

SIX EASY PIECES

费曼讲物理： 入门

Richard P. Feynman

【美】R·P·费曼 / 著 秦克诚 / 译

R·P·费曼（1918~1988）出生在纽约市的法洛克维，1942年在普林斯顿大学获得博士学位。在第二次世界大战期间，他对发展原子弹做出过重要贡献。战后费曼曾先后在康奈尔大学和加州理工学院教书。1965年，他因量子电动力学方面的研究荣获诺贝尔物理学奖。除了作为一个物理学家外，费曼在不同时期还曾是故事大王、艺术家、鼓手和密码破译专家。

R. P. Feynman.

走近费曼丛书

CS | 湖南科学技术出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

费曼讲物理：入门 / (美) R·P·费曼 著；秦克诚 译。
— 长沙：湖南科学技术出版社，2012.9

(走近费曼丛书)

书名原文：Six Easy Pieces: Essentials of Physics
Explained by Its Most Brilliant Teacher

ISBN 978-7-5357-7240-4

I. ①费… II. ①R… ②秦… III. ①物理学—普及
读物 IV. ①O4-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 217539 号

Six Easy Pieces: Essentials of Physics Explained by Its Most Brilliant Teacher

Copyright © 1994 by Richard P. Feynman and Paul Davies

Chinese (Simplified Characters only) Trade Paperback

Copyright © 2012 by Hunan Science & Technology Press

ALL RIGHTS RESERVED

湖南科学技术出版社通过台湾博达著作权代理有限公司获得本书简体中文
版中国大陆地区出版发行权，本作品根据美国 Perseus Publishing 公司 1994
年版译出。

著作权登记号：18-2012-006

版权所有 侵权必究

走近费曼丛书

费曼讲物理：入门

著者：[美]R·P·费曼

译者：秦克诚

责任编辑：吴炜 陈刚

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>

邮购联系：本社直销科 0731 - 84375808

印刷：湖南天闻新华印务有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂址：湖南望城·湖南出版科技园

邮编：410219

出版日期：2012 年 9 月第 2 版第 7 次

开本：880mm×1230mm 1/32

印张：5.5

书号：ISBN 978-7-5357-7240-4

定价：20.00 元

(版权所有·翻印必究)





出版者的话

本书的出版，是为了向尽可能广大的读者提供一本内容充实然而仍然是非专业性的物理学入门书，它以费曼的科学工作为基础。我们从费曼著名的里程碑式作品费曼《物理学讲义》（初版于1963年，现在仍是费曼最出名的著作）中选了最容易读的六章。对于一般的读者，幸运的是，费曼选择用不含数学公式的、主要是定性的方式来叙述一些关键题目，这些题目编在一起，就成了本书。

Addison-Wesley 出版公司感谢保罗·戴维斯，他为这个新选本写了富有洞察力的前言。在他的前言的后面，我们还从费曼《物理学讲义》里选了两篇序言，一篇是费曼本人的，一篇是他的两位同事的，因为这两篇序言提供了后面六章的来龙去脉，以及对理查德·费曼及其科学工作的深入介绍。

最后，我们得感谢加州理工学院物理系和学院的档案馆，特别是 Judith Goodstein 博士和 Brian Hatfield 博士，他们在本书的编选过程中提供了很好的指导和许多建议。



前 言

有一个颇为流行的错误观念，以为科学是不具个性的、冷冰冰的、纯客观的事业。尽管人类的大部分其他的活动是受风气、时尚和人的个性支配的，可是人们却认为科学是受公认的程序规则和严格的检验所约束。重要的是科学研究的结果，而不是得出这些结果的人。 ix

这当然是一派胡言。像一切人类奋斗领域一样，科学是由人推动的活动，同样受着风尚和一时的兴致的支配。在这里，风尚不仅表现在对研究题目的选择上，还更多地表现在科学家看待这个世界的方式上。每个时代有其特有的探索科学问题的途径，通常是追随某些杰出人物照亮的道路，这些人既制定了议事日程，也确立了解决列在这个日程上的问题的最佳方法。有时，一些科学家攀登到足够的高度，受到公众瞩目，一个具有杰出素质的科学家就可能成为整个科学界崇拜的偶像。在以往的几个世纪里牛顿就是这样的偶像。牛顿是绅士型科学家的体现——他与权贵有一张关系网，虔信宗教，不慌不忙，做事井井有条。他搞科学的风格在 200 年中被奉为主臬。在 20 世纪的前半个世纪里，爱因斯坦替代牛顿成为大众的科学偶像。行为古怪，不修边幅，德国风度，心不在焉，全神贯注投入工作，一个抽象思想家的原型。爱因斯坦通过对物理学的最基础的概念提出质疑，改变了做物理研究的方式。

理查德·费曼成了 20 世纪后期物理学的偶像——他是 x



第一个到达这种位置的美国人。费曼于 1918 年生于纽约，在东岸受教育。他生得太晚，已无缘参加物理学的黄金时代即 20 世纪的前 3 个 10 年用相对论和量子力学改变我们的世界观的革命。这些横扫千军的发展奠定了现今的新物理学大厦的基础。费曼从这些基础出发，帮助建成了新物理学的第一层。他的贡献触及新物理学的几乎每一角落，并且对物理学家思考自然和宇宙的方式有深刻而持久的影响。

费曼是一个优秀的理论物理学家。牛顿既是实验家又是理论家，说不上偏重哪边。爱因斯坦则相当轻视实验，宁肯把他的信念置于纯粹的思维上。费曼从事的是发展一个对自然的深刻的理论理解，但是他总是保持着与现实世界、与常常是乱七八糟的实验结果的紧密联系。曾看过费曼如何把橡胶圈浸到冰水中以解释挑战者号航天飞机灾难事故的人，谁也不会怀疑他既擅长表演又是一个非常实际的思想家。

起初，费曼是以他在亚原子粒子理论方面的工作，特别是由于量子电动力学（其英文缩写为 QED）这门学科而赢得声誉的。事实上，量子理论正是从这门学科开始的。1900 年，德国物理学家普朗克提出，到那时为止一直被看成波电磁辐射，在与实物相互作用时，却又自相矛盾地表现出像能量小包或“量子”那样的行为。这种特殊的量子后来叫做“光子”。在 20 世纪 30 年代初之前，新量子力学的建筑师们搞出一个数学方案，来描述带电粒子例如电子对光子的发射和吸收。虽然 QED 的这种早期表述得到有限的成功，这个理论显然是有缺陷的。在许多情况下对非常确定的物理问题的计算却给出不协调的甚至无穷大的答案。青年费曼在 20 世纪 40 年代末，正是将注意力转到建立一个协调一致的 QED 理论的问题。



为了把 QED 置于一个坚实的基础上，就必须使这个理论不仅同量子力学的原理协调一致，还得同狭义相对论的原理协调一致。量子力学和相对论各自具有不同的数学机制，具有复杂的方程组，它们的确可以联合或相消以得到量子电动力学的一个令人满意的表述。这样做是一项繁重的任务，需要高度的数学技巧，费曼的同时代人正是沿着这条路做下去的。但是费曼却采取了一条根本不同的路线——这条路线是如此根本和激进，事实上，他不用任何数学就大致能直接写出答案！

为了协助这种非凡的直观技艺，费曼发明了一种以他的名字命名的简单图形系统。费曼图是描绘电子、光子和其他粒子相互作用时所发生的事情的一个很有启发性的简单符号方法。今天费曼图已成为计算的一个常规辅助手段，但是在 20 世纪 50 年代初，它们标志着同传统的作理论物理研究方法的令人吃惊的背离。

建立协调一致的量子电动力学理论这个具体问题，尽管是物理学发展史上的一个里程碑，但这仅仅是开始。下面还要界定费曼特定的风格，这种风格在物理学的范围广泛的各个课题中产生出一系列重要成果。对费曼风格的最佳描述是，它是对已有的人类智慧成果的尊崇和不敬的混合。

物理学是一门精确科学，现有的物理学知识虽然不完备，却不可以简单地弃置一边。费曼在很年轻时便对人们已接受的物理学原理有老辣的掌握，并且他选择的研究对象几乎完全是常规的问题。他不是那种在传统约束的死水中、在孤独中苦干偶然碰到深奥的新结果的天才。他的特殊才能是用他特有的方法去研究实质上属于主流方向的问题。这意味



径。大部分理论物理学家都依靠细心的数学计算作为把他们带进未知领域的导游指南和拐杖，费曼的态度却几乎是一种优雅的骑士风度。他给你的印象是，他能够像读一本书一样读大自然，只是简单地报道他发现的东西，而没有冗长的复杂分析。

的确，在以这种方式追求自己的兴趣时，费曼显示了对严格的形式体系的极度藐视。很难用言辞表达出这样干需要多么高的天赋。理论物理学是一门最难的智力活动，它把蔑视形象思维的抽象概念同极其复杂的数学结合在一起。绝大部分的物理学家只有依靠最高强度的脑力劳动才能得出一些进展。而费曼则对这套严格的行为规则显得驾轻就熟，就像摘取现成的果子一样从知识之树摘取新成果。

费曼的风格在很大程度上来自他的个性。在他的职业生涯和私生活中，他好像是把这个世界当作一场非常好玩的游戏。物理世界在他面前呈现出一系列迷人的难题和挑战，他的社会环境也一样。他一辈子都是一个爱开玩笑的人，他对权力当局和学术权威，就像他对呆板的数学形式体系一样不尊重。他绝不是一个甘心被愚弄的人，只要他发现现有的规则是专横无理或是愚蠢荒谬的，他就毫不客气地打破它们。他的自传里充满了他在第二次世界大战中如何使原子弹计划的保安人员上当、如何开保险柜、如何用鲁莽无礼的行为解除女士们的戒备的好玩的故事。他对因为在 QED 方面的工作而授予的诺贝尔奖，也采取了类似的爱要不要的态度。

和费曼这种对拘泥形式的厌恶并行的，是他对稀奇古怪和晦涩难解的东西的迷恋。许多人还记得他对消失已久的中亚国家图瓦*的着迷，在他去世前不久还高兴地参与一部有

* 即唐努乌梁海，蒙古的西北角，现属于俄罗斯。——译者注



关的纪录片的制作。他在别的方面的热情还包括演奏邦戈鼓、画画、经常出入脱衣舞夜总会和破译玛雅文字。 xiii

费曼自己做过不少事来建立他与众不同的形象。虽然懒于动笔，他的谈锋却很健，并且爱讲关于他的各种想法和恶作剧的故事。这些轶事，经过一年一年的积累，增添了他的神秘，并且在他有生之年就使他成了一个人人皆知的传奇人物。他的吸引人的风度使他非常受学生的喜爱，特别是更年轻的那些学生，他们之中许多人把他作为自己的偶像。在费曼因癌症于1988年去世时，他工作了大半辈子的加州理工学院的学生打出了一面旗，上面简单地写着：“我们爱你，迪克。”

正是费曼潇洒的生活态度（一般地）和搞物理的态度（特别地），使他成为这样优秀的一位教师：他很少有时间正式讲课，甚至很少有时间指导他的博士生。但是在合适的情况下他能做非常精彩的讲演，里面充满了智慧的火花、深刻的洞察力和他在其研究工作中表现出来的对传统的不敬。

在20世纪60年代初，人们劝费曼给加州理工学院的一年级和二年级学生开一门物理入门课程。他以他特有的大张声势和他那种没法模仿的不拘礼节、风趣和不落俗套的幽默的混合方式开了这门课。幸运的是，这些无价的讲演用书本形式为后人留了下来。尽管与通常的教材在风格和表述上有很大的不同，他这套物理学讲义是一个巨大的成功，激励和鼓舞了全世界整整一代学生。30年过去了，这套书一点也没有失去它的光彩和明晰。本书是直接从费曼物理学讲义采集来的。编这本书的意图是用费曼物理学讲义这部里程碑式的作品前面不太专门的几章，让一般的读者领略教育家费曼的真实滋味。其结果就是这本令人喜爱的小书——它既可作



为非理工科读者的一本物理入门书，也可以作为了解费曼本人的一本入门书。

xiv 费曼仔细和精心的讲解给人印象最深的是，他能够用最节约的概念投资和最小量的数学和专门术语，引出影响深远的物理观念。他有窍门能够找到正好的类比或日常的例证，以明白地显示一个深邃的物理学原理的实质，而不被附带的或不相干的细节所模糊。

本书内容的选择并不打算使它成为近代物理学的一个全面的概括，而是要引起读者对费曼的教学方法的兴趣。我们立刻看到的是，他如何能够用新的见解来阐发那些哪怕是老生常谈的题目如力和运动。关键性的概念用取自日常生活或古代的例子来说明。在让读者毋庸置疑地了解哪些是基本理论的同时，又不断地将物理学同别的学科连接起来。

在本书一开始，我们就学到了整个物理学植根于规律的观念——存在着一个有秩序的宇宙，它能够凭理性的推理而被理解。但是，在我们对自然界的直接观察中，物理学的定律并不是透明可见的。它们巧妙地隐藏在我们所研究的现象当中。要揭开隐藏着的有规律的实在上面的面纱，就需要物理学家的秘密武器——仔细设计的实验和数学理论的混合。

最广为人知的物理学定律可能是牛顿关于引力的平方反比定律，在本书的第五章讨论。这个题目是在太阳系和开普勒的行星运动定律的背景下介绍的。但是引力是万有的，横跨宇宙起作用，这使费曼能够用天文学和宇宙学中的例子来为他的讲述增添趣味。在评论了一幅由看不见的力以某种方式结合在一起的球状星团的图景之后，他抒发起感慨来了：“如果有人看不出引力在这里起作用，那他就没有脑子。”

人们还知道别的与自然界的非引力的作用有关的定律，



它们描述物质粒子如何相互作用。这些力只有很少几种，费曼本人就因他是历史上少有的几位发现一条物理学新定律的科学家之一而享有盛名，他发现的新定律是关于弱作用力是如何影响某些亚原子粒子的行为的。

高能粒子物理学是战后科学的王冠上的宝石，带着它的那些巨型加速器和似乎没完没了的新发现的亚原子粒子的清单，使人又爱又怕。费曼的研究工作的主要方向是弄清楚这门学问得出的结果的意义。在粒子物理学家中，一个一致的大主题是对称性和守恒定律对建立亚原子粒子园的秩序所起的作用。

粒子物理学家所知道的对称性，刚好也是在经典物理学中已熟悉的对称性。这些对称性中最主要的是由空间和时间的均匀性引起的对称性。以时间为例：除了在宇宙中大爆炸标志着时间的开始以外，在物理学中没有东西能够区分一个时刻和另一个时刻有什么不同。物理学家说世界“在时间平移中不变”，意思是在你的测量中不论是取半夜还是取正午作为时间的原点，对物理现象的描述不会造成什么区别。物理过程不依赖于时间的绝对原点。后来知道，这种时间平移下的对称性直接隐含着一条最基本和最有用的物理学定律：能量守恒定律。这条定律说，你可以把能量挪走并且改变它的形式，但是你不能生成它或毁灭它。费曼用他的淘气鬼丹尼斯的好玩的故事，（这个孩子总是把他的积木藏在他妈妈看不见的地方），把这条定律解释得很透彻（第四章）。

本书中最具挑战性的一章是最后一章，这一章是对量子物理学的解说。毫不夸张地说，量子力学支配着 20 世纪的物理学，它无疑是现有的最成功的科学理论。它对理解亚原子粒子、原子和原子核、固体的结构、超导性和超流性、金



xvi

属和半导体的导电性和导热性、恒星的结构以及好多好多别的东西，都是必不可少的。它的实际应用的范围从激光器一直到微芯片。所有这些都来自一个乍一看来（多看几眼也一样）绝对疯狂的理论！量子力学的奠基者之一尼耳斯·玻尔曾说过，如果谁没有受到量子理论的震撼，他就根本不懂得它。

问题在于，量子概念冲击了我们可以称之为常识性实在的核心。特别是，诸如电子或原子这样的物理客体是独立的存在、任何时候都有一组完备的物理属性这个观念出了问题。例如，一个电子不能同时在空间有一个位置又有一个确定的速率。如果你要找一个电子的位置在哪里，你会发现它在某个地方；如果你测量它的速率，你也会得到一个确定的答案。但是你不能同时做这两种观测。在没有一组完备的观察时把位置和速率的确定但未知的值赋予一个电子也是没有意义的。

原子粒子的本性中的这种不可确定性总结在海森伯的著名的不确定原理中。这个原理严格地限制了同时测量位置和速率这样的属性可以达到的精度。位置的一个精确取值使速率的可能值的范围变模糊，反之亦然。在电子、光子和其他粒子的运动方式中都显露出这种量子模糊性。某些实验表明，这些粒子是沿着确定的路径穿过空间的，就像子弹沿着轨道飞向靶子。但是别的实验装置又表明，这些客体的行为也可以像波，表现出典型的衍射和干涉图样。

费曼对著名的“双缝”实验所作的高明分析，把使人震惊的波粒二象性以其最尖锐的形式梳理了出来，至今已成为科学解说史上的经典。他只用很少几个很简单的概念，就把读者带到了量子之谜的核心，并且让我们对它所揭露的实在



的矛盾本性啧啧称奇。

虽然量子力学在 20 世纪 30 年代初期已经有教科书了，但是，青年费曼宁肯自己把理论改写为一种全新的形式，这是他一贯的典型做法。费曼方法的优点是，它向我们提供了一幅生动的图景，表明大自然的量子诡计是如何运作的。这个方法的想法是，在量子力学中，一个电子穿越空间的路径不是完全确定的。比方说，我们可以想像一个自由运动的电子，它不仅仅是像常识建议的那样沿 A、B 两点之间的直线运动，而且可以取各种各样曲里拐弯的路径。费曼让我们想象，电子用某种方法探索了一切可能的路径，在没有进行过一次观察以表明电子是取哪一条路径之前，我们必须假设一切可能的路径都会以某种方式对实在作出贡献。因此当一个电子到达空间（比方说靶平面上）一点时，必须把多个不同的历史综合起来以产生这次事件。 xvii

费曼的所谓量子力学的路径积分方法或对历史求和方法，把这个卓越的想法加工成一个数学的常规程序。在许多年里，它只是物理学家的一个稀罕的玩物，但是在物理学将量子力学推到登峰造极的地步（把它应用于引力或宇宙学）后，人们发现，费曼方法提供了描述一个量子宇宙的最佳计算工具。历史将会恰当地判定，在费曼对物理学的诸多杰出贡献中，量子力学的路径积分表述是最重要的贡献。

本书中讨论的许多想法带有很深的哲学味道。但是费曼对哲学家有一种根深蒂固的怀疑。一次我曾有机会就数学和物理学定律的本性以及是否能认为抽象的数学定律拥有一种独立的柏拉图式的存在询问过他的看法。他给出了一个非常肯定的和熟练的描述，说明事情何以的确显得如此，但是当逼着他采取一个具体的哲学立场时，他立刻就后退了。当



我试图从他口中引出关于还原论的话头时，他也同样地小心翼翼。按我的事后之见，我相信费曼并不轻视哲学问题。但是，正像他不用系统的数学而能够做出出色的数学物理学工作一样，他也能得出一些出色的哲学见解而不需要系统的哲学。他讨厌的是形式体系，不是内容。

xviii 世界不太可能再看到一个里查德·费曼。他在很大的程度上是他的时代之子。费曼的风格只是对正处于巩固一次革命和广泛探索其后果的过程中的学科才工作得令人满意。战后的物理学的基础是牢固的；其理论结构是成熟的，并且为各式各样的应用留有广阔的空间。费曼进入了一个抽象概念的仙境，在其中的许多东西上留下了他个人的思想烙印。这本小书提供了对一个非凡人物的心灵的独特的一瞥。

保罗·戴维斯

1994年9月



特别序言

(选自费曼《物理学讲义》)

在他生命的暮年，理查德·费曼的声望已经超出了科学 xi x
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耳伯
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，也许是他那个时代和我们这个
时代最出色的。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
些有幸亲眼目睹费曼演讲的人，对其讲演的感受都是非比寻常
的，而且总是难以忘怀的，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 x x



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。

在完成构成本书内容的讲课之后许多年里，费曼偶尔也给加州理工学院大学一年级学生讲授物理学课程。由他出马自然要保密，只有这样演讲大厅中才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求学生学这个专题，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 门课程的记录。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