

啤酒与肥皂

用量子理论重新定义世界

(美) 迈克尔·D. 菲尔 (Michael D. Fayer) 著 李巧译



Absolutely Small

How Quantum Theory Explains Our Everyday World

你看到的世界真实吗？大小是相对的吗？

通过科学小白就能读懂的方式，带你探讨光子、原子、分子等跟人类量级的世界截然不同的最小粒子的反直觉世界，揭开量子力学的神秘面纱。

中信出版集团



啤酒与肥皂

用量子理论重新定义世界

(美) 迈克·D·菲尔 (Michael D. Fayer) 著 李巧译

A

Ball

How Quantum Theory Explains Our Everyday World

图书在版编目 (CIP) 数据

啤酒与肥皂：用量子理论重新定义世界 / (美) 迈

克尔 · D. 菲尔著；李巧译 . -- 北京：中信出版社，

2018.3

书名原文：Absolutely Small：How Quantum

Theory Explains Our Everyday World

ISBN 978-7-5086-8337-9

I . ①啤… II . ①迈… ②李… III . ①量子论 - 普及
读物 IV . ① O413-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 276616 号

Absolutely Small: How Quantum Theory Explains Our Everyday World.

Copyright © 2010 Michael D. Fayer.

Published by AMACOM, a division of the American Management Association, International,
New York. All rights reserved.

Simplified Chinese translation copyright © 2018 by CITIC Press Corporation

本书仅限中国大陆地区发行销售

啤酒与肥皂：用量子理论重新定义世界

著 者：迈克尔 · D. 菲尔

译 者：李 巧

出版发行：中信出版集团股份有限公司

(北京市朝阳区惠新东街甲 4 号富盛大厦 2 座 邮编 100029)

承 印 者：北京楠萍印刷有限公司

开 本：787mm × 1092mm 1/16

印 张：20.25 字 数：340 千字

版 次：2018 年 3 月第 1 版

印 次：2018 年 3 月第 1 次印刷

京权图字：01-2017-8565

广告经营许可证：京朝工商广字第 8087 号

书 号：ISBN 978-7-5086-8337-9

定 价：58.00 元

版权所有 · 侵权必究

如有印刷、装订问题，本公司负责调换。

服务热线：400-600-8099

投稿邮箱：author@citicpub.com

如果你在读这本书，那你可能是以下两类人之一。要么你跟我是同道中人，陷入了量子理论的谜中，想看看别人是怎么不借助数学写出了一本关于量子理论的严肃读物；要么你是绝大多数人中的一员，环视周围搞不清楚为什么日常生活中的许多事物要以它们现在的样子呈现。这些事情在我们的生活中不是无足轻重的。相反，它们都是世界上的一些重要特性，只因费解从未被阐述过。是什么赋予物质颜色，为什么铜能导电而玻璃不能，什么是反式脂肪，为什么二氧化碳是温室气体而氧气和氮气却不是？这种对事物运作原理的无知源于理解道路上一种看似不可逾越的障碍——数学。要回答上述问题乃至更多问题，你需要对量子理论有一定的理解，但不一定要懂数学。

本书将培养起你对量子力学的直觉，从而彻底改变你看待世界的视角。你有力学上的直觉，我们把这个力学称作经典力学。如果有棒球手挥了一记长打，你知道这个球要在空中飞一会儿，之后球的飞行路线会变，最终它会回到地面。你也知道如果再用力一点，球就会飞得更快、更远。为什么球会这样运动？因为地心引力。为什么月亮绕着地球转？因为地心引力。这不需要你坐下来解牛顿方程式算出来。日常的经验告诉你苹果是往下落的，车跑得越快制动越慢。但是，日常经验不能告诉你为什么樱桃是红色的，蓝莓是蓝色的。要理解颜色，本质上依赖于量

子力学对分子的描述。日常经验没办法让你了解周边的量子现象。如上所述，了解日常生活中的特性，如颜色、电等，我们需要量子理论的视角。

为什么不涉及数学？假设本书一开始讨论时用的是英语，后来跳到拉丁语，然后又跳回英语，每次要做详细解释时都会有这种跳转。这就涉及数学的量子理论的书里出现的情况，只是它们不是从英语跳到拉丁语，而是从英语跳到数学。在一本内容实在的量子力学书〔如我的《量子力学基础》(*Elements of Quantum Mechanics*)〕中，你会看到这样的句子，“这些相互作用的解释见下述耦合微分方程”。等式之后的叙述是“解法如下”，然后出现了更多方程式。本书采用的完全是描述式的。许多方程式都被图表取代，只有部分几何方程被保留——这些简单的方程式也有详细的解释。

即使没有数学，量子理论的基本哲学、概念及其应用还是得到了深入阐述。所以，所有读者读完本书都能对量子理论有些了解、对周围的世界有更深入的理解。如果你数学功底不错，这本书也是不错的选择。通过它你可以懂得用数学解释量子理论的一些概念。如果你不介意在不考虑数学的情况下动动脑子，那么这本书将是你了解量子理论的基本原理及其在原子和分子层面的应用的一本不错的书。

第一章 薛定谔的猫 \ 001

薛定谔的猫 \ 004

不等同于抛硬币 \ 006

真实现象有可能像薛定谔的猫 \ 007

第二章 大小是绝对的 \ 009

大小是相对的 \ 011

观察方法很重要 \ 013

大还是小——那是扰动的大小 \ 014

大对象的因果关系 \ 015

不可忽略的扰动 \ 017

扰动无处不在 \ 018

大小是绝对的 \ 019

未来无法计算——只有可能性 \ 020

第三章 各种波 \ 023

什么是波 \ 025

波有速度和频率 \ 026

海洋波 \ 027

声 波 \ 027

经典光波 \ 028

可见光 \ 029

波的叠加——干扰 \ 030

干涉模式和光干涉仪 \ 031

第四章 光电效应和爱因斯坦的解释 \ 037

光电效应 \ 039

波图无法解释 \ 040

爱因斯坦的解释 \ 041

红光的电子速度比蓝光慢 \ 043

太红的光并不能使电子逸出 \ 044

逸出的电子有多快 \ 045

第五章 光：是波还是粒子 \ 047

对干扰的经典描述并不适用于光子 \ 049

重新描述干涉仪里的光子 \ 052

光子与自己相干扰 \ 053

光子可以同时存在两个地方 \ 054

回看薛定谔的猫 \ 055

回看光电效应 \ 056

第六章 光子的大小和海森堡不确定性原则 \ 059

粒子有波长 \ 061

自由粒子的波函数长什么样 \ 062

空间布满既定动量的粒子 \ 063

不同波长的波之间的干扰 \ 064

叠加原理 \ 067

处于动量叠加状态的粒子到底在哪里 \ 070

海森堡不确定性原则 \ 074

第七章 光子、电子和棒球 \ 077

粒子的波 \ 079

光的衍射 \ 080

电子和光子既是粒子也是波，但棒球只是粒子 \ 087

第八章 量子短柄墙球和水果的颜色 \ 089

盒子中的粒子——经典力学 \ 092

盒子里的粒子——量子力学 \ 094

盒子里的量子粒子的能量 \ 095

盒子里的粒子结果与现实的关联 \ 101

第九章 氢原子的历史 \ 105

太阳黑体辐射光谱 \ 108

玻尔的氢原子理论——还差那么点 \ 113

第十章 氢原子：量子理论 \ 115

薛定谔方程 \ 117

薛定谔方程对氢原子的描述 \ 118

四个量子数 \ 119

氢原子的能级 \ 121

氢原子的轨域 \ 122

s轨域的空间分布 \ 123

径向分布函数 \ 125

p轨域的形状 \ 127

d轨域的形状 \ 128

第十一章 多电子原子和元素周期表 \ 131

与众不同的氢原子 \ 133

轨域形状很重要 \ 134

多电子的原子的能量级 \ 135

三个法则 \ 136

元素周期表 \ 139

第十二章 氢分子和共价键 \ 153

离得很远的两个氢原子 \ 155

两个被聚拢的氢原子 \ 156

玻恩-奥本海默近似 \ 156

形成成键分子轨域 \ 159

成键和反成键分子轨域 \ 160

把电子放进分子轨域 \ 162

氢分子存在，但氦分子不存在 \ 162

第十三章 什么把原子聚在一起：双原子分子 \ 167

西格玛 (σ) 和派 (π) \ 169

西格玛分子轨域 \ 171

派分子轨域 \ 172

双原子分子中的成键：氟分子 \ 173

并不存在氮分子 \	176
氧分子：洪德法则很重要 \	176
氮分子 \	178
单键、双键和三键 \	179
异核双原子 \	180
分子的视觉模型 \	183

第十四章 更大的分子：多原子分子的形状 \ 185

分子形状——四面体的甲烷 \	187
推进电子 \	191
混合原子轨域——线性分子 \	192
混合原子轨域——平面三角形分子 \	194
混成原子轨域——四面体分子 \	196
含单键的碳氢化合物 \	197
大个碳氢化合物分子有多种结构 \	199
双、三碳—碳键 \	201

第十五章 啤酒和肥皂 \ 205

醇类 \	207
室温下的乙醇是液体而非气体 \	208
水形成氢键 \	210
水是一种很好的溶剂 \	211
乙醇会与氧产生化学反应 \	212
甲醇具有强毒性 \	214
肥皂 \	215
大碳氢化合物包括油和油脂 \	215
大碳氢化合物分子可以有很多种结构 \	216
油和水不相混 \	216

肥皂分子的结构 \ 217

第十六章 脂肪，主要看双键 \ 221

什么是脂肪分子 \ 223

饱和脂肪和不饱和脂肪 \ 224

脂肪分子的形状 \ 225

饱和、单元不饱和以及多元不饱和脂肪 \ 225

脂肪里的双键很关键 \ 226

脂肪的化学改性 \ 227

部分氢化和氢化脂肪 \ 227

脂肪的氢化 \ 228

看标签 \ 228

反式脂肪 \ 229

顺式脂肪是天然的，反式脂肪是化学加工的 \ 231

反式脂肪有害 \ 231

零等于没说 \ 232

ω -3脂肪酸 \ 233

三酰甘油 \ 233

胆固醇 \ 234

第十七章 温室气体 \ 239

燃烧化石燃料产生的二氧化碳 \ 241

燃烧甲烷：天然气 \ 241

什么是温室气体 \ 242

燃烧化石燃料会产生二氧化碳 \ 243

二氧化碳是温室气体是因为量子力学 \ 247

地球的黑体光谱 \ 247

二氧化碳温室气体反映的是量子效应 \ 253

第十八章 芳香族分子 \ 255

苯：芳香族分子的原型 \ 257

苯的离域派 (π) 分子轨域 \ 261

把萘当作盒子里的粒子问题 \ 264

第十九章 金属、绝缘体和半导体 \ 267

金属 \ 269

绝缘体 \ 274

半导体 \ 276

超导性 \ 280

第二十章 用量子力学的方式思考 \ 283

经验教会我们理解经典世界 \ 285

要理解我们看到的事物需要一些量子力学知识 \ 286

颜色是一种量子现象 \ 287

能级和颜色源于粒子波一样的特性 \ 287

量子现象决定形状 \ 288

量子效应使二氧化碳成为一种温室气体 \ 290

热体释放可见的黑体辐射 \ 291

电加热是种量子现象 \ 292

绝对小 \ 293

词汇表 \ 295**索 引 \ 303**

The background is a dark, textured grey. It features several thin, white, flowing lines that resemble smoke or liquid movement, primarily on the left side and bottom. A prominent circular shape is visible in the lower-left quadrant, containing a small, bright white spot in its center.

第一章

薛定谔的猫

为什么樱桃是红色的，蓝莓是蓝色的？大小代表的是什麼？看起来，这是两个风马牛不相及的问题。而且第二个问题根本就不像是个问题。大小谁不知道？不就是一些东西大、一些东西小嘛。但是，量子理论显示这两个问题是密切相关的，而且在 20 世纪 20 年代以前，我们对大小的认知完全是错误的。就算我们思考过大小的意义，那些想法也只是在日常生活中凑合能用而已。在 1900 年前后，用于描述自然万物的物理学和可以让一艘太空飞船降落在火星上的物理学分道扬镳了。最终，我们需要对大小有全新的认知，以解释为什么樱桃是红色的、蓝莓是蓝色的，并且去理解构成我们身体的分子、在电脑中运行的微电子，了解为什么二氧化碳是种温室气体、电是怎么通过金属的。我们的日常经验使我们习惯从艾萨克·牛顿（Isaac Newton, 1642—1727）爵士大力推进形成的经典物理学的角度思考。自幼习得的知识使我们以一种完全错误的方式审视自然。本书讲述的是绝对大小的概念及其带来的后果——量子理论，理解它需要我们彻底改变自己思考自然的方式。本书前半部分讲述的是量子理论的基本概念。后半部分审视了原子和分子的一些特性及其在日常生活中发挥的作用，从而将量子理论应用到我们的生活中。

我们先从一个简单的问题开始。量子力学合理吗？在 2005 年湾区科技展年度盛会（Bay Area Festival of Science Wonderfest 2005）上，我被问到这个问题。Wonderfest 是场年度盛事，2005 届由加州大学伯克利分校物理学院和斯坦福大学化学学院主办，会上有各种面向非专业人士的演讲，主要介绍一些领域的“最新发现”。然而我被邀请过来不是为了讨论我最新的研究进展，而是回答“量子力学是不是合理”这个问题，自从 20 世纪量子理论诞生以来，科学家和非业内人士就一直对这个问题

争论不休。而我只有一个半小时的时间给出这个问题的肯定答案。这可不那么容易，于是我花了几个月来思考、准备。活动过后，我觉得我讲砸了——并不是因为我不能用通俗的方式把这个重要问题讲给非专业人士听，而是因为时间太紧了。解释核心概念之前，有些概念背景必须讲，之后才能把经典力学与量子力学做对比。这本书就给了我足够的时间用量子力学描述自然，把这个问题讲清楚。书中的数学计算并不复杂，至多涉及一些简单的方程。不过不涉及数学并不代表读起来简单。读克尔凯郭尔（Kierkegaard）不用懂数学，可是读懂并不容易。本书跟克尔凯郭尔又不同，只要读者愿意动动脑子，后文讲述的物质意义就显而易见。

经典力学描述的是棒球的运动、陀螺的旋转、飞机的翱翔等。量子力学描述的是电子的运动、反式脂肪酸等分子的形状、导电率以及超导性等。经典力学是量子力学的一种极限。量子力学包含经典力学，但经典力学并不包含量子力学。从这个角度说，经典力学是错的。可是我们却用经典力学设计了桥梁、汽车、飞机和大坝。从量子力学对自然做的广义描述来看，我们的设计还不详尽，但从来没有人有过这种担心。用经典力学做指导并不会导致桥梁坍塌、汽车散架、飞机坠毁或是大坝决堤。在经典力学的边界内，也就是我们在每天生活中接触的这个边界内，它的运作堪称完美。我们对世界运转的直觉来自我们日常经验的积累，这些经验基本都是经典。虽说如此，但日常生活中的经典力学依然无法解释为什么樱桃的分子让它呈现红色，蓝莓的分子使它呈现蓝色。我们在日常生活中靠观察自然的某些方面积累的直觉，并不能拿来理解自然的其他方面，哪怕这些方面同样渗入我们生活的各个方面。

薛定谔的猫

薛定谔的猫（Schrödinger's Cat）经常被拿来解释用量子力学描述自然时产生的悖论。1933年，布埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger，

1887—1961) 和保罗·狄拉克 (Paul A.M. Dirac, 1902—1984) 共同获得诺贝尔物理学奖, 以表彰其为量子力学的发展做出的贡献, 特别是“发现了在原子理论里很有用的新形式。薛定谔一直不赞成量子理论基础的力学基本阐释。困扰薛定谔的一些点也正是本书要讨论的点。他用大家熟知的“薛定谔的猫”来描述一些困扰他的问题。这里, 作者在重述薛定谔的猫这一理论时做了些修改, 以简单说明用量子力学讨论日常生活看起来并不合理。但这里的版本只是为解释清楚上述问题, 不是薛定谔的版本, 原版更加深奥。这个场景我们后面会再讨论。我们把它比作由量子理论解释的一个真实实验, 但并不是量子力学实际操作过的一个例子。

假设你面前有 1000 个盒子, 而在你即将参与的实验中, 你要打开这些盒子。你被告知盒子里面有一只半死的猫。所以, 在打开一个盒子时, 你可能以为自己看到的是一只病怏怏的猫。事实上, 上面的陈述需要澄清。正确的说法是, 并不是盒子里的每一只猫都处于半死状态, 而是每一只猫都同时处于死透或是完全健康的状态。死的和活的各占一半。换句话说, 猫有 50% 是活的, 50% 是死的。这 1000 个盒子里的 1000 只猫都是处于相同的状态。准备盒子的实验者没有在 500 个盒子里放进 500 只死猫, 也没有在另外 500 个盒子里放进 500 只活猫。每个盒子里的猫都是一样的, 都有 50% 的可能性是死掉的或是完全健康的。关在盒子里时, 猫的状态不变; 它们依然处于半死半活的状态。当你打开盒子往里看时, 你就决定了猫的命运。你查看猫是死是活这个行为将决定这只猫是死是活。

打开第一个盒子时, 你发现里面是一只完全健康的猫。打开另外三个盒子时, 你发现里面有三只死猫。再打开一个, 又发现一只活的。等 1000 个盒子都被打开后, 你发现了 500 只活猫、500 只死猫。也许, 更让你瞠目结舌的是如果再重新打开一遍, 每个盒子里装的还是半死半活的猫, 死、活的概率各占一半。即使你是按跟上一次一样的顺序打开盒子, 每个盒子里呈现的结果并不一定跟前一次一样。比如, 你第一次打开第 10 个盒子看到是一只活猫。在第二次打开时, 你会发现里面是一