

殷 正 坤

探幽入微之路

——量子历程



人 民 教 育 出 版 社

责任编辑：吴学金

封面设计：倪天熙

探幽入微之路

TAN YOU RU WEI ZHI LU

(量子历程)

LIANG ZI LI CHENG

殷正坤

人民邮电出版社出版、发行 新华书店经销

文字六〇三厂印刷

787×960毫米32开本 9印张 134,000字

1987年2月第1版 1987年2月北京第1次印刷

印数 00,001—30,000

书号 2001·310 定价 1.40元

致 青 年 朋 友

青年朋友们：

我疾步向你们走来。

在你们肩上，担负着中国现代化的希望。在你们四周，一个开放的世界在喧响。在你们眼中，无限美好的未来在闪光。

我听到了你们的呼唤，你们是思考的一代，行动的一代，你们求知的渴望和改革的热情为我催生。

我向你们走来，面向着现代化、面向着世界、面向着未来。我熟悉你们的面孔，热爱你们的心灵。你们是新型的探险者、实业家、诗人、思想家，你们是永远不安于现状、企求改革的勇士，你们是匍伏于人类文化的田壤，砧砧地收获与播种的耕夫。是的，你们，只有象你们这样胸襟开阔、目光远大、热爱文化、勤于思考、勇于实践的人，才能真

正做到三个面向。

面向现代化绝不是一味盲目地贪新骛奇，结果未获现代化，已患现代病。新奇之物并非都有生命力，浅薄无聊的东西也常有新奇的面孔。惟以理想和创造为最高价值，以祖先的大地为家，才不致如流水落花，做无根的飘泊者。

面向世界并不意味着与世界对峙，它要我们投入世界，与世界共忧，思人类所共思之题，创人类尚未创之业，解人类仍未解之谜，让中华民族的参天巨树挺拔于世界民族之林。

面向未来不仅意味着时间上的无限性，也意味着勃发的想象力。未来永远敞开着，迎纳涉过暗夜的来者。在向未来的行进中，历史的必然被征服，成为自由。想象的辉光照亮路途，未来的天地如梦，我们的任务是变梦为现实。

我向你们走来，开始了充满希望的航行。大学生的宿舍，自学者的斗室，校内外青年思想家和改革家的沙龙，每一个立志振兴中华的中国公民的角落，是我心中的港口。

也许我和你们一样未脱稚气，因为孕育我的，是一颗颗和你们一样年轻的心；把我奉献给你们，是一双双和你们一样探索着的手。我向你们走来，正是为了和你们一起前进。

有人说，我是现代化的一间小小的思想实验室，供人们研究新情况，新问题，新发展。

有人说，我是世界的一扇小小的窗口，向人们展示新思潮，新学科，新信息。

有人说，我是未来天空上的一朵小小的彩云，吸引人们追求新文化，新价值，新人生。

是的，我的名字叫《面向现代化面向世界面向未来丛书》。然而在你们面前，我只有一个小小的心愿，我只希望听到你们说一句：“你是真正属于我们的。”

朋友们，清晓的光已照亮崎岖的山路，走便是当前的任务。让我们负重前行，毫不踌躇，肩并着肩，手拉着手。

《面向现代化面向世界面向未来丛书》

目 录

7911/7/16

前 言	1
-----	---

第一章 “地狱”的入口在哪里	6
§ 1·1 “科学世纪”的世界图景	6
§ 1·2 世纪末的挑战	11
§ 1·3 突破口在何处	15
§ 1·4 黑体辐射的早期研究	18

第二章 量子世界的大门打开了	23
§ 2·1 对绝对有效自然规律的追求	23
§ 2·2 重新推导维恩公式	29
§ 2·3 卢默尔-普林塞姆实验与 “紫外灾难”	33
§ 2·4 孤注一掷的行动	39
§ 2·5 溯因推理模式	43

第三章 爱因斯坦闯入量子世界 49

§ 3.1 光是粒子还是波 49

§ 3.2 光电效应——光既是粒子也
是波 58

§ 3.3 爱因斯坦的青少年时代 62

§ 3.4 批判和假说——从旧矛盾到新
矛盾 68

§ 3.5 密立根实验和康普顿效应 74

§ 3.6 两面神思维 79

§ 3.7 对统一性终生不渝地探索 84

第四章 玻尔的原子殿堂 89

§ 4.1 光谱——原子信息的橱窗 89

§ 4.2 形形色色的原子模型 96

§ 4.3 α 粒子散射实验和卢瑟福原子 102

§ 4.4 又一颗科学巨星的升起 106

§ 4.5 玻尔原子结构理论的形成 115

§ 4·6	玻尔发现模式的方法论探讨	125
第五章	一个大量子蛋的诞生	135
§ 5·1	一个勉强及格的博士	135
§ 5·2	哥廷根的气氛	143
§ 5·3	哥本哈根精神	148
§ 5·4	矩阵力学的创立	151
§ 5·5	狄拉克勇闯新领域	158
§ 5·6	从工学士到物理学家	163

第六章	条条大路通罗马	171
§ 6·1	卷起了巨大帷幕的一角	171
§ 6·2	一位法国亲王的科学之路	174
§ 6·3	薛定谔与波动力学	183
§ 6·4	殊途同归的启示	190

第七章	上帝掷不掷骰子	202
§ 7·1	微观客体究竟是什么	202
§ 7·2	测不准关系和理想实验	211

§ 7·3	互补原理	222
§ 7·4	巨人之争的第一个回合	228
§ 7·5	爱因斯坦光盒	236

第八章	二十世纪的第三次狂飙	242
§ 8·1	EPR悖论	242
§ 8·2	分歧、友谊与追求	248
§ 8·3	隐变量理论	256
§ 8·4	贝尔不等式的实验检验	261
§ 8·5	更严重的挑战	266
后 记		276

前 言

没有科学史的科学哲学是空洞的；没有科学哲学的科学史则是盲目的。

——康德

认识一位巨人的研究方法，对于科学的进步……并不比发现本身更少用处。

——拉普拉斯

本世纪初，量子论和相对论的出现，就象是在科学的舞台上，几乎同时演出了两台生动精彩的史诗般的戏剧，但这两出戏的剧情和演出方式有很大差别。相对论基本上是由大明星爱因斯坦一人领衔主演，此人在科学史上的地位，只有牛顿堪与媲美。虽然我们不能说相对论只是他一个人表

演的独角戏，但他在这出戏里的非凡表演，确实是技压群星，使别人也只能望其项背而后随之。

量子论则不同，它是本世纪初许多杰出科学家集体创造的硕果。大明星爱因斯坦在这出戏里，虽然也扮演了一个相当重要的角色，但却很难说谁是这出戏的最主要角色。这出戏精彩之处就在于它是群星灿烂的名角大会串。量子论产生和发展的历史可以看成是一出多幕连续剧，幕与幕之间相互衔接，有时剧情又多路同时发展，而每一幕里又有它独特的情节和主要人物。

量子论从量子概念的诞生到量子力学数学形式的基本完成，只有二十多年时间。如此之多杰出的科学家，在这样短的一段时间里，他们各自以不同的风格，从不同的途径，用不同的方法，集中创造出如此重大的科学成就，这在科学史上是极其引人注目的。他们在方法论上的创造则更是奥妙无穷，不仅集自古以来物理学研究方法之大成，而且体现了当代科学研究中最新的思维方式。

目前，新技术革命的浪潮正在席卷全球，在这信息瞬息万变的时代里，要不失时机地在科学上作出重大的发现，就不仅需要广博精深的科学知识，而且也要求能巧妙灵活地应用最新的科学方法。无论是科学革命，还是技术革命，都必然会伴

随着一场思维方式的革命，也就是必然会产生认识上的飞跃和研究方法上的更新。在这方面，量子论的产生和发展的过程恰好给我们勾画出了一个清晰的轮廓。

哲学的智慧之光往往引导科学家对问题进行更深入的思考。当人类求知的航船驶向微观世界这片茫茫的未知海洋的时候，正确的哲学思想就象罗盘一样必不可少了。在量子论这出历史剧中出场的主要角色，无一不兼有科学家和哲学家的二重身份。爱因斯坦自己认为：“与其说我是物理学家，倒不如说我是哲学家”。^① 玻尔则试图在他所提出的“互补原理”的基础上构建一种独特的哲学体系。本世纪一些杰出科学家的思维特征可以用玻恩的一段话概括出来。他说：“每一个现代科学家，特别是每一个理论物理学家，都深刻地意识到自己的工作同哲学思维错综地交织在一起的，要是哲学文献没有充分的知识，他的工作就会是无效的。”^② 因此，在讲到量子论的历史时，就不仅要介绍这些科学家的科学成就，而且要探讨

① 转引自英费尔德：《阿·爱因斯坦，他的工作及其对我们世界的影响》，1950年，英文版，第120页。

② M·玻恩：《我的一生和我的观点》，商务印书馆1979年版，第26页。

指导他们取得这些成就的哲学思想。另一方面，量子论的出现，本身就是人类认识史上的一次重大变革，它对当代哲学思想的发展又有巨大和深远的影响。量子论理论和实践的发展，已经不断向传统的，甚至正在流行的哲学思想提出了许多挑战，这确实是值得当代的哲学家们去进行认真的思索，并给予回答的。

有关量子论史的资料和著述浩若烟海，要想面面俱到，系统地阐述量子论的发展史，不仅本书的篇幅不允许，而且也是作者的学识和能力所达不到的。本书只想从历史的长卷中剪裁出几个比较重要的片断，力图以历史的发展为线索，将一些主要科学家的科学成就、哲学思想及所有的科学方法融会其中，从认识论和方法论的角度作一些粗浅的分析，同时也简要叙述一些有关科学家的生平轶事，以助读者对科学家的思维风格有一个全面的了解。但能否达到这个目的，只有恭请专家和读者们多多指教了。

由于量子论是指导人们探索微观领域的理论，其中有许多微观现象是难以用人们通常描述宏观现象的日常语言所能表达的，而科学家在创造这一理论时的思维过程，有时也是用纯粹的数学语言进行的。因此，本书在叙述过程中，不得不

偶然引用一些数学公式。但即使跳过这些数学公式,也不会影响一般读者的阅读。

第一章 “地狱”的人口在哪里

在各门学科的联系点上可期望得到最大的结果。

——恩格斯

§1.1 “科学世纪”的世界图景

量子理论是在本世纪开始的那年诞生的，而刚刚送走的十九世纪在科学史上也是一个神奇的时代。它是随着第一次工业革命的浪潮到来的，它又在第二次工业革命方兴未艾的时候离去。两次工业革命的冲击，在使社会生产力得到极大发展的同时，也使人们第一次领略到了科学潜在的无比威力。历史在大踏步地越过十九世纪的时候，科学不仅早已摆脱了神学的奴役，挣开了古代自然哲学的襁褓，而且也走出了科学家狭小的书

斋和实验室。科学已开始成为举世瞩目的巨人。

人们在十九世纪所取得的一系列辉煌的科学成就，也确实令人惊叹。在化学上，道尔顿 (John Dalton 1766—1844 年) 把古希腊一些哲学家们的天才猜测与化学这门经验科学结合起来，重新提出了原子论，这是继十八世纪拉瓦锡 (Antoine Laurent Lavoisier 1743—1794 年) 建立氧化学说以后的又一重大成就。从此，化学的新时代开始了。1869 年，俄国科学家门捷列耶夫 (Дмитрий Иванович Менделеев 1834—1907 年) 又发现了元素周期律、列出了元素周期表，使化学越过了单纯靠经验摸索的阶段。

在生物学上，细胞学说的提出，使人们认识到世界上千奇百怪的生物，在结构上原来都有一个相同的基础。达尔文 (Charles Robert Darwin 1809—1882 年) 进化论的发现，又使人们了解到古往今来，生物生生息息、繁衍变化原来都有一条普遍的规律。它不仅打破了上帝造人的神话，摧毁了神学在自然科学领域里的最后一个堡垒，而且使生物学终于形成了一门完整、系统的科学。

尤其是物理学领域，更是一派欣欣向荣的景象。由伽利略 (Galileo Galilei 1564—1642 年) 和牛顿 (Isaac Newton 1642—1727 年) 等人奠定

的经典力学,经过欧拉(Leonhard Euler 1707—1783年)、拉格朗日(Joseph Louis Lagrange 1736—1813年)和哈密顿(William Rowan Hamilton 1805—1865年)等人的工作,已经建立了严格的数学形式。由法拉第(Michael Faraday 1791—1867年)和麦克斯韦(James Clerk Maxwell 1831—1879年)建立的电动力学,用一组极其优美的方程,把当时已知的电、磁和光学现象都统一起来了,使电磁学成为经典物理学中一个令人羡慕的分支。能量守恒和转化定律的发现,不仅为建立热力学奠定了基础,同时也使世界上一切物质的运动,不管它们是以热、声、光、电、机械、化学等等的形式出现,都有一个统一的量度标准——能量。人们对物质运动过程的探索,已经从宏观现象进入到分子运动的领域,通过麦克斯韦、玻尔兹曼(Ludwig Edward Boltzmann 1844—1906年)、吉布斯(Jossiah Willard Gibbs 1839—1903年)等人的努力,终于建立了经典物理学的另一个分支学科——经典统计力学。可以说,在十九世纪末,经典物理学的各个分支——力学、光学、热力学、统计力学、电磁学等等,都已经高度发展并且几乎完备成熟了。

当时大多数科学家们的眼里,似乎已经有了