

从测量解释理论到测量哲学的兴起

成素梅

(山西大学 科学技术哲学研究中心, 山西 太原 030006)

[摘要] 本文基于为经典测量的客观值理论和量子测量的整体性解释理论及其哲学基础的剖析,阐述了回到测量基底,通过对科学家的测量观的具体考察,展开对测量哲学进行系统研究的重要性与迫切性。

[关键词] 经典测量;量子测量;测量哲学

[中图分类号] NO [文献标识码] A [文章编号] 1672-9021(2007)01-0001-05

[作者简介] 成素梅(1962-),女,山西交城人,山西大学科学技术哲学研究中心教授、博士生导师,山西大学科学技术研究中心副主任,《科学技术与辩证法》杂志常务副主编,主要研究方向为科学哲学与物理哲学。

[基金项目] 本文是教育部哲学社会科学研究重大课题“当代科学哲学的发展趋势研究”(04JZD0004)和教育部人文社会科学研究基地重大项目“量子测量解释研究”(05JJD720201)的阶段性研究成果之一。

传统的科学哲学研究主要是围绕科学理论的产生与演变展开的,既不讨论观察事实的形成过程,更关注与测量相关的哲学问题。虽然后逻辑实证主义的科学哲学以及科学知识社会学、科学人类学和科学文化学等学科的兴起,促使当代科学哲学的研究,由关注科学理论表征的逻辑性与历史性,转向了关注科学实践操作的过程性与客观性。但是,这些研究的目的主要是通过通过对科学实验的跟踪或科学史的考察,揭示科学研究过程中存在的社会、文化等因素,重新阐述理论与观察之间的关系,并没有对测量引发的哲学问题进行过任何微观研究。这种趋势把当代科学哲学的研究由中心推向了边缘。事实上,测量始终是科学研究不可缺少的重要手段之一。不论是理论的形成,还是理论的更替,都必然与测量事实相关。因此,在科学哲学面临困境之际,我们回过头来系统地剖析科学家所提供的测量解释理论的哲学基础,不仅对于拓展科学哲学的论域空间,转变研究思路,具有重要的现实意义,而且有可能为丰富科学哲学的研究提供一条可供选择的新进路——关注与展开关于“测量哲学”问题的研究。

一、经典测量的客观值解释理论及其哲学基础

通常认为,所谓测量,在根本意义上,就是一种

形式的观察。测量与观察的目的在于,借助于仪器将被测对象的某种物理特性表现为人的感官能够直接接受的量值。然后,通过观察这种量值来确定测量结果。并且认为,测量结果就是与被测对象的物理特性相对应的物理量的值。这一测量过程所隐含的一个重要的基本假定是,假设通过测量一个物理量所得到的数值,即对测量仪器的赋值,是在测量之前这个物理量所拥有的值。自近代自然科学产生以来,这种测量观得到了以测量为基本特征的经典物理学理论体系的大力支持。

物理学家对这种经典测量过程的解释机制是,当我们使用仪器来测量研究对象的某种物理特性时,我们假设:如果一个被测对象的某种物理特性的量值,不可能通过直接感知的方式来得到,那么,我们总可以借助于测量仪器的某些宏观物理特性的量值,通过间接感知的方式来确定。即,我们可以借助于一个放大装置,把测量对象的特性放大到我们能够认识的宏观层次。或者说,从测量仪器所表现出的在宏观意义上可以直接感知的量值,推出被测对象的物理特性的量值。具体推理过程是,一个被测量的宏观对象系统 S 的物理量 A 的量值是 a_n ,将必然与测量仪器 M 的可观察量 G 的量值 g_n 是一一对应的。这种推理过程的依据是,在被测对象与测量仪器之间引入一种适当的物理关系。这种物理关系是在仪器的制造过程中已经蕴含了的。

或者说,是由测量仪器的内在本性所决定的。这种物理关系能够使我们确信,在测量结束后,当且仅当 A 的值是 a_n 的情况下,才能保证得到 G 的值是 g_n 。从这一前提出发,如果我们在测量之后,确实观察到 G 的值是 g_n ,那么,就可以肯定地推论出被测对象的值一定是 a_n 。

另一种测量情况是,借助于物理学理论,把这些原始的数据转化为关于被测量对象的某种信息。例如,盖革计数器“咔嚓”一下,被理解为是有一个带电粒子通过了计数器。在日常生活中,这两种测量过程是司空见惯的。其测量假设也从未引起人们的任何怀疑。例如, G 可能是任意一个刻度盘上的指针的位置;也可能是屏幕上显示出的某种图象,等等。这种物理关系说明,被测对象与测量仪器之间存在着下列因果性的相互作用:当物理量 A 在时间 t 的取值为 a_n 时,使得可观察量 G 在时间 t ($t > t$)取值为 g_n 。这样,测量过程假设了一个相互作用的因果性链条。因果性概念成为说明测量结果的基本前提。

在实际操作或具体的测量实践中,我们虽然承认,被测系统与测量仪器之间存在着因果性的相互作用,即被测对象会不可避免地干扰测量仪器,测量仪器也会干扰被测对象。并且认为,为了进行某种测量,测量仪器的干扰是必然存在着的。但是,我们同时也承认,当测量仪器干扰被测对象时,这种干扰不可能进入到由测量过程所提供的可观察量的值的认识当中:即,在某种意义上,被测量的值不是由测量过程本身所产生出的值,而是在被测对象的状态受到测量相互作用的干扰之前的可观察量的值。反过来,如果认为我们所观察到的测量值,是由被测对象系统 S 与测量仪器 M 之间的相互作用所产生的。那么,就不能说我们进行了一种测量,或者说,这已失去了测量的意义。因为这个值是在测量过程中形成的,不代表被测对象所固有的内在特性的值。或者说,通过测量所得到的值,不应该是在测量过程中生成的,而是在测量之前就存在着的。

在量子力学诞生之前,这种经典意义上的测量观在科学的许多不同研究领域得到了普遍的应用。在这个框架内,通过理论计算所得到的值,与通过测量所得到的值是相一致的。测量不过是对理论计算的一种实现或证实。测量值与理论计算值之间的差异,被称之为测量误差。但是,测量误差的存在,一方面,不可能从根本意义上影响测量结果的客观性;另一方面,也不会对被测量系统的存在

状态造成实质性的影响。而仅仅被理解为是由于测量主体的某种认识上的不足,或测量仪器的不精确等因素造成的。在实际操作的过程中,测量误差的存在是允许的。理论上,我们既可以不断地借助于精确度更高的仪器不断地逼近准确的测量值,也可以通过恰当的误差理论来校正测量值。我们通常把这种测量观称之为“测量的客观值理论”。

测量的客观值理论是以测量过程中存在的主体与客体的二分法为基础的,即,被测对象与测量主体之间存在着明确的分界线,测量仪器作为测量主体的一个必不可少的组成部分,担当着延伸测量主体的感知器官的手段或工具的角色。一般情况下,测量主体的任务只是记录与分析测量仪器呈现出来的图形或数据即可,不需要对测量过程作出更多的剖析。或者说,测量过程既是客体特性呈现的过程,也是测量主体被动地感知测量信息的过程,通常认为,感知信息的过程不会对信息本身产生实质性的影响。测量过程中存在的误差会随着仪器精确度的不断提高而趋于无限小。在这种测量观的指导下,一种公认的观点是,认为科学理论所描述的实在、测量所得到的实在与自在存在的实在这三者之间存在着某种等同关系。

以经典物理学为背景形成的这种测量观,至今仍然在一般的宏观测量中发挥着重要作用;特别是,它构成了科学哲学史上第一个成熟的学派——逻辑经验主义——提出的可证实性原则和波普尔所倡导的可证伪性原则的前提条件,也是科学哲学研究长期以来只重视理论表征而忽视操作表征的根本原因所在。后逻辑经验主义的科学哲学研究虽然分别立足于科学史与科学社会学的视角,揭示了观察渗透理论、事实负载价值等整体论思想,但是,就思维方式而言,并没有发生本质上的改变。问题在于,当把这种测量观延伸外推到理解量子测量过程时,直接导致了“量子测量难题”的产生。著名的“薛定谔猫”实验和“维格纳的朋友”实验形象而具体地揭示了这种以主客体二分法为基础的测量观的困难所在。这说明,如果仍然以经典测量观为前提来理解奇特的量子测量过程,那么,“量子测量就会成为一件不可理解的事情”。

二、量子测量的整体性解释理论及其哲学基础

从量子力学诞生之日起,测量概念便成为困难

Peter Gibbins, *Particles and Paradoxes: The Limits of Quantum Logic*, Cambridge University Press (1987): 103.

之源。首先,理论只提供一个物理量在测量时出现的可能性有多大,而不是这个量在测量时应取的理想值;其次,在量子测量过程中,测量仪器不单纯是扮演着延伸测量主体感官的角色,而且还是描述客体表现行为时必然要提到的一个前提条件。或者说,测量语境的设置,成为理解微观客体行为表现的前提条件。在这种情况下,我们不可能从测量结果推断出像电子、光子等理论实体在测量之前的存在形式。例如,在双缝衍射实验中,狭缝后面是否放置一个粒子检测器,会影响到后面屏幕上是否有干涉条纹的产生。这样,我们应该如何理解测量仪器的地位与作用,如何理解被测量的对象与测量结果的实在性与客观性等问题,便成为一个突出的认识论问题呈现出来。

在量子力学的发展史上,玻尔最早发明了互补性原理来理解量子测量过程。一种观点认为,玻尔基于量子现象的理解所阐述的互补性原理,不是先验地对经典概念的批判性分析的一种单纯的概念发现,而是缺乏要求同时使用一定的经典概念的事实(factual)条件的发现。互补性原理所揭示的现象说明,当人的感官阈限受到挑战时,经典语言的使用与经典观念必然要受到挑战,正是在这个意义上,互补原理的提出应该是一种进步,而不是一种倒退。特别值得重视的是,玻尔把在每一种实验设置中区分物理系统的测量仪器与被测量对象的必要性,看成是对物理现象的经典描述与量子力学描述之间的原则性区别。玻尔认为,在微观领域内,测量仪器与被测量对象之间的所表现出的这种不可分现象,应归结为是作用量子(普朗克常数 h)的发现。

首先,从语言学的意义上来看,一旦我们所使用的每一个概念或每一个词,不再是以连续性的观念为基础,而是以不连续的观念为前提的条件下,它们就会成为意义不明确的概念或词语;其次,不连续性必然使我们无歧义地使用经典概念的可能发生变化;第三,不连续性还确立了不可分性(indivisibility)的基本假设。一方面,当运用经典术语描述量子测量现象时,如果不参照“实验的设置”,用来描述量子客体的微观状态(例如,“电子的位置”、“电子的动量”)的术语将是无意义的。在这里,对象与仪器形成了一个语境整体(contextual whole)。另一方面,描述量子测量现象的这种语境依赖性要求把客体的“表象”看成是一个整体。然而,如果把“表象”看成是一个整体,那么,需要对通常的“观察”或“测量”及“现象”等词进行重新理解。换言

之,玻尔认为,在对量子测量现象的描述中,这些概念已经失去了日常应用中所约定(或经典理解方式中)的基本含义,发生了语义与语用的变化。

玻尔把在微观物理学中不可能保证在“现象”与“观察”之间作出明确区分的困难,与心理学的自我意识过程中所存在的困难进行了比较。他认为,在心理学中,感觉主体可能成为进行自我意识的一部分这一事实,限制了客观地进行自我认识的可能性。自我认识要求主体与客体之间的边界是可变的与相对的。同样,在原子物理学中,量子观察的过程预设了观察仪器的存在,并且不能够把这种仪器当成是被观察的客体,也不能够用量子力学的术语来描述观察系统的行为与结果。如果我们把在主体与客体之间的确定的分界线,看成是有可能进行客观观察的前提条件,看成是有可能认识客观世界的前提条件:即是有可能客观地获得关于物理世界的感觉经验的前提条件的话,那么,在这个意义上,我们就不可能说量子系统的特性是独立于观察主体而存在的,或者说,不能够把量子测量的结果解释为是对客体的内在属性的反映。而是应该解释为,测量结果只是对依赖于测量语境的量子系统的某种相对特性的反映。这种相对特性由于与特定的测量主体无关,因而是客观的。

所以,在玻尔看来,在远离人类直接经验的微观领域内,随着“测量”与“现象”等概念的语义与语用变化,观察的“客观性”概念的含义,也相应地发生了语义上的变化。在这里,客观性不再是指对客体在被观察之前的内在特性的揭示,而是具有了“在主体间性的意义上是有效的”这一新的含义。或者说,在量子测量中,“客观性是简单地保证,能向所有的观察者传达说明现象的等量信息的可能性,它由人类可理解的陈述所组成。在量子理论中,这种客观性是由允许你任意地把一个观察者的观点,传达给另一个观察者这种变换来保证的。”这种情况如同光速 C 的发现改变了物理学家对“时

Clifford A. Hooker, *The Nature of Quantum Mechanical Reality: Einstein Versus Bohr*, in *Paradigms and Paradoxes: The Philosophical Challenge of Quantum Darwinism*, Edited by Robert G. Coady, University of Pittsburgh Press (1972): 137.

The Philosophical Writings of Niels Bohr Volume 1: Causality and Complementarity, Supplementary papers edited by Jan Faye and Henry J. Folse, Ox Bow Press, Woodbridge, Connecticut (1998): 81.

Andrew Whitaker, *Einstein, Bohr and The Quantum Dilemma*, Cambridge University Press (1996): 169.

L. Rosenfeld, *Foundations of Quantum Theory and Complementarity*, *Nature*, 190(1961): 388

间”、“空间”和“质量”概念的理解,然后,确立了相对时空观一样,“作用量子”的发现改变了物理学家对“测量”、“现象”和“客观性”概念的理解,需要确立整体性的相对测量观。

问题在于,与相对时空观的确立相比,相对测量观的确立对哲学的挑战更严峻、更深刻,它不仅涉及到统计性与因果性问题,而且涉及到理论与概念的实在性问题。这是因为,相对时空观是相对论的基本假设所蕴含的,没有对经典测量的客观值解释理论构成实质性的威胁。而相对测量观却完全是外在于量子力学基本原理的一种观念,是对量子测量现象的一种理解。按照这种观念,量子测量结果反映的不再是量子客体在没有受到测量之前的固有特性,即,不再是关于可存在量 (beable) 的值,而是既属于量子系统,也属于实验设置,即,是关于可观察量 (observable) 的值。正是在这个意义上,玻尔与海森堡都认为,量子理论只是对可观察现象之间的关系的描述,而不是对独立存在的量子客体的固有属性的描述,或者说,在玻尔等人看来,量子理论描述的实在、量子测量得到的实在与自在存在的实在之间不再具有一一对应关系。

这种测量的整体性解释理论,在某种程度上,揭示了以经典测量观为基础的朴素实在论的局限性,突出了测量仪器所具有的认识价值,体现了经典概念的语义与语用维度及其应用范围,无疑是认识上的一种进步。一方面,量子测量对象与测量仪器之间的不可分性,使得测量仪器具有了双重作用:提高主体的感知能力和营造客体属性再现的具体环境;另一方面,这种测量观隐含了新经验主义的哲学假设,潜在地提出了必须重新思考理论实在、对象性实在与自在实在之间的关系问题,特别是必须回答理论实体的本体论地位的哲学命题。在科学哲学发展史上,对这个命题的求解构成了后历史主义科学哲学发展的主线。普特南的内在实在论、范·弗拉森的建构经验主义以及法因的自然本体论态度,都与研究量子测量问题有关。但是,这种整体性解释理论一方面由于把客观性理解为是主体间性,而留有认识论意义上否认科学理论与概念的实在性之嫌;另一方面,玻尔对量子测量现象的解释与他所提出的量子理论一样,也是半经典与半量子性质的,因此,不可能为量子测量过程提供一个明晰的概念图像。

三、测量哲学的兴起

与玻尔的互补原理承认同时运用量子语言和经典语言来理解量子测量过程所不同,冯·诺意曼

试图用一种量子力学语言来描述整个量子测量过程。但是,由于这个假设无法找到从量子理论描述的叠加态到具体测量得到的确定态过渡的内在机理,因此,冯·诺意曼不得不外加一个至今仍有争议的“投影假设”(projection postulate)来描述量子系统在受到测量时的状态变化。在具体测量实践中,“投影假设”所反映的事实与包括原子、分子、辐射和基本粒子在内的实验结果相吻合。这意味着,量子世界处于纯粹的统计世界与完全决定论的世界之间的某个地方。“投影假设”正是对这种中间“因果性程度”(degree of causality)的一种表达。或者说,在根本意义上,“投影假设”使某种纯粹的随机因素引入态矢的演化过程当中。这样,在以后提出的各种形式的测量解释理论中,寻找一种“无塌缩”解释,并且为神奇的量子测量过程提供一种本体论图像的努力,便成为量子物理学家追求的方向之一。隐变量解释理论、相对态解释理论、多世界解释理论、一致性解释理论、相互作用解释理论还有模态解释理论等都是很好的例证。

本文无意占用更多篇幅来讨论量子测量解释问题,而只是借此指出,围绕量子测量问题的解决所提出的各种替代解释理论,都在某种程度上隐含了作者所追求或信奉的哲学前提。虽然这些前提千差万别,所绘制的量子世界的本体论图像也各不相同,但是,有一点是共同的:即,它们都承认现行量子力学形式体系的正确性,承认量子客体的统计性、非定域性及量子纠缠等新现象。特别值得一提的是,在20世纪末兴起的量子信息学和一些新型材料的研制中,这些奇特的量子现象在实际应用中变成了一种资源,并扮演着主要角色。这些事实足以说明,相对于理解科学而言,理解测量要比理解理论更基本、更具体,量子测量解释理论的多元性局面表明,对测量现象的解读、测量事实的理解,不仅触及到理论的本性问题,而且强烈地提出了有必要对仪器的认识论功能、对象的本体论地位、主体的方法论与价值论前提等问题,进行研究的内在要求。

然而,令人感到遗憾的是,尽管人们一直认为科学实验直接推动了科学的发展的。但是,我们随便打开任意一本物理学史的书都不难看到,从17世纪的科学革命到19世纪的电磁场理论,再到20世

David Z. Albert, *Quantum Mechanics and Experience*, Harvard University Press (1994): 36.

参见,成素梅《在宏观与微观之间:量子测量的解释语境与实在论》,中山大学出版社(2006),第8章。

纪的相对论与量子力学,已有的历史文献大部分都是关于理论与概念演变的记载,是公认的实验事实对理论选择的支持,或者是对理论预言的证实,很少涉及实验室的具体实践,更不会提及到物理学家关于测量事实与测量现象的理解。这种状况无疑对于我们更恰当地理解科学的本性,是非常不利的。虽然 20 世纪 70 年代科学知识社会学家由于不满足于默顿的传统科学社会学基于承认科学知识的客观性与真理性为前提,局限于对科学家行为规范进行研究的现状,开辟了立足于科学家的实验室生活来揭示科学知识产生过程中存在的社会因素的新路径,扩大了人们更合理地理解科学的学术视野。但是,科学知识社会学家对科学家的实验室生活的跟踪研究,由于过分强调与夸大社会因素和观察与理论之间的整体性,而走向认识论与方法论的相对主义的事实,是难以令人接受的。这样,量子物理学家关于量子测量问题的讨论,以及科学知识社会学家对科学实验活动的关注,已经预示着一一种新的测量哲学的诞生。

首先,随着科学研究对象向着宇观与微观方向的不断发展,仪器在测量过程中所扮演的角色被划分为功能仪器与测量仪器,功能仪器的作用在于制备研究对象,那么,经过仪器制备出来的对象,在多大程度上具有本体性呢?它们究竟是真实存在的实体,还是理论构造的结果?测量仪器得到的结果,所反映的是研究对象的内在本性,还是对科学家的研究兴趣的支持?其次,随着测量规模的不断扩大以及测量过程的复杂化程度的不断提高,科学

家之间的交流与合作越来越密切,理解测量结果的专业化程度越来越高,这样,科学共同体之间所达成的共识所起的作用也就越来越大,那么,这种建立在共识之基础上,而不是显而易见的重复测量的经验事实之基础上的认识,具有多大程度的客观性?或者说,测量结果在多大程度上表现出特有的自主性?再次,随着理论形式的符合化、数学化程度的不断提高,一方面,在科学理论的建构过程中,测量事实所起的决定性作用正在相对减弱,另一方面,测量结果对理论的否认力也在相对减小。例如,检测质子衰变实验的出乎意料的失败结果,并没有减弱理论物理学家对统一理论的信任,那么,在整个测量程序中,科学家的信念起到了怎样的作用?

对这些问题的讨论直接涉及到传统的因果性问题、统计性问题、决定论问题、实在性问题、事实与价值的关系问题、证据与理论的关系问题以及自然界的可理解性问题,等等。围绕这些问题展开的讨论构成了测量的本体论、认识论、方法论和价值论的核心。因此,回到测量基底,基于对科学家的测量观的具体考察,展开关于测量哲学问题的系统研究,来重新论证科学哲学命题,有可能会为科学实在论的辩护提供一条有效路径。

Peter Galison, *How Experiments End*, The University of Chicago Press (1987).

From Interpretative Theory of Measurement to the Raising of Philosophy of Measurement

CHENG Sumei

(Research Center for Philosophy of Science and Technology in Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

[Abstract] This paper expatiates the importance and imperativeness of the study of philosophy of measurement recurring to the ground of the measurement and by surveying the measurement theories of scientists basis on the analysis of the philosophical background and objective value theory of classical measurement and the holistic interpretation theory of quantum theory

[Key words] classical measurement, quantum measurement, philosophy of measurement

收稿日期 2007 - 01 - 20
[责任编辑 阳崇波]