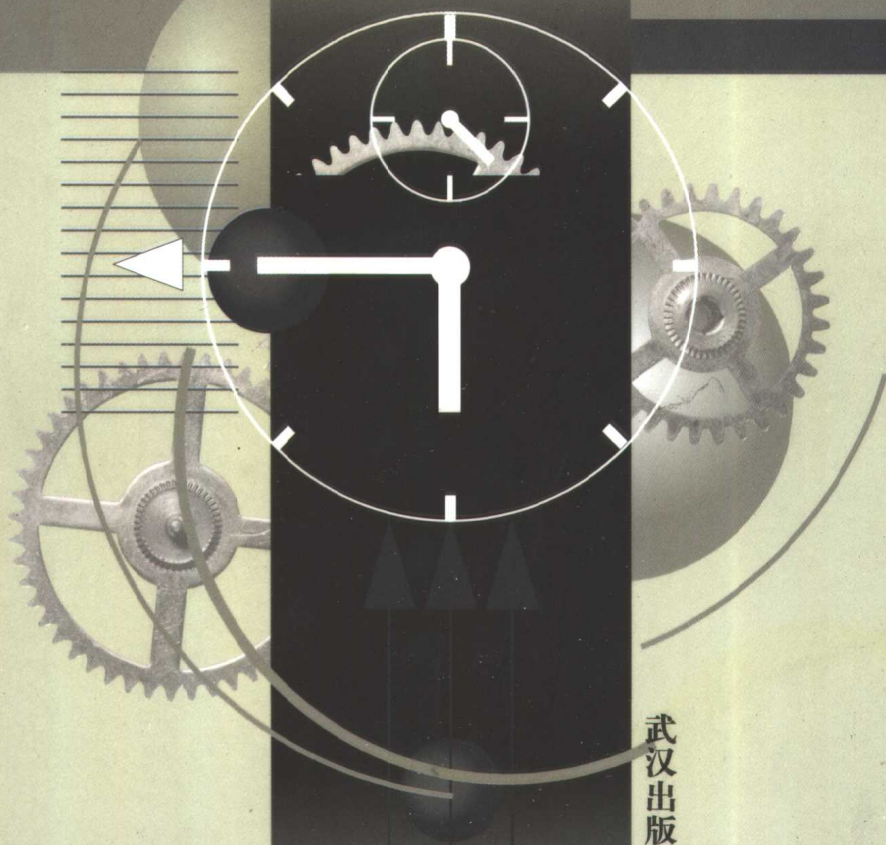


物理学的新神曲

——量子力学曲率解释

赵国求 吴新忠 万小龙 著



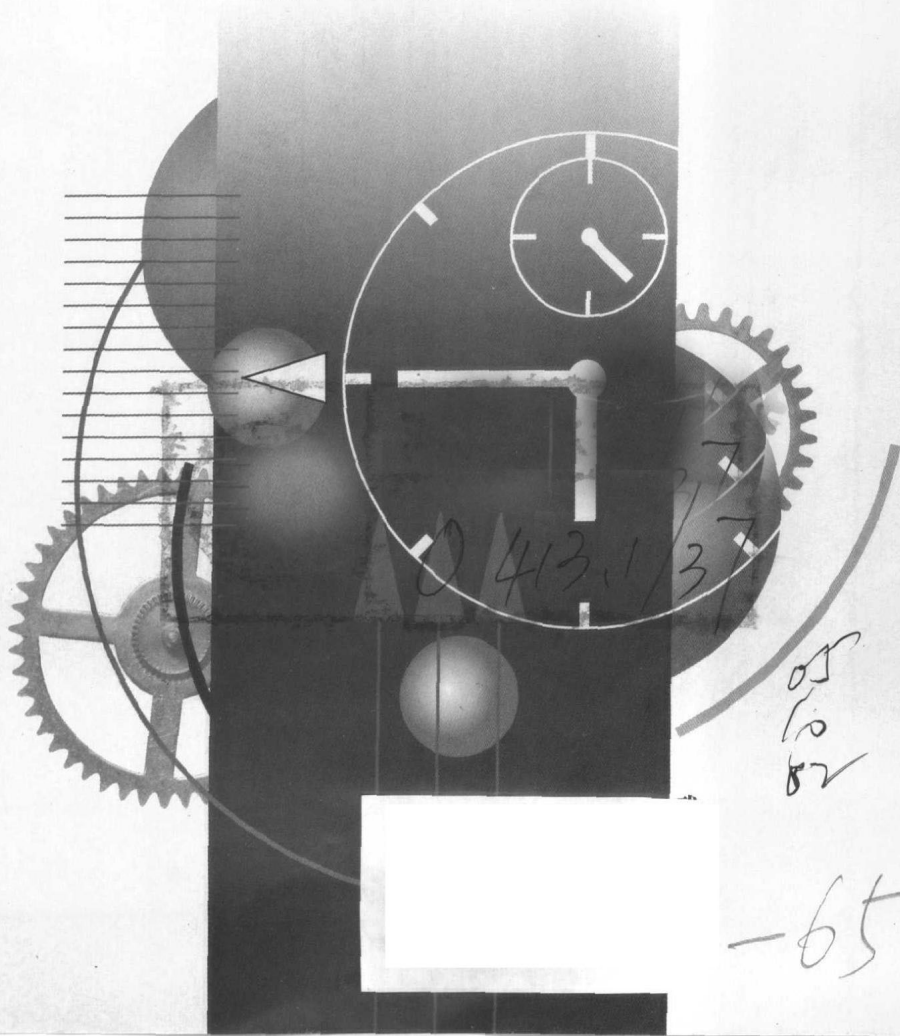
武汉出版社

2000年国家社会科学基金资助课题：“物理学哲学研究”，编号：00BZX015

物理学的新神曲

——量子力学曲率解释

赵国求 吴新忠 万小龙 著



(鄂)新登字 08 号

图书在版编目(CIP)数据

物理学的新神曲:量子力学曲率解释/赵国求,吴新忠,万小龙著. —武汉:武汉出版社,2002.5

ISBN 7—5430—2608—2

I. 物… II. ①赵…②吴…③万… III. 量子力学—曲率
IV. O413.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 008548 号

书 名:物理学的新神曲——量子力学曲率解释

著 者:赵国求 吴新忠 万小龙

责任编辑:郭庭军

封面设计:刘福珊

出 版:武汉出版社

社 址:武汉市江汉区新华下路 103 号 邮 编:430015

电 话:(027)85606403 85600625

印 刷:湖北省通山县印刷厂 经 销:新华书店

开 本:850×1168mm 1/32

印 张:12.75 字 数:320 千字 插 页:4

版 次:2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7—5430—2608—2/(O)·13

定 价:23.00 元

版权所有·翻印必究

如有质量问题,由承印厂负责调换。

序

若干月前赵国求先生邀我为本书作序,去年下半年万小龙先生赴合肥请我为其出访法国签写推荐信时也提及此事。我初以为本书只不过是一些已发表过的文章的串稿,没料到日前寄来的大样竟有洋洋洒洒三十万字之巨,着实吃惊不小。

关于量子力学的诠释,按照 J. S. Bell(Found phys. 1992. 22 (10):1201)和 B. J. Hiley(在中国长沙“量子理论基础问题暨 Bohm 学术思想研究会”上的报告,1990)根据从大量文献的统计资料得到的结果分类,最主要最有影响的共有六种,即(1)Copenhagen 诠释;(2)Wigner von Neumann 的“标准”诠释;(3)Bohm 的“量子势”诠释;(4)Blokhintsev 的(统计)系综诠释;(5)Everett III 的“大千世界诠释”(又译为“多世界诠释”);(6)Nelson 和 de la Pena—Auerhach 的随机诠释。此外,还有介于“量子势”诠释与随机诠释之间的 Madelung—高林武彦(T. Takabayasi)的流体力学表象,所有这一些,在本书中都有详尽和基本上忠实于原意的介绍。我要指出的是,量子力学各种诠释的“春秋战国”由来已久,至今尚没有一种诠释能够称霸武林,每种诠释都有其存在的理由,而且,除了这六七种主要诠释外,还有不少值得重视的正在由弱转强的非主要诠释。本书作者之一赵国求先生提出的“曲率解释”,就是其中的佼佼者。不管何种诠释,只要能自圆其说,或者能部分自圆其说,都必须引起重视,仔细研究,都有其一席之地。

当然,我最为看好的还是 L. de Broglie 的双重解理论,不是其简化形式“导波理论”,这不仅由于它是 A. Einstein 赞赏的,而且由于它是迄今为止惟一一种符合局域性原理的实在论量子力学。

关于它的数学方面,目前已取得长足发展。有些持正统观点的量子力学工作者,为了维护其 Copenhagen 观点或“标准诠释”观点,不惜大量泼墨于 de Broglie 甚至 Einstein 进行污辱,我认为此类行为太过“小人”。诚然,Einstein 不是上帝,但说不说这句话倒确实反映了他的物理学观和他对 Einstein 思想的理解程度。我认为目前世界上有一些“铁杆”Copenhagen 学派的所谓“量子力学专家”是科学史上曾经有过的最为霸道的人之一。

最近,评论各种“量子力学诠释”的文章又重新热闹起来,其背景乃是量子力学向信息学科的渗透和拓展。有些量子力学教科书的作者声称“可以说全部物理学都是量子物理学的”,因而这种向信息学科的渗透和拓展可以认为是顺理成章的;但是也可以反过来理解:正是由于量子力学的正统理论内外交困,它才不得不需要在信息科学中的可能发展来为其壮胆取暖。实际上,目前流行于世的许多所谓关于“量子信息论”方面的文章,其中有关“EPR 对”的说法就是完全错误的。就是这些错误百出的文章,照样横行于世。

我要指出的是:EPR 思想实验同 Bohm 思想实验之间存在着明显和重要的差别。

在 EPR 论文(中文有许良英先生等人的译文和戈革先生的译文可资参考)的第二部分中指出(许译):“我们假设有两个体系, I 和 II, 在时间 $t=0$ 到 $t=T$ 之间允许它们相互发生作用,而在此以后,假定这两部分不再有任何相互作用。”(原文: For this purpose let us suppose that we have two systems, I and II, which we permit to interact from the time $t=0$ to $t=T$, after which time we suppose that there is **no longer any interaction** between the two parts.)“由于在量度时两个体系不再相互作用,那么,对第一个体系所能作的无论什么事,其结果都不会使第二个体系发生任何实在的变化。这当然只不过是两个体系之间不存在相互作用这

个意义的一种表达而已。”(原文: since at the time of measurement the two systems no longer interact, no real change can take place in the second system in consequence of **anything** that may be done to the first system. This is, of course, merely a statement of what is meant by the absence of an interaction between the two systems.)

但是,在 Bohm 的《量子理论》一书中却是这么说的:“现在让我们来描述 Einstein—Rosen—Podolsky 的假想实验。我们把这个实验稍微修改了一下,但其形式本质上与他们提出的相同,不过在数学上处理起来要容易得多”。“假定有一个双原子分子,处于总自旋等于零的状态,再假定每个原子的自旋等于 $\hbar/2$ ”。“现在假定分子在某一过程中被分解成原子,且在这个过程中其总角动量保持不变。于是两个原子开始分开,并很快就不再具有显著的相互作用”。

请注意黑体字“任何”与“显著”之间的差别。用现代物理学的语言来说,“不再有任何相互作用”就是所谓“局域性”,而“不再具有显著的相互作用”则暗含着量子之间可能存在“非局域性”。说到底,EPR 实验必须是彻底相对论的,而 Bohm 实验则必然是非相对论的。由此可知,Bohm 思想实验并不像他本人所标榜的那样“其形式本质上与他们提出的相同”。他后来提出的非局域性的“量子势”诠释同这一思想实验是一脉相承的。在“量子势”诠释中,波函数的表达式 $\psi = R \exp(\frac{i}{\hbar} S)$ 里的确没有量子之间的“显著”相互作用,但由于“量子势” $Q = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\nabla^2 R}{R}$ 的存在使得量子之间确实确实有着“非局域”相互作用。

因而,后来的 Bell 不等式充其量只能反映 Bohm 思想实验,而与 EPR 论文无关。更何况 Bell 不等式本来就同量子力学相矛

盾,它实际上已隐含着测量统计的经典方案。再更何况 Aspect 实验在验证 Bell 不等式时存在着程度不同的漏洞。由此可知,当前许多有关“量子信息论”文章中的说法都是哗众取宠,经不起推敲的。

本书中还说到了相对论问题。相对论和热力学第二定律,是物理中的物理,是核心中的核心。它们相当于分析力学中的约束条件,没有相对论,没有热力学第二定律,就不可能有正确的物理学。要学习相对论,我建议看原著,至少也要读曾得到过 Einstein 首肯的书籍(例如 Møller, Pauli, Tolman, Bergmann, von Laue, Eddington 等人的书),以免误入歧途。曾记得北京大学赵凯华教授说过,他所撰写的“自认为是写得最得意的”有关相对论的章节,在送交专家评审时被告知是有问题的。赵教授的这一经历告诫人们,在对相对论说三道四之前要慎之又慎。

有关量子力学和有关相对论以及它们之间是否存在协调方面的话,我已经说过不少(例如在为赵国求先生所著《运动和场》一书所作的“跋”中就有),可能还要继续说下去。可以肯定,我关于相对论所说的话必将在或短或长的时间内得到应验,但是我不敢保证我关于量子力学方面所说的话一定有人听得进去。因为正如前文所说,量子力学各种诠释的“诸侯争霸”局面非但未见减弱,反而越演越烈;与此同时,那些霸道的“量子力学正统观点”学派的力量仍不容小觑。

由于量子力学向信息学科的渗透和拓展而重新热闹起来的有关“量子力学诠释”的讨论和研究,是导致作者撰写本书的直接原因。在有关“量子力学诠释”的讨论和研究中,最关键的问题乃是量子力学如何同相对论协调的问题。曾经有一篇文章说,目前尚有 100 道物理难题困扰着人类。然而据我看来,比起其他 99 道物理难题来说,量子力学同相对论的协调问题乃是所有问题的根本。此问题实乃 20 世纪人类留给 21 世纪物理学的第一朵“乌云”。

而量子力学同相对论相协调问题的具体表现,就是在讨论“量子力学诠释”或量子力学基础问题时经常谈到的“EPR 实验”问题和“Schrödinger 猫佯谬”问题。S. Hawking 的高足吴忠超先生在 1999 年 3 月 17 日《中华读书报》一篇纪念 A. Einstein 诞生 120 周年的文章中说:“就现状而言,量子力学并不自治,它仍然忍受着 Einstein-Rosen-Podolsky 佯谬的折磨。”“近年来的一些研究似乎在一定程度上解除了 Schrödinger 猫对它的折磨”。从吴忠超的这段话中可以看出,甚至连 Hawking 学派都认为这两个问题仍是所有讨论“量子力学诠释”问题时所要解决的关键。关于“EPR 实验”问题,笔者已有一篇拙文(《大学物理》,2000,19(4):34)奉献给诸位。笔者认为自己已将所有有关问题摆到了桌面上,那些铁杆 Copenhagen 学派分子认为已经解决了的问题其实根本没有解决,只不过是自欺欺人而已;而一些所谓“量子信息论”文章中所提到的“EPR 对”,实质上充其量只能称得上“Bohm 对”,与 Bohr 同 Einstein 之间的争论完全无关。据笔者看来,在对“EPR 实验”精神实质的了解方面,Bohm, Bell 还有 Aspect, 都及不上 Bohr; Bohr 完全认识到量子力学必定是非局域性的,而 Bohm, Bell 和 Aspect 只是到后来才认识到这一点。

本书作者所倡导的“量子力学曲率解释”同量子力学的其他诠释一样,我看无法摆脱“EPR 实验”的折磨,尽管他们现在仍在做种种努力。但是“量子力学曲率解释”能否在解除“Schrödinger 猫佯谬”的折磨方面有所建树,人们还是可以有所期待的。至今为止,似乎只有“大千世界诠释”对此问题能够自圆其说,然而这种诠释过于超脱,凡夫俗子无法深明其中的禅机。

关于“Schrödinger 猫佯谬”问题,最近被许多“量子信息论”方面的文章炒得沸沸扬扬,也就是吴忠超先生所说的“似乎在一定程度上解除了……折磨”。兹举出以下几篇综述的目录提供给诸位参考:

(1)叶李华. 大肥猫的物理难题. 科学月刊(台北). 1997. 335: 914—917

(2)丁效良. 量子密码. 科学月刊(台北). 1997. 326:110—119

(3)丁效良. 量子资讯理论. 物理(台北)1997. 19(2):237—246

(4)丁效良. 量子猫的故事. 物理(台北). 1997. 19(5):439—449

(5)沈致远. 薛定谔猫的生与死. 科学. 2000. 52(5):46—48

(6)孙昌璞. 经典与量子边界上的薛定谔猫. 科学. 2001. 53(3):7—11

(7)孙昌璞. 量子力学若干基本问题研究的新进展. 物理. 2001. 30(5):301—316

可以看出,由于在信息产业方面的超前发展,台湾科学家对“Schrödinger 猫”问题的关心要早于大陆科学家,而且台湾科学家所写的文章也较之大陆科学家的文章更为通俗易懂。

大陆科学家沈致远的文章有一小段“导读”(估计出自他人之手),其中说:“薛定谔佯谬质疑对量子力学的解释,并非质疑量子力学理论本身。量子力学所导出的结论,其正确性已被许多实验(包括最近关于薛定谔猫的实验)反复证明,两者之符合程度在科学史上是空前的。”

“导读”中的这一说法或许与 D. Bohm 的合作者 B. Hiley 的说法一致。Hiley 说过:“如果有人到我这儿来,并说,他想解决某一物理问题,我会向他们推荐正统诠释。因为我们知道,它不仅有效,而且给出正确答案。但是,当你考察正统诠释,并企图理解电子产生干涉图样时有什么事情在发生,那么,你就没有什么物理方法去说明这一图案的形成了。”

“导读”中所说的和 Hiley 所说的话,等于承认量子力学正统诠释并非万能的,而它在诠释“Schrödinger 猫”问题时更是无能为力。

此外，大陆科学家孙昌璞关于“EPR 实验”和“局域性问题”的说法也是错误的和不足为信的：“为了克服这种矛盾，D. 玻姆提出了所谓的定域隐变量理论……1963 年，贝尔(J. Bell)提出了所谓的贝尔不等式，使得人们能通过实验来检验量子力学和定域隐变量理论的孰是孰非。”

在本“序”以及所引的拙作中，笔者通过对比 EPR 论文和 Bohm 的著作中的有关段落，已经证明了 Bell 不等式和 Aspect 实验之类，与 EPR 思想实验完全无关。为了慎重起见，笔者还特意找来了 EPR 论文的原文进行核对。在铁的事实面前，一些量子力学专家仍在喋喋不休地谈论“EPR 对”或者“使得人们能通过实验来检验量子力学和定域隐变量理论的孰是孰非”之类的话题，使得人们有理由怀疑他们的科学诚意。Bell 生前曾指责有些量子力学专家所谈的论据是经过“故意的挑选”的，目前的形势同 Bell 所指责的完全相符。

由于这一理由，以及许多“量子信息论”论文的作者从未有过研究量子力学基础理论的学术经历，人们对他们所作的有关“Schrödinger 猫佯谬”的研究结果持怀疑态度并进行重新研究是完全应该的、非常及时的。因为“Schrödinger 猫佯谬”问题是量子信息论中的关键问题，是研制“量子计算机”的理论基础之一，所以笔者建议所有从事量子力学基础理论的科学家都来关心这个问题，包括本书的作者在内。毕竟，目前关于“量子力学诠释”的热烈讨论，就是基于量子信息论的发展前景，而目前由量子力学专家所撰写的文章是十分令人不满意的，其可信度是要打问号的。

孙昌璞在文章中说过：“引入波粒二象性的观念或几率解释是各种佯谬出现的本质。”这句话或许触及了问题的核心，这就是笔者认为“曲率解释”在 Schrödinger 猫问题上或许有所建树，人们可以有所期待的原因。

赵国求先生及其同事在短短的七八年时间内成就了一种敢于

向“正统观点”叫板的量子力学诠释,实在是一件不易的事。很明显,本书要比赵国求先生的旧著《运动和场》写得更为深入,尽管本书还存在这样那样的毛病,但这并不妨碍本书仍可获得“值得一读”的评价。尤其是,通过将几种主要的“量子力学诠释”与本书作者提出的“曲率解释”进行对比,读者自然会了解目前流行的“正统量子力学”中所存在的问题。如果这些问题能引起读者的重视,作者的目就达到了。

Einstein 说过,对真理的追求比对真理的占有更重要,祝愿本书作者今后取得更大的成就,希望量子力学曲率解释能在量子力学向信息学科的渗透和拓展中有所作为。

是为序

沈惠川

二〇〇一年六月

于中国科学技术大学

目 录

导言	桂起权	(1)
第一章 量子力学发展简史		(11)
第一节 量子论的起源		(11)
第二节 经典量子力学		(18)
第二章 量子力学公设体系和物理解释		(36)
第一节 量子力学公设体系		(36)
第二节 量子力学的几率解释		(44)
第三节 量子力学的决定论解释		(63)
第四节 量子力学的统计系综解释		(90)
第三章 量子场论		(101)
第一节 相对论量子力学的形成和发展		(101)
第二节 经典场和量子化场		(118)
第三节 费曼路径积分表象		(141)
第四节 S 矩阵表象		(145)
第四章 量子力学完备性质疑		(150)
第一节 量子力学完备性质疑		(150)
第二节 隐变量理论		(155)
第三节 普朗克常数的哲学意义		(162)
第四节 量子力学解释有待突破		(169)
第五章 质点模型与时空动力学		(180)
第一节 质点模型的意义		(181)
第二节 相对论力学中的时空动力学机制		(185)

第三节	相互作用原理与物体的时空形象·····	(189)
第四节	人类认识自然的逻辑通式·····	(198)
第六章	相对论效应与光信号的测量作用·····	(203)
第一节	洛仑兹变换推导时间延缓效应质疑·····	(203)
第二节	运动钟变慢分析·····	(205)
第三节	相对论长度收缩与测长单位的关系·····	(208)
第四节	运动钟的频率降低与运动电子的频率升高 ·····	(212)
第七章	测不准原理·····	(217)
第一节	测不准原理提出的历史背景及其基本形式 ·····	(217)
第二节	测不准原理的几种常见解释·····	(224)
第三节	测不准原理在氢原子中的应用·····	(226)
第八章	测不准原理的实在论诠释·····	(231)
第一节	自在实体与现象实体·····	(231)
第二节	微观粒子的非质点特性及其本体论依托·····	(234)
第三节	量子力学曲率解释中“测不准原理”的实在 论意义·····	(237)
第四节	波函数的曲率特性及归一化的意义·····	(245)
第九章	经典概率与量子概率·····	(250)
第一节	概率的几种解释·····	(250)
第二节	经典概率的特征·····	(253)
第三节	量子概率·····	(257)
第四节	新的思路与不同学派思路的比较·····	(262)
第十章	量子力学曲率解释在氢原子中的应用·····	(269)
第一节	氢原子中电子的径向曲率函数·····	(269)
第二节	精细结构常数 α 的物理意义·····	(276)
第三节	曲率波与几率波的对应·····	(278)

第四节	曲率解释中的测量及其他相关问题·····	(281)
第十一章	波函数曲率解释实例研究·····	(292)
第一节	氦原子基态波函数·····	(292)
第二节	氢分子离子 H_2^+ ·····	(294)
第三节	量子力学中的一维振子·····	(297)
第十二章	康普顿物质波与量子力学曲率解释·····	(304)
第一节	自由电子平面波的曲率特性·····	(304)
第二节	康普顿物质波·····	(308)
第三节	康普顿物质波曲率解释中的测量问题·····	(312)
第十三章	量子力学曲率解释与真空对称性破缺·····	(316)
第一节	相对性原理与拉格朗日函数的不变性·····	(316)
第二节	规范变换与带电粒子的运动及建在其上坐标 系的关系·····	(319)
第三节	狭义相对论基础上的整体规范变换与惯性系 ·····	(322)
第四节	定域规范变换与加速系·····	(325)
第五节	规范场与真空对称性破缺·····	(329)
第十四章	弱电统一理论中的时空特性分析及希格斯 机制·····	(332)
第一节	真空破缺与希格斯粒子的运动·····	(332)
第二节	零质量弱电统一理论中的时空特性分析·····	(336)
第三节	希格斯机制与弱电统一理论·····	(340)
第十五章	量子力学曲率解释与其他解释的比较·····	(345)
第一节	微观客体波粒二象性认识的简单回顾·····	(345)
第二节	玻姆量子势理论与量子力学曲率解释·····	(350)
第三节	费曼路径积分与曲率波·····	(354)
第四节	量子力学曲率解释——波粒二象性的有机 统一·····	(357)

第五节 量子力学曲率解释的时代特征·····	(361)
第十六章 量子场论的世界图像与统一场论展望·····	(368)
第一节 粒子与场·····	(368)
第二节 量子引力·····	(373)
第三节 统一场论展望·····	(385)
后记·····	(388)
参考书目·····	(391)

导 言

摆在读者面前、由赵国求教授等人所著的这本专著《物理学的新神曲——量子力学曲率解释》，以富有原创性思想为特色，它是我们的“物理学哲学研究”课题组的几项重要成果中的头一项。另一项是张桂权所著的《玻姆的物理学哲学思想》一书，也即将出版。依我之见，张桂权是国内对 D. 玻姆的思想深有研究的第二号人物，仅次于洪定国先生。该书对玻姆的其人其著、对因果性与机遇、隐变量与量子势因果解释、非定域性、生成序与隐卷序、意义观与整体观等问题都作了独到的概括与分析。我本人的《物理学哲学》一书，已纳入武汉大学出版社 2002 年出版计划。在这本专著中我将全面论述我们的物理学哲学思想。

我把我们的课题组称作“科学共同体”，那是采用了科学哲学中的一个习惯说法。正如科学哲学家 T. S. 库恩所指出，科学共同体是产生科学知识的单位，它是指这样的科学家集团，他们从事给定的专业研究，教育与专业训练的共同要素把他们联结在一起，他们彼此了解，思想交流充分，在专业上判断比较一致。一般地说，同一个科学共同体的成员都接受一个公共的总体思想模式（称作“范式”），从基本的哲学观、价值观到所钟爱的科学上的方法与样板理论等等都比较一致。我相信，现实世界确实是由因果与机遇、必然性与偶然性联合支配着的。固然，对量子力学的哲学问题的共同爱好是把我们将联结在一起的基本因素，但是机缘也是不可缺少的。

早在 20 世纪 80 年代末，我对赵国求先生所创导的曲率解释就有所耳闻。我的邻居和朋友何建鄂教授是一位量子力学教员，

也是曲率解释的热情宣传者。1988年12月,何老师在与我讨论谭天荣的新著《哥本哈根迷误》时就涉及到曲率解释,可是当时我的注意力仍集中于哥本哈根解释。

我对量子力学哲学问题的最早兴趣,发端于1961年12月所读的萨契柯夫的《论量子力学的唯物主义解释》(1961年译本),不过当时我在书中写的批语是“尽信书不如无书”。那时占主流的是布洛欣采夫的系综解释,然而我通过苏什金的《理论物理学》第四册(1960年)却觉得福克观点(认为波函数表现出单个微观粒子的实际态)更有吸引力。早在1963年,在大学毕业前夕我就写过一篇《论微观客体的粒子性与波动性之间的辩证关系》(未发表),不过直到在1981年江苏省自然辩证法年会上才有机会以此内容来为大会专题报告。

1990年,我申请到一个教育部博士点基金项目,那是关于哥本哈根学派的科学哲学的研究。于是,我与王自华教授等合作者就有机会对量子力学的历史与哲学的相关方面作比较系统的研究,并产生了一系列研究成果。这些工作也可以看作我们在2000年获准的国家社会科学基金项目“物理学哲学研究”的前期准备。

实际上,我们从逻辑、科学哲学或自然辩证法以及科学思想史(包括科学家个人的和科学家集团的思想)等三个方面来研究量子力学的哲学问题,前前后后累积起来恐怕有一二十年之久。第一方面,我从逻辑角度着眼所写论著有:《量子逻辑》(2万字,载王雨田主编《现代逻辑科学导引》,1988)、《量子逻辑》(8000字,载杨百顺主编《现代逻辑启蒙》,1989)、《量子逻辑对应原理对辩证逻辑的作用》(载《江汉论坛》1983(2))、《对应原理——多种非经典逻辑的通用原理》(载《自然辩证法通讯》1994(3))、《互补性构架及其逻辑重建》(武汉大学学报(社)1997(2)),还有《辩证逻辑形式化论纲》中的“对应原理论题”与“超越世界语义学及其量子论诠释论题”(载《珞珈论坛》(一),1996.11)。第二方面,我从科学哲学与自然