

现代物理学的
概念革新
与
哲学精神

● 顾毓忠 著

吉林大学出版社



现代物理学的 概念革新与哲学精神

顾毓忠 著

吉林大学出版社

现代物理解学的概念
革新与哲学精神
顾毓忠 著

责任编辑：赵国复

封面设计：甘 莉

吉林大学出版社出版
(长春市东中华路29号)

吉林省新华书店发行
吉林省农安县印刷厂印刷

开本：850×1168毫米 1/32

1990年8月第1版

印张：11.0625

1990年8月第1次印刷

字数：274千字

印数：1—1 000册

ISBN 7-5601-0554-8/B·23

定价：2.55元

前 言

本书是作者研究现代物理学哲学问题的成果，其中有些章节的基本内容以论文形式在学术刊物上发表过（如建立量子力学的方法，量子力学解释及其有关的几个认识论问题，爱因斯坦——玻尔争论与因果性问题，爱因斯坦认识方法研究等），有一定影响。大部分内容初次发表。本书稿内容自80年代以来，先后多次在吉林大学科学技术哲学专业硕士研究生、理科硕士研究生以及哲学助教进修班作为专题课讲授过，普遍认为有相当学术价值。本书稿内容起初包括量子力学与相对论两大部分，1984年前后增加了粒子物理学与现代宇宙学，1989年又作了重要的修改与增补，增加了非平衡态物理学。量子力学与相对论是现代物理学的两大支柱，粒子物理学与非平衡态物理学是现代物理学的前沿，现代宇宙学虽已独立，但其主要理论基础是现代物理学，而且它与粒子物理又密切相关，因此我们也把它归入本书中。本书最后定名为“现代物理学的概念革新与哲学精神”，目的在于强调把握现代物理学所引起的深刻的概念革新，以及这种概念革新所体现的哲学精神，并试图表明当代物理学的哲学精神与马克思主义哲学精神是十分一致的。实际上，离开马克思主义哲学精神就难于把握好当代物理学的哲学精神，而离开当代物理学（及其他科学）就难于坚持与发展马克思主义哲学。现代物理学是整个现代自然科学的理论基础，特别是它的前沿问题，无论在科学或哲学方面进行探讨，均有很大难度。限于作者在物理学与哲学方面的理论修养水平，本书中难免有不当之处，敬请读者指正。

吉 林 大 学 哲 学 系

顾毓忠

1989.10

目 录

导 言

第一章 量子力学的概念革新与哲学精神

第一节	量子力学的创立与概念革新	19
第二节	建立量子力学方法的某些新特征	41
一、	实现理论变革的一种重要方式——面对新事实与原有理论的冲突，冲破传统观念，提出革命性新假说	43
二、	提出新假说新理论的一条重要途径——立足于新的起点，类比方法显威力	54
三、	理论高度抽象化的一个典型——运用算符化方法，建立完整的量子力学理论体系	60
四、	通过不同的道路建立本质上相同的理论体系	70
第三节	量子力学解释及其有关的几个认识论问题	71
一、	基本物理解释与直观性理解问题	73
二、	一般解释与测量仪器的中介作用问题和不同科学范畴体系之间的关系问题	83
三、	基本哲学解释与主体客体关系问题	97
第四节	量子力学解释中爱因斯坦——玻尔争论及其有关的几个自然观问题	104
一、	爱因斯坦——玻尔争论的分析	105

二、爱因斯坦——玻尔争论有关的几个自然 观问题·····	113
1. 物理实在问题·····	114
2. 因果性问题·····	117
3. 连续性问题·····	128
第二章 相对论的概念革新与哲学精神 ·····	130
第一节 相对论的创立与概念革新 ·····	130
一、狭义相对论的创立与概念革新·····	130
二、广义相对论的创立与概念革新·····	160
第二节 相对论的解释及其有关的哲学问题 ·····	172
一、关于相对论的解释·····	172
二、相对论中的相对与绝对关系问题·····	175
三、参考系与观察者问题·····	180
四、属性、关系及量度三者的关系问题·····	184
第三节 相对论时空观的哲学分析 ·····	185
一、通常怎样看相对论对一般时空观的影响·····	186
二、从分析相对论时空观确立的整个过程中 能够看到什么·····	204
三、时空形式与物质形式、因果形式的 关系·····	207
第四节 质量可变与质能联系的哲学分析 ·····	212
一、科学与哲学历史中关于质量、能量以及 它们之间关系的一些主要观念·····	212
二、相对论中关于质量、能量及其相互关系 的新观念·····	216
三、关于质量可变与质能联系的哲学意义·····	220
第五节 爱因斯坦认识方法的特征 ·····	226
一、科学与认识论是互为依存的·····	228

二、从各种复杂的现象中认识到它们的统一性是一种壮丽的感觉·····	231
三、在经验论与唯理论两个极端之间的摇摆是不可避免的·····	240
四、理论的建立只能通过构造性的尝试去摸索·····	244
五、科学家不容许自己在构造概念体系时分拘泥于一种认识论体系·····	251

第三章 粒子物理学进展所引入的新观念及其体现的

哲学精神·····	255
第一节 粒子物理学进展及其所引入的新观念·····	255
一、30年代至50年代粒子物理学的几个重要进展及其引入的新观念·····	256
二、60年代至80年代粒子物理学的几个重要进展及其引入的新观念·····	259
第二节 粒子物理学所体现的哲学精神·····	264
一、夸克、亚夸克模型与物质无限可分性问题·····	265
二、弱电统一、大统一、超引力理论与物质世界统一性问题·····	273
三、场、真空与物质存在形态问题·····	281

第四章 现代宇宙学进展所引入的新观念及其体现的

哲学精神·····	293
第一节 现代宇宙学进展及其所引入的新观念·····	294
一、现代宇宙学的诞生·····	295
二、现代宇宙学的第一个活跃期·····	296
三、现代宇宙学的第二个活跃期·····	298

四、70年代以后现代宇宙学的发展·····	301
第二节 现代宇宙学所体现的哲学精神·····	303
一、宇宙概念与宇宙无限性问题·····	303
二、宇宙演化思想与物质“从无”自发产生 问题·····	309
三、宇宙统一性与人择原理的哲学分析·····	312
四、宇宙学原理与宇宙学方法的性质·····	317
第五章 耗散结构理论的概念革新与哲学精神·····	321
第一节 耗散结构理论的创立与概念革新·····	322
一、19世纪科学思想中的两个矛盾·····	322
二、热力学发展的三个阶段·····	325
三、耗散结构理论的创立与概念革新·····	327
第二节 耗散结构理论所体现的哲学精神·····	333
一、耗散结构理论与新自然观·····	333
二、耗散结构理论与现代发展观·····	337
三、耗散结构理论的普遍性·····	343

导 言

现代物理学是以往物理学发展的继续，只有清楚地认识以往物理学，才能深刻地理解现代物理学的革命性质。物理学发展大致经历了三个主要阶段，即古代物理学、经典物理学及现代物理学，从一个阶段到另一个阶段都经历了重大的革命变革。古代物理学，如古希腊物理学和中国古代物理学；其基本特征是直观性与臆想性，其基本形态是现象的、经验的描述与思辩性的自然哲学，古代自然科学这种状况与近代自然科学那种以系统的科学实验为基础，在科学抽象基础上以严密逻辑与数学构成的科学理论体系是根本不同的。经典物理学有三大支柱，即经典力学、经典热力学与统计物理及经典电磁理论。经典力学是从否定亚里斯多德的力学观点开始的，是由伽利略、牛顿奠定基础的，是近代自然科学所确立的第一个成熟的科学理论体系，它同时也奠定了近代自然科学的一般理论观念与科学方法观念。经典热力学与统计物理把不可逆性观念与统计观念引进物理学中，经典电磁理论把场的观念引进物理学中，但它们的基本物理学思想仍然以经典力学的一般观念为基础。因此，当我们分析经典物理学的基本假定与基本特征时，我们将以经典力学作为基础与代表。那末经典力学主要包含那些基本假定与基本特征呢？我们尝试作如下理解：（1）世界的简单性假定。认为事物的一切复杂性均是表面的，经过分析，一切复杂性均可约化为简单性。（2）物质本性的不变性假定。认为不变性是物质的本性，如物体具有惯性及其不变性，原子有不可分性与不变性。

(3) 机械论特征。认为世界上一切变化均可归结为机械运动，世界就像一部自动机器。(4) 力学定律普适性假定。认为从原子到天体，甚至从无机界到有机界，力学定律普遍适用。(5) 基本定律决定论特征。认为世界的一切都是给定的，运动定律加上初始条件，既可确定未来，也可确定过去。(6) 基本定律可逆性特征。认为时间反转有对称性，如牛顿运动定律 $F = m \frac{d^2 r}{dt^2}$ 中， t 用 $-t$ 代替，运动方程不变，过去与未来原则上一样。(7) 时间空间绝对性假定。认为时间空间与物质及其运动无关，时间与空间无关，时间与空间在运动方程中仅作为几何参数存在。(8) 人与自然分离和直观反映特征。认为人似乎站在自然之外认识自然，像一个旁观者，是外部世界直观地反映到人的头脑中。(9) 认识方法上以分析与经验归纳为主的特征。认为认识主要就是分析，就是把事物分解为各个部分，就是寻求简单性，并且主要通过经验归纳来达到。(10) 科学理论的绝对客观性特征。认为科学理论是纯粹客观的，因而也是唯一的与永恒不变的。应该说明，以上各点，并不是完全分离的，而是互相关联的，如世界的简单性假定与分析方法为主的特征，机械论特征与力学定律普适性假定，人与自然分离、直观反映特征和科学理论绝对客观性特征，它们就是密切相关的。经典力学的这些基本假定与基本特征，反映了那个时代科学认识的发展水平与一般观念，也基本上代表了整个经典物理学的基本假定与基本特征。经典热力学与统计物理虽然引进了不可逆性观念与统计观念，但它只是承认宏观上的不可逆性与统计性，它仍然假定微观上服从可逆性与决定论。经典电磁理论虽然引进了场的观念，但它仍然试图在机械质的基础上理解场。

从19世纪末开始，物理学翻开了新的篇章，进入了现代物理学新阶段，开始研究物质的微观、高速及宇观领域，从而

导致物理学概念的巨大革新。现代物理学有二大支柱，即相对论与量子力学，有几个前沿领域，即研究物质极小领域的粒子物理，研究物质极大领域的现代宇宙学，研究物质非平衡领域的非平衡态物理学，它们的确立与发展，极大地改变了传统观念，提出了一系列崭新观念。19世纪末物理学上的三大发现（X射线、电子、物质放射性）打开了微观世界的大门，首先打破了原子不可分与不可变的旧观念，而不变原子观念是旧唯物主义物质观的一个重要内容。量子力学是关于微观世界运动规律的科学，它的确立打破了宏观世界与微观世界绝对同一和经典物理学基本原理已经完满的观念，而这两个观念是旧的自然观与科学观的主要内容之一。量子力学变革了经典物理学的一系列基本原则，并揭示了经典物理学与量子力学之间的一系列根本区别。量子力学的量子化观念确立了物理量原子性与状态量子跃迁的新观念，打破了物理量与运动状态连续变化的旧观念以及能量均分与电子加速必辐射的旧原理。微客体的波粒二象性观念实现了粒子性与波动性的新综合，冲击了经典物理学中粒子性与波动性观念的直观性理解。以状态波函数、力学量算符及实验测量值三者分离为特点的微客体运动描述方式，显示了一种与经典力学中的客体运动的轨道描述方式根本不同的非轨道描述方式的新特征。与牛顿运动方程根本不同的新的运动方程的确立，标志着力学定律普适性假定的完结，标志着新力学代替了旧力学。新型的量子统计性观念冲击了基本定律的决定论观念，虽然运动方程本身仍然是决定论的与可逆的，但其所予言的微观客体的行为是统计性的，获取实验测量值的测量过程又是不可逆的。著名的测不准关系更加突出了量子力学与经典物理学的本质区别，经典物理学中完备描述客体运动状态所必需的、相互结合很好的位置与动量描述和时间与能量描述，在量子力学中却成为互相排斥的因素，从而更加突出了非决定论特色。微客体的认识需要通过测量仪器把它

转变为宏观表现才能进行。对量子力学中测量作用的深入分析表明，测量过程是一个不可逆放大过程，测量作用不可忽略、不可补偿，并且由于作用量子的整体性特点，现象与测量作用不可分开，因而现象与理论中包含着测量作用，因此在认识微观世界中，不再具有人与自然分离和直观反映的特征。总之，量子力学所引起的概念革新，全面地冲击了经典力学的基本假定与基本特征：简单性、不变性、机械论、普适性、决定论、可逆性、直观反映、经验归纳等旧观念，或者被打破，或者被动摇与怀疑。粒子物理学是量子力学革命的继续与深入，它的发展又引入了许多新观念，进一步冲击了旧观念。夸克模型与夸克禁闭观念的提出，既突出了物质结构的层次性观念，又冲击了物质结构理论中的绝对基本性观念与简单可分性观念。关于物质基本相互作用的弱电统一理论的成功与大统一模型的提出，进到了物质世界统一性认识的新高度，既突出了物质世界的高度对称性，又显示了物质多样性演化与对称性破缺之间的紧密关系。在量子场概念基础上关于粒子与真空的新观念以及世界基本构成的非粒子性新观念（如超弦论），意味着世界的简单性假定是非常不完善的。相对论是现代物理学的又一个主要支柱，作为19世纪末20世纪初物理学革命的两个主要内容之一，它与量子力学有许多共同点，比如，它们各自发现了一个重要的普通常数（光速 C 与普朗克常数 h ），它们均发现了某种相对性（时间空间相对性和粒子与波的相对性），它们均强调了认识中介的重要性（参考系作用与测量仪器作用）。相对论与量子力学又有许多不同点，比如，量子力学突出粒子性观念与统计性观念，相对论却突出了场的观念与决定论观念。相对论所引起的概念革新主要涉及物质观、运动观、时空观，尤其是时空观。相对论否定了传统物质观中占重要地位的以太的存在，肯定作为一种物质形式的场的独立实在性，从狭义相对论到广义相对论到统一场论，场的概念在物质

观中的地位在提高，最后还试图把原子概念也纳入场的框架中，这些观念改变着传统的物质观。相对论肯定只有相对运动，没有绝对运动，一切参考系均是等价的，自然定律具有协变性，这些观念不仅改变了传统的运动观，而且也影响宇宙中心观念与宇宙对称性观念。相对论确认光速不变性与同时相对性，提出时间空间相对性及四维时空新观念，揭示惯性与引力之间的内在联系，提出时空为场的结构特性与弯曲时空观新观念，从而推翻了时间空间绝对性假定，揭示了时间空间对于物质及其运动的依赖性，根本改变了旧的时空观念。相对论发现质量可变性与质量能量联系公式，打破了质量不变性与质量能量无关的旧观念，揭示了质量对于运动的依赖性与质量能量间的内在联系，从而进一步肯定了世界的物质统一性和物质与运动之间的不可分性，也影响着传统的物质观与运动观。相对论研究自然定律的协变性及时间空间的新特性，从中揭示了参考系在认识高速运动中的重要地位，正如量子力学揭示测量仪器在认识微观世界中的重要地位一样，这体现了人与自然的新关系和离开直观反映的新趋向。不仅如此，爱因斯坦创立相对论，其认识方法也独具一格，他强调世界统一性原则与理论逻辑简单性原则，特别强调现代科学认识方法从过去以经验归纳为主到今天以探索演绎为主的转变，这里也突出了认识主体的能动作用。总之，象量子力学一样，相对论所引起的概念革新也冲击了经典物理学的一系列基本假定与基本特征。现代宇宙学的诞生是以广义相对论作为宇宙学的理论基础为标志的，今天的宇宙学已经把整个现代物理学作为自己的理论基础。现代宇宙学最大的特色是突出宇宙的动态性，即研究宇宙的演化，它打破了静态宇宙与自然界永恒不变的旧观念，从总体上突出了演化观念的地位。现代宇宙学观测上的重大成果是发现了宇宙的一系列整体性行为，如星系的普遍红移、各种天体的氦丰度以及 3°K 背景辐射，它们显示了宇宙的整体性。现代宇宙学

研究宇宙起源，总要涉及各式各样物质形式的转变，尤其是一些前所未知的物质形式及其自发转变，以及宇宙演化与人的存在的关系，这里提出的许多新观念进一步丰富了演化观念。当然，与演化观念关系最大的，还得数非平衡态物理学，这里提出了一个一般的进化理论。非平衡态物理学正在发展中，学派较多，我们仅以耗散结构理论为依据，谈谈它所引起的概念革新。普里高津所提出的耗散结构理论，提出了非平衡是有序之源的新观念，这种认识与传统的非平衡向平衡演化的观念是根本不同的，它说明一个系统既能在一定条件下由非平衡态向平衡态演化（从有序向无序），也能在一定条件下经非平衡态向更加有序的稳定结构演化（从混沌到有序）。这样一来，无生命界与有生命界就有了一个共同的进化规律，即在一定条件下系统从有序向更加有序的发展规律，从而解决了19世纪经典热力学与生物学之间的观念冲突（热力学第二定律指明系统从有序向无序演变与生物进化论指明生物从简单到复杂、从低级向高级进化），达到了热力学与生物学的初步统一，这种认识与传统的无生命界向无序演变、有生命界向有序进化的观念是不同的。耗散结构理论引起了对热力学第二定律、不可逆性与时间的新认识，热力学第二定律运用于开放系统远离平衡态，可以达到熵减少，从而使系统有序化。不可逆性与时间通过一系列的选择与对称破缺过程，可以产生多样性与复杂性，从而显示出它们的建设性、创造性作用，这种认识与传统的把不可逆性仅仅看作为可逆性的近似、过程的破坏性干扰以及把时间仅仅看作为运动的几何参数的观念是不同的。耗散结构理论最重要的内容是提出了一个通过涨落达到有序的一般进化模式，这种进化模式强调系统的开放性，强调系统进入远离平衡态，强调系统内部存在非线性相互作用，系统正是经过远离平衡态，依靠内部非线性相互作用，把由内因与外因所选择的系统的某种局部涨落放大为整个系统的新结构，并依靠外界所提供的物

质、能量、信息交换来维持这种新结构的。这种进化模式比较清楚地系统地阐述了系统的进化机制，其中包含着许多新观念，如系统的涨落现在看作为新结构的胚胎，这与传统的只看到涨落的破坏性的观念是不同的；又如系统在这种进化中，随机性起着很重要的作用（涨落就是随机性的），这与传统的单纯决定论观念是不同的；再如非线性相互作用的作用，它把局部涨落变成全局结构，从而显示了相干性、协同作用在系统有序化中的关键性作用。这种进化模式通过系统状态的分叉、高级分叉与突变现象，进一步说明了系统结构的不断更换。耗散结构理论依据系统自组织现象所提出的活性物质观念，更是与物质本性的不变性假定根本相反的。耗散结构理论还提出了开放世界观念，认为我们所面对的是一个不稳定的、不可逆的、不确定的世界，是一个创造性的、多样性的世界，这与传统的静止封闭的世界观念是完全不一样的。总之，耗散结构理论更全面、更深刻地打破了简单性、不变性、自动机模型、决定论、可逆性以及人与自然分离的旧观念，提供了丰富的现代发展观念。综上所述，现代物理学的产生发展确实是物理学发展中的一场非常重大的革命，相对于经典物理学来说，它所引起的概念革新，是非常深刻与全面的，这种概念革新必定会影响物理学的哲学精神。

二

经典力学的哲学精神是什么？依据上述关于经典力学的基本假定与基本特征的分析，我们或许可以把它简要地概括为：机械论的自然观、直观反映论的认识论和以经验归纳方法为主的认识方法。经典物理学的哲学精神是什么？这个问题可以从两个方面来回答，一方面，正如前面讲过的，经典力学是整个经典物理学的基础与代表，经典力学的哲学精神原则上也就是整个经典物理学的哲学精神。另一方面，经典物理学有一个产

生、发展与变革的过程：经典力学的确立相当于它的产生阶段，经典热力学与统计物理和经典电磁理论的确立相当于它的发展阶段达到顶端，现代物理学则变革了经典物理学。相应地，经典物理学的哲学精神也有一个产生、发展与变革的过程，随着经典力学的确立产生了经典力学的哲学精神，它作为物理学的哲学精神一直影响到19世纪，但随着经典热力学与统计物理和经典电磁理论的确立，这种哲学精神不断受到冲击。像热运动、电磁运动的非机械性，特别是能量守恒与转化规律所体现的自然界各种运动形式之间的联系与转化，曾为辩证法家提供了打破机械自然观，确立新自然观的重要自然科学基础。对整个物理学的认识方法的深入分析，又动摇了简单的直观反映论与经验归纳方法观念，比如在19世纪发生的经验归纳方法与假说演绎方法争论中，假说演绎方法就占优势。随着现代物理学的产生发展，经过19世纪冲击的经典物理学的哲学精神又经受了巨大的变革，一种新的物理学的哲学精神产生了，这个过程证实了恩格斯的如下论断：“随着自然科学领域中每一个划时代的发现，唯物主义必然要改变自己的形式。”^① 那末现代物理学所体现的哲学精神是什么呢？总的说来，现代物理学的哲学精神主要表现在：主体性精神，统一性、整体性精神，演化、进化精神，决定与随机相结合的精神。现在我们就来深入地研究一下这些精神。

（一）主体性精神 这里的主体性精神即科学的主体性精神，也就是强调科学认识中认识主体的作用与地位。在分析经典力学的基本假定与基本特征中，我们提到它具有人与自然分离和直观反映特征，即人似乎站在自然之外作为旁观者来认识自然的，外部世界是直观地反映到人的头脑中的。我们还提到它具有科学理论的纯客观性特征，似乎科学理论是纯粹客观

^①恩格斯：《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学终结》，第19页。

的。这说明经典物理学的认识论特征突出了认识客体的作用与地位，突出了科学理论的客观性，当然这是对的，因为我们正是研究认识客体，正是认识客体反映到我们的头脑中。但它没有充分表现认识主体的作用与地位，没有充分表现科学理论依赖认识主体的一面，这是不对的，因为认识过程本质上是认识主体与认识客体的相互作用，认识成果本质上是认识主体与认识客体的统一。现代物理学以其自身的认识论特征克服了经典物理学认识论特征的片面性，其主要表现有：（1）突出了测量仪器与参考系在科学认识中的作用与地位。量子力学与相对论的认识论讨论主要集中在这个问题上。量子力学中强调微客体只有通过测量仪器转变为它的宏观表现才能开始认识，强调测量仪器对微客体的作用不可忽略、不可补偿，强调现象与测量作用不可分开，强调理论中包含测量作用因素等等。因为测量仪器是人所制造与选择的认识工具，因而这一切说明人并不是站在自然之外作为旁观者来认识自然的，人是依靠测量仪器为中介，作为自然过程的参与者来认识自然的。类似地，相对论中强调参考系的作用与地位，人选择参考系，作为自己观察世界的立足点，现象与参考系的选择有关，理论中包含参考系这个因素。总之，在现代物理学中，作为人的认识工具、认识手段的测量仪器与参考系，以致一般认识条件（包括物质的与精神的），与自然过程紧密相关，从而人是在与自然的紧密联系中，作为自然过程的参与者能动地认识自然的，这是科学主体性的一个重要表现。（2）从以经验归纳方法为主向以探索性演绎方法为主的转变。科学发展的早期，经验与理论间的距离较近，建立理论可以以经验归纳方法为主，随着科学的进一步发展，经验与理论间的距离越来越大，经验归纳方法已经难于发现理论的基本原理，建立理论主要靠探索性演绎法。理论原理不能从经验中逻辑地推导出来，要靠与经验共鸣的科学直觉去发现，理论要用构造性尝试去建立，这就突出了理论建立中认识