

物理学的哲学分析

蔡肖兵 著

物理学固然是一门探索自然的科学，但也是一门与理解自然紧密相关的哲学。

物理学当前的困难迫使物理学家比其前辈更深入地去掌握哲学问题。

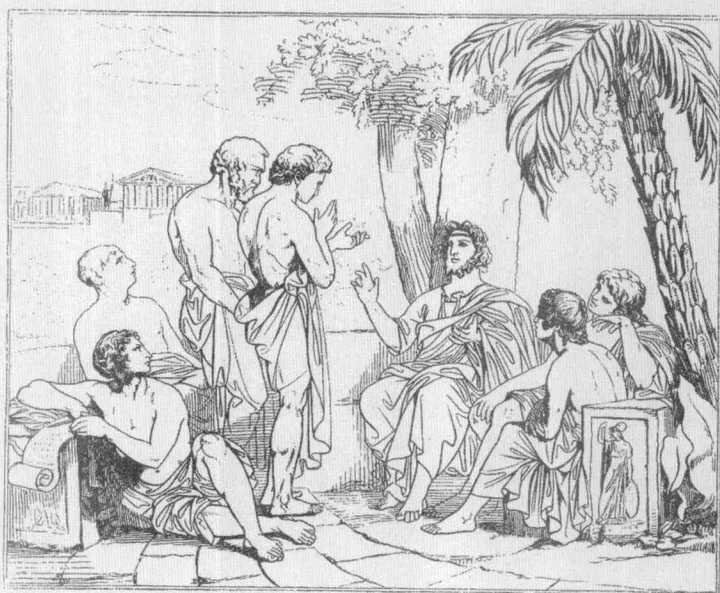
因此，爱因斯坦说：“与其说我是物理学家，不如说我是哲学家。”



中国社会科学出版社

物理学的哲学分析

蔡肖兵 著



中国社会科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学的哲学分析/蔡肖兵著. —北京: 中国社会科学出版社,
2011. 8

ISBN 978-7-5161-0297-8

I. ①物… II. ①蔡… III. ①哲学分析—应用—物理学—研究
IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 230199 号

责任编辑 刘 艳 雁 声

责任校对 刘 娟

封面设计 大鹏工作室

技术编辑 戴 宽

出版发行	中国社会科学出版社	出版人	赵剑英
社 址	北京鼓楼西大街甲 158 号	邮 编	100720
电 话	010-84039570 (编辑)	64058741 (宣传)	64070619 (网站)
	010-64030272 (批发)	64046282 (团购)	84029450 (零售)
网 址	http://www.csspw.cn (中文域名: 中国社科网)		
经 销	新华书店		
印 刷	北京市大兴区新魏印刷厂	装 订	廊坊市广阳区广增装订厂
版 次	2011 年 8 月第 1 版	印 次	2011 年 8 月第 1 次印刷
开 本	710×1000 1/16		
印 张	16.75		
字 数	241 千字		
定 价	36.00 元		

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社发行部联系调换
版权所有 侵权必究

序

蔡肖兵博士在他多年学习研究的基础上所著的《物理学的哲学分析》这本书，应该说是我国学者所提供給学界的一本物理学哲学方面的精品之作。作者将物理学哲学之中的重大问题，其中涉及物理学几何化实质、量子力学的基础、对世界确定性与不确定性的辩证本质及哲学涵义和方法等作了深入精到的阐发和论述。这只有对物理学及其哲学问题有深刻理解的人才能达到此点，也是想要了解物理学哲学内容和意义的人士所渴求的。

毫无疑问，物理学中已有的很多重大的哲学问题我们并没有完全认识，更有许多有意义的哲学问题有待于我们去发现。但在大多数情况下，我们国内学界对物理学中的哲学问题的重要性至今依然没有足够的认识，更多的还只停留在物理知识的具体内容上，少有从哲学的高度去深究。

我国的物理学研究要想能有重大突破，就不能仅限于物理学家在物理学领域内做扎实深入的研究，同时还需要对物理学哲学进行多方面的深入探究，更需要有年轻学子关心物理学中的哲学问题。

从国内外著名物理学家，如爱因斯坦、玻尔和海森堡等的科学成就中可以看出，他们对物理学所作出的重大成就与他们对哲学的深刻领悟有着直接的、深刻的关系；美籍华裔物理学家杨振宁、李政道、丁肇中之所以能在物理学上作出国际性的贡献，应该说与他们始终关心哲学和美国物理学界浓厚的哲学氛围不无关系。

这些事例使我们深刻意识到，我们的物理学家，要作出国际性的大突破、大贡献，也就不能不关心哲学，也不能不用心去体会哲学和

2 物理学的哲学分析

自觉地去应用哲学，并把哲学与本学科的科学 research 具体结合起来。这是我在本书中得到的一些粗浅体会。我相信，读了本书的读者也许会与我得出同样的结论。

谓予不信，不妨一读此书。

是为序。

金吾伦

2011. 6. 8

目 录

序	(1)
引言	(1)
第一章 经典物理学“天空”上的“两朵乌云”	(10)
第二章 19 世纪经典物理学	(19)
一 什么是经典物理学?	(19)
二 经典物理学的内容	(22)
三 经典物理学的合理性	(23)
四 经典物理学的形而上学	(25)
五 19 世纪经典物理学取得的理论成果	(26)
第三章 经典物理学重要遗产——基本原理	(29)
一 普遍追求——相对性原理	(29)
二 自然“经济”——最小作用量原理	(31)
三 天道有常——能量守恒原理	(33)
四 哲学信仰——近作用原理	(36)
五 跨越经典——不可逆原理	(38)
第四章 时空观念的演变——几何化的拓展	(43)
概述	(43)

2 物理学的哲学分析

一 物理学与几何学的关系	(45)
二 物理学中的几何化思维	(49)
三 物理学理论几何化实质	(65)
小结	(68)

第五章 G + P 论题的哲学含义——几何化的深入思考

(73)

一 G + P 论题前史	(73)
二 G + P 论题的提出	(76)
三 G + P 的启示——对当代物理学几何化的解读	(82)

第六章 物质观的变革——粒子性的哲学内涵

(90)

概述	(90)
一 经典理论时期的“粒子”观念	(91)
二 粒子性的真实内涵及其根源	(98)
三 “粒子性”物质观的发展与证认	(105)
四 粒子性的哲学思考	(110)
小结	(120)

第七章 量子信息研究——普遍联系的新视角

(121)

一 量子信息的产生	(121)
二 量子信息与经典信息的区别与联系	(125)
三 量子信息的意义和价值	(129)

第八章 统计观念的变革——从方法到本质

(141)

概述	(141)
一 统计的含义	(144)
二 统计观念的产生及其与物理学的关系	(146)
三 统计观念在物理学中应用的几个阶段	(149)
四 物理学中统计观念的必然性	(151)
五 统计观念的根本性变革	(154)

六 统计观念改变了我们的因果观念	(166)
小结	(168)
第九章 温度概念的演化——非经典思维	(169)
第十章 时空概念在物理理论中的地位和作用	(181)
一 科学化时空概念的建立和演变	(182)
二 作为物理背景的时空	(185)
三 具有物理作用的时空	(188)
四 成为物理对象的时空	(191)
小结	(194)
第十一章 物理学中的还原论与整体论	(196)
一 物理学家的“还原”是什么?	(197)
二 机械还原(构成论)和极端还原[建构论 (constructionism)]	(199)
三 当代物理学中的整体论	(202)
四 当代物理学与复杂性研究	(204)
五 科学中的整体观的转变	(207)
六 中国文化的整体观:“天人合一”	(209)
七 中国哲学整体观的科学意义:对科学革命的理解	(210)
八 整体观:新世界观	(214)
第十二章 当代物理学基础问题与哲学探索	(216)
概述	(216)
一 当代物理学中科学研究的对象的变化	(219)
二 当代物理学中科学探索的方法上的改变	(226)
三 当代物理学中科学研究的推理规则的演变	(235)
四 当代物理学中科学研究的观念的变化	(239)

4 物理学的哲学分析

结束语 (244)

参考文献 (248)

后 记 (258)

引言

人的思维创造出一直在改变的一个宇宙图景。伽利略对科学的贡献就在于毁灭直觉的观点而用新的观点来代替它。这就是伽利略的发现的重要意义。^①

——爱因斯坦

对物理世界的认识构成了人类世界观的重要组成部分，这部分的内容经过两千年的不断充实和变化，对人类的思维和生活的各个部分都产生了重大的影响。物理学思想在人类历史的发展过程中，经历了由亚里士多德物理学思想主导的以思辨为主的目的论的古典时期；由伽利略、笛卡尔、牛顿等人发展起来以数学描述和经验的分析综合的实证主义的近代物理学的经典时期；到了 19 世纪末和 20 世纪之初，通过玻尔、爱因斯坦、海森堡等人的反思和重建，进入了充斥着各种形形色色新思想的当代物理学阶段。

人们不断通过自己的心智努力去解读和接近自然界这个上帝的最精美的设计。物理学的发展史表明了自然界的可理解性，同时也揭示了人类理解自然界的进程。回看物理学发展的近 100 年的历史，不仅物理学对自然本质的揭示有着重要的哲学意义，而且这一过程也有其重要的哲学意义。

当代物理学理论的概念和方法与经典物理学在许多方面有了变

^① [美] 爱因斯坦、英费尔德：《物理学的进化》，周肇威译，上海科学技术出版社 1979 年版，第 5—6 页。

2 物理学的哲学分析

革，这些体现了引领物理学发展的物理学家们的思维上的革命，这种改变既有革命性的巨大飞跃，同时在一定的方面也有继承。

它的革命表现在，首先，当代物理学是从基础上重建的。正如300年前经典物理学的建立，伽利略、牛顿等人首先确立了经典的时空观，将天上的物理学和地上的物理学统一，这次革命的突破也是以冲破原有时空观念而达到的。相对论的建立改变了原来的时间和空间的关系，将时、空中在经典理论中割裂的关系统一起来。这一突破，使得经典框架下两个基本的范畴——质量和能量得到了统一，使时空与物质、能量之间的相互关系联系起来。量子观念的产生改变着我们对物质结构和物质起源的认识，使我们认识到物质世界的不连续性，从根本上改变了物理学的物质观念的基础。建立在概率和全同性基础上的统计学方法，使得物理学动摇了经典理论下的机械决定论方法，将那种通过局部来揭示整体的方向倒转过来，初具了运用整体观念研究、确定物理性质的方法，使得几率的观念成为物理学、以致科学的一个基本的概念。这也就是说，当代物理学在范式上与经典理论是不同的。其次，当代物理学中理论同经验之间的关系表现出复杂的关系。完全的实证主义受到挑战，理论与经验深层次的关系得到了揭示，经验的归纳在当代物理学中是无法简单地达到理论的层次，同时对经验的获取，没有理论上的预设是不可能的，这导致了对形而上学作用的再思考。这些都引发了思维方式的革命，这些革命扩展到科学，直至人类生活的各个方面。在对真理的探求中和对知识的获取中，物理学发展提出的新问题、新思想，推动了哲学观念和方法上的更新。新的哲学观念雨后春笋般地涌现，在物理学哲学上由此导致了对下面这一信念的怀疑和讨论，即将实在论作为当代物理学理论的哲学基础。

它的继承性是指，物理学在发展中可以在新的框架下解释经典物理学已取得的成就。理论确立的基础要求，新的理论必须对旧理论已经得到解释的问题有着不亚于旧理论的解释能力。将 c （光速） $\rightarrow \infty$ ，和将 $h \rightarrow 0$ ，新的物理学的公式就可以得到经典的结果。同时，当代物理学从经典理论中吸收了大量的概念和原理，并将其赋予了更加丰

富的新的内容。如重构粒子性的内涵，对称和守恒原理的推广。

当代物理学的基础是建立在以相对论、量子力学、统计观念的新基础之上的，与经典物理学相比，它的理论结构模式已经摆脱了机械式的纯力学模式，对原来的基本范畴既有消解又有创新，同时它的思维方式也多样化了，从而形成了新物理学思维方式，即非经典的思维方式。在这种思维方式下，人们的思维不再盲目地成为自己感知的奴隶，而是与感知相互作用，为了更加准确地把握世界的真实面貌。这当中，其中一个表现就是数学工具的多样化，和对新数学方法的使用。

普朗克量子假说的提出，打破了经典物理学使用连续统模型对世界图景的描述方式，能量的量子化解决了黑体辐射中经典观念导致的“紫外灾难”的困境。当玻尔将量子化概念应用与原子结构时，又解决了原子稳定性与经典电动力学电磁辐射造成原子坍塌的悖论。直至爱因斯坦对光电效应的理论和德·布罗依的物质波假说的提出，使我们对世界的描述从经典观念的连续化理解转变为量子论观念下的粒子化解释。物理学的理论基础从连续统基础变为分立性基础。

爱因斯坦相对论的提出，改变了物理学时空的基础概念，时间、空间概念的各自独立性被消除，取而代之的是时空一体的统一概念，关于时间、空间各自的对称性，在更高的层次上统一成时空的对称性：质量与能量统一。时空的几何结构的揭示，令大尺度的时空结构不再以我们常识的欧氏几何所描写，而是曲率与物质分布相关非欧几何来描述，物理学的时空基础改变了。物理作用的超距作用的悖论被“场”的实在性的确立消解，经典作用最基本的概念“力”，由“场”的几何性质所代替，场中的作用由媒介粒子的传递行为来保证与相对论的一致。经典的部分几何化转向非经典的更深入的几何化。

相对论和量子力学的发展给了我们新的时空观念，同样也使我们物质概念有了新的认识，改变了我们对物理实在的认识。世界图景，微观、宏观、宇观物理客体的行为受统计原理的支配，这里的统

计原理不再是人类认识的权宜之计，不再需要，也不可能是对力学的回归方法，而是客观世界的基本原理，是对世界不可逆现象诠释的理论基础，是微观、宏观、宇观相联系的最基本的原理。

从历史角度来看，相对论和量子论的诞生将物理学从经典物理学带入了新的历史时期，但这场发生与 19 世纪末 20 世纪初的物理学革命并不能在时间上给出其具体的界限。这场科学革命的发生，在历史上的表现是一系列的物理事件。新的物理思想产生于经典物理大厦的裂纹处，正是这些看似不起眼的裂纹，使得经典物理大厦的基础受到怀疑。物理学家从试图修补物理大厦的裂纹，最终走向了在新的基础上重建物理大厦的目标。新的物理学是由新的革命性的思想催生的，但也是新思维与经典方法的有机结合。经典物理学的许多概念被注入了新的内涵重新成为新物理学的有机成分。

20 世纪是物理学重大发展的时期，尤其是理论物理在 20 世纪初的前后几十年。这几十年中，爱因斯坦对相对论、量子力学、分子统计力学的贡献和发展，哥本哈根学派对量子力学的建立发展及诠释，玻耳兹曼等人对热力学、统计物理学的重大贡献，形成了整个 20 世纪的物理学发展场景中的重要章节。同时由于物理学的发展对人类世界图景的看法也产生了巨大的影响，改变了人们的观念。

在前科学时代，由于人们认识自然和世界的手段有限，往往是人们首先从思想上哲学上突破，进而带来对物理学的重大发展，如伽利略和牛顿时代。这时可以说是哲学对科学的资助。但 20 世纪这一个世纪中，哲学和科学之间的关系表现出更加复杂，而且，在物理学上的表现更是深刻。不但像理论物理（又有称作数学物理）这样的思想性的分支，而且一些实验物理，如原子核物理、粒子物理，及一些需要大量经验数据分析综合的物理分支，如天体物理，都需要物理学同哲学的思考相互融合。

反过来，物理学上取得的新的进展又会影响我们原有的哲学观念。由于物理学的发展形成了很多新的概念和观念，一些古老的问题及过去一些理论中似乎已解决的问题又被翻了出来，原来的解释的基础消失，解释的合理性也出现问题。如量子时间的出现，对芝诺悖论

(Zeno's paradoxes) 的重新思考。在经典和相对论框架下的时间可逆性问题与热力学中的时间之矢的矛盾 (霍金与普里高津之争), 爱因斯坦的宇宙有限论和热力学中熵增原理所产生的特定边界条件的矛盾, 等等。这一切要求我们要对物理学这一百年的发展要做一个全面的考察和深刻的分析, 对物理学理论本身的哲学基础, 各个分支之间的基本概念的哲学含义, 对各分支起重要作用的物理学家们的哲学观念, 进行仔细的梳理、分析, 方可了解当今物理学的思想现状。

对当代物理学的考察, 不能也不应割断物理学的历史, 我们将从历史事件的考察和分析开始, 来探讨当代物理学, 由此才能对整个当代物理学得到一个较为全面的认识, 才能掌握和理解当代物理学的概念、理论、方法及当代物理学思想对经典物理学的继承和革命的统一特征。没有经典物理学中产生的理论和实验的矛盾, 就不可能为当代物理学的发展指明进路, 同时当代物理学也必须从经典物理学成熟的数学方法和那些业已发展成为普遍化的原理中寻找方法和思想。

当代物理学表面和形式上虽然在很多方面和经典物理学显著不同, 但是, 它并不能完全脱离经典物理学而独立存在。经典物理学中的一些方法, 和那些从人类经验中积累起来的最普遍的原理, 依旧贯穿于当代物理学研究的主线当中, 如相对性原理、守恒原理、不可逆原理等。这些表明, 在物理学发展中人类思维的连续性。但这些方法和原理的应用不是同等水平的重复, 而是被注入了新的功能和新的内容, 有些还进化为新的更普遍的形式, 这又表明了人类思维和认识过程的进化。物理学始终在追求用更普遍的、更基本的概念和原理对世界图景作统一的描述。可以说, 当代物理学是由经典物理学演化而来的, 如同具有较高级结构的生物是由具有较简单结构的生物进化而来一样。然而, 不仅有这种历史上的联系, 而且我们所说的物理世界当然还包括我们日常的经验世界, 更正确地说, 它是构成客观事物的总体的那一部分, 这种经验世界依然需要通过经典物理学去理解。所以经典物理学可以说是当代物理学基本思想在生活宏观世界的表现, 在机械观、线性思维下的一种应用。

人类知识的进步, 使人们将对所掌握知识的综合范围不断地推进

到未知领域，通过演绎对那些被认为是“基本”的原理和规律进行检验。到了19世纪，人们已经接受把宏观物体看成是由大量分子及原子构成的集合体，并通过对这种集合体的力学研究所得的结果，来理解所能见到的宏观物体的运动；这样的尝试已取得了相当大的成功。但是，在那时人们也把在宏观世界中用的经典力学的各种概念、定律，原封不动地推广到微观世界中去。然而，到了20世纪，人们已认识到在微观世界中有着更新的不同于宏观的性质。同样在20世纪，人们也认识到，大尺度的宇观世界也有着同生活的宏观世界不同的性质。

正是经典物理学的矛盾中的发展奠定了当代物理学的基础，尤其在19世纪和20世纪的世纪之交的前后时期，经典物理学表现出很多的非经典的特征。虽然当时很多物理学家仍旧希望能最终回到以力学为基础的经典轨道，为此他们想尽办法。正是这些努力，新的思想、新的观念、新的方法就不断地涌现出来。这一切正如前苏联的著名科学史家和科学哲学家包里斯·格里高里耶维奇·库兹涅佐夫（Борис Григорьевич Кузнецов，1903—1984）所认为的：

根据近代量子论和相对论的观点（也包括把相对论量子力学和电动力学综合在一起的尝试），所谓经典物理学从历史上说乃是一种蕴涵着阻碍当时科学提高到一个新的阶段的深刻矛盾的，迄今却在很大范围内是理所当然的，必要的近似。那种不停地变动、追求、探索，虽然未能找到答案，然而却为科学中新的革命准备了条件，培育了不停顿地，无止境地追究科学真象的思想，这样一种古典物理学的形象比形而上学观念所追求的毫无矛盾，田园诗一般的终极解答更接近于历史的真实情况。经典物理学的这种“非经典”的形象，描绘出从现代观点研究19世纪理论时的科学史的形象。^①

^① [苏] 包里斯·格里高里耶维奇·库兹涅佐夫：《古典物理学原理》，苏联科学院出版社1958年版，“引论”。

由伽利略开创的数学化的物理学，经过三百多年的发展，到19世纪末已经发展成为了一个辉煌的理论体系，并成为其他科学学科的楷模，这种楷模作用直至今日仍有很大的影响，大部分的学科仍以希望完成如物理学一样的分析的精密化，即数学化为目标。这三百多年的物理学伴随着一系列伟大的名字：伽利略、笛卡尔、牛顿、惠更斯、莱布尼茨、欧拉、达朗伯、拉格朗日、哈密顿、丹尼尔·伯努利、拉普拉斯、库仑、傅立叶、奥斯特、楞次、法拉第、焦耳、泊松、麦克斯韦、玻耳兹曼、吉布斯，等等。物理学作为研究自然界的一门科学，从一开始就追求获得自然界中最普遍的现象及其运动规律。现在来看，经典物理学是研究自然界中最普通的宏观现象及其低速运动规律的。从经典物理学的角度来看，自然界存在的普遍形式是“实物”和“场”，因此也可以说经典物理学是研究“实物”和“场”的层次结构、相互作用及其运动规律的知识体系。在经典物理学的发展史上，物理学家们，通过理论思维和实验，将表面不同的自然现象以统一的基本物理概念、定律、原理为出发点一一做出解释。从伽利略开始，物理学作为自然哲学的最重要的部分，受哲学思辨的影响，发展了重要的思想实验的方法，或称“理想实验”。伽利略正是通过这种思想实验提出了相对性原理最重要的定律“惯性定律”。爱因斯坦对思想实验评价说：“我们已经知道这个惯性定律不能直接从实验得出，它只能根据思索和观察得出。理想实验无论什么时候都是不能实现的，但它使我们对实际的实验有深刻的理解。”^①

物理学的对象是物理世界，认识世界是其最基本的任务之一，这个认识的过程就是要获得对物理世界的知识。事实上，“知识”是所有认识世界的任务的根本问题。任何探寻的起点，都是既有的知识。所谓知识，包括已知与未知两部分，有已知，就会衍生出许多问题，迫使我们承认未知的存在，燃起求知欲。从另一个角度讲，知识包括

① [美] 爱因斯坦、英费尔德：《物理学的进化》，周肇威译，上海科学技术出版社1979年版，第5页。

经验知识、理论知识、缄默（意会）知识和编码知识，这些知识都是我们描绘世界的手段，同时也是我们实践的指导。

在探索世界的过程中，人的思维一直在不断地构造着一个世界的图景。正是由伽利略开创的近代科学方法，是科学突破原始的直觉观点，给予人类的思维以充分的自由，由此才可能掌握宇宙中那些隐蔽在现象之后的更普遍的原理。

经典物理的观念、概念是如何在当代物理学中被改变，这些改变带来了什么样的新结果？当代物理学中又产生了什么新的观念？本书的目的就是要说明，经过 100 年的发展，这些诞生在 19 世纪末 20 世纪初的新思想业已深入到物理学的各个领域，它已将经典理论作为它的宏观近似，涵盖进人类已有的知识，同时新观念为物理学家解放了思想，以更加普遍的原理，更加统一的原则深入到物质内部，延伸到整个宇宙，探索物理世界，使物理学的统一达到一个新的更高的水平。对简单性和普适性的追求就是物理学理论的目标。

人类知识是对客观世界的诠释，而不是如经典科学认为的是一种完全客观的反映。不同层次的知识（经验知识、理论知识）对于人类在认识世界的过程中其起的作用在不同的期间是不一样的，经验知识“似乎与我们的直接的（甚或是长远的）利益或关系相联系的话”，那么理论知识的特点“就可以被描绘成是不谋利的（这意思不是说对我们没有利益，而是说这种‘利益’与实践的需要没有直接联系）”。^① 理论知识是“为了渴望认识，为了知识本身而追求的知识”。^② 理论知识是人类可以在抽象、统一的层面上把握世界的本质，同时通过演绎预言出一些未被观察的现象。当代物理学的任务不仅是认识世界，而且也为改造世界的实践提供指导。就这种实践的方面，当代物理学远比经典物理学为我们提供的武器强大得多，在许多方面它已经改变了我们人类的生活方式，如激光的应用，核能的开发。

① [美] M. W. 瓦托夫斯基：《科学思想的概念基础——科学哲学导论》，范岱年等译，求实出版社 1989 年版，第 35—36 页。

② 同上书，第 36 页。