

走进科学殿堂·物理篇

量子

高山 著



清华大学出版社

走进科学殿堂·物理篇

量子

高山 著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是一本介绍量子思想的通俗读物。作者以生动的语言叙述了贯穿整个 20 世纪的量子思想革命,同时深入浅出地阐释了量子思想的精义,从而向读者完整地展示了自然的最神秘的量子本性。此外,作者还浅显地介绍了量子的最激动人心的新应用,如量子计算机等。本书不仅可以作为一般读者了解量子思想的普及读物,也可以作为量子理论初学者和研究者的参考书。本书献给所有对自然充满好奇的读者。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

量子/高山著. —北京:清华大学出版社,2003.10

(走进科学殿堂——物理篇)

ISBN 7-302-07350-3

I. 量… II. 高… III. 量子—普及读物 IV. O413-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 090493 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 宋成斌

封面设计: 刘 端

版式设计: 刘祎森

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 148×210 印张: 7.625 插页: 2 字数: 208 千字

版 次: 2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07350-3/O·322

印 数: 1~3000

定 价: 15.00 元

前言

量

量子理论是关于自然界的最基本的理论，它被认为是人类所创造的最完美、最成功的科学艺术品。它优美的数学形式令人赞叹，它精确的预言与实验惊人地符合，而它的成功应用更是遍及了现代社会的每个角落。从激光、核能到计算机、互联网，以至最新的量子计算机，无不留下量子的足迹。可以说，是量子引领人们迈入了现代社会，让人们享受到丰富多彩的现代生活。

然而，令人不可思议的是，人们至今仍未能理解量子理论的含义，并一直为此争论不休，一些科学家甚至认为这个理论根本没有意义。它的神秘更增添了它的美丽。爱因斯坦无疑是 20 世纪最伟大的科学家，但是，尽管他对量子理论的思索比相对论多 100 倍，晚年仍坦然承认，“整整 50 年有意识的思考还没有使我更接近‘光量子是什么’这个问题的答案”。爱开玩笑的物理学家费曼同样对此困惑不已，并断言“没有人理解量子理论”。那么，量子究竟是什么呢？应当如何理解量子理论呢？大多数人根本没听说过量子，而初学者无不感到困惑不解，更多的实用科学家则只管利用它进行计算、获得结果。然而，越困难、越具有挑战性的问题就越让人类的好奇心无法割舍。人类志在理解自然的本性，并最终理解自己。

人们将量子理论的建立称为人类科学和思想领域中的一场革命，因为它会让所有第一次试图接近它的人感到从未有过的心灵震撼。现代人所缺少的正是这种真正的心灵震撼，他们太沉迷于感性的快乐，而忽视了理性的尊严和威力。今天，对于每一位仍然对自然充满好奇的读者来说，不理解量子，就无法理解身边的世

界,就不能真正成为一个有理性的、思想健全的人。令人欣喜的是,量子谜题的最新答案就在这本小书中。只要思考,你就会理解,并有所发现。

如果你觉得量子难以理解甚至不可理喻,这很自然,因为你生活在经典世界中,你所看到的都是宏观物体和它们的连续运动,从一开始你所受的物理教育也是牛顿的经典理论。然而,这一切对于量子世界中的粒子和运动都已不再适用,每个人都会有一种脚下的土地突然被抽去的感觉。是的,你正步入一个完全陌生的世界,通常的感觉和经验不再能帮助你,你需要借助理性的光辉来照亮前进的道路。不必担心,跟随我们,保持开放的思维,并乐于去理解,你就会逐渐认识这个新的量子世界,并真正窥见它的神秘和美丽。

本书主要由历史之旅和逻辑之旅两部分组成,通过历史与逻辑的结合向读者立体化地展现了量子思想的全貌。历史之旅部分叙述了贯穿整个 20 世纪的惊心动魄的量子思想革命,生动地记录了这一革命历程中主要量子事件的精彩瞬间,突出描述了人们为理解量子所作的各种努力,他们的困惑和领悟,他们的痛苦与欢乐。历史之旅将引领读者去亲身经历人们发现量子理论,并试图理解它的充满离奇色彩的探险旅程;逻辑之旅则沿着清晰的逻辑道路逐步揭示了量子的真实含义,为读者展现出一幅奇异而美丽的量子画卷。同时,也用通俗的语言描绘了量子的诸多不可思议的表现,并深入浅出地介绍了量子的最新应用。通过逻辑之旅,宇宙中最真实的量子运动将第一次呈现在读者的面前,它是非连续的、跳跃的,完全不同于我们所熟悉的宏观连续运动;本书最后叙述了作者本人于 20 世纪末在历史与逻辑之间探寻量子含义的曲折历程,希望以此激励更多的读者踏上妙不可言的量子探险之旅。

本书呈献给读者的并不是纷杂的量子历史和枯燥的逻辑分析,它所散发的是量子思想的持久魅力。无疑,20 世纪所获得的新的科学思想,它们的发展历程和真实含义,以及所带来的深远影响是进入 21 世纪的人们最为关切的,而本书所讲述和阐释的量子思想必将成为推动 21 世纪科学之轮滚滚向前的原动力。我们的目标是让更多的人了解量子、理解量子、应用量子,用这个时代最流行的一个词来表达就是,让量

子酷起来！

最后，感谢我的父母高庆峰先生和赵丽华女士多年来对我的悉心抚育和谆谆教诲，并感谢我的妻子刘慧霞女士在本书完成过程中无微不至的关怀和支持。同时，亦对清华大学出版社的大力支持表示诚挚的谢意。

作者

2003年10月

目 录

历史之旅

3	引子 非连续运动的思想	
5	序幕 量子隐现	
	古希腊时期	5
	中世纪	7
	文艺复兴时期	8
	牛顿时代	10
	最后的经典时代	11
	三个发现与两朵乌云	12
15	第1幕 发现量子	
	孤注一掷的行动	16
	我一生中最具革命性的思想	20
	萨尔斯堡演讲：光似波，也似粒子	23
	插曲：布鲁塞尔的女巫盛宴	24
	思想领域的最高音乐神韵	25
	从量子回归经典之桥	27
	插曲：哥廷根的玻尔节	28
	揭开了巨大帷幕的一角	29
32	第2幕 神秘的量子理论	
	一个问题，两个答案	32
	电子没有运动轨道！	33
	魔术乘法表	35

	波需要传播方程!	37
	神秘的波函数	38
	孰是孰非?	39
	数学的统一	40
	但是,它究竟说了什么?	41
42	第3幕 正统观点	
	它是几率波	42
	插曲:但是你肯定必须理解	45
	不能同时谈论电子的位置和速度	45
	粒子和波是互补的	48
	插曲:谁坍缩了波函数?	49
	哥本哈根解释一统天下	50
53	第4幕 反对者们	
	不应该放弃到达目标的希望	54
	1927 索尔维——正统与反叛	55
	插曲:盒子里的弹簧人	57
	琴箫合奏 1935——EPR 与量子猫	59
	插曲:炸药实验	62
	作为反对者的爱因斯坦	64
70	第5幕 回到经典	
	玻姆出场	70
	为粒子找回轨迹	72
	但是,它却不可见!	73
	第一个实在模型	73
	插曲:爱因斯坦的评价	74
	两难局面	75
	遭遇不可能性	76
	残留的隐变量	78

80	第 6 幕 多世界	
	20 世纪保守最好的机密	80
	重见天日	82
	去相干与超脑	83
	插曲：解救薛定谔猫	84
	多世界的信徒们	85
	插曲：勇敢者的游戏	87
	一个美丽的谎言	88
91	第 7 幕 统一之路	
	谁坍缩了波函数？	91
	求助意识	92
	热力学不可逆过程	93
	动态坍缩之路	94
	引力出场	96
	GRW 方案	97
	最新进展	98

逻辑之旅

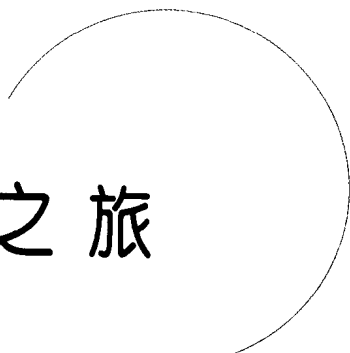
103	引言	
105	第 1 章 量子的存在	
	1.1 你追不上乌龟	105
	1.2 哪里出了错？	108
	1.3 运动的世界	111
112	第 2 章 量子的形式	
	2.1 运动是连续的吗？	112
	2.2 它不需要理由	114
	2.3 我该怎样运动？	118
	2.4 非连续运动	119
	2.5 时刻与时隙	120

	2.6	双缝实验	122
	2.7	时空是分立的	123
	2.8	量子运动	124
126	第3章	量子的规律	
	3.1	扩散与聚集	126
	3.2	我似波	127
	3.3	扩散规律	128
	3.4	量子如何叠加?	132
	3.5	我似粒子	133
	3.6	聚集规律	134
	3.7	上帝如何掷骰子?	135
	3.8	两个世界	138
141	第4章	量子的表现	
	4.1	夜晚的星光	141
	4.2	你可以存在	142
	4.3	爱因斯坦的鬼波	145
	4.4	小崂山道士	147
	4.5	粒子间的“心灵感应”	148
	4.6	看好你的猫	151
154	第5章	理解量子	
	5.1	一个根深蒂固的偏见	154
	5.2	被冷落的非连续性	157
	5.3	月亮与互补性	159
	5.4	新双缝实验	161
	5.5	薛定谔的老猫	165
	5.6	延迟选择与真实性——现在可以影响过去?!	169
	5.7	$1+1>3$	171
	5.8	量子运动与其他解释	180

192	第 6 章 量子的应用	
	6.1 炸弹检测专家	192
	6.2 神奇的计算天才	194
	6.3 超光速通信	200
210	第 7 章 量子随笔	
	7.1 小精灵 Ψ 的故事	210
	7.2 Z 与 X——两种神秘	212
	7.3 哥本哈根医生	213
	7.4 彭罗斯的 OR	214
	7.5 A 非 B 效应	215
	7.6 今天的课上不许提问题	217
	7.7 量子研究与二进制码	217
	7.8 相同的困境	218
220	参考文献	
221	后记 永恒的跳跃	



历史之旅



引子

非连续运动的思想

据说,古希腊人阿尔-纳扎姆^①最早提出了非连续运动的思想^②。为了解决芝诺的二分法悖论^③,阿尔-纳扎姆设想,一个物体能够在空间中从一点 A 运动到另一点 C,而不经中间点 B。他说,“运动体可以占据一定的位置,然后以跳跃的方式出现在第三个位置而不经中间的第二个位置”。

① Abu Ishaq Ibrahim Al-Nazzam(775~846)。

② 古希腊时期已经出现非连续运动思想的间接证据是,亚里士多德在他的《物理学》中曾提出一个后来被称为亚里士多德之轮(rota Aristotelis)的例子来反驳这种思想。亚里士多德认为,如果运动是由非无限小的跃变构成的,那么一个旋转的刚体轮子将会解体成为一堆分散的原子。

③ 关于二分法悖论的详细论述请参见逻辑之旅部分的第 1 章。

序幕

量子隐现

在

我们身边的宏观世界中，物体的运动看起来是连续的。因此，人们很早就开始研究这种连续运动，并设法寻找它的规律。

古希腊时期

古希腊是科学的发源地，那里的人喜欢思考和辩论。当时，在希腊半岛上有很多哲学学派，每个学派对运动及其规律都有独到的见解。

芝诺：不存在运动

公元前 455 年，古希腊爱利亚城

一个夏日的傍晚，月儿刚刚升起。芝诺漫步在幽静的林间小路上，他在想，运动也许根本就不存在，我要找到一个证明……是的，你跑得再快也追不上乌龟。

爱利亚学派的芝诺可能是第一个认真对待运动存在性问题的人，他时常面对深邃的夜空思索运动的问题。芝诺巧妙地设想了一系列著名的运动悖论来揭示连续运动中所包含的逻辑矛盾，以此来证明运动的不可完成性。他的结论是惊人的：运动不可能存在！后来，人们为了纪念芝诺对运动的深刻分析，将这些悖论称为芝诺悖论。



芝诺

在芝诺论证的基础上,爱利亚学派否认现实世界中的一切运动变化。在他们看来,运动只是非真实的表面现象,它并不存在,因此也不存在什么运动的规律。

德谟克利特：原子在运动

公元前 423 年,古希腊阿布德拉城

德谟克利特喜欢一个人到荒凉的地方去,甚至呆在墓地里,以激发自己的想像力。马克思后来称他为古希腊的“第一个百科全书式的学者”。

爱奥尼亚学派的留基伯最早提出了物质构成的原子学说,作为他的得意门生,德谟克利特继承并发展了这一学说。根据原子学说,宇宙间除了原子和虚空之外,什么都没有;原子是最小的、不可分割的物质粒子,它们在虚空中不停地运动变化着构成万物。这样,原子学说利用原子的存在和变化为运动提供了可能性,从而说明了运动、变化是真实的,而不是虚构的表面幻象。



德谟克利特

亚里士多德：力产生运动

公元前 338 年,古希腊雅典城

在景色宜人的吕克昂学园里,亚里士多德和他的学生们正在散步。他们在讨论他的著作《物理学》,一个学生朗声念到,“力产生运动,没有外力物体将处于静止状态……”



亚里士多德

亚里士多德进一步分析了物体如何运动的问题,他在著作《物理学》中提出了人类历史上第一个关于运动及其规律的系统理论。这本书可称得上是第一本真正的物理学教科书。

亚里士多德认为,物质是世界的基础,自然界是不断变化的,在任何一段时间里都有运动;