

世纪 幽灵

张天蓉◇著

Phantom of the Century
Quantum Entanglement

走近
量子纠缠



中国科学技术大学出版社

013064640

0413-49

13

世纪 幽灵

张天蓉◇著

Phantom of the Century
Quantum Entanglement

走近
量子纠缠



北航

C1672097

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书以讲故事的方式,带领读者一步一步走近神秘的量子世界,最后走近更为神秘的量子纠缠。

量子理论说起来神秘莫测,却极大地影响了现代文明社会。计算机、网络及通信技术近年来的突飞猛进,很大程度上可以说是建立在量子论发展的基础上的。从1901年开始,一百多年的诺贝尔物理学奖中,百分之九十以上都颁发给了与量子论有关的课题。这个数字足以说明量子论对现代高科技功不可没。如今,量子纠缠现象的研究正在带动量子信息、量子计算等技术的发展,将有可能掀起新一轮的技术革命。

本书是一本深入浅出、老少皆宜的科普读物。本书的主要叙述部分基本不用数学,即使是非理科读者也能读懂。对于想深入了解量子论的读者,可参阅附录中的简单数学推导,或者阅读其他相关的图书。

图书在版编目(CIP)数据

世纪幽灵:走近量子纠缠/张天蓉著. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2013.6

ISBN 978-7-312-03182-3

I. 世… II. 张… III. 量子论—普及读物 IV. O413-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 099038 号

出版 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号, 230026

<http://press.ustc.edu.cn>

印刷 安徽江淮印务有限责任公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 710 mm×1000 mm 1/16

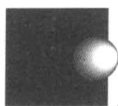
印张 9.5

字数 175 千

版次 2013 年 6 月第 1 版

印次 2013 年 6 月第 1 次印刷

定价 28.00 元



序一

让量子纠缠走近公众的视野

感谢天蓉用通俗有趣的语言,将曾被爱因斯坦称为“幽灵”的量子纠缠带进了公众视野,感谢她为我们剥开量子科学坚果,使大家领悟到物理学的无穷趣味。

我向大家推荐此书的另一个理由是:即使对于学习物理专业的人士,这也是一本值得一读的科普读物。它让我们重温量子力学的发展历史,让我们进一步了解一代又一代物理学家同行们为了探索奇妙的量子世界所作的坚持不懈的努力,它为我们还原了科学家们多彩而不平凡的人生,它激励我们更加奋发图强,更深入地去探索量子世界的奥秘。

我与天蓉是物理界的同行,20世纪80年代在美国得克萨斯大学奥斯汀分校相识,她是数学物理学家 Cécile DeWitt-Morette 的学生,与著名的理论物理学家惠勒也经常有学术交往。天蓉具有坚实的理论物理基础和数学能力,受到导师们的称赞。更为不易的是,她在工作期间做过一些前沿光学的实验研究工作。

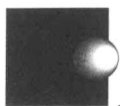
科学家写科普,是我们一代科学家的责任和义务。作为一名长期在量子光学领域工作的科学工作者,我希望能看到更多这样的优秀科普书出现。

彭堃培

中国科学院院士
山西大学光电研究所所长

2013年1月

i



序二

量子世界的启示

放在我们面前的这本书,试图用通俗甚至轻松有趣的语言来讲述最深奥难懂的科学理论之一——量子力学。

于是,我们要问以下两个问题:

除了对物理有兴趣的一群人,这本书值得大家都看看吗?

作者真的能够做到深入浅出、化难为简,让我们受益吗?

我们为什么需要读这本书?

对所有的人而言,量子世界的意义在于,科学家揭示了微观世界的规律。那不是我们熟悉的、习以为常的物理规律。认识这些规律,将会是我们每一个人世界观的重大突破。

人类的智慧早已经感知或者洞察出与我们现实世界不同的物理规律的存在,只不过是各种宗教的语言或文学艺术的语言表达出来。例如,《红楼梦》中“太虚幻境”的这副对联“假作真时真亦假,无为有处有还无”,竟然已经将“真”与“假”、“有”与“无”、“现实世界”与“虚幻世界”之间的关系讲得如此富有禅意而透彻。但是,这些都是在信仰或灵性的范围内。

量子力学是一群智商超高的科学家用理性的语言证实了的另类物理规律的存在。了解量子力学就是丰富我们认识世界的方式,这对打开我们的心智,重新认识世界乃至人生,当然非同小可,值得花点时间读一读它。

对于高中以上的学生,该书更值得推荐阅读。它有可能影响某些奋发向上

的年轻人的一生，这种作用来源于最杰出人物的启蒙和激励，来源于人类永无止境的探索未知的驱动精神。诚如作者所说，量子力学“是有史以来最出色和最富激情的一代物理学家集体努力的成果”。作者着力的不仅仅是结果，更是量子力学探索的过程——人类最高智力的升华过程；不仅仅是讲述物理学的历史，更是展现人类精英们的思想、追求和生活。她用科学理论发展中最精彩、最令人困惑的一段史实，歌颂了人类思想的伟大力量，告诉我们创新是如何实现的，什么是真正的价值。跟着作者前行，你不可能不为书中那些人和事所感染、所震撼、所激动、所欢呼、所敬仰。可以相信，本书对于学生和教育的深刻启示，将推动孕育出未来社会的精英。

这本书的作者文理皆通

这是作者多年的专业感悟而厚积薄发的一本书。不仅仅如此，如果缺乏高度理性，并且对量子力学没有透彻的理解，不敢写此书；如果只有深刻的理性而没有激情，不可能写此书；如果只有理性和激情，没有感性的技巧和文学的根底，不可能完成此书。

我在大学时与天蓉同修物理学，同学们都惊叹这位四川才女极强的数学逻辑和理性思维，不敢与她比试智力游戏。大学毕业后，我未能坚持在物理学界，而天蓉相继去了中国科学院研究生院和美国得克萨斯大学攻读理论物理。今天，我读到她的这部书稿时，深深感受到她人生的物理情结。

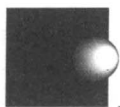
几年前，读到天蓉写的几部小说，我看到了另一个天蓉——文采感性的天蓉。从优雅的文字中，你不会想到她理论物理的纯理性背景。

感谢作者天蓉，以她的才智和激情，为我们奉献了这本书。



中国营销研究中心主任
中山大学国际营销学教授

2013年1月



前言

如果有人说,物理学界有一个一百多岁的“幽灵”,你会相信吗? 物理科学怎么会与“幽灵”搭上边呢? 事情的确很奇怪,但是,连伟人爱因斯坦当年也一直为量子论而导致的量子纠缠现象的“远距幽灵作用”所困惑。如今,爱因斯坦逝世已经超过半个世纪之久,可谜团仍未完全解开。因此,可以毫不夸张地说,量子理论就是这么一个“幽灵”。

它一次一次用不可思议的量子现象,将人们带进层层迷宫。近百年来,它挑战着人类哲学思维的极限,它纠结着无数科学家的神经;它既造福于文明社会,又扰乱学术界的安宁。如今,它又把“量子”这个桂冠,戴到了多种学科的头,似乎将引发信息学、密码学、计算机科学、通信、网络等研究领域的新一轮革命,向人们展示出了一个更为奇妙的未来世界。

本书尽量使用通俗的语言,向公众介绍神秘而奇妙的“量子纠缠”。而要认识神秘的量子纠缠,首先要认识神秘的量子现象,认识以上我们所说的这个“百年幽灵”。

不管是学哪个专业的,大家大概都听说过奇妙的量子现象。诸如测不准原理、薛定谔猫之类的,在日常生活中看起来匪夷所思的现象,却是千真万确地存在于微观的量子世界。

许多人将听起来有些诡异的量子理论视为天书,从而敬而远之。有人感叹说:“量子力学,太不可思议了,不懂啊,晕!”

不懂量子力学,听了就晕,那是非常正常的反应。听听诺贝尔物理学奖得主、著名物理学家费恩曼的名言吧。费恩曼说:“我想我可以有把握地讲,没有人懂量子力学!”量子论的另一创始人玻尔也说过:“如果谁不为量子论而感到困

惑,那他就没有理解量子论。”既然连费恩曼和玻尔都这样说,我等就更不敢吹嘘了。

因此,我们暂时不要奢望“懂得”量子力学。此书的目的是让我们能够多了解、多认识一些量子力学。也许不能“走进”,但却能“走近”。因为量子论虽然神秘,却是科学史上最为精确地被实验检验了的理论,它经历了一百多年的艰难历史,发展至今,可以说是到达了人类智力征程上的最高成就。身为现代人,如果不曾“了解”一点点量子论,就如同没有上过因特网,没有写过电子邮件一样,可算是人生的一大遗憾啊。

这个世纪幽灵,披着层层的面纱,多少人想要描述其面纱下的容颜,从而创造出了对量子力学的种种诠释。有的人想用统计来解释它,有的人创造了多个平行世界的模型,有的人使用波函数塌缩,有的人提出隐变量理论,还有人倡导交易诠释、随机诠释、退相干诠释等等,各种诠释数不胜数,各种观点莫衷一是。在本书中,我们将主要使用所谓“正统诠释”,也就是以量子力学创始人玻尔为代表的哥本哈根学派的诠释,来介绍量子力学,来带你走近量子纠缠。

可是,人类什么时候才能真正揭开它神秘的层层面纱,看清它的庐山真面目呢?这个跨越世纪的幽灵!

张天蓉

2013年1月

目 录

序一.....	(i)
序二.....	(iii)
前言.....	(v)
第一章 从“薛定谔猫”谈起.....	(1)
第二章 量子“小妖精”.....	(6)
第三章 上帝掷骰子吗?	(12)
第四章 世纪之争.....	(19)
第五章 狄拉克的世界.....	(25)
第六章 纠缠着的妖精.....	(30)
第七章 哥本哈根最后一位大师.....	(35)
第八章 追寻爱因斯坦之梦.....	(40)
第九章 贝尔不等式.....	(44)
第十章 量子态、叠加态、纠缠态.....	(48)
第十一章 实验室中的光子.....	(54)
第十二章 实验给出最终判决.....	(64)
第十三章 幽灵成像和量子擦除.....	(76)
第十四章 何谓量子比特.....	(82)
第十五章 费恩曼先生敲边鼓.....	(86)
第十六章 三光子之舞.....	(91)

第十七章 量子加密	(99)
第十八章 量子计算机	(105)
第十九章 量子隐形传输	(112)
第二十章 连续变量也纠缠	(120)
第二十一章 世纪幽灵的面纱	(125)
第二十二章 破解“薛定谔猫”	(128)
附录 A 狄拉克方程	(131)
附录 B 希尔伯特空间和狄拉克符号	(134)
附录 C 量子比特	(137)
参考文献	(139)

第一章 从“薛定谔猫”谈起

让我们首先描述一点量子论的奇异之处,大家才能明白,为什么爱因斯坦要将它称为“幽灵”。那就首先从“薛定谔猫”说起吧。

薛定谔(E. Schrödinger, 1887~1961)是奥地利著名物理学家、量子力学的创始人之一,曾获 1933 年诺贝尔物理学奖。在量子力学中,有一个最基本的,描述原子、电子等微观粒子运动的薛定谔方程,就是以他命名的。薛定谔生于维也纳,死于维也纳,但死后如愿被葬于阿尔卑包赫一个风景优美的小山村中。他的墓碑上刻着一个大大的量子力学中波函数的符号“ ψ ”,而在他曾经就学的维也纳大学主楼里,有一座薛定谔的雕像,那上面雕刻着著名的薛定谔方程:

$$i\hbar\dot{\psi} = H\psi$$

其中 $\hbar$ 为约化普朗克常数。

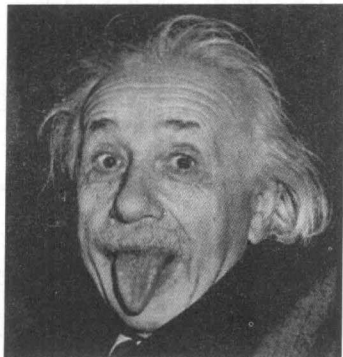


图 1.1 爱因斯坦称量子纠缠为“spooky action”



图 1.2 薛定谔(1933 年)

“薛定谔猫”又是什么呢?它不是薛定谔家里的猫,而是薛定谔在一篇论文中提出的一个佯谬,也被称为“薛定谔佯谬”。薛定谔虽然创立了薛定谔方程,却

非常不满意玻尔(Niels Bohr)等人对波函数及“叠加态”的概率解释。于是,薛定谔便设计了一个思想实验,在这个实验中,他把量子力学中的反直观效果转嫁到日常生活中的事物上来,也就是说,转嫁到“猫”的身上,如此就导致了一个荒谬的结论。薛定谔想以此来嘲笑玻尔等对量子物理的统计解释。

既然“薛定谔猫”与“叠加态”有关,那么,首先我们需要了解什么是“叠加态”。

根据我们的日常经验,一个物体某一时刻,总会处于某个固定的状态。比如,我说:女儿现在“在客厅”里,或是说:女儿现在“在房间”里。要么在客厅,要么在房间,这两种状态,必居其一。这种说法再清楚不过了。然而,在微观的量子世界中,情况却有所不同。微观粒子可以处于一种所谓“叠加态”的状态中,这种叠加状态是不确定的。例如,电子可以同时位于两个不同的地点:A和B,甚至位于多个不同的地点。也就是说,电子既在A又在B。电子的状态是“在A”和“在B”两种状态按一定概率的叠加。物理学家们把电子的这种混合状态叫作“叠加态”。

总结一下,什么是“叠加态”呢?就好比是说:女儿“既在客厅,又在房间”,这种日常生活中听起来逻辑混乱的说法,却是量子力学中粒子所遵循的根本之道,不是很奇怪吗?

聪明的读者会说:“女儿此刻‘在客厅’或‘在房间’,同时打开客厅和房间的门,看一眼就清楚了。电子在A或是在B,测量一下不就知道了吗?”说得没错,当我们对电子的状态进行“测量”时,电子的“叠加态”不复存在,而是“坍缩”到“在A”或是“在B”两个状态之一。听起来好像和我们日常生活经验差不多嘛!但是,请等一等!我们说的微观行为与宏观行为的不同,是在观测之前。即使父母不去看,女儿在客厅或在房间,已成事实,并不以“看”或“不看”而转移。而微观电子就不一样了:在观察之前的状态,并无定论,是“既是……又是……”的叠加状态,直到我们去测量它,叠加状态才坍缩成一个确定的状态。这是微观世界中量子“叠加态”的奇妙特点。

尽管量子现象显得如此神秘。然而,量子力学的结论却早已在诸多方面被实验证实,被学术界接受,在各行各业还得到各种应用,量子物理学对我们现代日常生活的影响无比巨大。以其为基础而产生的电子学革命及光学革命将我们带入了如今的计算机信息时代。可以说,没有量子力学,就不会有今天所谓的“高科技”产业。

如何解释量子力学的基本理论,仍然是见仁见智,莫衷一是。这点也曾经深深地困扰着它的创立者们,包括伟大的爱因斯坦。微观“叠加态”的特点与宏观

规律如此不同,物理学家如薛定谔也想不通。于是,薛定谔在1935年发表了一篇文章,题为《量子力学的现状》,在论文的第5节,薛定谔编出了一个“薛定谔猫”的理想实验,试图将微观不确定性变为宏观不确定性,微观的迷惑变为宏观的佯谬,以引起大家的注意。果不其然!物理学家们对此佯谬一直众说纷纭、争论不休。

以下是“薛定谔猫”的实验描述。

把一只猫放进一个封闭的盒子里,然后把这个盒子连接到一个装置,其中包含一个原子核和毒气设施。设想这个原子核有50%的可能性发生衰变。衰变时发射出一个粒子,这个粒子将会触发毒气设施,从而杀死这只猫。根据量子力学的原理,未进行观察时,这个原子核处于已衰变和未衰变的叠加态,因此,那只可怜的猫就应该相应地处于“死”和“活”的叠加态。非死非活,又死又活,状态不确定,直到有人打开盒子观测它。

实验中的猫,可类比于微观世界的电子(或原子)。在量子理论中,电子可以不处于一个固定的状态(0或1),而是同时处于两种状态的叠加(0和1)。如果把叠加态的概念用于猫的话,那就是说,处于叠加态的猫是半死不活、又死又活的。

量子理论认为:如果没有揭开盖子进行观察,薛定谔猫的状态是“死”和“活”的叠加。此猫将永远处于同时是死又是活的叠加态。这与我们的日常经验严重相违。一只猫,要么死,要么活,怎么可能不死不活、半死半活呢?别小看这个听起来似乎荒谬的物理理想实验。它不仅在物理学方面极具意义,在哲学方面也引申出了很多的思考。

谈到哲学,聪明的读者又要笑了,因为在古代哲学思想中,不乏这种似是而非、模棱两可的说法。这不就是辩证法的思想吗?你中有我,我中有你,一就是二,二就是一,合二而一,天人合一……如此而已。

此话不假,因此才有人如此来比喻“薛定谔猫”:男女在开始恋爱前,不知道结果是好还是不好,这时,可以将恋爱结果看成好与不好的混合叠加状态。如果你想知道结果,唯一的方法是去试试看,但是,只要你试过,你就已经改变了原来的结果了!

无论从人文科学的角度如何来诠释和理解“薛定谔猫”,人们仍然觉得量子理论听起来有些诡异。有读者可能会说:“你拉扯了半天,我仍然不懂量子力学啊!”

还好,刚才我们已经给读者打了预防针,不是吗?没有人懂量子力学,包括薛定谔自己在内!薛定谔的本意是要用“薛定谔猫”这个实验的荒谬结果,来嘲

笑哥本哈根学派对量子力学、对薛定谔方程引进的“波函数”概念的概率解释，但实际上，这个假想实验使薛定谔自己站到了自己奠基的理論的对立面上，难怪有物理学家调侃地说道：“薛定谔不懂薛定谔方程！”

薛定谔不仅对量子力学有巨大的贡献，他的个人生活也多姿多彩，超凡脱俗，这两者之间还有着紧密的联系哦。

薛定谔应该具有超凡的个人魅力，风流倜傥，女友无数。用中国人传统的话来说，他是一个十足的“风流才子”。据说薛定谔有很多情妇，且乐于让人知道这点。尽管薛定谔和太太安妮的关系很好，但他们夫妇对婚姻和爱情的观点，就像薛定谔对量子力学的诠释一样，非同凡响，与众不同，这点常为人们津津乐道，成为朋友们茶余饭后的有趣话题。薛定谔有不少私生子。他赴英国牛津大学任教时，要求牛津大学聘任亚瑟·马胥为其助理，原因是因为薛定谔爱上了马胥之妻希尔妲。希尔妲曾为薛定谔产下一女。薛定谔还和另两名爱尔兰籍女子有私生子。薛定谔的妻子安妮也和他的朋友赫尔曼·外尔有暧昧关系。

在第二次世界大战之前的 20 世纪 30 年代，薛定谔曾到美国普林斯顿作研究，他不但有太太陪同，还带上了情妇，在普林斯顿这个当时颇为保守的小镇，引起了一片轰动。薛定谔对此印象深刻，这大概也是战争之后，他未去美国发展的原因之一。

薛定谔还写过一本生物学方面的书和许多科普文章。1944 年，他出版了《生命是什么》一书。此书中薛定谔自己发展了分子生物学，提出了负熵的概念，他想通过物理语言来描述生物学中的课题。之后发现了 DNA 双螺旋结构的沃森(James D. Watson)与克里克(Francis Crick)，都表示曾经深受薛定谔这本书的影响。

天才科学家薛定谔的风流故事诱发了纽约剧作家、舞台剧编导马修·韦尔斯的灵感，写出了一部名为《薛定谔的女朋友》的舞台剧。

这部舞台剧是关于爱、性和量子物理学的另类浪漫喜剧。剧作家马修·韦尔斯本人，并没有受过超出高中课程的科学教育，但却痴迷于物理学的神秘。他说：“我永远无法进入数学，但我发现它背后的概念、视觉和类比，是如此引人入胜！”

2001 年 11 月，《薛定谔的女朋友》在旧金山著名的 Fort Mason Center 首演。之后，2002~2003 年又在纽约及其他各地演出多场。

剧中有这么一段饶有趣味的話：“到底是波动-粒子的二象性难一点呢，还是老婆-情人的二象性更难？”薛定谔有很多情妇，身边不乏红颜知己。薛定谔的女友和薛定谔猫一样不确定，薛定谔的婚姻爱情观和他的物理理论一样，不同凡

响。薛定谔是个“多情种子”类的人物，他的情妇虽然多，但据说他每爱一个女人时，都是真心实意、全神贯注的。也许我们可以用量子力学的语言来作个比喻：薛定谔的感情和性生活，总是处于一个包括很多本征态的复杂叠加态中；一定时期，叠加态“坍缩”到某个本征态，薛定谔便投入一个女友的怀抱。

但是，在薛定谔众多的女友中，有一位很不一般的神秘女人，正是她，成为了这部舞台剧的女主人公。薛定谔在《生命是什么》一书中还认真探讨过男女关系，认为女人是红色，男人是紫色，男人创造的灵感来自于女人，这大概也是薛定谔科学灵感的真实来源吧。

在1925年的圣诞节前，薛定谔像往年一样，来到美丽的白雪皑皑的阿尔卑斯山上度假，但这次陪伴他的不是太太安妮，而是一位来自维也纳的神秘女友。薛定谔的这位女友神秘莫测，直到八十多年后的今天，也无人考证出她的身份来历。她不是考证者已知的薛定谔情妇中的任何一位。无论如何，在这对情侣共度佳期的时期内，这位神秘女郎极大地激发了薛定谔的灵感，使得他令人惊异地始终维持着一种极富创造力和洞察力的状态。因此，物理学家们说，薛定谔的伟大工作是在他生命中一段情欲极其旺盛的时期内作出的。薛定谔自己也不否认这点，他认为，通过观看这个引人注目的女人，他找到了困惑科学界波粒二象性看似矛盾的关键。果然，之后的一年内，薛定谔接连不断地发表了六篇关于量子力学的主要论文，提出了著名的薛定谔方程。因此，在享受量子力学带给我们辉煌灿烂的科技成果的今天，我们也应该感谢这位神秘女郎的贡献。

综上所述，是“薛定谔的神秘女友”激发了薛定谔天才的想象力和灵感，使其建立了微观世界中粒子的波函数所遵循的薛定谔方程。然后，薛定谔不同意哥本哈根派对波函数的解释，设计了“薛定谔猫”的思想实验。用薛定谔自己的话来说，他要用这个“恶魔般的装置”，让人们闻之色变。薛定谔说：“看吧，如果你们将波函数解释成粒子的概率波的话，就会导致一个既死又活的猫的荒谬结论。”因此，概率波的说法是站不住脚的！

这只猫的确令人毛骨悚然，相关的争论一直持续到今天。连当今伟大的物理学家霍金也曾经愤愤地说：“当我听说薛定谔猫的时候，我就想跑去拿枪，干脆一枪把猫打死！”

在宏观世界中，既死又活的猫不可能存在，但许许多多实验都已经证实了微观世界中叠加态的存在。总之，通过薛定谔猫，我们认识了叠加态，以及被测量时叠加态的坍缩。

叠加态的存在，是量子力学最大的奥秘，是量子现象给人以神秘感的根源，是我们了解量子力学的关键。

第二章 量子小妖精

要正确地理解量子力学,追溯其发展历史是非常必要的。量子力学不同于相对论和牛顿力学,它更少被罩上个别伟人的光环。它可说是有史以来最出色和最富激情的一代物理学家集体努力的成果。综观量子力学发展史,真可谓是群星璀璨、光彩纷呈。因此,让我们先回头看看历史。

说到当时的“那一代”物理学家,最令人瞩目的是他们的年龄。在这点上,量子论的发展可与近年来互联网公司的发展相提并论:都是一群年轻人的天下!看看当年那一批争奇斗艳、光彩夺目的科学明星吧,当他们对量子力学作出重要贡献时,大多数是 20~30 岁的年龄。这个事实正应了中国人常说的一句老话:“自古英雄出少年”。

让我们细数当初的青年物理学家们对量子力学作出重要贡献时的年龄^[3]:

爱因斯坦 1905 年提出光量子假说,26 岁;

玻尔 1913 年提出原子结构理论,28 岁;

德布罗意 1923 年提出德布罗意波,31 岁;

海森伯 1925 年创立矩阵力学,1927 年提出不确定原理,24~26 岁。

还有更多的年轻人:泡利 25 岁,狄拉克 23 岁,乌仑贝克 25 岁,古德施密特 23 岁,约尔当 23 岁……也有几个稍微年长一点的:薛定谔 36 岁,玻恩 43 岁,普朗克 42 岁……

物理学家们将量子力学的诞生之日定为 1900 年 12 月 14 日。那是柏林干燥而寒冷的冬天,普朗克在亥姆霍兹研究所的德国物理学会会上,宣读了他关于黑体辐射的论文的那一天。在此之前,牛顿力学加上麦克斯韦方程建造的宏伟物理大厦虽然还巍然挺立,但天空已经阴云密布,一片“山雨欲来风满楼”的气氛弥漫其间。42 岁的普朗克(Max Planck, 1858~1947, 图 2.1)战战兢兢地伸出脑袋看看天,身边是潘多拉的盒子,这妖精该不该放出来呢?也许它能驱散乌云,恢复蓝天,也许它将如同石头缝里蹦出的孙猴子,挥动金箍棒,将世界搅得地覆天翻?普朗克的直觉告诉他,结论会是后者。天性平和保守、反对怀疑和冒险的普

朗克,这次面对了一个两难局面:他既不愿意释放这个怪物出来扰乱世界,也不甘心将自己斗争了六年的科学成果束之高阁。但是,妖精总是要出来的,天意不可违啊。最后,普朗克决定不惜任何代价孤注一掷。于是,盒子被打开,量子力学这个精灵就此诞生了^[4]。

上文描述了普朗克从经典走向量子时犹豫不决的踌躇心态,这一段历史,有普朗克在 1931 年给好友伍德(Willias Wood)的信为证^[5]。

之后的一百多年,尽管量子物理学迎来了一个又一个的里程碑,成果斐然,但由于它惊世骇俗、不同凡响的本质,犹如孙悟空难跳出如来佛的掌心,量子理论每前进一步似乎都举步维艰。

其实,整个物理学在争论些什么呢?说穿了也很简单。那是最古老也最困惑人的问题:“光,到底是什么?物质,又是什么?”

用现代的语言,说得再具体一些:“光和物质,到底是粒子还是波?”这个粒子说、波动说纠缠不清的问题,穿越时空几百年,引发了各种学说理论,伴随着越来越精确的实验验证,也招来了一场又一场持续不断的口水战。

在量子力学诞生之前,对此问题的争论有过一段时期的平静。那就是上文所说的“牛顿力学加上麦克斯韦方程建造的宏伟物理大厦”辉煌鼎盛之时。当时的物理学界以为一切完满、天下太平,对于光来说,牛顿的微粒说已经过时,古老的问题已经不是问题,答案犹如铁板钉钉:“光是一种电磁波,符合美妙无比的麦克斯韦方程;其余的物质粒子,则符合放之四海而皆准的牛顿力学。”

连躲在天国中的“拉普拉斯妖”也俯首下望,而且沾沾自喜地向世界宣称他的决定论:“一切都在控制之中。给我宇宙现在的状态,我将可以告诉你宇宙的过去和未来!”

然而,科学家们对世界的探索永远不会停止,探索的结果使晴朗的天空飘起了两片不起眼的小乌云,那是迈克耳孙-莫雷实验和有关黑体辐射的研究。两片小乌云使物理学界陷入了困境。一切想驱散乌云的努力都适得其反。乌云日积月累,越来越大,以至于发展到了压顶之势。

再后来,第一片乌云动摇了牛顿力学,引发了爱因斯坦的相对论革命;第二片乌云,则诞生了本书所讨论的量子理论。

黑体辐射问题到底给经典物理造成了些什么麻烦呢?物理学是以实验为基



图 2.1 普朗克