

汉译世界学术名著丛书

分科本◎哲学

纪念版

量子力学的哲学基础

〔德〕H. 赖欣巴哈 著



SINCE 1897

商务印书馆
The Commercial Press

汉译世界学术名著丛书



纪念版

量子力学的哲学基础

〔德〕H. 赖欣巴哈 著

侯德彭 译



商务印书馆

2017年·北京

图书在版编目(CIP)数据

量子力学的哲学基础/(德)H. 赖欣巴哈著;侯德彭译. —北京:商务印书馆,2017

(汉译世界学术名著丛书:120周年纪念版,分科本,哲学)

ISBN 978-7-100-13567-2

I. ①量… II. ①H… ②侯… III. ①量子力学—物理学哲学—研究 IV. ①O413.1-02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 090000 号

权利保留,侵权必究。

汉译世界学术名著丛书
(120 周年纪念版·分科本)

量子力学的哲学基础

[德] H. 赖欣巴哈 著
侯德彭 译

商务印书馆出版

(北京王府井大街 36 号 邮政编码 100710)

商务印书馆发行

北京冠中印刷厂印刷

ISBN 978-7-100-13567-2

2017 年 7 月第 1 版

开本 880×1240 1/32

2017 年 7 月北京第 1 次印刷

印张 8 1/2

定价:35.00 元

汉译世界学术名著丛书

(120 周年纪念版·分科本)

出版说明

2017 年 2 月 11 日,商务印书馆迎来 120 岁的生日。120 年前,商务印书馆前贤怀揣文化救国的理想,抱持“昌明教育,开启民智”的使命,立足本土,放眼寰宇,以出版为津梁,沟通中西,为中国、为世界提供最富智慧的思想文化成果。无论世事白云苍狗,潮流左右激荡,甚至战火硝烟弥漫,始终践行学术报国之志,无改初心。

迄译世界各国学术名著,即其一端。早在 20 世纪初年便出版《原富》《天演论》等影响至今的代表性著作,1950 年代后更致力于外国哲学和社会科学经典的译介,及至 1980 年代,辑为“汉译世界学术名著丛书”,汇涓为流,蔚为大观。丛书自 1981 年开始出版,历时三十余年,迄今已推出七百种,是我国现代出版史上规模最大、最为重要的学术翻译工程。

丛书所选之书,立场观点不囿于一派,学科领域不限于一门,皆为文明开启以来,各时代、各国家、各民族的思想与文化精粹,代表着人类已经到达过的精神境界。丛书系统译介世界学术经典,



引领时代思想,为本土原创学术的发展提供丰富的文化滋养,为推动中国现代学术和现代化进程做出了突出的贡献。

为纪念商务印书馆成立 120 周年,我们整体推出“汉译世界学术名著丛书”120 周年纪念版的分科本,延续传统分为橙色、绿色、蓝色、黄色和赭石色五类,对应收录哲学、政治·法律·社会学、经济、历史·地理和语言学等学科的学术经典著作,既利于文化积累,又便于研读查考,同时向长期支持丛书出版的译者、编者和读者致以敬意。

两甲子后的今天,商务印书馆又站在了一个新的历史时间节点上。我们不仅要铭记先辈的身影和足迹,更须让我们的步伐充满新的时代精神。这是商务人代代相传的事业,更是与国家和民族的命运始终紧密相连的事业。我们责无旁贷,必须做好我们这代人的传承与创造,让我们的努力和成果不仅凝聚成民族文化的记忆,还能成为后来人可以接续的事业。唯此,才能不负前贤,无愧来者。

商务印书馆编辑部

2017 年 5 月

译者序

本书作者赖欣巴哈是一位实证主义哲学家。1891年他生于德国汉堡,1933年法西斯上台后被纳粹驱逐流亡国外,1938年起任美国加利福尼亚大学哲学系教授,1953年去世。本书是赖欣巴哈的一本主要著作,写于1942年。他从实证主义的立场出发,分析了量子力学的科学成果,从中论述了他对哲学基本问题的看法,并据此阐述了关于知识的性质、客观实在(即所谓“观测之外的事物”)以及因果性等问题。

实证主义哲学在西方兴起于19世纪末20世纪初,其代表人物是奥地利物理学家兼哲学家马赫。当时经典物理学正遭受严重的危机,一系列实验的新发现,如电子的发现及其质量的可变性、放射性的发现以及被物理学家开尔文称为“两朵乌云”的“以太之谜”和“黑体辐射之谜”等,使经典物理学的基本概念发生了动摇,整座经典物理的大厦濒临崩溃。为了走出困境,一些激进的物理学家和哲学家重新拿起18世纪英国哲学家休谟的批判武器。休谟从彻底的经验主义立场出发,认为人类的知识来源于感觉经验又不可能超越经验,他既反对洛克把感觉经验的来源归之于不可见的物质微小粒子的作用,也反对主观唯心主义哲学家贝克莱把它们归之于上帝。他认为感觉之外物质是否存在这个问题是无法



回答的,所以休谟的哲学在历史上又常被称为“不可知论”。马赫传承休谟的思路,对经典物理学进行了批判,他的哲学主张可概括为两条基本原则:(1)可观测量原则。他认为物理学的对象只能是实验中的可观测量。他对经典物理学中的“不变质量”、“绝对时空”等概念进行了批判;(2)经济思维原则。他认为,物理学中所有的假设或理论,实际上都是物理学家按照经济思维的原则把可观测量之间的关系建立起来,除此以外的一切都是无意义的“形而上学”。

应当肯定,实证主义哲学在上世纪初物理学革命的前期,曾发挥了积极的影响,它帮助物理学家摆脱了经典物理旧概念框架的束缚。爱因斯坦晚年在回忆狭义相对论的创立过程时说:他之所以能在同时性的相对性问题上取得突破,是由于阅读了尤其是休谟和马赫的哲学著作而得到了决定性的进展。但是,随着物理学革命的深入,实证主义哲学对于科学发展的消极作用逐渐显露出来。由于实证主义把可观测量以外的一切描述都斥为无意义的“形而上学”,实际上对于科学家深入探索物质世界成了一种障碍,马赫本人就不承认相对论,甚至不承认原子的存在,这使爱因斯坦逐渐从一个马赫的崇拜者转变成为马赫的批判者。他后来抨击马赫的哲学“不可能创造出什么有生命的东西”,“马赫可算是一位高明的力学家,却是一位拙略的哲学家。他认为科学家所处理的是直接材料,这种科学观使他不愿承认原子的存在”。

本书所讨论的是量子力学的哲学解释,为此,需要对相关背景作一点介绍。量子力学诞生于20世纪20年代,然而从它诞生伊始,关于量子力学的哲学解释就陷入了一场持久的争论。其根源



是量子力学揭示了微观世界的物质,例如电子具有宏观物质所不具有的波动—微粒两重性。在一类实验,例如衍射实验中,电子的行为表现像波动;而在另一类实验,例如吸收、发射中,它又表现像微粒。1927年海森堡测不准关系的发现更是震撼了整个物理界。海森堡发现,微观粒子的坐标和动量不可能同时具有确定性;反之亦然。在宏观世界,我们总是能够尽量消除测量仪器对客体的影响,但在量子领域却是不可能的。正如测不准关系所表明的,为了确定中子的位置,我们需要用子射线照射它。对于宏观物体, γ 光子的作用微不足道;但对于电子, γ 光子的作用却足以改变它原有的动量。由此可推出两点结论:第一,由于测量仪器对客体的作用是随机的,或者说是“不可控制与预测的”,这就决定了量子力学必然是一种统计性的理论。第二,由于不可能排除测量仪器的作用,因而量子力学所描述的并不是微观粒子本身,而是它与测量仪器作用的结果。或者说,在量子领域,主体与客体是不可分的。为了仍然能用经典的语言来描述量子现象,玻尔提出了著名的“互补原理”。意思是说,从概念上说,经典物理中的“波动”和“微粒”的概念仍然可以用来描述微观现象,但要在一种“互补”的条件下来使用。我们不能同时使用这两个图像,因为它们是互相矛盾的;但是二者可以互相补充。在描述原子现象时,我们从一种图像转换到另一种图像,再从另一种图像转回到原来的图像,我们就能得出关于原子世界的完整图像。把“测量解释”和“互补原理”综合在一起,就形成了至今仍在量子力学占主导地位的量子力学“哥本哈根解释”。但是,另一批著名的物理学家包括爱因斯坦、薛定谔、德布罗意等,却激烈反对量子力学的哥派解释。他们不同意测量仪器



的作用导致微观世界主客体不可分的观点,坚持物理学理论的目标始终应是对物质世界客观规律的描述。为此,他们认为现有量子力学的统计性是暂时的,表观的,在它的背后一定还存在着能够对微观现象作出类似经典物理的决定论或描述的理论。

赖欣巴哈在本书中所阐述的关于量子力学解释的观点,如果按营垒划分,基本上归属于哥派阵营。但是,处于实证主义的立场,赖欣巴哈的观点与正统哥派观点又有所区别。在哥派解释中,虽然提出由于存在着测量仪器对微观粒子的不可控制与预测的作用,使我们不能认识微观粒子本身的真实运动规律,但它至少承认,微观粒子是客观存在的,即原子世界的存在是真实的。而对实证主义者赖欣巴哈来说,原子是否存在的问题,却是无意义的“形而上学”。

在本书中,赖欣巴哈在论述量子力学的成果时,大体上重复了哥派的“测量解释”,即在量子领域存在着客体必然受到观测的干扰,但他不满于哥派仍然坚持微观物质的客观存在。他认为,量子力学的研究对象只能是“现象”。作者说,我们应当把世界分为两个,一个叫作“现象世界”,现象由一切发生与“巧合”中的事件构成,它们是可观测的或是广义可观测的;另一种世界叫作“中间现象世界”,中间现象是不可观测的。例如电子从辐射源中射出以及到达衍射屏上这两个事件,都是现象,电子在二者之间的运动过程则是中间现象。因为中间现象不可观测,所以关于它可以有各种等价的描述方式,其中任何一种都同样的真,只要它不与观测到的现象有矛盾就行。一棵树,在我们不去看它时是什么样子呢?我们可以认为它和我们看到的时候是同一个样子。作者说,在这样



的描述中包含两个假定：第一是假定观测到的和观测之外的树遵从同一的规律，第二是假定观测无干扰。这样的描述体系称之为“正常体系”，它也就是我们通常所约定采用的描述，但这并不是唯一的真描述。我们同样可以认为，一棵树在我们不去看它时总分裂成两棵，它们遵从一种“异常的”光学规律，以致它们所产生的影子只有一个，并且当我们观测它们时，它们又变成了一棵。这种解释虽然十分异常，但与上述“正常解释”同样的真。

作者进一步说，古典物理学的特点就在于我们对全部现象都能“插入”类似于上述第一种解释的、满足因果性要求的中间现象描述。

可是，作者分析说，微观世界的情况就完全不同了。首先，据说测不准关系必然要带来观测的干扰，因此我们无法作出“正常体系”的第二个假定。其次，电子在某些实验里需用微粒解释作为正常解释，在另一些实验里又需用波动解释作为正常解释。因此，对电子的全体中间现象说来，微观解释和波动解释不可能“正常地”贯彻到底，统一的正常解释不可能存在。“因果异常”在微观世界里总是存在着。

为了表示微观世界的这种情况，作者在此引入了两个术语。凡是在一种科学解释中包括对“中间现象”的描述，这就称为“详尽解释”，如果仅限于描述“现象”，则称为“有限解释”。微粒解释和波动解释都属于详尽解释。用这些术语来说，微观世界的特点就在于，不可能存在一种正常的适用于全体中间现象的详尽解释。量子力学的基本原理表明微观世界与正常的因果性不相容。但是作者接着安慰我们说，我们不必为这种“因果异常”而不安，因为第



一,这种异常仅限于中间现象,那反正是观测不到的;第二,对于每一个中间现象说来,我们还是可以有一种正常的详尽解释的。我们可以在一个实验里使用微观解释,在另一实验里使用波动解释。只是要记住,满足正常因果性的详尽解释与因果异常的详尽解释是同样有效的,我们根本不能证实其中哪个是真,哪个是假。

以上就是作者通过对量子力学基本原理分析得出的关于微观世界的面貌,以及对于知识原理和实在、因果性等概念作出修正的基本论述。作者还为微观世界构想出一个宏观模型,值得在这里谈谈,以便使读者能够更清楚地看出作者的观点。这里,为了明晰起见,我们略为把它简化了一下。

设想我用步枪瞄准某人射击。假定子弹飞行很快,以致我们根本无法观测到它在空中行进时是什么样子:它也许是个沿确定轨道飞行的粒子,也许是个充满整个空间的波,也许是别的什么东西。现在我扣动扳机,听得一声枪响之后,我对面那个人倒下了。这里,在极其邻近的两个时刻发生了两个可观测的“巧合”事件。一个是,我发现原来在枪膛中的一颗子弹不见了,推理表明它被射出去了;另一个是,在此瞬间之后我发现对面有一个人倒下了,并且在他身体中找出一颗原来没有的子弹。怎样解释这些已知的“巧合”事件呢?我们不能说前一个事件是原因,后一个事件是结果。因为我们观测不到子弹在飞行中的样子,无法跟踪子弹的运动,因此我们不能断定那个人身体中的子弹是否就是原来在我枪膛中的那颗子弹,当然它们也就谈不上什么因果关系。但我们可以在这两个可观测事件之间“插入”一种中间现象,假定子弹从枪膛中射出后仍然保持是粒子,沿着确定的轨道飞行。这样我们就



在它们之间建立起了因果关系。我可以说,我所瞄准的那个人之所以中弹倒下,是因为他恰恰处在子弹飞行的轨道上。因为作了上述假定,这个因果陈述也就成为可以检验的了。

这个解释,就是我们通常所约定的解释。但它并非唯一正确的解释。我们同样可以认为,子弹在空中飞行时是一个充满整个空间的波,在它向前传播时遇到了一个人,突然又收缩成一颗子弹。这种解释尽管十分异常,但与第一种解释是等价的,我们无法证实哪个是真,哪个是假。

作者说,如果上述的子弹是普通的宏观子弹,我们就总是可以采取第一种正常的解释,即总能作出正常的因果“追加”。但如果它像电子那样的话,我们就不能对它有一个统一的正常描述了。这是微观世界因果异常原理的表现。

这个微观世界的宏观模型,尽管与现实的宏观世界很不同,但据作者说,它是从量子力学基本原理导出的,因此要求我们要熟悉它,习惯于它。

为了使自己的论证穿上严密化和科学化的外衣,作者在本书的最后一篇建立了所谓“三值逻辑”的系统,说它是量子力学的适当的逻辑形式。从前面的分析可以看出,量子力学的哲学解释实质上不是什么逻辑问题。曾对量子力学有过重大贡献的玻恩,也不相信作者编造的这套逻辑。玻恩曾说三值逻辑纯粹是符号游戏,毫无价值。而且,它往往要用二值逻辑来解释。由于它的意义不大,我们在这里就无需多加评论了。

围绕量子力学哲学解释的世纪之争,至今已延续了 80 多年,这其中,实证主义哲学家的参与只是一段插曲。量子力学缔造者



中的海森堡、狄拉克早年曾倾向实证主义,但后来都因为在实践中行不通而放弃了。实证主义哲学上世界前半期在西方曾经历了一段辉煌,20世纪50年代已逐渐走向衰落,取而代之的是各种流派的历史主义哲学。但从历史的角度看,实证主义哲学在量子力学体系形成的过程中曾经发挥过正面和负面的双重影响,所以直到今天,量子力学的研究者仍然有必要深入了解这一段历史。本书作为从实证主义观点出发对量子力学系统作出哲学解释的代表作,特别值得一读,我想这就是出版本书中译本的意义所在。

本书译文和译者序中错误之处在所难免,敬请读者予以指正。

广西大学杨兆祥教授对中译本提了中肯的意见,特此致谢。

译者

2013年5月



目 录

作者序	1
第一篇 一般探讨	6
§ 1. 因果律和几率律	6
§ 2. 几率分布	12
§ 3. 不确定原理	17
§ 4. 客体受观测的干扰	25
§ 5. 观测之外客体的确定	29
§ 6. 波和微粒	33
§ 7. 干涉实验之分析	38
§ 8. 详尽解释和有限解释	49
第二篇 量子力学数学方法概述	67
§ 9. 函数用正交函数集展开	67
§ 10. 函数空间的几何解释	76
§ 11. 逆变换和复合变换	83
§ 12. 多变量函数和位形空间	91
§ 13. 从德布洛意原理推导薛定谔方程	94
§ 14. 物理实体的算符、本征函数和本征值	102
§ 15. 对易规则	108



§ 16. 算符矩阵	110
§ 17. 几率分布的确定	114
§ 18. ψ 函数与时间的关系	120
§ 19. 变换到其他态函数	127
§ 20. 用观测方法确定 ψ 函数	128
§ 21. 关于测量的数学理论	134
§ 22. 几率运算的法则和测量之干扰	142
§ 23. 几率和量子力学统计系综的性质	148
第三篇 解释	156
§ 24. 经典统计与量子力学统计之比较	156
§ 25. 微粒解释	165
§ 26. 锁链结构之不可能	170
§ 27. 波动解释	181
§ 28. 观测语言和量子力学语言	190
§ 29. 限制含义的解释	195
§ 30. 经由三值逻辑的解释	202
§ 31. 二值逻辑的规则	207
§ 32. 三值逻辑的规则	210
§ 33. 通过三值逻辑消除因果异常	223
§ 34. 观测语言中的不确定性	232
§ 35. 可测性的限度	235
§ 36. 相关体系	237
§ 37. 结论	246
索引	248

作者序

现代物理学的面貌由两个伟大的理论结构勾画而成，这就是相对论和量子论。前者大体上是一个人的发现，因为爱因斯坦的工作绝不是别人的贡献所能相比的，例如洛伦兹，他仅仅接近于完成特殊相对论的基础，又例如明可夫斯基，他仅仅确定了这个理论的几何形式。量子论的情况就不同了。它是在许多人的合作之下发展起来的，其中，每个人都在重要的方面有其贡献，每个人都在自己的工作中利用了别人的结果。

这种合作的必要性在量子论这个课题中似乎具有深刻的根源。首先，量子论的发展主要是靠观测结果的提供，是靠观测数据的精确性。如果没有实验工作者队伍的支持，没有他们用精密仪器把谱线的照片拍摄下来，或去仔细观察基本粒子的行为，那么，即便在量子论的基础已经建立起来以后，这个理论也绝不可能彻底完成。其次，量子论的基础在逻辑形式上与相对论十分不同。量子力学基本原理绝不能形成一个统一原理，而且，不管数学上如何精巧，它们都不像相对性原理那样具有使我们一看就能信服的启发性。最后，和相对论过去对时空概念的批判情况比较起来，这些原理与经典物理原理的距离要大得多；它们不仅意味着从因果律过渡到了几率律，而且意味着我们要修正哲学上关于观测之外



客体的存在问题的观念,甚至要修正逻辑原理,这就从根本上动摇了我们关于知识的理论基础。

量子物理理论形式的发展可以分为四个时期。第一个时期与普朗克、爱因斯坦以及尼·玻尔的名字联系在一起。普朗克在1900年引入了量子概念,接着,爱因斯坦把这个概念推广到针尖辐射的理论上(1905年)。但决定性的一步是由玻尔跨出的,他用量子概念分析了原子结构(1913年),从而导致物理发现的一个新世界。

第二个时期始于1925年,这个时期代表着年轻一代的工作。年轻一代是在普朗克、爱因斯坦和玻尔的物理学教养之下,从旧物理学已经行不通的那些地方出发的。最惊人的一个事实就是:这个时期虽然一直发展到量子力学的产生,但在开始的时候,人们对实际情况并无清楚的了解。德布洛意提出波是粒子的伴随者;薛定谔在同波动光学进行数学类比的指引之下发现了量子力学的两个基本微分方程;玻恩、海森堡、约当以及独立于他们之外的狄拉克提出了矩阵力学,这种力学看来却拒绝任何波动解释。这个时期标志着数学技巧的惊人胜利,确定了理论如何能概括全部观测数据的发展方向,但它主要是靠物理直觉而不是靠逻辑原理的运用和指导。这一切都是在很短的时间内完成的;到1926年,新理论的数学形式就已经弄清楚了。

第三个时期紧接着而来;这就是对所得结果的物理解释时期。薛定谔证明了波动力学和矩阵力学的等价。玻恩认识到了波的概率解释。海森堡看出了,理论的数学体系必然要带来预言的无法克服的不确定性,必然要带来测量对客体的干扰。这里,玻尔又一

