

路易斯·德布罗意的科学人生

吴晓松

(重庆涪陵第五中学校, 重庆 408099)

摘要:历史上,第一个指出实物粒子也具有波动性规律的是来自法国的伟大科学家路易斯·德布罗意,他为量子力学的巨大面纱掀开了一角。文中夯实了一些相关材料并重点介绍了波粒二象性德布罗意科学生涯的三个阶段。德布罗意的科学人生也为我们带来了丰富的德育启迪。

关键词:德布罗意;双重解理论;科学人生

一、少年立志



图1 青年德布罗意

德布罗意的全名是路易斯·维克托·皮埃尔·雷蒙德·德布罗意(Louis Victor Pierre Raymond de Broglie),1892年8月15日,路易斯(图1)出生于法国的迪耶普,德布罗意家族在法兰西是名门望族。为了维系他们的社会地位,他们家族中的人都是在祖居中由私人教师传授学业。作为一家五口中最小的孩子路易斯的早期教育也是请一些基督徒至家中传授知识,因而相对来说是枯燥乏味的,直到1906年,德布罗意14岁时,他的父亲维克托(Victor)公爵去世。31岁的哥哥莫里斯(Maurice)接手弟弟的教育。按哥哥的建议,路易斯被送到让松·德塞伊中学,主修历史,打算继承祖父的事业,成为一名研究中世纪的历史学家。小路易斯具有非凡的记忆力,他经常用报刊上的新闻来说事并即席演说。后来他为自己举办了一个私人展览会,展出了自己的历史学手稿和原始图表。1909年路易斯通过中学会考进入巴黎大学。1910年路易斯写了一篇有关约1717年间统治者以及内阁和议会更替的论文,并取得了历史学学士学位。在取得学士学位之后,路易斯又花了一年时间专攻法律。上学期间他在法语,历史,物理和哲学方面成绩很好,但对数学和化学则心不在焉。1911年哥哥莫里斯公爵要去布鲁塞尔参加第一届索尔维会议,德布罗意跟随哥哥第一次来到了比利时,他与所有会议代表一起住在了大都会酒店,但保持着自己的距离,只是在他们回来以后,莫里斯讲述在一楼的小房间里对量子进行的讨论情况,路易斯又开始对这门新兴的物理学科产生了强烈的兴趣。会议的过程发表之后,路易斯阅读了这些报道,决心要成为一名物理学家。哥哥莫里斯很担心路易斯在事业上摇摆不定、三心二意,因为此时路易斯已经把历史书都换成了物理书。实际上引导青年德布罗意转变兴趣的除了第一届索尔维会议报告外还有庞加莱的两本科学著作《科学和假设》和《科学的价值》。庞加莱同时也参加了第一届索尔维会议,而庞加莱的去世则更加激发了德布罗意专研物理学的热情。在青年德布罗意的心目中,庞加莱就是法兰西科学的同义语。莫里斯理解弟弟,他没有给德布罗意规定严格的学习方向。在看到弟弟深入研究索

尔维会议关于量子理论的报告之后,确信他的事业是在理论物理学方面。1913年德布罗意取得了物理学硕士学位,他的指导老师就是哥哥莫里斯的博士生导师郎之万。

二、掀开了巨大面纱的一角

1913年,德布罗意到了该服兵役的年龄,然而就在他服役一段时间后,第一次世界大战爆发,这样他继续从军6年。经他哥哥莫里斯公爵的关系,德布罗意被调往无线电部门,到巴黎埃菲尔铁塔电报站,这里安装了一个无线电发射器。他以这种方式获得的实践经验,在他的科学研究中有实用价值。第一次世界大战结束后,1919年8月,27岁的德布罗意以“副官”身份退役,他即参加由郎之万主讲的一个关于量子理论的专题研讨会,然后他选修了相对论的课程,同时还密切关注哥哥莫里斯在他的私人实验室和年轻同事们开展的X射线光谱和光电效应研究。兄弟两人经常进行长时间的讨论,看如何对所做的实验做出解释,哥哥莫里斯曾设想把光看成是波和粒子的结合体,但他毕竟是一名实验物理学家,对此没有更进一步思考了。自1920年3月起,德布罗意的科学论文陆续问世。开头的5篇论文可以看作是为了紧跟玻尔的思想。到了1923年,德布罗意的观点和玻尔思想的区别和分歧就越来越明显了,这一年的9月份和10月份德布罗意连续在法国科学院通报上发表三篇论文即《波和量子》、《光量子、衍射和干涉》、《量子、气体运动论和费马原理》,阐述了波动力学的基本思想。他证明了应用于某一电子运动的莫培督最小作用量原理解析地对应于某一波列的费马原理。他的最本质的创造性是证明了每一物质粒子都与其“缩合波”相对应,它的频率和波长以含有普朗克常数 h 的公式与粒子的能量和动量相联系。德布罗意所定义的“缩合波”是一种相位波而不是一个波包,这为他以后提出“双重解理论”埋下了伏笔。1924年11月,德布罗意向巴黎大学提交了他的博士论文《量子理论的研究》,该博士论文是在前几年论文的基础上总结提炼而成的。整篇论文充满了创造性和革命思想。点燃孤独天才德布罗意那些思想的无疑是爱因斯坦和哥哥莫里斯的设想,努力理解光子的波粒二象性,认同爱因斯坦根据光量子创立的光电效应理论,促使德布罗意提出电子的波粒二象性。论文答辩委员会由让·佩兰,郎之万,数学家嘉当和晶体学家查尔斯·莫甘等人组成。四个人之中只有郎之万一人真正懂得量子物理学和相对论。虽然论文中的观点很难使郎之万信服,但他认为论文实在是才华横溢,还是同意授予德布罗意博士学位。为了保险起见,郎之万将德布罗意的论文副本寄给了爱因斯坦。不久爱因斯坦回复说:“德布罗意的研究给我留下很深刻的印象,他已经掀开了巨大面纱的一角,在我的研究中获得的结果看起来证实了他的观点”。值得一提的是1927年戴维森和革末意外发现电子在镍晶材料中的衍射现象,并得到玻恩的认证之后,37岁的德布罗意突然声名鹊起,科学地位迅速提升,并荣获1929年度的诺贝尔物理学奖。

三、第五届索尔维会议后的困惑和转折

1927年10月,德布罗意应洛伦兹之邀,在第五届索尔维会议(图2)上做了一个报告。在这之前,他在论文《物质及其辐射的波动力学和原子结构》中提出了“双重解理论”。该理论建立在同一波动方程的两种不同解之上,一种是普通的连续解,承载着波动性,另一种是被视为粒子的奇异解,表现出粒子性。由



图2 第五届索尔维会议上的德布罗意(二排右三)

于双重解理论在当时存在极大的数学困难,主要是非线性波动理论还没有发展起来,因而德布罗意后退了一步,将双重解的两个解合二为一,提出了一种所谓“引导波”的概念。在第五届索尔维会议上,德布罗意没有提及原始的“双重解理论”,而只是提了其退化形式“波导理论”,并强调说粒子和波的特性是同时存在的,而不是有时表现为波动性有时表现为粒子性。粒子就像冲浪运动员一样,乘波而来。在波的带领或导航下,粒子从一个位置到另一个位置。因为在波导理论中,因果性是借助连续波的引领来观测粒子的,所以失去了因果理论的逻辑一致性。报告一结束,“波导理论”便遭到了以玻尔、海森堡、泡利、玻恩为首的哥本哈根学派的围攻。他们热衷于维系正统的概率解释。泡利以他特有的犀利语言指责:德布罗意先生的理论虽然能解释双缝干涉实验,但在更一般的场景中就只能描述单粒子的行为,当考虑两个粒子碰撞散射时,理论就会瞬间崩溃,更遑论复杂的多粒子系统。德布罗意希望能从在座的一两个人那里得到支持,由于薛定谔只相信波包的存在,不相信粒子,没有附和德布罗意的观点。最后希冀的目光留在了爱因斯坦身上,但爱因斯坦却保持了异常的沉默,这让德布罗意非常失望。自第五届索尔维会议上摔了一个大跟头后,使他许多年振作不起来,从1927年至1932年,除偶尔做些综述外,他未发表过一篇有创意的论文。确实由于理论逻辑的不一致,德布罗意自己也觉得波导理论不合适,由于数学上的困难,又不敢回到双重解理论上去,所以他失去了勇气,作为令人痛苦的抉择,违心地加入了“正统”量子力学哥本哈根学派的行列。1933年索邦大学为德布罗意新设一个职位,讲授理论物理学,但究竟讲授哪一方面的理论仍然使他感到为难。他想利用讲课的机会重新对量子力学的基础问题进行深入的研究。

1934年,终于有一天,德布罗意从狄拉克方程出发,建立起了光子的波动力学,并提出了复合粒子的波动方程和创造了一整套数学变换方法。后来,他又将此方法推广到任意自旋的粒子。为此奋斗了10年并奉献了20篇论文和6本书。其中提到了一种所谓的聚合方法,就是将自旋数大于 $1/2$ 的粒子全部分解为自旋数为 $1/2$ 的粒子的组合。即使是这段时期的论文和著作,德布罗意也没有完全顺从哥本哈根的观点,而更多的是他本人的深刻思想和出自心底的理解。第二次世界大战期间,德布罗意离开了家,在树林中找了一间小屋子过起了隐居的生活,在此期间尽管研究工作没有中断,不过德布罗意总觉得有一点失落和空虚。等到法国解放后,他才重回到索邦大学理论物理研究所,并定期举办研讨会。

四、重拾双重解理论

1947年,在一次讨论爱因斯坦、波多尔斯基和罗森(EPR)论文研讨会后,德布罗意的双眼中闪出奇光,他开始改变立场,转

为支持爱因斯坦的观点。特别是1952年玻姆的《关于量子理论隐变量诠释的建议》发表后,更加促成了德布罗意重新思考他原来的双重解理论。双重解理论是指相当于波动力学中传播方程的每一连续解 Ψ ,必然有一个与 Ψ 具有同相位 S 的奇异解。连续解代表波,奇异解代表粒子。要正确描写波和粒子的缔合就必须用到两个方程:一个是线性方程用来描述波动(犹如广义相对论中的短程线),另一个非线性方程用来描述粒子的结构(犹如广义相对论中的场方程);而这两个方程必须以相位和谐定理相联系(犹如广义相对论中的场方程已经包含物质运动方程一样)。双重解理论导致两个重要观念的形成:一个是物理上的量子测量理论,第二个就是在量子中引入了孤立子。1957年德布罗意的《波动力学的测量理论:流行诠释和因果诠释》一书出版,他在此书中对测量理论做了补充和修改。1960年哥哥莫里斯公爵去世,由于莫里斯没有子嗣,德布罗意承袭“法国公爵”称号,此前他一直是帝国王子头衔。由于德布罗意又重新回到了双重解的立场,周围的人对他引起了争议,几乎所有的官方学术委员会都认为他已经不折不扣地变成了一位老朽,德布罗意则泰然处之,1927年以来差点丢失的图像在他脑袋里面变得越来越清晰,他越来越认为双重解理论才是自己所追求的。德布罗意在索邦大学讲课长达33年。他就教师的职责提出非常高尚的观点:教材来源于讲课,文句要优美,推导要严谨,要给学生教诲和启蒙。在德布罗意的教学中,当他提出自己的观点来解释尚不为科学界普遍接受的事实时,他都格外小心。然而,作为课堂上的教师,他不太引起学生的兴趣。他上课严格守时,以尖锐的、有些单调的嗓音来读他手写的一大摞论文,总是在到下课时间突然结束,马上离开教室。德布罗意也参加每周一次的小型学术研讨会,年轻的和不那么年轻的理论家都可以在研讨会上自由阐述自己的观点。

1987年3月19日,德布罗意去世,享年95岁。纵观德布罗意的科学人生至少给我们带来了几点启迪:第一,坚定人生理想,笃定奋斗方向。正是第一届索尔维会议给小德布罗意播下了一颗希望的种子,庞加莱的两本科学著作为他点燃了一盏引路的明灯,才坚定了德布罗意的研究方向,并笃定前行。第二,他山之石,可以功玉。德布罗意物质波的提出有其实践基础和理论思想的准备。一战期间,在军用无线电报站服役6年,让他熟悉了有关无线电波的实践知识。爱因斯坦光量子的提出为其准备了理论基础并通过类比的方法把光的波粒二象性推广到一切实物粒子,从而找到了解决问题的突破口。第三,熟悉科学技术史,从历史的眼光看问题。由于德布罗意之前的专业本来就是历史,他对科学技术史,特别是物理学史非常熟悉。其中的费马原理和莫培督最小作用量原理成为其综合思想的原动力。第四,坚持见解,独树一帜。面对哥本哈根学派当时处于主流的强大势力,德布罗意敢于独树一帜、与之抗争。当然在追求物理学实在的过程中,他也有过失败和屈辱,但是他仍然追寻自己内心的声音。斯人已逝,风范长存,德布罗意不仅阐述了物质波的思想而且还提出了一幅世界图像。正是由于他追求着这幅世界图像,德布罗意才发现了科学遗产中最为辉煌的那一部分。

参考文献:

[1] 德布罗意. 德布罗意文选[M]. 沈惠川译. 北京: 北京大学出版社, 2022.

作者简介: 吴晓松(1984-), 男, 研究生, 中学物理一级教师, 研究方向主要为数理问题的探讨, 教材与教法, 竞赛与辅导, 物理学史等。