



鬼魔物理学

2

迷人又有趣的
量子力学

[美] 詹姆斯·卡卡里奥斯◎著
(James Kakalios)

孔垂鹏 张琰琰◎译



爱看科幻小说？
知道其中隐藏的量子力学知识吗？

让你读懂科幻小说，

爱上物理。

THE
AMAZING STORY
OF QUANTUM
MECHANICS

A Math-Free Exploration of
the Science That Made Our World

中信出版集团



鬼 魔 物理学

2

迷人又有趣的
量子力学

[美] 詹姆斯·卡卡里奥斯 著
(James Kakalios)

孔垂鹏 张彧彧 译

图书在版编目 (CIP) 数据

魔鬼物理学. 2, 迷人又有趣的量子力学 / (美) 詹姆斯·卡卡里奥斯著; 孔垂鹏, 张威威译. -- 北京: 中信出版社, 2018.3

书名原文: The Amazing Story of Quantum Mechanics

ISBN 978-7-5086-8475-8

I. ①魔… II. ①詹…②孔…③张… III. ①物理学—普及读物 IV. ①O4-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第 312454 号

The Amazing Story of Quantum Mechanics by James Kakalios

Copyright © 2010 by James Kakalios

Simplified Chinese translation copyright © 2018 by CITIC Press Corporation

ALL RIGHTS RESERVED

本书仅限中国大陆地区发行销售

魔鬼物理学 2: 迷人又有趣的量子力学

著 者: [美]詹姆斯·卡卡里奥斯

译 者: 孔垂鹏 张威威

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: 北京画中画印刷有限公司

开 本: 880mm×1230mm 1/32

版 次: 2018年3月第1版

京权图字: 01-2018-0167

书 号: ISBN 978-7-5086-8475-8

定 价: 56.00 元

印 张: 10.75 字 数: 230千字

印 次: 2018年3月第1次印刷

广告经营许可证: 京朝工商广字第8087号

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

献给托马斯，劳拉，戴维

——未来真正的创造者

量子物理学？你正置身其中！

进入 21 世纪，我们仍然在期待能飞的汽车、喷气飞行背包、圆顶水下城市和机器人私人助理。对此，你可能和我一样沮丧。自 20 世纪 30 年代起，那些通俗科幻杂志和漫画书就向我们许诺：至 2000 年，人类将摆脱日常琐事和地球引力的束缚，迎来一个“乌托邦”式的闪亮新世界。跟今日的现实相比，我们发现，50 年前的那些预言真是把我们骗得不轻。

不过……也不尽然。2010 年，我们可以和地球另一端的人即时无线通信；笔记本电脑的计算能力远超科幻小说中房屋大小的计算机；我们可以利用核磁共振成像做出医学诊断，而不是靠开刀一窥

究竟：从自动提款机到苹果手机，触摸屏随处可见。每天，我们接触到的自动化设备数量惊人，尽管它们当中没有哪个跟机器人罗比相似^①。

这些美好的预测错在哪里呢？简单来说，他们预测了一场能源革命，而我们的革命却发生在信息领域。科幻小说中的喷气飞行背包和死光（death rays），需要以可储存巨大能量的轻型设备为前提。而作为常用储电设备的电池，其性能则受限于电池内部原子的化学和电学性质。尽管科学家和工程师们在研发新型储能系统方面足智多谋，却终究无法改变原子的属性。相对而言，信息只需要一个存储媒介和相应的智能解析。

此外，信息可以保存数千年。苏美尔人成功地实现了数据的长效存储，他们刻于泥板之上的楔形文字使我们得以了解 6 000 年前的会计制度和《吉尔伽美什史诗》。这些非常笨重的泥板现存于伊拉克，为了传递信息，古苏美尔人不得不将它们来回运送。今天，你无须再亲赴伊拉克阅读泥板上的文字，登录互联网，或者通过其他人发送到你的手机照片，便可浏览。

这些内容存储与传输方面的进步，得益于半导体装置（如晶体管和二极管）的发展。而在通俗科幻杂志初现的年代，数据则存储于笨重的电子管中。首批计算机采用了数千个这样的电子管，以及由装满水银的玻璃管组成的继电器。当这些设备被半导体取代后，电脑的运

^① 机器人罗比是美国著名科幻小说家、科普作家、文学评论家艾萨克·阿西莫夫机器人系列作品中的一个角色。——译者注

算能力便呈指数式增长，电脑的尺寸也相应缩小。1965 年，戈登·摩尔注意到，大约每隔一年，集成电路上的晶体管数目就会加倍。这一趋势持续了 40 年，并且为构成现代生活的技术创新奠定了基础。从 20 世纪 30 年代书本大小的收音机，到 2005 年口香糖大小的 MP3 播放器；从 20 世纪 70 年代砖头大小的移动电话，到现在体积小于一副扑克牌的手机，这些技术进步都依赖于信息存储和处理技术方面的持续发展。（如果能量存储技术的发展也遵循摩尔定律，即每两年存储能力增加一倍，那么 1970 年只能供电 1 个小时的电池，在 2010 年则至少可以供电 100 年。）

如果没有晶体管，计算机可能仍然在使用笨重的电子管，当电流通过时，每根电子管都会产生巨大的热量。如今，一个中等配置的笔记本电脑使用大约一亿根晶体管来存储和处理数据。如果将这些晶体管全部替换成电子管，每根电子管大约几厘米长，至少 2.54 厘米宽，再将它们分开放置以防过热，我们将会得到一台体积大过白宫的电子管计算机。显而易见，除了联邦政府和屈指可数的几家大型企业之外，恐怕没有几个机构能够负担得起如此壮观的计算设备。这样一来，我们将生活在一个几乎没有计算机的世界里，为数不多的计算机设备没有互联的必要，发展互联网也显得多此一举，商业、新闻业、娱乐业和政治活动也将受到与 20 世纪 30 年代一样的限制。假如我们经历了科幻杂志所预言的那种能源而非信息领域的革命，我们或许可以驾驶着喷气飞行背包帅气地上班，却不得不降落在没有手机、DVD（数字化视频光盘）、个人录像机、激光打印机以及个人电脑的

办公场所。

另外，量子力学知识在固体物理学领域的应用，使这些电子设备的发展成为可能。当科幻小说家还在想象未来世界的图景时，工业实验室和研究型大学中的科学家们则正在利用他们对量子世界的新理解去发明晶体管和激光。这些最基本的设备构成了现代生活模式的基础，对电子消费品，乃至化学、生物学和医学领域都产生了深远影响。如果没有 20 世纪前 25 年少数杰出物理学家对原子和光之间相互作用的不断探索，我们今天的生活将迥然不同。这些量子力学的先驱者们认识到他们将改变物理学的面貌，却几乎没有预见到他们的工作也将改变未来。

* * *

在本书中，我将解释构成量子力学基础的关键概念，并说明这些概念在研究金属、绝缘体和半导体的性质方面的应用——这些研究构成了固体物理学。我还将讲述，人们如何利用原子核及原子的磁学性质（量子力学的本质现象之一），通过核磁共振成像技术窥探人体的内部结构，并实现了计算机硬盘上海量信息的存储。量子力学带来的奇妙事物不胜枚举：像激光、发光二极管、U 盘（一种移动存储设备）这样的设备；诸如材料的超导和玻色—爱因斯坦凝聚态这样的怪现象；再比如“更亮的光”和“更纯的白色”^①。我们将看到，那些在

① 这是真的！见本书第 21 章。

过去 50 年中带来技术变革的量子力学现象，将对未来 50 年纳米技术领域的发展产生怎样的影响。

作为物理学的一个分支，量子力学已经给我们的生活带来了广泛影响，但遗憾的是，量子力学却背负着“古怪”和“不可理解”的名声。好吧，量子力学可能有点儿“古怪”，却并非不可理解。尽管量子物理学中所需的数学运算十分复杂，但对其核心原理的理解和描述却无须借助微分方程和矩阵运算。

我很想承诺，这将是一场“与数学无关”的讨论，但我必须坦承，这本书中会涉及少量的数学知识。（但愿此刻正在家里阅读这本书，而不是还在犹豫是否购买。）与奠定量子力学基础的严格数学推导相比，这本书中使用的简单公式几乎可以说“与数学无关”。我使用的代数公式，在难易程度上与用速度和时间计算距离相仿。比方说，假如我告诉你我以每小时 80 千米的速度行驶了两个小时，你会知道我行驶了 160 千米，是经验驱使你使用“距离 = 速度 × 时间”这个简单公式得出此结论。这本书中涉及的数学知识，难度不过如此。

量子力学并非不可理解，却是名副其实地令人困惑。这并不是说应用量子理论描述事物本质属性时所使用的数学知识是多么的晦涩或复杂——如果不知道如何使用，一切数学运算都有难度，正如任何一门未被掌握的语言都令人费解。所谓“令人困惑”，也不是指那些探索现代技术背后机制的普遍经验有多么神秘莫测。相反，我指的是那些基本问题，例如在对一个量子体系的性质进行测定时究竟发生了什么，距离这个问题的首次提出已经过去了 80 年，而物理学家们对此

仍然存在争议。量子力学的一个奇妙之处就在于，即使感到困惑，也不妨碍你合理有效地使用它。

在这本书中，我援引了一种“实用”的量子理论观，这种观点的优点在于暂且搁置疑虑，这与科幻小说或超级英雄漫画中经常出现的“脱离自然法则的奇迹”现象没有什么不同。我恳请各位物理学同行注意，为了便于理解，我将舍弃一些详细周密的专业性表述，因为这本书的目标读者是那些非专业人士；他们对量子力学在构成现代生活方式的各种装置中所发挥的作用兴味盎然。诚然，对量子理论的诠释能力和“测量问题”的反思令人沉醉，但像晶体管这样的科学发明不能仅靠哲学讨论来实现。

尽管力求简化，在讨论量子力学时，那些与物质的本质属性相关的问题仍然难以回避。这本书中讨论了一些奇异的现象，比如当两个电子或原子距离太近时，它们会彼此“纠缠”，无法分辨。在此，我鼓励读者克服恐惧迎难而上，我将竭尽所能给出易于理解的推理和例证。

有关量子力学发展史的杰出著作已经有很多了，我在这本书中列出了一些。鉴于我并非科学史研究者，我将不会追溯物理学先驱们引领量子力学革命的过程，而是着重阐述他们发现的物理学原理，以及这些原理在固体物理学方面的应用。

前 言



第一部分
脑洞大开的
故事

第 1 章 量子力学三部曲

003

第 2 章 得诺奖的光电效应

015

第 3 章 神奇的物质波

029

第 4 章 超能力般的粒子自旋

041

第二部分
探索未知的
谜题

第 5 章 波函数的发现与认知 055

第 6 章 打开未来之门的薛定谔方程 069

第 7 章 著名的海森堡不确定性原理 079

第 8 章 平行宇宙中的曼哈顿博士 091

第三部分
原子的传奇
世界

第 9 章 原子是我们的好朋友 109

第 10 章 或快或慢的原子核衰变 125

第 11 章 太阳中心的核聚变反应 141

第四部分
量子力学的
神奇力量

第 12 章 水火不相容的费米子 155

第 13 章 如蜜蜂般团结的玻色子 171

第五部分
伟大的技术与
发明

第 14 章 荧光材料和隐形墨水 191

第 15 章 “死光”：天使还是魔鬼？ 201

第 16 章 半导体和二极管 213

第 17 章 晶体管 and 闪存设备 233

第 18 章 自旋电力学和硬盘驱动器 243

第 19 章 X 射线视力和核磁共振成像 249

第六部分
开启未来世界

第 20 章 量子计算机和量子通信 261

第 21 章 太阳能电池和纳米技术 273

后 记 287

致 谢 297

注 释 301

图片说明 327



第一部分
脑洞大开的
故事

「我们出版《故事》时，当年校外的氛围很沉闷，大家都不愿意写，我们只好自己写。」（《故事》的出版，曾为一些学生和老师，制造麻烦）

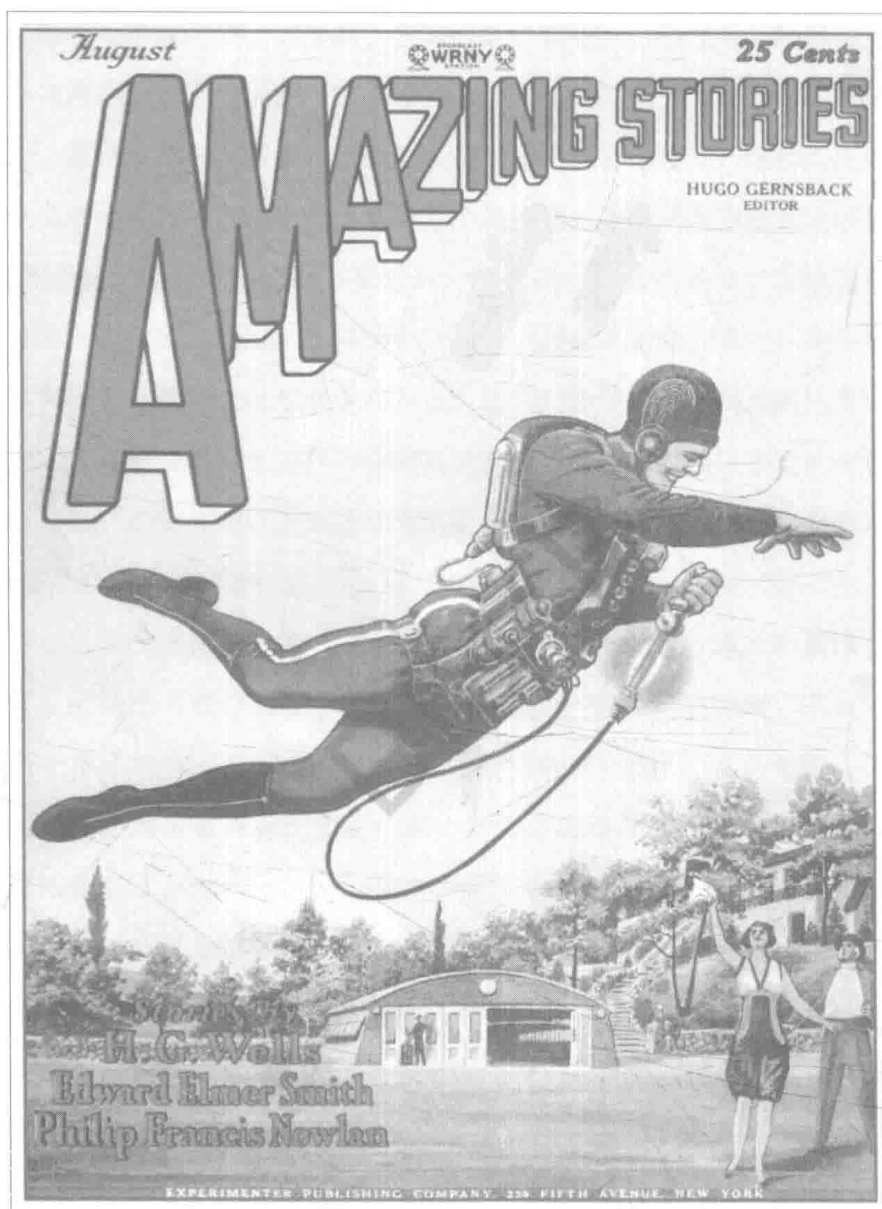


图 1-1 巴克·罗杰斯在 1928 年 8 月发行的通俗科幻杂志《惊奇故事》的封面上炫酷登场

第1章 量子力学三部曲

“未来”曾两度开启：1900年12月14日和1928年8月26日。1900年12月14日，马克斯·普朗克在德国物理学会的例会上做了有关“紫外灾难”问题解决方案的报告。他指出，原子只有在不连续跃迁的过程中才会触发能量损失。这一新的理论观点推倒了多米诺骨牌中的第一块，最终在20世纪20年代中期将物理学引向量子力学这一新的发展领域。1928年8月26日，在夏季之末，巴克·罗杰斯在通俗科幻杂志《惊奇故事》（*Amazing Stories*）上完成了他的处女秀。

创刊于1926年的《惊奇故事》，是第一本专门刊载科幻故事的杂志，出版人雨果·根斯巴克将此类故事命名为“科幻小说”（*scientifiction*）。该刊的座右铭是：“今日奇谈怪论……明日冷酷现实”。普朗克的突破性研究标志着一个新兴科学领域的诞生，它是一个属于“书呆子”的研究领域。而巴克·罗杰斯的登场则开启了极客们想象中的未来世界。（我在此声明，作为一位痴迷于科幻小说和漫