

量子力学中的哲学问题

曾庆龙

恩格斯曾经说过：“不管自然科学家采取什么样的态度，他们还是得受哲学的支配。”自然科学知识是哲学的重要基础之一，哲学对自然科学具有指导作用，特别是唯物主义哲学，因为自然科学的本质是唯物主义的，这在世界科技史上得到了无数次的验证。例如、爱因斯坦的相对论，几乎无人不知，但他在哲学上的极大兴趣恐怕鲜为人知，历史上科学家同时又是哲学家的不胜枚举。本文试图对量子力学产生过程中的两种理论——矩阵力学和波动力学之间的矛盾斗争作一简述，以说明：自然科学领域里，充满着各种不同的理论观点的矛盾，这是认识发展过程中必然的、正常现象，通过这些矛盾的斗争和统一，才能使那些由于历史或主观的局限性而产生的错误的或片面的、局部的理论不断被新的、更加完善的理论所代替，从而经过无数相对真理的环节而向绝对真理不断前进。

一、新量子论的产生

（一）新量子论产生的思想基础

新量子论产生的基础应该说是旧量子论的困难，因为实践是认识发展的动力。

十九世纪末，物理学理论在当时看来已发展到相当完善的地步，那时一般的物理现象都可以从相应的理论中得到说明：物体的机械运动在速度比光速小得多时，准确地遵循牛顿力学的规律；电磁现象的规律被总结为麦克斯韦方程；热现象理论有完整的热力学以及玻耳兹曼等人建立的统计物理学。在这种情况下，当时有许多人认为物理学的任务就是把基本规律应用到各种具体问题上，进行一些具体计算而已，这种观点显然是违背辩证唯物主义关于认识是无限的原理的。

正当人们为古典物理学的全面胜利欢呼万岁的时候，古典物理学体系本身出现了无法克服的危机，不久这场危机竟发展成为一场翻天覆地的革命风暴，量子力学就是这一危机的必然产物之一。

黑体辐射问题敲响了古典理论的丧钟，史称“紫外灾难”。对此，德国的普朗克于1900年根据实验数据凑出了半经验辐射公式，但得不到理论解释，后又提出“量子假说”。第一个接受量子概念的是爱因斯坦，他又提出了“光量子论”，并成功地解释了赫兹于1887年发现的光电效应现象。之后丹麦物理学家玻尔把卢瑟福的原子模型和普朗克的量子论大胆而巧妙地结合起来，提出了原子结构理论。当然，严格说来，它不过是一些各不相干的假说、原理、定理、计算方法凑合起来，而不是逻辑上一致的理论，所以称为旧量子论。为了摆脱这种理论上混乱所造成的危机，法国的德布罗意和他哥哥对X射线的波动性和粒子性进行多次

研究，证明微观粒子都具有波粒二象性，至此量子力学的建立已有了可靠的基础。

(二) 矩阵力学的产生

继德布罗意之后，从另一方面对微观物理理论作出根本性突破的是直接受到玻尔影响的德国人海森堡。他在1923年取得博士学位后，成为玻恩的助教，在丹麦首都哥本哈根研究量子论，并于1925年7月写了一篇论文《对一些运动学和力学关系的量子论的重新解释》，试图为理论量子力学建立基础。海森堡当时是受了爱因斯坦建立狭义相对论否定牛顿绝对时间概念启发的，他抛弃了玻尔的电子轨道概念及其古典运动学的量，而代之以可观察到的辐射频率和强度这些光学量，同时把玻尔的对对应原理加以扩充，使它不是用来猜测量子论某一特殊问题的解，而是用来猜测新力学理论的数学方案。这套新的数学方案，当时一般物理学家是非常陌生的，海森堡自己感到没有把握，就把论文交给老师玻恩，请他决定是否应当发表，并且问他对它是否有用处，因为自己已“无法再推进一步”了。玻恩发现海森堡创造的这套数学就是矩阵论，是数学家在70多年前就创造出来的，它是普通数的一种推广，它的最奇特的特征是：两个矩阵相乘是不可对易的，即： $pq \neq qp$ 。

为了进一步搞清楚海森堡论文所提示的数学问题，玻恩找泡利合作，不料泡利却报以冷淡和嘲笑，随后，玻恩找约尔丹合作，当年9月他们写了一篇长论文，用数学的矩阵方法，把海森堡的思想发展成为量子力学的系统理论，这就是矩阵力学，也通称量子力学。

(三) 波动力学的产生

就在海森堡的量子力学新思想通过玻恩和狄拉克的工作得到重大进展的时候，德布罗意的物质波理论通过薛定谔的工作而取得辉煌成就。薛定谔是维也纳人，波耳兹曼的学生，是气体分子运动论的奠基人之一。爱因斯坦1925年2月发表的关于量子统计理论的论文引起的薛定谔对德布罗意波的极大注意，当年12月他写了一篇题为《关于爱因斯坦的气体理论》的论文讲到，“粒子不过是波动背景上的波峰而已。”当时他试图把德布罗意波推广到束缚粒子上得到一个巧妙的解，他马上把这种方法用于氢原子中的电子，并且充分考虑到电子运动相对性力学，但实验与结果不一致，他很失望，于是就束之高阁。事实上，他也是正确的，不过他所研究的是没有自旋的粒子，而当时电子的自旋还刚发现，对它的意义还不很了解，不久他放弃了相对性的考虑来处理氢原子中的电子问题，结果同实验非常接近，受此鼓舞，1926年他一连发表6篇论文，其中4篇都用一个题目《作为本征值问题的量子化》。这些论文大大发展了德布罗意波的物质波思想，加深了对微观客体的波粒二象性的理解，为数学上解决原子物理学、核物理学等问题提供了一种方便而适用的基础，波动力学就这样诞生了。

二、两种理论的对立和统一

在同一微观领域中，出现了两种同样有效但形式上完全不同的物理理论：一是海森堡的矩阵力学，他在数学运算中所碰到的是不可对易的量和以前罕见的计算规则，并且蔑视任何图象解释，是一种代数方法，从所观察到光谱线的分立性着手，强调不连续性，尽管它弃绝对空间和时间中的古典描述，但从根本上说来，他的基本概念还是粒子、另一个是薛定谔的波动力学，它所依据的则是人们熟悉的微分方程这种数学工具，它类似于古典的流体力学并且提供了一种容易形象化的表示，它是一种分析方法，从推广古典的运动定律着手，强调连续性，而且它的基本概念是波动，这样两种对立的理论竟然同时出世，可以想见，他们的创

立者开始是无法容忍对方的。海森堡在1926年的一篇论文中公开批评薛定谔的方法“并没有得到德布罗意意义上的自洽的理论。”泡利在一封信上说：“我越掂量薛定谔理论的物理部分，我越感到憎恶”。狄拉克在晚年的回忆中也承认：我开始时对它是有点敌意的，理由是，我觉得我们已经有了—种完美的量子力学……为什么还要回到海森堡以前的阶段？”同样，薛定谔对海森堡的理论也很反感，他在1926年的一篇论文中说：“在我看到了一种蔑视任何形象化的，颇为困难的超越代数方法，要不是感到厌恶就感到沮丧。”而当时除了玻尔和玻恩以外，老辈物理学家几乎都倾向薛定谔理论，事实上，薛定谔波动力学在短短几个月内就强烈地吸引了多数物理学家。

对立统一规律是唯物辩证法的根本规律。历史的发展有点出乎人们的意料，1926年3月薛定谔发现波动力学和矩阵力学在数学上是完全等价的同时，泡利等人也独立地发现了这种等价性。由于这两种理论所研究的对象是一样的，所得到的结果又是完全一致的，只不过着眼点和处理方法各不相同，因此这两种理论就统称为量子力学，薛定谔波动方程通常就作为量子力学的基本方程，这个方程在微观物理通常就作为量子力学的基本方程，这个方程在微观物理学中的地位就象牛顿运动定律在古典物理学中的地位一样。但是薛定谔理论中的波究竟代表什么？它具有怎样的物理性质？这又引起了争论。

矛盾是事物发展的动力，薛定谔认为，波是实在的，粒子不过是波的密集，称之为“波包”，但是这种波包的数学形式（波函数）是会随时间无限扩展开去的，这不符合粒子的稳定性这一基本事实，1926年6月，玻恩提出了波函数的统计解释，他从他的同事所完成的电子碰撞实验，感觉到电子具有粒子性质，因此认为电子波函数所表示的不过是电子在某时某地出现的几率，这种解释不久就得到了物理学界的公认，可是薛定谔却没有放弃自己的看法。

1926年9月，玻尔邀请薛定谔到哥本哈根讲波动力学，薛定谔仍坚持微观物理学中无所不在的连续性，抨击玻尔的量子跳跃观念，他们有时候从早晨争论到晚上，最后，玻尔引证爱因斯坦的1916年关于跃迁几率的论文为自己的不连续性观点进行辩护时，薛定谔绝望地叫喊：“如果我们一定要坚持这个该死的量子跳跃，那么，我就要为我曾对量子理论作了一点贡献感到遗憾”。对此，玻尔回答：“但是我们都很感谢你，因为你为量子理论作了这么多贡献。”薛定谔离开很久以后，这场激烈的争论在哥本哈根还在继续进行。一种理论要站稳脚跟，除了要求有一定正确性之外，还必须能自圆其说，即要求有理论解释。海森堡认为，这种意见冲突的根源在于对量子力学的形式体系缺乏明确的解释，为了作出这种解释，海森堡同泡利经过深入的通信讨论后，3月底发表了一篇题为《关于量子论的运动学和力学的直觉内容》一文，分析了微观粒子的位置、速度、轨道、能量等基本概念，提出了“测不准关系”。

测不准关系的发现，在哥本哈根学派中引起了强烈的反响，泡利当时就欢呼“现在是量子力学的黎明”，哥本哈根学派的领袖玻尔对它想得更深更远，试图对它进行哲学概括，他从丹麦哲学家基尔凯戈尔的著作中得到启发，于1927年9月提出了所谓“互补原理”，它实质上是一种哲学原理，曾被玻恩称为“现代科学哲学的顶峰”，即所谓的量子力学的“哥本哈根解释”，30年代以后成为量子力学的“正统”解释，但却遭到爱因斯坦的坚决抵制。1927年10月在布鲁塞尔举行的第三届索耳末物理学讨论会上，爱因斯坦同玻尔展开了激烈的论争，他精心设计了一个“爱因斯坦光子箱”企图证明能量和时间的不确定性不满足测不准关

系，玻尔经过一个不眠之夜的紧张思考，终于发现可用广义相对论的红移公式来驳倒爱因斯坦，使测不准关系仍成立，爱因斯坦的这一失败充分说明了真理发展过程的曲折性。

三、量子力学不是最终理论

按照辩证唯物主义的基本观点，自然界的现象无不处在不断的变化和发展之中，正如恩格斯所说：“对自然界的一切真实的认识都是对永恒的东西，对无限的东西的认识，因而本质上是绝对的。”但是真理又是相对的，所以列宁又说：“任何规律都是狭隘的、不完全的、近似的。”对量子力学理论的解释所存在的激烈争论同样遵循这一哲学原理。

对量子力学理论的解释，一直是物理学界争论的中心问题之一，而且不在于目前量子力学理论是否正确，因为量子力学的正确性已为大量实验事实所验证，问题在于：量子力学理论是否完备？或者说，波函数 ψ 是精确地描述了单个体系的状态呢？还是描写了由许多相同体系组成的统计系统的状态？

以玻尔、海森堡为代表的哥本哈根学派认为量子力学对微观粒子状态的描述是完备的，波函数精确地描写了单个体系的状态。波函数之所以提供统计数据，测不准关系之所以存在，是由于粒子与测量仪器之间相互作用的不可控制性。这种观点虽然在物理学界中为许多人接受，但却遭到爱因斯坦、德布罗意、薛定谔等人的坚决反对。他们认为：“波函数所描写的无论如何不能是个单个体系的状态，它所涉及的是许多体系……。”因此爱因斯坦认为波函数对体系的统计描述只是一个中间阶段，应当寻求更完备的概念。

前已述及，“互补原理”实质上是一种哲学原理，用这一原理作为量子力学的“正统解释”，从而代替自然科学是片面地，追不得已的，因为哲学和自然科学的关系是普遍和特殊的关系，普遍来自特殊又能指导特殊，那种以为哲学可以代替自然科学的做法是反马克思主义的，马克思主义认为自然科学的研究应该在正确的世界观和方法论的指导下，通过生产实践和科学实验总结并形成科学的知识体系，单凭哲学的一般规律，是不能推演出各门科学的具体结论的。

对于至今存在的“解释”之争，理论界各持己见，对此很难作出简单的是非肯定。但是，根据辩证唯物主义的哲学原理，我们可以肯定，目前量子力学的基本理论，既不是最终理论，也不会停留在现有的水平上，它一定会继续深入发展下去。至于沿着哪个方向发展，如何发展，这类问题应在辩证唯物主义指导下通过实践解决。

（责任编辑 董翔薇）