

他生活在物理学中

谢 诒 成

一年以前,1988年2月15日,美国杰出物理学家理查德·费曼因患癌症与世长辞,终年70岁。这消息不仅对物理学界是一个打击,也使不少美国公民感到悲痛,他们还清楚地记得这位平易近人的教授如何轻而易举地为美国人民释开了一个重大疑虑。那是发生在费曼教授去世以前整整两年。

揭开“挑战者”号飞船失事之谜

震惊世界的美国“挑战者”号飞船失事之后几天,费曼应他过去的学生、美国宇航局执行局长威廉·格雷厄姆之邀,参与调查事故的原因,在国务秘书罗杰斯领导下的总统委员会中工作。为了尽快掌握第一手资料,2月4日,在委员会首次正式会议前一天,他就请一位在火箭发射实验室工作的人员来汇报。当时他十分敏锐地注意到了汇报中提及的在U形槽口中的垫圈被烧迹象和铬化锌填料起泡这两点事实,认为这是调查失事原因的突破点。

委员会的工作以诸如秘密会议、听证会等一系列事务开始,作为一个科学家,费曼却希望早日投入有实效的工作。经再三要求,在罗杰斯同意下,他于2月8日赶到宇航局,花费整整一天与一些人员接触,倾听关于发动机和接头问题的汇报。期间他了解到关于橡胶在什么温度下会被烧坏的分析是用一个计算机模型分析得到的,由于火箭发射时的情况十分复杂,他认为这种分析难以令人信服。同时他也发现了宇航局“飞行准备评价”程序不够严格,忽略了一些有潜伏危险的问题,这些技术上的缺陷虽然在以前历次发射中未造成事故,但一旦发射条件变化就可能成为主要障碍。

第二天,他接到库第纳将军的一个电话,将军问费曼寒冷是否会影响橡胶。这立即启示了他,因为“挑战者”号这次发射是在隆冬,当时气温比前几次发射时低得多,寒冷可能使橡胶失去弹性而变得很脆,这就会导致高热的火箭燃料气体从不密闭的接口喷出来,同时烧坏垫圈。同一天《纽约时报》披露的一些事实也表明,宇航局内外曾经有人注意到接口的问题,并提出过对垫圈是否能在低温下保持弹性的担心,然而都被一些似乎符合逻辑的理由否定了。

费曼立即讯问宇航局关于橡胶垫圈在低温下弹性试验的情况,原来他们所做过的试验是这样的:把橡胶放在一定温度和一定压力下两个小时,然后观察它

多长时间后恢复过来,其结果是大约需一个小时。但发射时接口的缝隙在几分之一秒内会突然改变,垫圈必须在这么短的时间里很快挤住缝隙才能保证密封。显然上述的试验对实际情况毫无价值。

用晚餐时,当费曼焦虑地想着怎样尽快真正解决问题时,他注意到了桌子上的一杯冰水,一个念头骤然冒了出来。第二天(2月11日)一早,他为准备实验冒着严寒东奔西跑,在格雷厄姆的协助下,他带着在飞船上使用的那种橡胶的样品和一些工具来到委员会的公开会议上。在会上他把一块橡胶投入一杯冰水,并证明了它完全丧失弹性,而此情况很象事故的一个原因。当然,最后的事实是,经过周密细致的研究,人们都同意费曼是对的。从费曼着手调查到这次公开会议,仅仅用了一个星期!而问题的答案又是那样一目了然。这段为美国人家喻户晓的故事是费曼立即抓住问题核心的非凡能力的最好说明。

物理学海洋中的弄潮儿

如果说对一个普通美国人来说,可能由于“挑战者”号事故调查而视理查德·费曼教授为英雄,那末在物理学界,他的名字早就被列入二次大战以来最伟大最有成就的物理学家之中。

众所周知,费曼是量子电动力学的创始人之一,并因此与许温格、朝永振一分享了1965年诺贝尔物理学奖。费曼创造了一套处理薛定谔方程和狄拉克方程的全新方法,极大地简化了量子电动力学的概念和计算。

如今几乎没有一个物理系的大学生不会画费曼图的,这是费曼在四十年代末所提出的相对论量子场论方法的一个重要内容。我们知道,在微观高速现象中,客观物质同时显示出粒子性和波动性。为了寻求一个能够表述这两方面特性的理论体系,本世纪三十年代末,在量子力学的基础上,狄拉克等人开始提出用一种量子化的场对应一种粒子的想法。经过许多科学家的努力,二次大战后量子场论逐步建立起来,并用来计算电磁相互作用现象,得到第一次近似计算结果与实验相当符合。但在高次计算中出现了无穷大的结果,这显然是不合理的。1948年至1949年,费曼和朝永及许温格分别同时巧妙地解决了这一问题,他们提出的方法叫做重整化,经过重整化处理的理论中不再出现

无法消除的无穷大项。这样原则上可在任何精度上把理论计算与实验数据作比较，由此量子场论开始被人们接受为描述微观高速现象的理论工具。

在此过程中，朝永和外温格采用的方法与量子力学有直接的联系，而费曼却独辟蹊径，发明了一套看起来与传统知识关系不大的计算规则。我们知道，由于波粒二象性，微观系统在某一时刻的状态不能唯一地决定以后任意时刻的状态，而是发展为一系列可能的状态，某一初态经一段时间发展为某一末态的可能性是一个几率问题，这个几率决定于系统内各个粒子的相互作用及给定的初始条件。费曼深信，对一个物理系统，重要的是能根据该系统某个时刻的状态计算出它以后任意时刻的演化。而且他认为，尽管量子体系是用几率函数来描写的，因果性却仍然是正确的，我们只要看清一个事件接着一个事件这样的演化过程，就可得到在确定初末态之间的转变关系。例如图 1(a) 和 (b) 表示了一个电子和另一个电子散射的两种情况，如果初态两个电子动量分别是 p_1 和 p_2 ，那末经散射后在末态发现两个电子动量分别为 p_3 和 p_4 的几率主要来自这两个过程。

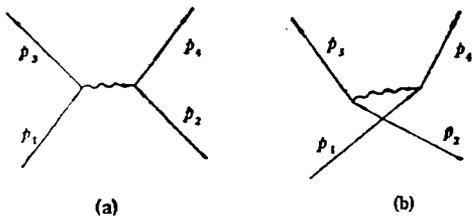


图 1

- (a) 表示 p_1 电子在 1 处放出光子变为 p_3 ，而 p_2 电子在 2 处吸收光子变为 p_4 ；
- (b) 表示 p_2 电子在 1 处放出光子变为 p_3 ，而 p_1 电子在 2 处吸收光子变为 p_4 。

费曼把量子场论理论计算公式与这样一些图对应起来，并总结出一系列极为简明的统一规则，利用这些图和规则，就可从已知的粒子之间的基本相互作用直接写出所要研究的物理过程的跃迁几率计算公式。

费曼图和费曼规则是如此实用和直观，使它成为迄今粒子物理中几乎不可缺少的表述方式。

费曼在 1953 年还发展了液氦理论，证实了朗道等先前提出的关于超流性的“旋子” (roton) 理论。因为 ^4He 原子是自旋为零的玻色粒子，一定质量的液氦的基态波函数在所有粒子中都是对称的而且处处为正，因而全部液氦的行为一致，在 0°K 时变得没有粘滞性，即超流。在稍高一点温度如 0.5°K 时，可能会出现一些原子的小环绕运动而对其余原子没干扰，此即朗道的“旋子”。费曼证明了在一定波长下旋子能量最低，而且这个波长与氦原子彼此的平均距离有密切关系。

在原子核物理方面费曼的重要贡献也是根本性

的。1956 年宇称不守恒的理论假设得到实验证实，在此基础上费曼和盖尔曼提出了在弱相互作用中只是粒子的“左手”部份参予其内，并提出弱相互作用的普适性。这个理论不仅几乎符合所有的实验事实，而且由此引入的“手征性”，左、右手旋量等已是粒子物理中极其有效的概念。

六十年代末，高能电子与质子散射实验出现了一些新结果，非弹散射的效应非常大。费曼很快就指出，这是因为在质子内有一些更小的成份，他称之为“部份子”，高能电子与质子的散射实质是电子与部份子的弹性散射。不久人们公认“部份子”便是夸克和胶子，费曼又唯象地引入了夸克分布函数和碎裂函数，成功地描写了各种高能过程的主要特征。

费曼有着直觉的鉴别力，善于发现和创造规律，他的丰富成果使他成为物理学方面的一个英雄。

从来与众不同

费曼被人称为“物理学家的物理学家”，因为他总是强调对物理的“理解”，也就是“搞懂”别人做过的物理，但这决不意味着亦步亦趋地去仿效别人的数学计算。相反，费曼之所以高人一筹，就在于他从来用自己的方式去看待和解决问题。

他在中学时喜欢寻找一些实用的例子，从中发明难题和定理。例如他曾出过这样一道题：“有一根旗杆，一根绳子从杆顶垂下，当绳垂直向下时，绳比杆长 3 英尺，如果要把绳拉开使其伸直，必须离旗杆底部 5 英尺，问旗杆多高？”这是一个正三角形问题，但不象常见的那种给定两条边长求第三边，而是给出两条边的差。

他设计过一套这类正三角形问题。为解题需要知道三角公式，但当时他还未正式学过三角，手边也没有现成的书。于是，少年费曼自己动手推导所有公式，还从给定的 5° 角的正弦开始，每隔 5° 算出正弦、余弦和正切等的值。若干年后，当在学校里学三角课时，他仍带着那时的笔记，并把自己的证明与书上的对照。如果自己的方法不是最简单，他就千方百计去找到最理想的。而也有另一种情况，那就是他自己笔记本上的做法比书上的高明，甚至是最巧妙的。

费曼对物理有一种着迷似的好，他不赞成有些人为了写出文章而去做物理。他研究物理问题是因为能从中得到无穷的乐趣。据费曼自己回忆，他研究量子电动力学的工作开始于业余探讨一个在空中摆动的飞盘的运动规律。

那是战后不久，费曼到康奈尔执教。一天，在咖啡馆中，他见一个人无聊地把一盒子抛到空中，盒子在空中一边转一边摆动。他注意到转动快于摆动，于是思考起如何描绘转盘的运动。先是发现当角度很小时，转动与摆动速度之比为二比一，进而寻求从一个更基

原子核壳模型发现前后

厉光烈

大约四十年前，梅耶和詹森分别独立地提出了原子核壳模型，成功地解释了幻数等原子核结构的主要特性。虽然这个模型并未最终解决原子核结构问题，但它应作为研究原子核结构的基础模式已为世人所公认。因此，梅耶、詹森和对群论在核谱学上的应用作出重大贡献的魏格纳一起荣获了1963年度诺贝尔物理学奖金。本文介绍发现原子核壳模型的前后经过。

卢瑟福发现原子内有核存在

在1906年卢瑟福发现 α 粒子散射现象以后，盖革和马斯顿做了大量 α 粒子散射的研究工作。他们发现， α 粒子穿过金属箔散射时，绝大部份 α 粒子的运动方向变化不大，少数的改变较大，个别的被撞回头。对他们的实验结果，卢瑟福作了深入分析，于1911年提出了原子的有核模型。按照这个模型，原子就好像一个小太阳系，中心有一个荷正电的原子核，其半径约为 10^{-14} 厘米，它几乎集中了原子的全部质量，在原子核的周围有若干个荷负电的电子围绕它旋转。利用这个模型，卢瑟福成功地解释了盖革和马斯顿的实验结果，从而证实了原子内确实有核存在。

卢瑟福的发现，开始了原子核结构的研究。

查德威克发现中子，弄清了原子核的组成

早在1815年普鲁特就提出了一个重要的假说：重原子是由氢原子组成的。当时的测量表明，许多化学元素的原子量都几乎（但不严格地）是氢原子量的整数倍。普鲁特认为，与整数的微小差异是实验误差引起的。但是，进一步的测量证明，这些差异并非实验误差。因此普鲁特假说不再引起人们的注意。

大约一个世纪以后，汤姆生在1913年发现了同位素的角度探讨这个问题，然后完全弄清了一个有质量的粒子加速时的平衡，又接着研究在相对论情况下电子轨道如何变动，如此越钻越深，以至“不可收拾”到发展了一系列使他得以荣膺诺贝尔奖的工作。

在费曼一生中这不是唯一的特例，正如他的好友贝脱教授所说，“他生活在物理学中”。他的经历使人们相信，科学也可以是趣事。

费曼热爱科学也热爱生活，他直率、活跃、充满幽默感，有时会出一些“洋相”。有一次他到一所中学给孩子们做报告，竟站在门廊里，同时在左、右两块黑板

素。他指出，自然界存在的化学元素的原子量之所以不严格地等于氢原子量的整数倍，是因为天然化学元素是由各种同位素混合而成的。实际上，纯净同位素的原子核的质量确实是氢原子核质量的整数倍。因此，他提出了所有原子核都是由氢原子核组成的假设。1919年卢瑟福发现用足够强的 α 粒子轰击氮原子核可以从中敲出氢原子核，从而证实了汤姆生的假设。他还提出用“质子”（希腊文为 $\pi\rho\acute{\omega}\tau\omicron\nu$ ，意即“第一个”）来称呼氢原子核。但是，由于原子是中性的，原子核内质子的数目应当等于原子核外电子的数目（即原子核的电荷数，通常用 Z 表示），而上述的整数倍（即原子核的质量数，通常用 A 表示）却为电荷数的二倍，因此，原子核不能光由质子组成。考虑到原子核发生 β 衰变时会发射出电子，科学家们提出了原子核组成的质子-电子假说：质量数为 A ，电荷数为 Z 的原子核是由 A 个质子和 $(A-Z)$ 个电子组成的。按照这个假说，氮原子核 ^{14}N 应该包含有 14 个质子和 7 个电子。这 21 个粒子都是费密子，都服从费密-狄拉克统计。根据厄伦费斯特-奥本海默定理，氮原子核 ^{14}N 也应当服从费密-狄拉克统计。可是，在 1928—29 年间，实验上发现氮原子核 ^{14}N 服从玻色-爱因斯坦统计。这就是所谓“氮的灾难”。在它的冲击下人们不得不放弃原子核组成的质子-电子假说。当时，也曾有人想到，原子核可能是由 Z 个质子和 $(A-Z)$ 个尚未发现的中性粒子组成的。卢瑟福在 1920 年就曾猜测可能存在一种由质子和电子组成的中性复合粒子，他的追随者也曾曾在氢原子放电的实验中找寻过这种粒子，但一直没有发现。1930 年玻特和贝克尔发现用 α 粒子轰击铍原子核时会产生一种穿透力极强的射线。约里奥·居里夫妇对这种射线进行了研究，但他们把它误认为 γ

上画图，给两个教室中的同学讲解核裂变。读过他的自传体小说（即将由科学出版社翻译出版）的人无不为其的乐观精神所感染。

最后，值得一提的是，费曼留给后人的另一宝贵知识财富是他的一套三卷“费曼物理学讲义”，书中用最先进的思想阐述了物理学的各类基本问题。除了内容丰富、深入浅出而外，该书的明显特征是注重联系实际，避免抽象理论，这正是费曼本人治学风格的最好体现。