

外研社·哈佛科学人文译丛

THE (美) 肯尼斯·W.福特 著
王菲 译
QUANTUM
WORLD

Quantum Physics for Everyone

量子  世界

——写给所有人的量子物理

外语教学与研究出版社

外研社·哈佛科学人文译丛

QUANTUM WORLD

量子世界

——写给所有人的量子物理

The Quantum World

Quantum Physics for Everyone

(美) 肯尼斯·W.福特 著

王菲 译

外语教学与研究出版社
北京

京权图字：01 - 2005 - 3414

© Kenneth W. Ford 2004

Published by arrangement with Harvard University Press

图书在版编目(CIP)数据

量子世界：写给所有人的量子物理 / (美)福特 (Ford, K. W.) 著；王菲译 . — 北京：外语教学与研究出版社，2008. 11

(外研社·哈佛科学人文译丛)

书名原文：The Quantum World: Quantum Physics for Everyone

ISBN 978 - 7 - 5600 - 7977 - 6

I. 量… II. ①福… ②王… III. 量子论—普及读物 IV. 0413 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 182266 号

出版人：于春迟

项目策划：彭冬林 满兴远

责任编辑：郝颖

装帧设计：牛茜茜

出版发行：外语教学与研究出版社

社址：北京市西三环北路 19 号 (100089)

网址：<http://www.fltrp.com>

印刷：中国农业出版社印刷厂

开本：650×980 1/16

印张：15.25

版次：2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

书号：ISBN 978 - 7 - 5600 - 7977 - 6

定价：29.00 元

* * *

如有印刷、装订质量问题出版社负责调换

制售盗版必究 举报查实奖励

版权保护办公室举报电话：(010)88817519

物料号：179770001



出版说明

20 世纪的文化是以现代科学为基础的文化，21 世纪的文化则将是科学精神与人文精神高度融合的文化。这已是学界的共识之一。

秉承我社“记载人类文明，沟通世界文化”的一贯理念，我们组织翻译了这套“外研社·哈佛科学人文译丛”，目的有两点：其一，在于搭建一个阅读平台，让国际上最高端的科学教育读物能在最短时间内进入中国；其二，在科学与人文的两极之间“执两用中”，寻索那些最能将科学精神与人文精神相融合的优秀图书，并推荐给中国的读者。

“外研社·哈佛科学人文译丛”将涵盖 21 世纪人类所无法回避的那些最基本、最重大的问题：诸如生命科学、量子力学、全球气候变暖、宇宙起源、开源软件，等等。哈佛大学出版社在世界范围内遴选的这些一流作者，将为中国的读者提供他们在这些命题上的最新思考。而所有这些思考，回答的无非是三个终极问题：我们从哪里来？我们是谁？我们往哪里去？

相信这套丛书将会为我们每个人在面对这些问题时提供新的启示与灵感。

外语教学与研究出版社

2006 年 12 月

**To Charlie, Thomas, Nathaniel, Jasper,
Colin, Hannah, Masha, Daniel, Casey,
Toby, and Isaiah**



献给**查理、托马斯、纳撒尼尔、贾斯珀、科林、
汉纳、玛莎、丹尼尔、凯西、托比**以及**艾赛亚**



致谢

乔纳斯·舒瓦茨[Jonas Schultz]和保罗·休伊特[Paul Hewitt]认真阅读了全部书稿，并提出了许多有益的意见和建议。保罗还为本书提供了生动形象的插图。对于他们的工作，我在这里表示深深的谢意。另外还要感谢那些目光敏锐的朋友，他们阅读并对本书的主要内容（甚至是全部内容）进行了评价：帕姆·邦德[Pam Bond]、伊莱·伯斯坦[Eli Burstein]、霍华德·格拉瑟[Howard Glasser]、戴安娜·戈尔茨坦[Diane Goldstein]以及乔·谢勒[Joe Scherrer]。日耳曼顿学院的戴安娜高中的高年级的学生们分段阅读了这本书，并且提出了很有价值的（也很质朴的）意见，他们分别是雷切尔·艾伦伍德[Rachel Ahrenhold]、瑞安·卡西迪[Ryan Cassidy]、梅雷迪斯·考克[Meredith Cocco]、布赖恩·迪姆[Brian Dimm]、伊曼纽尔·吉瑞恩[Emmanuel Girin]、亚历克斯·哈米尔[Alex Hamill]、马克·海托华[Mark Hightower]、迈克·尼托[Mike Nieto]、卢斯·佩雷斯[Luis Perez]、马特·罗曼[Matt Roman]、贾里德·所罗门[Jared Solomon]以及乔瑟芬·沃迪[Joseph Verdi]。

还要感谢那些为本书提供论据和数据（还有那些坚持不懈地帮我查寻我所需要的材料）的朋友，他们是芬恩·艾瑟鲁德[Finn Aaserud]、斯蒂芬·布拉什[Stephen Brush]、布赖恩·伯克[Brian Burke]、韦尔·菲奇[Val Fitch]、亚历克萨·考杰尼科夫[Alexei Kojevnikov]、艾尔弗雷德·曼[Alfred Mann]、弗洛伦斯·米尼[Florence Mini]、杰伊·帕

萨科夫 [Jay Pasachoff]、马克斯·泰格玛克 [Max Tegmark] 以及弗吉尼亚·特林布尔 [Virginia Trimble]。在贾森·福特 [Jason Ford] 和尼娜·泰尼伍德 [Nina Tannenwald] 的帮助下，第一章顺利开了头，莉莲·李 [Lillian Lee] 则是本书最重要的宣传者，并对标题提供了许多想法和建议。海蒂·米勒·希姆斯 [Heidi Miller Sims] 则对文献进行了仔细校对。

我的妻子，乔安妮 [Joanne] 以及我的几个孩子——保罗 [Paul]、萨拉 [Sarah]、尼娜 [Nina]、卡罗兰 [Caroline]、亚当 [Adam]、贾森 [Jason] 和伊恩 [Ian]——都一以贯之地坚持着他们很久前就学会的所谓“工作”：坐在一张桌前，并以此作为对我的支持。我很荣幸能够与哈佛大学出版社最富经验和协调一致的团队进行合作，他们是：迈克尔·费希尔 [Michael Fisher]、萨拉·戴维斯 [Sara Davis] 以及玛丽亚·阿舍 [Maria Ascher]。

译者简介

王菲 男，美国德克萨斯大学（Austin）博士后，北京理工大学物理系副教授。

研究方向 原子与分子物理。

主持和参与多项国家自然科学基金及教育部博士点基金项目，曾获北京市优秀青年科技论文奖励，并于2008年荣获教育部霍英东优秀青年教师奖。

目 录

量子世界 ▷

致谢.....	I
第一章 表面之下.....	1
第二章 小到多小? 快到多快?	8
第三章 结识轻子.....	28
第四章 庞大家族的其他成员.....	63
第五章 量子团.....	86
第六章 量子跃迁.....	104
第七章 群居粒子和反群居粒子.....	121
第八章 持之以恒.....	142
第九章 波和粒子.....	170
第十章 改写极限.....	201
附录 A 测量值及数值.....	226
附录 B 粒子.....	228
附录 C 金牌榜.....	232
后记.....	233

◁ 第一章 ▷



表面之下



敲敲木头，感觉很坚固，因为木头是固体，但是如果探求更深层次的结构，你将面对一个全新的世界。在以往的学习中你或许已经知道固体物质是由大量原子组成的，并且原子内大部分空间都是空荡荡的。实际上，原子的中空就如同螺旋桨叶片旋转时形成的盘面一样。对于小而快的物体来说，穿过一个原子或者一个旋转的螺旋桨是很容易的，但是对于大而慢的物体，想要穿过就不大可能了。

大量的测量告诉我们，原子非常小^①但是对于某些科学家来说，原子又是非常巨大的。这些科学家——核物理和粒子物理学家——关心的是比原子还小很多甚至比位于原子中心的微小原子核还小的空间中所发生的事情。我们把他们研究的范畴称为亚原子世界。这正是我们想在这本书中所探究的世界。

20世纪时我们已经了解了在亚原子世界的范围内，自然界以一种神秘而有趣的方式运行着，完全不同于我们身边习以为常的世界。当我们注视最微小的时空，我们将看到一个只能用绚烂多彩来形容的世界。无数新粒子不断地涌现，有的寿命很长，但大多数只能生存很短的时间。这些粒子中的每一个都在以某种方式与其他粒子相互作用，每一个都有可能被毁灭和产生。在这个世界里，我们将直面自然界的速度极限，我们将发现空间与时间的纠缠，我们还会学习质能的互换。这个世界中奇异的游戏规则拓展了科学家们的思想，同样也拓展着科学家以外的普通人的思想。

这些规则均源于20世纪物理学的两大变革：量子力学（简单地讲，就是极小领域的物理）和狭义相对论（简单地讲，就是极快领域的物理）。

本书意在阐明物理学的两大变革——尤其是量子力学——是如何改变我们观察世界的方式的。我将借助那些服从量子规则的亚原子粒子（以下简称为粒子）对这些思想进行说明。在“小到多小”和“快到多快”之后，我将对庞大的粒子家族进行介绍，此后将转

^① 有多小呢？1000万个原子排成一列还没有1英尺的1/10长。发明于1981年的扫描隧道显微镜首次显示了单个原子的轮廓。一直到1900年，很多科学家还在质疑原子的存在。





向介绍物理学家们提出的各种用以解释粒子行为以及粒子构成的奇妙思想。

1926年，正是我出生的那年，当时人们对于亚原子世界，只知道有电子和质子两位居民。其中电子是被限制在原子内部空间的带负电的点，并能沿着通电流导线定向移动。如今，已可以通过磁场控制电子形成阴极射线管屏幕的像素，使它们按照字形和图片发光，从而应用于电脑显示器和电视显像管。质子质量比电子大将近2 000倍并且带正电，单独位于最轻的氢原子的中心，束缚着电子并使之绕行。在19世纪20年代，人们设想质子也存在于较重的原子核，现在我们知道，质子确实如此，而且它们以巨大的能量不断从外层空间涌入地球，形成所谓的原宇宙辐射。

光子——也就是光的粒子——正是在1926年为人们所知，但它并没有被当作真实的粒子。光子没有质量，无法让光子减速或者将光子囚禁。光子极易产生和湮灭（发射或吸收），且并不像电子或质子那样是可靠稳定的物质。因此，虽然光子的行为在某些方面确实很像一个粒子，但物理学家们对于是否将它称之为光的“粒子”仍然犹豫不决。不过仅仅数年之后，光子就获得了完整而平等的真实粒子身份，因为物理学家们此时已经意识到电子与光子一样极易产生和湮灭，而且电子的波动性质和光子的波动性质也几乎完全一样，一个没有质量的粒子实际上也是一个普通粒子。

1926年正处在物理学黄金时代的中期。在1924年到1928年很短的几年间，物理学家们提出了一些极重要的，甚至是令人震撼的思想，这些思想在科学上至今仍为人们所称道。这些思想包括：物理学家们发现不仅仅是光，实际上所有物质都具有波动性；并且认识到自然界的基本规律是概率性的统计规律而不是确定性的规律；了解到对于物质某些可测量的属性，其测量精确程度存在着一个极限。物理学家们还发现电子关于一个轴的自旋指向只有“上”或“下”两种可能，并预言任何粒子都有自己的反粒子。物理学家们发现单个电子或光子能够同时以两种甚至更多不同的方式运动（就好比你能开着车同时向北和向西行进，或者同时在纽约和波士顿逛街）。此外，还有一条原则，即没有任何两个电子能够同时处

在完全相同的状态（它们很像是一群即便尽其所能也无法步调一致的行军者）。

这些赫赫有名的“伟大思想”正是本书的核心内容。我们将以亚原子粒子为例帮助大家理解这些重要的思想。粒子（从某种程度上讲也包括整个原子）受那些有关极小和极速的定律影响最显著的物质。

应该指出的是，在量子物理中，要想把是什么（比如粒子）和发生了什么（即定律）区分开来并不容易。在 20 世纪之前，经典物理已经发展了三个世纪，是什么与发生了什么之间的区分是非常清晰的。例如，地球（是什么）按照力和运动定律围绕太阳作轨道运动（即发生了什么）。至于地球由什么组成、地球上是否存在着生物、地球上的火山岩浆是在喷发还是在休眠等等这些特点，对于地球围绕太阳的运动规律则毫无影响。再举个例子，一个振动中的电子将产生电磁辐射，而这辐射根本“不关心”电荷的携带者是电子、质子还是电离态原子，抑或是乒乓球，它只“知道”某种带电体正在以某种方式振动，但并不“知道”也并不需要“知道”到底是什么东西在振动。振动物体的种类（是什么）对发射出的辐射（发生了什么）毫无影响。

但是对于粒子，事情就没这么简单了。粒子是什么和它们如何运动是纠结在一起的，这正是亚原子世界的全部奇妙所在。因此，在今后的章节中，凡是粒子性质与粒子行为互相纠结之时，都将是您（以及我）不得不小心处理之处。

我们暂且不去探究亚原子世界为何如此奇妙，如此不可思议和令人惊奇，问题在于那些有关极微小和极高速领域的定律为何与常识如此截然不同？它们何以将我们的思维扩展到了极限？它们的奇妙无法预期。经典物理学家们（处在 1900 年之前的物理学家）曾想当然地认为，那些来自于我们周围世界以及我们所能感知的世界的普通概念，也会作为知识的积累而继续适用于自然界中那些超出我们感知范畴以外的领域——小到无法触及，快到转瞬即逝。另一方面，那些经典科学家们也没有办法去了解这些规则是否还将保持不变。那么他们如何确定——或者说我们任何一个人如何确定——





这些源于普通观察的“常识”是否还适合于对那些我们看不见、听不到、摸不着的现象进行解释？

事实上，过去百年的物理学发展已经告诉我们，常识对于新知识领域的引导作用微乎其微。没有人能够预知结果，但人们也不必因此而感到惊讶。日常的经验形成了我们对于物质、运动以及时空的想法。常识告诉我们，固体是坚固的；所有精确的钟表都是保持同步的；物质碰撞前后的质量是保持不变的；自然界是可预测的。也就是说，只要我们输入足够精确的信息就能得到可靠的预测结果。但是当科学延伸到日常经验范畴之外时——例如进入亚原子世界——发现事情就截然不同了。固体物质大部分是中空的；时间是相对的；质量在碰撞前后将会获得或失去；并且无论输入多么完备的信息，其结果都是不确定的。

为什么会这样？我们不知道原因。常识本应延伸到我们的感知范围之外，但实际上却没有。这说明我们基于直接感知的日常世界观是有限的。我们只能重复资深电视新闻主持人沃尔特·克朗凯特的一句话：“事实就是如此。”你或许会着迷，或许会困惑，或许会迷惘，但你不该感到惊讶。

在我 50 岁那年，也就是 1976 年，已知的亚原子粒子已经达到数百，其中不少在 20 世纪 30 年代已被发现。20 世纪 40 年代发现了更多的亚原子粒子，到五六十年代，亚原子粒子的发现更如潮涌。物理学家们已经不再把这些粒子称之为“基本粒子”或“基础粒子”，因为已有太多粒子被如此称呼。不过随着粒子数量逐渐失控，物理学家们也逐渐提出了简化方案，似乎只有屈指可数的少数粒子才是真正的基本粒子（包括人们至今仍无法直接看到的夸克）。大部分已知的粒子，包括我们的老朋友质子都是可分的——也就是说，是由基本粒子组合构成的。

我们还可以看到，在较之更早的数十年前我们对于原子和原子核的理解与此多么的相似。1932 年发现中子（一种不带电荷的中性粒子，质子的同胞）时，已知的原子核的数量已达到数百。每个原子核都通过其质量和所带正电荷进行区分，原子核的电荷数决定了原子数，或者说决定着其在周期表中所处的位置。换言之，就是决

定了元素的种类（元素是具有确定化学性质的物质）。氢原子核带有 1 个正电荷，氦原子核带有 2 个正电荷，氧原子核带有 8 个正电荷，铀原子核带有 92 个正电荷等。有些原子核带有相同电荷（因而属于同种元素）却有不同质量，围绕这些核形成的原子被称为同位素。这数百种原子核中大约有 90% 的原子核平均有两到三个同位素，科学家们认为它们应该由少数更基本的结构组成。但是在发现中子之前，他们还无法确定那些结构是什么。中子的发现使得一切都明朗了（尽管后来发现中子还可再分），原子核仅由两种粒子构成，即质子和中子。质子提供电荷，并且与中子一起提供质量。整个原子中，在更大范围内围绕原子核运动的是电子。所以只需要 3 种基本的粒子就可以说明数百种不同原子的结构。

对于亚原子粒子，夸克的“发现”与原子中的中子发现极其相似。我给“发现”一词打上引号是因为同在加州理工学院的默里·盖尔曼 [Murray Gell-Mann] 和乔治·茨威格 [George Zweig] 的确在 1964 年提出了夸克存在的假设，但是夸克的存在并没有通过实验观察得以验证（“夸克”这个名字还应归功于默里·盖尔曼）。尽管到目前为止夸克存在的证据还都是间接的，但其存在本身已不容置疑。今天，人们已经认识到夸克是组成质子、中子乃至所有其他粒子的基本粒子。

之后，物理学家们又提出了亚原子粒子的标准模型。这一模型中共有包括电子、光子以及 6 种夸克在内的 24 种基本粒子，可对所有已观测到的粒子和它们之间的相互作用进行说明。^① 24 不像 3（1926 年时所知道的基本粒子数目）这样小的数字那么令人满意，但是迄今为止这 24 种基本粒子仍顽强地保持着它们的“基本”身份，尚未发现它们其中任何一个是由其他更基本的物质组成的。但是假如超弦的理论家们能够证明超弦理论的正确性（我将在后边讨论他们的观点），那么或许还将有更小、更简单的结构等待发现。

有些基本粒子被称为轻子，有些被称为夸克，而有些则被称为

^① 这 24 种粒子不包括引力子——假设的引力粒子——或其他假设粒子以及希格斯介子（粒子园中唯一以人名命名的粒子），反粒子也不计入其中。





载力子。在我向您介绍它们之前，首先要来了解一下亚原子世界描述中典型的数值和数量级。



默里·盖尔曼 [Murray Gell-Mann] (生于1929年)，照片由帕萨迪那市的哈维拍摄于1959年。美国物理学会西格雷图片档案室版权所有。

◁ 第二章 ▷



小到多小？快到多快？

