纪念理查德·费因曼

关　洪
(中山大学物理系)

当代最杰出的理论物理学家之一，理查德·菲利普·费因曼（Richard Phillips Feynman）因患癌症于1988年2月15月逝世，享年69岁.

1918年5月11日，费因曼出生于美国纽约市郊区一个从俄国迁来的犹太移民家庭里. 他在中学读书时就表现出非凡的数学才能，高中毕业前已经读通了微积分课程.

1935年，费因曼进入麻萨诸塞州理工学院，起初决定攻读数学，后来转修物理学. 他学习成绩优异，本科毕业论文发表在权威性的刊物《物理评论》上[1]，其中包含了后来被称为费因曼-海尔曼定理的量子力学公式.

1939年，费因曼进入普林斯顿大学深造. 他的导师是只比他大六岁的年轻教授惠勒. 在研究生学习阶段，除了做过原子物理学等问题之外，他已开始致力于解决量子电动力学中诸如电子自能等紫外发散的老大难问题. 为此，费因曼曾经尝试过运用超距作用或者运用推迟势和超前势的叠加来建立新的模型，同时努力寻找表达量子理论的新形式.

1942年，费因曼以论文《量子力学中的最小作用原理》通过博士学位. 在这项工作中，他从狄喇克早十年发表的文章中得到启发，发展了一种从拉格朗日量出发而不是从哈密顿量出发建立的一种量子力学的空间-时间描写. 费因曼强调，在量子力学里具有基本意义的，即满足叠加原理的，是描写从初态到末态跃迁的几率振幅，而不是什么描写波动过程的波函数. 在这一工作中，费因曼用跃迁振幅的空间-时间描述代替了通常的波函数，当时他以为这是对量子力学的一种推广. 在这篇论文里，费因曼还对传统的量子力学测量理论，特别是对波包偏缩假设的有效性大胆提出怀疑. 虽然这一工作不够成熟，又由于受到经典对应的局限而存在着一些困难，但费因曼对于量子理论基本问题的这种锲而不舍的独立思考，正为他日后的发展打下了坚实的基础.

正象他的挚友戴逊所说的那样："费因曼是一位极有独创性的科学家. 他从不把任何人的话当真. 这就意味着他得自己去重新发现几乎全部物理学……他说他不能理解教科书里所讲的量子力学的正规解释，所以他必须从头开始. 这实在是一个壮举."

太平洋战争的爆发，暂时延缓了这一场智力上的拼搏. 事实上，在完成博士论文之前，费因曼已经参加了美国研制第一颗原子弹的工作——曼哈顿计划. 1943年春天，费因曼离开普林斯顿，前往新墨西哥州的洛萨拉莫斯基地. 他为了便于照顾正患着严重肺结核病的新婚的妻子阿琳，还设法把她安排在附近的医院里疗养.

年轻的费因曼在洛萨拉莫斯主持一个理论物理学计算工作小组. 他敏锐而深刻的思想，直率而诚恳的态度，善于克服困难的能力和出色的工作成绩，受到了包括玻尔、贝蒂、奥本海默在内的一批年长的物理学家的高度评价. 例如，维格纳当时就这样赏识费因曼，说"他是第二个狄喇克，只是这一个时代的人物."

战后，1946年秋天，费因曼受聘到康奈尔大学任教. 那时，他永远失去了阿琳，她已长眠在新墨西哥州. 费因曼努力从悲痛中振作起来，重新激发了研究量子力学基本问题的热情. 在完成了一些预备性工作之后，1948年他终于

发表了一篇划时代的著作《非相对论性量子力学的空间-时间方法》[2]. 这是经过前后长达八年反复思索的结晶，也可以看成是他的博士论文的继续和改进. 在这一工作中，他以几率振幅叠加的基本假设为出发点，运用作用量的表达形式，系统地建立了他的路径积分方法，即对从一个空间-时间点到另一个空间-时间点的所有可能路径的振幅求和的方法. 这是自从量子力学的两位创始人海森伯和薛定谔分别创立矩阵力学和波动力学这两种数学程式之后出现的第三种新的表述方式. 虽然路径积分程式初看起来是那样的不同，但费因曼成功地证明了它同旧程式的等效性. 他深深地相信，一种理论如果可以用好几种表面上各不相同的等效方式表达出来，就显现了这种理论的简单性和基本地位.

大家知道，不同的作者对于量子力学里什么是最基本的概念，存在着各种不同的看法，摆在第一位的分别有波动-微粒二象性、互补原理、测不准原理和态叠加原理等等. 事实上，正是费因曼最早强调几率振幅概念是量子理论中最根本的概念. 他说过，一切都是作为"我的量子力学表达的基础"的"几率幅叠加这一基本概念"的"简单而直接的结果". 费因曼不受传统解释的束缚，坚持从最深层的理论基础开始，进行执着的钻研，一方面为量子力学的解释指出了一条避免累赘而易于理解的途径，另一方面，正是在这种探索中别出蹊径地创造出路径积分这一新方法. 从那时起，费因曼对于量子力学原理的解释，受到物理学界内外的广泛注意，产生愈来愈大的影响. 他在这方面的详细论述，还见于他的《费因曼物理学讲义》[3]第三卷和《量子力学和路径积分》[4]这两本书中.

1947年，正是费因曼完成上述工作一年. 这一年，兰姆发表了关于发现氢原子的 $2^2S_{\frac{1}{2}}$ 和 $2^2P_{\frac{1}{2}}$ 两状态能级分裂的实验工作. 而按照原来的理论，即使是相对论性的量子力学理论，则不应当有这种分裂. 贝蒂得知了"兰姆移动"的结果，马上给出一种非相对论性计算加以说明，这一初步工作的关键在于对电子自能的处理. 贝蒂及时向费因曼介绍了这方面的进展，并且表示希望在相对论性的量子场论计算里，这一问题将获得比较圆满的解决. 费因曼立刻领悟到这正是一个极好的时机，把他已经建立起来的形式理论运用到与量子电动力学中的电子自能等困难有关的实际问题上去.

原来，费因曼的路径积分方法，是建立在拉格朗日形式上的一套空间-时间描写，自然不难推广到相对论性的理论. 经过一段时间的紧张工作，费因曼终于使用自己的语言，重新写出了整个量子电动力学，使之具有相对论性协变的形式. 而且通过"重整化"手段避开了发散困难，恰当地处理了电子自能和真空极化等辐射修正问题，最后便能计算出兰姆移动和新发现的电子反常磁矩等用旧理论无法解释的结果. 在1949年发表的《正电子的理论》[5]和《量子电动力学的空间-时间方法》[6]这两篇论文中，费因曼简要地概括了他所建立的这一理论体系，其中不再含有超前势和超距作用. 在同一时期内，美国的施温格和日本的朝永振一郎各自独立地进行了对同一课题的研究. 到1965年，他们三人由于在量子电动力学方面的基础性工作而共享了诺贝尔奖金物理学奖.

然而，费因曼的上述工作都是用路径积分的新形式写成的，起初大家都弄不清楚，反应很冷淡. 同时，费因曼也觉得别人的工作是难以弄懂的. 不过，人家要花几个月的时间才能解决的问题，他只要用一个晚上就能算出同样的结果. 而且他的方法不仅适用于量子电动力学，也适用于新发展起来的介子理论.

很快，戴逊分别向费因曼和施温格了解了他们的工作，系统地整理和完善了重整化理论，并且严格证明了朝永、施温格和费因曼三人的基本工作的等效性，才使大家达到了统一的理解. 用戴逊自己的话说："我的主要工作是了解费因曼，并且运用世界上其他人都能懂得的语言来解释他的思想."现在，大家一致认为，经过戴逊改写的费因曼理论，是一般形式的量子场论(包括量子电动力学在内)中的最清楚和便于运用的一种方法. 它已经成为每一名理论物

理学家都必须掌握的一套基本工具．的确，今天在场论里常常用到的一些名词，例如费因曼图、费因曼积分、费因曼振幅和费因曼规则等等，都清楚地反映了这一点．

费因曼工作的一个突出的特点是充分运用形象化的思维方式．“费因曼图”的创造就是一个明显的例子． 费因曼继承了惠勒把正电子（电子的反粒子）当成逆行电子的想法． 那么，在相对论协变的形式下，将一个费因曼图所代表的振幅对整个空间-时间进行积分，就包括了原先在旧理论中看作是互相独立的许多不同项的贡献，直接得出总体作用的简单结果．过去需要考虑包含或者不包含电子-正电子对产生的各种各样的中间态；如今只要确定了具有一定拓朴结构的费因曼图，象拼砌积木那样，对图形上的每一部分内外线段、交点顶角和封闭回路等等，按照费因曼规则写出各自的因子和运算符号，就立刻可以得到整个易于计算的振幅公式．这种做法已经被任何形式的量子场论所采用，成为一种标准的处理程序．

然而，这种形象化仍然是一种抽象的形象化，或者说是一种形象化思维的工具．费因曼图上的线段并不代表粒子在空间中真正走过的轨迹．因为一般说来，微观粒子的轨道描写是不可能的．正是费因曼本人在提倡形象化抽象思维的同时，最反对用直观的方式去理解现代物理学．费因曼说过，微观粒子的行为，“与你知道的任何东西都不相同”，“原子的行为完全不符合于普通的经验”，它们所遵循的规律“常常变得愈来愈不合常理，并且凭直觉是愈来愈弄不明白的．”为了强调这一点，费因曼甚至讲过：“电子只是我们所使用的一种理论．”所以，费因曼的形象化方法正是为了有效地进行理论思维，而决不是对理论思维的排斥．

1951 年，费因曼离开康奈尔大学，转到加利福尼亚州理工学院任教．在这一年前后，他曾先后到巴西和日本访问和讲学． 从 1959 年起，费因曼一直担任加利福尼亚州理工学院的托尔曼理论物理学教授职务．

费因曼除了在量子电动力学和介子场论等方面的贡献外，还在 1963 年，最早用他自己发明的路径积分方法去处理非阿贝尔规范场论．后来，大家发现他的方法比传统方法便利得多，而且更具有普遍性．今天，规范场论的路径积分描述，已经成为不可替代的标准程式．由于近年来规范场论在基本粒子理论等方面的巨大成功以及它的宽广的发展前景，使得人们更加重视费因曼在这方面的开创性工作．例如，杨振宁曾评论说：“我想，将来人们提起费因曼的贡献，第一位的工作会是路径积分，第二位才是费因曼图．”

总之，可以毫不夸张地说，费因曼所做的以上这些工作，奠定了整个现代理论物理学，特别是基本粒子理论的基础．仅凭这些功绩，已经足以使他名垂青史了． 此外，费因曼活跃的头脑，出奇的想法，还必然使他在物理学研究的各个领域不断有所建树．

1958 年，费因曼和盖耳曼发表了论文《费米相互作用理论》[7]，这一工作在当时实验知识的基础上，提出了基本粒子弱相互作用现象的普适 V-A（矢量减轴矢量）理论，其中包含了矢量弱流守恒假设，以解释 μ 子衰变和 β 衰变矢量流强度的相等性．这一理论统一描写了以往被看作是各不相关的不同的弱作用过程，并为此后的发展打下了必要的基础．

1969 年，经过对强子结构问题的多年钻研，费因曼成功地提出了部分子模型，以解释在电子-质子深度非弹性散射过程中表现出来的标度无关性．在这一模型里，假设入射的高速电子只同核子内部的点状组分成员发生碰撞．实际上，部分子模型和夸克模型是互相补充的．沿着这条途径，经过了一批物理学家的努力，几年后就建立起一种描写基本粒子强相互作用的新理论——量子色动力学。

1972 年，费因曼出版了一本专著《光子-强子相互作用》[8]，详细讨论了他的部分子模型．在基本粒子理论方面，他还写过《量子电动力学》[9]和《基本过程理论》[10]等一些书籍．

费因曼在物理学其他领域研究成果的例子是，1954 年到 1957 年在液氦的超流动性问题

上所做的一系列工作．他的贡献在于改进了超流体波函数，使之反映了玻色子凝聚的性质，还提出了速度环流量子化效应来解释超流体转子（roton）能谱．在费因曼的《统计力学》一书[11]中，反映了他在这方面的成果．

还值得提出的是，在超导体隧道效应（约瑟夫森效应）刚发现不久，费因曼就在他的《物理学讲义》第三卷里给出了一种简明的推导，它已被广泛采用，作为对这一问题的标准处理．

费因曼不仅是一位在许多方面有卓越贡献的理论物理学家，而且也是一位著名的物理学教育家．上面不止一次提到过的三卷本《费因曼物理学讲义》[3]，就是他在六十年代初期为改革物理学基础教育而作的一次尝试．它反映了当时美国科学界为苏联率先发射人造卫星感到震惊而努力提高数理科学教育水平的趋势．虽然作为基础物理学教材来说，这套讲义的深度和广度超出了一般水平学生的承受能力，但对于少数优秀的学生以及广大的物理学教师来说，它却是一种不可多得的参考读物．这套讲义不追求数学上的严格，也不落实于技术上的应用，而是通过引人入胜的叙述，运用丰富而生动的例证和深刻而精辟的议论，透彻地讲解着各种物理学现象的本质和规律．费因曼自己在《讲义》中说："我讲授的主要目的，不是帮助你们应付考试，也不是帮你们服务于工业或国防．我最希望做到的是，让你们欣赏这奇妙的世界以及物理学家观察它的方式．"总而言之，他在《讲义》里所讲的，都是真正的物理学．这套具有鲜明特色的讲义出版之后，很快风靡全世界．它以强烈的感染力薰陶着一代又一代的年青物理学家，陪伴着他们闯进物理学的各个未知领域．例如，曾获得1973年诺贝尔奖金物理学奖的贾埃弗曾说过，费因曼是对他影响最大的物理学家，而《费因曼物理学讲义》是对他影响最深的书籍．

费因曼热爱教学工作．他曾说过："我不相信我真的可以脱离教学活动．""如果你在教一门课，你可以思考那些你已经熟知的基本的东西，……有没有更好的方式去表达它们？有没有与此相关的新问题？你可以从此得出什么新思想？……""学生们的问题常常是新的研究工作的源泉．""因此，我发现进行教学和同学生接触会使生活丰满，并且我决不接受一个我不再从事教学的职位，即使有谁给我弄到了这样一个很舒适的位置．决不！"

费因曼不仅讲授高等物理学课程．六十年代初，他曾在康奈尔大学作过一系列科学讲演，深入浅出地阐述了经典物理学和量子力学的基本概念．这些内容后来编成《物理定律的特征》[12]一书出版．这套讲演还曾经在伦敦不列颠广播公司（BBC）的科普节目里播放过．

费因曼一直没有停止过他最心爱的科学工作．在他患重病以后，我们还读到他关于用量子力学原理来论证电子计算机的能力，以及关于参加美国宇航事故调查等不同方面的文章．费因曼高超的智慧，无限的好奇，勇敢的怀疑和不息的探索，使他度过了丰富多采的一生．物理学界早就流传着关于费因曼的一些不寻常的故事．正如杨振宁所讲："他是一个几乎任何事情都与众不同的人．"

1985年出版的《费因曼先生，你真会开玩笑！》[13]一书，讲述了他的许多离奇有趣的经历．从书中我们了解到：他在巴西时曾经参加当地的桑巴乐队，在狂欢节上演出；他擅于击拍印地安人的邦戈鼓，以至于为正式的芭蕾舞表演伴奏；他学习绘画的结果，曾举办过一次个人画展；他对遗传学的兴趣，导致他在哈佛大学生物系的一次科学报告；他对古代玛雅文化的涉猎，亦为历史学界所称道……费因曼的这些作为，也许会令人联想起文艺复兴时期的多面手．然而，费因曼"只是这一个时代的人物．"他确信，物理学是"现今时代里真正文化的主要部分．"达·芬奇那时候不可能产生这样的看法．现在，物理学已经成为典型的已臻成熟的科学．在人类努力掌握物理学知识的同时，物理学家们也必须通晓世界文化．费因曼的身体力行，在这方面给我们做出了榜样．这本书传开以后，人们不禁感叹不已，在欧洲的传统教育制度下，不可能培育出费因曼这样的一代英才．东方就更

不用说了.

1961年，费因曼在英国和关妮丝结婚．他们生养了一子一女．

近几年来，费因曼曾不止一次接到过访问中国的邀请，可惜因有病在身，未能实现．如今，我们再也不可能得到在中国接待他的机会，而他的品格和业绩将永远值得我们怀念．

[1] R. P. Feynman, *Phys. Rev.*, **56**(1939), 340.
[2] R. P. Feynman, *Rev. Mod. Phys.*, **20**(1948), 367.
[3] R. P. Feynman et al., The Feynman Lectures on Physics, Vol. 1—3, Addison-Wesley, (1963—1965).
[4] R. P. Feynman and A. R. Hibbs, Quantum Mechanics and Path Integrals, McGraw-Hill, (1965).
[5] R. P. Feynman, *Phys. Rev.*, **76**(1949), 749.
[6] R. P. Feynman, *Phys. Rev.*, **76**(1949), 769.
[7] R. P. Feynman, M. Gell-Mann, *Phys. Rev.*, **109** (1958), 193.
[8] R. P. Feynman, Photon-Hadron Interactions, Benjamin, (1972).
[9] R. P. Feynman, Quantum Electrodynamics, Benjamin, (1961).
[10] R. P. Feynman, The Theory of Fundamental Processes, Benjamin, (1961).
[11] R. P. Feynman, Statistical Mechanics, Benjamin, (1972).
[12] R. P. Feynman, The Characteristics of Physical Law, BBC, (1964).
[13] R. P. Feynman, "Surely You're Joking Mr. Feynman!" Adventures of a Curious Character, Norton, (1985).

再论静电场中场强与等位面曲率的关系

周 邦 寅

（西安电子科技大学物理系）

文献[1]已对静电场中场强的量值与等位面曲率的关系作过研究，并对所得到的微分方程的近似解作了初步的讨论．本文进一步研究了这个问题的近似解，并对其应用作了更具体的说明．

一、静电场中场强与等位面曲率的关系式的近似解

已知静电场中等位面曲率与场强沿电力线方向的变化率之间的关系式为

$$\frac{dE}{dn} + 2H(n)E = 0. \qquad (1)$$

在条件 $E|_{n=0} = E_0$ 下求解，可得到沿电力线场强量值的大小．其中，E 是沿电力线通过等位面 S 的交点处场强的大小，而 E_0 是在参考等位面 S_0 上的电力线出发点的电场量值，如图1所示．H 是等位面 S 在计算量值 E 处的平均曲率．(1)式的一般解是

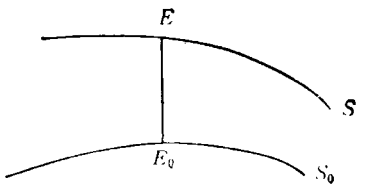

图 1

$$E = E_0 l^{-2\int_0^n H(n')dn'} \qquad (2)$$

我们已经指出，(2)式中的积分一般情况下是不能准确计算的．因为除特殊情况外，一般说来沿电力线的 $H(n)$ 是事先无法知道的，除非预先知道电力线的分布．而如果已知电力线分布再来计算场强，就会导致逻辑上的谬论．但在 S_0 附近，在电力线长度 n 很小（$n \ll H_0^{-1}$）的范围内（n 是垂直 S_0 面的），求(1)式的近似解是可行的．

由于求解的方法或近似函数的选取不同，所得到的近似解的近似程度也就不同．例如，我们用毕卡逐步逼近法来解(1)式[2]，所得到的