

# 量子理论的巨匠——狄拉克

许敏

(大连陆军学院数理教研室 辽宁 116100)

保罗·狄拉克是20世纪一位伟大的数学物理学家,他的一生主要致力于量子理论的数学及理论两个方面的研究,取得了斐然的成绩,为量子理论的深入发展做出了巨大的贡献。本文试图沿狄拉克科学思想的轨迹一睹他对量子理论发展的功绩。

## 一、建立“q数”力学,驾起了经典与量子的桥梁

狄拉克于1902年8月8日出生于英国布列斯托尔的一个书香家庭。他自幼便对数学有着浓厚的兴趣,1921年在布列斯托尔大学电机系毕业,1923年进入英国剑桥大学圣约翰学院当研究生。狄拉克所处的青少年时期恰逢物理学处于一个新的繁荣发展阶段,在普朗克、爱因斯坦、玻尔等人的开创性工作的推动下,物理学的各种新创见、新思想源源不断。在他的导师否勒(R. H. Fowler)的影响下,量子理论成为狄拉克的研究兴趣所在。

狄拉克开始从事量子理论研究时,恰逢科学家

正在探索原子的玻尔轨道,当时已发现玻尔理论与许多实验事实不相符合,为解释实验现象,1924年到1926年间,德布罗意、海森伯、玻恩、薛定谔等人先后提出了量子力学的观念。海森伯从必须用可观察量,即用描述状态跃迁的频率和谱线的强度(即振幅)出发,建立了矩阵力学;而薛定谔则根据德布罗意物质波同哈密顿动力学与几何光学关系的思想出发,得到了描述德布罗意波(波函数)的基本方程,从而建立了波动力学。狄拉克本人积极参与了这两个理论的统一完善工作。他从海森伯的研究工作中得到启发,认为这个新理论中包含着打开原子世界秘密的钥匙,其中最关键的一点是量子力学量的不可对易性。对于这个不可对易性,他联想到以前在分析力学中学到的能写出哈密顿方程的泊松括号,这个括号非常类似于 $a$ 乘 $b$ 减去 $b$ 乘 $a$ 的形式,于是他在它们之间建立了一种联系,并在这基础上建立了一种新的数学理论,即所谓的“q数”力学,该理论

当前国际科学教育改革的新趋势,我国的STS教育也已有多年的实施经验。STS教育主张科学为大众服务,强调合作与参与,强调科学、技术与社会兼容,它以学生为中心组织教学,把科学教育与学生的生活紧密结合起来。其基本精神就是要把科学教育与当前的社会生活、生产的发展结合起来,让科学、技术能够更好地服务于人。

## 2. 培育科普工作者群体

萨根认为,科学不仅是科学工作者所讨论的科学,更是整个人类社会所能理解和接受的科学。他还认为:“如果科学家不来完成科学普及工作,谁来完成?”对于普及科学知识,科学家有着自己独特的优势,他们对于本专业的知识有很大的发言权,最能使公众科学地理解他们所做出的发现和发明。科普工作者尤其是科普作家,既能正确地领会科学知识,又能形象化和深入浅出地传播科学知识。他们能够在宏观上把握科学发展的趋势,能够看出科学的主流,能够理解最新的科学技术知识,能够分辨科学和

伪科学。他们能够用生动的语言将艰深的知识以公众容易理解的形式介绍给读者。

## 3. 大众传媒应积极参与科学的传播

萨根的成功与传媒的参与是密不可分的,与商业化的运作和包装形式是密不可分的。在科学传播的过程中,媒体起着承上启下的作用。由于传媒的普及性和及时性,它能够把最新的科技信息告诉公众,使公众能够了解国内国外最新的科技动态。在我国,公众获得科技信息的渠道分别是电视(66.1%)、报纸(56.7%)、广播(11.9%),而我国现有科技节目占电视节目播出总量的比例还不到1%,并且近年来大众媒体上也出现了许多真伪不辨、错误百出的科技报道,其社会危害性极大。所以,我们的传媒应该加大科技类栏目的分量,加强对科学知识的宣传,准确地把握科技信息、了解科技动态,把重要的科技进展及时地传达给公众。同时还应努力提高作品的科学性,学会进行合理的商业运作,培育出一批萨根式的科普作家。

着眼于不可对易的量子变量的代数关系,而不是矩阵的特殊形式,这种“q数”力学的建立使量子力学大大前进了一步,它澄清了量子变量和经典变量之间的关系,并把海森伯的理论置于哈密顿的基础之上,这样就能利用经典理论的全部成果来研究量子现象。

## 二、发展了普通变换理论,使量子力学理论得以大大丰富

在1926年,狄拉克以使他的“q数”理论适合于薛定谔方程为原则,发展了普通变换理论,以建立一个与历史无关的量子力学形式。这种变换理论以极为简洁、数学上极为完美的方式表示出了量子力学。海森伯的矩阵形式和薛定谔的波动形式由此得到了和谐的统一。变换理论的物理概念和数学方法,还为测不准原理的提出准备了条件,其前海森伯导出的共轭变量的测不准关系公式,所借助的正是狄拉克的变换理论,狄拉克的这些研究工作,大大丰富了量子力学理论。

## 三、建立了相对论量子力学的狄拉克方程,使人们对原子结构和分子结构有了新的认识

量子理论及其物理解释于1927年得以阐明以后,用它来处理微观粒子的低速运动问题取得了很大的成功。与此同时,爱因斯坦建立的相对论,虽然能够讨论粒子的高速运动,但在处理微观粒子的波粒二像性上却无能为力,这就为当时的物理研究提出了一个新的问题,就是如何使量子力学的方程和爱因斯坦的相对论一致起来。狄拉克在1928年发表了两篇论文,成为引导人们进入这一新的研究领域的一个决定性的发现。在他所建立的理论中,他给出了一个对时间坐标和空间坐标都线性的微分方程,这就是著名的狄拉克方程—— $(pc\alpha + mc^2\beta)\Psi = E\Psi$ 。这个方程能精确地描述高速运动的电子的一切现象,包括电子自旋、磁矩以及高速运动电子的许多性质,都与实验结果符合得很好。

## 四、提出了反粒子理论,建立了物理学又一座里程碑

相对论量子力学的狄拉克方程的解有4个分量:两个和正的能量值相对,两个和负的能量值相对,即有正能解和负能解两种,且正能态和负能态的分布完全对称。显然,第一种描述的就是我们熟悉的普通电子,第二种解则预言了一种和电子相同的

粒子,而它们一个重要的区别就是这种粒子是带正电的,当时惟一知道的是只有质子带一个正电荷。但根据量子跃迁理论,由于负能态比通常的正能态能量更低,那么一切正能态的粒子和物质都将无休止地向负能态跃迁,这样将得出宏观物质全部解体的结论。为了摆脱这种与事实不符的困境,狄拉克根据泡利不相容原理于1930年提出了著名的空穴理论,他假设:自然界的所谓“真空”并非空无一物,所有的负能态都被电子填满了,形成了负能态的电子海,正能态的电子不可能再往下跃迁,这样就保证了原子的稳定性,当处于负能态的电子受到激发,由负能级的“海洋”中逸出时,这个“空穴”就相当于一个带正电荷的粒子,从对称性考虑,在1931年他提出这种“空穴”是一种新的、未知的、质量与电子相同的反电子,即预言了“正电子”的存在。在1932年,安德逊在加利福尼亚工学院的实验室里果真发现了“正电子”,从而证实了狄拉克的预言,而安德逊本人也因此获得了1936年的诺贝尔物理学奖,这种反物质的发现应该说是20世纪巨大物理进展中最大的跃进,它改变了我们关于物质的整个图景。

在假设负能空穴是正电子的同时,他还提出了一种新的真空图景,他说:“真空是一切负能态都被占据而正能态没有被占据的最低能态。”这是一个重要的结论,在此基础上,人们放弃了旧的真空观,并逐步建立了完善的量子电动力学。量子电动力学给电子以最清晰的图像,以前所未有的精度预言了电子的性质和行为,并在实验上被证明是完全正确的。

狄拉克在量子理论方面的奠基性工作为他在科学界赢得了崇高的赞誉。他和薛定谔一起于1933年获得了科学家的最高奖励——诺贝尔物理学奖,此外,还于1939年获得了英国皇家学会最高奖章和詹姆森·斯科特奖金,于1952年获得了英国皇家学会的科普利奖。

