

物理学理论的结构与拓展

洪定国 著

科学出版社

物理学理论的结构与拓展

洪定国 著

科学出版社

1988

内 容 简 介

科学的根本变化必然会引起对哲学基础的深刻发掘。人们不仅要了解科学事实，而且还需要对概念和定律作统一的理解。科学哲学就是以最高的思维形式来指导和促进自然科学发展的。本书就是从科学哲学的高度来分析、研究物理学理论结构及其拓展，作者从四个方面来考察物理学：(1)物理学理论与实验的对应性，(2)物理学理论的表述形式，(3)物理学理论的本体论解释，(4)物理学的演化与发展。以此揭示物理本质和理论形式之间的关系。

可供物理工作者、自然哲学工作者以及自然哲学爱好者参考。

物理学理论的结构与拓展

洪定国 著

责任编辑 荣毓敏

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988年10月第 版 开本：787×1092 1/32

1988年10月第一次印刷 印张：6 3/8

印数：0001—2,350 字数：144,000

ISBN 7-03-000583-X/O·150

定 价：3.40 元

前 言

在这本著作里，洪先生完成了一项巨大的任务，引入了许多非常深奥的问题，它们涉及到实在的本性以及以物理学理论的形式对实在所作反映的本质。他把物理学的发展视为一种过程，这过程不仅是历史的，而且是一种综合理解。就某些方面而言，这种理解类似于物理学所追求的目标。在研究这一过程时，他不仅从物理学知识的内容，而且从这些知识同实验与观察有关的过程来揭示某种结构。

作者首先考察的是一种所谓“实践中的”理论（“working” theory），这涉及到理论的表述形式和它与实验的对应性。接着，作者研究了它的种种解释，并考察了理论作为一个整体是怎样通过理性洞察力向前开拓和发展的。这一讨论是从粒子的经典力学开始的，接着是场论，最后讨论量子力学以及对它的各种解释，其中也包括隐序解释。我们伯克贝克学院（Birkbeck College）理论物理组一直从事着后一方面的研究工作。

这本著作的主要成就，是把物理学的整个发展置于一个统一的脉络之中，而且考虑了各种理论彼此相关的演变过程，从而给人以洞察力，去观察以前物理学实际上是怎样工作的，未来的物理学将如何以更加系统化的方式继续工作下去。这种整体观点可以使人们更好地理解科学的一般活动，以及这种活动是怎样实现它的目标的。

我们觉得，洪先生在这本著作里，反映出他对我们在隐序方面所作的不懈努力有较好的理解。我们在这方面已经做了

1966.6.5

• • •

一段时间的研究。但由于所涉及的概念与物理学上现行概念是如此不同,以致我们不得不缓慢地前进。特别是,我们的目标是从每个事物都蕴含着别的事物这样一种隐序出发,试图从较深的隐序推导出其特殊形式的显序来。这种特殊的形式应当同我们通常的时间、空间和物质(包括其各种相对论和量子力学的性质,但又不限于此)观念相对应。在现阶段,我们主要关注的是拓展实现这一目标所需的概念和数学。正如洪先生所述,我们正在把量子理论的代数当作实现这一任务的一个合适形式。令人满意的是,我们的工作已经取得,并正在继续取得有意义的进展。

我们认为:洪先生的这篇论著,对于大学生们以及那些准备讲授物理学的人们,是会有帮助的。

D. J. 玻姆教授

B. J. 海利博士

1981 年 11 月于伦敦大学伯克贝克学院

目 录

第一章 科学认识论的初步考察.....	1
§ 1-1 严密自然科学的理想模式	1
§ 1-2 科学认识的主观选择性	3
§ 1-3 科学认识的客观预测性	5
§ 1-4 严密自然科学的发展机制	8
§ 1-5 在科学理论创建过程中想像与演绎的交替作用与基本的 方法论原则	12
参考文献	15
第二章 实践物理学理论的结构.....	16
§ 2-1 物理学测量与物理观察量	17
§ 2-2 实验定律	26
§ 2-3 物理学理论的表述形式	28
参考文献	34
第三章 动力学理论的表述形式.....	35
§ 3-1 空间与时间的概念是怎样进入物理学的	35
§ 3-2 经典粒子力学的表述形式	40
§ 3-3 经典统计力学的表述形式	45
§ 3-4 经典场论的表述形式	49
§ 3-5 量子力学的表述形式	59
§ 3-6 CPM-CSM、CFT 与 QM 数学结构之间的比较.....	69
参考文献	73
第四章 物理学理论的解释.....	74
§ 4-1 CPM-CSM 与 CFT 的本体论特征.....	75
§ 4-2 量子力学的特征	77
§ 4-3 玻尔的量子力学互补解释	84

§ 4-4 爱因斯坦关于量子力学的观点	88
§ 4-5 玻姆的量子力学因果解释	92
§ 4-6 因果解释中的测量理论与独立于测量的量子跃迁	100
§ 4-7 物理现象、物理学理论与物理实在之间关系的一般性考察	106
参考文献	109
第五章 宏观物理学理论的拓展	112
§ 5-1 古代关于实在的两个观念以及它们在现代物理学中的体现	113
§ 5-2 经典物理学的开拓与发展	119
§ 5-3 爱因斯坦狭义相对论的创立——经典力学与电磁学方法论上的统一	123
§ 5-4 爱因斯坦引力论的创立	130
§ 5-5 宇宙学基础、标准热大爆模型及其困难	141
参考文献	152
第六章 量子理论的拓展	154
§ 6-1 从旧量子论到量子力学的发展	155
§ 6-2 量子场论的创立与发展	163
§ 6-3 规范场论的崛起——通向统一场的一条途径	171
§ 6-4 玻姆的隐序观念与量子场论的因果解释	182
参考文献	192
后记	198

第一章 科学认识论的初步考察

剖析物理学理论是本书的宗旨，这是一项比物理学本身的理论研究更高一个层次的研究课题。它不仅要考察物理学的全部已有成果，而且要从人类认识自然的历史长河中去剖析这些成果，揭示物理科学的本性。无疑，这种研究带有很强的哲学色彩。我们不得不首先对科学认识论作一番初步考察，然后再具体地对物理学理论作细致的静态解剖和动态分析。

§ 1-1 严密自然科学的理想模式

不同的科学观对自然科学的本性有不同的理解。然而，从各家的关于严密自然科学的完全定义中，可以找出两个共有的要素来。我们不妨把它们叫做严密的自然科学的本质要素。

首先，一门严密的自然科学，必须是一个自洽的、完备的理论体系。它既不容许理论内部存在任何不协调性；又不允许任何外来命题闯入体系之中。理论中任何命题，都必须可以通过体系内部所容许的逻辑演绎过程，从理论的基本假设（或基本公理）推导出来。这就是说，一门严密的自然科学，必须是一个公理化的逻辑的（或数学的）命题系统。在这个系统中，规定了一些逻辑项及其功能（包括各种数学符号及相应的运算法则），凭借它们在系统内进行逻辑推理；同时，又定义了一些非逻辑项，即逻辑运算的对象。这些非逻辑项是科学理论中各种概念的符号化，其意义完全由它们在逻辑系统中的地位（即它们同别的非逻辑项之间的逻辑关系）所决定。如果

一个理论命题，能通过系统中所包含的逻辑运算法则从公理命题中推导出来，那么，我们就说，该命题得到了理论的说明。

其次，一门严密的自然科学，必须同一定的自然现象以及一定的可检验的科学实验相关联。因此，严密的自然科学还

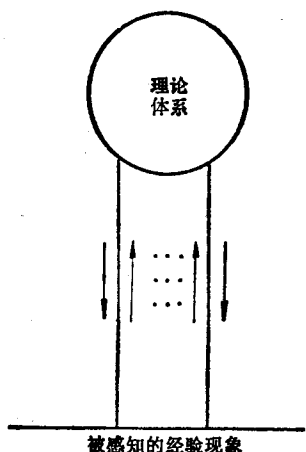


图 1-1 科学理论的理想模式

必须具备第二个要素，即理论与实验的对应公设，或者叫做理论与实验的互译原则。一方面，理论系统中的某些非逻辑项与逻辑命题，可以按照一定的对应性法则，通过一定的实验程序来实现。另一方面，在一定的实验条件下，可观测量，可以翻译为用符号表征的理论量（即非逻辑项），同理论系统中其它理论量发生逻辑关系；同时，在一定的实验环境中进行相关量的理论预测所得到的实验命题，亦可翻译成为逻辑体

系中的理论命题，并同公理命题发生逻辑关系。

严密的自然科学的理想模式，就是上述两个要素结合的产物。在理想模式的科学理论体系中，所有命题都具有双重特征：一是抽象的自上而下（即从普遍到特殊）的理论可说明性；二是具体的自下而上（即从个别到一般）的实验可检验性（或实验可证伪性）。这样，整个命题系统上下交融，构成一个统一体，对一定的经验领域中的实验定律作出统一的描述。

图 1-1 形象地表述了上述基本思想，图中底部的横线代表通过科学实验所感知的经验现象；顶部的圆圈代表严密的

自然科学的理论体系；连结圆圈与横线的竖线(无数条)则表示理论的各种推导及其与实验定律的对应性。

§ 1-2 科学认识的主观选择性

人在科学的名义下对自然界(包括人本身在内)的认识,具有两个基本特征:科学认识的主观选择性与科学认识的客观预测性。前者是一切科学感知都具有的特征,后者则表现为科学理论的预测功能。我们先考察科学认识是怎样具有主观选择性的。

图 1-1 明确地表达了这样一个基本事实,即任何严密的自然科学都只能是同被感知的经验现象打交道。这就是说,整个自然科学的大厦,是建立在科学感知的基础之上的。所谓科学感知,就是利用选择的实验手段去考察(包括干预)自然,从中摄取自然的信息。无疑,科学感知中所选择的实验手段,对于所要获得的实验信息有着决定性的影响。一方面,精心选择、设计和安排实验条件与环境,尽可能把非本质因素排除在实验所能觉察的现象领域之外;另一方面,实验参与变化的相关因素,要靠精心选择的观测程序与专用的观测手段来测试。科学感知的这种选择性特征,就像外科医生的手术刀一样,使人们可以解剖自然,分析自然,为人们分门别类地研究自然提供条件。然而,科学感知的选择性本身,是受人们已有的科学认识水平限制的,因此它深深地打上了认识主体的烙印。下面我们对这个问题作进一步考察。

我们的基本观点是:任何观测手段与测量程序的设计与安排,都是以一定的前知识为先决条件的。以长度和距离之类的简单物理量的测量为例,姑且不谈激光测长需要有单色光的相干理论作为制作与使用这种测长仪的前知识。我们只谈为牛顿力学奠定实验基础的牛顿前时期的天文观测以及地

面上动力学实验中的距离与长度的测量。若不以欧几里得几何学作为长度测量的前知识，则不可能比较和校正不同地点和不同方位上所进行的长度测量，于是一切力学实验就会变得不可思议。在物理学的发展中，往往是前一理论为后一理论的创立提供实验观测所必需的前知识。例如，探测量子力学效应的各种实验设计与安排，全部都是以经典物理学的有关内容为基础的。广而言之，在自然科学的研究中，在对自然的某些方面作观测考察之前，就已经有了有关这方面的观察程序与观察手段的前知识，而且正是这种前知识决定着观测什么和如何观测。正如爱因斯坦（A. Einstein, 1879—1955）曾同海森伯（W. Heisenberg, 1901—1976）谈及理论与观察之间的关系时所强调的：“是理论决定着观察什么”^[1]。

如果说，主观选择性特征只是通过科学感知的前知识爬进科学认识之中的话，那么，这只指明了问题的一半。科学认识还包括经验概括和理论构造这一核心问题。在这方面，主观选择性特征亦是相当明显的。原则上，对于任一特定的经验领域，可以构造无数个理论结构去覆盖之；而且，每一成功的科学理论都是具体科学家运用其大脑所特有的、发展中的心理与逻辑的功能，精心选择和泡制出来的，无不深深打上认识主体的烙印。由于科学认识的主观选择性特征，我们从自然科学那里所获得的关于自然的图景，部分是主观的。

科学认识的主观选择性，是一个十分敏感的哲学问题。对科学持实证主义态度的人们，倾向于把这一特征绝对化，认为它不允许人们谈论感知背后的实在和支配现象的本质。在他们的心目中，科学的本性不在于揭露自然的本质。他们认为：象物理学这样的基础科学只不过是“一个数学命题系统，它是从为数不多的几条原理演绎出来的，其目的是尽可能简单、完全和准确地代表一群实验定律”^[2]。在西方科学界中，

信仰这一科学观的不乏其人。这倒不是由于它获得了现代科学实验和理论的支持,也不是由于它给人们以更多的启示,只是由于它使人们不会丧失最起码的东西。

我们承认科学认识具有主观选择性特征,但不认为这一特征严酷到迫使我们非接受实证主义见解的地步。在科学认识中渗杂了人的主观因素,但并不否认科学认识中包含有非主观的内容。特别重要的是,每门自然科学不可避免地带有主观色彩,这会为自然科学尔后的发展逐步地加以清除。例如,绝对的、平直的时空观念曾经是牛顿力学的先验观念,随着物理学自身的合乎逻辑的发展,这一错误观念到头来还是被扬弃了。目前的科学理论纠正了已往科学理论中的错误,而它自身的更为微妙的错误则有待未来的科学理论去纠正,这就是科学发展所遵循的逻辑。因此,我们说,严密的自然科学为我们提供的自然图景,虽然部分地是主观的,但本质上却是客观的,因为其中的主观成分连同科学的未知领域一道,在发展着的自然科学的面前,是不断地退出它们曾占据的地盘的。

§ 1-3 科学认识的客观预测性

如果一个科学理论仅仅只能忠实、简明和统一地描述着已知的经验事实,那么,它的用处就不大了。一个科学理论的真正价值应该在于它具有预示未知事实的功能。事实上,没有哪一门严密的自然科学是不具有这一特征的。从科学史可以发现,任何一门自然科学都有着从自身的基本假设出发,通过逻辑演绎预测特定条件下的未知事实而获得成功的光辉记录。

值得我们深入分析的是,为什么科学理论具有预测功能?它们具有这一功能又说明了什么?

如前所述,一门严密的自然科学,是建立在一定的实验定

律基础之上的一个公理化的逻辑命题系统。假设在某特定的科学经验领域中(图 1-2),人们从大量的科学实验中,总结出了一组实验定律 $E(E_1, \dots, E_N)$, 进而通过思维的自由创造过程,在此基础上构造出一个严密的理论体系 T 来。 E 作

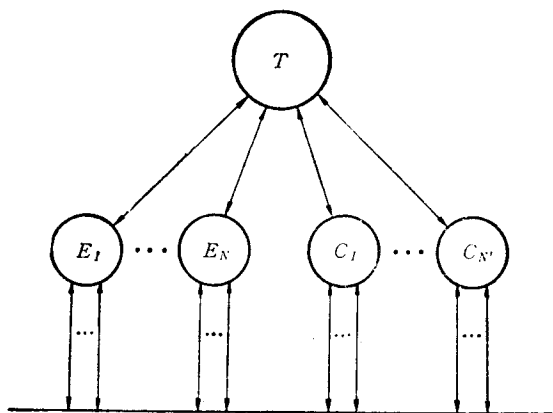


图 1-2 科学理论的预测功能

为 T 的逻辑推论而包含于 T 中。这里,我们区分两类情形:一是 T 的信息量等于 E 的信息量,也就是说,从 T 不可能推导出异于 E 的可观察的经验事实来;二是 T 的公理命题的普遍性程度高于实验定律 E 的普遍性程度。当然,我们仅只对第二种情形感兴趣,因为只在这种情形中,从 T 可以推导出异于 E 的别的一些推论 $C(C_1, C_2, \dots)$ 来。这些推论 C 就是在新的实验条件下对于新的经验事实的预测。它们可能遭遇两种命运:要么被证实,要么被证伪。如果预测被证实,则显示出 T 具有客观预测性特征。反之,如果预测被证伪,则说明 T 中有问题,或实验解释可能有误。

以上分析表明:一个科学理论之所以具有预测功能(或客观预测性特征),关键在于从该理论赖以建立的原实验定律

到该理论的基本公理的提出，正确地实现了由特殊到普遍的飞跃。在物理学史上，建立在开普勒（J. Kepler, 1571—1630）行星运动定律与伽利略（Galileo Galilei, 1564—1642）动力学定律基础之上的牛顿（I. Newton, 1642—1727）力学能够预言海王星的存在；建立在库仑（C.A. de Coulomb, 1736—1806）定律、安培（A. M. Ampère, 1775—1836）定律和法拉第（M. Faraday, 1791—1867）电磁感应定律基础之上的麦克斯韦（J. C. Maxwell, 1831—1879）电磁场理论能够预示电磁波的存在。这都是正确地实现了由特殊向普遍飞跃，再由普遍导出新的经验事实的极好例子。

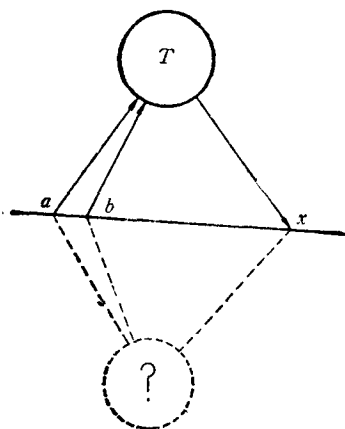


图 1-3 科学理论是实在的局域“像结构”

科学理论的客观预测性表明：虽然科学理论本身是思维的自由创造的产物，但它的内容并不完全是主观的，而是包含有真理的成分的。一方面，它表明被预测的事实（图 1-3 中的 $x, \dots$ ）同原来已知的事实（图 1-3 中的 $a, b, \dots$ ）之间有着内在的联系。这种内在联系，不是狭义地指它们之间存在物理的相互作用，而是指诸现象之间存在着规律的同一性，或本

质的同一性。在辩证唯物主义哲学看来，这种存在于感知背后实在一方的本质同一性，就是现象的本质(图 1-3 中用“?”表示)。

另一方面，科学认识的客观预测性表明：在科学理论的有效适用范围内，它的逻辑结构正确反映了该领域内所感知的大量现象的上述内在联系。因此，我们可以把它称为后者的局域“像结构”。不过，这里讲的“像”不是光学成像中的形体相似，而是主、客体之间的逻辑结构的相似。这种相似是局域性的，即是有条件的和有范围的。正如圆和切线只在切点才重合一样，超越了科学理论的有效适用范围，该理论便由真理转化为谬误，其逻辑关系便不再是实在的“像结构”了。

值得指出的是，对科学持实证主义态度的人，由于忌讳谈论现象的本质以及否认科学理论是这种本质的一种反映，根本不可能说明科学认识的客观预测性的哲学含意。在他们的科学观中，科学理论的预测功能是不可能解释和神秘莫测的。

§ 1-4 严密自然科学的发展机制

以上对于严密自然科学的本质要素与基本特征的考察，属于对一个任意特定的科学理论所作的静态分析。现在我们来研究严密的自然科学的演化序列，即对它们的发展机制作动态分析。

首先，我们把科学放进意识这个大范畴内考察。它经历了个体意识→一般意识→科学意识的演化过程。所谓个体意识是指人的个体通过个体的感知和智力过程主要在婴、幼儿阶段形成和发展起来的时空观、时间观、运动观以及关于“自我”与“外部世界”的观念。瑞士著名儿童心理学家皮亚吉(J. Piaget)，仔细考察了婴、幼儿智力发展的各个阶段，揭示了

个体意识发生与发展的机理^[4]。语言对于个体意识的进一步演化及其社会化起着重要作用。以语言为媒介,个体意识发生交流和融合,从而形成了可用文字表述的一般意识。人们的常识观念就属于一般意识范畴。科学意识是意识的高级发展形式,是各种专家共同体意识的集合。所谓专家共同体意识,是指接受一定专业教育,使用专门的科学术语与实验手段,从事专门领域学术工作的人们所共有的意识。如天文学、物理学、化学、生物学、地质学等等都是这样的专家共同体意识。

下面我们来考察作为专家共同体意识的各门自然科学所共有的发展机制。这种发展机制采取如下规范的演化程序:

第一步 选择感知

在前科学理论的指导下,选择或安排一定的实验环境,编制一定的实验程序,利用一定的科学仪器对现象作系统的观测,搜集一切可能的实验信息。

第二步 实验信息的理论处理

实验信息的处理,一般分为两个阶段。第一个阶段是对同类实验资料进行分析综合,求得一个个的实验定律。如果这些实验定律不能从旧有科学理论中推导出来,或者证伪了旧有科学理论,那末,就进入了理论处理的第二个阶段,即在充分分析旧有理论与新实验信息之间的一切不协调性的基础上,试探性地提出能够容纳新的实验事实的理论模型。

第三步 识别感知

根据新的理论模型设计实验,进行检验理论真伪性的识别检验。如果在一切可实施的实验条件下,所有需要验证的推论皆被证实,则试探新的科学理论的认识过程暂停,否则,积累尽量多的实验资料,为批判试探的理论模型作好充分准备。

第四步 实验信息的重新理论处理

找出试探理论中导致错误预测的源由，再根据构造科学理论所必须遵循的原则重新提出理论模型，然后返回第三步。

以上程序就是一切严密自然科学的发展机制。这个程序，即①→②→③→④→③→④→……，会不会有个终结呢？对此我们不可能简单地作“是”或“否”的回答。

一方面，科学的历史事实表明：在特定的感知手段和感知精度条件下，以综合概括特定的、有限的实验现象为目标的上述试试改改的理论创建过程，不是一个无终了的过程。诚然，一门自然科学从其萌芽时开始到它的理论体系完成时为止，也许会花数十年以致更长的时间；但是，任何一个完整而成熟的科学理论，都是经过有限次修正之后便确立了。这一事实说明两个问题：第一，在不同层次上，不同领域与范围内，自然是呈现出具有各种各样的相对稳定的逻辑结构的。第二，专家共同体意识是有能力认识这些结构的。如果这两点中任何一点不成立，那末，任何科学理论的创建都是无望的。

另一方面，科学的历史事实也表明：当科学感知的领域扩展之后，或者当科学感知的精度显著提高之后，原先在感知精度较低和较窄现象领域内确立的科学理论总是会被证伪的，或者被证明是不够用的。这时，原先暂停了的认识序列，又会以上述程序的第三步与第四步交替作用的形式，重新活跃起来。这个过程一直持续到这样的时刻，即在较高的精度条件下，概括较广领域的经验事实的、自然的局域“像结构”被建立起来。

无疑，新的理论结构将会把相关的旧理论作为其子结构包含在自己的体系之中。这就告诉我们：自然科学的发展是