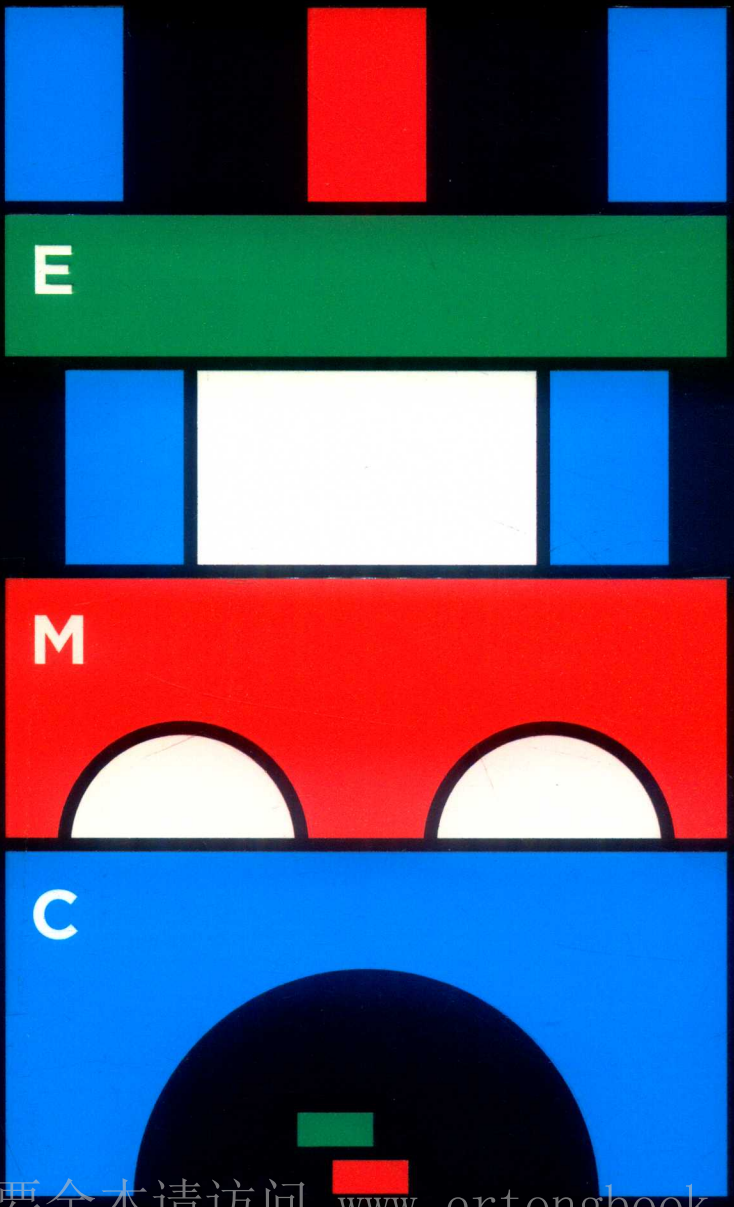
Six Not-So-Easy Pieces
费曼讲物理：相对论

Richard P. Feynman

[美] 理查德·费曼●著

周国荣●译



需要全本请访问 www.ertongbook.com

湖南科学技术出版社

Six Not-So-Easy Pieces
费曼讲物理：相对论

Richard P. Feynman
[美] 理查德·费曼●著
周国荣●译

湖南科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

费曼讲物理．相对论 /（美）理查德·费曼著；周国荣译．—长沙：湖南科学技术出版社，2019.6
（走近费曼丛书）
书名原文：Six Not-So-Easy Pieces: Einstein's Relativity, Symmetry,and Space-Time
ISBN 978-7-5710-0019-6

Ⅰ．①费… Ⅱ．①理… ②周… Ⅲ．①物理学—普及读物②相对论—普及读物 Ⅳ．① O4-49
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 276145 号

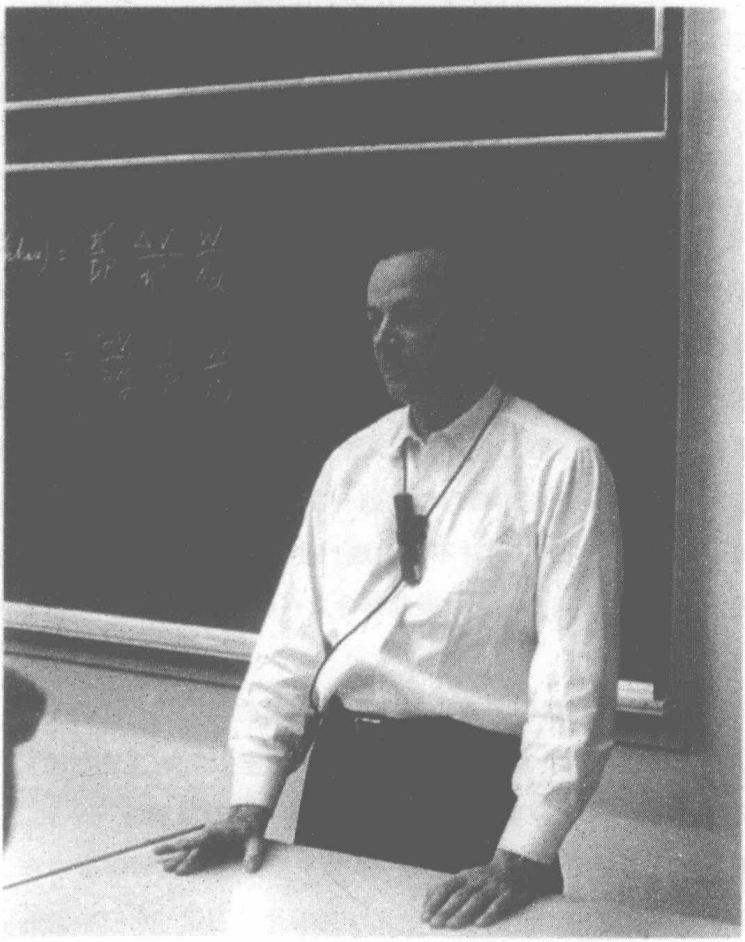
Six Not-So-Easy Pieces: Einstein's Relativity, Symmetry,and Space-Time
Copyright ©1997 by Richard P. Feynman
Chinese Simplified Characters Trade Paperback
Copyright ©2019 by Hunan Science and Technology Press
All Rights Reserved

湖南科学技术出版社通过博达著作权代理有限公司独家获得本书简体中文版中国大陆出版发行权
著作权合同登记号：18-2016-195

FEIMAN JIANGWULI：XIANGDUILUN
费曼讲物理：相对论

著者
[美] 理查德·费曼
翻译
周国荣
责任编辑
吴炜 陈刚 李蓓
书籍设计
汪赵冲 邵年
出版发行
湖南科学技术出版社
社址
长沙市湘雅路 276 号
http://www.hnstp.com
湖南科学技术出版社
天猫旗舰店网址
http://hnkjcbs.tmall.com
邮购联系
本社直销科 0731-84375808

印刷
长沙超峰印刷有限公司
厂址
宁乡县金州新区泉洲北路 100 号
邮编
410600
版次
2019 年 6 月第 1 版
印次
2019 年 6 月第 1 次印刷
开本
880mm×1230mm 1/32
印张
6.75
字数
163000
书号
ISBN 978-7-5710-0019-6
定价
48.00 元
（版权所有·翻印必究）



出版者的话

《费曼讲物理：入门》（由Addison-Wesley出版公司于1995年出版）这本小册子无与伦比的成功与畅销，激发起公众、学生甚至科研人员想要得到更多费曼的书面讲义和录音材料的强烈要求。因此，我们重新翻阅了原《物理学讲义》和加州理工学院的讲课记录，看一看是否还有更加“容易读的”篇章。结果没有找到。不过，倒是有许多不那么容易读的讲稿，这些讲稿尽管用到一些数学方法，但是，对于刚刚入门的理科学生来说，它们并不算太难；对于学生和非物理专业的人士来说，这六章讲稿与先前那六章同样令人兴奋、引人入胜和使人愉悦。

这些不那么容易读的篇章与先前那六篇之间的另一个差别是，先前那六个专题跨越了物理学中从力学到热力学以至到原子物理学的若干个领域。然而，大家手头上这六个新的问题却都围绕着一个主题，这个主题已经引发了从黑洞到虫洞，从原子能到时间反常等多项在现代物理学中最具革命性的发现和令人叹为观止的理论；我们所说的当然就是相对论了。不过，即使是相对论的创立者爱因斯坦大师本人，对这个理论所创造出来的奇迹、这个理论的作用以及它的基本概念，也无法做出像来自纽约的理查德·费曼这样的解释，这一点大家在阅读这些章节或者聆听CD录音时就会得到证明。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

Addison-Wesley Longman出版公司衷心感谢罗杰·彭罗斯为这一辑演讲汇编所写的精辟的前言；感谢布赖恩·哈特菲尔德和大卫·皮内斯在挑选这六章讲义时提出的非常宝贵的建议；还要感谢加州理工学院物理系及档案研究所，特别要感谢朱迪思·古德斯坦在规划出版这本小册子及其CD录音中给予的协助。

前言

罗杰·彭罗斯

1996年12月

要了解理查德·费曼成为一代宗师的原因，就得对这位科学家的卓越成就做出正确的评价。理查德·费曼无疑是20世纪理论物理学界的杰出人物之一。他对这个领域的主要贡献是全面发展了将量子理论应用到当代前沿研究领域所使用的独特的方法，并且由此对这个领域的当代图景产生重大的影响。费曼路径积分、费曼图和费曼规则都属于现代理论物理学家所用的非常基本的工具之列，这些工具是将量子理论的规则应用到各个具体领域（如电子、质子和光子的量子理论）时所必需的，它们构成了使量子规则与爱因斯坦的狭义相对论的要求相一致的处理方法的基本要素。尽管这些概念没有一个是轻易就搞得懂的，但是，费曼独特的处理方法总是使它们极其清晰明了，完全消除了以往的做法中不必要的复杂化。费曼在科学研究中独特的创新能力与他作为一名教师的特殊才能有密切的联系。他有一种独一无二的天赋，使他能够避开那些常常令物理结果的本质难以理解的复杂性，透彻地理解深奥难懂的基本物理原理。

然而，在公众的观念中，费曼更为人们所熟知的是他的滑稽与诙谐、他的恶作剧、他对权势的藐视、他的手鼓表演、他与女性无论是深挚还是肤浅的交往、他在脱衣舞夜总会的出没、晚年想要踏足地处中亚的偏僻国度图瓦的冒险尝试，以及许许多多其他的言行举止。毋庸

置疑，理查德•费曼必定绝顶聪明，他快如闪电的演算速度，他开保险箱的技巧、与保安部门的巧妙周旋以及解读古玛雅经文的业绩——更不用说他最终获得的诺贝尔奖——都无疑证明了这一点。然而，作为20世纪造诣最深和最具独创性的思想家之一，这些业绩没有任何一项完全体现他在物理学家和其他科学家中所具有的不容争辩的地位。

著名的物理学家和作家、费曼提出其最重要的思想时的一位早期合作者弗里曼•戴森，于1948年春当他还是康奈尔大学的研究生时，在给他英国的父母的一封信中写道，“费曼是年轻的美国教授，天才与小丑对半，他那旺盛的活力使所有物理学家以及他们的孩子们笑口常开。然而，我最近发现，他所具有的品格远不止这些……”多年以后，他在1988年又这样写道：“一个真实的写照倒是该这样说，费曼既是天才又是小丑。深邃的思想和充满欢乐的逗趣并不是多重人格中相互孤立的要素……他思索与逗趣并举。”[1]的确是这样的，在他的演讲中，他的才智是自然流露的，而且常常是非比寻常的。在整个演讲中，他驾驭着听众的注意力，但决不会偏离演讲的目的，那就是对自然法则原汁原味的、深刻理解的表述。通过笑声，他的听众得以放松而无拘无束，不会因为那些有点吓唬人的数学表达式和高深莫测的物理概念而感到沮丧。还有，虽然他乐于身处公众场所，而且无疑是一位杂耍演员，但这并不是他表演的目的。他的目的是向公众传播关于基本物理概念，以及为了恰如其分地表述这些概念所必需的基本数学工具的某些基本认识。

---

1. 戴森的引文可以分别从他的著作*From Eros to Gaia*（Pantheon books, New York,1992）第325页和第314页中找到。

尽管笑声在他成功地驾驭听众的注意力方面至关重要，但是，对于物理基本认识的传播，更重要的是他的方法的直接性。的确如此，他有一种特别直接的、讲求实际的风格。他藐视那种几乎没有物理内容的不切实际的哲学思辨。甚至连他对数学的态度也有点相似。他几乎从不为了卖弄数学上的严谨性而使用数学，但是，对于他所需要的数学，他具有一种独特的技巧，并且能够以一种极其明晰的方式将其表述出来。他从不受人恩惠，也从来不轻易接受那些别人认为是正确的而未经自己独立判断的观点。因此，他的方法无论在他的研究工作中还是在他的教学过程中都是特别新颖的。于是，当费曼的方法与从前的方法明显不同时，遵循费曼的方法会更富有成效，这个想法将是一个相当有把握的赌注。

费曼最喜欢用来传达信息的方法是口头交谈。他不轻易也不常委身于印好的文字。在他的科学论文中当然会出现“费曼特性”了，不过读起来就有点像降了调的样子。费曼的才智正是在他的演讲中表露无遗。他那家喻户晓的《物理学讲义》基本上是他的演讲记录的校订稿（由罗伯特•B.莱顿和马修•桑德斯负责），对于每一位拜读这份演讲稿的人，它那引人瞩目的特性是显而易见的。这里呈献给大家的小册子《费曼讲物理：相对论》就是从那些记录中整理出来的。不过，即使在这里，单纯印出来的文字使某些东西明显地丢失了。我相信，要感受费曼的演讲中洋溢的全部活力，就必须亲耳聆听他的声音。这样，费曼方法的直接性、他对权势的傲慢，以及他的幽默就会成为我们能够即时分享的财产。幸运的是，所有这些演讲都被记录在这本书中，它给予我们这种机会——而我则强烈地建议，只要有机会，至少先听几段这些演讲的录音。一旦聆听了费曼用带有纽约这个现代化大都市的声调说出的有说服力、迷人和风趣的解说词，我们就不会忘记他是怎样演讲

的，当我们阅读他的讲稿时，这些录音向我们提供一种理解其意义的图像。不过，无论我们是否真的去读这些讲稿，我们都能分享到某些明显令人激动的东西，当费曼对支配我们这个宇宙的各种运作方式的不同寻常的规律进行探索、探索、再探索时，他亲身感受到了这种激情。

这本六次演讲的小册子是经过精心挑选的，它的程度比早些时候由费曼的演讲汇集成的《费曼讲物理：入门》中的六个问题稍微高一点。此外，这些演讲相互配合得恰如其分，构成了现代理论物理学中一个最重要领域的完美而具有说服力的解说。

这个领域就是相对论，它在20世纪初首次闯入人类的意识中。爱因斯坦的名字显著地出现在这个领域的公众观念中。毫无疑问，是爱因斯坦于1905年首次清晰地阐明了相对论的深刻原理，为物理学为之努力的这个新领域奠定了基础。不过，在他之前，许多其他人，特别是H.A.洛伦兹和H.庞加莱，已经意识到（当时的）新物理学的大多数基本观念。此外，在爱因斯坦之前几个世纪，伟大的科学家伽利略和牛顿已经指出，在他们创立的动力学理论中，一个匀速运动的观测者感知到的物理定律应该与一个静止观测者感知到的一模一样。到了后来，当J.C.麦克斯韦于1865年发表了支配电磁场以及光的传播的方程组之后，这种观点的关键问题才显露出来。结论似乎是：伽利略和牛顿的相对性原理不再适用；根据麦克斯韦方程组，光必定以确定的速度传播。因此，根据以下这个事实，即只有静止观测者才会看到光速在各个方向相同，就将一个静止的观测者与运动的观测者区分开。洛伦兹、庞加莱和爱因斯坦的相对性原理与伽利略和牛顿的不同，但它同样具有以下含义：一个匀速运动的观测者感知到的物理定律确实与一个静止观测者感知到的一模一样。

此外，在新的相对论中，麦克斯韦方程组与这个原理相容，而且，无论观测者可能朝哪个方向或者以怎样的速率运动，测量到的光速在各个方向上是一个确定的常数。如何实现这个魔法般的奇迹以调和那些明显令人绝望的相互矛盾的要求呢？我将把这个问题留给费曼，让他用自己独特的方式讲解。

相对论也许是物理学感受到对称性这个数学概念的力量的第一个领域。对称性是一个常见的概念，不过，怎样能够根据一套数学表达式使用这个概念，人们就不太熟悉了。但是，为了使一个方程组满足狭义相对论的原理，人们需要的正是这样一个概念。为了与相对性原理一致，必须存在一个对称变换，将一个观测者的观测量变换成其他观测者的相对应的量。相对性原理认为，对一个匀速运动的观测者来说，就如同对一个静止的观测者来说一样，物理现象“看起来是相同的”。之所以使用对称性这个概念，是因为物理定律在每一个观测者看来是相同的，而且，“对称性”最终断言，某些事物从两个截然不同的观点上看具有相同的行为。费曼用到具有这种特性的抽象问题上的方法是非常直截了当的，他能够以一种不具备任何特殊数学知识或者抽象思维天赋的人易于接受的方式表达这种概念。

尽管相对论揭示了从前不曾认识到的额外的对称性，但是，物理学中一些更现代的发展已经表明，某些先前被认为是普遍适用的对称性实际上莫名其妙地被破坏了。这个情况在1957年给物理学界带来了一次意义最为深远的冲击，正如李政道、杨振宁和吴健雄的工作展现的那样，在某些基本物理过程中，一个物理系统与其镜面反射所遵循的规律并不相同。事实上，费曼参与了能够容纳这种不对称性的物理理论的发展研究。因此，他在这本小册子中的解说将随着大自然的奥

需要全本请访问 www.ertongbook.com

秘不断被揭示出来而生动地展开。

随着物理学的发展，用以表述新的物理定律的数学形式体系也要发展。当数学工具被巧妙地应用到相应的课题中时，它们就会使物理学看起来好像更简单。矢量运算的概念就是一个例子。三维矢量运算原先是为了处理普通空间的物理学问题而发展起来的，它向我们提供了一件用来表述物理定律的珍贵的工具，牛顿物理学定律就是这样的定律，这些定律在空间上没有哪一个方向更为优先。将这个特性用另一种方式表述出来就是，物理定律在普通的空间旋转下具有对称性。费曼令矢量表示法恢复了巨大的威力，使表述这种定律的基本思想重放异彩。

然而，相对论告诉我们，在这种对称变换的作用范围内，时间也应该被引入，因此要用到四维矢量运算。这种运算也由费曼在这本小册子中给我们做了介绍，这本小册子还使我们认识到，不仅时间和空间必须被看做同一个四维体系的不同方面，在相对论的方案中，对能量和动量有同样的要求。

从物理上看，宇宙的历史应该被看做一个四维时空，而不是被看做一个随时间演化的三维空间，这个观点无疑是现代物理学的基本原理。这是一个其含义不容易被领会的观点。甚至连爱因斯坦在第一次听到这个观点时都没有认同它。实际上，空间-时间的观点并不是爱因斯坦的观点，尽管如此，在公众的头脑中，这个观点常常被认为是爱因斯坦创造的。是德国籍的俄国几何学家H.明可夫斯基于1908年，即庞加莱和爱因斯坦系统地阐述了狭义相对论之后几年，第一次提出了四维时空的观点，明可夫斯基曾经是爱因斯坦在苏黎世工学院求学时的

一位老师。在一次著名的演讲中，明可夫斯基宣称："从今以后，孤立的空间，以及孤立的时间注定要退隐成为纯粹的阴影，只有两者之间的某种统一才会保留下来作为一个独立的实体。"[1]

我在上面提到的费曼最有影响力的科学发现来源于他从事量子力学研究时使用的时空方法。因此，空间–时间对于费曼的工作以及对于现代物理学普遍的重要性是无需多言的。正因为如此，费曼在推广他那强调其物理意义的时空概念时具有说服力就不会令人感到意外了。相对论不是凭空想象出来的哲学体系，空间–时间也不仅仅是数学的形式体系。它是我们生活于其中的这个真实宇宙的基本要素。

当爱因斯坦对时空概念变得习以为常之后，他就把这个概念完全接纳到自己思考问题的方式中。这个概念成了他那个狭义相对论（我在前面介绍过的由洛伦兹、庞加莱和爱因斯坦提出的相对论）的推广理论即广义相对论的基本要素。在爱因斯坦的广义相对论中，时空变成弯曲的，我们能够将引力现象结合到这种弯曲中去。显然，这是一个难以领会的观念，而在这一辑演讲汇编的最后一讲中，费曼并没有尝试叙述为了使爱因斯坦的理论得到完整而系统的表述所必需的详尽的数学工具。不过，为了使我们理解上述基本概念，他用具有深刻见解的引人入胜的类比做了极其生动的表述。

费曼在所有演讲中都极力保持其叙述的准确性，每当他的简化或者类比存在任何可能被误解或导致错误结论的危险时，他几乎总是要

1. 引自相对论领域的开创性文献，由爱因斯坦、洛伦兹、外尔和明可夫斯基合写的《相对论原理》（Methuen and Co. 1923年初版）的多佛重印本。

对自己所说的话附加条件。不过，我觉得他对爱因斯坦广义相对论的场方程的简化说明需要一个他完全没有给出的条件。由于在爱因斯坦的理论中作为引力源的“有效”质量并不是简单地（根据爱因斯坦的 $E=mc^2$）与能量等同；取而代之的是，这个源是能量密度加上压强的总和，而正是这个源令引力造成向内加速的行为。有了这个附加的条件，费曼的解说就完美了，而且为物理学理论的这种最完美和自洽的特性准备了一个极好的介绍。

虽然费曼的演讲当之无愧地针对那些无论是出于专业需要，还是仅凭兴趣而渴望成为物理学家的人，它们无疑也适合那些没有这个愿望的人。费曼坚信（我同意他的意见），根据已经认识到的现代物理学的基本原理去传播我们对宇宙的认识，比起仅仅从物理课所规定的教学内容中获得的知识，其重要性要广泛得多。甚至在晚年，当他参与“挑战者号”灾难事故的调查时，他也煞费苦心地在国家电视节目中证明，灾难的原因是某些在日常事件中就应该能够觉察到的东西，他还在电视摄像机前做了一个简单但令人信服的实验，用来说明航天飞机的“O”形环在寒冷条件下的脆弱特性。

他无疑是一位杂耍演员，有时候甚至是一个小丑；但是，他的首要目的总是严肃认真的。而又有什么事情的目的能够比在最深刻的层次上认识我们这个宇宙的特性更为严肃认真的呢？在传播这种认识方面，理查德·费曼的地位是至高无上的。

特别序言

（选自费曼《物理学讲义》）

大卫·L. 古德斯坦
格里·纽吉堡尔
1989年4月于加州理工学院

在他生命的暮年，理查德·费曼的声望已经超出了科学界的范围。作为调查“挑战者号”航天飞机灾难事故委员会的一员，他的功绩使他广为人知；同样，一本有关他那富于传奇色彩的生涯的畅销书使他成为人们心目中几乎与阿尔伯特·爱因斯坦并驾齐驱的著名人物。不过，哪怕退回到1961年，在他获得诺贝尔奖而在公众中声名大噪之前，费曼也并不仅仅在科学界闻名——他是一个传奇式的人物。他那非凡的教学才能无疑促使其传奇故事广为流传，并增添了神奇的色彩。

他不愧是一个伟大的教师，也许是自他那个时代以来最出色的。对于费曼来说，演讲大厅就是一个大剧场，演讲的人就是一个演员，既负责提供剧本，也要提供渲染演出效果的焰火以及要传达给听众的事实和数字。他会在讲坛上来回走动，挥动着双手，“理论物理学家与马戏团的杂耍演员两者难以做到的结合，在所有身体动作和声响效果上”，《纽约时报》这样写道。不论他演讲的听众是学生、同事还是公众，那些有幸目睹费曼演讲的人，对其讲演的感受都是非比寻常的，而且总是难以忘怀，就像对费曼本人一样。

他是一个喜剧大师，善于吸引各种层面的听众的注意力。许多年

前，他讲授过一门高等量子力学课程，这是为加州理工学院的一些在校研究生和该校物理系的大部分教师开设的一门大课。在其中一次讲课中，费曼开始说明如何用图解法表达某些复杂的积分：时间用这根轴表示，空间用那根轴表示，这条直线就用波状线表示，等等。在描述完物理学界熟知的费曼图之后，他转过身来面对着全班学生，诡秘地咧嘴笑道："这就是那个图！"费曼的演讲结束了，演讲大厅爆发出一阵阵自发的喝彩和掌声。

在完成本书讲义之后许多年里，费曼偶尔担任了加州理工学院大学一年级学生的物理学课程的客座授课。由他出马自然要保密，使得演讲大厅中有座位留给那些登记选课的学生。在这样一次演讲中，主题是弯曲的时空，费曼表现得特别出色。不过，最令人难忘的时刻却是在演讲开始的时候。当时1987超新星刚刚被发现，费曼对此感到非常兴奋。他说："第谷•布拉赫有他的超新星，开普勒也有。之后400年间就再也没有过了。可是现在，我也有我的超新星了。"教室里安静下来了，费曼继续说道："在银河系中有10^{11}颗星星。通常，这是一个巨大的数字。但是，这只不过是 1000 亿而已。它比我国的财政赤字还小呢！我们通常把这些数字叫做天文数字。可现在，我们应该把它们叫做经济学数字了。"全班情不自禁地大笑起来，而费曼，在抓住了听众之后，继续他的演讲。

除了表演才能之外，费曼的教学技巧并不复杂。我们在加州理工学院档案库保存的文件里找到了说明他的教学理念的一段概括性的话，这是他1952年在巴西时为自己匆忙写下的一张便笺：

"首先要搞清楚你为什么要学生学这个专题，以及你要他们知道哪

些东西，至于用什么方法就或多或少由常识给出了。”

费曼所谓的“常识”常常就是完全抓住问题本质的出色技巧。在一次对公众的讲演中，他要解释为什么不可以用提出观念的同一组数据来检验这种观念。似乎是偏离了演讲的主题，费曼开始讨论汽车牌照问题。“你们看，今晚发生了一件最令我吃惊的事情。当时，我正到这里来演讲，我穿过停车场进来了。你们不会相信发生了什么事情。我看到了一辆汽车，车牌是ARW 357。你能想象吗？在全国几百万个车牌中，今晚我看到这个特殊车牌的机会有多大？真令人惊奇！”甚至许多科学家也未能掌握的问题，通过费曼那非比寻常的“常识”却弄明白了。

在加州理工学院的35年中（1952～1987），费曼创下了讲授过34门课程的纪录。其中25门课程是研究生的高级课程，只限于研究生修读，本科生要修读这些课程需要获得批准（他们常常修读这些课程，因为请求几乎总是获得批准）。其余的课程主要是研究生的入门课程。纯粹为本科生开设的课程，费曼只教过一次，这就是在1961～1962学年和1962～1963学年备受称道的那一次，在1964年又简略地重讲了一次，这次讲课的内容后来就编成了《物理学讲义》。

当时，加州理工学院中有一个共识，那就是大学一、二年级的学生常被头两年必修的物理学课程搞得情绪低落、毫无兴趣，而不是受到激励。为了纠正这种状况，学院要费曼给学生开设一系列覆盖两年时间的讲座，先给一年级的学生讲，接着再给升上二年级的同一班级的学生讲。在得到他同意后，学院很快就决定，将讲课的内容记录下来出版。结果发现，这项工作比人们想象的要困难得多。要将讲课的内容整理成可以出版的讲义，费曼的同事需要做大量的工作，而他本人也一

需要全本请访问 www.ertongbook.com