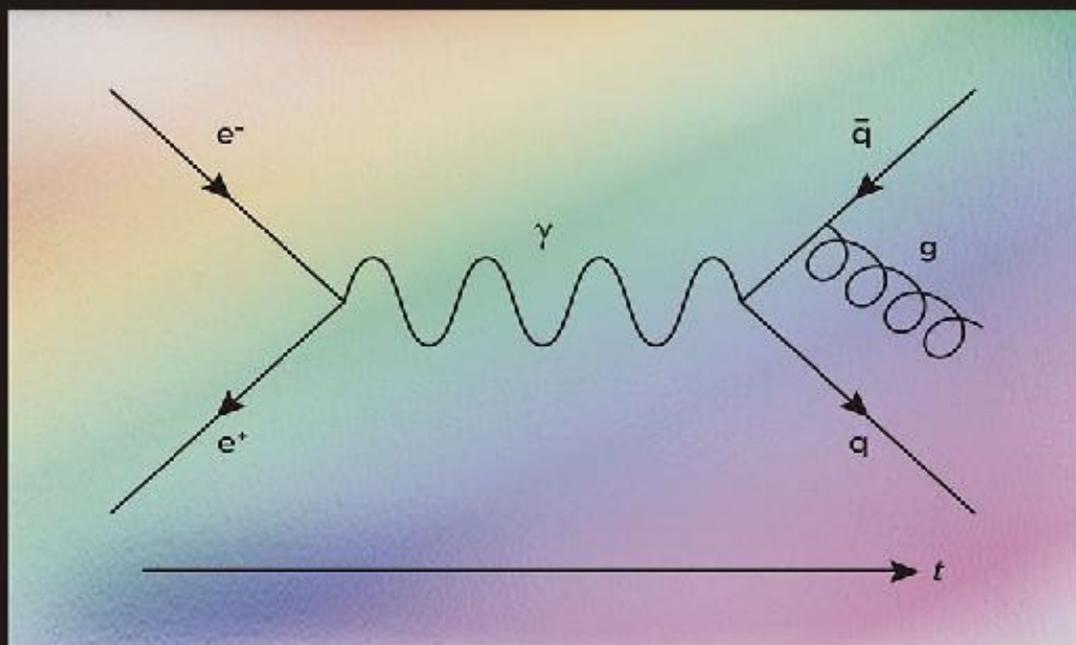


QED

The Strange Theory of
Light and Matter
光和物质的奇妙理论



Richard P. Feynman

[美] 理查德·费曼 著 徐一鸿 序 张仲静 译

湖南科学技术出版社

版权信息

QED: 光和物质的奇妙理论

著者: [美]R·P·费曼

序: 徐一鸿

译者: 张钟静

责任编辑: 吴炜 孙桂均

文字编辑: 唐北灿

ISBN: 9787535772442

 **湖南科学技术出版社**
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目 录

[版权信息](#)

[序](#)

[讲座前言](#)

[编录者序](#)

[致谢](#)

[第1章 绪论](#)

[第2章 光子：光的粒子](#)

[第3章 电子和它们的相互作用](#)

[第4章 松散的结尾](#)

序

徐一鸿 (A.Zee)

2006年

我们是如何终于认识了光，这个故事的演进简直就是一出充满了命运的纠结、曲折和逆转的扣人心弦的活剧。

光子，在所有基本粒子中是最可见的：试想在一个晴天，你置身于一个灰尘弥漫而开着一扇小窗的房间，盯着一大群小灰尘颗粒满屋子乱飞乱舞。牛顿很自然地认为，光是由粒子（“微粒”）流组成的。但他对此已经有一些怀疑；甚至就在17世纪，光的衍射也已经能够很容易地被观察到。最终，衍射和其他现象看来毫无疑问地表明光是一种电磁波。19世纪物理学的那座丰碑——麦克斯韦电磁学方程组——阐明了光完全全就是一种波。接着，爱因斯坦出现了，他以光是小能量包（量子）之总和的假设解释了光电效应。这样，“光子”这个词和光的量子理论诞生了。（这里，我就不再离开主题去回顾爱因斯坦那著名的对量子力学的不待见，尽管他曾为量子力学的诞生助产过。）20世纪20~40年代那段时间，物理学家们彻底弄清楚了物质（“大量原子”）的量子行为。而光的量子行为和光与电子的相互作用是更大的难题，困扰着像保罗·狄拉克和恩里科·费米这样最棒的、最聪明的著名人物。物理学不得不悲喜交加地等待三位年轻人——费曼、施温格和朝永振一郎，因为根据他们在第二次世界大战时的经验，这种情况很可能会产生出量子电动力学（亦称QED）正确的系统阐明。

理查德·费曼（1918—1988）不仅是一位杰出的物理学家，他还是个非同寻常的人物，那极其张扬的个性在理论物理学界可以说是空前的，此后也还没有同类。理论物理学家们偶尔也消磨一点悠闲的时光来比较费曼和施温格的贡献，他们俩都是来自纽约的犹太好男孩，刚好又几乎是同龄。这些比较没什么意义，也没什么目的；不过有一点倒是事实，即朱里安·施温格是个羞涩的腼腆谦和的人（不过藏在他冷淡外表后面的是一副很温暖很善意的好心肠）；

而迪克·费曼（Dick是费曼的昵称——译注）则性格极其外向，天生一个传奇人物的坯子。他的手鼓，他的秀女郎，他的由大批崇拜者热情培育起来的相当有文化品位的其他一些标志性的偶像特征形象，使得费曼毫无疑问地成为仅次于爱因斯坦的最爱爱戴的理论物理学家。

才华横溢的苏俄物理学家列夫·朗道曾为理论物理学家的高下排行制作了一个著名的对数标度尺，爱因斯坦高居榜首。大家也都知道，朗道在系统阐释相变理论之后把他自己提升了半步。我则有我自己的标度尺——作为一个消遣吧，把我所知道的理论物理学家或按容貌风度，或按精神气质做了个排序。哦，这是真的：很多理论物理学家单调乏味得要命，令人生厌得就像刷碗水，在我的这个对数标度尺上他们接近于负无穷。我把薛定谔（关于他，我们后面还要谈到）标在最高点，费曼无悬念地紧随其后。我不能告诉你我把自己置于这个标度尺之何处，但可以说在可供我支配运用的天资和能力范围内，我确实尽最大可能地去寻开心找乐趣。

但是，费曼是何等有趣之人！在我开始工作之初，费曼约我和他一起去夜总会。费曼的一个同事告诉我，这个邀请表明费曼是很认真地把我当作一个物理学家看待了，但当我热切地告诉他我关于杨-米尔斯理论的想法时，他却只想听我对于台上正在跳舞的女孩儿的大腿有什么评论。当然，根据英雄崇拜心理学，没有人会对一个玩手鼓、喜欢秀女郎的物理学家汉子发出两种不同的声音，给出两个不一致的看法。那么，好！我的衡量物理学家的标度确实就是：他有多么有趣好玩乘以他的天赋才华——朗道的标度尺有他好玩的成分在里面，如爱因斯坦的股票下跌而他朗道的股票上涨（朗道很喜欢开点玩笑搞点恶作剧，直到他被克格勃给抓起来）。

现在，距那次夜总会共赏节目大约30年之后，普林斯顿大学出版社的Ingrid Gnerlich竟要求我为费曼的名著《QED：光和物质的奇妙理论》2006年版写个引言，这让我感到非常荣幸。首先我要坦言：此前我从未读过《QED》。在这本书1985年出版时，我刚刚完成我的第一本物理学普及读物Fearful Symmetry（《可伯的对称》，有中文译本——译注）我多多少少认同这样一个策略，即不读他人写的物理学普及书，以免我的风格爱到他们的影响。这样，我以清新的眼光和深深赞赏的态度读了Ingrid寄来的《QED》。我立刻就喜欢上了这本书，边读边记下来我的想法和评价。

早先没读这本书真是个错误，因为它不是通常意义上的物理学普及读物。1984年斯蒂芬·温伯格曾建议我写一本通俗物理书，并安排我和他的编辑在纽约见面，他还给了我一个有用的忠告。他说，很多写这类书的物理学家都禁不住为图对有关的一切做出解释；而外行们想要的不过是一个理解的假象，他们只想抓住几个似是而非全无意义的词语，好在鸡尾酒会上到处播撒以显摆自己懂行而已。

我想温伯格这个话虽然有点尖刻，但大体上是对的。大家都见证了霍金的《时间简史》的巨大成功（依我上面讲的策略，这本书我也一直没有读）。我在加州大学过去的同事、现在在牛津大学执教的一位卓越的物理学家，一次他给我看《时间简史》那本书里的一句话。我们俩一起努力琢磨这句话，想揣摩出个讲得通的意思来，却到底还是不知所云。与这种情况相比照，我想让所有感到困惑的读者放心，费曼这本书虽然看起来异乎寻常到了极致，但其中所有句子的意思都清楚明白。不过对每句话你都必须认真仔细地琢磨，努力弄懂费曼在说什么，再往下读。否则，我保证你会绝望地败下阵来。此书讲的是奇特的、与众大不相同的物理，而不是做一般的陈述。毕竟，书名已经做出了承诺，给读者讲一个“奇妙的理论”。

费曼就是费曼！他写书所选择的路子与温伯格给我的忠告（顺便说一句，我也并没完全按他的建议去做；见下面我关于群论的说明）完全相反。在书的“致谢”部分费曼谴责有的物理学通俗读物“看起来相当简洁，只是由于它们所写的东西与它们声称要写的是两码事，它们对于声称在写的东西作了相当大的歪曲”。与之不同，费曼向自己提出了挑战：为外行读者不走样地、不“对真理作任何歪曲”地讲解QED。这样，你们就不应该把这本书当成标准的物理学普及书。它也不是教科书。它是一个珍稀的混血儿。

为了解释这是哪种类型的书，我将运用费曼自己做的（我只稍加修改）类比。根据费曼的说法，要学习QED，你有两个选择：或者去完成7年的物理专业教育，或者读这本书。（他这个7年的数字可能有点夸大；如今一个聪明的中学毕业生在适当的指导下用不了7年就能做到。）其实，也不是真让你去做个什么抉择，对吧？当然你应该选择读这本书！即使你像我所建议的那样，把所有的句子都仔细抠明白了，也花不了你7周的时间，更不用说7年了。

那么，这两种选择不同在哪里呢？现在来看我的版本的类比：一个玛雅高级神父宣布，他收些学费就可以教你（玛雅社会里的一个普通人，叫Joe或Jane）如何将两数相乘（如564乘以263）。他让你记住九九表，然后告诉你看这两个数最右边你须把它们先乘起来的两个数字，即4和3，他再让你说在九九表的第4行第3列的数是什么。你说12。然后，你要学到的是，你应该写下2并且“进”1（不管它意味着什么）。接着，你要说出第6行第3列的数，即18。他会告诉你将此数加上你刚刚进位的那个数。当然，你还必须再花一年的时间来学怎么“加”。好了，你明白这意思了。这就是你在一所声名显赫的大学里交了学费之后所学到的东西。

然而，一位叫费曼的聪明人向你建议说：“嘘……如果你会数数儿，你不必非得学关于进位和加法这套高难度的专业知识。你要做的就是弄来564个罐子，然后往每个罐子里放入263个小卵石。最后，你把所有这些小卵石倒出来，堆成一大堆，数一数有多少，那就是答案。”

所以你看，费曼不仅教你怎样做乘法，他还让你深刻地理解那些高级神父和他们的学生们（这些学生很快会从知名大学获得博士学位）究竟在做什么！但另外一方面，如果你学费曼的方式做乘法，你就不能申请会计师的工作。如果你的老板要你整天作大数乘法运算，你就会给累死，而进了高等神父学院的学生们将会让你灰头土脸蒙羞受辱。

我已经写过一本教科书（Quantum Field Theory in Nutshell）《果壳里的量子场论》，下称《果壳》）和两本物理学普及读物（包括《可伯的对称》，下称《可伯的》），所以我觉得我很有资格就你们关心的要读什么样的书的问题说几句话。（顺便说一下，《QED》这本书的出版者普林斯顿大学出版社出版了《果壳》和《可伯的》两书。）

现在我把这个引言的读者分为三类：（1）爱这本书的激励想进一步学习并掌握QED的学生；（2）对QED感到好奇的聪明的外行；（3）像我本人这样的专业物理学家。

如果你属于第一类，你将会令人难以置信地爱到这本书的鼓舞、激励而迸发出巨大的热情，想要即刻开始阅读一本量子场论的教科书（可以很有理由地说《果壳》就是这样的一本教科书）。顺便说一下，如今QED被认为是量子场论的一个相对简单的例子。在

写《果壳》的时候我坚信，一个确实聪明的本科生是会很接近于学懂了量子场论的，而费曼肯定会同意我这个想法。

但是，正如在类比中所表明的，光阅读这本书可无论如何不会使你变为一名教授的。你必须还要学习费曼所谓的两数相乘的“复杂棘手、需要技巧，但很有效的方法”。尽管费曼宣布，他很想从零开始解释一切，但他在行文中还是明显地表现出吃力。比如在第88页和图56中，仅仅提了一下 $P(A至B)$ 取决于间隔 I ，这让人莫名其妙，但你只能接受他这句话。而在《果壳》中，这是被推导出来的。在第119页注3中讲的 $E(A至B)$ 也是这样。

如果你属于第二类读者，坚持读下去，你会受益匪浅，相信我，别着急贪多！即使你只读完前两章，你也会已经学到了很多。为什么这本书这么难读？我们可以再回到那个玛雅人类比：这就好像你正在用罐子和小卵石教某人学习乘法，但他甚至连罐子和小卵石是什么都不知道。费曼翻来覆去地告诉你每个光子带一个小箭头，告诉你怎么把这些小箭头加起来和用伸缩、旋转的方法把它们乘起来。而这真是让人非常困惑、感到糊涂的；你的注意力不能有一点点走神。附带说一下，这些小箭头其实就是复数（如第73页注释4所解释）；如果你已经了解了复数（即罐子和小卵石），讨论就可能比较清楚一点而不那么乱。或者，也许你是温伯格所描述的满足于“似乎是理解了某事物”这种假象的那种典型的外行读者中的一员，你就可能满足于标准的物理普及读本。再次用玛雅人类比：一本标准的物理普及读本既不会拿九九表和进位，也不会拿罐子和小卵石去烦劳你。它可能就简单地说一句：当给定了两个数，高级神父有办法得出另一个数。事实上，通俗物理书籍的编辑们坚决要求作者们按这种方式去写作，目的是不要吓跑了掏钱买书的大众（下面会更多地谈到这一点）。

最后，如果你是第三类读者，那你真可说是来享受一番东道主的款待。虽然我是个搞量子场论的理论物理学家而且明了费曼正在做的是做什么，但我还是从看到大家都熟悉的现象以这样一种令人眩惑的原创性的为大家所不熟悉的方式给解释出来，而获得巨大的快乐。我欣赏费曼向我解释光为什么走直线，或者一个聚焦透镜实际是怎么工作的（第57页：“对自然界耍一个‘花招’”，让沿某些路径的光慢下来，以使所有的小箭头都转同一大小的角度）。

嘘……我来告诉你，费曼为什么与众多物理教授不同。你去请一位物理教授解释，光从一块玻璃板反射时，为什么只考虑前后两

个表面的反射就足够了。很少有人知道答案（见第107页）。这不是因为物理教授们缺乏知识，而是因为他们就从来没有提出过这个问题。他们只不过是学习Jackson的标准教科书，通过考试，按部就班地升级。费曼从小就不是省油的灯。他永远在问为什么？为什么？为什么？

有三类读者（励志的学生、聪明的外行、专业的教授），相应地，也有三类物理书（并不与三类读者一一对应）：教科书、通俗读物和我称之为“超难普及物理读本”。这本书就是这第三类书的珍稀样本，在某种意义上这第三类夹在教科书和通俗读物两大类之间。为什么它在三类中占的份额如此之小？这是因为“超难普及物理读本”把出版者吓个半死。霍金有个广为流传的说法：通俗书中每一个公式都会使该书的销量减少一半。虽然我并不否认这个话确实道出了一般的实情，但我希望出版商还是别这么轻易地给吓着。问题主要并不在于公式的数量有多少，而在于书中是否蕴含了对难于掌握的概念做出的真诚可信且值得称赞的讲解。在写《可伯的》一书时，我想，为了讨论现代物理学中的对称，讲解群论是必要的。我想尽为使这些概念能为大家所接受，为此，我用在上面写有字母的方形和圆形的小代币筹码似的东西作为教具来演示。但编辑迫使我一次再次不断地冲淡这些内容，直到实际上啥也没留下为止。然后，把刷掉的许多内容归到附录中。费曼可不同，他神通广大，不是所有的物理书写作者都有他那么大的本事，那么大的影响力。

让我返回到费曼的书，讲讲它的难点。这本书的很多读者都会学一些量子物理。这样，他们理所当然地会，比如说，对这本书没有谈到波函数感到不解，而波函数在大量其他量子物理通俗论述中都占有相当突出的地位。量子物理是足够让人困惑的——正如一句俏皮话所说，“有量子物理相伴，谁还需要迷幻药？”也许应该让读者不要在困惑中再为这些不解而更加挠头，所以我来解释一下。

埃尔文·薛定谔和维尔纳·海森伯，几乎同时但相互独立地创立了量子力学。例如，为了描述电子的运动，薛定谔引入了波函数，它服从一个现在叫薛定谔方程的偏微分方程，而海森伯则让他周围的人都莫名其妙地大谈算子——作用在他称之为“量子态”上的算子。他还令人瞩目地阐明了不确定性原理，这个原理是说，一个人若更精确一些地测定了，比如说，一个量子粒子的位置，那么他关于这个粒子的动量的知识就会更加不确定一些，反之亦然。

由这两个人建立的理论形式显然大不相同。但是，对任何一个物理过程他们所得到的最终结果都是一致的。后来表明这两个理论形式是完全等价的。如今，对一个合格的本科毕业生，我们都可以指望他从一个理论形式熟练地转入另一个形式，他采用哪种形式取决于他手头所要处理的问题用哪一个更方便。

六年以后，1932年，保罗·狄拉克提出了——以某种程度的原生态面貌——第三个理论形式。看来狄拉克的思想多半是给遗忘了，直到1941年才又被重新提起，这时费曼发展了并详尽阐述了这个理论形式，即现在大家所知的路径积分形式或对历史求和形式。（物理学家们有时很想知道费曼是不是在完全不知道狄拉克工作的情况下发明了这个理论形式。物理学史家现已确认，答案是：否。在普林斯顿一个小酒馆的派对上，一位名叫Herbert Jehel的物理访问学者将狄拉克的这个想法告诉了费曼，而就在第二天费曼在可敬可畏的H.Jehel面前完善了这个理论形式。见《现代物理学评论》Reviews of Modern Physics中S.Schweber的论文。

费曼在这本小书里努力讲解的就是这个理论形式。例如，在第38页，当费曼把所有箭头加起来时，他实际上是在把与光子从点S到达点P所有可能的路径相关的振幅进行积分（当然这是求和的微积分学专业术语），于是名之为“路径积分”。另一个名字“对历史求和”也很容易理解。如果把量子物理的规则关联到宏观的人类尺度的事物，那么历史事件的所有其他选择（如拿破仑在滑铁卢大获全胜，或肯尼迪避开了暗杀者的子弹）都是有可能发生的，而每一个历史事件都会有一个振幅与之相关联，我们将把这些振幅都加起来（即把所有那些箭头都加起来）。

原来——可被看做是终态函数的路径积分满足薛定谔方程。这个路径积分实质上就是波函数。这样，路径积分理论形式就与薛定谔和海森伯理论形式完全等价。事实上，一本明白无误地讲清了这个等价性的教科书就是由费曼和Hibbs写的。（确实，费曼也写教科书——你知道，那些令人生厌的书实际上就是告诉你如何高效率地做例如“进位”和“加法”这类事情。对，还有，你也会正确地猜测出费曼的教科书通常主要都是由他的合作者写的。）

由于狄拉克-费曼路径积分形式与海森伯的形式完全等价，那它就相当肯定地包含了不确定性原理。所以，费曼在第73页上兴高采烈地“混没”不确定性原理就显得稍夸张了些。至少，人们可以从语

欢迎访问：电子书学习和下载网站 (<https://www.shgis.com>)

文档名称：《QED：光和物质的奇妙理论》理查德·费曼.pdf

请登录 <https://shgis.com/post/2438.html> 下载完整文档。

手机端请扫码查看：

