

光辉的篇章

——从原子到基本粒子

斯蒂芬·温伯格 著
吴丹迪 吴慧芳 黄涛 译

华中师范大学出版社

光辉的篇章

——从原子到基本粒子

斯蒂芬·温伯格 著

吴丹迪 吴慧芳 黄涛 译



华中师范大学出版社

光 辉 的 篇 章
——从原子到基本粒子

斯蒂芬·温伯格著

吴丹迪 吴慧芳 黄涛 译

★

华中师范大学出版社出版发行

(武昌桂子山)

新华书店湖北发行所经销

武汉市汉阳县印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.5 字数 175千字

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

ISBN 7-5622-0618-X/O·70

印数 1200 定价: 3.80元

内 容 简 介

斯蒂芬·温伯格是弱电统一理论的创始人之一，他曾因此在1979年与格拉肖和萨拉姆分享诺贝尔物理学奖。自从他写了最畅销的科普读物《（宇宙）最初的三分钟》以后，他成了广大读者的朋友。现在他有志于帮助那些在其他方面受过良好教育，但是不懂科学而又希望了解科学的读者学习现代物理学。他写的这本教科书《从原子到基本粒子》介绍了电子、质子和中子是怎样发现的以及与此有关的物理知识，包括许多高深的物理概念及其简单应用，深入浅出，繁简相宜。书中穿插了大量重要科学史故事，夹以对自然哲学流派和研究方法的评论，图文并茂，妙趣横生。正文中只用到算术知识。此书也可以作为大、中学生的课外读物和大、中学教师以及科学人员的参考书。

译者的话

斯蒂芬·温伯格是当代卓有成就的物理学家。他曾于1979年荣获诺贝尔物理学奖。他也是早期(1978年)来中国访问的美国著名学者之一。

温伯格的这本《从原子到基本粒子》是在他多年教学实践基础上写成的。这些教学是由哈佛大学组织为非专业学生(包括校外成人)开设的科学讲座。由于作者对学科有深刻理解,加之擅长表达,作者在这本不厚的书中介绍了许多物理知识及其发现过程。他经常很快地将读者带到可以计算定量结果的层次。如果注意到作者所用的数学(包括在较难读的附录中的数学)都不过是我国的初中水平的知识,那么他的成绩是令人吃惊的。

这本书的这些特点,使它既可以选做大专院校普通物理的综合教材,也可以选做物理课学时少的专科学校的课本。因为物理学不仅支撑着当代技术,而且也是人类文化不可缺少的一部分,愈来愈多的人们希望知道物理学是什么,物理学研究是怎样进行的。毫无疑问,对于各行各业想有点物理知识的人,这是一本值得推荐的好书。

本书原作者斯蒂芬·温伯格在得悉本书翻译出版时,特来信说:“我为中国读者即将得到这本书而高兴。我想,世界各地人民为着了解物质的本质这一共同兴趣联结在一块,这是一件好事。”对此,译者深表谢意。

英文版原著中有“进一步阅读书目”、“参考文献”和“附图的来源”,我们作了删节。书末的索引会为认真的读者的查寻带来方便,因而我们将它保留下来。

译者 1989年于高能物理研究所

目 录

序 言	1
第一章 粒子世界	6
第二章 电子的发现	15
倒叙：电的种类	17
放电现象和阴极射线	24
倒叙：牛顿运动定律	30
阴极射线的偏转	35
倒叙：电力	39
阴极射线的电偏转	45
倒叙：磁力	48
阴极射线的磁偏转	55
汤姆逊的结果	57
倒叙：能量	61
汤姆逊实验中的能量关系	67
电子——基本粒子	73
第三章 原子的大小	78
倒叙：原子量	81
倒叙：电解	92
电荷的测量	98
第四章 原子核	107
放射性的发现和解释	116
原子核的发现	129
原子序数和放射性系列	140
中子	150
第五章 其它粒子	168

光子	166
中微子	166
正电子	168
其它反粒子	171
缪子和派介子	173
奇异粒子	175
更多的强子	176
夸克	176
附录	180
A 牛顿第二运动定律	180
B 阴极射线的电偏转和磁偏转	181
C 电场和场线	184
D 功和动能	186
E 阴极射线实验中的能量守恒	189
F 气体性质和玻尔兹曼常数	190
G 密立根的油滴实验	196
H 放射性衰变	201
I 原子内的势能	206
J 卢瑟福散射	208
K 动量守恒和粒子散射	212
表	217
索引	222

序 言

这本书是根据1980年春天我在哈佛大学教的一门课写成的。这门课是全新的基础讲座的一部分。后来，1981年我访问得克萨斯大学时又讲了一次。简而言之，开设这一课程的想法是让原来在数学和物理方面没有受过预先训练的学生学习20世纪物理学的伟大成就。为了理解这些近代的新发展，在适当的时候插入一些经典物理学的背景——力学、电磁学、热学等等——也是很必要的。我觉得这一课程进行得较顺利，就产生了将讲课笔记整理成一本教科书的想法，但是我没有时间去整理全部教材。W·H·费雷曼公司的奈尔·派特森请我将课程里所引出的20世纪物理学故事的第一部分献给《科学美国人》的读者，并作为该刊的丛书之一，这本书就这样问世了。或许在未来的卷册里，我将能完成从此开始的对20世纪物理学的综述。

这本书涉及组成所有普通原子的基本粒子：电子、质子和中子的发现。本书的主要线索遵循着历史的顺序，但是与历史又有一个重要的差别。大多数关于科学史的书，或者是为不熟悉基础科学的读者写的，因此对历史的描写只能是粗线条的和表面的；或者相反，是为那些熟悉科学的读者写的，结果使那些不熟悉科学的读者又望而生畏。这本书奉献给这样的读者，他们也许对经典物理学不了解，但愿意拾取一些必要的知识以便能理解构成20世纪物理学史的观念和实验方面富有含义的纷争。这些背景知识由几个“倒叙”章节

提供。在这些倒叙章节里分别介绍电的本质、牛顿运动定律、电力和磁力、能量守恒、原子量等等，它们插在所需要的地方使得读者可以理解下一段历史的要点。

在这里，我愿泄露写这本书的秘密动机（因为没有人读序言），它体现在那些倒叙章节和散布在其它章节的背景材料中。正象许多其他科学家一样，我认为应把科学上的发现列入20世纪文化的那些最珍贵的要素之中。可是，很多在其它方面受到很好教育的人们由于不熟悉科学的基础而与我们文化的这一部分隔断了，在我看来这是一个悲剧。不过这一教育上的空白其实不足为奇。一般地说只有唯一的途径提供给有志于精通物理学的学生或读者：他（或她）必需遵从历代专业科学家都遵循的历史悠久的课程安排。力学总是第一门，通常接着是热学、电磁学、光学，然后，象一道开胃菜一样学一点“近代物理学”。对于那些打算成为物理学家的学生，这是一条理想之路，但对于很多其他人来讲，这似乎是走不通的荒漠。并非他们的感觉不合理。我们物理学家是一类怪人，以极大的兴趣从事在标准的物理学课程中所学的计算：弹子球碰撞计算，计算导线中的电流强度、望远镜里光线的路径。希望所有的学生或读者都以这种方法学习，这正是不合理之处，这不亚于期望那些永不打算弹钢琴的人去享受练习弹音阶的乐趣。当人们尝试为非科学家写一点关于物理学的基础知识时，在我看来最大障碍就是这个写作动机问题。

我处理这个问题的出发点是假定无论读者是否喜爱弹子球碰撞的计算，他们确实普遍地想要在革命的科学思想和我们自身时代的发现方面享有文化背景。因此，这本书没有从冗长的基本经典物理学导论开始，而是请读者直接进入20世

纪物理学的一系列关键专题，并以每个专题为引子进入到恰为理解这一专题所需要的经典物理概念和方法。第一个专题就是最早发现的基本粒子——电子的发现。为弄清楚J.J.汤姆逊(J.J. Thomson)的实验和其它导致这一发现的实验，读者必须知道牛顿运动定律、能量守恒、电力和磁力。下一个专题是原子大小的测量，这儿读者将学到更多的力学，也学一点化学，等等。关键在于读者被请去学习有关的经典物理或化学知识，仅当读者在理解20世纪物理学的发展需要这些概念和方法变得非常清楚的时候。

的确，象这样一本书引入基本物理原理的次序不可能是物理学家们也许习以为常的逻辑顺序。例如，动量的概念通常是与能量一起解释的，然而这里由于倒叙述原子核的发现时才需要动量，所以到那时才引进。我不认为这一专题次序的重新安排必然是一个弊病。从我自己的经验来看，我所知道的物理学和数学的大部分是为了进行我的工作必须要学而又别无其它选择时才学到的。我想对于大多数科学家也是如此。所以这类书的计划可能要比那些我们为专修科学的学生所设计的很多书和教程更接近于前沿工作的科学家所受的实际教育。

进一步，我希望这本书将会对从根本上改进把科学带给非科学家的方法有所贡献。至于我的想法是否成功，时间和读者将会告诉我们。如果顺利，我将继续完成20世纪物理学的丛书，下一卷讨论的问题将是相对论和量子论，那将依赖于这里所讨论的经典物理学基础。

这本书打算让那些在科学上毫无背景而且在数学上只知算术的读者能够看懂，在正文中我只包括了几个最重要的方程，也不是用抽象的符号而是用语言来表达的。对于那些学

过代数的读者，可参见几个附录中提供的计算，它们构成了这本书描述的主要论证的数学基础。

尽管这本书原是为非科学家所写，但是它有一个方面可能使我们物理学家同伴也产生兴趣。这里所描述的伟大科学成就形成一大片土地，我们自己崭新的发现的丰收主要是从这儿发芽。当我在哈佛和得克萨斯开始教这门课程时，对于20世纪早期物理学史仅有一个最朦胧的想法，我想我的很多物理学同事也有类似的情况。我希望科学家们在这本书中可以发现某些历史（如果不是物理学）是有启发的。

我也希望这本书受到研究科学史的学生和专家的欢迎。不过有一点请他们原谅，在象这一类的书中，我们不可能对导致20世纪物理学革命的那些丰富而又错综复杂的因素作出全面的判断。我所可能做的是依次引出几个关键性实验和理论上的发现，这样就有机会去解释经典和现代物理的要点。当然，我一直在努力避免颠倒历史的偏差，但是材料的选择和次序的安排必须服从对科学的解释以及历史的考虑。说实在的，我不打算这本书被当作对历史研究的贡献。在写这本书的过程中，我读了汤姆逊、卢瑟福、密立根、莫斯莱、查德威克和其他人的很多经典文章，但大部分内容还是来自于第二手材料，这些材料列在本书最后的参考书目中。在每一章最后的附注里，我列出了正文所讨论的某些经典文章和我特别引用的近代著作的出处。

我非常感谢Howard Boyer, Andrew Kud Lacik, Neil Patterson和Gerard Piel,他们为了出版这本书而仔细地阅读它并给予了友好的合作。也感谢Aiden Kelly,他细心地编辑并提出了很多有益的建议。在哈佛我第一次教这一课程时Paul Bamberg提供了有价值的帮助。我还真诚

地感谢I. Bernard Cohen, Peter Galiaon, Gerald Holton, Arthur Miller和Brian Pippard, 他们不厌其烦地阅读这本书的各个部分并给出评注, 帮助我避免了很多历史上的错误。

斯蒂芬·温伯格
于得克萨斯州, 奥斯汀
1982年5月

第一章 粒子世界

当人们细瞧一把砂子中的细粉末时，有多少人会想到组成所有物质形式的既小又硬的颗粒？关于物质是由不可分而称为原子（希腊文原意是“不能切割的”）的粒子组成的明确陈述可追溯到特雷斯海岸的古城阿伯迪拉。公元前5世纪后半叶，这个地方出了希腊哲学家留基伯(Leucippus)和德谟克利特(Democritus)，他们教导说所有物质是由原子和虚空组成的。

现在，阿伯迪拉毁灭了，留基伯写下的话没有遗留下来，从德谟克利特的著作中我们也只找到少得可怜的只言片语，然而他们的原子论的观念留下来了，在以后的几千年反复被引用。这一观念帮助人们理解了许多常见的现象，如果设想物质连续地充满它所占据的空间，那么这些现象就是百思不解的难题。取一块盐溶解于一碗水中，设想组成盐的原子分散在水原子间的虚空中，难道有比这样理解更好的吗？取一滴油滴在水的表面上，它漫延到一定区域而不散失，设想这薄薄的油膜一直扩展到几个原子厚，难道有比这样理解更好的吗？

在近代科学诞生之后，原子观念变成为物质定量理论的基础。17世纪时，伊瑟克·牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)试图用气体原子冲入虚空来说明气体的膨胀。更有影响的想法出现在19世纪早期，约翰·道尔顿(John Dalton, 1766—1844)利用化学元素原子的相对重量解释化学元素以

一定重量比构成普通化合物。

19世纪末，原子观念已为大多数物理学家所熟悉，但还没有普遍地被接受。在英国倾向于应用原子理论的部分原因是牛顿和道尔顿的传统。另一方面，在德国原子学说受到顽固的抵制。德国物理学家和化学家并非完全不相信原子，然而，在以维也纳的恩斯特·马赫(Ernst Mach, 1836—1916)为中心的经验哲学学派影响下，他们中的很多人不愿使他们的理论混入任何不能被直接观察到的东西——例如原子。也有一些人，例如大理论家吕德·威·克·玻尔兹曼(Ludwig Boltzmann, 1844—1906)利用原子论的假定去建立某些理论，如热现象的理论，然而他们必须忍受同事们的非难；据说马赫的追随者对玻尔兹曼的反对是导致他1906年自杀的原因之一。

在20世纪前10年，整个情况改变了。说来也奇怪，物质的原子本性被普遍接受伴随着原子的组成成分——电子和原子核——的发现，而这些发现粉碎了原子不可分的老观念。这些发现构成本书的主题。不过，在我们进入到这些发现的历史之前，让我们先承认它们并且按现在关于原子组分的理解引入它们。这一章我给出一个简洁的总看法；在本书的以后各章节再作详细讨论。

任何一个原子的绝大部分质量包含在它的中心处小而致密的原子核里。原子核带正电荷，围绕原子核有一个或多个电子在轨道上运转，这些电子带负电，由于电吸引力被维持在轨道上运行。一般电子轨道的半径大约为 10^{-10} 米^①(这一长度单位称之为“埃”)，而原子核要小得多，典型直径大约是

^①关于科学上的记号在这一章末尾列表给出简短讨论。

10^{-13} 米(这一长度单位称之为费米)。每一种化学元素由一类特定的原子组成,而一种元素的原子所包含电子的数目不同于另一种元素的原子,这就构成各种化学元素;氢原子有一个电子,氦原子有两个电子等等,一直到铷原子有103个电子。原子可以通过借贷、交易或分享它们的电子而结合成较大的集团——分子;每一种化合物由一类特殊的分子组成。在一般情况下,当原子或分子的电子激发到高能轨道或跌落到低能轨道,就分别相应于吸收或发射了可见光。电子也可能受震而脱离原子,并在金属导线中旅行而产生普通的电流。

在所有上述化学、光学和电学现象中,原子核基本上是不起作用的。然而原子核本身是一个有自身结构的复合系统,它的组成成分是质子和中子。质子携带的电荷正好与电子电荷数量相等符号相反;中子是电中性的。质子的质量是 1.6726×10^{-27} 千克,中子的质量略大一点(1.6750×10^{-27} 千克),而电子的质量则小得多(9.1095×10^{-31} 千克)。象围绕原子核的电子一样,核内的质子和中子也可以激发到高能态,若已被激发了也可以落回到低能态,但是激发核内核粒子需要的能量一般是激发原子外层电子的100万倍。

所有普通物质都是由原子组成的。原子又是由质子、中子和电子组成的。然而,若由此说质子、中子和电子是组成物质的全部基本实体则是错误的。电子只是称为轻子的粒子家族中的一个成员,现在知道的轻子有半打^{译注}。质子和中子是一个称为强子的更大的粒子家族的成员,现在已知的强子有几百种。电子、质子和中子的特殊性在于它们有相对稳定性,这使它们成为常见物质中普遍存在的组分。人们相信电

译注。半打即六种。

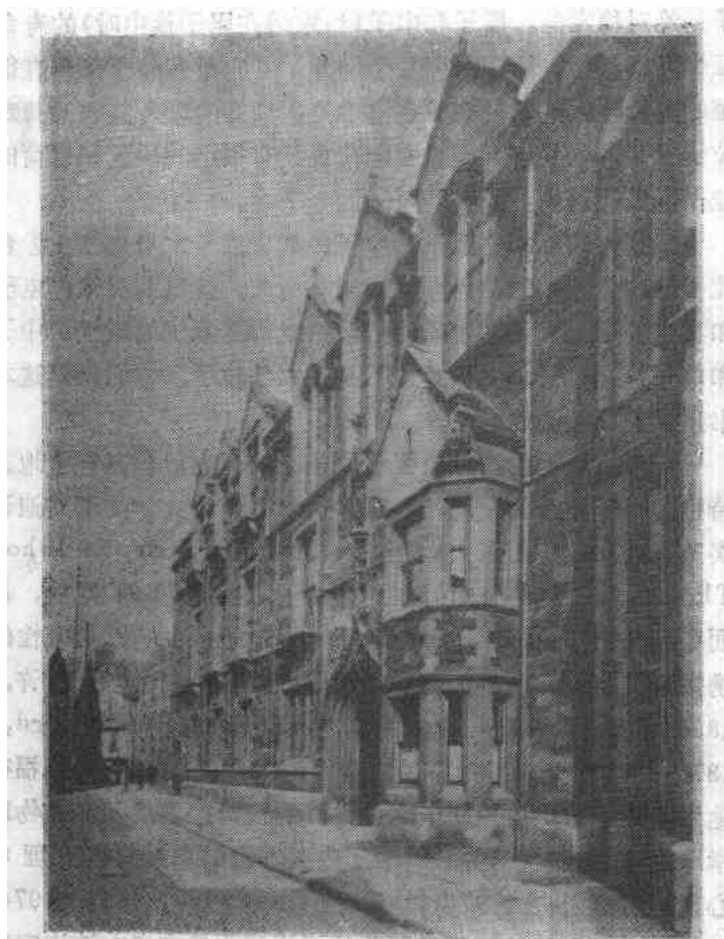
子是绝对稳定的，质子和中子（当束缚在原子核中时）的寿命至少是 10^{30} 年。除了很少几个例外，其它所有粒子都只有很短的寿命，因此在现在的宇宙中是很稀有的。（其它的稳定粒子仅是那些具有零质量和电荷或具有很小的质量和电荷的粒子，因此它们不能陷入原子或分子中。）

现在人们都相信质子、中子和其它强子本身也是复合粒子，由更基本的称为夸克的组分构成。就目前所知，电子和其它轻子是真正基本的粒子。组成普通原子的质子、中子和电子这些粒子，无论是或不是基本的粒子，它们正是这本书里我们所关心的对象。

正像古代阿伯迪拉象征着原子论的诞生，也有一个地方特别与原子组分的发现相联系：这就是剑桥大学的卡文迪许实验室。1897年约瑟夫·约翰·汤姆逊（Joseph John Thomson, 1856—1940）在那里做了阴极射线的实验，从而令他作出结论：存在一个粒子——电子——它既是电性的携带者又是所有原子的基本组成成分。正是在卡文迪许，1895—1898年恩奈斯特·卢瑟福（Erneest Rutherford, 1871—1937）开始了他有关放射性的工作。1919年卢瑟福在他发现原子核以后返回卡文迪许，继汤姆逊之后任实验物理学卡文迪许教授译注并且缔造了经久不衰的卓越的核物理中心。当詹姆斯·查德威克（James Chadwick, 1891—1974）1932年发现中子时，原子组分的清单至此就在卡文迪许完成了。

我第一次参观卡文迪许实验室是在1962年春天，我是

译注：一般在教授前面冠以名人的名字，说明这是专设的一个有特殊荣誉的位置，这里卡文迪许教授就是一例。



剑桥卡文迪许实验室的外貌。从麦克斯韦(Maxwell)时代起就是这样，现在这一建筑物已被大学派作其它用途，卡文迪许实验室已迁到较现代的地区去了。

作为加利福尼亚大学伯克利分校的青年物理学家去伦敦进行为期一年的短期访问。那时，实验室仍旧占据着自由学派巷