

开创和继承的典范

——电子衍射实验五十周年有感

曾 谨 言

二十世纪伟大物理学家之一,德布洛意 (Louis de Broglie) 于 1923 年提出物质粒子具有波动性的崭新思想. 1927 年春,戴维森 (G. J. Davisson) 与杰默 (L. H. Germer) 发现电子束打到镍单晶表面时出现衍射现象,直接证实了电子具有波动性. 同年晚一些时候汤姆孙 (G. P. Thomson) 在研究阴极射线对金属箔的散射时,观察到与 X 射线光类似的衍射环,也同样证实了电子具有波动性. 这些实验的定量分析还完全证实了德布洛意提出的波长 λ 与粒子动量 p 之间的关系:

$$\lambda = h/p$$

$h = 6.63 \times 10^{-27}$ 尔格·秒,是普朗克常数.

物质粒子具有波动性的提出,与科学史上许多重大发现一样,决不是凭空灵机一动想出的,德布洛意的思想也是在前人工作的基础上,熔进了他创造性的劳动而孕育出来的. 还在青少年时代他就打下了坚实而广阔的物理与数学基础. 正如他在“波动力学的开始 (The Beginnings of Wave Mechanics)”一文中写的:“在我青年早期阶段 (1911—1919),我以极大的热情学习了那个时期理论物理所有的新近进展. 对于彭加莱 (Poincare)、洛伦兹 (Lorentz)、兰杰文 (Langevin) 等人的工作我是熟悉的. 然而我的注意力却特别为普朗克 (Planck)、爱因斯坦 (Einstein) 和玻尔 (Bohr) 关于量子的工作吸引住了. 在爱因斯坦提出的光子量子论中,我认识到在光辐射中波与粒子的共存乃是自然界本身最核心的一个基本事实. 在跟随我哥哥莫里斯 (Maurice) 在 X 光谱的工作中,我已觉察到电磁辐射的这种两重性是非常重要的. 此外,在学习了力学中的哈密顿-雅各比 (Hamilton-Jacobi) 理论之后,我看到了把波动和粒子结合起来的雏形. 最后,我还深入地学习了相对论,我深信这应是一切新的假说的基础”.

由上述的自述可看出,德布洛意是在博古通今后,继往开来下提出物质波概念的,因此,人们称电子波动性的提出是科学工作中开创和继承相结合的漂亮典范是当之无愧的.

第一次大战 (1914—1918) 中德布洛意应征服兵役. 1919 退役后重新开始他的研究生涯. 在以后几年中他竭力去探寻如何把粒子与波具体地统一起来. 当然,他是从研究光和其它电磁辐射开始的. 他力图

设想后来被称为光子的粒子是凭借电磁波的运载而运动的. 在这艰苦的长期探索过程中,在 1923 年他终于认识到:粒子和波共存的现象,决不仅限于爱因斯坦研究过的光,而应推广到一切粒子.

“把这个思想应用于电子,看来我有必要说明电子在原子中的离奇的性质. 这些性质是在玻尔关于原子稳定态的理论中提出的. 在玻尔理论中出现了整数,而在研究共振和干涉现象的波动理论中也出现这种情况”.

总之,德布洛意的思想是在普朗克和爱因斯坦的光量子论及玻尔的原子的量子论的基础上孕育产生的. 当时,光的波动性和粒子性矛盾已被揭示,原子中稳定运动的电子的能量也是量子化的. 考虑到几何光学与经典粒子力学的相似性,他提出一切物质粒子都有波动性的假说. 类比几何光学与波动光学的密切关系,他意识到描述物质粒子运动的力学规律也可能与某种尚未为人们认识到的波动力学规律有类似的关系.

在德布洛意思想的启发下,薛定谔于 1926 年初提出了著名的波动方程,并用来处理氢原子光谱,得出了与 1925 年,海森堡提出的矩阵力学完全相同的结果. 同时,薛定谔还证明了波动力学与矩阵力学的等价性,它们是同一种力学规律的两种不同形式的表述.

应该提到如下历史事实: 德布洛意在 1923 年就提出一切物质粒子都具有波动性的思想,薛定谔在他思想的启发下提出了量子力学的基本方程式 (薛定谔方程),并用来解决了二十世纪初经典物理学碰到的主要困难. 量子力学作为近代物理的基础学科已稳固建立,德布洛意的巨大贡献已为人们肯定. 但一直到 1927 年电子衍射实验提供了直接实验证据之后,德布洛意才荣获诺贝尔物理学奖 (1929). 可以看出诺贝尔物理学奖的授予,除了要看是否有开创性的新思想外,尤其强调有无直接的实验证据,以及能否说明和解决重大的实际问题.

德布洛意关于物质粒子具有波动性的朴实思想,与后来量子力学中流行的占正统地位的概念是有原则性差别的. 薛定谔在处理多粒子体系问题时,把波函数 ψ 写成所有粒子坐标的函数,所描述的是多维组态

空间中的波，显然不能把它看成是在我们生活其中的物理空间中传播的实在的波。玻恩在用波动力学来处理散射问题时，把波函数解释成几率波幅，并可以任意归一化，这与经典波的概念是有本质差别的。

自从量子力学建立之后，尽管绝大多数物理学家都致力于它在各领域中的应用，但关于量子力学的基本概念的理解仍然存在尖锐的争论。占正统地位的是以玻尔、海森堡、玻恩、泡利和狄喇克为代表的哥本哈根学派的观点，对此持反对态度的主要有爱因斯坦、德布洛意和薛定谔。自然科学中不同观点的自由争论应看成正常的现象。从事科学工作的人就在于在不断解决矛盾和提出新的问题的过程中开拓自己的道路，把创新和继承最有效地结合起来，去开拓和征服一个又一个新的领域。中国有一句古语：“继往开来”：为“开来”，“继往”是完全必要的，但“继往”只是一种手段，“开来”才是目的，但为此必须付出极艰苦的努力。