



德布罗意和玻姆

沈惠川

本哲学味很浓至今仍引起争论的书《整体性和隐序》。

一、对抗哥本哈根学派的共同立场

路易·德布罗意(Louis de Broglie, 1892—1987)曾以一篇关于 1717 年前后统治者以及阁员和议员更替的论文获得历史学学士学位。1911 年第一届索尔维(Solvay)物理学会议之后,德布罗意改习物理学,于 1913 年取得科学硕士学位。1924 年,他在著名物理学家郎之万的指导下,以一篇划时代的论文《量子理论的研究》获得科学博士学位。1927 年他提出了波动力学的“双重解理论”及其退化形式“波导理论”,并总结在一篇题为《物质及其辐射的波动力学和原子结构》的论文中。在 1927 年 10 月召开的第五届索尔维会议上由于“波导理论”受到泡利等人的猛烈攻击,他误认为“双重解理论”也有问题而被迫改变立场。1929 年由于他在建立波动力学方面的杰出贡献而荣获当年的诺贝尔物理学奖,同年又获法国科学院颁发的亨利·庞加莱奖章。1932 年他获得法国科学院授予的摩纳哥阿尔伯特一世奖,1952 年又获联合国教科文组织授予的一级卡林加奖。1952 年以后,德布罗意重新回到他 1927 年“双重解理论”的立场上,并于 1956 年出版了《非线性波动力学和因果诠释:双重解理论》和《波动力学的测量理论:通常诠释和因果诠释》两本闻名遐迩的书。在以后的岁月中,他一直在为实现他的理想而战斗,直至 1987 年 3 月 19 日在巴黎溘然长逝。

戴维·玻姆(David Bohm, 1917—1992)是犹太血统美国人。1939 年他在宾夕法尼亚州立大学获得文学学士学位,1943 年又在加利福尼亚大学伯克利分校经奥本海默指导获得哲学博士学位。1947 年,由奥本海默推荐,玻姆去普林斯顿大学任史密斯教授的助理教授。三年后,在朋友狄斯雷利的怂恿下,玻姆开始撰写著名的教科书《量子理论》,该书于 1951 年出版,现已多次重印。在 1950 年开始的麦卡锡时代因玻姆是奥本海默的学生和同事而被卷进了调查。他为了不作对朋友不利的证明,于 1951 年被迫离开美国,流亡到巴西圣保罗大学。1956 年又到以色列海法大学度过了两年。在此期间,他出版了另一本有名的书《现代物理学中的因果关系和机遇》。1957 年,玻姆到英国布里斯托尔大学任研究员。1961 年他成为伦敦大学伯克贝克学院的理论物理学教授,直至 1983 年退休。1965 年,玻姆出版了他的另一本注重物理概念及其整体性的书《狭义相对论》。1980 年他又出版了一

将德布罗意与玻姆联结在一起的是对正统量子力学纯概率诠释的异议。1952 年,玻姆在《物理学评论》上发表了两篇《关于量子理论隐变量诠释的建议》的论文。这两篇文章的核心内容实际上就是德布罗意 1927 年退化了的“波导理论”的翻版。玻姆回忆道:“不久我从德布罗意那里得知他很早就提出了这一思想,所以在后来论文的排印中,我曾对此表示感谢。”

此外,德布罗意还和玻姆在基本粒子旋子模型的研究方面进行过合作。起先,玻姆与德布罗意的学生维吉尔曾就共同关心的量子力学基础问题合作发表过几篇论文。基本粒子旋子模型便是他们在《旋转流体物质的相对论流体力学》一文的基础上发展起来的。后来维吉尔小组中的希利昂、霍尔布瓦克斯和德布罗意本人也加入进来。以德布罗意(为第一作者)署名的论文有两篇(其中一篇的第二作者为玻姆)。论文的主要观点不是德布罗意的。凡是提到德布罗意的工作处,都用 *LdB* 标出。

德布罗意和玻姆的共同立场简言之就是“波导理论”。由于玻姆的迹径诠释或量子势理论实际上就是德布罗意退化了的(和已放弃了的)波导理论,因而他们两人也仅在这一点上有共同语言。从这一立场出发,他们都认为粒子的波动性和粒子性同样是物理实在,在经典力学与量子力学之间不存在不可逾越的鸿沟。他们都相信薛定谔波函数的玻恩概率诠释背后还隐藏着一些反映因果关系的变量。他们都指出正统量子力学仅仅是数学形式而非物理真实。最后必须指出,他们都不以哥本哈根学派的所谓“正统”诠释为然(尤其是在对海森伯“不确定性原理”的解释方面和对冯·诺依曼“不可能性定理”的证明方面)。在探求对物理实在的更为精细的描述方面,他们是一致的。

在通常的量子力学教科书中,德布罗意和玻姆的这一立场是被故意略去了的。贝尔曾大声呵斥:“为什么波导图象在教科书中被忽视了呢?难道不应该将其既作为一种方法,又作为对普遍存在的自满情绪的一种解毒剂而讲授吗?难道是靠故意的理论选择将模糊性、主观性和非决定论强加于人而不顾实验事实吗?”

二、德布罗意与玻姆之间的分歧

德布罗意与玻姆之间的分歧要比他们的共同点多,但也不象哥本哈根学派别有用心地离间(如说“玻

姆的理论是驳不倒的”、“德布罗意理论只是昙花一现……它缺乏吸引力”等等)所说的那么尖锐。尽管这些分歧是原则性的,玻姆的理论之所以比德布罗意理论更有市场,一方面是由于前者更接近正统理论而易于被人接受;另一方面是由于前者是用英文写的,而后者绝大多数是用法文写的,故前者的观点传播得更广。

德布罗意与玻姆之间的分歧简言之就是“双重解理论”同“波导理论”之间的分歧。德布罗意尽管是“波导理论”的首创者,但他自1927年以来已放弃了该理论。德布罗意认为波导理论中的矛盾极多,是不可能获得成功的。因而他说:“从双重解理论来看,波导理论是没有什么价值的”。相反,玻姆自1952年以来,就一直以量子势理论即波导理论作为他撰文的出发点。玻姆认为,“如果没有进一步根本性的新思想,这些权宜方法本身还不可能是一种基本理论。但如果置这些工作不做,其结果必然是基础物理学大部分便会简化或现在的样子……”。换言之,玻姆本人亦认为波导理论仅仅是不得已而为之的权宜之计。尽管玻姆大体上有这一认识,然而其论文的结论却说得斩钉截铁,而这些结论中有许多观点是德布罗意所不能同意的。甚至哥本哈根学派亦认为玻姆理论的意义“仅在于使量子理论满足决定论的特征并与量子力学的统计预言相符合,它不带来任何新的东西”。

主要分歧浓缩在是否同意爱因斯坦在EPR实验中所提出来的可分离性原则和定域性原则这一点上。由此两条原则可以自然地得出“现有量子力学薛定谔方程只是系综描述而不是单个粒子描述”的结论。德布罗意甚至在1952年之前就已倾向爱因斯坦的立场,1952年之后更是断言这才是他“所追求的目标”。但玻姆一方面接受了爱因斯坦关于量子力学对物理实在的描述不完备的观点,另一方面他又采纳和继承了玻尔关于量子现象的整体性观点,同意微观粒子对宏观环境的全域相关。玻姆原先以为量子势理论中这种不可分离性和非定域性可能是该理论的某种缺陷,70年代后特别是由于阿斯派克特等人的实验结果的出现,以及对夸克禁闭问题的研究进展,使玻姆重新觉得原先的“缺陷”正是解释上述实验结果和研究进展所需要的“不可约化的属性”。

德布罗意和玻姆的矛盾焦点(实际上也是同哥本哈根学派的矛盾焦点)特别是在定域性和非定域性问题上。正统量子力学是非定域的。尽管同样也是对抗哥本哈根纯概率诠释然而又与爱因斯坦—德布罗意观点相左的薛定谔,早在1935年就承认,“量子力学的表述形式中,存在一种‘纠缠关系’”。在理想的量子力学应是定域的这一问题上,德布罗意的立场与爱因斯坦相同。他们都无法想象信号会以大于光速的速度传递。在德布罗意的测量理论中,根本排斥了贝尔不等式。德布罗意基金会主席洛切克说:“贝尔不等式是与

定域性问题无关的两码子事。”另外,有人从分析贝尔不等式的三个前提条件而仅保留定域性假设出发,在数理上证明了只是自旋 $1/2$ 的粒子间才有某种特殊的非定域性,而自旋 $1/2$ 的一对粒子早在测量前就已假定它们是相关的,所以阿斯派克特等人的实验结果说明不了任何问题。有意思的是,用测量自旋相关来代替EPR实验中的相互作用,这本来就是玻姆所出的主意,它并没有得到爱因斯坦的赏识,德布罗意也没有对此方案表示赞同。换言之,贝尔不等式和阿斯派克特等人的实验结果不足以否定爱因斯坦和德布罗意的定域性思想。而出主意测量自旋相关的玻姆看到阿斯派克特等人的实验结果就改变观点倒是顺理成章的。玻姆过早地放弃定域性原则在德布罗意学派看来仿佛是在赶时髦。玻姆本人也承认,爱因斯坦和德布罗意之所以对量子势理论不以为然,可能主要是因为“量子势的非定域特征”与他们的“物理学基本定律必然是普遍定域”的信念格格不入。

第二个分歧是物质波应当被描述于物理空间还是应当被描述于组态空间?德布罗意虽然对玻姆在处理多粒子系统问题中用正统方法机敏地反击泡利的责难表示欣赏和感谢,但对正统方法本身却十分疑虑。德布罗意在这一问题上的立场实际上来源于洛仑兹1926年5月27日给薛定谔的信。洛仑兹在信中认为, n 维组态空间中的 ψ 波的意义无法解释。如果对单个粒子来说还可以勉强用三维物理空间中的物质波去解释三维组态空间中的 ψ 波的话,那么在多体问题中的高维组态空间 ψ 波怎么可能是物质的呢?德布罗意学派认为,通常量子力学或固体物理学教科书中将电子束穿过细晶体粉末或薄金属片后发生衍射的照像作为 ψ 波存在的根据是张冠李戴的,因为衍射波是在物理空间发生的真实波而 ψ 波仅仅在抽象的组态空间中才有意义(更不用说对 ψ 波是否能测量还是个问题)。二者不是一回事。薛定谔在1926年当时就无法回答洛仑兹的质问,哥本哈根学派更无法回答这一问题,现在的玻姆当然也无法回答这一问题。多体问题中的哈密顿量是薛定谔信手写出来的,并没有经过慎密的思辨。从数学上看,组态空间中的 ψ 波来自用正则坐标和正则动量表示的哈密顿量,而哈密顿量又来自用广义坐标和广义速度表示的拉格朗日量。换言之,要解决洛仑兹和德布罗意的问题,必须对经典力学作一番彻底的检查。然而,薛定谔抑或人才云集的哥本哈根学派并没有做这方面的工作,玻姆同样没有能力做这一工作。需要指出的是,德布罗意学派对此问题至今也没有取得什么进展,目前仍停留在观念上。这个问题可能比定域性问题更难解决。

与这一分歧相联系的,是德布罗意与玻姆在量子宇宙论方面的不同观点。玻姆及其学生与剑桥大学的霍金学派有很深的交往。玻姆及其学生在“量子宇宙

论”方面,有着与霍金学派平行的工作。在绝大部分观念上,他们都是是一致的。玻姆学派甚至将霍金的书《宇宙的大尺度结构》和彭罗斯(霍金斯学派的中坚)的书《旋量和扭量理论》作为他们撰文和授课的理论依据。但德布罗意及其学派无法赞同这些观念。这里起码有两条意见值得深思。其中一条很主要的意见就是上述物理空间与组态空间之间在概念上的区别。广义相对论的爱因斯坦场方程是在物理空间写出来的,但量子力学的薛定谔方程却是在组态空间中写出来的。有许多“量子宇宙论”的论文作者,简单地将量子力学中的能量-动量张量代入广义相对论场方程,就说是完成了量子宇宙论,(或至多说,高维组态空间可“紧致”化为物理空间)这种处理方法,与其认为是无知还不如认为是荒唐。生活在现实世界中的物理学家,绝大部分是不信这类无稽之谈的。德布罗意学派的另一条很重要的意见是关于线性量子力学无法与非线性广义相对论相容方面的。玻姆似乎还没有意识到线性与非线性之间的根本区别,常常用仅适合于线性空间的群论来讨论非线性广义相对论同线性量子力学之间的所谓“变换”(他似乎忘了在线性空间中才有“逆元素”,而在非线性空间中就不可能有唯一的“逆元素”)。德布罗意学派没有明言玻姆的说法是不合适的,但心里都明白这是牛头不对马嘴。除了这两条意见外,还可以举出哲学上和物理上的更多考虑。因此德布罗意认为要在近期内解决量子力学程式与广义相对论之间的协调是不可能的。

量子力学(或波动力学)是线性的抑或是非线性的?这是德布罗意与玻姆之间的第三个重大分歧。玻姆站在波导理论的立场上,他和他的学生在分析了各种非线性波导理论之后认为非线性项的影响极小,因而重新回到了线性量子力学的观念。尽管玻姆及其学生于1981年也提出过具有强真空涨落的高度非线性场模型,同时将注意力集中到非线性方程可能存在的一种稳定极限环上,而且也证明了由贝尔不等式检验定域隐变量是否存在对爱因斯坦型非线性场是不适用的,但他和他的学生在思想上对非线性概念并不十分重视。他的许多话都是站在线性空间的立场上所说的(正如在上面线性量子力学和非线性广义相对论之间能否进行线性变换中所见到的那样)。这当然与他们所接受的正统量子力学训练不无关系。相反,德布罗意及其学派自50年代始就开始注意非线性科学方面的各种发展,并最终导致德布罗意于1956年提出建立在双重解理论基础之上的非线性波动力学。德布罗意当时就指出,与物质波相符合的粒子与流体力学中的孤立波十分相似。德布罗意的学生们将此孤立波称为“驼峰”解。德布罗意认为起关键作用的非线性项将使表征粒子的奇异解成为可能。1956年国际上尚未形成大规模研究孤立子的态势。在这一点上(以及其他许

多方面),德布罗意是走在时代最前列的。正如洛切克所说的那样,使德布罗意感到欣慰的是,与1956年前只有少数几个人谈论非线性方程和基于这种想法试图改造量子力学的状况相比,“物质波的干涉和衍射中出现非线性效应的可能性已倍受重视,这无疑是一个非常重大的进步”。爱因斯坦说:“所有逻辑简单的物理学方程必然是非线性的”,又说:“由于物理学的基本方程都是非线性的,因而所有的数学物理方程都必须从头研究”。这无疑是对德布罗意事业的一种精神支持。

从世界观看,德布罗意赞成决定论而玻姆主张非决定论。德布罗意在《量子论是非决定论的吗?》一文中说:“在伟大天才们的经典时期,从拉普拉斯到庞加莱,总是宣传着自然现象的决定论……将概率引进科学理论中来,那是我们无知的结果。”但玻姆则说:“在许多方面我不喜欢决定论,因为它太僵化。它顽固地、武断地限制了可能性……即使是我1952年的理论也不是决定论的……我提出这一理论,只是为了简单地给出海森伯的理论基础……我必须区别(前后)两个海森伯。我提出的理论支持海森伯早期的理论。所以这不是什么赞成决定论。”在这里,玻姆提到了“决定论限制可能性”的问题。其实,这一问题在非线性量子力学中很容易解决。非线性同样提供了多种可能性,但其哲学并不需要牺牲决定论。

德布罗意与玻姆之间的分歧使得爱因斯坦对他们的评价截然不同决不是偶然的。在爱因斯坦看来,玻姆的量子势理论远非他所期望同正统观点彻底决裂的那样。事实上,玻姆的量子势理论只是对薛定谔方程稍加变形并对各项重新赋予而实现的。从玻姆的立场看来,爱因斯坦犯不着因量子势理论同他关于物理实在的本性观念相矛盾而将其拒绝。玻姆认为量子势理论毕竟对于量子理论的意义提供了一些正统诠释所不能提供的、确定而重要的洞察,而且正是这些洞察维系着人们寻求对量子理论更深入理解的兴趣。

爱因斯坦对德布罗意的评价可以用他下面的一句话来概括:巴黎的物理学家比美国的理论家对他更亲近一些。爱因斯坦认为,由于双重解理论中的粒子是定域的,使得德布罗意理论“真正是一个新的理论,而不是对旧理论的补充”。事实上,爱因斯坦和德布罗意都同意必须充分客观地描述物理真实,而且在思想上,德布罗意也接受了爱因斯坦关于“逻辑简单性”的原则。从1952年开始,德布罗意的思想越来越靠近爱因斯坦。爱因斯坦也对德布罗意十分尊重,为了避免显得自命不凡,爱因斯坦在1953年2月17日给玻姆的信中说:“如果您的评论和我的文章(指爱因斯坦将要在玻恩纪念文集中发表的论文)一道发表而又不给德布罗意这样做的机会,他可能会觉得那是我对他的不尊重。”言语之中,透露出对德布罗意思想的同情和对他的工作的关照。