

From Interactive Reality To Curvature Interpretation of Quantum Mechanics

Zhao Guoqiu

赵国求 / 著

从相互作用实在到 量子力学曲率解释

武汉出版社
WUHAN PUBLISHING HOUSE

从相互作用实在到 量子力学曲率解释

赵国求 / 著



武 汉 出 版 社

(鄂)新登字 08 号

图书在版编目(CIP)数据

从相互作用实在到量子力学曲率解释/赵国求著. —武汉:武汉出版社, 2008. 11

ISBN 978-7-5430-4053-3

I. 从… II. 赵… III. 量子力学—曲率—研究 IV. 0413.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 162425 号

著 者:赵国求

责任编辑:李杏华

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

<http://www.whcbs.com> E-mail: wuhanpress@126.com

印 刷:武汉中科兴业印务有限公司 经 销:新华书店

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:31.25 字 数:479 千字 插 页:3

版 次:2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

版权所有·翻印必究

如有质量问题,由承印厂负责调换。

Foreword

The interpretation of the wave function is one of the two fundamental questions in understanding the foundations of quantum mechanics (the other is the so-called measurement problem). Ontologically, there have been two ways of interpreting quantum mechanics, based on the assumption of particle ontology or wave ontology. The most prominent particle ontology interpretation is the so-called Copenhagen interpretation (the square of the wave function indicates the probability of the appearance of a particle, or many particle, with certain physical properties, or of a physical process [such as a decay, or a transition, or a pair creation or annihilation]). Of course, the particle in the Copenhagen interpretation is not the Newtonian particle with a fixed and permanent existence, but, rather, a statistical existence. As to various forms of wave ontology interpretation, conceptually, all variants of this school has to assume the existence of some sort of substantial wave, and this has created an almost unsurmountable difficulty: wave of what? Or what is the material or substantial carrier of the wave? Readers who are familiar with Max Jammer's book *THE PHILOSOPHY OF QUANTUM MECHANICS* know the record of miserable failures by the earlier attempt in this direction. The most serious difficulty, among many others, is related with the dimensionality of the wave function. All substantial wave must exist in four dimensional physical spacetime, but a wave function for any physical system other than one particle ones, must have its dimension more

than four. That is, the wave function exists only in a phase space rather than in the physical spacetime.

The heroic, or audacious, attempt of the project, the curvature interpretation of quantum mechanics (a variation of the wave ontology interpretation), pursued and summarized in this book cannot avoid facing this difficulty. Thus my first impression of the project was completely negative: how could such a project outrageously ignoring fundamental conceptual constraints could have any future? The central concept of the project is the curvature of the wave, which carries all the causal power in any quantum systems and thus the explanatory power in the project. But the dimensionality difficulty has indicated that it cannot be consistently conceptualized within the existing metaphysical framework of the physical world and thus cannot be integrated into any existing conceptual framework of physical theory.

When I carefully re-read the book, however, my impression has gradually changed when I consciously put the project into a bigger picture or framework, a framework including the notions of scientific explanation and structural realism.

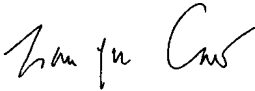
In terms of scientific explanation, which, according to Mary Hesse, is only a metaphorical redescription of the phenomena to be explained, the curvature interpretation certainly has enough explanatory power and thus is not incompatible with the spirit of scientific explanation since the notion of curvature is an easily understandable and acceptable metaphor.

But the most important philosophical justification comes from the implication of structural realism, which in fact is my own favorite project. According to my version of structural realism, the ultimate ontology in a physical theory is not presumed metaphysically or speculatively or based on any existing experience, but has to be constructed on the basis of the structural knowledge involving the hypothetical ontology. The chances for the curvature interpre-

tation are, although quite remote indeed, that a notion of a substantial wave can be consistently constructed from all the structural statements involving the wave integrated within the framework of the curvature interpretation without any direct conflict with the existing notion of substance. How could this be possible? The only possibility for achieving this without any logical difficulty is to acknowledge a new metaphysical status of the substantial wave constructed within the curvature interpretation. That is, the substantial wave constructed has to be accorded as a new form of existence, a new category of natural kind. It certainly differs from traditional wave. But this difference should not be taken as an insurmountable barrier for its acceptance. The particle in the Copenhagen interpretation also differs from traditional particle.

Chances for successfully attaining this goal cannot be ruled out in principle, although in practice it requires heroic effort and substantial inputs of time, energy, organizational and financial resources. But if, a very big “if” indeed, this can be achieved, and if, an even bigger “if”, the curvature interpretation can rule out some existing interpretations of quantum mechanics, and incorporate others into its framework and prevail, that is, if it can be accepted as THE interpretation of quantum mechanics, then the achievement is far more than an interpretation in any conventional sense, but involves a discovery of a new form of existence. An achievement that would enjoy a status equal to the achievement of the discovery of the electromagnetic field as a new form of existence, which is different from the “only” form of the existence known to human being then, namely the Newtonian particles or ponderable matter; or to the achievement of the discovery of confined quarks and gluons, which differ from all other forms of physical existence, namely they cannot have any separate existence, or in the jargon of the high energy physics community, have no asymptotic states.

This is not a book for students or practicing physicists. But ambitious philosophers and speculative physicists might find it highly stimulus, stud with numerous insights, which can, at least, be used to construct a consistent and integrated framework. More serious scholars might be lured to have further exploration along the line opened by the project pursued in this book. For such a small amount of serious readers, I recommend this book with somewhat ambivalent feelings revealed in the above lines.

 (Boston University)

June 18, 2008

序 一

对波函数的解释是理解量子力学基础的两个基本问题之一(另一个问题是所谓的测量问题)。从本体论来说,解释量子力学一直有两种方法,它们都基于对粒子本体论或波本体论的假设。最著名的粒子本体论解释是所谓的哥本哈根解释,即:波函数的平方表示具有一定的物理特性,一种物理作用中的单粒子,或多粒子出现的概率(如衰变,或跃迁,或湮灭形成电子对等)。当然,哥本哈根解释中的粒子不是牛顿所说的永恒的固定粒子,而是一种统计上存在的粒子。至于各种各样的波本体论解释,从概念上说,这个学派的所有分支都不得不假设某种物质波的存在。这又产生了一个几乎不可逾越的困难:什么物质的波?物质波的载体又是什么?读过马克斯·雅默著作《量子力学的哲学》的读者就熟悉早期朝这个方向努力的惨败记录。其中最严重的困难与波函数的维数相关。所有的物质波必须存在于四维物理时空,但对于任何不是一个粒子的物理体系,体系的波函数必须有四个以上的维数。也就是说,波函数只存在于一个相位空间而不存在于物理时空。

本书勇敢而大胆的研究课题:量子力学曲率解释(波本体论解释的演变)的求证和总结,也毫不例外地面对着这一困难。因此,起先我对这个研究课题的印象完全是否定的:如此简单地忽视基本概念制约的研究课题能有什么前途呢?该研究项目的中心概念是曲率波,它传达了任何量子体系中的所有因果链条,并担负这一研究中所具有的解释力。但是,维数的困难已表明了,在物质世界现存的形上框架内,它不能与已有概念形成协调,因此不能与物理理论的任何现存概念框架相结合。

然而,当我仔细地多次反复重读这本书之后,当我有意识地把这

一研究课题放进一个更大的图像或框架中去的时候,我的印象逐渐改变了。这个框架包括了科学解释和结构实在论思想。

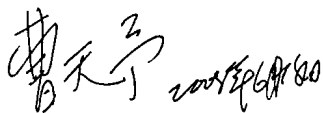
按照科学的解释(用玛丽·赫西的话说,科学解释只是对要解释的现象作比喻性的重新描述),曲率解释一定有足够的解释力,因而与科学解释的精神不是不相容的,因为曲率是一种很容易理解和接受的比喻。

但是,最重要的哲学理由还是来自结构实在论的实质,这也是我自己最为偏爱的研究课题。按照我提出的结构实在论版本,物理学理论中最基本的本体论,不是从形上或推测的角度进行假设,也不基于任何现有的经验,而是必须在一定前提下,由本体论结构知识进行构建。在曲率解释的框架中,物质波可以毫无直接冲突地与现有物质观相结合,并在所有结构陈述中不断地构建。这就是曲率解释可能成立的基础,尽管它任重而道远。它之所以可能,还因为在没有逻辑困难的情况下,达到这个目的唯一的可能性只是承认曲率解释构建的物质波是一种新的形上形态。也就是说,所构建的物质波必须符合一种新的存在形式,一种新的自然本质的类别。它肯定不同于传统的波。但这种不同不应该被看作接受它的不可逾越的障碍。哥本哈根解释的粒子不是也不同于传统的粒子吗?

原则上不能排除成功地达到这一目标的可能性,虽然在实践上它要求勇气和艰辛的努力,要求时间、能力、组织资源及财务资源的实际投入。但是如果(的确是极大的“如果”)这个目标能够达到,并且如果(一个更大的“如果”)曲率解释能够排除某些现存量子力学解释的弊端,并把其他解释的优点纳入其框架之内,即:如果它能够作为量子力学解释被接受,那么其成就将远远大于任何传统意义上的解释,并具有发现一种新型存在的意义。作为一种新的存在形式,其成就将等同于电磁场的发现!电磁场曾作为一种新的存在形式,不同于其时人类已知的“唯一”的存在形式,即:牛顿的粒子或可观察的物质;或者说,其成就将等同于夸克和胶子的发现!夸克和胶子不同于物理存在的所有其他形式,用高能物理学共同体的行话来说,即:它们不能有任何部分的独立存在(夸克禁闭),或没有渐近的状态(渐近自由)。

本书不是教科书,也不是为实用物理学家写的。但有抱负的哲

学家和有思想的物理学家可从中发现极大的激励和深远的洞察力。它至少可用来构建一种协调的完整框架。它可以吸引严肃的学者，沿着本书所开创、所追寻的研究路线去进一步深入探索。我怀着在上述序言中流露的复杂心情为这样的一些严肃的读者推荐这本书。

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Stephen Hawking', followed by the date '2001/10/18/80'.

(美国·波士顿大学)

序 二

量子力学各种解释的争论由来已久,至今难有定论。见诸于世的解释至少有十数种,较为流行的也有六七种。每一种解释都有其长处和短处。实际上不管何种解释,只要能自圆其说,都应引起重视,深入研究,都应有其一席之地。赵国求的相互作用实在与量子力学曲率解释就是一种值得关注的新创见。

认识赵国求的时间并不长,但深为他的深入钻研和坚韧不拔的探索精神所感动,更为他的创新思想所吸引。赵国求的量子力学曲率解释,从一个全新的视角考查了微观世界微观客体的运动状态。他认为物质波波函数描述了我们通过物质波波长 λ 为微观客体建构的“形”的变化规律,而“形”的变化与在“形内”找到“点粒子”的概率,是可以相互转换的。形大,“形内”找到“点粒子”的概率小;形小,“形内”找到“点粒子”的概率大。用物质波波长 λ 为微观客体建构的“形”($r=\lambda/2\pi$ —相位圆半径)成了微观世界和宏观世界相互沟通的桥梁。若用曲率 $R(R=1/r)$ 描述微观客体的“表面特征”,则波函数 $|\psi|^2$ 既有曲率属性,也有概率属性。波函数是曲率波,曲率的大小表示粒子性,曲率的变化表示波动性,微观客体的波粒二重性在曲率解释中有了和谐的统一。由于曲率、概率可以在“形”的帮助下相互转换,因此,凡概率解释所能解释的现象,曲率解释则全都可以解释,曲率解释可以包容概率解释。而概率解释因“形”的缺失而带来的悖论,在曲率解释中则可以得到消除。看来,曲率解释真是一个十分有趣又十分诱人的新的解释方案。

赵国求的曲率解释是实在论的,说得更确切些是本体论的实在论。它需要自己的哲学基础。在桂起权倡导的科学共同体的帮助下,近两年蔡肖兵亦参与其中,赵国求对相互作用原理,微、宏观作用

机制,微、宏观质点抽象原则,量子概率与宏观经典概率,微观时空与宏观时空都做了十分深入精细的分析、研究工作,并在此基础上认识物质波波函数的物理意义,从而建立起量子力学曲率解释。量子力学曲率解释的本质是波函数 $|\psi|^2$,描述了微观客体自身的时空特征。作者认为,微观客体的测不准是对微观客体做质点抽象和量子测量赋予的,测不准有其实在论背景。这是一个具有启发性的新视角,是现有量子力学解释所忽视或关注不够的。正因为如此,我认为相互作用实在观与量子力学曲率解释应该值得关注,也值得引起量子力学哲学界同仁进行讨论。从一个前人尚未关注或关注不够的视角,深入研究,应该会有新的东西发现。量子力学哲学尚有许多值得深入探讨的问题,对它的任何新认识,都将影响人类新精神的提升。赵国求探索的意义也许正在于此。我们对赵国求寄予希望,也对他的合作者表示赞许。我们期盼这个量子力学哲学探索的共同体在量子力学哲学解释中做出新贡献。

金吾伦

2008年6月于北京

序 三

直觉图像思维模式仍然有启发力

——为《从相互作用实在到量子力学曲率解释》作序

量子力学的“曲率解释”是多样化的量子力学解释的百花园中的一棵新苗，她正在茁壮成长。很高兴看到赵国求先生的新著《从相互作用实在到量子力学曲率解释》中英文合订版即将出版，该书无论在物理学上和哲学上都在原有基础上有了新的进展。在物理学上，新著对量子力学曲率解释思想做了进一步梳理和更加体系化的阐述，尝试性地把它应用于讨论量子测量，解释“退相干”，并讨论“规范场的物理意义和哲学意义”等新问题。在物理学哲学上，新著对“相互作用实在论”的理解大大深化了，在这个实在论的新版本中，不再仅仅停留在“现象实体”与“自在实体”两个层次的严格区分上，而是更加强调两个不同层次之间的相互沟通，“自在之物”终于可以变为“为我之物”了，从而消除了不可知论的疑难。

一、要创新就得打破常规

在与赵国求教授的交往中，我发现，他有十分丰富的想像力。他常自谦地说在科学思想上是“不安分”的，日本著名物理学家汤川秀澍说，科学的发展需要大胆的“越轨”行为来实现（《创造力和直觉》105页），依我看，这“不安分”与“越轨”正是他的头脑里不时能冒出原创性奇思异想的原动力。在物理学和物理学哲学研究上，他非常擅长于直觉思维和形象模型，并且以此为锐利的武器，刺探量子世界深层的奥秘。这一特点深深地吸引了我。实际上，我对赵的直觉图像思维模式的可行性和有效性的理解，经历从怀疑、抵制到接受再到欣赏，是有一个过程的。现在，我认为，赵国求先生最有特色性的

方面恰恰在于他的直觉图像思维模式。我相信,这也就是他创造力的重要源泉。进一步说,直觉图像思维模式对于科学探索与科学创新是具有普遍意义的,这应当是一个很值得研究的问题。说起科学创新,我想起一件事。记得2003年3~4月我去广州中山大学参加《张华夏先生系统哲学思想讨论会》期间,蔡肖兵博士(他是“创新”专家金吾伦教授的弟子)在交谈中对我说,他是中国科学技术大学的老大学生,原先也是学物理的。他有好几个基本功非常好的优秀同学,现在在美国从事理论物理学研究,很可惜近年来并无大的突破性进展。他认为,对于那些“正牌”理论物理学家而言,问题的症结不在于他们缺乏雄厚的科学功底和高超的数学技巧。问题恰恰在于,那些理论物理学朋友的思想太正统,结果是自己束缚自己,不敢想不敢为。对于他们来说,最需要的是引进大胆丰富的想象和批判性思维,并且最好能够与他们的扎实功底和严密的逻辑有机地结合起来,从而让他们的潜力和优势最大限度地发挥出来。要不然,哪会有什么重大突破呢?这就是说,打破常规是创新思维的基本出发点。顺便说,在我国科学哲学学者之中,金吾伦先生是研究创新思维的专家,同时他又是“生成哲学”的创始人。我个人认为,真空量子场中的粒子由无形无象的“场物质”而创生和湮灭,这个物理学事实最适合于“生成哲学”的解释模式。我把它看作“实在论”的新形式(有别于旧的“粒子实在论”),并且认为其中包含着活生生的辩证法,张华夏先生则是极力主张哲学上的“实体实在论”的,这就与赵先生量子力学的“实体实在论”不谋而合,两者之间存在一般与特殊的关系,可以相互为用。只不过,张偏重于哲学角度,而赵偏重于物理学角度而已。

二、创造力和直觉

最近,我重新阅读了著名日本物理学家汤川秀树的《创造力和直觉》,深有感触。科学本身就是人类思维的奇迹,奇就奇在它能够深入物理世界的内部,达到很深很深的层次之中。西方人受到古希腊Aristotle传统的深刻影响,擅长于逻辑思维,然而自古以来中国和日本等东方人则擅长于直觉思维。受东方文化传统影响,汤川秀树特别了解逻辑严密性和直觉及想象在科学家认识活动中的微妙差

别,因此逻辑推理与直觉思维的关系,是他经常考虑的问题。他根据自己科学实践的切身体验认识到,直觉思维在更大程度上是创造力的源泉(19世纪90年代,脑科学经受了“右脑革命”的洗礼,也支持这个看法,请参看《右脑与创造》)。汤川抱怨道,对于年轻一代物理学家来说,片面的抽象化趋势越来越严重,理论物理学被简单地化归为“群论加上复变函数论”等纯粹的数学抽象,浪漫主义色彩越来越少了,对于创造性思维绝顶重要的直觉和想象恰恰被人忽视了。汤川反复强调说,在理论物理学的发展中,“单靠逻辑学是什么也干不成的。唯一的道路是直觉地把握整体,并且洞察到正确的东西”。(42页)“在任何富有成果的科学思维中,直觉和抽象是交相为用的”。(93页)他指出,与一般人的想法和了解不同,直觉图像思维并没有真正过时。依我看,这样一来,赵国求先生所钟爱的思维模式,终于在理论物理学大师汤川秀澍那里可以找到合法的存在理由和充分的根据了。

三、从怀疑到赏识

回想当年,在我们的物理学哲学课题组初次开展活动的时候,我对于赵国求教授喜欢采用“直觉图像思维”模式讨论问题是充满疑虑的。为什么这样说呢?因为按照我的想法,尽管玻尔在1913年发明原子模型时确实也使用过图像思维,但是自从海森伯引进了“可观察量原则”并且与马克斯·玻恩一起创建了矩阵量子力学的时候起,可视图像思维这种探索方式也就过时了,其理论价值也就终结了,从此它被远远地抛在时代的后面。这应当是不言而喻的人所共知的常识。如果连这个基本点都不承认,那么还讨论什么量子力学的哲学呢?因为按照我当时的想法,海森伯对于这些问题早就说得足够清楚的了。他指出,对于哥本哈根量子论“反实在论”的指责是不正确的,“客观实在性”概念并没有从物理学中赶出去,因为它在量子论和经典物理学中起着同样的重要作用。不过,假如我们试图透过这个“实在”背后去追究原子事件的细节,那么经典意义的那种“实在世界”就消失了,但它只是以“潜在”的形式消失在数学定律的透彻澄清之中(见卢鹤绂《哥本哈根量子论考释》,复旦大学出版社1984年版第148页)。我和王自华在写《海森伯传》(长春出版社,1999)时还特

别提到过一件标志性的事件,那就是1924年冬,在量子力学诞生前夕,哥本哈根共同体正好处在方法论的转折关口。那时,海森伯和克拉默斯正在合作研究“色散”问题,玻尔让他们中的每一个人准备好一份初稿,结果两人发生争执:海森伯采取玻恩的典型的公理化方式和纯粹的数学手段处理问题,彻底摆脱了物理图像模型,而克拉默斯则采取玻尔的典型的图像思维模式,处处都不忘记物理模型和物理意义,即中间过程不断需要有形象类比。那么,玻尔的态度究竟怎么样呢?结果真没想到,玻尔的最后裁决居然倒向海森伯一边。海森伯后来回顾说,这是哥本哈根第一次强调摆脱直观的图像思维模式的重要性,它将成为今后一切工作(指量子力学研究)的指导原则。这件事明显地标志着哥本哈根的方法论转向,它似乎说明那时候甚至连玻尔本人都要下决心放弃直观图像的思维方式。应当说,这些都早已经成为一切了解量子力学这门学科的人的共识,早已经成为不可怀疑的背景知识的一部分。然而,现在赵国求先生竟然站出来,你们不敢怀疑的我来怀疑,图像思维模式照样好得很,量子力学仍然离不开它!首先,我真佩服他的敢于反正统、反常规、反潮流、反权威的创新勇气,但是另一方面我又真是怀疑,他是否在号召大家“回到牛顿去!”回到牛顿式的物理本体论(老的实体实在论)和拉普拉斯式的严格决定论,也许是在开倒车,要倒退到爱因斯坦之前的物理学去。他要对不确定性关系作“决定论解释”(不仅仅是实在论解释),更加使得我大吃一惊。我真担心,他是否比爱因斯坦还要相信严格因果性和严格确定性,是否想要教训“上帝不要掷骰子”,想要根本取消量子世界的不确定性。我真担心,他是否过分钟爱朴素实在论,是否犯了机械唯物论的毛病?在这里,我只是把自己当年的亲身感受痛痛快快地说出来罢了,我相信当时王贵友教授对此肯定深有同感。

当然,现在对我来说这一切都成为过去,我在《物理学的新神曲》序言中就已经认识到并且具体说明了“量子力学曲率解释”的种种优点和特殊价值了。简要地说,那是:①用“曲率”刻画波函数的物理和几何特征比“概率”更加深刻;②曲率解释消除了“负概率没有物理意义”的困难;③曲率解释描述粒子内禀波动通过相互作用在时空中的投影。学术上的相互了解和理解是需要一个时间过程的。实际上,

在课题组内部,是经过多次交锋和商讨,大家才从各自的原来过分强硬的立场上退让下来,也就是放弃了独断论的说话方式,放弃了实际上不该坚持的非本质的方面,但是这并不意味着放弃各自的最核心的论断,相反它是变换成更加合理的方式坚持了下来。赵国求先生面对形形色色的批评意见,通过不断调整辅助假说捍卫了核心观点,通过从不同角度的反复说明来澄清自己基本观点的实质性内容。

四、量子力学解释的多元化

在科学哲学中,我赞赏多元主义方法论。诚如费耶阿本德所说,每一种科学理论、科学方法都有优点和缺点。Anything goes 这个著名口号的真正意思常常被误解了,它并不表示每一个科学家可以乱搞一气、怎么都行,而是表明不同观点的科学家各行其是、各有各的道理。我想,对于科学解释也应该是这样。因此,至今我仍然极愿意欣赏每一种量子力学解释的优点和合理成分。正是在这个意义上说,我是一个方法论的多元主义者。除了本书重点推举的曲率解释之外,这里可以挑选几种最有代表性的量子力学解释来分析一下。例如:

(1)哥本哈根正统解释,尽管经过 3/4 世纪的风风雨雨,它仍然是各种不同解释的基本的出发点和参考系。你可以不接受那种认为量子力学是对于单个系统的完备描述的“强解释”,但是很难不接受认为量子力学是描述全同地制备出来的系综的“弱解释”和诸如此类的“统计解释”。通过在课题组内部的特别是与赵国求先生的多次交锋,我从“强解释”的武断立场上退了一步,不再断言“强解释=量子力学的内在要求”;也不再断言“概率是自然的终极本性=量子力学的内在要求”。赵国求先生也不再坚持曲率解释是排他性的、唯一正确的、独一无二的合理解释了。转而承认概率解释的合理部分,并纳入曲率解释之中,建立起曲率与概率的对应联系,一场观点上的严重对立终于得到了化解。我认识到,应当把哥本哈根解释的科学成分和哲学成分严格区分开来。现在我只敢断言,“强解释”只是多种可能解释中的一种。话虽如此,退让是有底线的。你可以不相信概率是自然界终极的内在本性,但是你不能不相信玻恩所说“世界是因果与机遇联合统治的”。两个要素缺一不可。你可以不接受冯·诺依