

# 现代物理学中的 因果性与机遇

〔美〕D·玻姆 著

商 务 印 书 馆

# 現代物理学中的 因果性与机遇

〔美〕D. 玻姆 著

秦克誠 洪定国译

商 务 印 书 馆

1999年·北京

*David Bohm*

**CAUSALITY AND CHANCE  
IN MODERN PHYSICS**

© 1957 Routledge & Kegan Paul Ltd

© 1999 中文版 商务印书馆

本中文版取得 Routledge & Kegan Paul Ltd  
除英国之外全世界范围内独家翻译出版授权

XIÀNDÀI WÙLÍXUÉ ZHŌNG DE  
YĪNGUǒXÌNG HÉ JÌYÙ

**现代物理学中的因果性和机遇**

[美] D. 玻姆 著  
秦克诚 洪定国 译

---

商务印书馆出版  
(北京王府井大街36号 邮政编码100710)  
新华书店总店北京发行所发行  
民族印刷厂印刷  
ISBN 7-100-02951-1/B·446

---

1965年9月第1版	开本 850 × 1168 1/32
1999年10月北京第2次印刷	字数 168 千
印数 2 000 册	印张 8 3/8

定价: 11.00 元

## 新版序言

本书初版到现在已超过二十五年了。我被要求写一篇简短的序言,以回顾和评价本书中陈述的想法已经给出了哪些成果。

本书以对一般的自然定律中的因果性和机遇的讨论开始,接着是对这些范畴在经典物理学中如何宣示的详细说明。在经典物理学的发展中特别重要的一点是,它导至可以把宇宙比拟成一部巨大的机器的观念。但是,正如本书所阐明的,物理学更晚近的各种发展,主要是相对论和量子理论,并不符合这种机械论哲学。恰恰相反,它们非常强烈地表明,需要有一种全新的、超越机械论的总体研究方法。量子理论的通常诠释不能对这一改变的深远程度给出一个明晰的概念,因为它只具有数学算法的功能,只是一组规则,用它们可以计算出相似测量的统计系统的概然结果。在第四章里讨论了量子理论的另一种诠释,在这种诠释里,假定电子(以它为例)是一个粒子,它总是伴随有一个新型的波场。虽然在其最初提出的形式下,这种诠释对所有实验结果给出的预言与通常诠释给出的相同,它仍对量子理论的物理意义提供了新的洞识。因此它能触目地表明,量子理论实际上已经离开作为经典物理学基础的机械论观念多么远。

但是,这种粒子加场的诠释只是提供了一种理解量子理论的暂时模式,它应该是一个出发点,包含对理论作种种进一步的新的推广的可能性。那么,随后的发展在多大的程度上实现了这个目标呢?在我看来,沿着这条思路已经产生了大量的成果,特别是发展了这种研究方法隐含的有关整体与部分的关系的种种新的思维

方式。

这一发展的重要的第一步,是更详细地研究所提出的这种量子理论新诠释究竟隐含着一些什么内容,从单体系统<sup>[1]</sup>开始,进而研究多体系统<sup>[2,3]</sup>。在这些研究(特别是那些算出详细的轨道的研究工作)中看得很清楚,即使是单体系统在以下意义上也具有一种基本上是非机械论的特性,即它和它的环境必须看成一个不可分的整体,通常的分解为系统加环境(它被看成是分离的外部)的经典分析方法对这个整体不再适用。这种整体性在多体系统中变得更为明显,在多体系统的所有成员粒子之间,一般存在着一个非局域的相互作用,它在这些粒子相互远离时不一定衰减。更引人注意的是,一个系统内的各个部分(或亚整体)的相互关联极大地依赖于整体的状态,这种依赖方式是无法仅用各部分的性质表示出来的<sup>[4]</sup>。的确,将各部分组织起来的方式来自于整体。于是,认为整体的组织和一切性能都仅仅由各部分及它们之间先定的相互关系决定这种通常的机械论观念就不再成立了。

可以看到,在通常的经验层次(以及由经典物理学所代表的层次)上,整体的定律有这样的涵义,即整体近似地可分为一些相对独立的亚整体的结构,这些亚整体以或多或少带有一些外加和机械特征的方式相互作用着。然而,在更精确和更基础性的描述中,我们看到,量子整体性和非局域性成为主要的因素。这一点在爱因斯坦、坡多尔斯基和罗森的实验里尤其明显,EPR实验以非常清晰的方式强调了这些特性。现已对这个实验作了种种修改和改进,借助于著名的贝尔不等式,已能对非局域性进行非常精确的检验。许多实验,包括由它们发展而来的最近由 Aspect 完成的实验<sup>[5]</sup>,进一步确凿地证实了量子理论的各种预言,并且表明经典的局域性观念和可分解性观念的失效。我们的量子理论新诠释对于

一个量子系统怎么会成为一个不可分的整体(在其中会发生上述那种非局域联系)给出了一个清晰的和简单的可以直观理解的说明。

不可分的整体性和非局域性这种品性,也对量子理论的另一似乎荒谬的特性即通常诠释中所称在测量时会发生的“波函数的瓦解”<sup>[6]</sup>,给出了新的洞识。把新诠释应用于测量过程就会看到,并不需要这种“瓦解”。这样,就有可能把宇宙理解为一个唯一的和独立的实在,包括观察者和被观察到的二者。此外,还对宇宙是否是完全确定的这一问题的答案,得出了新的前景。每个物体、事件、过程等等,原则上都是确定的,但是归根结底,这种确定的基础是宇宙未被分割的总体本身。宇宙总体是**自确定的**。但是我们可以看到,并不存在各个部分根据与整体状态无关的先定关系而来的机械论决定性。

把新诠释推广到场论<sup>[7]</sup>,我们看到,不仅各个部分的相互关系,而且各个部分的存在本身,都来自整体的定律。因此,就不留下什么经典体制的东西,经典体制中的整体是由预先存在的各个部分按先定的方式相联系而得到的。相反,现有的知识使我们联想起一个有机体中整体和部分的联系,有机体中每个器官生长和自我维持的方式完全依赖于整体。

进一步引申整体性观念的另一发展是摺隐序的观念<sup>[8]</sup>。(为了对这里的“摺”字的意义作一些说明,我们可以考虑对一张纸进行摺叠时生成的那些接触点,是怎样包含着把纸展平后显现出来的总图样的基本联系的。)这里提出的想法是:出现在通常经验中的物体、实体、形式等等,都被摺藏在包罗万象的场中,并且存在着一种不断的摺藏和展显运动,在这种运动中,这些物体、实体、形式被创生、持续及最终消失。这样,每一基元都和整体有内在的关

联,其涵义为,整体能动地被摺藏在每一基元中。这意味着,对于每一部分的存在形式有着基本意义的这种能动性,是以它对整个宇宙、从而对一切其他部分的摺藏为基础的。于是,人们就对宇宙的未被分割的整体性得到更深一步的理解,这使得有可能对这个整体的宇宙有更多的洞识。

沿着这些线索的进一步的研究正在进行。在这些研究中,时-空的性质被认为是从一个被摺藏得更深的结构展显出来的,这个结构中的基本原理或序、排列、联蒸和组织同通常的几何学中的对应的量很不相同。发展了新的数学形式以精密处理这些结构<sup>[9]</sup>。这一发展比前面描述的那些发展超出机械论更远。它意味着与本书中倡导的自然界质的无穷性相近的某种东西,不过现在是一个无穷的整体,它根据其自身的原理决定亚整体的层次结构,其方式是使它们的每一个都是相对自主、独立和稳定的。

总结一下:本书中提出的想法,事实上已经成为各种进一步发展的出发点,可以说,这些发展展开了这些想法中隐含的东西。这个发展过程仍在继续对量子理论的更深层的意义提供更多的洞识。我认为有良好的理由期望,这种洞识迟早将导致进一步的数学倡议,它们将在现行量子理论的数学定律的普遍形式不能适用的新领域内作出确定的经验预言。

## 参 考 文 献

- [1] C. Philippidis, C. Dewdney, and B. Hiley, *Nuovo Cimento*, 52B, 15(1979).
- [2] D. Bohm and B. Hiley, *Foundations of Physics*, 5, 93(1975).
- [3] D. Bohm and B. Hiley, *Foundations of Physics*, 12, 1001(1982).
- [4] D. Bohm and B. Hiley, *Foundations of Physics*, 待发表.

- [5] A. Aspect, Phys. Rev. 14D, 1944(1976).
- [6] D. Bohm and B. Hiley, *Foundations of Physics*, 待发表.
- [7] 同上
- [8] D. Bom, *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge & Kegan Paul, London (1980).
- [9] D. Bohm, P. Davies and B. Hiley, 预印本.

# 目 录

新版序言 .....	i
作者为俄译本撰写的序言 .....	1
前言(路易·德布洛意) .....	3
第一章 自然定律中的因果性和机遇 .....	7
§ 1 引言 .....	7
§ 2 自然过程中的因果性 .....	10
§ 3 关连与因果联系 .....	12
§ 4 给定范围内的主要原因 .....	14
§ 5 因果关系的更普遍的判据 .....	18
§ 6 因果性定律与事物的属性 .....	20
§ 7 一对多与多对一的因果关系 .....	24
§ 8 偶然性、机遇和统计定律 .....	29
§ 9 几率论 .....	34
§ 10 对自然定律的一般考察 .....	38
§ 11 结束语 .....	43
第二章 经典物理学中的因果性与机遇:机械论哲学 .....	44
§ 1 引言 .....	44
§ 2 经典力学 .....	44
§ 3 机械论哲学 .....	46
§ 4 经典物理学中离开机械论的各种发展 .....	50
§ 5 光的波动说 .....	51

§ 6	场论	52
§ 7	关于电磁场的本性	54
§ 8	场论和机械论	56
§ 9	热的分子理论与气体动力论	58
§ 10	根据分子理论讨论微观级与宏观级之间的关系	60
§ 11	质变和量变	64
§ 12	物理学中的机遇、统计定律和几率	66
§ 13	经典物理学观念结构的充实和机械论哲学	68
§ 14	对待几率和统计定律的一个新观点——非决定论的机构论	75
§ 15	机械论概述	79
<b>第三章</b>	<b>量子论</b>	<b>82</b>
§ 1	引言	82
§ 2	量子论的起源	84
§ 3	关于寻求量子理论的因果解释的问题	94
§ 4	不确定原理	96
§ 5	原子领域内因果性的摈弃——不确定原理的一个推论	99
§ 6	原子领域内连续性概念的摈弃	105
§ 7	微观领域内一切定型的概念模型的摈弃——并协原理	107
§ 8	对于以不确定原理为依据的量子理论的通常解释的种种结论的批判	110
§ 9	量子理论的通常解释——非决定论机械论的一种形式	119

第四章 量子理论的别种解释 .....	122
§1 引言 .....	122
§2 对次量子力学级的一般考察 .....	124
§3 关于量子理论的别种解释之种种倡议的历史概况 ...	128
§4 关于量子理论的别种解释的一则实例 .....	129
§5 对上述量子理论新解释的批评 .....	136
§6 理论的进一步发展 .....	137
§7 微观物理学中当前的危机 .....	141
§8 量子理论的新解释在指导新领域中的研究方面的 优越性 .....	143
§9 量子理论的别种解释和机械论哲学 .....	146
第四章的参考文献 .....	149
第五章 自然定律的较一般概念 .....	151
§1 引言 .....	151
§2 机械论哲学本质特征概述 .....	151
§3 对机械论哲学的批判 .....	152
§4 一个超越机械论的观点 .....	154
§5 自然界质的无穷性的涵义的更详尽的说明 .....	158
§6 机遇和必然因果联系 .....	163
§7 互逆关系以及事物存在方式的近似的和相对的 独立性 .....	166
§8 变化过程 .....	170
§9 确定的和不不变的存在方式这一观念的抽象性 .....	176
§10 拉普拉斯决定论不合适的原因 .....	183
§11 自然定律的可逆性与不可逆性 .....	185
§12 绝对真理与相对真理——客观实在的本性 .....	190

附录 量子力学中的隐变量·····	198
§ 1 量子理论的主要特色·····	198
§ 2 量子理论对决定论的限制·····	199
§ 3 论量子理论中非决定性的解释·····	200
§ 4 支持把量子力学的非决定性解释为不可消除的 无规律性的各种论据·····	202
4.1 海森堡的不确定原理·····	202
4.2 冯·诺意曼反对隐变量的论据·····	203
4.3 爱因斯坦-罗逊-玻多尔斯基的諍论·····	204
§ 5 玻尔对爱因斯坦-罗逊-玻多尔斯基的諍论论的 解决——一切物质过程的不可分解性·····	206
§ 6 隐变量量子理论的初步解释·····	210
§ 7 对我们的隐变量量子理论的初步解释的批评·····	214
§ 8 通向更详细的隐变量理论的一些步骤·····	219
§ 9 量子涨落的处理·····	221
§ 10 海森堡的不确定原理·····	223
§ 11 量子过程的不可分解性·····	226
§ 12 作用量量子化的解释·····	231
§ 13 对探测次量子级的实验的讨论·····	241
§ 14 结束语·····	245
本文参考文献·····	246
索引·····	248
译者后记·····	252

## 作者为俄译本撰写的序言

在量子理论通常解释的体制内,人们采用了一些实质上是哲学上的结论,并且认为,它们是理论本身必然的结果,照例不去弄清它们的哲学本源。在这些结论中,後果最深远的一个是这种观念:在微观世界,只有现象的统计属性才是有规律的,至于个体的属性(至少是它们的具体细节),一般说来,则根本不遵从任何形式的规律。

本书详尽地研究了上述问题。书中引用各种论据以表明这个观念事实上并不是量子理论的必然後果,并且还详尽地探索了这一观念和现代的某些哲学思想之间的联系。为了更明确地表达出这个观点,作者试图通过量子力学的另一种表述的具体例子来表明,完全可以用不同的方法来解释量子力学。但是应该强调,这种表述并不以最後的、完全确定的表述自居,它的目标只求为在新的方向进行研究奠定一个更明朗的基础。作者在写完本书之后继续进行研究,并且成功地得到了一些新想法,这些想法就要发表。不过最重要的新想法可归结如下:首先,微观现象的个体属性和统计属性都遵从一定的规律,但这种规律不是纯因果定律。相反,它有更普遍的形式。它不只是把系统在某一时刻的情态和系统在另一时刻的情态联系起来,而且还把过程的每一部分与全部时间周期内的过程总体联系起来。这样一来,就有可能表明,甚至微观事件的特殊细节,也通过某种方式成为必然的,这种必然性是它们和以它们为组成部分的过程之间的关系的結果。并且在表明这种必然性时并不需要机械论的决定论。实际上,更普遍的规律揭露了因

果关系的基础及其局限性,特别是有些因果关系采取机遇的形式。因此甚至机遇性看来也是必然的,并且和因果性具有同等的客观性。

这种新型规律可以帮助克服现有理论的某些困难(例如现代场论中的无穷大困难),并且导致对基本粒子性质的新解释,包括与宇称不守恒有关的那些性质。此外它还使我们有根据设想,可能有新型的实验关系成立,特别是在高能领域里。例如,现在对基本粒子的性质是通过大量这种粒子对原子核的散射来研究的,然后再寻找这一散射过程所遵从的纯统计规律。然而上述规律使我们有根据认为,必须研究新型的实验关系,考虑高能粒子分别碰撞时所发生事件的时间序列。一般说来,这种新型关系不能通过通常的、与量子力学通用的解释相联系的概念系统表达出来。

显然,要判断这个研究方向是否正确尚为时太早。然而它已经导致一系列大有希望的想法,并且使得有可能建立关于新的相互联系的概念,应该到实验事实中去寻找这种新的相互联系。

D. 玻姆

1959年2月于布里斯托大学

# 前 言

路易·德布洛意

凡是研究过现代物理学发展的人都知道：我們关于微观物理现象知識的进展，已使我們在对这些现象进行理論解释时，采取一种与經典物理学迥然不同的态度。在經典物理学中，曾經有可能这样来描述自然事件的进程：它是在时间和空間（或相对論性时空）的框架內按照因果性演变的，这就給物理学家的想像提供了清晰而精确的模型。但是，現今量子物理学則杜絕任何这种类型的表述，并且使这种类型的表述变成完全不可能了。它只承认建立在純抽象公式上的理論，而否认原子和微粒子现象中有因果演化的观念；它只提供一些几率定律，认为这些几率定律是第一性的，并且构成最后的可以被認識的实在：它不允許把这种几率定律解释为由更深一級物理世界中的因果演化所引起的。

我們应当承认：理論量子物理学家三十年来所持的这种态度，至少在表面上，是与从实验得到的关于原子世界的訊息完全符合的。就現在的微观物理研究所达到的水平而言，我們的測量方法的确不允許我們同时来确定为了得出一幅經典粒子图象所必需的全部物理量（这可由海森堡的測不准原理推出）；而且測量所带来的无法消除的干扰，使我們对測量結果一般說来不能作出精确的預言，而只能作出統計性的預測。因此，純几率公式（一切理論工作者今日都使用着它）的建立，就是完全可以理解的了。可是，大多数理論工作者，往往惑于源自实证主义的先入之見，却认为他們

可以更进一步并且断言：现阶段实验所给予我们的关于微观物理学中的真实过程的知识，其所以具有不确定和不完备的特性，乃是物理情态及其演化之真正非决定性的结果。这种外推怎样也不能认为是有根据的。有这种可能：将来在认识到更深一级的物理实在之后，我们将能够把几率定律和量子物理学解释为现在还对我们隐藏起来的某些变量的完全决定值之展开的统计结果。或许，我们正开始用来破坏原子核结构并产生新粒子的那些强有力的工具，有朝一日总会把我们目前尚缺乏的关于更深一级物理实在的直接知识给予我们。妄图阻止那些逾越量子物理学现有观点的尝试，对科学的发展是极其危险的，而且也违背了科学史留给我们的教训。事实上，科学史教导我们：我们的知识的现状总是暂时性的，除了现在已经认识了的东西外，必定还有广阔的新领域有待我们去发现。此外，量子物理学近几年来一直纠缠着一些它所不能解决的问题，看来是走进了一条死胡同。这种情况有力地表明：修正量子物理学作茧自缚的观念结构的努力，将是一件有价值的工作。

人们高兴地看到：最近几年来有一趋势要重新审查微观物理学现行解释的基础。这一运动的肇始是玻姆 1952 年初在《物理评论》(*Physical Review*)上发表的两篇论文。早在 1927 年 5 月号的《物理学杂志》(*Journal de Physique*)上，我就曾著文提出过波动力学的一种因果解释，并名之为“双重解释论”。但是这一企图所引起的非难使我感到沮丧，因而放弃了它。玻姆教授在 1952 年的论文中，采用了我那篇文章的某些想法，并且以极为引人入胜的方式阐释和发展了这些想法，成功地提出了一些重要论据，主张对量子物理学重新进行因果解释。玻姆教授的文章使我又重新检起我原来的观念，并且与我在 H. 彭加勒研究所 (Henri Poincaré In-

stitute)的一些年輕同事，特別是與 M. 維日爾合作，得到了一些令人鼓舞的成果。維日爾在玻姆教授的親自協作下，對波動力學中  $|\psi|^2$  的統計意義發展了一個有趣的解釋。看來，今後幾年內仍應繼續沿着這個方向努力。照我看來，人們可以期望這些努力將是富有成果的，有助於把量子物理學從當前所處的絕境拯救出來。

為了說明這種努力的正当性和必要性，玻姆教授認為，在他的研究工作中，對物理理論的性質以及對那些能在現代科學發展水平上闡明自然現象的各種解釋的性質、重新進行批判性審查的時機已經成熟了。他把經典物理學發展過程中普遍的機械論、一般場論和統計理論等觀點一一相繼出現的情況與量子物理學引入一套自己獨有的新概念的進行了比較。他精辟而仔細地分析了機遇這個概念，並且指出，在我們知識增長的每一階段，每當我們還沒有覺察到我們正處在更深一級的、我們還未曾把握住的客觀實在的邊緣時，機遇概念就會隨之而生。玻姆確信：理論物理學已經而且將來還將不斷地揭露物理世界的越來越深的層級，這個過程將會無止境地繼續下去；他得出的結論是：量子物理學無權認為它的現有概念已是最後確定的了，它不能阻止研究工作者去想像比起已經探究過的實在領域更為深刻的實在領域。

在這裡我無法全面介紹玻姆教授的這一透徹而引人入勝的著作。讀者將會發現這是一個非常優雅而富於啟發性的分析，它會使讀者受到教益並進行思考。沒有誰比玻姆教授更適於寫這樣一本書了，而且這本書的問世非常及時。