

走近费曼丛书

# 物理定律的 本性

[美] R·P·费曼 著

关洪 译

湖南科学技术出版社



f

# 物理定律的 本性

[美] R·P·费曼 著

关洪 译

湖南科学技术出版社



**THE CHARACTER OF PHYSICAL LAW by RICHARD P. FEYNMAN**

Copyright © 1965 BY RICHARD P. FEYNMAN

This edition arranged with MELANIE JACKSON AGENCY, L. L. C. through BIG APPLE TUTTLE-MORI AGENCY, LABUAN, MALAYSIA. Simplified Chinese edition copyright: © 2004 HUNAN SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

All rights reserved.

湖南科学技术出版社通过大苹果艺术文化有限公司独家获得  
本书中文简体版中国大陆出版发行权。

著作权合同登记号: 18 - 2004 - 105

走进费曼丛书

**物理定律的本性**

著 者: [美] R·P·费曼

译 者: 关 洪

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 0731-4375808

印 刷: 长沙化勘印刷有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 长沙市青园路 4 号

邮 编: 410004

出版日期: 2005 年 2 月第 1 版第 1 次

开 本: 880mm×1230mm 1/32

印 张: 7.625

字 数: 146000

书 号: ISBN 7-5357-4153-3/O·237

定 价: 18.00 元

(版权所有·翻印必究)



## 出版前言

本书分七章，是费曼教授在美国康奈尔大学所做的梅森哲讲座系列讲演。这些讲演的听众，是希望更加普遍地了解“物理定律的本性”的大学生。这些讲演并不是按照准备好的稿子宣讲的，而是根据一份简略的纲要即席发挥的。

在康奈尔大学，从 1924 年起就每年举行梅森哲讲座。在那一年，数学系的一位毕业生和后来的教授梅森哲（Hiram J. Messenger）捐助了一笔款项，以促进世界各地的著名人士来康奈尔大学访问并对学生们发表讲演。在设立这项讲座基金的时候，梅森哲就规定其用于“提供关于文明进步，特别是为了提高我们的政治、商业和社会生活的道德基准的单次讲演或者系列讲演的讲座。”

1965 年 11 月，杰出的物理学家和教育家费曼（Richard P. Feynman）教授被邀请来做 1964 年度的讲座。他以前是康奈尔大学的教授，现在是加利福尼亚理工学院的理论物理学教授。他最近成为英国皇家学会（FRS）的一位国外成员，不仅以其对物理学定律的当今理解的贡献，也以其把他的题目生动地讲授给非物理学家的本领而著称。

本书中的各章是他各次讲演的记录，这些讲演是在一个使费曼教授得以不受拘束地演出他的口才和姿态的大讲台上做出的。他具有作为一位演说家的国际声誉，而且亦以其激



动人心的讲授风格而闻名。本书准备为那些电视观众提供一种引导性的或者记忆性的帮助，他们观看了讲演的播出之后，还希望得到一种可供随时参考的文字读物。虽然本书怎么说都不能当成一本教科书，但对于那些追求对物理学定律的清晰理解的物理系学生，他们将会由此受到其中许多论证的启示。

英国广播公司（BBC）的第一套节目（BBC-1）先前已经与费曼教授很熟悉了，他是在菲利普·达利（Philip Dally）制作的《处在物质中心的人们》的节目中被邀请的物理学家之一；并且费曼也以他关于“奇异数为负三”的光辉贡献而闻名，那是关于1964年科学新发现的最具吸引力的节目之一。

当BBC的“科学与特写”部门知道了费曼教授要做梅森哲讲座的讲演时，对此很感兴趣，赶去拍摄了讲演的全过程。这一系列讲演在BBC的第二套节目（BBC-2）中作为“继续教育计划”的一部分播出，延续了先前由一批杰出科学家邦迪（Bondi）讲的相对论、肯德鲁（Kendrew）讲的分子生物学、莫里森（Morrison）讲的量子力学和珀特（Porter）讲的热力学等多次讲演的风格。

你们要读到的是那次系列讲演的文字记录。费曼教授核对了其中科学内容的精确性。我的助手霍尔姆斯（Fiona Holmes）和我整理了原来的口头语言，写成适于印制的书面文字。我们希望本书能被大家接受。与费曼合作真是一种难得的经历，我们相信观众们和读者们都会从这一策划中受益良多。

斯利斯

BBC 实况广播制作人，科学与特写部，1965年6月



BBC 感谢康奈尔大学新闻处允许我们复制图版 2，并且感谢加利福尼亚理工学院允许我们复制在第一章里所用到的其他照片和插图。

想要更加详细地学习费曼教授的著作的学生们，应该会对在康奈尔大学教务长的致辞里提到的费曼的一套教科书感到兴趣，它是由加利福尼亚理工学院出版的《费曼物理学讲义》(*The Feynman Lectures on Physics*)。



康奈尔大学教务长

戴勒·R·科尔森 (Dale R. Corson)

为 1964 年度梅森哲讲座所做的介绍词

女士们和先生们，我很荣幸来介绍梅森哲讲座的讲演者，加利福尼亚理工学院的费曼教授。

费曼教授是一位杰出的理论物理学家，他在从标志着战后物理学突飞猛进时期的大混乱中整理出头绪来的工作里，做出了重大的贡献。在他所得到的许多荣誉和奖赏中，我只提到 1954 年的爱因斯坦奖就够了<sup>①</sup>。这是一个每三年颁发一次的奖项，包括一枚金质奖章和一笔可观的奖金。

费曼教授在麻州理工学院 (MIT) 完成他的本科学业，在普林斯顿读完研究生。他先在普林斯顿，后在洛萨拉莫斯参加了曼哈顿计划。1944 年他被任命为康奈尔大学的助理教授，虽然在战争结束之前他没有到任。我想看看他在被康奈尔任命的时候人们是怎样说他的，这也许是一件有趣的事情。因此我在我们大学的董事会会议记录里寻找……而那里根本没有关于他任命的记录。不过，还有约摸 20 份关于他请假、提薪和升职的文件留在那里。其中一份文件特别引起了我的兴趣。1945 年 7 月 31 日，物理系的主任致函给文学院的院长说，“费曼博士是一位出色的教师和研究人員，像他这样的人才是很罕见的。”系主任提出说，像费曼这样的一位杰出的教授，年薪三千美元是少了一点，并且建议给费曼的年薪增加九百美元。而那位院长则以一种不寻常的慷慨大度，并且完全不顾学校出不出得起，大笔一挥将九百美元

<sup>①</sup> 费曼于 1965 年获得诺贝尔物理奖。——译注



这几个字划掉，改成了一千美元。你们可以由此看到，我们甚至在那时候就已经高度评价费曼教授了！费曼在1945年底到我们这里上任，并且在我们的教授队伍里度过了富有成果的5年。他在1950年离开康奈尔去了加利福尼亚理工学院，此后一直留在那里。

在我请他讲演之前，我想告诉你们一点他的事情。三四年前，他在加州理工学院开始讲授一门基础物理学的课程，结果使他又博得了更广泛的声誉——他的讲义现在出版了两卷<sup>①</sup>，它们为物理学的教育带来了一种耳目一新的方式。

在出版了的讲义的序言页上有一幅费曼在欢快地演奏着邦戈鼓的相片。我在加州理工学院的朋友们告诉我，有时候他会偶然出现在洛杉矶的夜间娱乐场所里，客串鼓手的角色；不过费曼教授则对我说没这回事。他的另一个特长是打开保险柜。传说他有一次打开了在一处保密设施里的一个锁好了的保险柜，拿走了一份机密文件，并且留下了一张条子，上面写着“猜猜是谁？”我还可以告诉你们有一次他在要去巴西讲学之前怎么样学习西班牙语的故事，不过还是省了吧。

我想，我已经向你们介绍过足够的背景材料了，因此请让我说，我很高兴欢迎费曼教授回到康奈尔来。他要讲的系列讲座的总题目是“物理定律的本性”，而他今天晚上的这一讲的题目叫做“引力定律，物理定律的一个例子”。

---

① 这套讲义的第三卷即最后一卷于1965年出版。——译注



## 引言<sup>①</sup>

科学史家们的流行做法是深入探究科学革命的意义。每一次科学革命都是伴随着一批天才而来到的，那指的是一些男人和女人，通过他们的能力和想象力迫使科学共同体破除旧的思想习惯和接纳不熟悉的新概念。天才是已经受到大量研究的一种现象。而其重要性还没有得到多少注意的，或许是称为风格的东西。然而，对于科学的进步，研究风格的改变会与通常的天才给出同样大的冲击。

理查德·费曼在罕见的天才和非凡的风格这两方面都是很突出的。生于1918年的费曼，已经赶不上参与物理学的黄金时代，那是指二十世纪前三十年里由于相对论和量子力学而改变了我们世界观的两次科学革命。这些根本的发展铺设了我们叫做新物理学这座大厦的基础。费曼从那些基础出发，协助建立起这座大厦的底层。他的贡献触及物理学的几乎每一个角落，并且对物理学家们的思维方式产生了深刻而持久的影响。

费曼起初在他对粒子物理的研究，特别是对叫做量子电动力学或者简称QED的研究中留下了自己的名字。量子理

---

<sup>①</sup> 这部中译本是根据1982年的原文版本译出的，这篇引言是根据1992年的原文版本添加的。 译注



论实际上是从这个问题开始的。1900 年普朗克提出，在那之前一直看做波动的光和其他种类的电磁辐射，在它们与物质相互作用的时候，都应当看成是能量的一些微小的份额，即“量子”。这些微粒性的量子后来叫做光子。<sup>①</sup>到了二十世纪三十年代早期，新的量子力学的建筑师们已经建立了一种数学程式，去描写光子被像电子那样的带电粒子发射和吸收的过程。虽然这种 QED 的早期程式得到了某些成功，理论上却是有明显缺陷的。在四十年代后期，年轻的费曼正是专注于建造一种首尾一致的 QED 理论这样的问题。

要把 QED 置于一个坚实的基础之上，需要使理论不仅与量子力学的原理，而且与狭义相对论的原理取得一致。这两种各自具有独特的数学方法以及复杂的方程系统的理论，确实能够协调和结合起来，产生一种 QED 的满意描述。这是由费曼和他的同代人建立的方法。然而，费曼自己是以一种全然不同的方式来考虑这个问题的；这种不同之处表现在，事实上费曼在一定程度上能够以一种直接的方式写出答案，而完全不必用到数学！

为了把这种直觉的特别技巧形象化，费曼发明了一套后来以他的名字命名的简单的图形系统。费曼图是一种有效而明白的符号系统，用来画出当电子，光子和其他粒子相互作用的时候发生了什么事。今天我们依靠这些图形来进行日常的计算，但在二十世纪五十年代时，它们显得是对进行科学研究的传统方式的一种惊人的背离。

QED 的特殊技术问题虽然是物理学发展的一块里程碑，

---

① 普朗克在 1900 年为了解决黑体辐射问题而提出的能量子概念，指的不是光是发出辐射的腔体物质的振子的能量。光量子概念是爱因斯坦 1905 年提出的。——译注



但亦仅仅是作为费曼的独特风格的一种演示，那是反映在战后物理学的发展，以及引发了几十项重要的进展的风格。

最好把费曼的风格描写成对被普遍承认的智慧的一种尊敬和失敬的混合物。物理学是一门精密科学，而现存的知识体系虽然是不完全的，亦不能置之不理。费曼在很小的年纪上就难得地掌握了物理学的现成原理，然后他选择去做几乎所有通常的问题。他不是那种局限在学科领域的浅水区兢兢业业工作，而在需要涉足新的深度时犹豫不决的天才。他具有以一种特殊的方法进入基本的主流课题的特别才干。这意味着避开现成的程式，发展他自己依赖高度直觉的方法。当大多数理论物理学家依靠小心谨慎的数学计算来提供一种引导和一种帮助，带领自己到不熟悉的领域的时候，费曼的态度则几乎是自由发挥的。

费曼的方法意味着不仅对严格的程式表现了一种大度的藐视，而且在他的想法和交流里运用了一种天才的非正式思路。很难传达以这种风格工作所需要的天才的深度。理论物理学是人类努力从事的最困难的事业之一，并且它的各个概念是那么微妙和抽象，那些概念通常是不能够形象化的，而且技术上的复杂性亦使得不可能一下子从整体上掌握它。大多数物理学家只能够依靠最高级的数学和概念上的修养来取得进步。然而，费曼看起来好像是稳当地驰骋在这种严格的惯常规则之上，并且不断采集新的结果，如同从知识之树上摘取成熟的果实一样。

费曼的风格在很大程度上出自他个人的性格。在他的专业工作和私人生活里，他好像把世界当做是一场巨大而有趣的游戏。物理世界向他展示了一系列迷人的谜团和挑战，而他对社会环境亦是这样看待。一位一生都爱开玩笑的人，他



对权威和学术机构的态度都不大尊敬，就像对乏味的数学程式一样。谁也不乐意受愚弄，只要他发现了一些武断的或者荒唐的旧规则，他就会推翻那些规则。在他的自传性的作品里，写下了一些有趣的故事：费曼在战争期间戏弄了原子弹基地的安全措施，费曼打开锁住的保险箱，费曼消解了一群妇女的恶意攻击。他以同样的要就要不要就拉倒的方式对待他因 QED 的工作而获得的诺贝尔奖

在藐视拘泥于形式的俗套之余，费曼迷恋诡秘和难解的事物。许多人会记得他对位于中亚细亚的久被遗忘的图瓦共和国的着迷，他是那么高兴地被一部有关的纪录片迷住了，那是在他 1988 年去世之前不久制作的。他的另一些热心的消遣，包括了演奏邦戈鼓，绘画，常去表演脱衣舞的俱乐部，以及解读古代的玛雅文字。

费曼一般对生活并且特别对物理学的这种随心所欲的态度，无疑使得他成为这样一个超级的传播者。在他工作的加利福尼亚理工学院，费曼不常做正式的讲课，甚至亦花不了多少时间来指导他的博士生。然而只要适合他的意愿，他能够给出辉煌的讲演，展示所有智慧的火花，洞察的见识，以及对于有关他的研究工作的随意发挥。

在六十年代中期，费曼被邀请到纽约州的康奈尔大学做了关于物理定律的本性的一系列普及讲座。这些讲座由英国广播公司（BBC）作为电视节目记录下来，后来又由 BBC 出版了一部书。我在六十年代后期还是一名青年学生的时候得到了一本，发现这些讲座是很吸引人的。给我以深刻印象的主要是费曼能够从最朴实的概念出发，展开对于物理观念的意义深远的讨论方式，其中几乎不用数学，并且很少用到专门的术语。他掌握了那样的窍门，能够从恰好的比拟或者日



常的例子讲出一条非常深刻的原理的本质，而不会被一些附带的或者次要的细节所蒙蔽。在我的整个专业生涯里，我总记得他关于能量守恒定律同尝试用湿毛巾去擦干你的身体这个问题的卓越譬喻。

在这些讲演里选择的各个课题，并不打算成为现代物理学的一种综合性的概述。它们更适合看做是用费曼的眼光看待潜藏在物理学理论的心脏部位的问题和谜团的观点。全部物理学都植根于定律的观念，对于我们生活在一个有秩序的世界的信心，是可以通过理性的推理来理解的。但当我们直接观察自然界的时候，我们并不能显而易见地看到那些物理学定律。它们是隐藏起来的，是在我们研究的现象当中隐藏着的一些微妙的密码。

在费曼的第一次演讲里，讨论的最广为人知的定律是牛顿的引力定律。大多数其他的定律关系到描写物质粒子怎么样相互作用的各種力的本性。但是这些力当中有少数是很特别的，而费曼自己具有这样的显赫声望，跻身于历史上发现一种新的物理学定律的少数科学家的行列之中，他的贡献说明了一种弱核力如何影响了某些亚原子粒子的行为。

高能粒子物理学以它魔术似的巨型加速器机械以及看起来无尽头的新发现的亚原子粒子名单，支配了费曼这一代物理学家。费曼的研究领域主要在这一方面。在粒子物理学家中的一个伟大的统一主题，就是对称性和守恒定律是怎样支配着亚原子动物园的秩序的。康奈尔讲座中的大部分内容都关系到在亚原子领域里，这些抽象的对称性和守恒律的状况。虽然自从二十世纪六十年代以来粒子物理学已经有了突飞猛进的发展，这些讲座仍然是有基本意义的。

同费曼对于对称性的兴趣正好相反的是有一次关于不对



称性的讲座，即是所谓时间箭头的问题。费曼对于这一课题的迷恋从他做博士论文的时候就开始了，那是在二战期间的动荡年月里由惠勒指导的。原来的问题关系到试图构筑一种电动力学的理论，其中过去和将来对称地进入到理论里面。那是费曼第一次遭遇电动力学，后来由此绽放了他获得诺贝尔奖的 QED 工作的花朵。但是，时间箭头问题基本上仍然没有解决，继续困扰着理论物理学家的头脑。费曼复述了这一问题的，他对这一问题本性所做的精巧揭示，仍然是对这一迷人的课题的一种经典的论述。

从任何标准看来，这本书里所讨论的各个观念都必定是有深刻的哲学意义的。尽管费曼总是对哲学家们抱着怀疑的态度。我有一次有机会逮住他讨论了数学的本性和物理学定律，以及抽象的数学定律是否可以看做是享有一种独立的柏拉图式的存在这样的问题。他对为什么看来确实如此的原因，给出了一种生动和巧妙的描述，但当我迫使他站在某种特定的哲学立场的时候，他就很快退缩了。当我试图从他口中引出还原论的议题的时候，他亦同样地警觉起来了。总而言之，事后我相信费曼并不轻视哲学问题。但是，正如他能够不用系统的数学工具去做精细的数学物理问题一样，他也能够产生某些精细的哲学见解而不需要系统的哲学学说。他所讨厌的是形式而不是内容。

看来这个世界将来不大可能看到有另一位费曼。他正是他那个时代的一个人物。费曼的风格对于巩固完善一次科学革命和开发它的种种结果这一过程中的一个主题说来是成功的。战后的物理学安全地站在它的基础上面，它的理论结构是成熟的，虽然仍然有广阔的天地可供随意开发。费曼的风格启发了整整一代科学家。这本书仍然是我所知道的，关于



他的令人愉悦的看法的最佳记录。

戴维斯 (Paul Davies)

阿德莱德 (Adelaide), 1992



## 目 录

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| 1   | 出版前言                         |
| 1   | 致辞                           |
| 1   | 引言                           |
| 1   | 第一章 引力定律——物理<br>定律的一个例子      |
| 29  | 第二章 数学同物理学的关系                |
| 56  | 第三章 伟大的守恒定律                  |
| 84  | 第四章 物理定律中的对称性                |
| 110 | 第五章 过去与未来的区分                 |
| 131 | 第六章 概率和不确定性——对<br>自然界的量子力学观点 |
| 156 | 第七章 寻找新定律                    |
| 185 | 译后记                          |
| 190 | 附录 费曼小传                      |



## 第一章 引力定律——物理定律的一个例子

奇怪的是，每当我偶尔被请去一处正式场合演奏邦戈鼓的时候，主持人好像从来也不觉得有必要提到我还会做理论物理。我相信，这也许是由于我们尊重艺术甚于尊重科学的缘故吧。文艺复兴时期的艺术家们说，人们主要关心的应该是人文方面的东西，而世界上还有各种各样有趣的东西。即使是艺术家也会欣赏日落和海浪，以及群星划过天空的运行。那么，我们也有理由不时谈论其他的事物。当我们注视这些事物的时候，我们从对它们的观察直接感受到美学上的愉悦。在自然界的各种现象之间，也存在着肉眼看不到的，而只能用分析的眼光看到的节奏和样式。我们正是把这些节奏和样式称为物理定律。我要在这一系列的讲座里讨论的就是这些物理定律的一般本性；如果你明白了，就达到了另一个层次，一个比那些定律本身更高的层次。我确实把自然界当做通过缜密分析而得到的一种结果，但我在这里主要想讲的只是自然界最普遍的、笼统的性质。

噢，这样的一个话题会倾向于变得太哲学化了，因为它变得那么普遍，当一个人谈到这样一些普遍性的东西的时候，每一个人都能够听懂。他讲的这个话题就会被认为是具有某种深刻的哲学意义了。而我更喜欢具体一些，并且我喜欢以一种纯正的而不是含糊的方式来理解。因而在我的这第