少，这个人并不狡诈。就某个层次而言，沃森显然觉得自己的作为都是为了科学着想，而直言不讳正是最需要的工具。道理就像"要做蛋卷，必须先把鸡蛋打破"。我只能确定一点，假使他的发现没有这般神奇的话，他在哈佛只会被当成一个天才怪人，而他的诚实真话大部分也都会被看成是差劲的判断，而遭到公开驳斥。然而，大家都对他洗耳恭听，而且部分年轻同事还群起模仿他的态度，这些都是因为他和克里克（Francis Crick，1962 年诺贝尔生理医学奖得主）解开了 DNA 分子密码的秘密，这远远超越了我们其他人所有过的成就，以及预期会达到的成就。

他俩的成就像闪电般出现，仿佛来自上帝的知识。在这出戏里，创造生命的普罗米修斯（Prometheus）就是沃森和克里克，而且他们也不只是因为运气好。沃森和克里克拥有超凡的智慧和创造力。它并非沃森后来接受访谈时的一句简单评语"（我们之所以会发现双螺旋，是因为刚好）没有其他够格的人，有兴趣全神贯注在这个问题上"，就能解释清楚的。

双螺旋震撼

对于那些不曾在 50 年代早期研读生物学的人来说，恐怕很难想像，发现 DNA 结构对于我们领会世界运作的方式，带来了何等重大的冲击。那不只是涉及遗传学转型的问题，它同时还为所有生物学科注入了化繁为简的信心。这项发现暗示了：最复杂的程序可能比我们想像的还要简单。它悄悄地把野心和胆识送进年轻生物学家心中，同时还建议他们：现在就试试看，快速且深刻地切入生命之谜中。

当我在 1951 年来到哈佛念研究生时，大部分生化学家之外的人士，都深信基因是一群难以驾驭的蛋白质。我们都认为，它的化学结构以及它指挥酵素合成的方式，必须等到下个世纪才有办法解开。话虽如此，已有愈来愈多的证据显示遗传

物质 DNA，一种比大多数蛋白质都简单得多的大分子。1953 年，沃森和克里克证明了：配对现象确实存在于双螺旋结构里头，而且它也符合孟德尔遗传定律。“它并没逃过我们的法眼，”他俩在 1953 年写给《自然》期刊的信尾这样调侃道，“我们马上就要发表的这项专一性配对假设，为遗传物质的复制提供了一套可能性很高的机制。”很快地，人们又发现这些卤基配对所形成的密码竟如此简单，甚至连小孩都看得懂。这类暗示再加上其他一些启示，在个体生物学以及进化生物学界，激起阵阵涟漪，至少在年纪较轻、也较具有雄心的研究人员心中是如此。假使遗传现象能被简化为一串分子字母，而且字母种类只有 4 个，由成千上亿这类字母就能描绘出全体生物，那么，简单并加速分析生态系以及复杂的动物行为，不就也有可能达成吗？在哈佛研究生中，我算是对于分子生物早期进展最感兴奋的人之一。沃森是自然科学界年轻人心目中的英雄，是骑马入城来的年轻神枪手。

态度转变

很可惜的是，沃森本人和他的分子生物学家党羽，却对我所安身立命的生物学战区缺乏远见。从他们所有的声明中，我能筛检到的只有革命的标语：且把所有这类老式思想全都除去，看看会出现什么样的新秩序。

对于他们这般缺乏眼界，我当然觉得非常失望。1968 年，沃森当上冷泉港实验室（Cold Spring Harbor Laboratory）所长时（但是他在哈佛的教职一直维持到 1976 年），我对朋友说了一句尖酸的评论：“我连柠檬水摊子都不会交给他管理。”沃森证明我错了。10 年之内，他借助激励、提高奖励等技巧，以及选择并吸引最具天分的研究员的能耐，硬是把这家原来就已经很著名的机构，提升得更有水准了。

一个全新的沃森渐渐在我心中成形。1982 年 10 月，在哈佛大学生物实验室 50 周年庆的招待会上，他一路排开满屋子的人群，向我走来，称赞我于当天下午一场演讲中，信口开河说出的一段话。当时我是这么说的：“哲学的历史，大半是由头脑里失败的模式所组成的。”事后我发觉，我的措辞正是他 20 年前会用的那种先发制人式的反驳语。难道是我在这段期间变得迂腐了吗？没错，也许有一点儿。我从没法抑制自己对这位仁兄的激赏，他以勇气和炫丽的姿态大胆完成了他的成就。沃森和其他分子生物学家为他所属的时代，注入了新的信念：自然科学界里的法则也可以简化。这是一场属于自然主义的胜利，同时，对我个人来说，我在 70 年代试图透过把全新的社会生物学（sociobiology）系统化，以便把生物学引进社会科学当中，部分的动机也是来自这个信念。

“进化生物学”这名字如何？

当年那些冲突也促成分子革命的另一个最后证明是正面的效果。到了50年代末期，系上的气氛实在太令人窒息了，以致大伙儿已经没办法在一般的会议中，拟定哈佛生物系的未来。于是，个体生物学及进化生物学方面的教授便准备另谋出路。我们自组了一个政策讨论会，非正式地会面讨论我们自己的学科，我们首次开始思考我们未来在生物科学界里的地位。这样的发展令我想起另一条人类学法则——当野蛮部落成长到一定的规模和密度时，他们就会分裂，其中一群人会移居到另一块新领土上。例如巴西及委内瑞拉的雅诺曼奴人（Yanomano），据判断，他们分裂的时刻，就在斧头战役频率大增后不久。

到了1960年秋天，我们的政策讨论会已经强固得变成一个新生的“宏观生物学委员会”（Committee on Macrobiology）。

宏观生物学，真是个怪名字。1930年，我们认识到像动物学、植物学、解剖学以及其他以生物群体为中心的学科，都不再能反映生物学的实际状况了。生物学现在已经被横向切割，切割依据为生物的组织层次，也就是所谓分子、细胞、个体、族群以及生态等。换言之，生物学探讨生命的方式来了一个90°的大旋转。专家们愈来愈不在意获得鸟类、线虫或真菌等个别物种的所有知识，甚至包括它们的多样性。专家的焦点愈来愈集中在研究一或两种（生物）组织层次的通则。为了这么做，许多人只好把全副精力摆在一小部分物种身上。全美国的大专院校也据此重新拟定研究及教学计划，改为分子生物学系、细胞生物学系、发生生物学系以及族群生物学系，再不然也就是和上述分支大略相同的其他学科。

在这段转换期间，也就是大约从60年代持续到70年代，“进化生物学”这个用词流传得相当广。它的用意是想把个体以上的生物组织层次，和环境、动物行为以及进化等学科结合在一起。虽然我承认自己的记忆不见得完整，而且我也没有深入研究整个来龙去脉，但是我还是相信，“进化生物学”这个名词是由哈佛带动起来的，搞不好还是从我这儿源起的。我记得，我是在1958年自个儿编造了这个名词，并将它填入哈佛的行事历中，作为下一年度授课的课程名称。从那之后，“进化生物学”就在哈佛校园内流传开来。

1961年某个秋日，那时我已经讲授进化生物学这门课3年了，我坐在哈佛新建的植物标本馆大会议室中，与辛普森隔桌对坐，等待宏观生物学委员会其他的成员前来参加我们的例行会议。辛普森被认为是当今最伟大的古生物学者，当时已是他在哈佛大学任教的最后几年。我主动跟他搭讪，这是很必要的，否则我们就只能干坐在那儿，沉默地你看我，我看你。因为“奇奇”（G. G，我们都这么称呼他）几乎永远不会主动开腔。他很害羞，极端自律，全神贯注于研究工作。我猜他是想要

省下和别人谈话的每分钟，以便投入论文或著作的撰写上。他坚拒担起委员会的工作，不愿收研究生，而且他的授课时数即使以相当宽松的哈佛标准来看，都算是非常少的。

那一天，我对他提出一项很具挑战性的问题。当时我正烦恼着该如何为我们那强敌环伺的生物学找个适当的名称。我们都同意"宏观生物学"这个名词很糟。"古典生物学"也不必考虑，因为我们的分子敌手正是这样称呼它的。单是"一般生物学"？或是"真实生物学"？两个都不好。"族群生物学"？蛮正确的，但是范围太狭窄了。那么，我说道"进化生物学"如何？这样就可以全面照顾到了。既然进化学是生物学的中心组织概念，无法用物理及化学方法来探讨，那么，把它用作学科名称的一部分，或许可以当成智慧独立的辟邪物。我试着向其他成员解释这一点，大家都很赞成。于是，1962 年春天，我们便正式成立了"进化生物学委员会"(Committee on Evolutional Biology)。

哈佛"压力锅"

在生物系全面分裂的时刻来临时，我们和分子生物学派系间的冲突热度日增，冲突主要环绕着新进人事的任命案打转，历经一次又一次的痛苦案例。哈佛教职员在科学界是很有名的"压力锅"，大部分时候和大部分议事主题都是如此。决意维持高品质的校长和院士们，警戒心十足，使得同侪间彼此竞争终身教职的压力更为强化。这种意图大半要归咎于哈佛的盛名。

我们全体一致关心的目标非常明确：在每个候选学科中，选出全世界最好的人才，或者，至少是能够在最前线苦干实干的工作狂型的老手。教授群和行政部门千篇一律地盘问：他的发现有何重要性？哈佛现在需要他这个学科的人才吗？他真的是该学科中最优秀的吗？结果，半数以上的助理教授在还没有机会接受考验之前，就已确定无缘获聘终身职，或是被迫离开。这就是哈佛生物系于 50 年代末期到 60 年代初期的情况。任何一方阵营所推荐的人选，都会受到另一方阵营明白表示怀疑的仔细盘查。

这份日益升高的张力，不只是因为两方阵营的利益冲突。双方间的裂痕已经深入到生物学的定义问题。分子生物学家信心十足，相信未来属于他们。他们认为，如果进化生物学也想立足于未来，那么势必得改换成完全不同的面貌。而这一点，可以靠他们或是他们的学生来办到，由下往上，从分子到细胞再到生物个体。他们传达的信息很明白：让集邮者回到博物馆去吧。

居于劣势的进化生物学家可不打算臣服在这一群连红眼蜻蜓和蚁蛉都分不出来的"试管操作员"手下。我们反驳道，在分子学科还没有成形、也未经证实之际，就要我们先放弃个体、族群以及生态等各种学科及其系统方法，真是太愚蠢了。

我们受到威胁，不得不破天荒地重新思考我们在知识上的正统性。无论是走廊上的对话或是行政会议上，我们都试图在制定未来的研究及教学计划方面达成共识，希望这些计划能向世界凸显、表露个体生物学及进化生物学的最佳面相。然而，在分子派大胜的头几年里，我方的力量却十分微弱。此外，我们又因各自兴趣、所求不同，而再度被分割。

进化生物委员会里的成员大多数都太专门、太局限于自己的范围，或是太过软弱，以致没法起而反抗。在系务会议中，他们神情木然地坐着，宁愿叨叨谈论一些较不重要的事情，像是，谁将负责教授基础课程？阿诺德植物园（Arnold Arboretum，属于哈佛所有的一处植物园）的地位如何？我们是否应该积极参与那所新成立的“热带研究组织”？至于分子生物学家，他们很少会阐述生物研究的哲学。对他们来说，未来已经够清楚了，而且就是被他们自个儿的鲁莽冲锋步伐给搞定的。

大家口里虽然不说，但是却有强烈的嘲讽暗示：算一算诺贝尔奖得主吧！麦尔和辛普森是新综合理论的巨擘，我少年时代的偶像（顺便提一下，他们都不是诺贝尔奖得主，因为诺贝尔奖不颁给进化生物学界的人），但他们似乎都很不愿意在系务会议中，公开提出这类中心议题。我想，部分原因在于分子学派所表现出来的态度——从漠视到轻视。何必招惹他们，把眼前这种令人不快的局面弄得更糟糕？由于进化生物学派缺乏强而有力的政治才能，我们的潜在结盟也渐渐衰微。当时号称最杰出的两位个体生物学家之一的葛瑞芬（Donald Griffin），他是动物声纳的发现者，也很早就被说服，接受了分子派学者的论调。有一次，他在会议桌上宣称，我们全都是进化生物学者，不是吗？我们在各个层次所学得到的，难道不都有利于增进进化生物学知识？著名的昆虫生理学家威廉斯（Carroll Williams）则始终维持友善的中立态度。他是一位谦恭有礼的弗吉尼亚绅士，成年后的时光虽然几乎全在哈佛度过，但是他连那口弗吉尼亚口音都没变过，他坚持保留旧日的礼貌态度。然而，有一点比个性更重要，那就是平摆在眼前的事实：进化生物学者没法提出大把最新突破，来和《自然》、《科学》以及《美国国家科学院会报》（*Proceedings of the National Academy of Sciences*）内长篇累牍的分子生物学及细胞生物学新进展，一较长短。

另类辞典

那个时代的气氛很鲜活地呈现在一封我写给史罗包德金（Lawrence Slobodkin）的信函中，发信日期为 1962 年 11 月 20 日。史罗包德金是一名年轻的进化生物学者，也是我新结识的好友。他很勇敢地从密歇根大学来到哈佛，发表了一场生态学演讲。

你如果知道这件事一定会很高兴，所有的学生，不论是研究生或是大学部学生，几乎全都对你赞不绝口。他们发觉该主题的内容以及你的个人风格都非常有意思……至于教员同仁们，反应便没有这么热烈。他们急着宣称，你的原则性高得令人不安，你的论调和数据说服力不够。这类反应的起因很复杂。我个人的印象是，其中有很大部分起自对生态学的古老偏见，这套滥调包括：生态学不够"扎实"或是没有经过严格的实验证明。要是换作一位知名的生化学家，讲述一个较"扎实"的主题，但是发表的也是一场类似的演讲，那么，这些教员同仁们一定会大大赞扬演讲者的灵活想像力及过人胆识。

我又想到，还有最后一条社会行为准则，使得事态发展不至太离谱——当受压迫的民族无计可施时，他们只有寻求幽默感。1967 年，我编了一份《分子生物学词汇表》(*Glossary of Phrases in Molecular Biology*)，很快地就传遍全美生物系所，而且广受好评——进化生物学者的好评，因为它抓住了征服者趾高气昂的神韵。以下就是表中的部分词汇，为了要制造出前后连贯的效果，我把原先按字母排列的顺序调动了一番：

* 古典生物学(Classical Biology)：生物学中尚未以物理及化学名词来加以解释的那一部分。古典生物学家喜欢宣称，古典生物学里头有许多分子生物学家所不了解的内容；但是那也不打紧，我们认为，那些内容很可能正是最不值得去了解的东西。总之，古典生物学一点儿都不重要，因为到了最后，它终会全盘被物理及化学词汇解释清楚。届时，古典生物学将脱胎换骨成为分子生物学，那时它便值得去了解了。

* 显赫的发现(Brilliant Discovery)：刊登在生物学主流期刊上的研究结果。

* 生物学主流(Mainstream of Biology)：我和我的朋友们所研究的主题。另外也号称"现代生物学"以及"21 世纪生物学"。

* 青年才俊(Exceptional Young Man)：曾经有过显赫发现的新进分子生物学家。

* 一流水准(Firstrate)：研究主流生物学的生物学家的水准。

* 分子生物学(Molecular Biology)：生物化学里头，替代部分古典生物学的那一部分。分子生物学里，有相当大的比重是由曾做出显赫发现的一流科学家所担纲的。

* 三流水准(Third rate)：古典生物学家的水准。

相信我，诸如"一流水准"、"显赫的"、"生物学主流"等字眼，确实经常挂在那些分子生物学家的口边，经过 30 年的演变，分子生物学和进化生物学的区别已被拉

近了许多。在我写这本自传的时候，专门研究群体生物的学界独行侠——分类生物学家(systematist)，很不幸地大都已被新领域的入侵者排除在大学院系之外。而这一点，可以说是分子革命所造成的惟一的、也是最糟糕的结果。

已被排挤到边缘多年的生态学家，由于大众对全球环境危机的共识，再度卷土重来。至于分子生物学家，就如同他们所保证的，的确完成了不少革命性的研究，只要能够找到分类学家告诉他们生物名称，他们就有办法做出重大贡献。幸存的进化生物学家则照例利用分子数据来继续达尔文的议题。两派人马有时也会友善地相互对话。的确，如今由两大领域人马共同携手合作的小组愈来愈多，一同在现在可以被公平且安全地称之为主流生物学的学科中，缔造一流水准的研究。此外，你在走廊上不经意听到的分子生物学家的语词，也变得较为朴实而精致。只有死硬派的奠基者依然认定，由族群到生态系这种较高层次的生物组织层次，也能用分子生物学来解释。

作者简介略。

文献来源：威尔逊《大自然的猎人——生物学家威尔逊自传》，杨玉龄译，上海科学技术出版社 2000 年版，第二部第十二章(第 236－250 页)。沿袭原有章节标题。

对威尔逊社会生物学的反驳

古尔德

1758年，林奈(Linnaeus)在《自然体系》(*Systema Naturae*)的定本中面临了一个困难的抉择，如何分类他所属的那个物种。是简单地将智人种列在其他动物中间还是为我们设立一个独立的位置？林奈妥协了。他将我们放到他的分类系统中(与猴子和蝙蝠很近)，但是通过描述又使我们与动物的关系很远。他用大小、形状、指和趾的数目这些具体的明显性状确定我们的亲戚。关于智人种，他只写下苏格拉底的告诫——"了解你自己"(nosce te ipsum)。

对林奈来说，智人种既是特殊的又是不特殊的。不幸的是，后来的诠释者把这种明智的解决方法推向某个极端，并完全曲解了。特殊和不特殊意味着非生物规律的和生物规律的，或意味着后天的和先天的。这种后来的极端化并不明智。人类是动物，我们做什么是由于我们的生物潜力。一些自封的生态激进分子宣称，大型城市是我们即将毁灭的"非自然的"先兆；这最令热情的(虽然最近不是了)纽约人愤怒了。但是(这里我使用的是最强调性的但是)，认为人类是动物并不是说我们特殊的行为模式和社会等级阶层完全由我们的基因直接决定。潜力和确切表现是不同的概念。

E. O. 威尔逊(E. O. Wilson)的《社会生物学》(*Sociobiology*，哈佛大学出版社，1975)引起的激烈争论，使我关注了这个问题。威尔逊的书受到广泛的赞扬和宣传。然而，我发现我自己却属于极少数的坚定反对者之一。我对《社会生物学》中的大部分观点也给予很高的评价，这和普遍的看法相同。在清晰解释进化的原则以及始终透彻探讨许多动物的社会行为方面，《社会生物学》大概是多少年来的首要文献。但是我对威尔逊书的最后一章《从社会生物学到社会学》确实不满。威尔逊在用了26章的详细材料说明非人类动物后，得出带有广泛猜想的所谓人类行为的一般模式具有遗传基础的结论。不幸的是，因为最后一章论述的主题与我们所有人的内心关系都很密切，所以在公开出版物中的有关评论中，占去了80%。

我们有谁要是批评了该书的最后一章，便被指责为完全否认生物规律与人类行为的关联，被指责复活一个古老的迷信，即将我们人类放在“造物”之外。我们是纯粹的“后天主义者”吗？我们承认人类完善性的政治观点，就是看不到生物天性的明显限制吗？对这两个问题的答复显然是否定的。这不是一般生物规律与人类独特性的问题，而是生物的潜力与生物学决定论的问题。

威尔逊在《纽约时报杂志》(*New York Times Magazine*，1975 年 10 月 12 日)上针对批评意见答复道：

毫无疑问，人类社会行为的模式，包括利他行为，是受遗传的控制，就是说人类的社会行为是有限的可能模式中的子集，与白蚁、黑猩猩及其他种类的动物行为模式有很大的差异。

假如这就是威尔逊的遗传控制含义，那么我们没有什么异议。我们确实不做其他动物做的所有事情，我们行为的潜力确实受我们生物特性的限制，假如我们可以进行光合作用，我们便会发展出不同的社会生活(没有农业，没有采集，没有狩猎——这些都是我们进化的主要决定因素)，或者具有瘿蚊的生活周期。(当生居在一个不拥挤的蘑菇时，这些昆虫在幼虫或蛹的阶段就生殖，年幼的瘿蚊在母体中生长，从体内蚕食了母亲，年幼的瘿蚊从掏空的仅剩外壳的母体中出来，再去吃食，成为新的一代，而且去做出崇高的牺牲。)

但是威尔逊却提出了更过分的观点。第 27 章(最后一章)并没有论述人类潜在的行为范围，没有提出从所有动物的更大的全部行为范围中限定人类行为范围的论据。这一章主要是关于人类行为中具有可变特性的特异基因的广泛猜想，这些行为包括怨恨、攻击性、恐惧、服从、同性恋，以及西方社会中男人与女人之间的典型行为差异。当然，威尔逊并没有否定非遗传的习得在人类行为中的作用；他甚至还一度指出“基因放弃了多数的统治权”。但是他又很快加上，基因“至少在决定文化之间不同行为的定性方面，具有相当的影响”。而且他在下一段中呼唤“人类学的遗传学学科”。

在威尔逊的人类行为论述中，生物学决定论是首要的主题。第 27 章与其他章节的内容没有联系。按照我的理解，威尔逊的目的是指出，达尔文的理论能够重新系统阐释人类科学，就像从前曾经使许多生物学学科发生了转变一样。但是如果没有基因来供选择，达尔文式的过程就不会发生。除非人类行为中有意义的“特性”受特定的基因控制，否则社会学的独立领域便不能自保了。我们说的“有意义”指的是社会学家和人类学家经常争论的课题，如攻击性、社会分层，以及男女之间的行为差异。假如基因只决定我们的体型大得足以生活在一个受万有引力作用的世界中，需要通过睡眠来使我们的身体得到休息，不能进行光合作用，那么基因决

定论便不会引起人们的关注。

遗传控制人类特定社会行为的观点有什么直接证据？目前的答案是什么都没有。(从理论上说，通过标准、可控的配育实验得到这样的证据不是不可能。但是我们不能在培养果蝇的瓶子中培养人，建立纯系或控制恒定的营养条件。)因此，社会生物学家必须拿出有说服力的间接证据。对此，威尔逊采取了三个主要策略：普遍性，连续性和适应性。

1. 普遍性：假如在最近的灵长类亲戚和我们人类自身中都能发现一定的行为，那么就有可能得到共同的遗传控制的详细材料。第 27 章净是假定人类普遍性的陈述。例如“人类太容易被灌输某些意识了，他们追寻那些意识”。或“人类重信仰轻知识”。我只能说，我个人的经验与威尔逊所说的并不相符。

当威尔逊不得不承认多样性时，他经常将那些不舒服的“例外”当作暂时不重要的异常现象。由于威尔逊相信重复的、通常是种族灭绝式的战争，已经决定了我们的遗传命运，那么存在非攻击性的人便令他难堪。不过他却写道：“可以认为一些隔离的文化曾经几代离开战争过程，结果又回复到人种学家划分的和平状态。”

即使我们可以汇总一系列人类与我们灵长类近亲共同具有的行为特征，但这无论如何也不能成为提出存在共同遗传控制的充分理由。类似的结果不一定由于类似的原因；事实上进化论者已经深刻认识到这一点，所以提出用不同的术语来表达类似性。由于共同遗传祖先的类似特征是“同源的”，功能相同但进化历史不同的类似性是“同功的”(如鸟的翅和昆虫的翅——这两个类群的祖先都没有翅)。下面我将提出，人类生物规律的基本特征支持人类与其他灵长类的行为类似是“同功的”观点，在人类当中，这些类似并没有直接的遗传特异化。

2. 连续性：威尔逊宣称(我认为他很肯定)，W. D. 汉密尔顿 1964 年用“亲选择”理论对利他主义的达尔文主义解释，形成了动物社会进化理论的基础。利他行为是稳定社会的凝固剂，这种看法似乎违背了达尔文主义的解释。根据达尔文主义的原则，所有个体都最大限度地加大自己对以后世代的遗传贡献。那么生物又怎么能愿意通过表现出利他行为或有利其他个体，来牺牲自己或历经危险呢？

解决的办法在概念上非常简单，当然技术细节很复杂。利他行为通过有利于亲属，保留了利他主义者基因，当然利他主义者本身并不长久拥有这种基因。例如，在多数有性生殖的生物中，一个个体(平均)与其直系亲属有 1/2 的基因相同，与它的嫡表亲属有 1/8 的基因相同。因此，假如面对自救还是牺牲自己去救助两个以上的直系亲属或八个嫡表亲属时，按照达尔文主义的计算，有利于利他的牺牲，因为这样做，利他主义者实际上在以后的世代中增加了自己的遗传份额。

自然选择会有利于保存这种为自身利益的利他行为者基因。那么对于非亲属的利他行为又是什么样的呢？这里社会生物学家为了坚持遗传学的解释，必须利用一个相关的概念“相互利他主义”。利他行为承受某些危险，又没有直接的好处，

但是它唤起目前的受惠者在将来做出回报的行为，那么从长远看，利他行为便有了补偿，是一句古老谚语的遗传表现：一报还一报（即使我们不是亲属）。

那样的话，连续性的观点便可以继续下去。对其他动物社会群中的利他行为可以合理地解释为达尔文式亲选择的例子。人类表现了利他行为，而且可能有类似的直接遗传基础。但是还是那句话，结果相似并不等于原因相同（见下文根据生物的潜力而不是生物学决定论的另一种解释）。

3. 适应是达尔文式过程的标志。自然选择连续起作用并且缓慢地使生物适应环境。不利的社会结构就像糟糕的形态结构一样，不会生存长久。

人类的社会活动显然是适应的。马文·哈里斯已经令人高兴地证明，其他文化中那些令沾沾自喜的西方人感到奇怪的社会活动同样符合逻辑而且有感情（《牛，猪，战争与巫师》，*Cows, Pigs, Wars, and Witches*，兰登书屋，1974）。人类的社会是一个利他主义之谜；同时显然也是适应的。这不是一个不言自明的直接遗传控制的论据吗？我的回答很明确："不是"，而且我可以利用我最近与一位著名人类学家合作得出的论据，来更好地说明我的观点。

我的同事坚持认为，生活在浮冰上的爱斯基摩人的经典故事，是存在亲选择保持特定利他基因的合适证据。在一些爱斯基摩人当中，社会单位排列得像一个家庭类群。假如食源减少，家庭不得不为了生存而迁走时，年迈的祖亲们自愿地留在后面（等死），而不是冒险随整个家庭为了生存而经历漫长、艰辛而危险的迁徙。没有利他行为者基因的家庭类群便要屈从于自然选择，因为病老者会阻碍迁徙，导致整个家庭的死亡。具有利他基因的祖亲们通过牺牲会增加他们的适应度，因为他们帮助有共同基因的近亲的生存。

我的同事的这种解释是合理的，但却不是绝对的，因为还有一种更简单的非遗传解释：根本不存在利他基因，实际上爱斯基摩人家庭中根本没有重要的遗传差异。祖亲们的牺牲是一种适应的、非遗传的文化特性。没有牺牲传统的家庭不能生存许多代。在其他的家庭中，以歌曲和故事的形式纪念牺牲；年迈的祖亲们留下来不走便成了家庭中最伟大的英雄。孩子们在很小的时候就普遍记住这种牺牲是光荣和荣誉的事情。

我不能证实我的观点，就像我的同事不能证实他的观点一样。但是在现在缺乏证据的情况下，两种观点至少同样合理。同样，人类社会中无疑存在相互利他行为，但这根本不能成为利他行为具有遗传基础的证据。正如本杰明·富兰克林（Benjamin Franklin）所说："我们必须相互帮助，否则就只有自己靠自己了。"职能性社会可能要求相互利他行为。但是无需通过基因将利他行为编码到我们的意识中，通过学习同样可以具备利他行为。

我再回到林奈的妥协上，即我们既是普通的，又是特殊的。促使我们怀疑我们的行为受特定基因直接编码的主要原因，恰是我们生物学独特性的中心特征，也就

是我们大大的头脑。大小本身是任何物体功能和结构的主要决定因素。大型物体和小型物体不可能以同样的方式作功。对物体伴随大小的增长而变化的研究叫做“异速生长研究”。最著名的异速生长是大型动物表面积与体积比降低的补偿性结构变化——相对厚实的腿和回旋状内脏表面积(例如肺以及小消化器官的绒毛)。但是在人类进化中,脑的明显增长产生的异速生长影响可能最重要——增加了足够的神经联系,将一个不易变的严格循规蹈矩的装置变成一个易变的器官,具备了有效的逻辑和记忆,灵活的学习取代了直接的演示,成为社会行为的基础。易变性可能是人类意识中最重要的决定因素;直接编程的行为大概成了不适应的。

当我们知道脑具备的可变性使我们可能成为攻击性的或平和的,统治的或服从的,怨恨的或宽容的,为什么还要设想存在攻击性、统治或怨恨的特定基因呢?暴力、性别歧视和一般的恶劣是符合生物规律的,因为这些是可能行为范围中的子集。但是和平、平等和善良只是好像符合生物规律的,而且只要我们营造可以使这些品性兴旺的社会,我们就可以看到它们影响的增加。我对威尔逊的批评是他不去援引非生物学的“环境论”;环境论仅仅利用生物潜力的概念——脑的能力决定了所有行为,不存在预先决定,环境论反对生物学决定论的特定基因决定特异行为特征的思想。

但是为什么这么一个学术问题变得如此敏感和轰动呢?每一方都没有坚实的依据,而且比如这个问题——我们顺从是因为顺从者基因已经被选择了,还是因为我们的遗传构成允许顺从作为许多策略中的一个,这到底有什么区别?

之所以围绕生物学决定论生出广泛激烈的争论,是由于生物学决定论中的社会及政治含义的作用。正如我在前面的文章中说过的那样,生物学决定论总是利用生物学的必然性来捍卫现存的社会等级,从“穷者永远贫穷”,到19世纪的帝国主义,再到现在的性别歧视。为什么这样一系列缺乏事实支持的观念几百年来都受到当时媒介的关注?因为科学家们虽然出于不同的原因(有些还是善意的)提出决定论的学说,但如何利用决定论却不是科学家所能控制的。

我并没有追究威尔逊或其他人的动机。我不是因为不喜欢决定论的政治用法才否认决定论。按照我们的理解,科学上的真实肯定是我们的首要标准。我们的生活中有一些令人不快的生物学真理,其中死亡最无法否认,也不可逃避。如果遗传决定论是真理,我们会学会与它很好相处。但是我再重复一遍我的观点:没有证据支持决定论,而且过去几百年的粗陋决定论已经被明确否定了。再有,决定论的继续流行是那些从现状中获益人的社会偏见在作祟。

但是我们别让《社会生物学》背上过去决定论的原罪。《社会生物学》的极为流行首先引起的直接结果是什么?我们顶多看到一种社会研究的开始,只不过它的前提因为拒绝考虑直接的非遗传因素而变得荒谬。1976年1月30日的《科学》(美国最有名的科学家专业杂志)上有一篇论乞讨的文章,这篇文章如果一字不改地登

到《全国讽刺》(*National Lampoon*)杂志上,我会把它当作一篇讽刺文。作者派遣"乞丐"向不同的目标乞讨小钱。对于得出的结果则只是从亲选择、相互利他主义、黑猩猩和狒狒的食物分配习性等角度来讨论——根本没有论及美国城市的现状。他们得出的一个主要结论是:"男乞丐向单个女性或一对女性乞讨很成功,向一男一女乞讨则不太成功,向一个男性或两个在一起的男性乞讨极不成功。"但他们并没有谈到城市的恐惧或性的政治学,只有一些关于黑猩猩和利他行为遗传学的论述(虽然他们承认相互利他行为的观点大概不太适用,然而他们却提出人们将会从乞丐那里得到好处)。

在第一篇对《社会生物学》持否定态度的评论中,经济学家保罗·萨缪尔森(Paul Samuelson)[①](《新闻周刊》*Newsweek*,1975 年 7 月 7 日)力劝社会生物学家小心处理种族和性别的问题。我发现他的建议并没有引起注意。威尔逊在《纽约时报杂志》1975 年 10 月 12 日的一篇文章中写道:

> 在猎人-采集人社会中,男人狩猎,女人待在家里。这个明显倾向在多数农业和工业社会中依然保持着,仅在这个基础上,显然就有遗传的根源……我自己的猜想是,即使在未来社会最自由最平等的情况下,强烈的遗传倾向也足以引起劳动的实际分工……甚至受同样的教育,进入各种职业的机会相等,男人很有可能继续在政治生活、商业和科学中起到突出的作用。

我们与其他动物既相似又有区别。在不同的文化氛围中,强调这个基本真理的这一面和那一面都能起到一定的社会作用。在达尔文时代,我们与动物相似的观点,中止了几百年来有害的迷信。现在我们可能需要强调我们作为易变动物的差异性,强调我们具有丰富的行为潜力。我们的生物天性并不阻碍社会的变革。正如西蒙娜·德·波伏娃(Simon de Beauvoir)[②]所说,我们"存在的本质就在于没有本质"。

作者简介略。

文献来源:古尔德《自达尔文以来——自然史深思录》,田洛译,三联书店 1997 年版,第八部分第三十二章(第 277—288 页)。标题为编者所加。

---

① 萨缪尔森,美国经济学家,1970 年获诺贝尔经济学奖。——译者注

② 波伏娃,法国女作家,存在主义哲学家,让·保罗·萨特的终生伴侣,代表作有小说《应邀而来》、《达官贵人》,论著《第二性》、《论人性》等。——译者注

⑯ 浪漫生活 ≫

贝格尔舰上的经历

达尔文

参加贝格尔舰的航行是我一生中极其重要的一件事，它决定了我的整个事业；然而我参加这次航行，却取决于如此微小的一个条件，就是我舅父提议同我一道坐马车去 30 英里（约合 48 千米）外的什鲁斯伯里，不过很少有舅父愿意这样做的；同时还取决于另一件小事，那就是我的鼻子的形状。我总觉得这次航行第一次给我提供了真正的思想教育或训练，我被引导去密切注意博物学的几个部门，因而我的观察能力得到了改进，虽然我的观察能力已经相当地发展了。

研究所有访问过的地方的地质情况，是非常重要的，因为推论将会在这时发生作用。当开始考察一个新地区时，没有比岩石的紊乱更使人绝望的了；但是，把许多地点的岩石和化石的层理与性质记录下来，常常可以使我们推论和预测出另一地方的地质情况，因而光明便会立刻降临于这个地区，而整个的地质构造也就变得多少可以理解了。我曾随身携带莱尔的《地质学原理》第一卷，并且用心地加以研究。这本书在许多方面对我都有极大好处。当我考察第一个地方——佛得角群岛的圣雅哥岛时，我便清楚地看出莱尔处理地质学的非常优越的方法，绝不是我随身携带的或以后谈到的其他任何著作的作者所可比拟。

我的另一件工作就是采集各类动物，并对海栖动物进行大略的描述和粗糙的解剖；但由于我不能绘图，并且缺少充分的解剖知识，以致我在航行中所写的一大堆原稿几乎都是无用的。这样，我便白费了时间，不过在获取某些有关甲壳类的知识方面，时间却没有白费，因为这在我后来写蔓脚类的论文时还是有用的。

每天我用一部分时间写“日记”，当仔细地、生动地描述我所看到的一切时，我费了很大力气，不过这是一种良好的练习。我还把“日记”部分地作为家信，遇有机会便寄回英国。

然而，上述各种专门研究，比起当时我养成的一种习惯——对于我所从事的工作勤恳奋发和专心一致——就毫不重要了。我所想的和读的都同我所见到的或可能见到的每一事物有着直接的关系，这种思想习惯在5年的航海中一直延续下来。我确信，只有这种锻炼才能使我在科学上有所贡献。

回溯既往，我现在能够觉察我对于科学的喜爱如何逐渐压倒了其他嗜好。开始两年，我打猎的老嗜好几乎以全力复活了，我射猎准备采集的一切鸟和动物；但是逐渐地我把射猎工作交给我的仆人，终于全都交给他了，因为射猎妨害了我的工作，特别是妨害了我对于一处地方的地质构造的研究。我发现，虽然是无意识地和不自觉地，观察和推论比起技艺和运动，是远为高等的一种令人愉快的事情。（野蛮人的原始本能慢慢地让位于文明人后天获得的兴趣。）通过我在航海中的工作，我的思想有所发展，这大概可以用我父亲的一句话来描写，他是我所看到的最敏锐的观察者，具有怀疑的性情，绝不相信骨相学，但是当我在航海后第一次见到他时，他转向我的姐妹们说道："哎呀！他的头部形状完全改变了。"

回头来说一说航海的事情。9月11日（1831年）我同菲茨·罗伊仓促地看了一下停在普利茅斯的贝格尔舰。然后回到什鲁斯伯里向我父亲和姐妹们告别。10月24日我在普利茅斯住下来，并且在那里一直停留到12月27日——贝格尔舰最后由英国出发做环球航行的时候。在此以前我们曾经两次试图起航，但每次都被暴风雨赶回来了。在普利茅斯的两个月，虽然我用各种方法努力消遣，但这还是我从来没遇到过的最悲惨的日子。当我想到要同我的家庭和朋友们长久离别，便郁郁不乐，而那里的气候对我来说，也是难以形容地坏。我还被心悸和心痛所苦恼，就像许多无知的年轻人，特别是具有一知半解的医学知识的人那样，我相信我有了心脏病。我没有请教医生，因为我充分预料到，我将会听到我不宜于航海的诊断，而我已经决定拼着一切去参加这次航海了。

我无须在此来谈航海的大事——我们到过哪里，做过什么——因为在我发表过的《航海日记》中已经做了足够充分的叙述。热带植物的壮观现在还比任何其他事物更为鲜明地浮现在我的思想中；可是，巴塔戈尼亚的大沙漠和火地岛布满森林的山脉当时在我的心头激起了雄壮感觉，因而我的思想里也留下了始终难忘的印象。在当地看到的一个裸体的未开化人，也是永难忘记的一件事。我曾骑马或划船在没有人烟的地方作过多次旅行，有时要继续几个星期，这是非常有趣的；旅行的不舒适和某种程度的危险，当时并没有使我裹足不前，后来也就处之泰然了。对于我的某些科学工作，回想起来我还感到非常满意，例如我解决了珊瑚岛的问题，弄清了某些岛屿，如圣海伦娜的地质构造。我还发现了栖息在加拉帕戈斯群岛的若干岛屿上的动物同植物之间的奇妙关系，以及所有这些生物同南美生物之间的关系。

关于我自己，就我所能判断的来说，我在航海中曾孜孜不倦地工作着，这是由

于单纯的研究兴趣，而且也是由于我希图在自然科学的大量事实中添加少许事实的强烈愿望。为了在科学工作者当中取得恰如其分的地位，我也是野心勃勃的；至于这种野心究竟大于还是小于我的同事，我就没有什么可说的了。

圣雅哥岛的地质是很动人的，也是简单的：一股熔岩流从前曾经流在由磨碎的近代贝类和珊瑚形成的海床上，这些贝类和珊瑚便烧结成坚硬的白色岩石。从那时起，整个岛屿隆起了。但是这一道白色岩石向我揭发了一件重要的新事实，即这些曾经活动过的和喷发过熔岩的火山口，其周围地面后来又沉陷了。于是我开始希望或许我能写出一本书来论述我访问过的地方的地质情况，这曾使我快乐得发抖。对我来说，这是难忘的时刻，并且我多么清楚地记得那低矮的熔岩悬崖，我曾在它的下面休息过，上面照射着强烈的阳光，附近生长着少数奇异的沙漠植物，脚底下的潮塘里还有活珊瑚。在航海后期，菲茨·罗伊叫我读一些我的日记给他听，他说这是值得出版的；所以第二种著作又有希望了！

将要完成我们的航海之前，我在亚森松岛接到我姐妹们给我的一封信，她们在信里告诉我说，赛奇威克曾经拜访过父亲，并且说我会在一流的科学工作者当中占有一席之地。当时我不知道他怎么会晓得我的行动，但是我听说（我相信是在以后）亨斯洛曾把我给他的信在剑桥的"哲学学会"上宣读过[①]，并且还把它印刷出来，非正式散发。我送给亨斯洛的我所搜集的化石骨，也在古生物学者当中引起了重大注意。我读完这封信之后，便一跃而登上亚森松岛的山巅，让火山岩石在我的地质锤下发出声响。这一切都显示了我是多么野心勃勃；但是我想，我可以老实地说，在以后的年代中我虽然非常注意我的朋友莱尔和胡克的称赞，但并不十分关心一般的舆论。这不是说，对于我的著作的好评或它们的大量销售，并不使我感到非常快乐，但这种快乐转瞬即逝，而且我可以肯定地说，我从来没有为着获取声誉而逸出我的轨道一步。

作者简介略。

文献来源：弗朗西斯·达尔文编《达尔文自传与书信集》（上册），叶笃庄、孟光裕译，科学出版社 1994 年版，第二章（第 60－64 页）。标题为编者所加。

---

① 在 1835 年 11 月 16 日所举行的集会上宣读，并且印成 31 页的小册子，分发给学会的会员。——F. 达尔文

居里夫人的恋爱

艾芙·居里

玛丽已经把恋爱和结婚从她的生活计划中划掉了。

这并不十分奇怪。一个贫寒的青年女子因为初恋遭到了失望和屈辱，便发誓永远不再恋爱；而一个斯拉夫女学生为知识方面的抱负所激发，尤其容易决定放弃一般女子的义务、幸福和不幸，以便从事自己认为适合的事业。在所有的时代中，热烈希望成为大画家或大音乐家的女子们，对于恋爱、生男育女、规范，都是轻视的。

玛丽自己建立了一个极端严肃的秘密宇宙，由爱好科学的情感支配。对于自己的家庭的亲切感，对于受压迫的祖国的依恋，也在这个宇宙中占有地位。这就是她的全部感情！其余都不足重，其余都不足道。这个二十六岁的青年女子，独自住在巴黎，每天在索尔本和实验室遇见青年男子，她已经这样决定了。

她的梦想萦绕在她心头，贫苦折磨着她，大量的工作使她过度劳累；她不知道闲暇和闲暇的危险。而她的自尊心和羞怯保护着她，此外还有她的怀疑；自从Z家不愿意要她做儿媳妇，她就以为没有嫁妆的女子不能得到男子的忠诚和温情。这些美好的理论和痛心的回忆，使她意志坚强，她坚决要保持独立。

不，一个有天才的波兰女子过着枯燥的生活，与人世隔绝，把自己留给工作，这并不可惊；但是，一个法国人，一个有天才的学者，竟会为这个波兰女子留下自己，不知不觉地在等着她，那就实在令人惊异了。神奇得很，玛丽还在诺佛立普基路的住房里，梦想要到索尔本来求学的时候，比埃尔·居里已经在索尔本作出了几项物理学的重要发现，而由索尔本回到家里之后，竟自在日记里写了这样几行伤感的话：

……为生活而热爱生命，妇女远远超过我们，所以有天才的妇女很少。因此，

当我们受某种神秘的爱所驱使，要走上某种反自然的途径时，当我们要把全部思想用于某种工作，远离我们所接触的人类时，我们就必须与妇女战斗。母亲最希望保有她的儿子的爱，即使他长成一个呆子，她也不顾；情妇要完全占有她的情人，觉得为一小时的恋爱而牺牲世界上最好的天才，也是一件当然的事。在这种战斗中，我们差不多永远不是她们的对手，因为妇女们有很好的于她们有利的理由：她们说是为了生命，为了天性，要试着把我们引回去。

几年过去了，比埃尔·居里一直把身心都献给科学研究，他没有娶他遇到的任何不值一顾的或漂亮的女子；他已经三十五岁，他谁也不爱。

他翻弄着他那搁了许久的日记，重读旧日所写的话，字迹已经褪色了，其中几个小小的字，充满了惋惜和莫名的忧伤，引起他的注意：

"……有天才的妇女很少。"

我走进去的时候，比埃尔·居里正站在一扇对着阳台的落地窗前。虽然那时候他已经三十五岁，我却觉得他很年轻；他那富于表情的炯炯目光和他那颀长身材的洒脱风度，给了我很深的印象。而他那略显迟缓而且审慎的言谈，他的质朴，他那既庄重而又活泼的微笑，引人信任。我们开始谈话，不久就很投缘；谈话的题目是一些科学问题，我乐于征询他对这些问题的意见。

玛丽后来用这种单纯而且略带羞涩的语句，描写他们在 1894 年年初第一次会面的情形。

有一个波兰人，科瓦尔斯基先生，福利堡大学的物理教授，同他的妻子旅居法国，玛丽以前在斯茨初基同这位夫人相识。这是他们的蜜月旅行，也是科学旅行。科瓦尔斯基先生在巴黎举行几次讲座，并且参加物理学会的集会。他一到巴黎就打听玛丽，并且友善地探问她近况如何。这个女学生对他诉说她目前的忧虑，全国工业促进协会约请她研究各种钢铁的磁性。她已经在李普曼教授的实验室里开始研究；但是她必须分析各种矿物，并且收集各种金属的样品。这要用一种复杂的设备，而那个实验室已经太满，容不下她的设备。玛丽不知道怎么办，不知道在哪里做她的试验。

约瑟夫·科瓦尔斯基考虑了一会，对她说："我有一个主意。我认识一个很有才能的学者，他在娄蒙路理化学校工作，也许他那里能有一间供他支配的房间。无论如何，他至少可以给你出个主意。你明天晚上晚餐后到我们家里来喝茶。我请这个年轻人来，你也许知道他的名字，他叫比埃尔·居里。"

在这平静的一晚，在那对青年夫妇住的安静寓所里，立刻有一种好感，使这个法国物理学家和这个波兰女物理学家彼此接近。

比埃尔·居里有一种很特殊的魅力，这种力量来自他的庄严和温雅的洒脱风度。他的身材颇高，衣服剪裁得肥大，不甚入时，穿在身上宽大了些，可是显得很合适，无疑地，他颇有天然的优雅。他的手很长，很敏感。他那粗硬的胡须使他端正而且很少变化的脸显得长一点；他的脸很好看，因为他的眼睛很温和，眼神深沉、镇静、不滞于物，真是无可比拟。

虽然这个人总是沉默寡言，从来不高声说话，却不能不使人注意到他所表现的罕见的才智和个性。在卓越的智力并不总是与道德价值结合在一起的文明中，比埃尔·居里差不多是惟一的表现人性的典范，他既是一个有能力的人，又是一个高尚的人。

一开始他就觉得这个不大说话的年轻的外国女子颇有吸引力，还产生了一种强烈的好奇心。这个斯可罗多夫斯卡小姐真是一个令人惊异的人物……她是一个波兰女子，是为了要在索尔本继续求学而由华沙来到此地么？她已经在去年以第一名的成绩得到了物理学学士的学位么？她将在几个月后考数学学士的学位么？而她那灰色眼睛之间有一点小皱纹，显得有心事，是因为她不知道该在什么地方安置她须用的仪器，以便研究钢铁的磁性么？

他们的谈话起初很空泛，不久就成了比埃尔·居里和玛丽·斯可罗多夫斯卡两个人之间的科学对话。玛丽尊敬地问比埃尔一些问题，听取他的意见；他也叙述他的计划，描述那使他惊奇的结晶学的现象，他此刻正在探索它的规律。这个物理学家想到，用术语和复杂公式对一个女子谈自己喜欢的工作，而看见这个可爱的青年女子兴奋起来，能够了解，甚至于还正确而敏锐地讨论某些细节，这是何等稀奇……这是何等快乐啊！

他看玛丽的头发，看她那饱满的前额，看她那为实验室中的各种酸和家务工作而受到损伤的手；她的娴雅使他迷惑，而毫不装模作样使她更显动人。他记起主人请他来和这个青年女子见面的时候，对他说过一些关于她的事：她在上火车到巴黎来之前工作了好几年，她没有钱，她独自在一个顶楼住着……

他问斯可罗多夫斯卡小姐："你将永远住在法国么？"自己不大知道为什么这样问。

玛丽的脸上罩上了一层阴影，用她那悦耳的声音回答说：

"当然不。今夏我若能考上学位，就回华沙。我愿意在秋天回来，但是不知道能不能够。将来我要在波兰当教师，设法使自己有点用处。波兰人没有权利抛弃自己的祖国。"

科瓦尔斯基夫妇加入谈话，话锋就转向俄国压迫所造成的痛苦情况。这三个离乡背井的人追怀故土，交换他们的亲朋的消息。比埃尔·居里惊讶地听着玛丽谈她的爱国责任，不知所以地觉得不满意。

他是个一心只想物理学的物理学家，他想像不出这个具有特殊天赋的青年女

子，怎么会想到科学以外的事；而她的前途计划，怎么会是要用她的力量去抵抗沙皇政府。

他愿意再和她见面。

作者简介略。

文献来源：艾芙·居里《居里夫人传》，左明彻译，林光校，商务印书馆2003年版，第二卷第十章（第131—135页）。标题为编者所加。

爱因斯坦的伯尔尼时期

库茨涅佐夫

> 鉴定专利权的工作，对于我来说是一件幸事。它迫使你从物理学上多方面地思考，以便为鉴定提供依据。此外，实践性的职业对于像我这样的人来说简直是一种拯救：因为学院式的环境迫使青年人不断提供科学作品，只有坚强的性格才能在这种情况下不流于浅薄。
>
> ——**爱因斯坦**

在专利局的职位是否像爱因斯坦以为的那样给他的创作提供了有利的条件呢？上述摘自他逝世前一个月所写的自述片断的引文，是有利于这种看法的有力证明。对爱因斯坦来说，自己创作道路的全部回顾性的概述是一定观点的表现形式，这些观点关系到物理学思想的性质以及它们形成和发展的逻辑的、心理的和文化的前提。问题不在于爱因斯坦在伯尔尼生活的那段时间所特有的愉快感受。在总结自己的创作道路时，爱因斯坦强调指出了究竟是什么东西实际上成了科学成就的基础。

爱因斯坦在伯尔尼的生活，可以跟牛顿在鼠疫流行时期被迫离开剑桥回到武尔斯托尔普度过的那几年（1665—1667）作一对比。牛顿在那里得出了微分学思想、万有引力定律以及把光分解为各种单色光。爱因斯坦在伯尔尼创立了布朗运动论、光子论和狭义相对论。这间接地，但也许是更有说服力地证明了关于伯尔尼的条件对于科学创作的意义的上述评价。

同时，科学史总体上是同这种评价相对立的。在近代物理学上，占压倒多数的发现是由专业的研究者们完成的，大部分都经历了正常的途径：大学生时期、科学学派、独立的但和学派的研究方向相衔接的目标。也许，伯尔尼的条件对相对论的形成的意义的评价处于科学史之外，它受到了爱因斯坦传记的限制？如果爱因斯坦的传记不是科学史上一个如此重大的阶段的话，对这个问题是可以予以肯定的

回答的。但是，它是一个特殊的阶段，因此这种类比就说明不了什么了。

我们要指出，爱因斯坦在其整个一生中实质上都继承了伯尔尼传统：他钻研面临的各种问题，看来从不考虑对结果的评价。但是，作为一个专业的研究者——布拉格、苏黎世、柏林、普林斯顿的教授——在相对论创立之后，这是可以做到的。在创作道路开始时，同科学不相干的工作使人容易把智力完全倾注于问题的内容。

相对论连同其透彻完美的最初表述，连同其进一步推广和影响科学与文化的一切领域之路的开辟与廓清，要求有一种没有先例的能力，即从意识中排除掉“人类的即惟人类的东西”，包括“肤浅的分析的诱惑”在内的能力。

爱因斯坦的相对论关系式是从重审空间和时间的基本概念中得出来的，它不服从于任何外部的要求。爱因斯坦即使在另一种条件下大概也可以得出相对论。但我们认为，摆脱了学院式框框的自由是发现相对论的最自然的条件。爱因斯坦在伯尔尼的自由生活图景，那里没有任何学院式的权威和盲从的因素，就是在1955年自述片断中写的对专利局工作评价的图解。

没有理由怀疑，这种工作所引起的物理学的兴趣也有重大作用。如果不从久远的源流中汲取联想和类比，要得出新的物理学思想，尤其是不仅要根本改变理论物理学的内容，而且要根本改变其风格是很困难的。我们不知道爱因斯坦最初的草稿、片断和预备笔记。如果有的话，大概其中可以找到构造上和技术上的样式。在所有的场合——不仅在上述自述片断中，爱因斯坦本人都说过，技术研究在许多方面对他有帮助，而在专利局的职位恰好就是搞这样的研究：源源不断的有时是巧妙构思的动力学原理、工艺方法、使旧的设计完善化、把这一领域的构造和图式移植到另一领域、意外地运用老办法来解决新问题，他需要通晓这一切。

下面这件事对于评价爱因斯坦的工艺兴趣也许是有代表性的。我们已经熟悉哈比希特了。他有一个小弟弟名叫泡利，那时在伯尔尼上中学。他对电气发生了兴趣，中学毕业后去夏富豪森，在那里创建了一家电气测量仪器工厂。泡利·哈比希特和爱因斯坦在1908年设计了一种可以测量出0.0005伏电压的仪器，在1910年命名为“爱因斯坦-哈比希特电位放大仪”。爱因斯坦后来还设计过各种仪器。

在伯尔尼的头几个月中，爱因斯坦曾想从事私人授课。报纸上登出广告：爱因斯坦毕业于苏黎世工大，讲授物理学每小时三个法郎。广告吸引的学生寥寥无几，但使他结识了莫里斯·索洛文——一个在罗马尼亚出生的人，他来到苏黎世上大学，希望加深自己的物理学知识。初次谈话导致后来不断见面以及随之而来的亲密友谊。我们有索洛文的回忆录和他发表的爱因斯坦给他的许多书信。①

索洛文在大学学习哲学、文学、希腊文、数学、物理学、地质学，还在医学系听

---

① 爱因斯坦《致M.索洛文通信集》。巴黎，1956。以下简称《索洛文通信集》，数字表示页码。

课。作为阐明自然界一般观念的手段的理论物理学引起了他的兴趣。当索洛文按广告找来时，虽然爱因斯坦是在半明半暗的楼道里迎接他，可是爱因斯坦那双大眼睛射出的不寻常的光辉使他感到惊讶。第一次谈话就确立了他们观点和兴趣的一致。会晤接连不断。他们以长时间的讨论代替了上课。康拉德·哈比希特不久也加入了他们一伙，他来到苏黎世是为了完成自己的数学教育。

通常他们都在工余和课后见面，散步或在谁的寓所聚会，座谈和一起大量阅读。他们研读过斯宾诺莎和休谟的一些哲学著作，马赫、阿芬那留斯、毕尔生的新著，安培的作品《科学的哲学经验》，亥姆霍茨的文章，黎曼的著名演讲《论作为几何学基础的假设》，戴德金和克利福德的数学论文，彭加勒的《科学和假设》以及许多别的东西。

他们还一起读过索福克勒斯的《安提戈涅》、拉辛的《昂朵马格》、狄更斯的《圣诞节的故事》、塞万提斯的《堂·吉诃德》和世界文学的其他代表作品。

以上作品中有许多都是爱因斯坦和他的朋友们已经熟悉的，但是他们被思想的交流迷住了。经常是某一页、某一句话引起了争论，争论持续到深夜并一连几天。在米列娃搬来之前，朋友们是一起用膳的。午餐通常是灌肠、干酪、水果和加蜂蜜的茶。授课收入差，课又少，于是爱因斯坦开玩笑说过，也许沿街串巷演奏小提琴更好些。至少他们感觉到自己是幸福的。在谈及这几年的时候，索洛文曾引用过伊壁鸠鲁的名言："欢乐的贫困是最美好的事。"

在这三年里，团结友爱曾一直存在着。他们给了它一个名称：奥林比亚科学院。

爱因斯坦晚年曾回忆这段时间。1953 年他写信给索洛文：

致不朽的奥林比亚科学院：

你在自己短暂的生涯中，曾以孩子般的喜悦，赞赏一切明朗而有理性的东西。我们创立了你，为的是要同你的那些傲慢的老大姐们开玩笑。多年细心的观察使我确信，我们是多么正确啊。

你的全部三个成员都表现得坚忍不拔。虽然他们都已经有点老态龙钟，但是你那纯朴天真的、朝气焕发的光芒的所有分子至今仍照耀着他们孤寂的人生道路，因为你并没有同他们一起衰老，而却像莴苣根那样盛发繁茂。

我们永远忠于和热爱你，直至学术生命的最后一刻。

现在仅仅是通讯院士的 A. E.

普林斯顿. 3. IV. 53. ①

在把奥林比亚科学院同它的"傲慢的老大姐们"作的这种对比中，包含着不太

① 《爱因斯坦文集》，第一卷，第 568 页。

愉快的结论。在和死啃书本的环境多年交往之后，想起了伯尔尼年代中愉快的独立自主，想起了年轻人对这种环境中阴沉迂腐的尊严所开的玩笑，主要的是想起了“赞赏一切明朗而有理性的东西”的气氛。

正如我们将看到的，伯尔尼环境的乐观主义唯理论和导致爱因斯坦得出他的发现的科学理想有直接的联系。

奥林比亚科学院的三个成员是爱因斯坦、索洛文和哈比希特。不久，爱因斯坦的同事、意大利人、工程师米盖朗琪罗·贝索——爱因斯坦在阿劳的老师的女儿安娜·温德勒的丈夫也加入了他们一伙。顺便提一句，泡利·温德勒也在伯尔尼住过，他是爱因斯坦在阿劳的同伴，后来成了他妹妹玛雅的丈夫。贝索于1904年由爱因斯坦介绍进入伯尔尼专利局。他们一起工作，一起下班。贝索在哲学、社会学、医学、技术、数学和物理学方面的渊博知识，使爱因斯坦能与自己的朋友一起探讨各种不同的思想。爱因斯坦后来曾说，在全欧洲他都找不到“新思想更好的共振器了”。看来，贝索具有接受新思想和给它增加某些非常重要的欠缺的线条的惊人能力。贝索本人曾说起过关于他同爱因斯坦的谈话：“这只鹰用自己的双翼把我——麻雀——夹带到辽阔的高空。而在那里，小麻雀又向上飞了一些。”

这是针对第一次口头解释相对论思想而说的。听完爱因斯坦的解释之后，贝索懂得，这涉及科学上一个新的时代的开始，于是就把爱因斯坦的注意力转向一系列新的方面。这些讨论持续不断，所以爱因斯坦在《论动体的电动力学》这篇著名论文中以这样一句话结尾：

“最后，我要声明，在研究这里所讨论的问题时，我曾得到我的朋友和同事贝索的热诚帮助，要感谢他一些有价值的建议。”

柳斯因·沙凡也是爱因斯坦的朋友，他和索洛文一样也是看了私人授课广告后走访爱因斯坦寓所的。他是西瑞士人，在伯尔尼邮电管理局工作，该局就设在专利局的楼下（爱因斯坦曾想通过沙凡在这个管理局获得一个职位），他在大学里听课并和爱因斯坦一起学习，想要充实自己的物理学知识。在沙凡的笔记本里还保存着工整的课堂记录。此外，沙凡还在爱因斯坦的一张相片的题词中详尽地描述了他的外表。

“爱因斯坦身高1.76米。他肩宽微驼。短小的颅骨显得奇宽。脸色暗灰黝黑。富于表情的大嘴上面是窄窄的黑髭。有点鹰钩鼻，双眼呈深褐色，目光深邃而柔和。声音迷人，犹如大提琴的颤音。爱因斯坦法语讲得相当好，略带外国味。”

自从米列娃来到后，爱因斯坦的生活进入了家庭的常轨，但朋友们的聚会与讨论并没有间断。米列娃是这些讨论的专心的，但是缄默的听众。

索洛文叙述过，朋友们谈够和抽够烟之后就恭听爱因斯坦演奏提琴，而有时去散步，在途中继续讨论。他们还在午夜后攀登过位于伯尔尼南面的古尔腾山。夜空的星辰把他们的思想吸引到天文学问题上，于是谈话又以新的活力重新开始了。

他们在这里待到天明并观看日出。他们看见太阳如何从地平面冉冉升起，黑压压的隐约可见的阿尔卑斯的轮廓如何被染上一层绯红的色彩。眼前展现巨大的山国。清晨来临。几个年轻人走进小饭馆，喝过咖啡，大约九点以前才下山，他们疲惫而幸福。有时他们徒步到二十公里外的图恩城去。步行从早上六点持续到中午，他们重又置身于阿尔卑斯山脉之中。朋友们谈起地球的历史，山脉的形成，地质学问题。他们在城里用过午饭，然后在湖畔坐下并待上一整天。傍晚他们才乘火车返回伯尔尼。①

索洛文回忆起这个时期同爱因斯坦的谈话。爱因斯坦说话缓慢、单调，时而缄默沉思。他整个儿沉浸在思维过程中，周围的一切都视而不见。在索洛文的回忆录中描写过一些轶事，很有代表性。

在爱因斯坦生日的那一天，索洛文和哈比希特打算去他家吃晚饭，所以带去了他从未品尝过的鱼子。关于惯性原理的谈话开始了。当大家坐到桌前时，爱因斯坦对这个题目如此全神贯注，甚至没弄清楚吃的是什么，就不知不觉地把鱼子吃掉了，接着用自己的一双大眼睛惊奇地盯着笑眯眯的朋友们。沉默片刻，他才说："不必请我这样的家伙尝什么山珍海味，他反正也不知道它的价值。"②

请看索洛文回忆录中的另一件轶事。在伯尔尼，常有一些大音乐家来巡回演出，朋友们常出席他们的音乐会。有一次，捷克交响乐队要举行音乐会。音乐会前夕，索洛文提议朋友们去听音乐会，但恰好这些天他们正津津有味地在阅读休谟的书。遵照爱因斯坦的建议，他们决定放弃音乐会，代之以到索洛文那儿继续读书。可是第二天，索洛文弄到了一张票，他预备好他的伙伴们爱吃的煮鸡蛋并留下一张便条："Amicis carissimis ova duraet salutem."（亲爱的朋友们——请吃鸡蛋，并致敬意！）之后，就去听音乐会了。爱因斯坦和哈比希特读了便条之后，用完晚饭，在房间里抽够烟才走，走前留下一张便条："Amica carissimo fumum spissum et salutem."（亲爱的朋友——请尝浓烟，并致敬意！）第二天见面时，爱因斯坦紧皱双眉，气愤地责骂："坏蛋！你竟敢为了什么小提琴就忽视科学院会议！外国佬，蠢货！再有这种狂妄行为，你就要被开除了。"然后，他们坐下来读休谟，午夜之后才分手。③

1905年，哈比希特和索洛文先后离开伯尔尼。1906年5月，爱因斯坦给索洛文写信说："你去后，我再没同什么人交往。甚至同贝索在回家途中的惯常谈话也中止了。"④就在同一封信中，爱因斯坦告诉他的朋友，他是怎样对待1905年发表的关于相对论的论文的。这个26岁的科学家在信中关于自己竟这样写道："……我

---

① 《索洛文通信集》（索洛文的序言），XII—XIII。

② 同①，IX—X。

③ 《索洛文通信集》（索洛文的序言），XI—XII。

④ 同①，4—6。

快到不能动弹，无所建树，只能对年轻人的革命精神发发牢骚的年纪了。”

爱因斯坦在1905年给哈比希特和索洛文的信中，都提及关于布朗运动、光量子和相对论的论文。1905年3月，爱因斯坦邀请哈比希特重返伯尔尼。“敬请阁下莅临我们无上光荣的科学院召开的几次会议，这样就可使它的成员增加百分之五十。”此后不久，爱因斯坦又给哈比希特如下的一封信：

“亲爱的哈比希特：我们之间现在笼罩着一种神圣的沉默，如果我用无足轻重的废话来打破它，似乎是一种亵渎。然而，在这个世界上一切高尚的东西难道不总是遭到这种命运吗？你究竟在忙些什么，您，冰冻的鲸鱼，干瘪的罐头式的灵魂片，而……我还能把百分之七十的愤怒和百分之三十的怜悯都扔向您的脑袋吗？您可以感谢这后面的百分之三十，由于它我才没有把装着切好的大葱和大蒜的铁罐寄给悄悄溜去过复活节的您。您为什么直到现在还没有把您的学位论文寄给我呢？难道您这可怜的人不了解，我将是高高兴兴地和津津有味地阅读它的个把男子汉中的一个吗？我答应回敬给您四篇作品，其中第一篇很快就寄去，因为我在等作者应得的赠阅本。它讲的是光的辐射和能量，是很革命的。只要您先把自己的作品寄给我，您自己就会看到它。第二篇的内容是通过研究中性物质稀溶液中的扩散和内摩擦来测定原子的实际大小。第三篇证明：根据热的分子理论，悬浮在液体中大小为1/1000毫米的物体进行着分子热运动引起的可以觉察到的不规则运动。悬浮物体的这种运动，确实已被生理学家观测到了，他们称它为布朗分子运动。第四篇作品是从动体的电动力学概念出发并将修改空间和时间的学说；这篇东西的纯动力学部分准会引起您的兴趣……您的阿尔伯特·爱因斯坦向您致敬。我的妻子和已满周岁好尖声哭叫的小家伙向您致以友好的问候！”

过了几个月，爱因斯坦又写信给哈比希特，劝他争取进专利局。接着，对相对论得出的结论以及物理学的某些其他问题发表了非常有趣的意见。

爱因斯坦写道：“您变得太严肃了。这都是您在那该死的牲口棚的孤单生活造成的。一有机会，我就把您这位候选人推荐给哈勒，准能把您安插到专利局当长工。届时您肯来吗？考虑考虑吧，须知除了八小时工作以外，每天还有八小时闲暇外加星期天。若是您能来这里，我将多么高兴，而您在友好的交往中定会重新振奋起来。”

宣告物理学革命的论文已经发表；它们得到像普朗克和温这样的科学家的承认，但是关于个人的命运爱因斯坦却连想都没想。他更关心的是哈比希特的命运。其次，虽然荣誉的序幕拉开了，爱因斯坦依旧喜欢自己的处境：八小时在专利局工作，然后八小时“悠闲”即独立的科学研究。

在信的最后几行，爱因斯坦谈到可能使哈比希特感兴趣的一些科学问题。其中提到谱线问题。爱因斯坦当时写道：“但我认为，在这些现象和其他已经研究清楚的现象之间并不存在简单的关系，因此谱线问题暂时还没多大希望。”过了十年之后才弄清楚，谱线问题即由实物原子辐射出各种不同波长的电磁波问题，确实不

可能同已知的定律有简单的和直接的关系。

最后，爱因斯坦谈到从狭义相对论得出的一个意外的结论：物体的质量应同它的能量成正比。给哈比希特的信没具日期，但看来这封信是在 1905 年 9 月发出的；在这个时候，爱因斯坦给《物理学杂志》寄去了关于物体的能量和质量间的等价性——从相对论得出的对实践来说是最重要的结论的出发点——的文章。

索洛文和哈比希特离开伯尔尼两年之后，爱因斯坦才有了一个可以与之探讨理论物理学问题的朋友。但这已经是一个新的时期了。雅科布·约翰·劳布在著名科学家威廉·温的课堂讨论上作了关于相对论的介绍性学术报告之后，受温的派遣来到伯尔尼，以便亲自结识相对论的著名作者。劳布同爱因斯坦的谈话导致了他们合写的论文的发表。爱因斯坦坦率、诚恳的作风一点未变。有一次，劳布碰见他正在寒冷的寓所里试着生炉子，后来一连几个星期，劳布每天都在专利局大厅附近等他，为了陪他回家并在路上讨论。劳布还记得他们一块儿在伯尔尼剧院看《众神之死》以及爱因斯坦低声的赞词："上帝见谅，我不欣赏瓦格纳，不过在季格弗里德临死时的这场戏中，不为命运折服的英雄精神表现得相当细腻……"

在这段时期，爱因斯坦会晤过几位音乐爱好者，但他们甚至都想像不出他的科学活动。在 1907—1908 年间，他经常参加由他和一个律师、一个数学家、一个装订工和一个典狱官组成的五重奏组的演出。他们演奏过海顿、莫扎特和贝多芬的作品。

最后谈谈爱因斯坦在伯尔尼时期的家庭生活。1904 年，他们的儿子汉斯·阿尔贝特降生了（他后来在苏黎世上学，1937 年迁居美国，成了杰出的水力学家、加利福尼亚大学的教授）。开销增加了。爱因斯坦没觉得困难，当他的薪金提高到 4500 法郎的时候，他甚至说过："拿这么多钱干什么用呢？"相反，米列娃却不知道该如何对付着过日子。不过，并不是这破坏她的宁静。主要问题在于爱好上的分歧。索洛文或哈比希特来家时她总是很高兴，但是，散步、野餐、家庭音乐会、一大群伙伴——所有这些都不合她的意。爱因斯坦的科学兴趣对米列娃来说也成了越来越遥远的东西。骨结核、严重的神经衰弱和与日俱增的病态的猜忌心，使她更加暴躁。爱因斯坦慢慢吞吞的性格和漫不经心的好心开始引起米列娃的反感。他们更加疏远了。不过，到后来，那时爱因斯坦早就离开了伯尔尼，疏远才采取了明朗尖锐的形式。

作者简介：库茨涅佐夫（Б. Г. Кузнецов，1903－1984），苏联著名爱因斯坦研究者，曾任国际科学史和科学哲学协会爱因斯坦委员会主席。

文献来源：库茨涅佐夫《爱因斯坦——生·死·不朽》，刘盛际译，马惠群校，商务印书馆 1988 年版，第 38－46 页。标题为编者所加。

当科学大师碰上菜鸟

费 曼

在普林斯顿念研究院时，我曾经当过惠勒教授的研究助理。他给我一个题目，没想到太难了，做不下去。因此我回过头来，研究早在麻省理工念大学时便有的一个构想，那就是，电子不会作用于自己身上，而只会和别的电子相互作用。

问题是这样的：当电子晃动时，它会辐射出电磁波，这等于散发出能量，而损失能量即意谓有某个力作用在电子上。更进一步考虑，晃动一个带电的电子所用的力，与晃动不带电的电子所用的力，一定不一样。因为假使在两种情形中所施的力完全一样，但已知在一种情况下粒子损失能量，另一种情况下则不会损失能量——这好像是对同一个问题出现了两种不同答案，根本是不可能的。

当时的标准理论，是电子对自己作用而产生力，称为“辐射反应力”(radiation reaction)。当我在麻省理工开始推敲这个想法时，我并没有注意到这个问题；我一直认为，电子只会对其他电子施加作用。等我到了普林斯顿之后，才听说有这些标准理论，也才明白，原来的构想碰到大麻烦了。

这时我的想法是：首先让这个电子晃动，然后根据我的想法，它对附近的电子作用，使它(们)晃动起来。这些被扰动的电子所产生的效应，才是辐射反应力的来源。于是我做了些计算，带着结果去见惠勒教授。

惠勒教授想也不想，马上说：“噢，这里不对，因为你等于说它和其他电子间距离的平方成反比，可是它不应跟这些变量有关。而且，它应该与其他电子的质量成反比，也跟其他电子的电荷成正比。”

使我难过的是，他怎么已经做过这些计算。后来我才明白，像惠勒那样的大师，你给他一个问题，他可以立刻“看”出其中的重点。

他接着说：“而且这会受到延迟，因为辐射波返回较晚，因此你描述的只不过是反射光。”

“哦！当然。”我颓丧地说。

“等一下，”他说，“让我们假定这反射光是一种超前波，换句话说，这是逆着时间的反应，那么它会在正常时间返回。我们已知道这个效应跟距离平方成反比，如果有很多电子充满整个空间，而且电子数目随距离平方成反比，也许所有的效应便可刚好互相抵消。”

我们发现这个想法确实可行。再次计算的结果非常完美，各方面都对应无误。在古典物理的范围内，这个理论很可能是正确的，尽管它跟麦克斯韦(James Clerk Maxwell)或洛伦兹(Hendrik Antoon Lorentz)提出的标准理论都有很大差异。但它没有电子自我作用理论中出现一些无限大的量造成的困扰；它十分巧妙，且包含了作用量、延迟效应、时间上的向前和向后等物理现象。我们称这套理论为“半超前-半延迟势位”。

惠勒和我觉得，下一步是把目标转向量子电动理论，因为我认为那里也出现了电子自我作用的困难。我们设想，如果我们能够克服这个古典物理中的困难，然后从中发展出一套量子理论，等于同时矫正了量子理论的缺失。

我们可以说已弄通了古典的理论部分。这时惠勒对我说：“费曼，你年纪还轻，应该就这题目做一个研讨会报告，你需要多练习上台讲演。同时我会把量子理论部分弄出来，过一阵子再做报告。”那将会是我的第一次学术报告，惠勒跑去跟维格纳(Eugene Wigner)教授说好，把我排进研讨会的日程表中。

爱因斯坦也来了

轮到我做报告之前一两天，我在走廊上碰到维格纳。“费曼，”他说，“我觉得你跟惠勒合作的研究很有趣，因此我已请了罗素来参加你的研讨会。”罗素(Henry Norris Russell)，当代大名鼎鼎的天文学家，要来听我的报告！

维格纳继续说：“我想冯诺曼教授也会有兴趣。”冯诺曼(John von Neumann)是当时最伟大的数学家。“而刚巧鲍立教授从瑞士来访，因此我也请了鲍立来。”天哪！鲍立(Wolfgang Pauli)，1945 年诺贝尔物理奖得主，也是很有名的物理学家呢！这时我吓得脸都黄了。最后维格纳说：“爱因斯坦教授很少参加我们每周一次的研讨会，可是你这个题目太有趣了，因此我特别去邀请他，他也会来。”

这时我的脸一定变成绿色了，因为维格纳还说：“不！不！不用担心！不过我得先提醒你：如果罗素教授边听边打瞌睡——而他是一定会睡着的——那不表示你的报告不好，他在每个研讨会中都打瞌睡。另一方面，如果鲍立教授不停点头，好像表示赞同你说的一切，也不要得意，鲍立教授患了震颤麻痹症。”

我回去告诉惠勒。当初他要我做演讲练习，现在却有这些科学大师要来听我的报告，使我很不自在。

“没关系，”他说，“不用担心，我会替你回答所有的问题。”

我努力准备报告，到了那天，我跑进会场，却像许多没有做过学术报告的年轻人一般，犯了同样错误——在黑板上写了太多的方程式。要知道，年轻小伙子都不懂得在什么时候说："当然，这跟那成反比，而这会如此这般地演变……"因为事实上，在座的听众早已知道这些，他们都"看"明白了；可是只有他自己不晓得。他必须靠实际的推算才得出结论——因此他写下一大堆方程式。

会前，我就在黑板上上下下写满了一大堆，还在写着，爱因斯坦跑进来，和颜悦色地说："哈罗，我来参加你的研讨会。请问你，茶放在哪里？"

我告诉了他，继续写我的方程式。

报告时间终于到了。我面前坐了这些科学大师，全在等我开口讲话！我生平第一次学术报告，却碰上这样的听众！我的意思是说，他们会问很多难题，我将会大大地出丑了！我还清楚记得，从牛皮纸袋抽出讲稿时，双手不住地发抖。

但奇迹出现了——事实上我很幸运，类似的奇迹在我一生中一再发生——只要我开始思考物理，必须全神贯注于要说明的问题上，我的脑袋中就再没有其他杂念，完全不会紧张。因此当我开始报告以后，我根本不知道听众是谁了；我只不过在说明这些物理概念。事情就那么简单！

报告结束，开始问问题的部分。坐在爱因斯坦旁边的鲍立首先站起来说："我不认为这个理论正确，因为这个，这个和这个……"他转头去问爱因斯坦："你同不同意，爱因斯坦教授？"

爱因斯坦说："不——"声音拉长，带着浓重德国口音，很悦耳的一声"不"，很有礼貌。"我只觉得，要替引力交互作用构思一套同样的理论，必定十分困难。"他指的是广义相对论，也是他心爱的"小孩"。他继续说："由于目前我们还没有足够的实验证据，因此我并不很确定哪些才是正确的引力理论。"爱因斯坦了解，很多想法可能跟他的理论不一样，他很能容忍别人的想法。

我真希望我当时把鲍立说的话记下来，因为几年之后，我发现那套理论用在构筑量子理论上，确是不够。很有可能，伟大的鲍立早已注意到其中的问题，而且当时已对我说明；但由于我不用回答问题，心情太过放松，以致没有仔细听。我倒是记得，跟鲍立一起走上帕尔玛图书馆的台阶时，鲍立问我："等惠勒做演讲谈量子理论时，他会说些什么？"

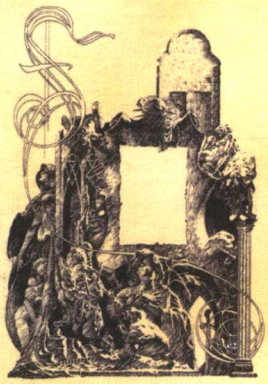
我说："我不知道，他没有告诉我。这部分是他在做。"

"哦？"他说，"这家伙自己闷着头在做，而没有告诉助理究竟他在做些什么？"他靠过来，用低沉、神秘的语调说："惠勒不会举办那个演讲的。"

果然，惠勒一直没有提出报告。原先他以为轻易便可解决跟量子理论有关的部分；他还以为已经做得差不多了，但事实上并没有。到了该他做报告时，他明白了他根本不知应该怎样着手，所以没什么可报告。我也始终没有解决那"半超前-半延迟势位"的量子理论。而老实说，我还为此花了许多年的功夫呢！

作者简介：理查德·费曼(Richard P. Feynman,1918－1988)，美国物理学家，因在量子电动力学方面的工作而获1965年诺贝尔物理学奖。费曼是个个性独特的传奇人物，喜欢恶作剧，被称为“科学顽童”。他的《费曼物理学讲义》(上海科技出版社1981－1983年版)深受物理学子们欢迎，他的著作中译本还有《量子力学与路线积分》(科学出版社1986年版)。

文献来源：费曼《别闹了，费曼先生——科学顽童的故事》，吴程远译，三联书店1997年版，第二部第四节(第88－93页)。沿袭原有小节标题。



DAXUE KEXUE DUBEN

本书虽为“科学读本”，却无须公式开道、方程布阵，通识是它的起点，科学与人文的融会则是其旨归。撷取中外贤哲的智慧结晶，涉猎广泛，运思深刻。或从宏观上言及宇宙的起源、生命的进程、人与世界的关系等终极命题，或从微观上描述外星智能生物的可能性、双螺旋的发现，展示科学的新进展。神妙奇幻、玄奥多彩的科学图景，为大学生形成科学观念、洞察科学历程、开阔科学视野、培育科学精神，提供一个新鲜而有力的读本。

ISBN 7-5633-4477-2

9 787563 344772 >

ISBN 7-5633-4477-2/G · 2734

定价：38.00 元