

236617

现代物理学中的 因果性与机遇

[美] D·玻姆 著

秦克诚·洪定国译

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

1965年·北京

现代物理学中的因果性与机遇

[美] D. 玻姆著

秦克诚 洪定国译

商务印书馆出版

北京复兴门外翠微路

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 107 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

京华印书局印装

统一书号：2017·150

1965年9月初版	开本 850×1168 1/32
1965年9月北京第1次印刷	字数 194千字
印张 8 9/16	印数 1—2,000册

定价(9) 1.10元

CAUSALITY AND CHANCE IN
MODERN PHYSICS

by

David Bohm

Routledge and Kegan Paul Ltd

London

1957

內容提要

本书作者D. 玻姆是当代的美国物理学家。1952年,他重新提出了量子力学的一种因果解释——隐变量解释,反对“正统”的哥本哈根学派的非决定论解释,在物理学界引起了一定的注意和争论。现在,以他和德布洛意为首,在西方国家中出现了—一个标榜唯物主义的学派。这本书就是他为了在哲学方面宣扬自己的解释,并回答哥本哈根学派所提出的非难而写的。

书中通过对微观领域中因果性与机遇、决定性与非决定性的讨论,批判了哥本哈根学派的哲学观点,认为他们只不过是从十九世纪物理学家所抱的“决定论的机械论”转到了“非决定论的机械论”;提出了“自然界质的无穷性”的观念;也肯定地介绍了隐变量解释,以之作为一个具体例子,表明量子力学的别种解释是可能的。

为了使读者对隐变量解释的一些具体问题有更多的了解,译者另加了作者的一篇总结性文章,题为《量子力学中的隐变量》,作为本书附录。

量子力学的解释是现代自然哲学中最重大的问题之一。本书是关于这一问题的—家之言,代表了一些持唯物主义哲学观点的西方物理学家在这个问题上的见解。本书可供物理学工作者和哲学工作者参考。

譯 者 序

1952年初,本书作者玻姆在《Physical Review》上发表了两篇論文,^①重新提出了关于量子力学的隱变量解釋的問題。文章发表以后,引起了相当的注意。在玻姆的工作的鼓舞下,波动力学的創始人之一德布洛意,重新又回到了他原来的双重解釋理論,并以很大的决心来恢复他在这方面的研究。^②法国的維日尔、日本的高林武彦等物理学家,也在这方面做了不少工作。在西方国家中,現在已經形成了一个以德布洛意和玻姆为首的标榜唯物主义的学派,即所謂量子理論的因果解釋学派。同时,他們的看法受到量子力学解釋的哥本哈根学派的反对和批評,双方在各种物理学期刊和會議上展开了激烈的爭論^③。于是,沉寂了二十五年之久的关于量子力学解釋的討論,重新又密鑼紧鼓地展开了。时至今日,这场討論仍在方兴未艾之中。

我們先來回顾一下这个問題的历史和背景。

現代的量子力学的发端,是1923年德布洛意提出的物质波假

① D. Bohm, *Phys. Rev.*, **85**, 166, 180 (1952).

② 例如,見德布洛意为本书写的前言,或德布洛意:《量子物理学將仍是非决定性的嗎?》(*La Physique Quantique Restera-t-elle Indeterministe*)。德布洛意近年的一些研究結果,見其所著《非綫性波动力学》(*Non-linear Wave Mechanics*)一书中。

③ 哥本哈根学派的批評,例如見 W. Heisenberg, *The Development of the Interpretation of the Quantum Theory* (載于文集 *Niels Bohr & the Development of Physics* 中); M. Born, *Proc. Phys. Soc.*, A, **66**, 501 (1953) 或文集 *Physics in my Generation*, p. 123; L. Rosenfeld, *Science Progress*, **163**, 393 (1953)。1957年,在布里斯托(Bristol)大学举行过一次关于量子力学解釋的国际會議,会上两派也进行了激烈的論战。

設，认为一切形式的物质都同时具有粒子性和波动性。其后，在1924—1927年，經過薛定諤、狄拉克、海森堡、玻恩、泡里、馮·諾意曼等人的工作，建立了量子力学的完整形式体系，并且应用在原子领域中得到了輝煌的成就。1927年，德布洛意波的存在得到了实验证实。但是，量子力学的物理詮釋却远远落后于它的数学表述和实际应用。关于量子力学中使用的数学工具的意义，关于量子力学一些基本原理的物理内容，并没有得到清楚的和一致的解釋。这一情况并不奇怪，因为量子力学的研究对象是微观客体和微观过程的規律，它們和宏观客体及其規律有着很大的不同。量子力学的两个基本特征是微观客体的波粒二象性和微观过程規律的統計性质。^① 在宏观世界里，粒子和波是两个完全不同的概念，粒子是处于空間的一个小区域里，而波却在广大的空間中連續地弥散、传播。但是在微观領域里，这两种迥然不同的特性却統一在同一个客体上，一切微观粒子都伴随有一个德布洛意波，这个波的波长和頻率跟粒子的动量和能量通过下面两个关系式 $p = \frac{h}{\lambda}$ ， $E = hv$ 相联系。那么，德布洛意波的物理实质到底是什么？微粒性和波动性这两种完全不同的属性，作为矛盾的双方是怎样对立統一起来以构成关于微观客体的一幅完整图象的？在量子力学建立的初期，人們对这个問題提出过各式各样的回答。例如，薛定諤曾經认为，波动是更基本的属性，粒子只是一个波包。也有人提出，粒子是更为基本的，德布洛意波是由大量粒子构成的疏密波，衍射图样是由粒子之間的相互作用引起的等等。这些解釋，由于只是片面強調了波粒二象性中的某一方面，因此或則存在有严重的內在矛盾，或則与实验事实相违背，很快地都遭到了失败。不过，这只

① 參看薩契柯夫，《論量子力学的唯物主义解釋》，李宝恒譯，上海人民出版社。

是表明了我們不能把宏觀的微粒概念和波動概念搬到微觀領域中機械地結合起來而已，而並不意味着根本不能實現粒子性和波動性的任何綜合。實驗表明，微觀粒子的波動性是在統計過程中顯示出來的，它和微觀過程規律的統計性有着密切的聯繫。1926年，玻恩提出波函數的幾率解釋，認為薛定諤方程中的 ψ 函數代表位形空間中的幾率波。這個解釋本身是沒有問題的，它正確地反映了波動性與統計性的聯繫，大量的科學事實都要求作這樣的解釋，德布洛意也承認波動方程的連續解的統計意義。但是，幾率波是否已經窮盡物質的波動性了？這種統計性的來源又是什麼？對於單個的量子過程，除了這種幾率的描述之外，是否還有可能作出更嚴格的動力學的描述（也就是愛因斯坦所謂的“更完備的”描述）？在這些問題上，存在着很大的分歧。

量子力學的“正統”解釋是哥本哈根學派的純幾率解釋，其代表人物是玻爾、海森堡和玻恩等人。為了理解玻姆等人 and 哥本哈根學派之間的爭論，有必要在下面大致介紹一下哥本哈根學派的觀點。哥本哈根解釋接受了玻恩對波函數的幾率解釋，並且認為幾率解釋是最後的、不可逾越的解釋，量子力學是一個純粹的統計理論，單個量子過程是不服從任何動力學規律的。至於量子力學規律這種統計性的來源，這一學派認為與經典統計力學完全不同。在經典統計中，單個質點是服從嚴格的動力學規律的，只是由於質點總體的初始狀態有一統計分布，或是由於過程受到隨機相互作用序列的作用，才引起幾率的出現。而量子力學中的幾率，則是某種第一性的東西，不能對它再作進一步的分析，不能把它歸結為更深的次量子級中因果演化的結果，它是微觀事件的一種沒有來由的本性（有人把這種統計性歸因於宏觀測量儀器對微觀客體的不可控制的相互作用，這種說法其實和上面的說法是一回事，因為根

据量子的不可分割性，微观客体和测量仪器应该看作一个不可分的整体。见本书第三章 § 5 或附录 § 5)。只有微观事件的几率才是可以确定的，而微观事件本身则是非决定性的。玻姆把这种没有任何来由的无规性称为“绝对机遇”或“绝对涨落”。微观事件的非决定性表现为不确定原理，哥本哈根学派认为，不确定原理是理解微观领域内一切现象的基础，并且不确定原理是绝对的、最后的，它对物质结构的一切层级都成立，为人类认识微观世界的精度规定了一个极限。因此，即使存在有一个含有隐变数的次量子力学级，这些隐变数的效果也不会出现在任何实验结果中显现，于是，任何隐变量理论就只不过是一场毫无实际意义的智力体操。而且，按照冯·诺意曼的一条定理，^① 我们甚至不能想像一个关于单个微观客体细致行为的因果理论（见本书第三章 § 5 或附录 § 4.2）。一句话，要是将来关于更深的次量子力学级还能建立任何理论的话，那只能是更加非决定性的理论。玻尔更进一步从不确定原理引伸出并协原理，用来说明微观客体的波粒二象性。他认为，单用经典的粒子概念或波动概念都不足以描述微观世界，但是，粒子和波动二者则组成一对并协的经典概念，用来描述微观世界的性质时，它们是互斥而又互补的。为了说明全部实验资料，需要用到这两个概念；但是在一种具体的实验现象中，则不会同时明白地显示出两种属性。一种属性表现得越清楚，则另一种属性就越模糊，因此永远不会产生直接的矛盾。这种并协关系还存在于其他各种概念之间，这导致了“微观领域内一切明确的概念模型的摈弃”（本书第三章 § 7）。他们还把经典物理学概念之不适用于描绘微观现象，说成是唯物主义认识论中的许多根本概念的不适用，特别是因果

^① 见 J. von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, 1955, p. 323.

性在原子領域內的完全崩潰(第三章 § 5)。而且,玻尔还不只是用并协原理来論述經典概念在描述量子現象方面的局限性,来解释微观世界的量子現象,他越来越夸大这个原理的所謂認識論的意义,把它发展成为一种“并协哲学”——一切相互排斥的东西都是相互补充的。他企图把它应用到一切学科,用它来解释一切自然現象甚至社会現象,企图以此来“統一人类知識”,結果得出了許多荒謬的結論。^①

哥本哈根学派的这些看法,有着很明显的哲学傾向性。尽管他們自己吹嘘,他們的哲学并不是“传统的哲学体系——实证主义、唯物主义或唯心主义中的任何一种;按其內容來說,它是另一种哲学,虽然它包含所有这些思想体系的要素”,^②但是一个稍有哲学常識的人就可以看出,他們的观点远沒有上面說的这么玄妙,而只是不折不扣的实证主义和形而上学的观点,是违反唯物主义和辯证法的。实证主义这一唯心主义流派的一个根本特征,就是否定物质客体的独立存在,而认为物质只是感觉的复合;科学的对象并不是客观事物之間的联系,而只是我們的感觉之間的联系;因此,他們就拒絕深入研究現象的本质,而只局限于对感觉和經驗进行一些整理、排列。由于現在的科学水平还不能揭露波粒二象性的內在联系,他們就断言根本不能追究这种联系;由于还没有找到統計性的来源,他們就断言它根本没有来源。由于不确定原理在量子力学級上是成立的,他們就把它毫无根据地外推到物质結構的一切层級,认为它对世界的可知性規定了一个不可逾越的界限;对于“不能用已有的方法观察到的实体,就不應該假設这些实体存

① 參看玻尔的文集《原子物理学和人类知識》,郁翰譯,商务印书館,1964。

② 見前引海森堡的文章: Heisenberg, *The Development of the Interpretation of the Quantum Theory*.

在”（第三章 § 8），因而他們对假定一个次量子級存在毫无兴趣。在他們看来，理論的任务并不是說明世界（当然更談不上改造世界了），“而在于尽可能地在我們的經驗的种种方面之間追寻出一些关系”。^① 玻尔的并协原理正是这样。它承认經典概念在描述微观現象上的局限性，但其解决办法并不是把粒子性和波动性当作粒子統一体内部的两个互相排斥的对立面，研究它們的矛盾斗争；而是从微观客体在不同实验条件下有时較多地显露出粒子性，有时較多地显露出波动性这一点出发，从这里面去尽力“追寻出一些关系”，把它們“合二而一”地拼湊成一对对的并协概念，至于波粒二象性的物理实质的問題則不了了之。这是否定斗争、調和矛盾的形而上学方法。 正是因为哥本哈根解释掩盖了微观客体运动的內在矛盾，从而堵塞了进一步認識微观世界的道路，使量子物理学的进一步发展失去了动力；因此，当哥本哈根解释在物理学界中确立了正統地位之后，量子力学的发展就轉向于相对論推广和多体問題上的应用，而关于量子力学及其物理詮釋的討論則沉寂了下来。正是因为哥本哈根学派采取了这种实证主义和形而上学的态度，因此当玻姆提出了接触到微观客体的內在矛盾的隱变量解释并试图对波粒二象性的物理实质有所探索之时，他便受到了哥本哈根学派的猛烈批評，被他們譏为“空談”或是“要倒退到机械决定論”。

哥本哈根解释在物理学中地位的确立，是1927年10月第五届索尔未会议以后的事。^② 在这次物理学界的盛会上，德布洛意提出了他的双重解理論的一种簡化形式——导波（pilot-wave）理論，但是，这一理論的缺陷受到了許多非难。而哥本哈根学派的純几率解释，則以其簡單性和实用性，得到了大多数物理学家的承

① 玻尔，《原子論和自然的描述》第15頁，郁軀譯，商务印书館，1964。

② 关于这次会议上的討論情况，可參看德布洛意，《非綫性波动力学》。

认。(这一情况和实证主义对西方自然科学家的广泛影响是分不开的。)德布洛意本人也放弃了他原来的解释而信奉了哥本哈根解释。从此以后,哥本哈根解释就取得了正統地位。但是,掩盖矛盾并没有解决矛盾,禁止思考并不能迴避問題。一些大物理学家,包括对量子論的建立和发展起过很大作用的普朗克、爱因斯坦、薛定諤在內,一直不接受这种解释。例如爱因斯坦就提出,現行形式的量子力学对微观客体的描述是不完备的,必須建立更“完备”的描述——关于单个量子过程的动力学理論^①。但是这些反对者都没有具体提出新解释,只不过提出一些諄論或哲学上的批評;而且这种批評性的工作也做得很少,他們提出的諄論,由于論证的方法不对头,也常常被哥本哈根学派所駁倒(見本书附录 § 5)。1950年前后,苏联曾进行过量子力学哲学問題的討論,主要也是哲学上的批評。一直到玻姆这两篇文章,才提出了言之成理的一种新解释,受到了广泛的注意,重新掀起了关于量子力学詮釋問題的热烈爭論。

但是,量子力学詮釋問題在今天之所以得到如此广泛的注意和討論,还有更深刻的原因。首先,从第五届索尔未會議以后,三十年来,我們对微观領域的認識,有了极大的进展。人們在相当清楚地了解了原子級的情况后,又深入到原子核的层級,在四十年代和五十年代,基本上掌握了核能的应用,并且在宇宙綫和高能加速器中发现了各种不同的“基本”粒子及其产生、湮沒和相互轉化的規律。各种高能加速器和高分辨本領的探測器,使物理学愈来愈

^① 見 A. Einstein, N. Rosen, and B. Podolsky, *Phys. Rev.*, **47**, 777, (1935), 玻尔和玻恩曾和爱因斯坦进行过长期的爭論,想說服爱因斯坦相信并协原理和純几率解释,(見玻尔,《就原子物理学中的認識問題和爱因斯坦进行的商榷》,收在《原子物理学与人类知識》一书中,郁翰譯,商务印书館,1964,第36—74頁;玻恩,《关于因果和机遇的自然哲学》,侯德彭譯,商务印书館,1964,第125—127頁。)但是一直未能把他說服。(見爱因斯坦《对批評的回答》,附在 *Einstein: Philosopher—Scientist* 一书中。)

愈深入高能量和小距離的領域。正如德布洛意在本書前言中所說，我們正處在發現物質結構的更深刻的層級的前夜。大量的實驗事實要求得到理論解釋。量子力學原來是作為描述原子級的規律的理論而提出的，並且在原子領域內得到了完全的成功。現在，人們又把它應用到原子核和基本粒子理論上去，雖然也得到了一些成果，但也遇到了巨大的困難。例如，基本粒子物理學目前唯一的理論工具是量子場論，量子場論雖然能夠說明關於基本粒子的許多事實，但是理論中卻出現了荒謬的無窮大結果。重正化方法可以消去量子電動力學中的發散積分，但是對於強相互作用看來則是不能適用的。當前的微觀物理學陷入了危機（第四章 § 7）。這種無窮大困難的出現，是由於把基本粒子看成沒有內部結構的點模型，並把現有的量子理論外推到無窮小的距離而引起的。這就清楚地顯示出量子力學的適用界限，表明它並不是最後的、絕對的理論。必須進一步發展量子力學，研究更深的物質結構層級，以便打開一條出路；而我們現在對於微觀世界的認識也提供了可能性去設想有某種比量子力學更加深刻的新規律。要提出新的理論，就必須首先對現行量子理論的方法論基礎重新認真進行批判性的審查。如果說，在 1927 年索爾未會議時，由於當時科學水平的限制，還能夠把物理学家的注意力從量子力學物理詮釋的一些根本問題上引開，那麼，時至今日，在更高的科學水平和矛盾更尖銳的形勢下，就有越來越多有見識的物理学家人認識到哥本哈根解釋對進一步發展理論的阻礙作用，對它越來越不滿了。德布洛意和玻姆在量子力學解釋問題上立場的改變，就是一個生動的證明^①。

① 玻姆原來也是信奉哥本哈根解釋的。他曾寫過一本相當出名的量子力學教科書 *Quantum Theory* (1951)，就完全是按照哥本哈根解釋的精神來寫的，尤其是其中的 Chap. 2 § 5, Chap. 5 § 3, § 7, Chap. 8, Chap. 22 等章節。

可以說：重新对現行量子力学的基础和解释进行估价，乃是物理学发展新形势提到日程上来的客观要求，而玻姆提出的新解释，正是这个要求的体现之一。

D. 玻姆(1917—)是美国当代著名的理論物理学家。1951年，受到美国反动当局的政治迫害，被迫离开美国，先后在巴西、以色列工作过，現在在英国工作。他的主要工作是关于电子等离子的理論和量子力学多体問題中的集体描述方法。他对自然哲学問題也很有兴趣，这方面最主要的工作就是提出量子力学的隱变量解释。这个解释的內容作者在本书第四章里作了介紹。为了进一步理解这个解释起見，我們又选了玻姆的一篇总结性文章“量子力学中的隱变量”作为本书附录，这篇文章有更詳細的討論和更进一步的发展，我們可以看到他的新解释对一些具体問題是怎样处理的。

玻姆的解释实质上是德布洛意 1927 年提出的“导波”理論的变型和发展。他們都是不同意对波函数作出純几率的解释的。他們认为，几率波不足以穷尽物质的波动性，物质的波动性是由一个真实的波来表示，它是某种新型的場的振动，这个場由薛定諤的 ψ 函数描述。因此， ψ 場就不只是一个用来計算几率的数学符号，而是一个物理实在的場，和电磁場、引力場一样真实。这个場由薛定諤方程描述，正如电磁場之由麦克斯韦方程描述一样。他們认为，每一微观物体都是不可分地与一个 ψ 波相联系着的。 ψ 場与物体之間有相互作用，場对物体施加一个“量子力”，它把物体拖向 $|\psi|$ 最大的地方。但是还有一个相反的趋势：物体作无規运动(与布朗运动相仿)，它使物体在所能到达的全部空間无規律地漫游。这种无規运动的来源可能是場本身在次量子級上的急剧涨落(薛定諤方程确定的只是場的平均值)，或是与次量子級中的新型实体相互

作用的結果，總之是與次量子力學級中的某種隱變量有關，就如同布朗粒子的漲落來自更深的原子級一樣。兩種對立趨勢鬥爭的結果，就在統計系綜中造成了一個平均分布，其幾率密度與 $|\psi|^2$ 成正比。這樣就解釋了 ψ 的統計意義，它並不是什麼沒有來由、不可解釋的性質，而是更深一級中的隱變量的結果，這和經典統計的情況是相似的。單個粒子的動量和坐標 p 、 q 的不確定性，也是由於單憑 p 、 q 不能對粒子作出完備的描述之故；要完備地描述粒子那就需要加上次量子級中的隱變量。他們認為，不確定關係就是在不考慮這種隱變量時， p 和 q 的統計偏差量之間的关系式，布朗運動理論中也有相仿的关系式。知道了隱變量，就可以對單個粒子作完備的描述，就可以決定統計系綜中單個客體的行為——例如在電子衍射實驗中，就可以事先決定某個電子會落在衍射花紋中的哪一點。這樣就保留了軌道的概念。遠處不在粒子軌道上的障礙物也會影響 ψ 場，因而影響到作用於物體上面的量子力，這樣就解釋了干涉實驗。總之，玻姆的新解釋保留了对單個量子客體的決定論描述，而將其漲落歸之于次量子級上的隱變量。對於次量子級上的情況，玻姆也作了一些猜測，認為它的規律的數學形式可能是非線性的(第三章§3)。

為了提出隱變量解釋，必須駁倒兩個反對的論據。第一，隱變量的存在是和馮·諾意曼定理不兩立的。(當初德布洛意放棄自己的立場，一個重要原因就是承認了馮·諾意曼定理是絕對正確的。)玻姆指出，馮·諾意曼定理的證明實際上只是一個邏輯循環，它必須根據一條過於嚴格的假定：系統的狀態至少部分地要由滿足現行量子力學的可觀察量來確定，隱變量充其量是使我們對狀態的描述更加精確些而已；據此然後才可以證明並不存在有這樣的隱變量。這實際上只證明了量子力學的內部邏輯完整性。事實

上，次量子級的規律可以与量子力学規律完全不一样，有着质的不同；因此从馮·諾意曼定理并不能得出隱变量不存在的結論（第三章 § 8，附录 § 6）。其次，一些批評者认为，玻姆的新解释完全是迎合着流行理論的結果湊合出来的，其中的隱变量不会引起任何可由实验显示出来的新效应，因此只是一个“玄学”理論。针对这个批評，玻姆分析了用实验判断哪种解释更正确以及用实验探查次量子級的可能性（附录 § 7 及 § 13）。他还具体分析了在哪些領域內最可能显露出隱变量的新效果。为了能够察觉极快的次量子級上的涨落，当然应该利用快速的高頻过程（就如同对快速事件摄影时需要用高速照相机一样）。根据爱因斯坦关系式 $E=hf$ ，高頻过程也就是高能过程。而高能領域以及相应的小距离的領域（小于 10^{-13} 厘米）正是現行量子力学不适用的領域，把量子理論外推到这一領域，就导致了当前微观物理学的危机。因此，新解释十分有利于引导新領域內的研究，有可能消除基本粒子理論中的无穷大困难。

不过，本书的主要内容并不是介绍隱变量解释本身，而在于討論有关的哲学問題，批判哥本哈根学派的哲学观点，回答他們对新解释提出的批評。玻姆正确地指出了哥本哈根学派的实证主义的“先入之見”。哥本哈根学派在哲学上对新解释的主要批評就是把新解释說成倒退到机械决定論。^① 因此玻姆結合着物理学史着重分析了机械論的問題，也許这是全书写得最精彩的部分。玻姆认为，机械論是對待科学理論的一种哲学态度，它最本质的特征是，

^① 例如，海森堡在前面所引的文章里說：“哥本哈根解释的一切反对者……想要回到經典物理学的实在概念，或更普遍地說，回到唯物主义的本体論。”（參見 *Niels Bohr & the Development of Physics*, p. 17）而玻恩更把因果解释称作“純粒子观点維護者們 (p-totaller) 的反动运动。”（參見 *Physics in my Generation*, p. 130）

把一切物理現象歸結為不多的幾條純定量定律的作用，這些定律被看成是最后的和第一性的。十九世紀和以前的物理學家普遍持有機械決定論的觀點。由於牛頓力學成功地說明了大量物理現象，使得物理學家企圖把一切物理現象歸結為力學規律。後來電磁學、光學、熱學的發展，揭示了經典力學所無法說明的許多現象，清楚地表示了經典力學的局限性。但是機械論有一種很強的可塑性，它可以通過對其細節的無數次調整來維持它的最本質之點。例如，電磁理論的發展表明，牛頓的經典粒子並不是唯一的基本實體，宇宙間還有着一類新型實體——電磁場，它的運動不能由牛頓定律概括而服從麥克斯韋方程。但是機械論者爭辯說，機械論的基本精神——將一切物理現象歸結為不多的幾類基本實體按照一些基本定律作純定量的運動——仍是对的，錯只錯在遺漏了一些因素；基本實體應該包括物體和場，基本定律還應該加上麥克斯韋方程。統計物理的發展給機械決定論帶來了根本性的一擊。把統計規律歸結為經典力學規律的企圖未能得到成功。由於這種機械論在對待統計規律上所遇到的困難，隨着統計理論在現代物理中作用的不斷加強，特別是隨着量子理論的發展，從二十世紀初期開始，出現了一種對待幾率和統計定律的新觀點。這種觀點承認幾率和機遇的客觀性和基本性，但卻又把它們當作是絕對的和第一性的，而否認決定論定律的實在意義，認為它只是幾率定律在統計系統中的一級近似，即把力學規律還原為統計規律。至於系統中单个系統的行為，則不服從任何動力學定律，對它只能作幾率性的預測。单个事件的漲落是一種沒有來由的絕對無規律性，它不僅相對於有限範圍是任意的和無規的，而且相對於一切範圍都是如此，是一種“絕對機遇”。這種觀點“拋棄了出現於十六世紀至十九世紀的各種機械論哲學的一個重要方面——它們的決定論。但與

此同时，这个观点仍然保存了并且实际上是加强了这种哲学的核心的和最本质的特征——假設宇宙中的万事万物都可完全归結为一組力学参量发生純粹量变的結果。这些变化的細節是完全任意的和无規的这一事实，并不会使这一观点在实质上比认为这些細節系由系統本身的一些适当的性质所确定的另一种观点更少一点机械論色彩。”(第二章 § 14)。因此，这种观点仍是一种机械論，只不过是非决定論的机械論。对比一下决定論的机械論与非决定論的机械論是很有意思的。前者认为动力学規律是絕對的和第一性的，一切都被具有铁的必然性的因果鏈条支配着；而机遇則只是无知的代名詞，統計定律是由于我們对系統的知識不完备而引入的一种实用上的需要。反之，后者則认为几率定律是最后的，单个客体的行为沒有任何規律，是其“自由意志”的体现；决定論定律只不过是几率定律的一級近似。如果說前者把宇宙看作一只理想的钟表，那么后者便是把宇宙看成一具理想的輪盘賭桌上的輪盘。非决定論机械論是机械論哲学的更恶劣的形式。因为机械决定論尽管是一个沒有实验基础的哲学假設，但它还是符合溯本探源的科学探索精神的，而非决定論的机械論則直接违反这种精神而陷入不可知論。因此，前者在科学史上还起过一定的积极作用，而后者則未起过任何这种作用。我們的新解释承认机遇性涨落是整个量子力学級事物存在方式的不可分割的部分；同时又认为这种机遇涨落来自次量子級，次量子級上作用着新型的定律，既不純是因果律也不純是机遇律；并且新解释并不以最完滿的、最后的解释自居；因此它不是机械論的。相反，哥本哈根解释，由于它认为量子涨落是絕對涨落，由于它认为不确定原理和現行的几率律是絕對的和最后的，正是非决定論机械論的最彻底的体现。

不可知或不可全知从来而且永远是正常的。

在批判了这两种形式的机械論以后，玻姆提出了“自然界质的