

量子力学的哲学

[美] M. 雅默 著

商 务 印 书 馆

量子力学的哲学

——量子力学诠释的历史发展

[美] M. 雅默 著

秦克诚 译

商 务 印 书 馆

1989年·北京

Max Jammer

**THE PHILOSOPHY OF QUANTUM
MECHANICS**

John Wiley & Sons, Inc. New York, 1974

(据纽约约翰·威利文学出版公司1974年版译出)

LIANGZILIXUÉ DE ZHÉXUÉ

量子力学的哲学

[美] M. 雅默 著

秦克诚 译

商务印书馆出版

(北京王府井大街36号)

新华书店总店北京发行所发行
三河县二百户印刷厂印刷

ISBN 7-100-00554-X/B·73

1989年10月第1版

开本850×1168 1/32

1989年10月北京第1次印刷

字数450千

印数1.700册

印张20 1/8

定价: 7.00 元

译 者 说 明

本书是一本全面介绍量子力学诠释问题的专著。作者马克斯·雅默[Max Jammer]是德国出生的犹太人,现在美国和以色列工作。他早年在哈佛大学因实验分子光谱方面的工作获博士学位,后来专攻物理学中的哲学问题和物理学史,在国际上有很高的声誉。他的主要著作有:《空间的概念》[*Concepts of Space*, 爱因斯坦为这本书作序]、《力的概念》[*Concepts of Force*]、《经典物理学和近代物理学中的质量概念》[*Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*]、《量子力学概念发展史》[*The Conceptual Development of Quantum Mechanics*]以及本书*。《量子力学概念发展史》和本书是姐妹篇。本书讨论量子力学的形式体系建立之后,其各种诠释的历史发展,而前者则着重讨论量子力学本身如何在实验事实的基础上,经过旧量子论的阶段,一步步建立起来。

本书的特点,首先在于它全面介绍了关于量子力学的各种诠释。国外出版的有关量子力学哲学的专著也不少,但大多是阐发自己的一家之言或者是讨论其中一方面的问题(如隐变量或量子逻辑),象本书这样在一本书内全面介绍从量子力学建立到今日所提出过的各种诠释,并且对于每种主要的诠释,都从哲学史上追溯它的概念的历史根源,然后对其逻辑结构、物理内容和哲学涵义逐一进行分析;对于不同诠释和各个概念之间的关系,各种诠释和主要科学家对量子力学诠释中一些基本问题的回答的异同,各种论

* 据本书作者最近来信告知,他的新著《相对论概念发展史》(*The Conceptual Development of the Theory of Relativity*)即将出版。

释在认识论基本问题上的分野，分别进行比较；最后并列举对每种诠释的各种反对意见，让读者自己判断；这样的书是比较少见的。其次，本书包含有极为丰富的资料。作者学识渊博，旁征博引，对文献的收集非常完备，正如原书序言中所说，这可以引导读者进一步自行钻研；并且作者同一些主要的量子物理学家和哲学家有个人接触，书中有许多第一手资料。对于我们了解量子力学诠释问题的基本情况和最近动态，本书是有重要价值的。

至于本书的美中不足之处，在译者看来，主要是某些章节的表述还不够浅显易懂。作为一本综合介绍各种量子力学诠释的书，应当以比较浅显的语言，扼要介绍每种诠释和重要文献的基本内容，抓住其要点，对每个基本概念，交代清楚它的来龙去脉。作者也是注意到了这个问题的，他在序言中表示，要使本书对于那些只是初步懂得量子物理学的一般读者也易于理解。但是就本书的某些章节而言，似乎同作者的上述意向还有一段距离，写成了文献摘要，相当难懂。这种情况也给翻译工作带来很大的困难。有时候，一句孤立的引文，没有上下文，很难判断其准确含义；有时候，一个生僻的概念和某个学派自定的术语突如其来，不附解释，也很难确定它的准确意义和译名。凡是遇到这种情况，译者都尽可能查阅原来的文献，经过和作者核对，改正了一些文献引用不准确之处和印刷错误，在少许地方加了一些译者注，并补充了中文文献，希望对读者能够有些帮助。

除此之外，翻译中遇到的困难，还在于本书涉及的面太广：物理学、数学、逻辑、现代哲学、哲学史、心理学和神学；就语种而论，除英文以外，作者还引用了德文、法文、拉丁文、希腊文，远远超出了译者的学力。译者并不是专业的科学哲学和科学史工作者，而只是业余地对物理学中的哲学问题感兴趣。译者是在边学边译的情况下译完这本书的。在翻译过程中曾得到王竹溪教授和许良英

研究员的关怀和鼓励；一些疑难问题请教过各方面的专家和作者本人，作者并为中文版刷新了参考文献目录，补充了直至 1980 年为止的文献，增加了中文版的价值。译者在此向他们致深切的谢意。此外，本书第六章、第十一章两章译文是就吴介子同志的初稿修改而成，一并在本声明。译者虽然对本书的翻译工作付出了很多的时间和作了很大的努力，但是限于水平，译文中错误肯定还有不少，敬希读者提出意见。

本书术语的译名均遵照科学出版社出版的《英汉物理学词汇》和《英汉数学词汇》，个别名词作了修改，如德布罗意双重解理论中的 guidance formula，《物理学词汇》中译作波导公式，有可能同微波器件 waveguide 混淆，今译作导引公式。《词汇》中没有的术语，则由译者斟酌而定，如数理逻辑中的 trivial proposition 译作庸命题，概率的 propensity interpretation 译为倾向性解释。不妥之处，请各方面专家批评指正。

科学哲学是一门很重要的学科。它研究科学的概念基础，对科学的发展作出哲学的概括，同现代科学有密切的联系。它是科学和哲学之间的边缘学科。要开展科学哲学的严肃的研究工作，一方面，如本书丰富的内容表明的那样，要求从事这一工作的人对于哲学和有关的自然科学学科有深厚的素养，熟悉科学发展的最新势态，对其基本概念进行细致的分析，不是贴几个标签或是引几条语录能解决问题的；另一方面，由于哲学的意识形态敏感性，也要求有一个宽松的学术环境。现在，我国已经开始开展这方面的工作。量子力学的诠释是科学哲学中最重大的问题之一，是物理学基础研究中最有争议的问题。国内对这个问题感兴趣的物理学工作者、哲学工作者和一般读者越来越多，希望本书的出版能够有助于开展这方面的讨论和研究。此外，本书是 Jammer 教授的专著中第一本译成中文的，希望以本书为发端，能够把 Jammer 教授

更多的著作介绍给中国读者。

本书译稿于1980年初完成，由于种种原因，今年才能出版。非常关怀本书出版工作的王竹溪教授，已经于1982年去世了。我们永远怀念这位我国物理学界的前辈、治学谨严的学者和仁厚的长者。

秦克诚

1987年4月，初样校后

关于参考文献的说明

本书征引文献相当丰富,对每一条文献,原书分别刊出其各种语言版本的书名、出版社、出版地点及年代,条目极为详尽。为了尽量减少篇幅,同时又保持原书提供的信息,从我国读者的实际需要出发,在中译本中,只对所引文献的原文及英译文保留以上条目,其他语言译文一般只刊出出版年代,其余各项均删去。对于非拉丁字母的文字(俄文、阿拉伯文)的文献名称,原书都用拉丁字母拼写,为了读者方便,中译本中将俄文文献均还原为俄文。阿拉伯文文献(共三篇)则一仍其旧。所列文献中凡是译者知道有中译文的,都尽可能补上。

原书引用文献时期刊名称是用全名。中译本按通用习惯把常见期刊的全名改成缩写,以省篇幅。由于引用期刊的面相当广,有物理学方面的,也有哲学方面的,读者不一定熟悉,特将常用期刊的名称及缩写对照如下:

American Journal of Physics	Am. J. Phys.
Annalen der Physik	Ann. Physik
Annales of Physics	Ann. Physics
Archive for History of Exact Sciences	AHES
British Journal for the Philosophy of Science	BJPS
Communications in Mathematical Physics	Com. Math. Phys.

Journal of Mathematical Physics	J. Math. Phys.
Philosophy of Science	Phil. Sci.
Physical Review	Phys. Rev.
Progress of Theoretical Physics	Prog. Theor. Phys.
Reviews of Modern Physics	Rev. Mod. Phys.
Zeitschrift für Physik	Z. Physik
Вопросы Философии	Воп. фил.
Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики	ЖЭТФ
Успехи Физических Наук	УФН

此外，出版社名称中的 University Press 按通常习惯缩写为 U. P., 如 Oxford U. P. 即牛津大学出版社。

作者为中文版写的前言

孔子在《论语》中说道：“知之为知之，不知为不知，是知也。”（“为政”第二，第十七款）。这段话虽然是在两千五百多年以前说的，但在今天仍然是对科学的最好的写照之一。因为这段话既宣示了科学家对于他的知识的真理性的信念，同时又承认他的知识还远不是完备的。

在现代科学的各个部门中，没有哪个部门象量子力学那样，把上述事态表现得这么突出。一方面，量子力学的内部自洽性以及它与几乎所有的物理学分支部门中的实验证据的一致，加强了物理学家相信它是终极真理的信念；但另一方面，要理解这个理论的真正涵义，要找出它的正确的诠释，却仍然是互相反对的各个学派炽烈争论中的一个题目。有这么多种互相对抗的根本不同的答案被提出来，这一事实提醒我们，孔子上述这段话的第二句现在还是不容忽视的。

本书正是致力于讨论量子力学理论的终极意义这个悬而未决的问题。

* * *

本书原来是用英文写的，我诚挚地欢迎秦克诚先生把它译成中文出版。科学及其哲学的悠久历史已经表明了它们是国际性的。而且，我坚定地相信，随着科学前进步伐的加速，科学及其为人类造福的功能，其未来完全依赖于我们这个星球上一切国家之间的和谐合作。

孔子在他的言论集中用下面这段话表述了这一思想：“学而不

思则罔，思而不学则殆”。(同上，第十五款)

过去，西方曾经从中国学到了很多東西。炼金术(Alchemy)，它是现代化学(Chemistry)的鼻祖，看来发源于古代中国。正如李约瑟(Joseph Needham)一再指出的，西方文字中这个字的字源来自汉语“炼金术”。汉语“炼金术”在广东话中的发音是Lien kim shok，同中国进行贸易的阿拉伯商人把它转成 al kim 或 al-kimiya，后来转为 alohemy。不但火药、烟火、造纸、种痘这些众所周知的发明来自中国，而更重要的还有关于磁性现象的研究。如果我们想到，通过 Peter of Maricourt(他是同数学家兼天文学家郭守敬同时代的人)传到西方的磁学知识曾经促使刻卜勒建立了一个引力理论，他以为引力来源于磁力，而这又有助于牛顿的伟大假设的奠基，那么，中国对西方物理学发展的影响，是怎样估计也不过分的。因此，在过去，西方曾经向东方的中国“学”，而西方同时也“思”。

今天，中国的科学家，象那些在国外留学过的一辈科学家或者现在派到西方国家来的年轻一代科学家的例子所表明的那样，也在向他人“学”，但同时自己也在“思”。

我们必须感谢秦克诚先生，他承担了把本书译成中文的繁重工作，使得他的同事们以及年轻一代的中国未来的物理学家们可以方便地“学”到别人是怎样提出量子力学理论的种种诠释的，而通过他们自己的“思”，他们可望对这个困难问题的更完满的理解作出贡献。



马克斯·雅默(Max Jammer)

目 录

作者序	1
第一章 形式体系和诠释	6
1.1 形式体系	6
1.2 诠释	15
附录	25
文献选辑 I	25
文献选辑 II	28
第二章 早期的半经典诠释	30
2.1 1926/1927 年间关于量子力学概念的形势	30
2.2 薛定谔的电磁诠释	34
2.3 流体力学诠释	44
2.4 玻恩原来的几率诠释	49
2.5 德布罗意的双重解诠释	56
2.6 后来的半经典诠释	61
第三章 测不准关系	67
3.1 测不准关系的早期历史	67
3.2 海森堡的推理	73
3.3 后来对测不准关系的推导	83
3.4 哲学涵义	88
3.5 近期发展	93
第四章 互补性诠释的早期说法	100
4.1 玻尔在科摩的演讲	100
4.2 批判的说明	110
4.3 “平行”互补性和“环形”互补性	118
4.4 历史上的先例	121

第五章	玻尔-爱因斯坦论战	126
5.1	第五届索尔未会议	126
5.2	玻尔同爱因斯坦之间早期的讨论	140
5.3	第六届索尔未会议	154
5.4	后来对光子箱实验和时间-能量关系的讨论	158
5.5	对玻尔-爱因斯坦论战的一些评价	183
第六章	不完备性异议和互补性诠释的后期说法	186
6.1	微观物理属性作为相互作用性的观念	186
6.2	EPR 论证的渊源	193
6.3	EPR 不完备性论证	210
6.4	对 EPR 论证的早期反应	219
6.5	量子态代表关系的观念	229
6.6	数学加工	246
6.7	对 EPR 论证进一步反应	261
6.8	互补性诠释之被人们接受	287
第七章	隐变量理论	292
7.1	提出隐变量的动机	292
7.2	量子力学之前的隐变量	297
7.3	量子力学中早期的隐变量理论	304
7.4	冯·诺伊曼的“不可能性证明”和对它的种种反应	308
7.5	玻姆使隐变量复活	323
7.6	格里森、姚赫及其他人的工作	345
7.7	贝尔的贡献	353
7.8	近来在隐变量方面的工作	365
7.9	诉诸实验	385
第八章	量子逻辑	398
8.1	量子逻辑的历史根源	398
8.2	非分配逻辑和互补性逻辑	406
8.3	多值逻辑	423
8.4	代数方法	446
8.5	公理方法	451

8.6	量子逻辑和逻辑	470
8.7	种种概括	485
第九章	随机过程诠释	492
9.1	形式上的类似	492
9.2	早期的随机过程诠释	501
9.3	后来的发展	508
第十章	统计系综诠释	517
10.1	历史起源	517
10.2	意识形态方面的原因	521
10.3	从琥珀到朗德	526
10.4	其他尝试	548
第十一章	测量理论	553
11.1	经典物理学与量子物理学中的测量	553
11.2	冯·诺伊曼的测量理论	557
11.3	伦敦和鲍厄的进一步加工	565
11.4	别种测量理论	570
11.5	潜伏属性理论	591
11.6	多世界理论	595
附录	格论	612
人名译名对照索引	619

作 者 序

在科学史上，还不曾有过一种理论象量子力学那样对人类思想发生过如此深远的影响；也从来没有一种理论，对如此大量的现象(原子物理学、固体物理学、化学等等)的预言赢得了这样惊人的成功。而且，对今天一切已知的事物而言，量子力学是关于基元过程的唯一逻辑一贯的理论。

因此，虽然量子力学要求对传统的物理学和认识论的最根本的基础作重大的修改，但是它的数学工具，或更一般地说它的抽象形式体系[formalism]，看来已经牢固地建立起来了。事实上，一直没有别的哪一种具有根本不同的结构的形式体系得到人们的普遍接受，以作为代替物。然而，这个形式体系的诠释，在提出理论之后几乎半个世纪的今天，却仍然是一场空前的争论的主题。事实上，它是当代的物理学基础研究中最有争议的问题，并且把物理学家们和科学哲学家们分成许多对立的学派。

尽管量子力学的诠释问题对物理学和哲学都很重要，但这个问题却很少(如果不是完全没有的话)从一种一般的历史的观点不偏不倚地 [*sine ira et studio*] 研究过。关于这个题目所发表的大量文章或专著，通常都只限于在某些专门的方面来为某种特定的观点辩护；迄今尚未见到过对这个问题的全貌和历史所作的全面、渊博的分析。这本历史-批判性著作就是用来填补这个空白的。

本书还有另外两个目的。

由于本书不只是量子力学各种诠释的一部编年纪录，而主要是注意分析它们的概念背景、哲学涵义和相互关系，因此它也可以

用来作为学习量子力学的逻辑基础和哲学的一本一般性的入门书。这个题目虽然对更深刻地理解现代理论物理学是必不可少的，但是在通常的关于量子力学理论的教科书和讲义中却几乎没有得到足够的考虑。而且历史的讲述方法还有其教学法上的优点，它能减轻那些尚未入门的读者学习这个课题的困难。

最后，由于本书对文献的详细征引，本书也可用作关于这一题目的文献指南。作者费了不少心思，以对所讨论的课题的国际文献提供一个精确的和迄至最近的参考目录。读者当会发现不难追溯他感兴趣的任何特殊细节。为了使本书自成体系，并且使本书不但对专家而且对只是初步懂得量子物理学的一般读者都易于理解，所有对量子力学诠释问题有重要意义的定理都或详或略地给出其证明。此外，对于许多理解本书正文所必需但量子力学教程通常并不包含的材料，或者详尽地说明，或者至少介绍到这种程度，使得对论证的理解不至于出现困难。特别是，为了读者的方便，在书末的附录中概述了格论的基本内容，这门数学分支是物理学家们极少涉猎但对充分理解量子逻辑及有关论题却是不可少的。这个概述尽管很简略，却已包括了为证明正文中有关定理所需的全部预备知识。

如果读者只对问题的哲学方面感兴趣，他也完全可以略去书中一些比较专门的和较为数学性的段落不读，而仍能跟上主要的论证线索，不致有严重的不连续之感。

本书采用的记号尽可能在全书统一，并且在正文中都有解释。为了使书的篇幅不至过大，避免脚注中文献名称重复，书中采用了如下的缩写记法。例如第三章的脚注 2“参见 2-1 (1969, p. 105; 1971, p. 73)”，意思就是参见第二章脚注 1 所列的参考文献中的 1969 年出版的书的第 105 页和 1971 年出版的书的第 73 页。若

是参见同一章的，则略去了章号。对于要参见的数学方程也采用了类似的记号。

本书源自1968年我在哥伦比亚大学(纽约)关于现代物理学的历史和哲学的一门研究生课程的讲稿。书的头四章是在我访问明尼苏达州科学哲学中心(明尼阿波利斯)、马克斯·普朗克研究所(慕尼黑和施达恩堡)和尼尔斯·玻尔研究所(哥本哈根)期间写成的。第五章以1971年我在国立罗蒙诺索夫大学(莫斯科)举行的第十三届国际科学史会议上宣读的一篇论文为基础。随后两章是我于1972年和1973年在瓦伦那(意大利)的“恩里科·费米”国际物理学讲习班、在佛罗伦斯大学以及在阿姆斯特丹大学的讲演扩充而成。第八章于我访问柏林、哥丁根、汉堡及马尔堡等大学期间 vii 写成。最后三章是在西蒙·弗拉塞大学(加拿大的不列颠哥伦比亚)、阿尔贝塔大学(加拿大的埃德蒙顿)和里德学院(俄勒冈州波特兰)完成的，我在1973年是该学院安德鲁·梅隆[Andrew Mellon]讲座的高级访问教授。

这些讲座之约使我有机会查阅许多藏书和档案，而更重要的是，使我得以同当代第一流的量子理论家建立了私人接触。我不顾实用主义者人文学家席勒[F. O. S. Schiller]所称的“奇怪的清规，即禁忌在一个哲学家在世时提出关于他的意向的问题”，而是不客气地向许多杰出的权威询问了关于他们在量子力学基础方面的工作的详情。他们非常乐意和坦率地回答我的问题，使我得到了大量第一手的信息，这对一个搞现代物理学史的人是莫大的幸运。

因此我得向许多人表示谢意。关于哲学在物理学中的作用方面，对我的观点影响最大的是以下几位教授的著作以及同他们的讨论：费格尔[Herbert Feigl]、费耶拉本[Paul k. Feyerabend]、马格瑙[Henry Margenau]、纳杰尔[Ernst Nagel]和施特