

科学技术哲学前沿丛书

肖峰 主编

# 物理学哲学 导论

吴国林 孙显曜◎著

*An Introduction to Philosophy  
of Physics*

 人民教育出版社

科学技术哲学前沿丛书

肖峰 主编

04-02/3

2007

# 物理学哲学 导论

吴国林 孙显曜◎著

*An Introduction to Philosophy  
of Physics*

 人民教育出版社

责任编辑:张伟珍

封面设计:肖 辉

### 图书在版编目(CIP)数据

物理学哲学导论/吴国林 孙显曜著.

-北京:人民出版社,2007.9

(科学技术哲学前沿丛书)

ISBN 978-7-01-006401-7

I 物. … II. ①吴…②孙… III. 物理学哲学 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 121025 号

## 物理学哲学导论

WULIXUE ZHIXUE DAOLUN

吴国林 孙显曜 著

人民出版社 出版发行

(100706 北京朝阳门内大街 166 号)

北京市双桥印刷厂印刷 新华书店经销

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月北京第 1 次印刷

开本:880 毫米×1230 毫米 1/32 印张:12.125

字数:300 千字 印数:0,001-4,000 册

ISBN 978-7-01-006401-7 定价:23.00 元

邮购地址 100706 北京朝阳门内大街 166 号

人民东方图书销售中心 电话 (010)65250042 65289539

## 总 序

当一些哲学家问到“哲学究竟还有什么问题”时,无疑也道出了许多科技哲学同仁们心中的疑惑:科学技术中究竟还有些什么问题?对这个问题的不同看法,可能会形成对国内乃至国际科技哲学目前的学术发展状况的不同评价。

当然,无论对这个问题怎样评价,有一点是可以肯定的,那就是没有被发现和解决的哲学问题肯定是存在的,科技哲学的问题更是不可穷尽的,问题仅仅在于我们是否“喜欢”问题的存在,是否愿意使问题显现出来,从而是否有意向“使问题成其为问题”。

如果我们充分关注科学技术的当代发展,并用一种哲学的目光去审视这种发展,科技哲学的问题就会源源不断地喷涌出来,科技哲学工作者的“问题意识”就会受到极大的激发。

正是为这种“追求问题”并“追踪前沿”的激动所驱使,我们身处南粤、执教于华南理工的一批中青年科技哲学工作者,将多年来在自己所关注的领域中所追踪的科技哲学的前沿问题提交出来,作为分析的对象,终于形成了这套“科学技术哲学前沿丛书”第一批共四本所叙述的内容,主要目的是与同仁们分享我们在探询这些问题的历程中进行思考的快乐。

为了力求这样的思考是一种有意义的科技哲学的思考,使我们所关注的问题至少在科技哲学的意义上是真问题而不是伪问

题,我们主要是在自己熟悉的领域中去探寻问题,当然这些“领域”也自然形成了“学科”上的“新”、“老”之别,如既有在数学哲学、物理学哲学等科学哲学中最为成熟的领域中所发现的新问题,也有在认知科学哲学、技术哲学等新兴的领域中提出的问题,由此也形成了一定的覆盖面。在“高度”上,我们则力求真正地从哲学的层次上提出问题,从而拓展一种观察和思考这些问题的新视野。可以说,“本体论探寻”是这套丛书的共同点,例如围绕“实在”问题,作者们分别对“数学实在”、“开放实在”和“技术实在”以及相关“观察的客观性”等进行了辩护、展现和分析,使“实在”的丰富性获得了多维度的诠释。“前沿性思考”是本丛书的又一个追求,可以看到不同的作品中对“量子信息”、“虚拟实在”、“科学认知”等等前沿科技成就的哲学解读,或者通过这些“制高点”来展示科技哲学所应有的“科技”特色。“工具上求新”则是作者们的一种自觉意识,所以现象学、社会建构论、解释学、语境论等等新哲学方法成为针对特定视域的分析手段,由此也希望能对我们所分析的对象获取新的认识,并为学界在相应的问题域中贡献出新的看法。

当然,作为正在成长的华南理工大学科技哲学学术团队的部分成员,我们也深感在探求上述问题时学识和能力的不足。因此通过这套丛书的出版,不仅希望能对推进国内科技哲学的研究作出力所能及的努力,更是以此为契机,以期获得同仁们的批评和指正,使我们在学术成长上获得丰收。

最后,在丛书出版之际,我们还要为人民出版社所给予的支持,对同仁们已经和即将在学术上提供给我们的启发和帮助,一并致以衷心的感谢。

肖 峰

2007年2月

## 前 言

按照《中国大百科全书》(物理卷)(中国大百科全书出版社, 1987年版)的定义,“物理学研究宇宙间物质存在的各种主要的形式,它们的性质、运动和转化以及内部结构;从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律。”物理,就是探索万物之理,探索万物存在、运动与演化的客观规律。随着物理学各个分支的发展,人们发现物质的不同形式之间存在着内在的联系,它们形成一个完整的整体。物理学家在于寻找一切物理现象的基本规律,尽最大可能去统一解释物理现象。自近代科学革命以来,物理学一直是科学发展中的先导学科,极大地推动了社会进步。物理学一直以其严密的数学表达和精美的实验令人惊叹,深刻揭示了物质世界之道,它具有丰富的哲学意义。

物理学对哲学具有重要的影响,同时哲学思想又会影响科学研究。正如著名量子力学创始人普朗克深刻指出:“物理学对一般哲学的影响并不单纯局限于这样一种消极的或纯破坏性的活动上;它在积极意义上的贡献重要得多。这一点无论是就形式而言还是就内容来说都是正确的。众所周知,物理科学的方法主要因其精确性而被证明是富有成效的,它们也因此而成为非精密科学研究的楷模;就其内容来说,应当指出任何一门科学都是植根于生活之中的,类似地也就不可能把物理学同其研究者截然分开,……

研究者的一般哲学思想将自始至终对其科研工作产生某种影响，而其研究成果反过来必然对他的一般哲学思想产生一定影响。”<sup>①</sup>

物理学哲学就是对物理学的反思，就是物理学所呈现或隐喻的智慧。本书名为《物理学哲学导论》，仅对某些物理学理论、重大物理实验或重要物理事件进行哲学反思。从古希腊亚里士多德的《物理学》到牛顿的《自然哲学之数学原理》，物理学研究了极宽的范围，是对物质世界的基本规律的研究，涉及最日常生活的问题。1935年爱因斯坦、波多尔斯基和罗森在《物理评论》发表了《能认为量子力学对物理实在的描述是完备的吗？》一文，引发了对量子力学基本问题的论争，而且引发了量子信息问题。他们的论证是相当简洁的，其哲学前提也是简单的。我们认为，真理是质朴的，而不是深奥的，尽管表达真理的形式可能是复杂的，我们应当将它的内涵用质朴的语言表达出来。因此，本书在写作风格上，尽量用简单的语言表达出来，较少采用形式化的语言，用日常语言阐述其意义。在具体问题的设计上，我们偏重于20世纪以来，特别是当代前沿的理论，如量子力学、相对论、量子信息论、系统科学等所揭示的哲学意义，由于这些问题涉及面宽，因此，我们偏重于以问题为中心，采用交叉式研究方法，以解决问题为目的。

物理学包括的范围较广，天文学、现代宇宙学、量子信息论等都是在物理学的基础上发展起来的，它们之间有很大的交叉，因此，本书的内容包括天文学、现代宇宙学、量子信息论的部分哲学问题。全书共分十一章，具体内容如下：

物理学研究物质世界，必须首先认识客观世界的实在性。那么什么是“实在”？从经典力学、量子力学到AB效应，从物质粒子、场和势，“实在”有什么特点？在一般性的实在论与反实在论中，又

<sup>①</sup> M. 普朗克：《物理学和哲学》，《自然科学的哲学问题》，1989年第2期，第68页。

如何认识“实在”？我们认为，势比场更基本，势具有客观实在意义，尽管势不是变换不变的。这构成了第一章的内容。

在第二章，我们从自然科学，特别是从 AB 效应、准粒子、虚拟实在、赛博空间等视角展开研究“实在”，在此基础上，我们简要考察了开放实在论的基本特点。实在构成一个开放系统，实在是由系统内在的质与系统的外界环境相互作用的结果。系统内在的质构成实在自身(reality itself)，实在自身与环境一起构成的实在，我们称之为开放实在。实在的自身的质，不受外界环境的影响，但受实在自身内部因素的影响。开放实在论从一个新的角度来认识实在，也是作者近年来致力探讨的一个问题。

时间空间是物质的广延。时间空间在物理学中具有非常根基性的意义。我们在第三章简要讨论时空概念从古代、近代到现代的演变。从量子宇宙学角度论证了量子宇宙的创生是一个物质过程。在各种量子宇宙模型中，不论是高维还是低维，以及利用最新粒子物理中的新思想新概念，如超对称、超引力、超弦等，也不论是采用“无边界”方案、“隧道”方案或者物理上可接受的边界条件和初始条件，宇宙的最初假设总少不了引力场(度规)和物质场。

“杞人忧天”的故事涉及时空是否稳定的问题。稳定性与不稳定性只存在于它们相互依存和相互联系中，不存在纯稳定的时空，也不存在纯粹不稳定的时空。稳定与不稳定在一定条件下可以相互转化。

在第三章，我们还讨论了宇宙的有限无限问题。我们应当从非线性、混沌宇宙具有确定性，同时具有内在随机性的对立统一中理解宇宙的有限无限问题。宇宙的有限性与无限性是统一的。存在是演化的存在，演化是存在的演化，而物质的本质是存在，物质不生不灭，即反映出宇宙无限性。

第四章从当代科学的最新进展，特别是超弦理论、复杂系统理



论等,对物质可分无限性问题展开较深入讨论,并从方法论角度对物质可分性问题展开探讨。粒子之间的转化有时可以揭示粒子的可分性质,有时则不能揭示,关键在于是否满足相应的物理条件。实际上,粒子之间的转化与粒子的内部结构是两个不同的问题,不能由粒子的转化问题来否定粒子是不可分的。物质层次论(反映系统内部)与物质生成转化论(反映系统之内外部)是描述物质性质的两个方面,它们是统一的,不能以一个代替另一个,两者的统一才是正确的自然观。“分”并不要求一定是质量越来越小,长度越来越短。宏观物质有长度、质量等概念,有自己的适用范围,但是到了微观领域有的概念就不适用了。长度或质量不过是物质的性质之一。“分”可以是其他物质性质、结构或功能的“分”。

第五章通过量子力学的典型实验说明量子现象,揭示量子实在。微观粒子具有波粒二象性,就是说,微观粒子在某些条件下,具有粒子性;而在另一些条件下,具有波动性。微观粒子具有的波粒二象性不同于经典物理学中的波动性与粒子性。算符给出了无限维空间和现实的四维时空之间的联系。波函数(或几率幅)与算符都具有物理实在的意义。薛定谔“猫”佯谬、延迟选择实验等表明,微观客体性质的宏观显现不仅包括客体内在的性质也包括其环境的性质,而经典力学中客体本性往往与环境无关。量子实在是量子物理学所构建的实在,它是本体实在在量子世界的反映、呈现或隐喻。客观实在在一定的微观环境作用下所显现的实在就是量子实在。

第六章探讨量子力学的测量问题。没有测量,就没有物理学。测量仪器与科学理论之间往往是相互说明和相互协调的。量子力学的测量问题引起很大的争论。从某种意义上,玻尔、玻恩、冯·诺依曼等大科学家得出了有关测量的“主观介入”观点,有的学者还认为意识对量子过程发生作用,其原因在于当时量子力学的进

展不大。目前有关量子测量的理论表明,相互作用产生量子纠缠、导致消相干是一个具有普适性的基本物理过程。量子力学并没有“主观介入”,量子力学的测量具有客观性。量子力学测量的客观性是具体的客观性,它蕴涵了主体间性。

第七章讨论量子信息、量子纠缠等哲学问题。量子信息是十多年来受到国内外学术界高度关注的一个重要的理论问题和技术问题,出现了许多研究性论文,量子信息理论已取得了重大理论突破和实验进展。量子信息的基本框架主要包括量子纠缠、量子不可克隆定理、量子编码、量子通信、量子计算、量子对策论等问题。量子信息不是量子实在,而是作为量子实在的状态、关联、变化、差异的表现。子系统之间有量子纠缠的最重要的特点是,子系统 A 和 B 的状态均处于依赖于对方而各自都处于一种不确定的状态。对一个子系统进行测量必将使另一个子系统产生关联的塌缩。纠缠态的关联是一种纯量子的非定域关联,是一种超空间的关联。

第八章讨论量子非定域性及其哲学意义。所谓量子非定域性,是指在量子相干尺度内,一个微观系统的性质,不仅与所在局域的时空性质有关,而且也与另一处于类空间隔的微观系统的性质或时空的性质有关。非定域性是微观物质的根本性质。微观事物以非定域方式存在。非定域性深刻揭示了事物之间具有普遍联系。非定域性具有实在性、独立性与转移性,它可以创生,也可以消灭。非定域性表明事件与过程具有重要意义。经典事件不同于量子事件。量子事件之间仍然具有因果性。

第九章研究对称性。对称性是物理学非常重要的概念。在粒子物理中,对称性方法是研究基本粒子的重要方法。以粒子物理和规范场为代表的现代物理学是以对称性、守恒性变换不变性为基础的正统方法。在本章我们首先研究了对称性的内涵及形态,对称性与对称性的自发破缺。详细讨论了粒子物理中的变换不变

性,守恒量、对称性与规范场之间的关系。从数理观点来看,对称性就是变换的不变性、守恒性或者称为协变性。最后研究了对称性及其对称破缺在物理学中的方法论意义。

第十章首先从一般性的角度讨论混沌、突现和复杂的基本涵义,然后讨论量子计算的特点及其意义。计算复杂性是衡量算法效率的一种指标。量子计算机就是一个量子力学系统,量子计算过程是量子力学系统的量子态的演化过程。量子算法最本质的特征就是充分利用了量子态的叠加性和相干性,以及量子比特之间的纠缠性,它是量子力学直接进入算法理论的产物。量子算法之所以能克服经典算法所不能克服某些复杂性呢?关键在于量子计算机是一个复杂系统,量子计算所具有的复杂程度不低于求解问题的复杂程度,即以复杂性克服复杂性。

寻求物质世界的统一性、简单性,一直是人类的追求。爱因斯坦开启了统一场论的研究,尽管没有成功,但是,对弱电统一理论、大统一理论与超大统一理论有很大的启示。第十一章将讨论统一性思想的演化,最小作用量原理的意义,统一场论的意义,探讨统一性原理。各门科学属于同一个科学整体,它们只是从不同的方面、不同的层次、不同的深浅程度来研究同一个物质世界这一整体,因此它们只是看起来不同而实际却存在着共同的道路。自最小作用量原理发现以后,由于其逻辑简单性和统一性,科学家竟在自己的领域中运用这一原理,成为理论物理学的一种风格。

需要指出的是,本书又是在相关课题的研究基础之上完成的。孙显曜教授主持并完成了1990年国家“八五”哲学社会科学规划课题《宇宙的有限无限问题研究》(吴国林作为核心成员,该项目于1996年12月获四川省政府颁发全省第七届哲学社会科学优秀科研成果三等奖),1993年吴国林主持完成了四川省教委社会科学研究项目《物质可分的有限性与无限性》。2004年吴国林主持广东省

哲学社会科学“十五”规划 2003—2004 年度一般项目“量子信息的哲学研究”，2006 年吴国林主持教育部人文社会科学研究 2006 年度一般项目“量子控制论的哲学研究”，这两个课题目前都正在完成之中。相关课题都发表了一批有质量、有新意和有价值的论文（参见本书参考文献）。

本书的具体撰写分工如下：第一、二、四、五、六、七、八、十章由吴国林执笔；第三章由吴国林和孙显曜执笔；第九、十一章由孙显曜和吴国林执笔。我的研究生黄灵玉、王婷婷和王彩虹参加了本书部分章节的录入工作，在此表示感谢！

物理学哲学属于标准的科学哲学的内容，影响甚大。从世界范围科学哲学的研究来看，物理学哲学始终居于重要地位，目前研究的内容更为细致和深入。20 世纪 80 年代到 90 年代初是我国物理学哲学研究相当活跃的时期，一批学者围绕相关问题展开了较深入的研究。随着 20 世纪末量子信息理论的兴起，又给物理学哲学带来了新的机遇。沉浸于正在兴起的新世纪物理学哲学的研究浪潮，如果本书能够成为一朵小的浪花，生成有意义的图景，这就是对我们所做工作的最好肯定！无疑，本书还有不足和缺点，尚请各位学者和专家不吝指正！

吴国林

2007 年 2 月 10 日

## 目 录

总序 .....	1
前言 .....	1
第一章 实在的意义 .....	1
一、物理学体现的实在的涵义 .....	1
(一)物理学中的实在概念的演变 .....	1
(二)势:一种可能的物质存在新形式 .....	4
(三)势与场的比较 .....	10
二、实在意义的拓展 .....	13
(一)古代与近代的实在的涵义 .....	13
(二)科学实在论与反科学实在论的争论 .....	16
(三)在反实在论的语境中 .....	20
(四)后现代语境中“实在”涵义的变化 .....	28
第二章 论开放实在 .....	33
一、开放实在的具体体现 .....	33
(一)几何相因子与开放实在 .....	33
(二)准粒子与开放实在 .....	35
(三)虚拟现实与开放实在 .....	38
(四)赛博空间与开放实在 .....	39

二、其他自然科学中所体现的开放实在 .....	46
三、开放实在论的基本特点 .....	50
<b>第三章 时间与空间 .....</b>	<b>52</b>
一、宇宙的涵义 .....	52
(一)古代的宇宙概念 .....	52
(二)近代以来的宇宙概念 .....	55
二、宇宙创生的物质性 .....	61
(一)宇宙有创生吗 .....	61
(二)霍金宇宙创生的“无边界”方案 .....	62
(三)维伦金、林德宇宙创生的“隧道”方案 .....	65
(四)“有生于无”的涵义 .....	68
(五)宇宙创生具有物质性 .....	70
三、时空的稳定性与不稳定性 .....	72
(一)经典时空的稳定性 .....	73
(二)N 体问题 .....	75
(三)夜黑伴谬 .....	77
(四)量子时空的不稳定性 .....	78
(五)微观粒子的稳定性 .....	81
(六)稳定与不稳定的统一 .....	82
四、宇宙的有限无限问题 .....	83
(一)线性科学、线性宇宙学及其局限性 .....	85
(二)非线性宇宙与混沌宇宙 .....	87
(三)宇宙有限无限概念的哲学分析 .....	93
(四)宇宙有限无限的非线性、混沌分析 .....	97
<b>第四章 物质可分的有限性与无限性 .....</b>	<b>102</b>
一、物质可分性的科学考察 .....	102

---

二、当代科学对物质可分性的启示 .....	106
(一)“分”的概念分析 .....	106
(二)当代科学的启示 .....	109
(三)整体论和复杂系统理论的启示 .....	114
(四)物质无限可分论的意义分析 .....	116
三、物理可分性的方法论审视 .....	119
(一)物质观的方法论审视 .....	119
(二)物质观在互斥中寻求互补 .....	121
(三)物质有限可分与物质无限可分的统一 .....	123
<b>第五章 量子现象与量子实在 .....</b>	<b>127</b>
一、从经典现象到量子现象 .....	127
(一)经典力学的粒子概念 .....	127
(二)微观客体的波动性与粒子性 .....	129
(三)对波粒二象性的分析 .....	131
(四)量子力学的基本公设 .....	134
二、量子实在 .....	138
(一)算符的涵义 .....	138
(二)关于算符的几点思考 .....	141
(三)波函数的实在性 .....	143
(四)薛定谔“猫”佯谬 .....	144
(五)延迟选择实验 .....	149
(六)经典实在、量子实在与环境 .....	152
<b>第六章 量子力学的测量问题 .....</b>	<b>154</b>
一、经典力学的测量问题 .....	154
二、有关量子力学测量理论介绍 .....	156
(一)投影测量 .....	156

---

(二) 广义测量 .....	157
(三) 局域测量 .....	158
(四) 量子非破坏性测量 .....	159
三、“主观介入”与量子力学测量理论的意义 .....	161
(一) 量子力学是否有“主观介入”? .....	161
(二) 量子力学测量理论的新进展及其哲学意义 .....	164
四、客观性与主体间性 .....	169
(一) 主体间性的规定性与演变 .....	169
(二) 主体间性与客观性之间的关系 .....	176
<b>第七章 量子纠缠与量子信息 .....</b>	<b>182</b>
一、量子信息理论简介 .....	182
(一) 量子信息理论的兴起 .....	182
(二) 经典信息的涵义 .....	184
(三) 量子信息的基本涵义 .....	188
(四) 量子纠缠 .....	190
(五) 量子不可克隆定理 .....	193
(六) 量子计算 .....	195
二、量子隐形传态 .....	199
(一) 量子隐形传态的过程与分析 .....	199
(二) 量子纠缠的意义 .....	203
三、量子信息的涵义 .....	210
(一) 量子信息与经典信息的联系与区别 .....	210
(二) 量子信息的本质 .....	214
<b>第八章 非定域性 .....</b>	<b>216</b>
一、非定域概念的演变 .....	216
(一) EPR 论文所隐含的非定域性 .....	216



---

(二) 贝尔定理中的非定域性 .....	218
(三) 贝尔定理之后对非定域性概念的认识 .....	223
二、非定域性的涵义 .....	227
三、非定域性的哲学意义 .....	230
<b>第九章 物理学的对称性 .....</b>	<b>240</b>
一、对称性概述 .....	240
(一) 对称性的内涵 .....	240
(二) “爱尔兰根纲领”及“相位方案” .....	244
二、对称性的基本形态 .....	246
(一) 古典对称性方法 .....	246
(二) 现代对称性方法——数学变换不变性 .....	249
三、粒子物理的变换不变性 .....	252
(一) 空间具有连续特征的变换 .....	252
(二) 时空具有分立特征的变换 .....	253
(三) 可观察、不可观察与对称性原理 .....	261
四、规范变换不变性 .....	263
(一) 规范变换的由来和发展 .....	264
(二) 局域规范变换不变性 .....	267
(三) 守恒量、对称性与规范场 .....	269
五、对称性、破缺对称性的本质及其方法论意义 .....	270
(一) 对称性的本质特征、方法论意义及其局限性 .....	270
(二) 对称与破缺的关系, 对称破缺的本质 .....	276
<b>第十章 计算复杂性与量子计算 .....</b>	<b>279</b>
一、混沌、突现与复杂 .....	279
(一) 混沌的模型——逻辑斯蒂方程 .....	280
(二) 混沌系统及其性质 .....	284