

论思想实验的合法性

——对波普尔思想实验观的批评

赵煦

(河海大学马克思主义学院, 江苏南京, 210098)

摘要: 思想实验作为一种有效的方法, 被波普尔运用于多处论证中。但他认为, 在运用思想实验捍卫理论而对控方进行反击时, 不能引入任何理想情况或其他特别假设, 因为这样常会导致对思想实验的狡辩式使用。这是不可接受的。他以爱因斯坦和玻尔就 EPR 之争为例, 对这类思想实验作出了严厉批判。波普尔的狡辩式的思想实验观存在着严重的问题。事实上, 实验条件的理想化是思想实验的本质特征, 思想实验无法摆脱条件理想化的运用。只要理想化的条件设置能够对科学问题的解决有所帮助, 都是合法的。破除波普尔的狡辩式的思想实验观, 将使得思想实验在当代科学前沿能够得到更加有效的运用。

关键词: 波普尔; 思想实验; 狡辩式的思想实验观; EPR 论证; 理想情况

中图分类号: B0:G30

文献标识码: A

文章编号: 1672-3104(2015)06-0001-07

在科学史的许多关键时刻, 思想实验^①都曾发挥过重要作用, 在推动人类在深入认识世界、探索世界的过程中, 取得了丰硕的成果, 以至于爱因斯坦认为, 思想实验方法是“人类思想史上最伟大的成就之一, 而且标志着物理学的真正开端”^{[1](4)}。然而, 直到目前为止, 人们“仍未弄明白的是, 为什么它们一直能有如此显著的功效”^[2]。在波普尔的著作中, 思想实验作为一种有效的方法, 被波普尔广泛运用于多处论证中。但波普尔有关思想实验的适用范围——特别是他所谓的狡辩式的思想实验的主张是存在严重问题的。破除波普尔的狡辩式的思想实验观, 将使得思想实验在当代科学前沿能够得到更加有效的运用, 发挥更加积极的作用。

一、波普尔的思想实验主张

在波普尔看来, 由于思想实验在科学史中取得的累累硕果, 其地位是不容置疑的。但波普尔指出, 有关思想实验的“某些论证方法是不可接受的”^{[3](424)}, 并对这种“论证方法”提出了严厉的批评。

(一) 波普尔的思想实验分类

根据思想实验发挥作用途径的不同, 波普尔将思想实验分为三类。他最为推崇的一类思想实验为“批判的使用”的思想实验(即批判式的思想实验)。伽利略的自由落体运动实验是此类思想实验运用的典范, 是对思想实验的“最好使用”。此外, 对思想实验的启发性的使用(即启发式的思想实验), 也极有价值。德谟克利特的原子思想实验可为代表。他指出, 启发式的思想实验可为某些科学现象提供解释和说明, 也是合法且重要的。

波普尔特别关注的是第三类思想实验——他称之为对思想实验的狡辩式使用(即狡辩式的思想实验), 也就是他认为不可接受并提出严厉批评的那类思想实验。他认为, 运用思想实验对理论加以批评时, 人们可以“通过展示某些被理论忽视的可能性来批评该理论, 通常都是被允许的, 但是, 要使用思想实验反击这些批评, 就得格外小心”^{[3](426)}。因为波普尔认为在批判式的思想实验中可以引入一些理想情况或作出特别假设。但在捍卫理论而对控方进行反击时, 则“不能引入任何理想情况或其他特别假设”^{[3](426)}。但随后他又提出一个补充: 如果引入理想情况或特别假设, 当且仅当“理想情况必须是对控方的让步, 或至少为

收稿日期: 2015-03-19; 修回日期: 2015-05-24

基金项目: 2012 年国家社科基金青年项目“当代科学前沿背景下的思想实验研究”(12CZX015); 2012 年江苏省社科基金项目“霍金的时空实在论思想研究”(12ZXD015); 2014 年江苏省高校哲学社会科学基金项目“量子物理标准模型的哲学研究”(2014SJD202); 2014 年中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“思想实验的本质研究”(2014B19514)

作者简介: 赵煦(1978-), 男, 江苏泗阳人, 哲学博士, 河海大学马克思主义学院副教授, 主要研究方向: 科学哲学, 科技与社会

控方接受时,把思想实验用作论据才是合法的”^{[3](426)}。如果违反了这一要求,用来反击对方的任何理想情况都不允许在思想实验中出现。

根据波普尔的主张,一个思想实验被称之为狡辩式的思想实验的具体要件有三:其一,该思想实验是在某一理论遭到批判而对控方进行反击时提出的;其二,该思想实验引入了理想情况或特别假设,并以之作为前提条件,并在此基础上为自己的主张展开论证;其三,该思想实验中引入的理想情况或特别假设不是对对方的让步,而是完全站在自己的立场上,为己方加以辩护,所以无法为控方所接受。

(二) 波普尔对狡辩式的思想实验的态度

波普尔认为,量子力学中有多处论证是对思想实验的狡辩式使用。其中最为典型的要数玻尔对爱因斯坦、波多尔斯基和罗森的 EPR 佯谬中有关量子力学完备性质疑的回应中所作的辩护。他指出,在辩护中,玻尔没有遵循思想实验反驳批评时“不能引入任何理想情况或其他特别假设”的要求。在 EPR 佯谬中,爱因斯坦等人考察了两个系统 A 和 B^②。由于二者之间曾有过相互作用^③,但随后处于分离状态,因此,人们能够在对 A 不产生影响情况下,通过量度 B 的位置(或动量)来计算 A 的位置(或动量)。这说明量子力学理论是不完备的。波普尔指出,在回应中,玻尔主要工作是为了说明对 B 的位置和动量两个方面的量度,都会对参照系产生涂污效应,“尽管 A 不受干扰,但它的坐标却可能由于参照框架的涂污而被涂污”^{[3](427)},而没有指出爱因斯坦等人论证中引入的理想状况存在问题。

波普尔指出,玻尔的辩护令他无法接受。他的反对理由有三:①在 EPR 佯谬提出之前,人们对于系统的位置或动量无法同时得知,主要归因于量度对系统本身的干扰。波普尔指出,玻尔抛弃了这一根本立场,取而代之以“系统位置或动量被涂污的原因,是因为我们干扰了自己的参照系,或坐标系,而不是说我们干扰了物理系统”^{[3](427)}。波普尔认为,玻尔没有说明他是否承认他的旧的观点已为 EPR 佯谬的论证所驳倒,也没有说明虽然旧的观点被驳倒,但立足于其上的基本原则仍没有被摧毁。这正符合 EPR 佯谬的意图——反驳测不准原理的说明,从某种意义上看,“玻尔回应不公开地承认了这思想实验成功实现了其目的”^{[3](427)}。②玻尔的对位置量度和对动量量度的两个参照系统——选择了其中一个就阻绝了对另一个选择的可能性——的主张是特设的。波普尔认为,其他方法,诸如借助分光镜等手段,也有可能实现对粒子动量的量度。也就是说,玻尔描述的参照框架并不是对

粒子量度的唯一途径,选用分光镜等手段可以有效实现对粒子的量度,且不产生玻尔所强调的涂污效应。

③玻尔借助移动隔板来量度粒子的做法并不能支持对 EPR 佯谬所作论证的反驳,且其具体量度方法在波普尔的眼中,也是不被允许的。

在波普尔看来,玻尔对 EPR 佯谬所作的回应,“并没有遵循只使用有利于控方的理想情况或特殊假设的原则”^{[3](428)}。这正是狡辩式的思想实验的典型,是令人无法接受的。

二、回到爱因斯坦和玻尔之争

由于确定论思想的根深蒂固的影响,爱因斯坦认为,量子力学对于粒子世界所作出的描述,原则上都是统计性的,在他的内心深处,是无法“相信我们应当满足于对自然界的如此马虎、如此肤浅的描述”^[4]。正是出于这一不满,为了说明量子力学的不足,爱因斯坦和波多尔斯基、罗森一道构想了一个思想实验——EPR 佯谬,挑起了有关量子力学理论是否是完备的争论。

(一) EPR 佯谬的论证策略

在 EPR 佯谬中,爱因斯坦、波多尔斯基和罗森认为,判断一个物理理论成功与否,可以提出两个问题:A.该理论是正确的吗?B.该理论所提供的描述是完备的吗?^{[5](777)}只有当上述两个问题都得到肯定的回答时,该理论方可令人满意。对于问题 A,我们只需将理论对世界所作的描述或预言与人的经验进行比对^④,也就是看理论是否可与经验相符合,其答案即可呈现。而对于问题 B 的回答则较为复杂,因为它涉及到如何定义“完备”和“实在”这两个概念的问题。爱因斯坦认为,在一个完备的理论中,“物理实在的每一个元素都必须在该理论中有它的对应”^{[5](777)}。而关于物理实在,爱因斯坦则没有做出严格的说明,只是给出了一个物理实在的元素的判据,即“如果对一个体系没有任何干扰,我们就能够确定地预测(即几率等于 1)一个物理量的值,那么,必定存在着一个与这一物理量相符合的物理实在的元素”^{[5](777)},以此作为物理实在的充足条件。

在完成了“完备”和“实在”概念的界定及其与物理理论的关系判定之后,爱因斯坦便运用上述判据对量子力学理论进行了考察。在量子力学中,根据测不准原理,对一个自由粒子的描述由两个物理量组成:位置(d)和动量(m)。要得到其中一个物理量的正确知识,则就排除了得到另一个物理量的正确知识的可能

性。据此我们可知，对应于这两个物理量的算符(q)就必然是不可对易的。而用波动函数来描述粒子状态时，粒子的位置(或动量)则都是实在的，即在规定的状态中，必然存在着两个对应于同一个粒子状态的值。由此，爱因斯坦、波多尔斯基和罗森得出结论：“要么，(i)由波动函数所提供的有关实在的量子力学的描述是不完备的；要么，(ii)当与两个物理量相符合的算符不可对易时，这两个物理量就不可能同时都是实在的。”^{⑤[5](778)}

爱因斯坦、波多尔斯基和罗森接下来的工作就是要证明波动函数对量子力学所作的描述是不完备的。为了达到此目的，爱因斯坦他们假设存在两个系统，I 和 II(有时候爱因斯坦将两个系统简化为两个粒子：A 和 B)。对于这两个系统的考察，以两个时刻(t_1 和 t_2)分开。先假定在时刻 t_1 之前，系统 I 和 II 的状态是已知的，在时刻 t_1 与时刻 t_2 之间某一时刻 $t(t_1 < t < t_2)$ ，两个系统曾发生过相互作用，时刻 t_2 之后，二者便一直处于分离状态^⑥。根据薛定谔方程，在时刻 t_2 之后，系统组合(I+II)的状态是可知的，那么，只要对系统 I 加以量度，我们就可以得到一个描述系统 II 的波动函数。而测不准原理规定，我们对系统 I 的位置和动量的量度方式是不一样的，而且，更为关键的是，两种方式的量度将得到两个不同的物理量。这就意味着，将会有两个不同的波动函数同时为系统 II 作出描述。论证至此，爱因斯坦他们发现，假如波动函数能够为物理实在提供完备的描述的话，则“与两个不可对易的算符相符合的物理量，能够同时具有实在性”^{[5](780)}。这与前文所述的“当与两个物理量相符合的算符不可对易时，这两个物理量就不可能同时都是实在的”的论述不一致，前后形成一对悖论。

每一个函数都对应着一个物理量^⑦，且这两个物理量的算符是不可对易的。而这两个不可对易的物理量却对应着同一个实在。此时，EPR 佯谬论证的结论已基本呈现出来。从上述悖论现象中，我们不难得出：由波动函数所提供的关于物理实在的量子力学的描述是不完备的。^{⑧[5](780)}

(二) 玻尔的回应

对于爱因斯坦的质疑，玻尔迅速给出了回应。首先，玻尔指出，EPR 佯谬中所作的论证“并不能恰当地契合我们在原子物理学中所面对的真实情况”^{[6](696)}，他认为，从“互补性”的观点看，“量子力学在其适用范围之内似乎是有关物理现象的一种完全合理的描述，例如我们在原子活动中所遇到的。”^{[6](696)}

玻尔对于自己主张的论证进路是，首先表明惯常

的自然哲学观在量子力学领域中的运用是不妥的，因为“由量子行为的存在本身所决定的客体和测量仪器之间的有限相互作用要求——因为如果测量仪器为达到目的发挥了作用，就不可能控制客体对仪器的反作用——最终必须放弃经典的因果性概念，并对我们看待物理实在问题的态度进行根本的修订”^{[6](697)}。进而指出，EPR 佯谬中的论证也包含着这样一种本质的“歧义”。他的具体论证从对单个粒子的两次量度开始，如果对粒子进行量度的第一个光阑和仪器的其他部分一样是被“刚性地固定在空间参照系的底座上”的，粒子通过光阑时与光阑交换了的动量就必然会传递到仪器底座上，对连同第二个光阑在一起的底座产生影响，从而对第二次量度的结果造成涂污；如果第一个光阑不和仪器的其他部分相连，量度的过程就会“导致对它们的空间-时间坐标的控制精确性的放弃”^{[6](698)}。

两种不同的量度方式都由于不可避免的涂污效应而必须要“放弃”对一部分精确性的追求，但玻尔指出，这并不意味着量子力学所作出的是一种不完备的描述，而只是一种不可能性：在量子力学理论的领域中，不可能完全摆脱被量度对象对仪器反作用的影响。在对位置进行量度时，反作用就表现为动量的传递；在对动量加以量度时，反作用就表现为位移的发生。^⑨因此，“量子力学和普通统计力学之间的任何比较——无论它对理论的合理呈现可能会多么有用——基本上都是不对头的。”^{[6](699)}当然，玻尔的上述论证从根本上否定了爱因斯坦、波多尔斯基和罗森在 EPR 佯谬中的主张，因为他们的思想实验的前提条件“‘对一个体系没有任何干扰’的表述中包含着一种模糊性”^{[6](700)}。接着玻尔进一步指出，这些条件不但确定着被量度粒子的行为的预测，而且还构成了可以恰当地和“物理实在”相联系的对粒子描述的一个部分，因此，爱因斯坦、波多尔斯基和罗森的有关量子力学对物理实在的描述是不完备的论据是不成立的。恰恰和爱因斯坦他们相反，玻尔认为，“这一描述显示了量度的一切可能性的合理使用的无歧义的诠释，且这些诠释与量子理论中客体和量度仪器之间的有限而不可控制的相互作用相容”^{[6](700)}，因而，玻尔的结论是：量子力学为物理实在所提供的描述是完备的。

三、对波普尔的批判

从爱因斯坦和玻尔之争中，我们还原了双方的真实想法，以及他们的论证策略和论证进路。当然，历史的本原也暴露出波普尔的思想实验观，尤其是他的

狡辩式的思想实验主张中存在着严重的问题。

(一) 波普尔三点反对理由的问题

在他的反对理由①中,波普尔指出,玻尔在对爱因斯坦他们的回应中,强调系统的位置或动量被涂污的原因是量度涂污了参照系统,这和哥本哈根学派此前一贯坚持的^⑧不同。诚然,由于涉及到两个系统之间的关系,玻尔的论证策略与以往有所不同,但事实上,与对单个系统的量度相比较,二者并无本质上的差异。因为,玻尔无论是强调量度对系统本身的干扰,还是强调量度对参照系统的干扰,都是为了说明量度“必须允许一种对应于量子力学测不准关系式的活动范围”^{[6](698)},且最终量度结果的精确性和测不准原理以往的要求也是相吻合的。因此,这并非如波普尔所言——玻尔的回应当于承认 EPR 佯谬对测不准原理的某种解释。

在反对理由②中,波普尔认为,借助分光镜就可能实现对粒子动量的量度,而分光镜和量度仪器处于同一个框架内。这样,就可否定玻尔的“选择了一个参照系就阻绝了另一个参照系选择的可能”的说法。但事实上,玻尔在他的回应中,先论述了对单个系统量度中存在的问题,后将问题推广至对两个粒子的量度。在此问题上,波普尔似乎在刻意回避了玻尔最初的对单个系统量度的论证,即两个“光阑”都处于一个参照框架内,但量度中无法避免的能量交换仍然会造成对参照系的涂污。波普尔此时的论证无疑属于玻尔回应中所作论证的两种情况之一。^⑨更何况,波普尔在他的反对理由①中,一直坚持认为玻尔对“量度干扰粒子本身”的观点放弃表示不满。也就是说,波普尔是赞同量度必然伴随能量交换,从而产生涂污效应。

同时,在波普尔提出的替代方案中,他没有让我们清楚明白地知道如何使用分光镜进行粒子的量度,而不对粒子产生涂污效应。也没有说明分光镜如何与量度仪器的其他部分共处于同一个框架内,而不产生相互作用。似乎只是给我们抛出了一个分光镜凭空悬浮在参照框架中,却又与参照框架中的所有事物都没有任何联系的幻象。

在反对理由③中,波普尔声称,玻尔所描述的用移动隔板来量度粒子的做法,并不构成对爱因斯坦、波多尔斯基和罗森主张的反驳。因为第一次量度会对隔板的动量产生涂污,那么对粒子与隔板接触之前的动量的计算则是无用的。在这里,波普尔似乎没能深刻理解玻尔的原意。事实上,玻尔此处的论证显然意不在此,而只在乎最后的论证指向——两次量度均存在涂污效应,最终结果符合测不准原理,无他。

(二) 对波普尔狡辩式思想实验论的批判

当然,从前文中我们可以看出,玻尔对于 EPR 佯谬的回应的确较为被动。整个过程都只是在一味地运用此前的既有理论为测不准原理进行辩护,所涉及的要点对几年前在对光子盒思想实验的回应中就已经强调过的几乎一样,并无新意。但毫无疑问的是,玻尔的回应当确实构成了对爱因斯坦、波多尔斯基和罗森的反击,维护了量子力学的理论基础。但波普尔却指责玻尔没有遵循只使用有利于控方的理想情况或特殊假设的原则,而将其划归为狡辩式的思想实验之列。诚然,在卡诺循环实验中,卡诺的一系列条件的设置,都属于实验最终理想化状态的一部分,即所有条件都是对反对者的让步,以此来将反对者逼到最后的角落,使得他们不得不承认,只要其中任何一个环节的问题无法解决,最终的理想结果都必然无法实现。这一实验是波普尔所认可的,可引入理想情况或特别假设的思想实验的代表,但他同时要求所有的思想实验都必须符合此原则,则是无理的。因为,有些时候,我们无需向对方作出让步,坚持以己方的主张为出发点,作出有利于己方的论证,在科学史上,也不乏有获得成功思想实验。麦克斯韦妖就是此类思想实验的典范。众所周知,克劳修斯在卡诺循环的基础之上提出的热力学第二定律摧毁了人类第二类永动机的梦想。但热力学第二定律也带来了另一个麻烦,即在提出第二定律的同时,克劳修斯还提出了熵的概念 $S=Q/T$,并将热力学第二定律表述为:在一个孤立的系统中,热传递的过程总会使整个系统的熵增加。这样,人们稍作思考便会发现:如果将熵增定律扩展到整个宇宙,那么宇宙中的热就会不断从高温物体传向低温物体,直至未来某一个时刻整个宇宙中不再存在温差,此时宇宙总熵值达到极大,万物之间将不再会有任何力量能够使热量发生转移。此即“热寂论”。

为了反驳热寂论,麦克斯韦设计了著名的妖思想实验。在实验中,小妖具有特殊的智能,可以追踪每个分子的行踪,并能辨别出它们各自的速度,且能够根据速度快慢决定分子运动方向的能力,以及实验容器所需的理想材料等条件,都是为了说明在不消耗功的情况下,存在容器一侧温度升高,同时另一侧温度降低的可能性。麦克斯韦设置了这一系列理想化条件,都是站在反对热力学第二定律的立场上,指出热力学第二定律存在问题,由此提出应当对热力学第二定律的应用范围加以限制。当然,动摇了热力学第二定律,奠基于其之上的热寂论,必然遭到抛弃。没有使用只有利于对方的理想化条件,恰恰与波普尔能够允许的相反,麦克斯韦的每一个条件的设置,都是为了自身

论证的需要，以反驳热寂论为目标，并最终取得了巨大的成功。这一思想实验构成了对波普尔的狡辩式思想实验的严重反常。事实上，在科学史上，此类思想实验还有许多。

事实上，从表面来看，波普尔对狡辩式思想实验进行了严厉的批判，但仔细分析之后，我们可以发现，他对所谓的狡辩式思想实验的排斥又是谨慎的，甚至可以说是不坚决的。一方面，他特别强调，在反驳相互竞争对手的思想实验时“不能引入理想情况或其他特别假设”，但另一方面又给“理想情况”或“特别假设”的存在留有余地^⑧。任何一个理性的人都会承认，在科学争论中，能够对竞争对手作出让步，并设置有利于控方的条件，是难以做到的。不过，如果真能做到这一点，并迫使对方认可，最终又能摧毁对方的观点，这当然不失为一种好的策略，一个有效的途径，比如波普尔提及的卡诺循环。但纵观整个科学史，此类思想实验并不占主流，并不代表大多数^⑨。因此，波普尔运用一个特例(即卡诺循环)来作为他的主张的佐证，无疑是以偏盖全的做法，令人无法认同。

(三) 波普尔对思想实验的“狡辩式使用”

正如前文所述，波普尔一方面指责玻尔没有对爱因斯坦的理想条件加以质疑，也没有使用有利于爱因斯坦，同时又是爱因斯坦能够接受的理想条件；而另一方面，波普尔对于玻尔的批评理由又显得较为牵强。事实上，在随后进一步的论证中，波普尔本人也犯了与玻尔“同样的错误”——在承认了对方的理想条件的前提下，对控方进行了反驳。例如，在 γ 射线显微镜思想实验中，海森堡假设存在一个理想的 γ 射线显微镜。运用该显微镜，我们能够实现对单个粒子位置或动量进行量度。波普尔认为，海森堡的这一为量子力学奠基的思想实验也是一个狡辩式的思想实验，并对其进行了抨击。在对电子轨道的研究中，由于海森堡考虑到对电子位置测量的不准确度不能小于光的波长，但用波长小于原子大小的 γ 射线显微镜则能够做到这一点。在实验中，“电子的位置可以观测得这样准确，其准确度随 γ 射线的波长而定”^{[7](16)}，亦即 γ 射线的波长越小，对电子位置的测量就越准确。但海森堡同时指出，“如果 γ 射线的波长远小于原子的大小， γ 射线的光量子的动量将远大于电子的原始动量”^{[7](17)}，所以，电子位置的测量越准确，需要的 γ 射线的光量子的动量就越大，而 γ 射线光量子的动量越大，量度对电子产生的涂污效应也就越大，测得的动量值就越不准确。反之，要想得到准确的动量值， γ 射线的波长必须变大，而这将难以获得电子的准确位置。

在 γ 射线显微镜思想实验的基础上，海森堡建立起了三个观点：a.对海森堡测不准公式的解释，这公式说测量精度存在着不可克服的障碍。b.测量过程对被测物的干扰，不论是位置干扰还是动量干扰。c.检测粒子时空“通道”的不可能性。^{[3](432)}波普尔声称，海森堡的上述论证完全无效，他的理由是“海森堡的论证没能证明，对位置的测量与对动量的测量是对称的”^{[3](432)}。因为，海森堡只是论及，要想测得准确的电子位置必须使 γ 射线的波长变得足够小，同时这会涂污电子的动量。但在对电子的动量进行量度时，我们必须将 γ 射线的波长变得足够大，这时光子能量极低，以至于低到没有足够的能量涂污电子。因此，波普尔指出，“观察结果(虽然揭示了动量)没能揭示电子的位置，这位置因而是不确定的”^{[3](433)}，这只能说明我们没有揭示电子的位置，而并非是电子的位置受到了涂污。他进而得出结论：两种情况——测量位置和测量动量的情况——就不是类比关系或对称关系。^{[3](433)}

从以上论述中可知，波普尔的确敏锐地发现，在准确量度电子动量时，位置的不准确只是由于我们不能准确量度，而非受到涂污。但稍作思考后，我们会发现，波普尔的论证最起码存在着两个方面的问题：其一，波普尔在批驳海森堡的 γ 射线显微镜思想实验时，对于海森堡提出的理想化条件没有作出否定。这正如他自己分析EPR论证一样，等于默认了海森堡提出的理想情况—— γ 射线显微镜的可行性以及 γ 射线波长大小变化的实现等。其二，波普尔在从“没能揭示电子位置”的正确认识，到“测量位置和测量动量”的涂污的不对称性的论证，中间偷换了一个概念——把对位置和动量的“准确性”的研究换成了对位置和动量的“涂污”的研究。因为，海森堡提出的 γ 射线显微镜思想实验的初衷只是想要说明电子的位置和动量不能同时准确得出，而波普尔却将这一问题转化为位置和动量不能准确得出是由于产生了涂污效应。显然，正如波普尔所发现的那样，位置不能准确得出并非由于涂污的原因，但这与海森堡的初衷并不冲突，即海森堡只想要得出测不准原理的结果，而并非寻找涂污原因的过程^⑩。因此，波普尔此处对海森堡的 γ 射线显微镜思想实验的狡辩式使用的指责必将再次破产。

四、结语

今天看来，爱因斯坦的EPR佯谬的论证过程无疑

是存在问题的,但爱因斯坦的主要问题是他的信念使之然。爱因斯坦的 EPR 佯谬是建立在对两个相互分离的系统的分析之上的。他认为,根据对系统 I 的量度得出的数据,可计算出系统 II 的状态,其前提条件是,由于两个系统处于分离状态,对系统 I 的量度将不会对系统 II 产生影响。爱因斯坦的论证是如此自然,因为他坚信两个系统分离后便不可能存在相互作用。

爱因斯坦的这一信念正是 EPR 佯谬论证中存在的主要问题。EPR 佯谬提出之后,便有人开始致力于探寻两个相互分离的系统是否可存在关联。后来人们发现,两个相互分离的系统之间被证实的确存在着一种神秘的关联,这一关联被称之为“纠缠”。爱因斯坦的主张是在量子纠缠不可能的基础之上的,而事实表明量子纠缠态是存在的。美国科学家惠勒是提出验证光子纠缠态实验的第一人。1948年,他提出,由正负电子对湮灭后所生成的一对光子应该具有两个不同的偏振方向。一年后,吴健雄和萨科诺夫成功完成了这一实验,证实了惠勒的预言。第一对互相纠缠的光子正式登上历史舞台。2011年,我国科学家潘建伟已成功制备了八光子纠缠态。当然,爱因斯坦的信念问题是他自己所无法克服的。而且,受当时水平的限制,科学也无法证明纠缠态的是否存在。除了上述信念的原因之外,爱因斯坦试图对基本粒子的存在状态作出等同于宏观世界中事物的描述,也是不可取的。因为,自量子力学诞生以来,越来越多的现象表明基本粒子不存在固定的轨道,只能用概率加以描述,而这也是爱因斯坦所不能容忍的。当然,这也属于爱因斯坦的信念导致的问题。

事实上,玻尔也面临和爱因斯坦同样的问题。在当时既有的条件下,他也无法得知量子纠缠态的存在,也就无法对爱因斯坦的论证作出有针对性的反击。因此,在玻尔的回答中,他能够做的只能是说明,在量子力学领域中,我们所遇到的是一种完全超出经典物理学之外的个体性,并一再地重申在对粒子进行量度时符合测不准原理的要求范围,指出 EPR 论证中对粒子的准确量度是不可能的。但玻尔的回应的确显得较为被动,从本质上看,他此时的论证与他多年来的一贯主张并无太大差别,虽然论证进路有了变化。

事实上,思想实验是“原则上应当能够实现这个实验,但在技术上可能是极端复杂的”^{7},甚至是现实世界中“永远也无法做到的,因为不可能把所有的外界影响都消除掉”^{[1](5)},因此,思想实验的条件大多是理想化的。可以说,“一个思想实验其实就是一个条件理想化的实验”^[8],实验条件的理想化是思想实验的本质特征。需要说明的是,与物质实验相比较而言,

条件理想化有效地克服了物质条件的限制,使得思想实验能够在思维中更加自由地运转,但与此同时,实验条件的理想化也导致了思想实验由于无法验证,人们不能直接以经验的方式感知,因而无法完全接受。也就是说,从接受的角度看,由于“眼见为实”的经验的影响,物质实验优于思想实验。不过,这并不是思想实验是否合法的判据。思想实验无法摆脱条件理想化的运用,只要理想化的条件能够对世界的探索或科学问题的解决有所启发,有所帮助的思想实验都是合法的。

注释:

- ① 思想实验,也有人称之为想象实验。主要是相对于物质实验而言的,二者有相同的要素、程序和特征;不同之处在于物质实验中的实验条件必须为现实世界中可以具备的,而思想实验的条件在现实世界往往无法具备,最起码是在当前的科学水平无法提供的,所以,思想实验即为条件理想化的科学实验。正是由于条件理想化的特征,使得思想实验在当代科学前沿,特别是在宇宙学和量子力学中,得到广泛的运用。
- ② 事实上,爱因斯坦、波多尔斯基和罗森在 EPR 佯谬中引入的是两个系统 I 和 II。1935年,爱因斯坦在他给波普尔的一封信中,为了直观明白地说明问题,将两个系统 I 和 II 简化为两个粒子 A 和 B。此后,大多数人都习惯使用粒子 A 和 B 来描述 EPR 佯谬。波普尔此处也是如此。
- ③ 假设我们分别知道粒子 A 和 B 的初始状态,在某一时间段内二者有过短暂的接触或相互作用,之后处于相互分离状态。这是对处于分离状态的粒子 A 和 B 进行考察的前提和背景。
- ④ 有些比对可在理论提出之后立即进行;也有些由于受条件限制,须事后方可比对,例如,爱因斯坦的相对论预言光线弯曲现象,几年后方得到经验验证;甚至有些比对发生在理论提出的数千年后,例如,比萨斜塔实验与亚里士多德理论的比对;还有些比对不是一次性完成的,例如,几百年来,人们对达尔文的进化论的验证一直在进行当中。
- ⑤ 在论证中,如果结果有误,而推理过程无误,那必然是由于前提存在问题。所以,当两个不可对易的物理量不能同时对应于同一个实在的时候,那必然是测不准原理存在缺陷。
- ⑥ 爱因斯坦他们再次想强调的是,由于系统 I 与系统 II 处于相互分离状态,因此,对系统 I 的量度不会对系统 II 产生涂污效应。这可有效避免测不准的规定。
- ⑦ 爱因斯坦假设第一个物理量为 P,第二个物理量为 Q。当然,量 P 为一个实在的元素,量 Q 为另一个实在的元素。那么,两个不同的实在的元素属于同一实在。这是矛盾的。
- ⑧ 在对单个系统进行论证时,爱因斯坦他们先证明了当对应于两个物理量的算符不可对易时,这两个物理量就不能同时是实在的。而在对两个系统进行考察时,爱因斯坦他们的论证策略便发生了变化,此时他们先证明波动函数所作的关于实在的量子力学的描述是不完备的,进而由此否定两个不可对易的物理量不可能同时具有实在性。
- ⑨ 事实上,玻尔认为,这两个方面的结合表征着经典物理学的方法。在此意义上,这两个方面在量子力学理论中被认为是彼此互补的。
- ⑩ 此前,玻尔认为粒子的位置和动量不能同时准确得知是原因对系统的量度必然会造成对系统本身的涂污。
- ⑪ 波普尔此时没有说明分光镜是否被刚性地固定在参照框架内。

如果相连，如何与玻尔论证的第一种情况相区别？如果不相连，又如何与玻尔论证的第二种情况相区别？上述两个问题，波普尔都没有给出交代。事实上，不管分光镜是否与参照框架相连，波普尔的替代方案都等价于玻尔论证的两种情况之一。

- ⑫ 波普尔特别交代，当思想实验中的理想情况和特别假设有利于控方，且其为运用此思想实验的任何控方所不得不接受时，是合法的。
- ⑬ 当科学争论发生时，最为普遍的情况是，争论双方均站在己方的立场上设置条件，据理力争。或许他们所设置的条件并不能为竞争对手所认同，但依然会坚持己见。想想巴斯德和普歇有关自然发生说的著名争论，就会明白波普尔的这一主张是不切合科学史的实际的。
- ⑭ 明确这一点很重要，因为在对电子动量进行量度的过程中，并未涂污电子的位置，但从量度的结果来看，是同样得不到电子的准确位置。这是波普尔偷换概念的关键之处。

参考文献：

[1] 爱因斯坦, 英费尔德. 物理学的进化[M]. 周肇威译. 长沙:

湖南教育出版社, 2010.

- [2] Kuhn, Thomas S. A function for thought experiments [C]// *The Essential Tension*. Chicago: University of Chicago Press, 1977: 240–265.
- [3] 卡尔·波普尔. 科学发现的逻辑[M]. 查汝强, 邱仁宗, 万木春译. 北京: 中国美术学院出版社, 2008.
- [4] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集[M]. 许良英, 李宝恒, 赵中立, 等译. 北京: 商务印书馆, 2012: 478.
- [5] Einstein, Podolsky, Rosen. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? [J]. *Physical Review*, 1935, 47: 777–780.
- [6] Bohr. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? [J]. *Physical Review*, 1935, 48: 696–702.
- [7] W·海森伯. 物理学和哲学[M]. 范岱年译. 北京: 商务印书馆, 1981.
- [8] 赵煦. 思想实验研究的核心问题述评[J]. *哲学动态*, 2011(6): 76–83.

On the legitimacy of thought experiments: Criticisms on Popper's viewpoints of sophistry thought experiments

ZHAO Xu

(School of Marxism, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Thought experiments are an effective method and have been applied to multiple arguments by Popper. But he believes when we use thought experiments to defend theory against the prosecutor, we can not cite any ideals or other special assumptions, because it often leads to a sophistry use of thought experiments, which, however, is unacceptable. Citing the dispute about the EPR argumentation between Einstein and Bohr, he makes a severe critique on this kind of thought experiments. There are some serious problems with Popper's viewpoints of sophistry thought experiments. In fact, idealization of the experiment conditions is the essential characteristic of thought experiments, and thought experiments can not get rid of the use of idealized conditions. As long as the setting of idealized conditions is helpful for the solution of scientific problems, they are legitimate. Getting rid of Popper's viewpoints of sophistry thought experiments, thought experiments will be able to be more effectively applied in scientific frontier.

Key Words: Popper; thought experiment; sophistry type of thought experiment Outlook; sophistry EPR argumentation; ideals

[编辑：颜关明]