

科技哲学研究 ·

量子测量的玻尔解释语境

成素梅, 郭贵春

(山西大学 科学技术哲学研究中心, 山西 太原 030006)

摘要: 文章立足于第一手资料,系统地阐述了玻尔关于量子观察的意义语境、微观客体与测量仪器之间的关系语境,以及量子测量现象的描述语境。

关键词: 玻尔;量子测量;现象;语境

中图分类号: O413.1;N02

文献标识码: A

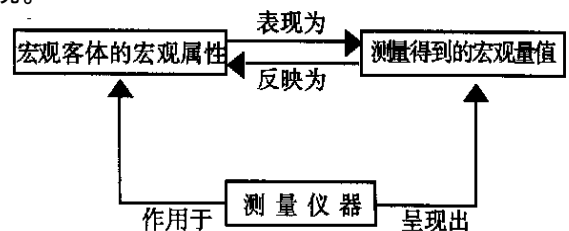
文章编号: 1000 - 5935(2004)03 - 0007 - 05

在量子力学的发展已经经历了 78 年之久的今天,人们仍然还在不断地对玻尔的解释和观点进行着详细的评论与认真的研究。并且他们在这些评论与研究的过程中,把玻尔的著作作为必要的参考文献来引用。特别是在以后传播量子力学的过程中,除了玻尔的合作者之外,玻尔的解释还曾被不同版本的教科书的作者,在不同的意义上依照自己的理解给出了不同的诠释;同时,也曾被一些科学哲学家从不同的视角用来支持截然不同的观点。在物理学的发展史上,物理学家从未对任何一种观点的关注,能够持续如此之久,也从未有任何一种观点能够引起如此之多的几代物理学家和科学哲学家的关注。问题在于,所有这些工作都在不同程度上忽视了对玻尔的测量理论的系统研究。因此,重新从原始文献出发,系统地分析与研究量子测量的玻尔解释语境,不仅有助于澄清“测量”和“观察”等术语的基本意义,而且对于理解与思考科学哲学研究中的实在论与反实在论之争,具有重要的理论与现实意义。

一 量子观察的意义语境

玻尔对自己观点的阐述是从简单的观察开始的。在经典物理学的观察语境中,观察对象与观察者(包括测量仪器在内)之间有一个相对明确的区别,观察的过程就是客体特性呈现的过程,也是主体

对测量信息的被动感知的过程;接受数据的过程不会对这些数据本身产生影响。这种简单的常识性的测量概念,形成了如下图所示的宏观观察的意义语境。



可是,依照玻尔的观点,在量子测量的观察语境中,由于作用量子的存在,试图明确区分客体的自主行为与客体和测量仪器之间必然存在的相互作用,不再是一件可能的事情。观察行为将会对客体产生一种不可避免的实质性的干扰。这种干扰排除了客体与仪器之间做出明确区分的可能性,在测量仪器与客体之间的分界线变得模糊的地方,不仅使我们失去了得到客观世界的感觉经验的前提条件,而且也摧毁了以宏观世界为基础的概念框架。因为客体与测量仪器之间的边界,是我们有能力形成关于客体的明确概念的一种界线。这样,在量子测量中,观察的可能性问题成为一个突出的认识论问题。一方面,为了描述我们的思想活动,需要把特定的客观内容置于与感觉主体相对立的位置;另一方面,由于

收稿日期:2003 - 08 - 28

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,研究方向为物理哲学与科学哲学;

郭贵春(1952 -),男,山西沁县人,山西大学校长、科学技术哲学研究中心主任、教授、博士生导师,研究方向为科学哲学。

感觉主体也属于我们的思想内容,所以,在客体与主体之间不再有确定的分界线。

玻尔认为,“感觉形式的失败与人们通常创造概念的能力的局限性之间存在着密切的联系。感觉形式的失败,是因为不可能把现象与观察手段严格分离开来;人们创造概念的能力的局限性,来源于我们在主体与客体之间的区别。实际上,这里产生了超出物理学自身范围的认识论与心理学问题。”^[1]玻尔的这种观点与康德的观点十分类似。康德认为,客观经验这一概念,预设了存在着主观经验的概念,即区分纯粹的主观经验与纯粹的客观经验的一种认识能力。在主观认识与客观认识不可能区别开来的地方,也就不可能形成对客体的认识。玻尔认为,对日常经验的描述预设了在时空中发生的现象过程具有无限的可分性,并且现象的所有阶段在不间断的因果链条中联系在一起。^[2](P87)然而,在观察客体与观察仪器之间没有明确区别的地方,就不存在对可能提供感觉经验的客体做出明确的认识。

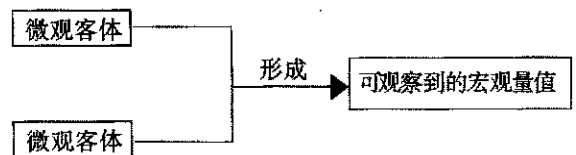
玻尔把在微观物理学中不可能保证在现象与观察之间做出明确区分的困难,与心理学的自我意识过程中所存在的困难进行了比较。他认为,在心理学中,感觉主体可能成为自我意识的一部分,这限制了客观地进行自我认识的可能性。自我认识要求主体与客体之间的边界是可变的与相对的。在原子物理学中,量子观察的过程预设了一种观察仪器的存在,并且不能够把这种仪器当成是被观察的客体,也不能够用量子力学的术语来描述观察系统的行为与结果。所以,在客体与仪器之间的任意区分和作用量子的存在,将会限制观察的可能性。

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,即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話,那么,在这个意义上,我们就不可能说一个微观实体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,而应该解释为,测量结果只是对依赖于测量语境的对象的某种相对特性的反映。因为客体与测量仪器之间的不可避免的相互作用,绝对地限制了谈论独立于观察手段的原子客体的行为的可能性。在根本意义上,明确地使用描述量子现象的概念,将依赖于观察条件。在这里,测量仪器成为有意义地运用物理概念的一个必要条件。

为此,玻尔在1948年撰写的“关于因果性与互补性概念”一文中明确指出,“在这种陌生情境的描

述中,为了避免逻辑上的不一致,格外地注意所有的术语问题和辩证法是十分必要的。因此,在物理学的文献中,经常发现像‘观察干扰了现象’或者‘测量创造了原子客体的物理特性’这样的语言表述。‘现象’和‘观察’还有‘属性’与‘测量’这些词语的用法,与日常用语和实际的定义几乎是不一致的,因此,容易引起混淆。作为一种更恰当的表达方式,人们可能更强烈地提倡限制使用‘现象’一词,是指在特殊情况下所得到的相互排斥的观察,包括对整个实验的描述。在原子物理学中,包括这些术语在内的观察问题并没有任何特殊的复杂性。因为在实际的实验中,所有关于观察的证据都是在可重复的条件下获得的,并且通过原子的粒子到达摄影板上的点的记录,或者是通过其他的放大装置的记录表现出来。”^[2](P146)

玻尔的这一段话至少包括了两层含义:其一,尽管观察现象的产生依赖于观察条件,但是,在量子现象的获得并不明确地涉及某个具体的观察者的意义上,可以说,量子观察完全是客观的;其二,在原子物理学中,观察的客观性概念的含义,已经发生了语义上的变化。在这里,客观性不再是指对客体在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。这些论述说明,承认存在着主体间性,并不等于说是“测量创造了量子客体的物理特性”。事实上,在具体的实验中,如果说观察的过程创造了所观察到的特性,那么,仍然使用“观察”这一术语就是用词不当。或者说,如果认为被观察的位置是由观察者的行为创造的,那么,说“观察”或者“测量”客体的位置就是一件让人不可思议的奇怪事情。显然,按照这种理解方式,在量子测量的语境中,“观察”与“现象”这些术语的使用,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,而是在新形式的语言环境中,发生了语义与语用的变化,形成了如下图所示的微观观察的意义语境。

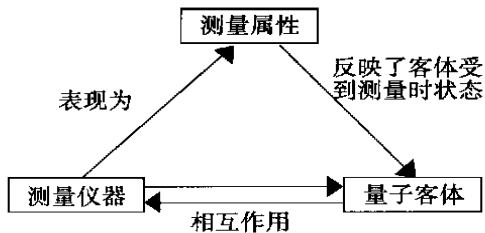


问题是,在这种微观观察的意义语境中,实验现象所表现出的可观察到的宏观量值,既不是主观的,也不代表客体的内在属性,那么,这种量值是在测量过程中产生出来的呢,还是在测量之前就存在着呢?如果认为是在测量过程中产生出来的,那么,如前所

述,就不能再使用观察与测量这样的术语;如果认为是测量之前就存在着的,那么,它又为什么不代表客体的内在属性呢?要准确地理解玻尔对这一问题的回答,必须进一步对量子测量过程中的客体与仪器之间的关系语境做出分析。

二 量子系统与测量仪器之间的关系语境

玻尔对量子测量中的客观性概念的理解,是在他所设定的微观客体与测量仪器之间的关系语境中进行的。他认为,所有的观察最终都依赖于两个相互独立事件在时空中的一致性,即观察客体与观察仪器之间的一致性。这种一致性通过客体与仪器的相互作用体现出来。在经典物理学中,这种测量的相互作用原则上可以任意小或被忽略,或者被确定或控制。但是,在量子测量过程中则不可能如此。在量子理论中,如果不参照“实验的设置”,用来描述微观实体或微观状态的术语将是无意义的。玻尔把测量客体的特性的表现对测量仪器的这种依赖性,称之为量子测量中的整体性。所以,在量子测量与观察的过程中,任何为了明确地测定客体与仪器之间的相互作用,希望把客体与仪器分离开来的企图,都将违反这种整体性。按照玻尔的这种整体论的观点,在量子测量的过程中,量子客体与测量仪器之间形成了如下图所示的整体论的关系语境。



在这种整体论的关系语境中,现象总是一种被观察的现象,没有观察来谈论现象是无意义的,即测量仪器的选择成为测量现象产生的前提条件。在没有对量子系统做出精确而专门的实验设置的情况下,谈论量子系统的物理特性是没有价值的。这说明在量子测量的过程中所观察到的对象的行为,不同于对象在没有受到测量时的行为。或者说,测量得到的关于对象的特性,不是对象在没有受到测量之前的特性。在这种意义上,我们不可以再把测量得到的量子系统的某种特性,看成是量子系统本身所固有的特性,而应该看成是既属于量子系统,同时也属于实验设置。但是,这种行为并不是由测量仪器创造出来的,而是对象在测量仪器作用下的一种表现。改变特定仪器的作用,对象的表现也会随之发生改变。

微观对象与测量仪器之间的这种整体性,可以在两种不同的意义上来理解:一方面,在测量过程中,对象与仪器形成了一个动态的整体;另一方面,对象与仪器形成了一个语境论的整体。玻尔指出,在对象与仪器的相互作用中,人类的发明将会影响物理实在的结构,从而使被观察的量子系统拥有了仪器的特性。然而,这并不等于说,测量结果是由测量仪器创造出来的。测量仪器的存在只是对象行为得以表现的一个必要条件。不同的测量语境,将表现出不同的对象行为。在这种情况下,如何理解对象、测量仪器与测量结果之间的关系,就成为理解量子测量的玻尔解释的关键所在。

首先,海森堡运用“倾向——特性论”的观点,解释对象、仪器与测量结果之间的关系。这种观点认为,不可观察的微观对象的特性具有潜在性,潜在性对应于现实性。正是通过测量仪器与微观对象之间的相互作用,才使对象的特性由潜在的可能性转化为现实的确定性。通常也把这种观点称之为“潜能论”的观点。巴布认为,实际上,这种倾向——特性论的观点来自玻尔。因为玻尔所讲的整体性,是指微观对象与测量仪器之间的非分离性,仪器是实现对象的倾向性的一个基本条件,即测量使对象的潜在特性得到了实现。^[3]但是,也有人认为玻尔反对潜能论的观点。^[4]事实上,玻尔本人也从未明确地使用过类似的表述。

其次,由费耶阿本德提出的关系——特性论的观点认为,微观客体的可观察特性是一种关系,即一种微观系统与测量仪器之间的关系。测量仪器的状态的改变,自动地会带来客体的状态的改变。所以,从这个意义上来看,客体与仪器之间的相互作用不是客体特性改变的必要条件。^[5]罗森费尔德也支持这种关系论的解释。^[6]

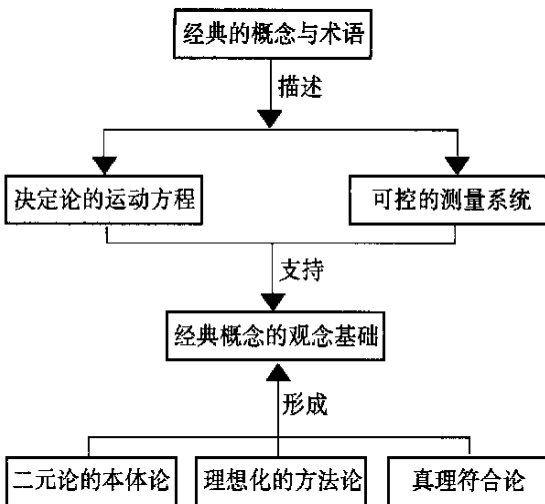
第三,是相对——特性论的观点。这是莫道克通过对上面两种观点进行了分析与批评的基础上提出来的。他认为,玻尔所讲的不能离开观察的条件来谈论客体的特性,是指客体的特性是相对于测量仪器而言的,而不是指对象与仪器之间的一种关系。“相对”(relative)与“相关”(relational)是两个不同的概念。他举例说,“高”是与绝对特性相区别的一个相对特性,而不是一个相关的特性,尽管在“比X高”这样的具体语境中,“高”是一个关系特性,但是,这一事实不可能使“高”这一特性变成一个相关特性,而只能说“高”是相对特性,而不是绝对特性。那么,同样,对象特性的表现依赖于测量设置,并不等

于说对象的特性是一种关系特性,而是一种与绝对特性相对应的相对特性。^[7]

我们认为,对玻尔观点的这两种解读方式是内在相关的。关系——特性论所强调的是微观对象与测量仪器之间的关系语境;而相对——特性论所强调的是“客观性”概念的意义语境。因为玻尔对微观测量过程中的客观性概念的理解,是与他对于微观客体与测量仪器之间的整体论关系语境的论述分不开的。所以,在这种意义上,这些不同的解读方式所支持的其实是一种语境——特性论的观点。

三 量子测量现象的描述语境

玻尔对观察的客观性问题与对象和仪器之间的整体性关系的理解和论述,涉及微观世界与宏观世界的联系与区别的问题。一方面,量子理论的产生,揭示出了微观客体不同于宏观客体的根本特征,提出了一套与日常语言的描述明显不一致的新的符号体系与运算法则。这些语言所表达的内容和逻辑结构与经典物理学语言所表达的内容和逻辑结构是完全不同的;另一方面,玻尔认为,我们需要运用日常语言来进行交流,特别是需要运用经典概念把量子理论的抽象符号与实验的具体数据联系起来,在这种联系中,经典术语成为描述微观现象的最好的表达方式。但是,我们知道,经典物理学中的图像是在牛顿力学与经典电磁场理论的概念框架内提炼出来的,其重要的基本特征构成了经典测量现象所具有的下列描述语境。



然而,在玻尔对量子测量现象的描述语境中,作用量子的发现带来了量子世界中的不连续性观念的产生,并且提出了不可分性的基本假设。不连续性观念的产生,给量子世界中带来了一系列的根本性问题。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,而是以不连续性的观念为前提,它们就会成为意义不明确的概念或词语;^[8]其次,这种观念意味着,不连续性必然使我们无歧义地使用经典概念的可能发生某种变化;第三,不可分性假设的确立,使得我们对量子测量现象的描述,总是与一定的实验语境联系在一起。现象的表现与实验语境之间的整体性,要求在量子测量过程中,把对象的“表象”看成是一个整体。问题是,如果把“表象”看成是一个整体,那么,就有必要对量子测量所隐含的经典概念的意义与使用范围提出质疑,即需要对“现象”一词进行重新定义。

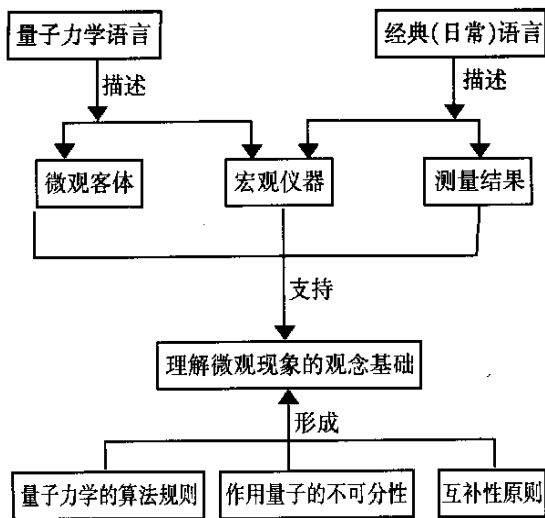
此外,在量子领域内,原先分别用来描述粒子运动的能量与动量和描述波的传播波长与频率这些互不相关的概念,现在通过作用量子内在联系地联系在一起。玻尔认为,微观客体既能体现出粒子性,又能体现出波动性,同时运用这两类概念来描述同一个微观对象时,其描述的精确性要受到一定的限制。

在直观图象的意义上,玻尔运用互补性原理,“使我们有可能在不离开日常语言的前提下,创造一个框架对这些新的经验做出详尽的描述。”^[9]从根本意义上来看,玻尔的互补性原理是量子假设的直接推论,它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,它是无法同时使用某些经典概念的事实条件的发现。玻尔认为,他的这一发现与爱因斯坦的相对论中的发现是相同的。在相对论中,光速不变原理说明,物体的运动速度不能够超过光的传播速度。这种事实的发现,要求在与物体运动的参照系相关的框架内,修改经典概念的使用,从而产生了相对时空观的概念。

问题在于,如果强调用经典语言来描述量子测量现象,那么,在量子测量过程中,就必然存在着两种描述语言:一种是用来描述微观客体运动变化的量子力学的符号语言;另一种是用来描述测量仪器与测量结果的经典语言。那么,在具体的量子测量系统中,哪一部分需要用量子语言来描述,哪一部分需要用经典语言来描述呢?这种区分的结果是必须在客体与最终的测量仪器之间做出明确的区分。但是,由于作用量子的存在,这种区分是不可能的。玻尔为了解决这个矛盾,需要对最终的量子测量仪器做出进一步的假设:其一,测量仪器应该是相对大的宏观客体,否则,就不可能形成能够用经典语言所描述的测量结果;其二,宏观测量仪器应该确保有一定的结果可以被观察到,否则,仪器就失去了作为测量手段的基本功能。量子测量的这两个必要条件,不

仅能够保证测量过程一定会产生出被观察到的测量结果,而且能够保证在用经典术语对量子测量仪器进行描述时,可以忽略掉仪器的量子力学特征。

这样,虽然在量子测量的过程中,微观客体与测量仪器之间的整体论的关系语境,使得客体与主体之间的分界线变得模糊起来,但是,通过大的宏观仪器的假定,可以保证,在能够忽略掉量子效应的区域内,使得用经典语言来描述仪器的目的,与用量子语言来描述测量仪器的目的保持一致。或者说,只有在对量子测量过程的量子力学的描述与经典语言的描述确实等价的区域内,才能使在客体与主体之间的自由分割成为可能。因此,按照玻尔的观点,在量子测量过程中,虽然对量子系统的演化行为的描述是由量子力学的符号体系来完成的,但是,对具体的量子测量现象的描述则最终是由既相互排斥又相互补充的经典概念来完成的。这样,形成了如下图所示的关于量子测量现象的描述语境。



四 结语

上述三种语境是相互统一和彼此依赖的,它们共同构成了量子测量的玻尔解释语境。然而,玻尔把观察者在量子测量过程中用来“看”或“听”的测量仪器,看成是必须用经典物理学的术语来描述的比较大的宏观系统,并强调测量仪器与量子客体之间

所存在的不可分离的整体性的做法,不过是量子力学的算法规则与经典物理学的理解观念的一种好的嫁接。虽然这种嫁接的结果在客观上起到了类似于退相干方法的作用,绕开了冯·诺意曼把测量仪器理解为是遵守量子力学规律的微观系统所带来的测量困境,可是,从物理学的内容来看,玻尔并没有提出真正的关于量子测量的动力学模型,而只不过是一种认识论方案。这种方案不可能从根本意义上为“波包塌缩”提供一个清晰的因果性的说明机制。因此,从20世纪下半叶开始,量子测量的玻尔解释遭受了来自不同方面的批评。

参考文献:

- [1] The Philosophical Writings of Niels Bohr Volume I: Atomic Theory and the Description of Nature [M]. Woodbridge, Connecticut: Ox Bow Press, 1987. 96.
- [2] The Philosophical Writings of Niels Bohr Volume IV: Causality and Complementarity [A]. Supplementary papers edited by Jan Faye and Henry J. Folse. Woodbridge, Connecticut: Ox Bow Press, 1998.
- [3] J. Bub, The Interpretation of Quantum Mechanics [M]. Reidel, Dordrecht, 1974. 43 - 44.
- [4] D. Bohm and B. J. Hiley, The Undivided Universe: an ontological interpretation of quantum theory [M]. London and New York, 1993. 19.
- [5] P. Feyerabend, Problems of Microphysics [A]. R. G. Colodny, Frontiers of Science and Philosophy [C]. Allen & Unwin, London, 1962. 217 - 219.
- [6] L. Rosenfeld, Misunderstandings about the Foundations of Quantum Theory [A]. S. Körner, Observation and Interpretation [C]. Butterworths, London, 1957.
- [7] Dugald Murdoch, Niels Bohr's Philosophy of Physics [M]. Cambridge University Press, 1987. 138 - 154.
- [8] Andrew Whitaker. Einstein, Bohr and The Quantum Dilemma [M]. Cambridge University Press, 1996. 169.
- [9] Catherine Chevalley. Niels Bohr's Words and The Atlantis of Kantianism [A]. Faye and Henry J. Folse. Niels Bohr and Contemporary Philosophy [C]. Kluwer Academic Publishers, 1994. 39.

Bohr's Interpretation Context of Quantum Measurement

CHENG Su - mei, GUO Gui - chun

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

Abstract: This article will expatiate systematically Bohr's meaning context of quantum observation, relation context between quantum object and instrument, and description context of the phenomena of quantum measurement, basing on the original literature.

Key words: Bohr; quantum measurement; phenomena; context

(责任编辑 郭庆华)