

上帝不掷骰子

量子物理简史

李淼 著



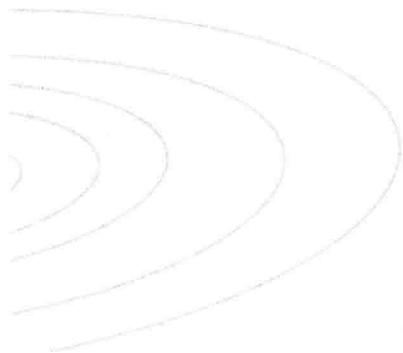
北京联合出版公司
Beijing United Publishing Co., Ltd.

上帝不掷骰子

量子

物理

简史



季焱 著



北京联合出版公司
Beijing United Publishing Co., Ltd.

图书在版编目(CIP)数据

上帝不掷骰子:量子物理简史/李森著.-北京:
北京联合出版公司,2018.7
ISBN 978-7-5596-2079-8

I. ①上… II. ①李… III. ①量子论—物理学史
IV. ①O413-091

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第094639号

上帝不掷骰子:量子物理简史

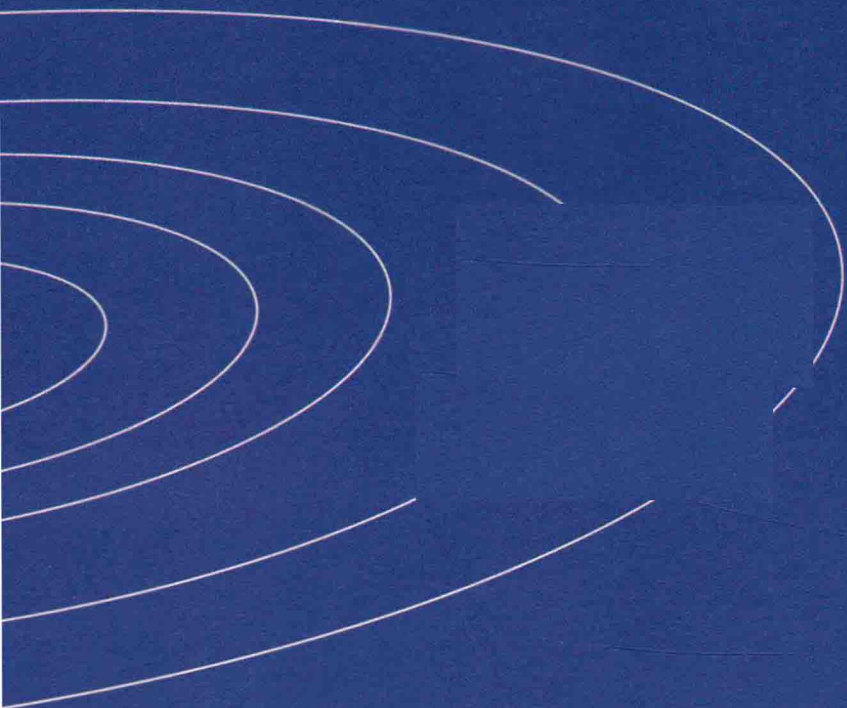
作 者:李 森
责任编辑:杨 青 高霁月
内文设计:沐希设计

北京联合出版公司出版
(北京市西城区德外大街83号楼9层 100088)
北京市雅迪彩色印刷有限公司印刷 新华书店经销
字数170千字 700毫米×980毫米 1/16 印张15.5
2018年7月第1版 2018年7月第1次印刷
ISBN 978-7-5596-2079-8
定价:49.80元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书部分或全部内容
版权所有,侵权必究
如发现图书质量问题,可联系调换。质量投诉电话:010-82069336

目 录

CONTENTS



- 第 01 课 | 想象一个我们看不到的世界——量子力学的开端 /001
- 第 02 课 | 普朗克：当某样东西具备无限大能量的可能时……/014
- 第 03 课 | 为什么我们无法拥有透视眼？ /026
- 第 04 课 | 不确定的世界可以有多大可能性？ /035
- 第 05 课 | 海森堡：你永远只能 get 到一半的世界 /047
- 第 06 课 | “不确定”不是我们的办法有问题，而是我们根本没有办法 /056
- 第 07 课 | 当我们谈论量子的时候，波发生了什么？ /067
- 第 08 课 | 了不起的薛定谔方程 /076
- 第 09 课 | 量子理论和佛学有关吗？ /085
- 第 10 课 | 你以为是真实就是量子的真实世界吗？ /094
- 第 11 课 | 如雪崩般爆发的光子诞生了激光 /104
- 第 12 课 | 薛定谔的猫死了吗？ /115
- 第 13 课 | 半导体的前世今生 /126

第 14 课 | 现实版谢耳朵的故事以及英特尔的诞生 /134

第 15 课 | 在绝对零度中活跃的超导体分子们 /142

第 16 课 | 按人类年纪来算，计算机多大了？ /149

第 17 课 | 光在量子力学进程中的贡献 /156

第 18 课 | 有了量子通信，再也不担心个人信息泄露啦！ /164

第 19 课 | 从量子力学角度看意识与物质世界的关系 /172

第 20 课 | 为什么物质具有稳定性？ /183

第 21 课 | 你知道量子力学是材料科学的后盾吗？ /193

第 22 课 | 为什么世界是一个量子场？ /201

第 23 课 | 除了万有引力和电磁力外，还有哪些相互作用力？ /212

第 24 课 | 被学术界承认的最大的发现：黑洞蒸发 /219

第 25 课 | 黑洞不是尽头，是存在的开始 /228

淼叔爱问答 /237



第 **01** 课

想象一个我们看不到的世界——

量子力学的开端

这是我们进入量子世界的第一课。那么，什么是量子力学？一个由量子力学主宰的世界，到底是什么样的？

下面，大家将开启一场量子世界之旅。

遨游神奇的量子世界，我们首先从回顾经典世界，也就是我们日常生活的世界开始。日常所见的量子力学教科书，都是按照历史的顺序来讲述的。但是，这样的叙述过程是违反逻辑的，即使量子力学理论的确是按照历史的顺序一步一步展现在世人面前的。其实，如果我们对历史做一个梳理，就会发现历史顺序并不是最好的叙述方法。因此在这本书里，我们要抛开历史顺序，从逻辑的角度来谈论一下量子力学的发现过程。

在 20 世纪以前，我们对经典世界的认识主要来自牛顿（Isaac Newton）爵士。大家知道，从牛顿开始，现代科学诞生了。牛顿爵士建立了一门全新的学科，叫经典力学，也称牛顿力学，其核心是牛顿运动学三定律和万有引力定律。

在物理学上，我们把物体想要保持原有运动状态的特性叫作惯性，所以牛顿第一定律也叫惯性定律。

牛顿第一定律说的是，如果没有外力，物体会一直保持它原有的运动状态。一个静止的物体，你要是不去

推它，它就会一直不动；而一个在真空中运动的物体，你要是不去拦住它，它就不会停下来。

牛顿第二定律说的是，力能改变物体运动的速度。比如说，一个静止的物体，你推它一下，它就会动起来；而一个运动的物体，你把它抓住，它就会停下来。还有一点很关键：对于质量越大的物体，要改变其运动状态就得花更大的力气。

牛顿第三定律是说，你要是对物体施加一个作用力，就会受到物体给你的一个大小相等、方向相反的反作用力。举例来说，当你在健身房击打沙袋的时候，会感到沙袋给你一个回馈的力。你用力越大，沙袋的回馈力就越大，这就是作用力和反作用力在起作用。

除了这三条运动学定律，牛顿爵士还发现了一条关于力的新定律，叫万有引力定律。它说的是，任何两个有质量的物体之间都存在着一种彼此吸引的力，其大小与两个物体质量的乘积成正比，而与两个物体间距离的平方成反比。这种力普遍存在于整个宇宙。我们都听说过牛顿与苹果的故事。一个成熟的苹果掉落，才引起了牛顿的思考。这种能够让成熟的苹果从树上掉下来的力就是吸引力。另外，使得月球绕着地球转，以及让各大行星绕着太阳转的力也是这种吸引力，而这种无处不在的吸引力被称为万有引力。

这几条定律看似非常简单，但千万不要小



牛顿爵士

看这几条简单的定律。由于牛顿力学的巨大成就，20 世纪前的科学家们普遍相信，牛顿运动学三定律和万有引力定律就是主宰整个宇宙的终极真理。

后来，在物理学中，牛顿的这些发现被总结成牛顿的物理学规律。我们今天回过头来看这些物理学规律，就会发现它们只适用于我们在日常生活里看到的宏观现象，例如飞机的飞行、汽车的跑动、火车的行驶、蒸汽机的运行规律等等，包括太阳、地球、行星，甚至宇宙的运行规律，也都是宏观的。我们可以用牛顿的物理学规律做出确定性的预测，这是牛顿的物理学规律的一个重要特点。比如说，太阳在早上升起来，在黄昏时落下去，这些预测基本上都是确定的。再具体点说，牛顿的物理学规律可以对“明天的太阳会在早上 7 点钟升起，在下午 7 点钟落下”这个现象，做出非常精确的预测，甚至精确到比秒还要短的时间长度，精确到比厘米还要小的空间尺度。因此，牛顿的物理学规律被称为决定论。也就是说，当我们知道了某一个物体现在的位置和速度，就能知道它在未来任何时刻的位置和速度。

决定论在 20 世纪以前一直是学术界的主流观点。关于决定论的盛行，最好的例子就是法国物理学家拉普拉斯（Pierre-Simon Laplace）的故事。

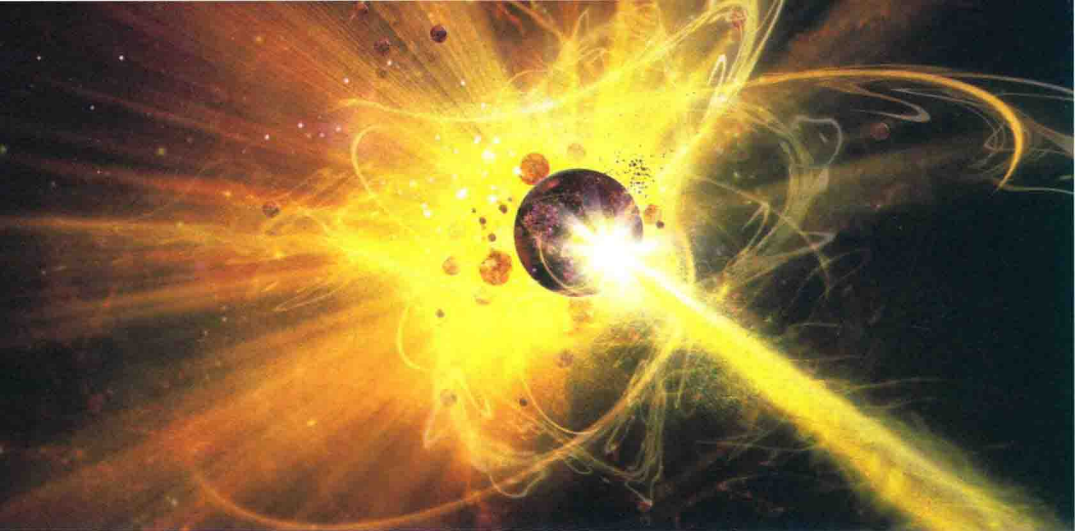
拉普拉斯是牛顿力学的忠实信徒。他曾说过：“我们可以把宇宙现在的状态视为其过去的果以及未来的因。如果一个智者能知道某一时刻所有的力以及所有物件的运动状态，那么未来就会像过去一样出现在他的面前。”

这个拉普拉斯口中全知全能的智者，后来被人称为“拉普拉斯妖”。



拉普拉斯用牛顿力学计算了太阳系中所有行星的运动，然后写成了一本叫《天体力学》的书，献给了刚刚登基的法国皇帝拿破仑（Napoléon Bonaparte）。拿破仑看了书后问他：“你这本书讲的全是天上的事，为什么一个字都没有提到上帝？”拉普拉斯回答：“陛下，在我的理论里，不需要假设上帝的存在。”而这本书后来成为经典天体力学的代表作。

拉普拉斯与拿破仑的相识颇有渊源。拉普拉斯在18岁那年带着一封推荐信去了巴黎，想要见著名科学家达朗贝尔（Jean le Rond d'Alembert）一面。但是，达朗贝尔把他当成一个小毛孩儿，给他吃了闭门羹。拉普拉斯就把一篇自己写的论文寄给了达朗贝尔。达朗贝尔看了论文以后态度发生了180度的大转弯，不但马上见了拉普拉斯，还主动表示要当他的教父，最后甚至把他推荐到一个军事学校去教书。所以说，当你足够优秀的时候，最好的推荐人其实就是你自己。



而在那个军事学校里，拉普拉斯和一个矮个子的学生结下了不解之缘。这个所谓的“矮个子”就是日后威震欧洲的拿破仑。随着拿破仑一步步地登上法兰西权力之巅，拉普拉斯也跟着飞黄腾达起来。在拿破仑称帝的时候，他甚至被委任为法国的内政部长。可惜拉普拉斯虽然做科研是一把好手，搞行政却是一个十足的饭桶，只在内政部长的位子上干了短短六个星期，就被忍无可忍的拿破仑罢了官。

再回到牛顿的经典力学。其实，牛顿的决定论还有另一个名称——机械论。

在哲学的范畴里经常会说机械论是不好的。假如我们说一个人的思维太机械了，意思就是这个人的思维比较固化。按照牛顿决定论的逻辑，也就是说这个人的思维是可以预测的。这就像宏观世界中的一些物理学现象，当你看到一件事情时，就会想到相关的其他事情，随后做出相应的反应。

我们可以把这种物理学规律以及人的行为做一个非常精妙的比喻，把它们比作一座大钟。一座大钟如果运转正常，那么上好发条之后，钟就会有有条不紊地走下去，一直到能量耗尽。

但是，我们就有疑问了：上述这些现象，即决定论的预测，一定

是终极的吗？是绝对不可改变的吗？

其实，如果学习了量子力学，我们就会说：不是这样的。

到了20世纪以后，科学家发现牛顿力学其实只适用于我们日常生活的宏观世界，如果把牛顿力学放到尺度特别小的微观世界就行不通了。这就涉及另外一个重要的问题：所有宏观物体的背后，是否还有我们所不了解的地方？

比如说，我们面前放着一台电脑。我们可以把这个电脑拆解开，电脑有显示屏和主机，拆开主机后有主板，而主板上集成电路……我们可以把电脑一直这样分解下去，分解到非常微小的部分，这些部件既有人造的，也有非人造的。

再比如，我们面前有张木制的桌子。如果用显微镜来看，通过研究木头中非常细小的纹路，我们就发现了干化的细胞。在这之后，只要你拥有足够强大的显微镜，你就能看到细胞里面有很多更微小的结构，比如细胞核、线粒体和DNA。

万事万物都是由分子和原子构成的，通过这个我们可以想到古希腊的原子论。古希腊人的理论就是在逻辑上推演出来的。他们想了解万事万物的内在到底有没有更基本的东西，于是他们就向事物的



拿破仑·波拿巴

内部深处推演。

举个例子，有一块石头，我们用锤子敲碎后会变成许多小石块。这些小石块也可以继续被敲碎，变成更小的石块。我们就这么一直敲下去，最后会敲出一个最小的石块，小到无论再怎么敲，都无法分割它了。那么，这个再也无法被分割的“石块”就被称为原子。

古希腊人早在 2000 多年前就已经提出了原子的概念，只不过古希腊人所说的原子，完全是一种哲学上的思辨。

原子是什么时候从哲学上的思辨进入科学中的？

最早从科学上阐述原子概念的人，是著名的奥地利物理学家玻尔兹曼（Ludwig Edward Boltzmann）。他认为很多宏观的现象，例如热量从温度比较高的地方向温度比较低的地方传递，就可以通过分子和原子理论来解释。玻尔兹曼一直相信世界是由原子构成的，并以此为基础创立了一门叫统计力学的学科。不过在那个年代，大家普遍不相信原子论，所以玻尔兹曼在学术上有一大批反对者。这些人常年攻击原子论，甚至直接攻击玻尔兹曼本人，这让他感到很痛苦。玻尔兹曼曾感慨自己是一个“软弱无力地与时代潮流抗争的人”，但他并非孤军奋战，当时有一个年轻的德国科学家也站在他这边。不过玻尔兹曼心高气傲，觉得这个支持他的德国人是个无名小卒，根本看不上眼。而这个德国科学家不是别人，正是日后被称为“量子论之父”的普朗克（Max Karl Ernst Ludwig Planck）。

这里我们先插播一则玻尔兹曼的趣事。

玻尔兹曼是一个很奇怪的老师，他上课时不喜欢往黑板上写东西，光是自己一个人在讲台上“哇啦哇啦”地讲个不停。有学生向他抱怨说：

“老师，你以后得往黑板上写公式，光讲不写我们都记不住啊。”玻尔兹曼一口答应了。但是到了第二天，他又在课堂上滔滔不绝地讲，最后还总结道：“大家看这个问题，就像一加一等于二那么简单。”然后他突然想起上次对学生的承诺，于是拿起粉笔，在黑板上工工整整地写上了“ $1+1=2$ ”。（求当时学生们的心理阴影面积。）

我们再回到前面提到的桌子或者电脑，这两样东西都是固体，它们具有相似的性质。

同样，气体也有类似的规律。气体有压强和密度，我们把这些叫作宏观的量。牛顿的物理定律就是从这个概念出发的，也就是一切东西都是宏观的。你触摸一个东西，会感觉到它有温度；你称量一个东西，能得到它的质量有多少；你周围有空气，因此你就可以感受到大气压强。

比如，在地面上，压强是1个大气压；当你登上高山，气压就降低了。在上海的1个大气压条件下煮水，水到100摄氏度才会沸腾，但是到了青藏高原上，由于压强降低，所以水不到100摄氏度就沸腾了。我们这里说的水沸腾的温度、大气的压强、水的温度和水的密度等，都是宏观的概念。

其实，从19世纪末一直往前推，直到牛顿和伽利略，甚至到更早



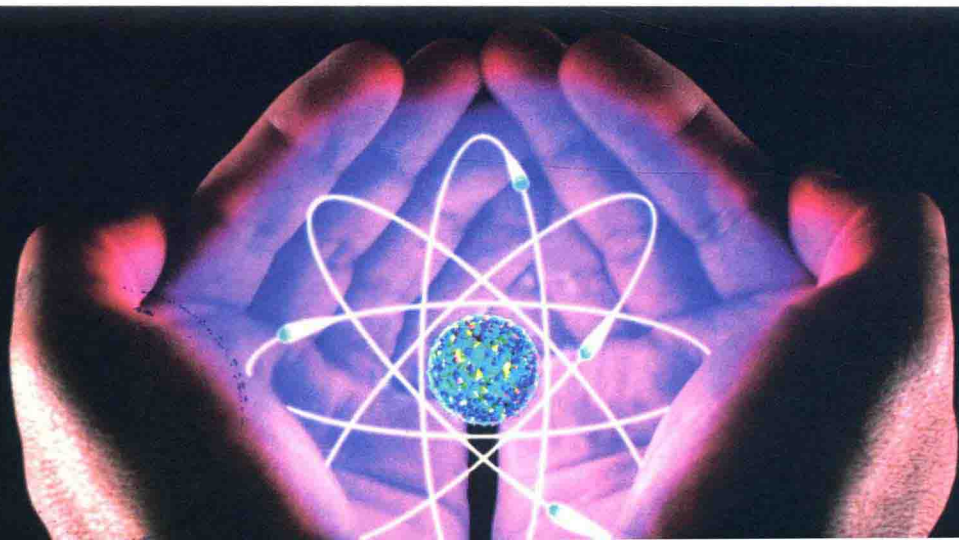
的古希腊时期，人类都是用宏观的概念来描述这个世界的。

但是从古希腊的原子论开始，到 19 世纪下半叶的原子理论，科学家们其实早就开始去想象一个我们看不见的世界了。如果你没有足够强大的放大镜或者显微镜，就永远不会知道木头里面有细胞，细胞里面还有分子和原子。而在那个时候，人类还没有发明出跟现在一样强大的放大镜或是显微镜。因此，这些古希腊的哲人和物理学家就要利用他们的想象，去探知一个我们无法直接通过肉眼就能看到的世界。

如果我们要解释一下宏观的现象，再追问这些现象中最根本的原因，该怎么办呢？

有一个最简便的办法：假定分子和原子是存在的。比如，玻尔兹曼就曾假设，一团气体的温度其实标志着这团气体里面的分子和原子运动的速度，这些原子运动的速度越快，气体的温度就越高。这就是一个关于原子的假说。

到了 20 世纪初，很多物理学家都提出了一些理论。特别是爱因斯坦（Albert Einstein），在 1905 年提出了狭义相对论，还提出了光子



的概念。

他同时还提出了一个非常聪明的办法来证明分子和原子是存在的。那就是通过在放大镜下观测花粉在液体中的运动来间接地观察分子和原子，这种运动就叫作布朗运动。

花粉虽然小，我们用肉眼看不到而需要用放大镜去观察它，但是它没有小到分子和原子那样的程度。因此，花粉还是一个比较宏观的物体。爱因斯坦说，由于花粉在液体中受到液体里包含的大量分子和原子的碰撞，它就产生了像醉汉一样无规则的运动。他认为，通过测量花粉的运动规律，例如每秒钟可以走多远，就可以测量每立方厘米这种液体里含有多少分子和原子，这个数值就是所谓的阿伏伽德罗常数。

爱因斯坦是第一个用理论测量分子和原子的科学家。在他发表这个理论之后不久，就有其他物理学家，特别是法国的朗之万（Paul Langevin）等人，通过实验测出了阿伏伽德罗常数。这个常数代表了单位体积的物体内有多少分子和原子，比如说空气和水等。

这就把我们引入了以前只存在于想象中的那个世界，也就是古希腊人和 19 世纪下半叶的玻尔兹曼等物理学家想象中的那个微观的世界。这是牛顿和在他之后的物理学家没有办法想象的，也是我们在本书中要谈到的量子世界中的奇妙力量。

在这个微观世界中，到底是由什么物理学规律统治着？这个被我们称为“量子世界”的时空中的物理规律到底是什么样子？

太阳还会像在经典世界中一样，像我们准确预测的那样在“早上 7 点升起，在黄昏 7 点时落下”吗？或者我们是不是没有办法跟