

诺贝尔奖大师力作

堪比《时间简史》的著作

黑洞、引力波、波粒之争、希格斯机制等权威解疑尽在其中

物理大爆炸

THE PROBLEMS
OF PHYSICS

[英] 安东尼·J·莱格特 (Anthony J. Leggett) / 著
王 顺 / 译



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



物理大爆炸

THE PROBLEMS OF PHYSICS

[英] 安东尼·J. 莱格特 / 著

王 顺 / 译



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书为2003年诺贝尔物理学奖得主、量子物理学大师安东尼·莱格特教授面向普通大众的科普著作。物理学作为推动科技发展的原动力之一无疑值得我们更多的了解和思考。作者莱格特教授以通俗的语言揭示了一个玄妙但并不神秘的物理世界,可谓是物理学知识集中普及的一次“大爆炸”。许多物理、天文爱好者关注的黑洞、引力波、宇宙膨胀、时间弯曲、时间之箭、波粒之争等话题也在这本书中得到充分讨论。正如作者所言“物理学家们就像在一个裂开的冰川中攀岩”,物理成果的每次获取都需要经历冒险但过程却充满惊喜。让我们一起加入这场探险之旅吧!

图书在版编目(CIP)数据

物理大爆炸/(英)安东尼·J.莱格特(Anthony J. Leggett)著;
王顺译. —上海:上海交通大学出版社,2017
ISBN 978-7-313-16299-1

I. ①物… II. ①安…②王… III. ①物理学—普及读物
IV. ①04-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第291768号

上海市版权局著作权合同登记号:图字09-2015-1175

© A. J. Leggett 1987

“THE PROBLEMS OF PHYSICS, FIRST EDITION” was originally published in English in 1987. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

物理大爆炸

著者:[英]安东尼·J.莱格特
(Anthony J. Leggett)

译者:王顺

出版发行:上海交通大学出版社

地址:上海市番禺路951号

邮政编码:200030

电话:021-64071208

出版人:郑益慧

印制:上海盛通时代印刷有限公司

经销:全国新华书店

开本:880mm×1230mm 1/32

印张:7

字数:160千字

版次:2017年1月第1版

印次:2017年1月第1次印刷

书号:ISBN 978-7-313-16299-1/O

定价:39.00元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:021-61453770

献给我的父母

献给晴子 (Haruko) 和朝子 (Asako)



中文版序

这本书写于 1986 年。如果我有机会在 2016 年从头开始再写一次的话，我也不会改变太多的东西。在过去的 30 年里，物理学对世界的描绘并没有太多变化。当然，书中提到的每一个特定领域都有一些重要的知识更新，下面我将它们列出来。但是从根本上讲绝大多数“已知”的和绝大多数“未知”的东西与 1986 年相比基本一致。

在粒子物理领域，过去 30 年最值得一提的进展很可能是 2012 年探测到了期待已久的希格斯玻色子的基本粒子，它的质量大约是 125 千兆电子伏 (GeV)。另一个有些出乎意料的发现是至少某些中微子有非常小的（大约 1 电子伏）但一定非零的质量。虽然这两个结果都与“标准模型”吻合，但是与 1986 年相比，这个模型是不是终极真相或者模型中的众多常数是不是有更透彻的解释，这两点目前都没有更加清晰的答案。

在宇宙学领域，至少有一个意料之外的重大进展和一个（某种程度上）意料之中的进展。意外来自 90 年代末人们发现宇宙的膨胀实际上是加速的，这和最简单版本的 FRW 模型预言的不管质量密度的值是多少，宇宙膨胀的速率都始终随时间减小的结论恰恰相反。关于这个令人惊讶的宇宙的状态，最为广泛接受的解释是除了公认组成宇宙很大一部分的“暗物质”之外，还存在一个重要的组成部分——“暗能量”。但是后者的本质现在还不

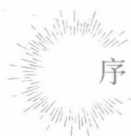
清楚，而且这整个想法最后可能只是一个权宜之计。另外一个更普遍被预见到的发展——大型实验物理的一次真正的胜利是2016年初激光干涉引力波天文台（LIGO）观测到引力波，这个结果彻底证明了爱因斯坦的广义相对论（如果之前的实验还不足以证明广义相对论的话）。而且接收到脉冲的形状和理论上预言的两个正在相互碰撞的黑洞产生的辐射完全吻合。

凝聚态物理中一个主要的颠覆性的结果是发生在之前公认的温度极限 25K（开氏度）之上的超导现象（实际上是在1986年末发现的，但是原版来不及将其收录）。“高温超导”现象最初被认为只在一系列层状材料铜氧化物中发生，其机理和绝大多数之前知道的材料都不一样。但是最近高温超导在其他地方也被发现，而且讽刺的是直到2016年末，超导温度的记录保持者（一种硫化氢化合物，其转变温度在极高压条件下是室温的2/3以上）似乎还是“经典”类型。一个在1986年之前并不存在，但令人激动的新领域是“量子通信”——一种利用量子力学领域的一些离奇特征，来实现保密通信（“量子密码”，已经被实现）和大规模并行计算（“量子计算”，很大程度上仍处于计划阶段）的技术。

最后，在书的最后一章我推测，当我们将量子力学的预言推广到日常生活的层面，我们会碰到某种危机。事实上，最近15年对量子描述的基本特征的测试延伸到了许多不同的系统，特别是超导器件。它虽然不处于“日常生活层面”但是也牵涉到百万个不同电子态的叠加。尽管如此，至今为止我们得到的所有结果都显示量子力学仍然运转良好。显然如果存在让量子力学分崩离析的结果的话，它一定发生在和我们日常经验更接近的层面，或者与日常经验完全无关的层面。

安东尼·J. 莱格特

2016年11月



序

本书的目的是想介绍一些现代物理学研究的主要问题。我只是假设读者已熟悉物质的原子图像（它可以说是我们现代文化的一部分了），除此之外，读者无须拥有任何专业背景。对于正文中提到的物理学中的一些具体观点，我会尽量通俗地阐释它们。

以这本书的篇幅几乎无法对我们称之为“物理学”的所有方面和领域进行哪怕是粗略的讨论。我从一开始就忽略了这个学科的所有“应用”或“技术”方面，以及有关它的组成和社会学等一系列的有趣问题。甚至是在物理学中被完全视为一个学术领域的内容，我也并未试图全部概括，如像原子、分子甚至原子核物理这样庞大的分支学科在本书中完全没有提到，而天体物理和生物物理这样的分支学科也仅仅简单涉及。在试着回顾介绍我们如何取得今天的进展之后，我集中讨论当前研究中的4个“前沿”领域：粒子物理、宇宙学、凝聚态物理和一些“基础性”问题，它们可以说代表了这个学科，分别对应了非常小、非常大、非常复杂和非常不清楚的前沿领域。我相信加入像地球物理和原子核物理等其他的分支学科也不会带来太多这4个领域中没有举例的新本质特征。

这本书集中讨论了现在物理学中存在的问题，而不是物理学已经给出的答案。所以，我花时间讨论我们现有的情况只是为了提供一个看待问题的有利角度。另外，尽管我尝试简要地介绍不同领域里采集实验信息的基本原理，但我并未试图去讨论实验设

计的具体方面。如果读者想要知道更多信息，无论是现存理论的框架还是目前使用的实验方法，请参阅罗列在“延伸阅读”中的各种书籍和文章。

最后，假设我的同行当中有人恰好看到了这本书，我想送给他们一句话：这不是给他们读的！他们无疑会不同意我对很多观点的表述；确实，我已经再三地、刻意地规避诱惑，免得让我的陈述去迎合一连串学术标准，这些标准对一些杂志评论文章是很重要的，但会让这本书对于非专业的读者变得难以消化。尤其是我非常强烈地意识到最后一章的简要讨论——能够将量子力学应用到复杂系统的证据，或者说缺乏证据——将一个高度复杂和技术性的问题过度简化了。如果将它单独拿来读的话，会让专业的物理学家觉得是误导的甚至是无法容忍的。我只能说我在其他的地方展开了关于此话题广泛的、学术上的详细讨论。而且我请求那些潜在的批评者，在他们愤慨地拿起笔来诉说我的观点是怎么显而易见地缺乏见解或荒谬之前，也同样阅读一下这些更学术性的论文。

我对伊利诺伊大学和其他地方的同事表示感谢，与他们的讨论帮助我阐释清楚了在这里讨论的一些主题。我尤其想感谢戈登·贝姆 (Gordon Baym)、迈克·斯通 (Mike Stone)、乔恩·塞勒 (Jon Thaler)、比尔·沃森 (Bill Watson) 和比尔·怀尔德 (Bill Wyld)，他们帮我阅读这本书的初稿并提出意见与建议。更加笼统地说，这本书中隐含的对于已经建立的物理准则的整体态度，受到了多年以来与布莱恩·伊斯利 (Brian Easlea) 和艾伦·斯洛曼 (Aaron Sloman) 交谈的影响，我也向他们二位表达谢意。最后，感谢我的夫人和女儿对我精神上的支持，以及容忍因这本书的写作对家庭生活带来的干扰。

安东尼·J. 莱格特



目 录

第 1 章 物理学的演进 / 001

第 2 章 物质由何组成? / 037

第 3 章 宇宙: 结构与演化 / 085

第 4 章 人类尺度上的物理 / 119

第 5 章 不可外扬的家丑 / 153

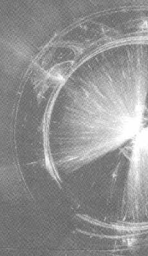
第 6 章 理论物理即将走向终点了吗? / 185

延伸阅读 / 195

索引 / 197

译后记 / 211

第1章 物理学的演进



“物理”（physics）这个词可追溯到亚里士多德，他写了一本以此为标题的书。但是这个词出自希腊语 *physis*，是“生长”或“自然”的意思。很多亚里士多德讨论的问题今天更自然地归入哲学或者生物学的范畴。的确，这个名字没有保留下来，在几个世纪中我们现在称为“物理”的学科一直被称为“自然哲学”，就是自然的哲学。在英国，有些物理学教授仍然保留着以此为名的职位。让我们先浏览一下这个学科过去几百年发展史中的几个里程碑，在这个过程中我将尝试向读者指出一些基本概念（我们会在后面几章里遇见它们）。

虽然现代物理学供奉的一些世界观的零碎成分肯定可以追溯到中国、印度、希腊和一些 2 000 多年前的其他文明，但这门学科作为一个我们所熟知的连贯、定量的学科的起源，还是会被大多数历史学家定位在中世纪晚期和文艺复兴初期的欧洲。为什么以及怎么会有这些影响深远的进展发生在这一时间和这一地点？它们怎样反映了文化中的古老传统，并且这些前科学传统中的一些思想怎样继续在当今物理学家有意无意的假设中容光焕发？这

2 些都是十分有趣的问题，但是在本书里我既没有篇幅也没有历史学的专业技能去讨论它们。在现有背景下，我们只需要记得我们所知的物理学是起源于对两门完全不同的学科——力学和天文学——的系统 and 定量的研究就够了。对每一个学科而言，当时的技术进步是它们前进的必要因素。这在天文学这个例子中很明显，如在大约公元 1600 年，望远镜的发明就是一个主要的里程碑。但在力学的发展中，精确时钟的技术发展可能起到了更基础的作用。因为人们第一次拥有了能够重复地、定量地测量不单是空间还有时间的标尺，然后人们能够开始定量地思考诸如速度和加速度等概念，并最终形成了牛顿力学的公式化语言。随着 16 和 17 世纪的技术发展，宏观物理学中越来越多的概念，如我们熟知的质量、力、压强、温度等开始有了定量的意义；许多与它们相关的经验定律变得妇孺皆知，如描述光在玻璃等材料中折射的斯涅尔定律，描述气体压强和体积关系的玻意耳定律，描述弹性弹簧的形变和受力关系的胡克定律等。与此同时，在化学这门姐妹科学的研究中，科学家们根据混合不同物质的比例开始定量地用公式表达定律——虽然当时，或者说其实在那之后的几个世纪里，这些总结与物理学家们研究的力学问题有何关联都没有被弄清楚。

一直被我们当之无愧地尊为“物理学之父”的人是牛顿（1642—1727 年）。牛顿为物理学很多不同的分支作出了基础性的贡献，但在这门学科中留下了不可磨灭的印记的是他在力学和天文学上的工作。他做的事情包括：第一，明确地用公式表述了宏观物体的力学基本定律，直至今日我们还相信这些定律的有效性（从忽略量子力学以及狭义和广义相对论效应的程度上说，这对于地球上的物体是个极好的近似）；第二，与其他人一起发展相关的数学（微积分学），使运动方程在许多有趣的物理情景下

得以解出；第三，认识到了力学的基本原理在地球和天上是同等正确的，即保持行星在围绕太阳的轨道上运动的力，正是负责把地球上的物体向下拉的力——万有引力。在每种情况下，引力都和参与物体的质量乘积成正比，并与他们相隔的距离平方成反比。

牛顿运动定律是现代物理学最根本的基石，以至于我们很难想象如果没有它们这门学科会变成什么样子。这里有必要把它们写出来：

(1) 一切物体都会保持静止或者匀速直线运动状态，除非所受外力迫使它改变当初状态；

(2) 运动的改变与施加的动力成正比，并且与施加的外力方向相同（即平行于力的方向）；

(3) 每个作用力都会产生一个同样大小的反作用力；或者说两个物体之间的相互作用力总是大小相等，作用于对方（即沿着相反方向）。

也许比这些定律的具体形式更根本的是隐含在其中的假设，关于我们想提什么问题的假设。特别是想想牛顿第二定律，它的现代表述为：物体的加速度等于它的受力除以质量。加速度是速度随时间的变化率，而速度是位置随时间的变化率。所以，如果一个物体的受力以及它的质量都已知的话，我们可以计算位置随时间的“变化率的变化率”。用数学术语说，运动方程是一个关于时间的二阶微分方程。所以为了得到一个确切的解，我们需要两条额外的信息：物体在一个初始时间的位置和当时的速度。事实上，他们并不是唯一能够决定解的信息。例如，我们如果明确期初和期末的位置，也可以求出唯一的解。但是非常明显，在很

4 多实际问题中——比如计算炮弹的运动轨迹或者行星的运动——我们最有可能得到的两条信息还是初始位置和速度。因此，我们倾向于视以下流程为力学“解释”的范式，就是明确初始数据并利用牛顿第二定律来推导待解物体在这之后的运动行为；然后通过推测，来假定自然科学中所有或者大部分的解释——至少是所有特定事件的解释——都要满足一个程序，让我们在给定系统的初始状态后能够预测或者导出它后续的行为。例如，在宇宙学中我们不假思索地假定，一个对宇宙现在状态的“解释”一定要参考它的过去：宇宙现在如此是“因为”它当初如何，而不是因为它将如何结束或者其他类型的原因。很有意思的是，这个明确根植于纯粹拟人化考虑的“解释”观，已经经受了来自相对论和量子力学猛烈的概念革命，对此大多数时候人们可能认为这些拟人化的考虑是毫不相关的。

如果牛顿没有第二项重大贡献，他的经典力学基本方程的表达就不会有这么大的影响，这项贡献就是发展了在一些有趣情况下解这些方程的数学方法。但是他的第三个成就——对地上和天上的力学定律进行统一的认知——从长期来看可能是最重要的。今天我们已经很难体会这一概念上的巨大飞跃，即推测使那个传奇苹果落地的力正是拉住行星在轨道上运动的力。这是物理学历史上一系列大“统一”理论的第一个，在这些理论中自然界迥然不同的现象被认为是同一个基本作用的不同表现形式。这里和其他许多情况一样，认识统一论需要远超人们直接可测的推断：牛顿可以设计出在地球上测量引力的方法，但是他只能假设同样的力也作用在太阳系的范围内，然后通过算出的结果来验证这一假设，其中的有些结果在几个世纪之后才能被直接检验。乍一看，牛顿力学的巨大成功似乎告诉我们，大胆地将相对较小的系统中能够直接验证的自然定律推广到极远的地方是可以获得成功的，

不单是空间或时间上的，例如也可以是物质质量上的——正如我们将要看到的，在物理学的一些领域中，这个经验确实得到了很好的应用。 5

在牛顿去世后的一个世纪里，物理学发展得相对顺利。一方面，他的运动定律被应用到越来越多的复杂力学问题上，取得了巨大进展。这个进展在很大程度上被认为与其说是物理学的，不如说是应用数学的，因为问题只是在越来越复杂的情况下解出牛顿方程；在明确初始条件和作用力以后，这只是一个纯数学的运算，虽然它的“收益”是在物理学（我会在之后更为概括地讨论这一点）。在这个数学的发展过程中，人们对牛顿定律进行过许多简洁的重新阐述（例如一个著名的原理就是：在给定条件下，一个物体会在两点之间选择时间最短的路径运动）；而最终这些阐述成为了一个多世纪后量子力学发展的重要线索。有意思的是，如果18世纪末和19世纪初的数学家能够使用现代的计算设备，那么他们就不具备发展这些简洁表述的动机，而最终向量子力学的转变很有可能比现实情况更痛苦。

在这时期在不同的方向上，电磁学、光学和热力学领域——今日我们认为属于“经典”物理的学科——取得了一大堆实验上和理论上的进展。从研究静电和相关效应中，电荷的概念逐渐形成，电被认为与液体相似，并具有两种类型——正电和负电，并且物体可以带有不同量的电荷。最终，人们发现两个电荷之间的力与电荷量的乘积成正比（同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引），并且与它们之间距离的平方成反比（库仑定律）。同时，人们对电流的性质进行了研究，发现它们之间也有相互作用，作用力也与距离的平方成反比，但是具体取决于电流导线之间的相对方向（安培和毕奥-萨伐尔定律）。人们渐渐发现用场的概念来描述电磁学定律（也适用于引力定律）比直接相互作用更为简洁。 6

例如电荷可以产生大小与电荷距离平方成反比的“电场”，这个场可以在附近其他的带电物体上产生作用力。类似的，电流能产生一个“磁场”，作用于其他电流上（当然，人们发现如铁这样的磁性物质也会产生这种场，并受这种场作用，磁场因此得名）；一个具有质量的物体会产生“引力场”。刚开始的时候，这些场被想象成某种对空间的物理扭曲或者干扰；但是，我们将看到它们逐渐变成更抽象的术语，最后只不过是所讨论点处事件发生的可能性（量子力学随之出现）。当然早些时候，人们意识到拥有磁效应的电流只不过是电荷的流动，后来又发现电流大小与穿过导体的电场大小成正比（欧姆定律）。第二个电和磁之间的重要联系是法拉第发现的，磁体的运动可以在导体中产生感应电流，或者用场的语言来说，变化的磁场会自动产生电场。

在光学领域，认为光是一连串粒子（牛顿赞成的观点）的人们，与坚持光像水波一样是波的学派之间，产生了一场长时间的辩论（“微粒说”与“波动说”之争）。波动理论的支持者以干涉现象作为证据；由于这个现象对于现代原子和亚原子物理学来说是非常基本的概念，我有必要花些时间来解释它，这个解释用一个人工虚拟的而且老生常谈的例子来讲。假设我们有一个粒子源——比如说子弹——放在一个有两个狭缝的屏幕 S_1 后面（参见图 1）。第二个屏幕（ S_2 ）能够捕捉并记录这些粒子。我们假设粒子从屏幕狭缝的弹出方式是完全随机的，不能被计算或者预知，但是我们可以做出一个与这些细节毫无关系的确切预测。我们计算每秒钟到达 S_2 一个特定区域的粒子数，假设首先只把狭缝 1 打开，然后只把狭缝 2 打开，最后把两个狭缝都打开；而且粒子源喷出粒子的速率一直保持不变。此外，我们假设（如有需要这个可以被检验）开关一个狭缝不影响另外一个狭缝，而且装置中的粒子也没有多到会相互影响。然后记 N_1 是只有狭缝 1 打