

论物理理论的完备性

方玉田 邢永忠

(天水师范学院物理系 甘肃 741001)

1935年爱因斯坦同波多耳斯基、罗森合作发表了一篇题为《能认为量子力学对物理实在的描述是实在的吗?》的论文,指出要判断一种物理理论成功与否,必须回答两个问题:“这理论是正确的吗”;“这理论所作的描述是完备的吗”。也就是说他们提出物理理论的评价标准一个是它的正确性,另一个是它的完备性。理论的正确性是由结论同人的经验的符合程度来判断的。那么物理理论的完备性到底意味着什么呢?

一、科学理论的评价

关于科学理论的评价是一个十分复杂的问题。逻辑经验主义者认为在于它的可证实性,且这种可证实性仅是逻辑上的可能性。批判理性主义者波普尔认为科学始于问题,科学的态度就是批判的态度,并且他认为我们“是从我们的错误中学习”。他认为科学理论的选择与评价就在于它的可证伪性或可反驳性,反驳包括“批判、排除错误、判决性实验”。科学理论的评价首先依赖于理论的确认程度——即对一个理论所受检验的严峻性程度和它经受住这些检验的程度的一个测度。“也就是说,一个假说[理论]的可检验性或可证伪性的程度越高,它的可确认程度也就越高。”其次,科学理论的评价依赖于一个理论的逼真性程度——取决于它的可检验性以及它实际上是否经受住了严峻的检验。也就是说,我们“要求一个理论的真理内容不断增加,而假内容不断减少,要求新理论比旧理论有较大的真理内容和较小的假内容,也就是要求理论的逼真性程度越来越高。”理论的选择与评价是合乎理性的。但他认为任何科学理论都不能逃脱被证伪的命运。在对理论的反驳中批判和排除错误占有极其重要的地位。

历史主义者库恩认为科学是一种解决疑难的活动,科学研究就是由科学共同体建立新的常规科学传统或由一个常规科学传统代替另一个常规科学传统,此过程中必然伴随着新范式的建立或由一个范式代替另一个范式,他的范式概念又是十分含混的,一般地说:“范式包括规律、理论、应用和工具在一起”。在一个常规科学传统内解决疑难的活动不再有效时导致危机的产生,而“危机的结果产生修改范

式以便能够说明异例的各种尝试”。“新范式的候补者首先主要由符号概括以及把这些概括联结于自然界而提出的范例组成;那么,事实上它就是一个新理论。”科学理论的选择与评价在他看来就是接受或者获得一个新范式,接受新理论就是必须放弃旧的范式而接受另一个包含这个新理论的范式;这样关于相竞争的范式所进行的辩论就是对于相竞争的世界观和相竞争的研究科学的方式所进行的辩论。且“在理论选择中的模式是劝诱性的,甚至是主观武断的,不是具有逻辑性和客观性的。”库恩强调:“应用共有的科学价值标准的责任必须让科学家集团来承担。理论选择的决定权操于他们之手。”这样科学理论选择本身就是非理性的和是一种科学共同体宗教式的皈依。

二、物理实在

爱因斯坦等认为:不管给完备这个名词以怎样的意义,对于一种完备的理论,下面的要求看来总是必要的;物理实在的每一元素都必须在这物理理论中有它的对应。我们把这叫做完备性的条件。”由此可见物理实在的界定对于物理理论的完备性具有极为重要的作用。

马赫认为只有经验是实在的,他认为科学研究的唯一对象是“要素”,而实在就是由要素的砖块建造起来的。他的经验实在观不仅是纯粹实证论的,而且也是朴素实在论的。爱因斯坦也承认此种朴素实在论不仅“支配着人和动物的日常生活”,而且“它也是一切科学,尤其是自然科学的出发点。”据此马赫认为科学不过是一种用我们逐步摸索得来的观点和方法,把实际给予我们的感觉内容加以比较和排列的结果。

爱因斯坦认为:“可是事实上,‘实在’决不是直接给予我们的。给予我们的只不过是我们的知觉材料;而其中只有那些容许用无歧义的语言来表述的材料构成科学的原料;从知觉材料到达‘实在’,到达理智,只有一条途径,那就是有意识的或无意识的理智构造的途径,它完全是自由地和任意地进行的。”由此可见他的物理实在是理智构造的结果,没有理智的构造,当然也就没有物理实在,这种理智的构造

是不能离开人而存在的,因此他的实在论超越了朴素的实在论而具有了更为精致的特征。例如经典力学中的物理实在就是由空间、时间里的质点来表示的;在电磁学理论中,是由空间和时间里的场来表示的。从经验的观点来看,质点是不存在的。而仅仅是对一部分机械运动的经验对象进行抽象、处理和构造的结果,是一种理想化的模型。在物理学中这样的理想化的模型还有很多,例如刚体、理想气体、LC振荡电路、简谐振子等等,而这些理想化的模型在相关的物理理论中都是具有极为重要的作用的。由此可见在一定的意义上可以说物理实在的确是理智构造的结果,是我们关于外在世界的看法与观点即世界观在物理学理论中的具体反映。

既然物理实在是理智构造的结果,那么这种物理实在是否与主体有关呢?从马赫的观点来看实在是不能离开主体而存在的,因为经验只能是主体的经验,从而导致了唯心主义。爱因斯坦认为“物理学是从概念上掌握实在的一种努力,至于实在是否被观察,则被认为是无关的。人们就是在这种意义上来谈论‘物理实在’的。”他即承认物理实在是理智构造的结果,又认为物理实在是与主体无关地存在着。爱因斯坦的物理实在实际上包含着双重实在:本体实在和理论实在。本体实在常被他人称为外部世界、物理世界、客观实在和存在的实在等等。理论实在是在物理学理论中概念化的实在,物理学家正是用它来建构简化的和易领悟的世界图像,从而思辨地、直觉地把握实在。他不承认经验实在或常识实在,他也明显地不满意朴素实在论的观点。他的物理实在是在感觉经验的基础上重新构造的结果。爱因斯坦等又认为“物理实在的元素不能由先验的哲学思考来决定,而必须由实验和量度的结果来决定。”他继续说“我们要选择哪些元素构成物理实在,那是自由的。我们的选择是否妥当,完全取决于结果是否成功。”他构造的物理实在就是那些与观察行为无关的在空间和时间中客观地存在着的東西。

爱因斯坦认为:“科学力求理解感性知觉材料之间的关系,也就是用概念来建立一种逻辑结构,使这些关系作为逻辑结果而纳入这样的逻辑结构。对构造全部结果的概念和规则的选择是自由的。只有结果才是选择的根据。那就是说,选择应当造成感性经验材料之间的正确关系。”他认为概念及概念间的关系(即命题或原理)是思维的一种自由发明和创造,逻辑规则的选择亦是自由的。而感性知觉材料

之间的关系作为逻辑演绎的结果应纳入物理理论体系的逻辑结构,说明物理理论具有构造性和思想性的特征。

随着量子力学的建立和对一类十分庞杂的现象作出解释和说明,经典物理学的物理实在观受到了强有力的挑战。玻尔认为:“在对量子物体实行一次测量之前,就把一组完全的属性委归于它,那是没有意义的。”在量子物理学中,被量度的物理量坐标 q (或动量 p)的确定数值是被测体系和测量装置相互作用的结果,关于其他共轭力学量之间也存在类似的关系。关于客体的实在性与测量仪器亦即观察者的介入密切相关,这样不可避免地导致微观世界的量子实在无法摆脱跟宏观世界的组织缠绕在一起。这样玻尔认为离开可能出现的主体而独立的实在是不存在的,从而抛弃了经典的物理实在观念。量子物理学所揭示的物理实在与主体向自然界提问的方式有关。他之所以抛弃实在性是由于微观粒子所具有的波粒二象性,此种波粒二象性导致了海森伯的不确定性原理,而“玻尔哲学的核心是这样假设的,即不确定性和模糊性是量子世界所固有的,而不仅是我們对于它的不完全感知的结果。”阿斯派克特实验等也揭示出量子力学具有非定域性的特征。量子力学也对经典物理现象的观念提出了挑战,物理学家J.惠勒认为,“在实际的量子世界里,任何一种基本量子现象只有在其被记录下来之后,才是一种现象。”也说明量子现象是与主体密切相关的。

哥本哈根关于实在的观点,既不同于爱因斯坦的实在的观点,也不同于日常的实在观点,是纯粹实证论的,如果没有对量子物理学的深刻理解,此种实在的观点是难以理喻和奇特的,它也是与量子力学的统计解释紧密联系着的。它也意味着,一个原子、电子、或无论什么东西,都不能说是以其名词的完全与常规的意义而“存在”的。玻尔的哲学似乎将电子和其他量子实体降到相当抽象的境地。玻尔的哲学启示人们:“像电子、光子或原子这些词,应该按同样的方式来看待——即它们是一些在我们想象中实际上只是一组关联各种观察的数学关系固定起来的模型。”

三、物理理论的完备性

物理理论的完备性首先表现在与经验资料的关系上(外部证实或称之为外在的完备性),爱因斯坦认为:“虽然概念体系本身在逻辑上完全是任意的,可是它们受到这样一个目标的限制,就是要尽可能

现代物理知识

做到同感觉经验的总和有可靠的(直觉的)和完备的对应关系。”物理理论的完备性还表现在同它本身有关的内在完备上,他认为“……关于理论本身的前提,关于人们可以简单地,但比较含糊地称之为前提(基本概念以及这些概念之间作为基础的关系)的‘自然性’或‘逻辑的简单性’。这个观点从来都在选择和评价各种理论时起着重大的作用,但是确切地把它表达出来却有很大的困难。……我认为下面这一点也属于理论的‘内在完备’:从逻辑观点来看,如果一种理论并不是从那些等价的和以类似方式构造起来的理论中任意选出的,那末我们就给予这种理论以较高的评价。”他的物理理论的完备性是外在的完备性和内在的完备性的统一。外在的完备性与物理实在有关,内在的完备性与物理理论本身的逻辑简单性和统一性有关。

关于物理实在他要求在一种完备的理论中对于每一个实在的元素都该有一个对应的元素。关于实在的判据是“要是对于一个体系没有任何干扰,我们能够确定地预测(即几率等于1)一个物理量的值,那末对应于这一物理量,必定存在着一个物理实在的元素。”从实在的判据可知物理实在的元素和物理理论中的物理量具有对应的关系,这样才使物理理论具有了预测的功能。他认为:“实在的外在世界的规律在下述意义中被认为是完备的:如果客体在某一时刻的状态完全是已知的,那末,它们在任何时刻的状态就完全是由自然规律决定的。”因此,物理理论的完备性也意味着外在的实在世界是严格因果性的和机械决定论的。关于某一时刻实在状态的状况我们是通过观察和实验知道的,而通过观察和实验对实在状态的了解又是由物理理论自身确定的。严格因果性和机械决定论又必然要求自然规律对于时间的反演变换是对称的。

四、讨论与结论

爱因斯坦关于物理理论完备性的标准本质上就是库恩关于相竞争的范式所进行的辩论和波普尔对于猜测的批判,这种辩论和批判本质上与一定的世界观相连。毋庸置疑,此种辩论和批判在选择和评价科学理论的过程中具有十分重要的意义和作用。

爱因斯坦的物理实在观是在经典物理学和相对论成就的基础上确立和构造出来的。他的物理理论的完备性是本体实在和理论实在之间的完备性、自治性和一致性。不管是本体实在还是理论实在都具有构造性和思辨性的特征,他的本体实在和理论实

在是物理学发展到一定阶段的必然产物,此种物理实在是与经典物理学和相对论相互协调、相互依赖的。他把他的物理实在观作为整个物理学的物理实在观。在此前提下,以他为首的一方和以玻尔为首的另一方关于量子力学基础问题展开了旷日持久的争论,这种争论促使科学共同体对量子力学的基础进行深入地研究和探索,他似乎认为物理理论必须是对物理实在的真实描述和理智上的一种把握,经典物理学和相对论是严格因果性的和机械决定论的。量子力学是不遵从严格因果性和本质上是一种统计论的,因此量子物理学和它以前的物理学之间的冲突是十分尖锐和突出的。

爱因斯坦认为“在这种情况下[分子运动论]下,统计性定律只是把严格的因果性定律和被考察体系原来的实在状态的不完备知识或不准确估计组合起来的结果。”他认为物理实在本质上肯定是严格因果性的和决定论的,只是由于观察和实验手段的限制使我们不可能对被考察体系原来的实在状态有完备的知识而导致了一种统计性的结果。因此他认为:“要末,由波函数所提供的关于实在的量子力学的描述是不完备的;要末,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。”他认为微观客体在测量以前具有确定的坐标值和动量值是毫不怀疑的,且物理学只能描述空间和时间里的东西,故电子肯定是有确定的轨迹的,因此得出结论由波函数所提供的关于实在的量子力学描述肯定是不完备的,此是从他的物理实在观出发的必然结论。故他认为关于微观客体的描述应该有一个完备的理论——隐变量理论,而量子力学只能作为一个推论而存在,就如同几何光学最后归并到波动光学一样。

爱因斯坦强调了物理实在是与主体无关地存在着,这一点是与经典物理学和相对论是一种无主体的客观性理论相一致。他的物理实在观不同于马赫的经验实在观,但同朴素的实在论和日常的实在论还是一致的,惟一的区别是他的物理实在的构造性特征。

玻尔实质上建立了一种与量子力学相适应的物理实在观,他的物理实在不再是与主体无关的,而是与主体密切相关的,他的物理实在的构造是与主体向自然提问的方式密切联系着的。他认为微观客体本身具有不确定性和模糊性,因而谈论电子的轨迹是没有任何意义的,量子力学的统计性是微观客体具有不确定性和模糊性的必然结果。当然物理实在

本质上肯定是统计性的和非决定论的。从量子力学本身和哥本哈根学派的解释来看,波函数对实在的描述是完备的,正如泡利所言:“如果有人断言用波函数表示的关于物理体系的描述是完备的,那么他就必须信赖这样的事实:在原则上,自然规律只涉及系综的描述。”因此以爱因斯坦为首的一方和以玻尔为首的一方之间的分歧实质上是关于世界应该是什么和关于世界我们知道什么之间的分歧,是关于物理实在的不同观点之间的分歧。关于量子力学如果采用与其相适应的物理实在观仍然是满足爱因斯坦关于物理理论完备性的标准的。根据哥本哈根学派的解释量子力学中的波函数只涉及系综的描述,当然关于单个的量子体系是什么也没有说的,而且谈论关于单个的量子体系是没有任何意义的,爱因斯坦却坚持认为量子力学必须能够描述单个量子体系中所实际发生的过程。因而他始终坚持定域性原理和可分离性原理。

“只有测量结果进入某人的意识之中,量子‘边缘’态的混合体才会塌缩成具体的实在。”也就是说只有观察者才能带来波函数的“瓦解”。玻尔抛弃了“实在”形成了哥本哈根学派的解释;玻姆等抛弃了

定域性从事于非定域隐变量理论的研究,提出了量子势的解释;埃沃雷特提出了量子力学的多宇宙解释;等等。关于量子力学的解释仍处于激烈的争论之中,实质上每一种解释都或多或少地在提出一种新物理实在观。

根据混沌动力学,系统只要离开可积的理想条件,就会出现诸如因与果互相缠绕、处处都是不稳定性、不可预言的随机性等异常复杂的混沌行为。物理世界决非是简单性的世界,它包含着演化的自组织过程和自发混沌。充分说明物理实在观随着物理学的发展而得到不断地更新和深化。爱因斯坦认为物理理论应该是对物理实在的描述,自从量子力学出现后,物理学家认为物理学只是一致地关联各种观察结果。物理理论究竟是关于物理世界的描述、模型还是表示,还未达成一致的看法。因此他的物理理论的完备性只是一定历史阶段的产物,把它作为一切物理理论的选择与评价标准明显是不适当的,也就是说没有超越历史的科学理论的选择与评价标准,体现出物理理论的选择与评价是一个历史的过程,也体现出物理科学的思想始终处于不断地进化之中。

欢迎订阅《现代物理知识》

当我们从 20 世纪物理学的辉煌背景下,迈步跨越崭新纪元的时候,科技形势的发展和知识创新体系的建立,对我国期刊出版事业尤其是科普工作提出了更高的要求。新世纪的《现代物理知识》,正以崭新的面貌同喜爱她的广大读者相见。新世纪的《现代物理知识》,继续设有物理知识、物理前沿、科技经纬、教学参考、中学园地、科学源流和科苑快讯这 7 个栏目,还增设科学随笔栏目,以供科技和教育工作者以及物理学爱好者抒发科学情怀、畅谈研习科学或欣赏科学的感受,也让大家介绍一些能展现科学风采的趣闻轶事,热烈欢迎各界作者为这些栏目尤其是新栏目撰稿,写出最新最美的文字。

改为大 16 开 64 页的《现代物理知识》,定价每期 7.00 元,全年 6 期 42.00 元。直接到《现代物理知识》编辑部订阅 2001 年杂志的读者,除了免去邮资之外,还赠送 1 本 2000 年增刊(或 1996 年增刊或 1994 年增刊,请在汇单上注明)。

在邮局漏订或需要过去杂志的读者,请按下列价格汇款到《现代物理知识》编辑部(100039,北京 918 信箱)补订。

1992 年合订本,18 元;1993 年合订本,18 元,1995 年合订本,22 元;1996 年合订本,26 元;1993 年增刊,8 元;1994 年增刊,8 元;1994 年附加增刊合订本,36 元;1996 年增刊,15 元;1997 年合订本,30 元;1998 年合订本,32 元;1999 年合订本已售完,尚有 1、4、5、6 期单行本,每本 3 元;2000 年附加增刊合订本,38 元;2000 年增刊,10 元,特赠本刊的前身《高能物理》创刊号和 1976 年第 2 期(全年仅 2 期);《费恩曼传》,25 元;《微观新奇》,12.50 元;《场中迷梦》,10 元。以上所列,均含邮资或免邮资。