

科学前沿系列  
FRONTIERS OF SCIENCE SERIES

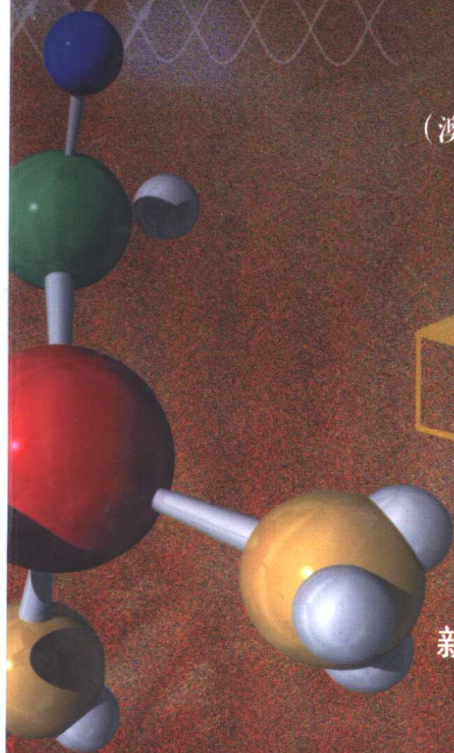
# QUANTUM TECHNOLOGY

# 神奇

的 / 量 / 子 / 世 / 界

(澳) 杰拉德·米尔本 著  
Gerard Milburn

新 华 出 版 社



科学前沿丛书

# 神奇的量子世界

杰拉德·米尔本 著

新华出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

神奇的量子世界/ (澳) 杰拉德·米尔本著; 郭光灿等译.  
—北京: 新华出版社, 2002.5  
(科学前沿系列丛书)  
ISBN 7-5011-5636-0

I. 神… II. ①米…②郭… III. 量子—普及读物  
IV. 0413-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 011530 号  
图字: 01-2002-0978 号

## 神奇的量子世界

杰拉德·米尔本 著

郭光灿 薛 鹏 郭郭平 译

\*

新华出版社出版发行

(北京宣武门西大街 57 号 邮编: 100803)

新华书店经销

新华出版社印刷厂印刷

\*

850×1168 毫米 32 开本 6.75 印张 110 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5011-5636-0/O·6 定价: 13.80 元

## 序

也许我们可以毫不夸张地说量子力学是历史上最成功的理论，它的起源也可以追溯到一百多年以前，但是直到近期它才为民众所熟悉。事实上就在若干年前，连“量子”这个词都几乎不为科学研究领域外的人所知晓。然而现在涉及到“量子”字样的书却数不胜数。

引起大众近年来对量子理论浓厚兴趣的可以归结为量子理论本身奇异的特性。量子理论远不仅只是关于原子和亚原子的理论，它预示着人类对世界认识的一种全新观念，它所蕴涵的对实在性本源的阐述以及它所揭示的观测者和被观测者之间的关系都是非常精妙和深刻的。

在量子理论对世界的描述中，一个物体可以同时处于多个位置，粒子也可以无阻碍似地穿过障碍物，所有的物体都有“波粒二象性”，它既是粒子又是波，两个分得很开的物体也可以进行某种类似“精神性”的合

作，如此种种使得量子理论听起来总是令人毛骨悚然不可琢磨。尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）（量子理论的创立者之一）就曾经说过：如果一个人没有被量子力学所震惊，那么他就没有真正懂得量子力学。

多少年来，量子理论的神秘面纱使得它始终不为科学研究领域以外的大众所了解。直到 70 年代，有些作家才开始认识到量子理论深刻的哲学内涵将会引起大众的兴趣，特别是一些量子力学的概念十分具有吸引力。另外，科技的进步使得量子理论的某些关键性概念首次得到实验的验证，这也增加了它的公众效应。

尽管大众主要关注的是由量子力学理论的哲学内涵引起的，但是有关它的实际运用领域的研究也非常多而且进展很大。量子理论已不再仅仅只是起初人们认为的一种对实在性本源概念上的革新了，物理学家和工程师们已经把它作为一种制造新型工具的极有前途的方式。

实际上，量子理论是门非常实用的学科，早在第二次世界大战之前，它的原理就已经被运用于分析金属和半导体的电学和热学性质。战后，晶体管和激光器这两个运用量子理论原理的广为人知的装置，更是极大地推动了信息革命的发展。

现在，我们的周围到处都是直接或间接运用量子理论的技术和装置。从最简单的 CD 唱片机到庞大的现代光纤通信系统，从无水涂料到激光制动车闸，从医院的磁共振成像仪到隧道扫描显微镜，量子技术已经成为一

种非常具有商业利润的行业。

在未来的 50 年，量子技术将提供许多惊人的机会，例如纳米技术装置领域，它的目标是设计和制造分子尺寸的机器，其潜在运用包括医学、计算机以及新型奇异材料的构造。目前，量子技术专家已经可以俘获单个原子了，并且还可以利用可控的电磁场操纵原子，进行量子雕刻甚至是晶体的单原子成像。

这些实验都深刻地涉及到量子理论的基本内容，都要受到海森伯测不准原理以及量子理论其他独特性质的影响。牛顿理论所阐述的一般传统观念都被丢到了一旁。这是难以想象的几率的领域，是具有奇特电学性质的微电路的领域，是能够精确探测地球那边哪怕是一个绣花针掉落的探测器的领域，是能够编制和破译任何传统意义下的超级计算机所无能为力的密码的领域。

譬如以奇异的量子真空为例。一般意义上，我们认为真空就是空无一物的空间。但是，量子理论认为真空中虽然没有普通的粒子，但却仍如沸腾的开水一样一刻也不平静，充满着这样一种虚粒子，它同时随机地出现在各处，然后又迅速地消失。

这种无处不在永不安宁的真空结构意义深远。宇宙学家们认为整个宇宙的起源也许就和这种真空结构有关。斯蒂芬·霍金认为正是它使得黑洞蒸发成热射线。在实验上，这种量子真空表现在引起原子能级的微小但可观测的变化上。尤为重要的是真空的这种量子行为给

许多实际运用装置带来了一种基本的噪声，而要避免这种噪声就需要科学家们找到操纵这种量子真空噪声的方法。激光的发展已经使得这种量子真空噪声可以被压缩和降低到自然背景噪声以下的水平，从而使得高精度传送和测量成为可能。

也许在所有可能的量子技术中，最令人振奋的和最有意义的该数量子计算机了，它是这样一种可以完成传统意义下的计算机即使在原理上也不能实现的数学操作的机器。从效果上看，量子计算机可以同时多重实在性里处理信息，并最终给出单一的一个确定性结果，这里运用到了一种全新的数学思维模式。

实际上所有的量子系统都利用了这样一种事实，即在量子微观世界中没有单一的确定的实在性，它是多重奇异的世界的混合，在这个杂和的世界里各种可能的实在性相互交叠，相互组合，从而给出一个最终的观测结果。量子技术就是要把这种难以想象的，你中有我我中有你的抽象概念转化成现实的具体装置。

杰拉德·米尔本是量子前沿领域世界著名的科学家之一，他目前的研究课题“原子光学”就是利用原子和激光的量子特性来获得粒子特殊状态以及全新的信息传送和处理模式。

米尔本和我一同分享着那份对世界范围内量子领域最新实验进展的激动，正是这些实验使得理论学家们的预言成为了现实。就在他写这本书的时候，科罗拉多州

立大学宣称获得了一种新的物质的态——玻色凝聚态。在这种态中，铷原子直接通过量子效应相互作用从而使得所有原子在某些性质上的表现如同单个巨大的原子。这种物质态的许多奇异性质早在半个多世纪以前就已经被众多的量子理论开创者们所预言了，如爱因斯坦、沃纳·海森伯和尼尔斯·玻尔，他们是通过想象的实验即假设的逻辑上可能但没有人梦想能成现实的实验提出这些理论的。现在这些梦想已经成为了现实。

19 世纪被认为是机器的时代，而 20 世纪将以信息的时代载入史册，我认为 21 世纪将是量子的时代。在这里将带领各位读者走进量子理论这个新奇世界的是一位有名的澳大利亚量子物理学家。

保罗·戴维斯

## 前 言

量子理论是在 20 世纪之初文化和政治蓬勃发展时产生的，它如同当代艺术、音乐、文学和政治的新发展一样，具有本质上的革新性。直到近年，量子理论的影响都一直被限制在一个狭隘的纯科学和哲学的范畴。但是在 20 世纪末期，量子信息却引起了公众的广泛关注。出现了许多面向大众介绍量子理论的科普性质的书籍。其中不乏有写得很不错的，但是还有相当一部分书，它们试图用一些并不是很恰当甚至可能误导的类比来说明量子理论，最终结果却使得读者更加迷惑不解。无可否认，量子理论展现在人们面前的的确是一个非常奇特的世界，但是如果因此而引入早已过时的神秘主义，无论是东方的还是西方的，都将是不恰当和不合适的。

现代科学的目的是要了解自然，这不光是为了纯粹认识上的需要，还是为了能够更好地开发利用它。试图去驾驭一个我们并不是十分了解的东西，是一件很危险的事情，20 世纪末期我们碰到的许多问题正是这方

面的例子，这些问题可以说是因为牵涉到了太多的科学知识，但又恰恰体现了很少的科学内容。当然人类的认识是不可能十分完善的，需要不停地对它进行更新。量子理论也不例外。当然我们现在已经掌握了足够的有关量子理论的知识，并且能够运用这些知识。量子技术就是这样一种直接操纵量子几率幅的技术，这项技术还处于开发的过程中，其中的一些结论将在本书中介绍。

# 目 录

|                   |        |
|-------------------|--------|
| 序.....            | ( 1 )  |
| 前言.....           | ( 1 )  |
| 第一章 量子轮盘赌.....    | ( 1 )  |
| 量子掷硬币.....        | ( 9 )  |
| 量子弹子球.....        | ( 23 ) |
| 第二章 原子书法.....     | ( 32 ) |
| 量子隧道.....         | ( 34 ) |
| 一项新技术的诞生.....     | ( 39 ) |
| 原子工艺.....         | ( 47 ) |
| 第三章 激光俘获.....     | ( 52 ) |
| 我们能得到多低的温度? ..... | ( 53 ) |
| 光学力.....          | ( 55 ) |
| 点燃与冷却.....        | ( 61 ) |

---

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| 原子囚禁·····              | ( 65 )        |
| 原子光学·····              | ( 70 )        |
| 装置与期望·····             | ( 80 )        |
| <b>第四章 量子纳米电路·····</b> | <b>( 91 )</b> |
| 煤气灯电学·····             | ( 92 )        |
| 电子弹子机·····             | ( 93 )        |
| 硅元素的世纪·····            | ( 99 )        |
| 二维, 一维和 0 维电子气体 ·····  | (101)         |
| 量子化的电导·····            | (105)         |
| 量子点·····               | (114)         |
| 单电子晶体管 (SET) ·····     | (117)         |
| 量子干涉晶体管 (QUIT) ·····   | (125)         |
| <b>第五章 量子密码术·····</b>  | <b>(134)</b>  |
| 数字时代的保密通信及安全性·····     | (135)         |
| 量子比特和海森伯密谋·····        | (141)         |
| 量子密码术的方案·····          | (156)         |
| <b>第六章 量子计算机·····</b>  | <b>(168)</b>  |
| 信息的代价·····             | (168)         |
| 3G 个人计算机 ·····         | (175)         |
| 可逆计算·····              | (179)         |
| 量子计算机·····             | (183)         |

---

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 平方根非门·····      | (186) |
| 来自量子计算机的冲击····· | (196) |
| 后记·····         | (201) |

## 第一章 量子轮盘赌

我对事物的原则是坚信眼见为实，最少也要经过仔细严格的验证才肯去相信，所以我确信在此书中并没有为了所谓的轰动效应而故作任何的夸张，但是我所说的听起来却仍然非常地奇异和怪诞。

弗朗西斯·培根《新工具》

现代技术发展的界线如同地平线一般，随着科学的前进而逐步远移。这个前进的步伐业已深入到了越来越小的微观领域，到目前为止，展现在我们眼前的风景仍然可以用熟知的理论和概念来描述，但是在远方的地平线之外却隐现着一个完全不同的世界，它的边界已清晰可见。未来的 10 年内，将会有许多高科技来探测这个陌生的量子世界。

量子理论所展示的世界比任何幻想家的预言都更为奇异，但是我们现在已经知道，它是可以被控制和操纵

的。在本书中，我将带领大家漫游这个陌生而复杂的量子世界，向你们解释这个新型技术和利润巨大的产业所依据的基础，它可能彻底地改变人类未来的生活。不引入随机性，就不可能完整地描述物理世界。量子理论表明整个世界有着不可剔除的不确定性和随机性。如果要开发量子领域，我们就必须了解和研究这种不确定性和随机性。随机性并不是量子理论所特有的性质，在我们的日常生活中就有许多的不确定性和随机性。为了更好地理解量子理论中随机性的独特之处，我们先来看一下日常意义下的随机性。

现在，我们都非常熟悉这样一种观念，即认为世界是有规律的而且是可以理解的——总是存在着这样一些被称为“自然法则”的规则。然而事实却不总是这样的。晚更新世的猎人碰到了这样一个这样的领域，其中随机性和不确定性的影响比规律性本身还要大得多。在岁月的流逝，月亮的圆缺，行星的运行等事件中显然都是有一定规律性的。然而当一沉醉于研究冰河时代的物理学家将视线移向日常世界中来时，生活就不是这般地有规则了。每天都会有一些全新的不可预料的事件发生：地震，暗睡在洞穴中的饥饿黑熊，或是部落首领莫名其妙的怪想等等。只有透过随机性、噪声和误差这样一些迷雾，才可能看到世间的规律。

从纷乱复杂中寻找规律的欲望是自然的，但试图立刻成功并清楚解释所有事件的想法是不现实的，最终导

致的必将是神秘主义而绝非科学本身。西方现代科学发展很重要的一步就是意识到如果背景噪声得到有效的控制，那事物的规律将更加清晰可见受控实验的发现。它的思想就是力图遏制第一眼看上去就显得无关紧要的那些影响因素。早在 17 世纪，哲学家弗朗西斯·培根就在他的方法论中非常明确地提到了这个思想，他说“从一些受控的实验事件中探索规律要比在一般随机事件中准确和简单”。

意识到自然规律可以通过人为的实验来更好的了解，是始于 17 世纪的新科学与早期的从古希腊哲学中衍生而来的思想最重要的区别。实验不但提供了一种新的理解方法，同时它也表明了自然是可以被控制的。新科学的目的不仅仅是为了纯粹地理解自然，而是为了在我们了解和掌握它之后能让它更好地为我们所用。正如贝肯所说“科学的最终目标不是激起人们的争论，而是创造技术”。当然现代科学这种注重实效的动力，在众多的基础研究领域体现的并不十分明显，有时即使是那些日复一日地追求理解自然过程的科学家本身也没有意识到这一点。

实验方法中最有名的例子就是伽利略所做的比萨斜塔落体实验。人们在实验中很容易发现，并非所有物体的下落速度都相同，但是从科学的角度看，这是由于空气阻力的不同所导致的，这是认识上很大的一个飞跃。伽利略非常聪明地设计了他的实验，使得空气阻力的作

用可以忽略不计，因此非常清楚地观测到所有物体自由下落的速度都相同。

当然空气阻力的作用是不可能完全消除的，测量到的自由落体速度也就一定会有一些小的起伏，所有的这些起伏都可以归结为实验误差，即是由于不能完全控制实验条件而引起的实验结果不可预测的不确定性。透过这些误差，就可以发现一条新的自然法则了。如今我们在给学生介绍科学实验方法的时候就要求他们理解和解释实验数据中的误差和错误。没有任何误差的实验数据是不可能的，人们在报道统计数据和实验结果时都要给出相应的误差范围。例如选举统计结果表明 45% 的选民支持 A 候选人，47% 的选民支持 B 候选人，如果误差范围是 1%，那么 B 候选人就可能胜出，但是如果误差范围是 4%，那么这个结果就什么也说明不了。

虽然在实际的测量过程中，噪声和误差是不可避免的，但是只要测量的环境和条件得到足够好的控制，在一般原则上，我们总是可以确定性地预测测量结果。从 16 世纪到 20 世纪初物理学所取得的一系列的伟大成就使人们更加确信了，世界是可以确定性地预测的。这种信念是建立在牛顿力学的基础之上的，因为牛顿力学告诉我们从苹果落地到星体运行等等各式各样复杂的现象都可以用一些数学表达式来刻画其规律。在牛顿理论的描述中，世界就像是一幅事先画好的长卷随着时间的流逝而缓缓展开。