

路易·维克托·德布罗意(Louis-Victor De Broglie)是法国著名的物理学家,现代波动力学的奠基人之一。由于发现电子具有波动特性,于1929年荣获诺贝尔物理学奖,成为世界上享有盛誉的理论物理学家。

德布罗意1892年8月15日出生在法国迪埃普,早年就读于索邦大学和巴黎大学;1910年获得理学学士学位,1924年获得博士学位。1928年任巴黎大学理论物理学教授,1933年被选为法国科学院院士,1942年任法国科学院常务秘书。1948年被聘为美国国立科学院院士,1953年成为伦敦皇家学会会员,1965年罗马尼亚科学院授予德布罗意荣誉院士称号。

德布罗意的科学声誉基于他的纯理论的发现,其主要功绩在于采用推理的方法把当时发现的有关光的波粒二象性的事实推广到一般微观客体,从而提出了具有开创性的物质波的新观念。通过多年的理论物理研究,他发表了许多论文,先后出版了十几本专著,蜚声于世。其中具有代表性的有《量子理论》(1924)、《波动力学的研究导论》(1926)、《物质与光、近代物理与量子》(1937)、《物理学与微观物理学》(1947)、《微观物理学的新远景》(1957)、《波动力学的新解释》(1972)等。这些新思想、新理论为现代波动力学的建立、为理论物理学的发展做出了杰出的贡献。反过来,现代波动力学的建立又为研究微观客体的运动规律提供了理论依据。量子力学理论用来解释各种微观现象取得满意的结果就是典型例子。

(一)

人们关于光的本性问题的探讨曾经争论了几个世纪。由牛顿提出的微粒说曾盛行一时,这种学说认为光是由发光体发出的具有弹性的微粒流,沿直线行进。这种学说因很容易解释光的直线前进以及光的反射、折射等现象曾被普遍接受,直到19世纪初光的干涉、衍射等现象被发现后,光的微粒说才被波动说所动摇。波动说是由惠更斯所创立,认为光是一种机械波,由发光体引起的,和声波一样依靠媒质来传播,由于这种学说能够解释光的干涉和衍射现象因而得到广泛的承认。

19世纪中后期电磁波的提出及其被证实,揭示出光的电磁本质,光波就是电磁波。这种理论能够很好地解释各种波动现象,诸如光的反射、折射、干涉、衍射、偏振等,从而使人们对光的本性的研究向前迈出了实质性的一步。这就是现代光的波动学说,它从本质

上区别于惠更斯的波动说。

到了19世纪末和20世纪初,当时观察到的许多光和物质间相互作用现象,如光电效应等不能用光的波动说来解释。于是爱因斯坦在1905年提出了光量子的思想,认为光是由光子流组成的。这种思想进一步揭示了光的本质,形成了现代光的微粒学说(它从本质上区别于牛顿的微粒说)。由于爱因斯坦理论成功地解释了光电效应的实验规律,并被康普顿散射所证实,成为旧量子论的核心内容之一,广为人们所接受。

光的波动说和微粒说从不同侧面揭示了光的本质特征,表现出光既具有波动性,又具有微粒性,这是同一微观客体表现出来的两重性,称为光的波粒二象性。对于任一特定的事件而言,光要么显示出波动性,要么显示出粒子性,两者决不会同时显示出来。一般情况下,光在传播过程中表现出明显的波动性,而在与物质相互作用中,粒子性又显得非常突出。因此,光的这种二重性不存在哪一种性质更本质的问题。

(二)

对光的波粒二象性的认识无疑对人们是极有启发意义的。被当作具有波动性的光,同时具有粒子性,自然会引导人们联想到是不是只有光才具有二象性呢?过去一向被当作粒子的微观客体,如电子、质子、中子等这些实物粒子会不会也具有波动性呢?年轻的博士生德布罗意就是将这种设想的人中最具有代表性的一位。基于这样一种思考,在总结前人工作的基础上,德布罗意于1924年11月间向巴黎大学理学院递交了题为《量子理论的研究》的博士论文。他在论文中指出:“整个世纪以来,在光学上比起波动的研究方法,是过于忽略了粒子的研究方法;在实物粒子的理论上是否发生了相反的错误呢?是不是我们把关于粒子的图象想得太多,而过分地忽略

了波的图象呢?”他认为“任何物体伴随以波,而且不可能将物体的运动和波的传播分开”。这就是说,二象性并不只是光才具有的特性,而是一切实物粒子共有的属性,即原来被认为是粒子的东西也同样具有波动性。于是德布罗意提出了大胆的假设:具有一定能量 E 和动量 P 的自由粒子,相当于频率为 ν 、波长为 λ 的波,二者之间的关系表示为 $E = h\nu$,

$$P = \frac{h}{\lambda} \text{ 或 } \lambda = \frac{h}{P}$$

德布罗意与物质波

——纪念德布罗意诞辰一百周年

王德云

于是把人们对于光子与光波建立起来的两个基本关系式推广到了实物粒子，表明每个实物粒子也具有波动的特征。这种与实物粒子相联系的波称为德布罗意波，也称物质波。这种关系式称为德布罗意关系式。德布罗意假设把实物粒子与光的理论统一了起来。

为了证实这一思想的正确性，德布罗意提出了验证物质波存在的方法。在他的博士论文答辩会上，当考试委员会主席问道：“怎样才能实验上观察到你所推想的电子波呢？”德布罗意的回答是：“建议用电子在晶体上做衍射实验。”按照德布罗意关系式 $\lambda = \frac{h}{p}$ 计算的结果，通常电子的波长是非常短的，要利用光栅观察电子的衍射花样，光栅窄缝的大小应与原子大小的数量级相当，而要在任何实物上刻出这样细小的窄缝是相当困难的。正因为如此，德布罗意提出用晶体衍射的方法，这是一个绝妙的大胆的设想。按照这一指导思想，1927年美国物理学家戴维逊和革末精确地进行了慢电子在镍单晶中的散射实验，与此同时汤姆逊也独立地用快速电子进行了类似的实验，结果都毫无疑问地证实了物质波的存在，其波长可由德布罗意关系式得出。实验提供的证据表明，一电子束经过晶体散射以后也会产生类似于x射线在晶体中产生的衍射现象。

在此之后的几年中，关于微观粒子波动性的实验取得了很大进展。大量实验发现，不但电子具有波动性，一切微观粒子，如中子、质子乃至原子、分子、 α 粒子等也都具有波动性，它们的波长都可由德布罗意关系式所确定，从而使德布罗意关于物质波的理论预言得到了实验验证。这样一来，就表明了波——粒二象性是一切微观客体的共同特征。

(三)

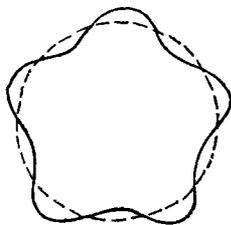
物质波理论的提出并被确认，是一件开拓性的工作，具有深远的意义。

第一，使人们对微观客体的认识更深入、更本质。它是物理学领域的重大进步，具有里程碑的意义。爱因斯坦曾对德布罗意的理论予以高度评价，认为：“这是对物理学中最难以揭开的奥秘所作的初步解释”，“完全是独具一格的”。他称赞德布罗意的理论已经“揭开了一幅大幕的一角”，并提醒人们注意这项理论的重要性。

第二，德布罗意关系式将长期以来被认为性质完全不同的两个物理概念——动量与波长用普朗克常数 h 有机地联系起来，从而将粒子性与波动性融于同一客体中。这一点可与狭义相对论中质能关系式 $E = mc^2$ 相比拟。在这个关系式中，利用光速 c 这个常数将两个性质不同的物理量——质量和能量有机地联系在一起。普朗克常数与光速是自然界中最普遍、最重

要的两个常数，具有判据的作用。

第三，德布罗意物质波的思想为玻尔理论提供了重要的物理解释。按照玻尔理论中“定态假设”的思想，电子围绕原子核作半径为 r 的圆轨道运动时，电子



处于一种稳定状态，这一点相当于波长为 λ 的德布罗意波的驻波情况。对于每个允许的玻尔轨道，依据波函数单值条件的要求，只能容纳整数个波，如图所示，于是有 $2\pi r = n\lambda$ ，而德布罗意波长为

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv},$$

(v 为电子轨道运动的线速度)，代入上式有

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar, \quad \left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right).$$

由此可以看出，利用德布罗意关系式可以很容易得出玻尔轨道角动量子化的条件。因此，德布罗意波提出以后，使玻尔理论有了新的物理内涵，赋予了这个半经典、半量子的理论以新的活力，从而也表现出二者之间存在着某种渊源关系。

征求 Signature 定名

物理学名词审定委员会在讨论“Signature”的中文定名时，搜集到多方的意见。长期来都没有Signature合适的中文名，曾按英文字面译为“签记”、“签量子数”、“押量子数”等等，都不尽人意。现有人认为它是 ± 1 的数，建议定为“正负标数”。但有人提出此名与它的物理含义相差太远，甚是不妥。认为它是 $R_\alpha(\pi)e^{-i\pi/2}$ 的本征值，其值

$$r = \begin{cases} \pm i & \text{费米子} \\ \pm 1 & \text{玻色子} \end{cases}$$

通常令 $r = e^{-i\pi\alpha}$ 则

$$\alpha = \begin{cases} 1/2 & \sim r = -i \\ -1/2 & \sim r = +i \\ 0 & \sim r = +1 \\ 1 & \sim r = -1, \end{cases}$$

用以描述体系绕定轴旋转下的对称性。现在许多文献上用 α 代替 r 可能有更深刻的内涵。从选择定则上看， $\Delta\alpha$ 比 Δr 的选择定则更强。囿于 r 的物理含义，如与“parity”宇称相应，是否把“Signature”定为“旋称”更为合适。

物理学名词审定委员会经讨论，赞同“旋称”的定名。为了慎重起见，再次向核物理与高能物理学界同仁征求意见，欢迎大家踊跃投信“定名”。来信寄：100707 北京东黄城根北街 16 号物理学名词委。

卢薰筠