

原子论和自然的描述

[丹麦] N. 波尔 著

郁 翰 译

商 务 印 书 馆

原子論和自然的描述

〔丹麦〕 N. 波 尔 著

郁 韜 譯

商 务 印 书 館

1964 年 · 北京

ATOMIC THEORY AND THE DESCRIPTION OF NATURE

By Niels Bohr

Cambridge University Press, 1934

內容提要

本书是丹麦学者 N. 波尔的一本論文集，共收緒論一篇和論文四篇。各文发表于新式量子力学初露头角的时期（1925—1929），企图对当时量子論的发展形势作出哲学的分析和概括。作者及其学派，在哲学观点上是带有很大唯心主义色彩的。在他的許多論文中，都以不同的明显程度闡述了不少实証主义的观点。在本书所收的第二篇文章中，作者首次提出了他的所謂“互补原理”，这是作者的中心哲学思想。

本书和作者的另一論文集《原子物理学和人类知識》，是了解波尔及其学派的哲学思想的重要資料，可供对于自然科学哲学、科学史及物理学有兴趣的讀者們参考。

原子論和自然的描述

[丹麦] N. 波尔著

郝 箱譯

商 务 印 书 馆 出 版

北京复兴門外翠微路

（北京市书刊出版业营业许可证出字第107号）

新 华 书 店 經 售

京华印书局印刷 新街口装订厂装订

統一书号：2017·131

1964年6月初版

1964年6月北京第1次印刷

印张3²/₁₆

开本350×1168¹/₃₂

字数69千字

印数1—5,000册

定价(10)0.50元

譯 序

本书是丹麦学者尼耳斯·波尔 (Niels Henrik David Bohr, 1885—1962) 的一本論文集。如所周知, 作为物理学家, 波尔对于近代微观物理学的貢獻是不可磨灭的; 在国际上, 人們常常把他和爱因斯坦并称; 他的原子結構理論, 或許或略地載入各种物理学、化学书籍中; 现在, 甚至連一般的中学生都知道尼耳斯·波尔的名字了。另一方面, 作为一个自然哲学家, 波尔又是所謂哥本哈根学派的創始人和領導者。这一在哲学上和实証主义息息相通的学派, 近年以来曾經受到各方面的批判, 但是, 在物理学乃至全部自然科学中, 这一学派的深远影响至今仍是不容忽視的。那么, 了解、分析波尔的思想, 对他的哲学观点作出恰如其分的估价, 也就不是沒有必要的了。在这方面, 本书显然是重要的参考文献之一。

波尔的一些有代表性的学术論文(大部分是演講詞), 收集在几本論文集中: 《1913—1916 年的原子結構論文集》(《Abhandlungen über Atombau aus den Jahren 1913—1916», 1920 年版)、《光譜理論和原子构造》(《The Theory of Spectra and Atomic Constitution», 1922 年版)、《原子論和自然的描述》(即本书)、《原子物理学和人类知識》(《Atomic Physics and Human Knowledge», 1958 年版, 已有汉譯本); 在最后一书出版以后, 波尔还发表过一些帶有哲学性的論文, 但其內容基本上并未超出上述各书的范围。在这些論文中, 波尔的哲学观点是逐漸确定下来的。在前两本論文集中, 直接涉及哲学概括的地方还比較少; 在后两本論文集中, 則越来越有意識地将問題提到了哲学的高度。

本书共收論文四篇，并有一篇綜述性的緒論。书中各文都发表于新式量子力学初露头角的年代(1925—1929)；在这几年中，人类对于微观运动规律的認識初次得到了系統化的陈述，处理微观现象的数学方法逐步地完善了起来，但是，这些方法的物理内容却引起了很多的爭論和不安。在这种时候，像波尔这样的科学家根据自己的体会和见解提出来的一些分析和評述，无論如何是值得人們仔細研究的。

*

*

*

波尔的哲学观点，集中地表现在他所提出的“互补原理”(Principle of complementarity, 或譯“并协原理”)中。这一原理是波尔在本书所收的第二篇文章(在意大利科摩召开的紀念伏打逝世百周年的国际物理学会議上的演講詞)中首次提出的，其目的本来在于論述量子过程的特征，尤其是經典概念在描述量子现象方面的局限性。但是，后来波尔却越来越热心地夸大了这一原理的所謂認識論的意义，他企图将这一原理推广到一切的人类知識領域中，并企图在这一原理的基础上建立一种独特的哲学体系；这种傾向在上述第四本論文集中表现得尤其明显。

正如波尔在很多地方所強調的，自从1900年普朗克发现了作用量子以后，在物理学中出现了一种前所未有的形势；人們发现，經典物理学中逐漸形成的某些基本概念，例如波动概念或质点概念，在描述微观现象方面似乎是有很大局限性的。微观客体在某些确定的实验条件下(例如在光或电子注的衍射实验中)表现得很像波动，而在另一些同样确定的条件下(例如在光电现象、康普頓散射或一般的碰撞过程中)却又表现得很像粒子；这种得到实验明确証实的所謂物质二象性(dual nature of matter)，是微观现象的最重要的特征。在量子力学中，曾經确立了一些原則和方法，可

以比較系統地概括物質的二象性，但是，關於量子力學方法的物理詮釋問題，特別是如何理解微觀客體的波動特徵和粒子特徵之間的物理聯繫問題，不同學者的意見却是很不相同的。

或許可以說，揭露上述這種二象性的物理實質，正是量子論中最關鍵、最迫切的哲學課題。對於這種課題，哥本哈根學派的學者們似乎採取了“不了了之”甚至是“因噎廢食”的態度。他們認為不應該也不可能追求波動特徵和粒子特徵之間的實在聯繫，而必須承認一切最基本概念（包括時空概念和因果概念）的適用界限。按照波爾所首倡的和終身堅持的“互補原理”，當應用某些經典概念來描述微觀現象時，必然會排除另一些經典概念的應用，而這些受到排除的另一些概念對於描述另一種條件下的現象却又是不可缺少的（參閱本書第 9 頁）。例如，按照波爾的看法，當描述微觀現象即所謂“整理我們有關原子現象的經驗”時，我們要么放棄時空概念，要么放棄因果要求，這二者之間是一種“魚與熊掌”的互斥關係；至於合乎因果要求的時空描述，則只是適用於宏觀現象的一種近似的、極限的情況。因此，波爾指出，微觀現象的各種特徵，是不能結合成一種合乎邏輯的具體圖景的。但是，如上所述，這些“互斥的”概念又全都是必不可少的，單單利用其中某一方面的概念並不能說明全部實驗資料。因此，波爾又指出，只有撇開這些概念的內在聯繫問題而把它們不無雜湊地匯集起來，才能構成現象的完備描述；在這種意義上，這些概念又是互補的。承認各種概念之間的這種互斥而又互補的獨特關係，這就是“互補原理”的基本內容。波爾認為這是看待自然現象的一種更加靈活的态度，但是，這種态度事實上等於否定了物質二象性的物理實質問題。

在論述他的互補原理時，波爾經常以海森伯的測不准關係作為重要的例證。關於測不准關係，波爾和海森伯的理解大體相同；

他們都習慣于從一些假想實驗來論證這種關係，而這種論證可以說是不合理的。當然，作為邏輯推理方式之一的假想實驗，是不應該籠統地加以反對的，但是，任何假想實驗都應該是客觀實際的抽象概括而不應該是主觀臆造的改頭換面，而波爾等人的那些假想實驗則很難說是滿足這種要求的。儘管他們那些假想實驗顯得頗為直觀而有說服力，但它們事實上卻和作為量子力學基礎的那些實驗相去甚遠。第一，前一種實驗涉及的是迄今尚未搞清楚的一個微觀客體的动力學行為，後一種實驗所涉及的則總是多個微觀客體（即所謂微觀系綜）的統計行為；第二，在分析前一種實驗時，波爾等人往往是按照經典物理學的精神來看待坐標、動量等等物理量的，而在分析後一種實驗時則必須在本質上按照量子力學的精神來理解各個物理量；第三，在分析前一種實驗時，研究者總是或早或晚地暗中將微觀客體和某種宏觀表象（波或質點）等同起來，而在分析後一種實驗時則需要隨時想到微觀客體和宏觀客體之間的質的區別。由於存在這樣的一種情況，就使得人們在測不准關係的理解方面發生了很大的分歧。按照波爾等人的理解，這種關係是適用於一個微觀客體的普遍規律，這種規律是客體和測量儀器之間某種“不可控制的相互作用”的獨特後果，這是必須借助波爾等人所設想的那種假想實驗來加以闡明的。按照另一些人的理解，這種關係是適用於微觀系綜的統計規律，這種規律可以根據量子力學中的基本原理推得，如果需要用一些假想實驗來闡明這種關係的物理內容，所用的假想實驗也必然會涉及各種微觀系綜的製備和描述。由於存在着這樣重大的分歧，所以有人建議將波爾等人所理解的那種關係特稱為“海森伯關係”，以便將它和量子力學中真正合理的“測不准關係”區別開來。不論我們是否贊成這種建議，二者之間有着很大的距離這總是比較肯定的。甚至可

以說，由于波尔等人认为测不准关系适用于单个微观客体，就使得該关系中所涉及的“不准量”这一概念本身就是不很清楚的。因此，不論就其实践基础还是就其邏輯結構来看，哥本哈根学派所理解的那种测不准关系都是很有值得商榷之处的；曾經有人指出，这种关系是人为地强加在微观理論中的，根据这种关系并没有建立任何严格微观理論的可能；这样的批評也許不算过激之論吧！值得注意的是，正是这样的测不准关系，就构成波尔哲学及其基本原理的重要支柱。那么，所謂互补原理的根本合理性也就是非常值得怀疑至少是有待探討的一个問題了。

联系到他的互补原理的闡述，波尔不无欠妥地強調了全部人类知識的主观性，強調了一切现象中的“主体和客体的区分問題”，強調了普遍存在于主体和客体之間的所謂“不可控制的相互作用”，同时，他也对作为普遍哲学范畴的时空概念和因果概念提出了怀疑。波尔解释道，在物理学領域中，因果原理主要是由能量—动量的守恒来体现的；既然能量—动量矢量和时空坐标不能同时测出，那么，当我们进行任何的时空測量时，事物的因果鏈条中就会出现“缺口”，从而微观现象就必然只能服从統計性的規律。在本书所收的几篇文章（包括《緒論》）中，我們可以看到这样的話：

“但是，有时候，正是物理观察的这种‘客观性’，会变得特别适用于強調一切經驗的主观性。”（第3頁）

“……在它的适用范围之內，定态概念确实可以說和基本粒子本身具有同样多的‘实在性’，或者，如果我們願意，也可以說二者具有同样少的‘实在性’。在每一种情況下，我們都是涉及的一些手段，它們使我們能够用一种无矛盾的方式来表示现象的一些重要方面。”（第11頁）

“在这儿，我們遇到一条新形式下的老真理：在我們关于自然

的描述中，目的不在于揭露现象的实在要素，而在于尽可能地在我們的經驗的种种方面之間追尋出一些关系。”（第 15 頁）
“因此，就既不能賦予現象又不能賦予观察器械以一种通常物理意义下的独立实在性了。”（第 40 頁）

“正如意志自由是我們心理生活的經驗范畴一样，因果性可以认为是我們用来將我們的感官印象加以条理化的一种知觉形式。”（第 84 頁）

在波爾的論文中，這樣的說法簡直觸目皆是。我們看到，這些說法的實証主義傾向是相當明顯的。事實上，在談到因果原理時，波爾經常把它和拉普拉斯式的機械決定主義混淆起來或等同起來，並把它和統計規律性完全對立起來。照波爾看來，經典物理學在原子問題中的不適用，就意味着普遍因果原理的失敗；這樣，甚至連“客體”這一概念也就都是很有問題的了。因此，與其討論客體的行为，波爾倒寧願更多地談到“現象”、“經驗”、“定義”和“觀察”，而且他認為就連這些概念也都是有條件的和必須慎重處理的。值得重複一下的是，如上所述，在論述這些見解時，波爾絕不局限于探索原子物理學領域，而是涉及了生物學、生理學、心理學、醫學、人類學等等。波爾認為，在一切知識領域中都可以找到某種無法解釋也不必解釋的“整體性要素”，例如微观物理學中的作用量子和生物學中的生命，這種整體性要素的存在就和現象的細致分析構成互補關係中的對立面；因此，在波爾看來，人類的認識是有一種先驗的界限的，從而他就說，在超出經典物理學範圍的一切知識領域中，因果原理已被証實為一種“過於狹隘的構架”，它必須讓位於一種“合理的推廣”，而“互補原理”正是這樣的推廣。

波爾本人曾經將互補原理和愛因斯坦的相對原理相提並論。他認為，相對原理肯定了空間和時間的截然區分的有條件性，而互

补原理則肯定了主观和客观的截然区分的有条件性；二者都显示着人类認識的相对性和局限性。但是，應該指出，根据相对原理（并联系到其他原理），爱因斯坦和其他学者曾經輝煌地建立和发展了相对論；这种理論的許多預言都得到不容怀疑的實驗証实，这种理論已經成为进一步发展重要物理理論（例如量子場論）的基础和准則。但是，根据互补原理却既不能建成量子力学的理論体系又不曾預见任何新的物理事实。在这方面，科学的相对原理和“哲学的”互补原理是有很大的不同的。

哥本哈根学派以及其他一些人們所非常贊許的，就是这样一条原理。他們說，波尔的哲学既不是唯物主义，也不是唯心主义，也不是实証主义，而是包括了这些哲学的若干要素。他們說，波尔的互补原理是“本世紀最革命的科学思想”；等等。但是，在我們看来，唯物主义和唯心主义是不可能調和的，而波尔哲学的唯心主义色彩則是相当鮮明的。当然，必須承认，关于量子理論的物理詮釋和哲学評價，还有許多悬而未决的根本問題。这些問題的解决，也許要以今后量子場論的进一步发展和彻底分析为前提，仅仅停留在有限自由度体系的量子力学論証上也許是不够的。但是，哥本哈根学派的观点无助于解决这种問題，这似乎已經是很明显的事实了。

*

*

*

因为互补原理是波尔哲学的基本出发点，所以我們以上比較詳細地評介了这方面的情况。此外也不妨提到，在其他方面，波尔的观点和推理方式也不是沒有值得商榷之处。例如，他一直不太承认場的物质性，他常常將場和空間混淆起来，并且說：“但是，按照經典的电磁学概念，我們并不能賦予光以任何严格意义下的物质性，因为……”（本书第 81 頁）。按照唯物主义的物质概念，这种

看法显然是不对的。此外,关于生物和无生物的异同及区分(牵涉到高级运动形态和低级运动形态的关系),关于语言、概念等等的形成及作用,波尔也发表了一些很难说不是唯心主义的看法;限于篇幅,此处不再多加讨论。

当然,如果我们系统地读一读波尔的论著,我们确实也会发现某些观点和术语方面的演变。例如,在本书所收的几篇文章中,一些实证主义的观点表现得相当坦白,相当直率;在后来的《原子物理学和人类知识》一书中,同样的观点却表现得比较隐晦,比较曲折。而且,在更晚的一篇题名《量子物理学和哲学》的论文中^①,波尔甚至已经能够区分机械主义的决定论和普遍意义下的因果原理,并认为在微观领域中不再有效的是前者而不是后者。最后这一点当然是一种值得欢迎的转变。但是,如果根据这一点就说波尔的思想发展“始终不渝地向着唯物主义”,那就不免有些失之夸大,因为波尔的哲学体系是逐渐完整起来的,他的基本观点是越来越坚定而不是越来越动摇。我们认为,评价像波尔这样的学者,首先要从他的基本观点的主要发展趋向来着眼,而不应该断章取义、主观片面地追求某种结论。

最后,让我们简单地谈谈波尔的文章风格。当波尔在1913年春季写成了他的第一篇关于原子结构的论文时,他曾经把底稿寄给他的导师E.卢瑟福征求意见。卢瑟福在回信中指出,最好将文章写得简短一些和容易接受一些。后来这篇文章和另两篇同题目的文章相继发表了。这几篇文章是波尔的成名之作,他在1922年获得诺贝尔奖金主要也是靠这几篇文章。但是,就连行文也爱用长句的量子论始祖M.普朗克,也说波尔这几篇文章的风格“绝

① 见VФH 67,37(1959);已收入《原子物理学和人类知识》一书的俄译本中。

不是简单的”。在一篇庆祝波尔六十寿辰的文章中^①，波尔的好友 W. 鲍里也谈到过波尔的风格。他认为，波尔的文章中多用长句，这是波尔思想周密的一种表现；他要求人们细心体会这些长句。但是，在量子力学的理解上一直和波尔不能一致的爱因斯坦，却发表过这样的意见：“波尔的思想是十分清楚的，但是，当他开始写作时，他就变得非常难以理解了。”“他把自己设想成一个先知。”^②

由此可知，波尔的文章是以艰深繁縟著称的。閱讀这样的文章，需要有很大的耐性和細心才不致誤解那些长句的意义。同时也可以想见，翻譯这样的文章，常使人有“如著敗絮行荆棘中”之感。虽然我們曾經作了相当的努力，总希望将作者的原意及語气曲曲传出，但是，限于譯者的学术水平和語文修养，譯文中一定还存在着某些疏漏和錯誤。此外，由于譯者是一个哲学上的門外汉，这篇序文中的若干观点更可能有值得批評的地方。这一切，我都誠懇地請求讀者們不吝賜教。

在本书的翻譯和出版过程中，得到商务印书館編輯部的支持和协助，謹此致謝。

郁賴謹識

1963 年于北京

① Rev. Mod. Phys. 17, 351(1945)。

② R. S. Shankland, Am. J. Phys. 31, 47(1963)。

統一書號：2017·131

定 价：0.50 元

目 次

作者原序.....	2
緒論.....	3
量子論和力学.....	20
量子公設和原子論的最近发展.....	39
作用量子和自然的描述.....	67
原子論和描述自然所依据的基本原理.....	74

作者原序

在本书所收的四篇文章中，前两篇原系英文，于 1925 年和 1927 年发表于《自然》(Nature); 第三篇原系德文，于 1929 年发表于《自然科学》(Die Naturwissenschaften); 第四篇原系丹麦文，于 1929 年发表于《物理期刊》(Fysisk Tidsskrift)。緒論原系丹麦文，与前三文的丹麦譯文同刊于《哥本哈根大学 1929 年年鉴》; 緒論的附志最初出现于所有四文的德文版中，該书于 1931 年由柏林的施普灵格公司(Jul. Springer)出版。我很感謝 Rud Nielsen 教授和 Urquhart 博士，他們在准备本书的英譯方面給了我很可貴的帮助; 感謝剑桥大学出版社的各位委員們，他們对本书表示了亲切的关怀，并惠然同意在本书之后安排另一书的出版，該书将包括以后发表的同类論題的几篇文章，在那些文章中一般性的观点将得到进一步的发展。

N. 波尔

1934 年 2 月于哥本哈根

緒 論

(1929)

科学的任务是既要扩大我們的經驗范围又要把我們的經驗条理化，而这种任务就表现着各种各样的彼此不可分割地联系着的一些方面。只有通过經驗本身，我們才会認識到那些使我們能够对于现象的多样性有一个概括看法的规律。因此，當我們的知識变得更加广泛时，我們就應該經常有准备地期待最适用于整理我們經驗的那些观点会有所改变。在这方面我們必須首先記得，理所当然，一切的新經驗都是在我們习见观点和习见知觉形式的框框里显现出来的。和科学探究的各个方面相适应的那种相对显著性，依赖于被研究事物的本性。关于我們知觉形式的本性問題，在物理学中一般将不如在心理学中那样尖锐；在物理学中，我們的問題在于标示(to coordinate)我們有关外在世界的經驗；在心理学中，作为研究对象的却恰恰是我們自己的心理活动。但是，有时候，正是物理观察的这种“客观性”，会变得特别适用于強調一切經驗的主观性。科学史上有許多这样的例子。我只要提到声学现象及光学现象——我們的感觉的物理媒介——的研究在心理分析学的发展中所一貫具有的重大意义也就够了。作为另一个例子，我們可以注意力学规律的闡明在一般認識論的发展中所曾起的作用。在最近的一些物理学发展中，科学的这一根本特点曾經是特別显著的。近年以来我們知識的巨大扩充，曾經揭示了我們的简单力学观念的不足，其結果就动搖了習慣上詮釋观察結果时所依据的基础，于是就刷新了一些古老的哲学問題。这一点，不但对于

相对論所帶來的对时空描述方式的基础的修正來說是正确的，而且对于由量子論所引起的对因果原理的重新討論來說也是正确的。

相对論的起源，是和电磁概念的发展有着密切联系的；通过将力的概念加以扩展，这一发展曾經带来了力学基本思想的一种如此深刻的变革。关于依賴于观察者的运动现象的相对性的認識，在經典力学的发展中已經起了重大的作用；在那里，这种認識曾經成为陈述普遍力学定律的有效助手。暫時，人們对于所討論的問題成功地提出了一种表面上令人滿意的处理，不但从物理学观点看来是如此，而且从哲学观点看来也是如此。事实上，使得問題达到高潮的，首先就是电磁理論所带来的关于一切力效应的有限传播速度的認識。誠然，在电磁理論的基础上建立一种因果描述方式曾是可能的，这种描述方式可以将能量守恒和动量守恒的基本力学定律保留下来，如果人們賦予力場本身以能量和动量的話。然而，在电磁理論的发展中曾經如此有用的宇宙以太观念，是作为时空描述中的一个絕對参照系而出现于这一理論中的。証明地球相对于这种假說性宇宙以太的运动的一切嘗試都失敗了，这种失敗有力地強調了从哲学观点看来这一概念不能令人滿意的性质；而且，認識到所有这些嘗試的失敗和电磁理論完全相符，是不能使情况有所改善的。爱因斯坦曾經闡明，包括輻射在內的一切力效应，其有限传播速度会对观察的可能性加以限制，从而也会对时空概念的应用加以限制；正是这种闡明，就第一次將我們引到了更加灵活地对待这些概念的态度；这种态度在关于同时性概念之相对性的認識中得到了最突出的表现。我們知道，采用了这种态度，爱因斯坦在电磁理論能够确切适用的那一領域之外也成功地找出了很有意义的新关系，而且，在引力效应已經不再在各种物理