

亚原子粒子的发现

●《科学美国人》丛书

●[美] 史蒂文·温伯格 著



YAYUANZI LIZI DE FAXIAN

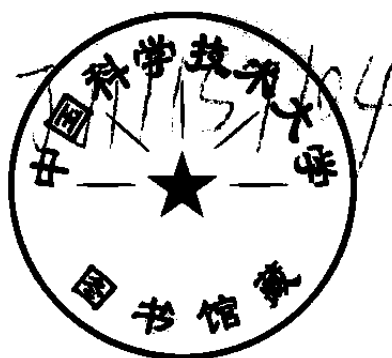
● 科学技术文献出版社

《科学美国人》丛书

亚原子粒子的发现

[美]史蒂文·温伯格 著

贾 谦 译 吴白芦 校



科学技术文献出版社

1988

内 容 简 介

本书阐述了构成所有普通原子的基本粒子——电子、质子和中子的发现过程，详细介绍了二十世纪物理学的伟大成就，展示了粒子世界中由几种基本粒子所产生的迷人景象，融趣味性于科学性之中。同时书中以插叙方式提供了经典物理学的某些基本概念和方法。

本书可供物理系学生、自然科学史研究人员及高中以上文化程度的其他读者学习使用。

The Discovery of Subatomic Particles

Steven Weinberg

Published by Scientific American
Books, Inc, 1983.

《科学美国人》丛书

亚原子粒子的发现

[美]史蒂文·温伯格 著

贾 谦 译 吴白芦 校

科学技术文献出版社出版

北京京辉印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

★

787×1092毫米 32开本 7.75印张 174千字

1988年12月北京第一版第一次印刷

印数：1—1500册

科技新书目：181—093

ISBN 7-5023-0680-3/O·55

定价：2.45元

前 言

1980年春天，我在哈佛大学讲授了一门课，作为新的公共基础课计划的一部分；1981年，我作为访问学者，又在得克萨斯大学讲授了这门课。本书就是由这门课编辑而成的。简单地说，这门课程是为了保证使事先没有经过数学或物理学训练的学生学到二十世纪物理学的伟大成就，因为在经典物理学基础（力学、电磁学、热学等）上前进而建立的这些成就已成为理解更近代的发展所必需的知识。我认为这门课程效果很好，因而产生了将我的讲稿整理成教科书的想法，但我没有时间进行这项工作，没有时间把这门课的所有材料都整理出来。W·H·弗里曼公司的尼尔·帕特森请我把这门课程中有关二十世纪物理学的第一部分，作为《科学美国人》的新丛书之一，奉献给它的读者，于是产生了这本书。或许我在今后的各卷中能够完成由本书开始的对二十世纪物理学的回顾。

本书阐述构成所有普通原子的基本粒子的发现，这些基本粒子包括：电子、质子和中子。总的原则是按历史上的发展予以阐述，但又与科学史有明显不同。大多数有关科学史的书籍，有的是为不熟悉这门基础科学的读者写的，因而在描述历史时，不得不粗略而又肤浅；有的是为早已熟悉这门科学的读者写的，所以不熟悉这门科学的人无法看懂。本书是为这样的读者写的，他们可能不熟悉经典物理学，但愿意掌握它，以便当他们进一步深造时，能够理解构成二十世纪

物理学历史的各种思想和实验。其所需基础知识都在一些“插叙”节中叙述，如电的本质、牛顿运动定律、电场力和磁场力、能量守恒、原子量等各节。每当需要这些知识以使读者能够理解历史上的下一个重点问题时，就插入这样一节。

事实上，我将在这里透露（因为反正没有人阅读前言），这些插叙节以及在其它各节中涉及的背景材料，代表了我写本书的个人动机。象其他许多科学家一样，我也认为科学发现属于二十世纪文化中最宝贵的部分，在我看来，如此多的在其它方面受过良好教育的人，因其不通晓科学基础而与这部分文化绝缘，实在令人痛心。然而，出现这一教育上的空白也并不奇怪。一般说来，想要精通物理学的大学生或读者，只有一条路可走：他或她必须学习历代职业科学家学过的一系列由来已久的课程。总是先学数学，随之而来的通常是热学、电磁学、光学，然后再学一点“现代物理学”作为点缀。对于那些准备成为物理学家的大学生来说，这可能是理想的方法；但对其他许多人而言，似乎是走不通的死胡同。他们的这种看法也并非没有道理。我们物理学家是一种很奇怪的人，喜欢按照在一系列标准物理学课程中学会的方法进行计算：计算弹子球碰撞、计算导线中的电流、计算望远镜中的光路。希望所有的大学生或读者都走这条路是不合理的，正如让绝不准备弹钢琴的人去练习钢琴指法一样。在我看来，当一个人试图为非科学家编写物理学基础教材时，最大的障碍就是这一动机问题。

我处理这一问题的出发点是：假定无论读者是否喜欢计算弹子球碰撞，他们通常都希望掌握我们时代的革命性的科学思想和科学发现方面的文化基础知识。因此，在本书中，

I:

我不是首先用很大篇幅介绍基本的经典物理学，而是让读者立即触及二十世纪物理学的一系列关键题目，以每一题目为引子，使读者掌握为了弄清那个题目所需要的经典物理学的各种概念和方法。第一个题目是第一种基本粒子——电子的发现。为了弄清导致这一发现的J·J·汤姆逊和其他人的实验，读者必须了解牛顿运动定律、能量守恒和电磁力。下一个题目是原子大小的测量，在这里，读者可以学到更多的力学知识，也可以得到一点化学知识，等等。我采用的阐述方法的要点在于，仅当为了理解二十世纪物理学的进步，需要了解经典物理学或化学的某些特定概念和方法时，才向读者介绍这些知识。

在这样一本书中，介绍物理学基本原理的顺序，显然不可能是物理学家早已习惯了的那种逻辑顺序。例如，动量的概念，通常与能量同时讲解，而我们在这里，直到阐述原子核的发现时，才需要它，因此在此之前，我们不介绍动量概念。我并不认为对内容作这样的重新安排一定是个缺点。就我个人的经验来说，我所学到的大多数物理学和数学知识，都是为了使我的工作能有所进展、没有其它选择而不得不学的。我想大多数科学家也是如此。因此，这类书的布局可能比我们为专攻科学的大学生编写的许多教科书和课程更接近于在职科学家的实际教育。

我还希望，这本书能有助于根本改变给非科学家传授科学的方法。至于我着手这样做的一些想法是否有效，时间和读者将会予以鉴别。如果效果好，我就决定继续编写关于二十世纪物理学的丛书，下一卷将在本书的基础上阐述相对论和量子论。

编写本书是为了使事先没有科学基础的读者以及不熟悉

算术之外的数学的读者能够理解，因此，在正文中，我仅仅列出了最重要的公式，并用文字予以表达而不用抽象的字母表示。习惯于代数方法的读者，可以参看几个附录。附录中提供了一些构成本书正文中所述推理基础的计算。

虽然本书主要是为非科学家写的，但它或许也有一些使我的物理学同行们有兴趣之处。书中所述的伟大科学成就形成了我们自己的新近发现赖以生长的广阔土壤。当我在哈佛大学和得克萨斯大学开始接触这门课时，我个人对二十世纪物理学的早期历史只有非常模糊的概念。我猜想，我在物理学界的许多同事也同样如此。我希望科学家能从这本启蒙书中找到历史上的（即使不是物理学方面的）某些东西。

我也希望本书能供研究科学史的大学生和研究人员使用，但我必须向他们道歉。在这样一本书中，不可能完全公平地对待曾导致二十世纪物理学革命的错综复杂的因素。在这里，我所能做的一切只是提出几个关键实验发现和理论发现的结果，使我有机会解释经典物理学和现代物理学原理。当然我力图避免明显的历史失实，但材料的选择和叙述的次序，不仅取决于历史顺序，还取决于科学解释。我的确不打算使本书被看做是科学史研究的成果。在编写这本书的过程中，我阅读了汤姆逊、卢瑟福、密立根、莫塞莱、查德威克等人的许多经典论文，但是大部分都依赖于第二手材料，这些都列在书后的参考书目中。在每章后的书目中，列出了正文中讨论过的一些经典论文以及我主要依赖的近代著作。

我衷心感谢霍华德·博耶，安德鲁·库德拉西克，尼尔·帕特森和杰勒德·波尔在准备本书出版中给予我的友好合作。我也感谢艾丹·凯利对本书的细心校订和许多有益的建议。当我在哈佛第一次讲授这一课程时，保罗·班伯格曾给

予我宝贵的帮助。I·伯纳德·科恩，彼得·加利森，杰拉尔德·霍尔顿，阿瑟·米勒和布赖恩·里帕德不辞辛苦地阅读本书各部分并予以注释，因而避免了许多严重的历史失实，在此一并致谢。

史蒂文·温伯格
得克萨斯州奥斯汀
1982年5月

史蒂文·温伯格 (Steven Weinberg) 是得克萨斯大学科学教授。由于他关于统一基本粒子相互作用的研究成果，荣获1979年诺贝尔物理学奖金。一般人都知道他受到广泛喝彩的获奖著作，《最初三分钟——宇宙起源的现代观点》，现在已翻译成15种文字。他还写了有影响的论文《万有引力和宇宙论》。他获得了大量荣誉学位和其它奖赏，是美国国家科学院和英国皇家学会的成员。

目 录

前言

1. 粒子世界	(1)
2. 电子的发现	(11)
插叙：电的本质	(13)
放电和阴极射线	(20)
插叙：牛顿运动定律	(26)
阴极射线的偏转	(31)
插叙：电场力	(36)
阴极射线的电致偏转	(42)
插叙：磁场力	(45)
阴极射线的磁致偏转	(53)
汤姆逊的研究结果	(56)
插叙：能	(60)
汤姆逊实验中的能量关系	(65)
作为基本粒子的电子	(71)
3. 原子尺度	(80)
插叙：原子量	(82)
插叙：电解	(94)
电子电荷的测量	(100)
4. 原子核	(109)
放射性的发现和解释	(118)
原子核的发现	(132)
原子序数和放射性系列	(143)

中子	(154)
5. 其它基本粒子	(171)
光子	(171)
中微子	(171)
正电子	(174)
其它反粒子	(176)
μ 介子和 π 介子	(177)
奇异粒子	(180)
其它强子	(181)
夸克	(181)
附录	(185)
A. 牛顿第二运动定律	(185)
B. 阴极射线的电偏转和磁偏转	(186)
C. 电场强度和电力线	(190)
D. 功和动能	(193)
E. 阴极射线实验中的能量守恒	(197)
F. 气体性质和玻耳兹曼常数	(198)
G. 密立根的油滴实验	(206)
H. 放射性衰变	(211)
I. 原子中的势能	(217)
J. 卢瑟福散射	(220)
K. 动量守恒的粒子碰撞	(225)
本书使用的物理量单位	(231)
本书使用的一些常数	(231)
化学元素表	(232)
参考文献	(236)

1. 粒子世界

当人们抓起一把砂子仔细观察其中的小卵石时，有多少人想到过构成所有各种形式的物质的，竟是更小更硬的颗粒呢？更明确地说，物质是由不可分割而被称为原子的粒子组成的（原子一词来源于希腊字 $\alpha\tau\omicron\mu\omicron\sigma$ ，原意为“不可分割的”）。关于这种说法，我们可以追溯到色雷斯海岸的阿布德拉古城。公元前五世纪后半期，希腊哲学家留基伯（Leucippus）和德谟克利特（Democritus）曾在那里说过，所有物质都是由原子和空间构成的。

阿布德拉现在已成废墟。留基伯的文章早已失传，德谟克利特写的东西，留传下来的也只有少量无用的片断。然而，他们关于原子的思想却留传于世，两千多年来不断地被人们所引用；这种思想可以使人们理解日常观察到的许许多多现象。如果认为物质是连续地充满它所占据的空间，这些现象就会令人迷惑不解。譬如说，除了假定构成盐的原子扩散进构成水的原子之间的空间之外，我们怎么能更好地理解盐块在一盆水中的溶解呢？除了假定水面上的油膜要一直扩展到只有几个原子厚度时才停止扩展之外，我们又怎么能更好地理解油滴在水面上扩展到一定面积后不再扩展的现象呢？

在现代科学诞生之后，关于原子的思想已用来作为物质定量理论的基础。十七世纪时，艾萨克·牛顿（Isaac Newton, 1642—1727）就试图借助气体原子高速喷入空间的说法

解释气体的膨胀。更有影响的例子是，在十九世纪初，约翰·道尔顿（John Dalton, 1766—1844）借助化学元素原子的相对重量，说明了构成通常化合物的化学元素重量比固定的问题。

到十九世纪末，关于原子的这种思想已为大多数科学家所熟悉；但仅仅是熟悉，而尚未普遍接受。在英国，科学家倾向于使用原子论，部分原因是他们继承了牛顿和道尔顿的思想。与此相反，在德国却存在对原子论的阻力。真正怀疑原子论的德国物理学家和化学家并不很多。更确切地说，只不过在以维也纳的厄恩斯特·马赫（Ernst Mach, 1836—1916）为首的经验主义哲学学派的影响下，许多科学家不敢将像原子这样不能直接观察到的东西写进他们的理论。另一些人，如伟大的理论家路德维格·玻尔兹曼（Ludwig Boltzmann, 1844—1906），确曾使用原子假说建立像热之类现象的理论，但因此不得不遭到其同事的非难；据说，就是由于马赫的追随者反对玻尔兹曼的工作，导致了玻尔兹曼于1906年的自杀。

在二十世纪头十年中，这一切都发生了改变。奇妙的是，人们普遍接受物质的原子本质这一思想，倒是通过原子的组分，即电子和原子核的发现才发生的，而这些发现却动摇了原子是不可分割的旧想法。讲述这些发现就是本书的主题。但是在讲述这些发现的历史之前，让我们先回顾一下目前对原子组分的理解。不过这只是一个简单的回顾，我们将在本书以后各章中更详细地予以讨论。

任何原子的大部分质量都集中于原子核，原子核小而致密，位于原子中心，带正电荷。在原子核周围轨道上旋转的是若干个电子，电子带负电荷，由静电引力保持于轨道上。

电子轨道的典型半径约为 10^{-10} 米* (这一长度单位称为埃), 原子核则小得多, 典型直径约 10^{-15} 米 (这一长度单位称为费米)。各种化学元素都是由一种特定的原子组成的, 一种元素的原子与另一种元素的原子所含电子数目是不同的。氢原子含一个电子, 氦原子含两个, 如此等等, 直至铷原子含 103 个电子。原子通过提供、交换或共用它们的电子, 能结合成更大的集团——分子; 每一种化合物都由一种特定的分子组成。在通常情况下, 当原子或分子中的电子被激发到能量较高的轨道或返回到能量较低的轨道时, 就吸收或发射可见光。电子也能摆脱原子的束缚, 它沿金属导线运动时即产生通常所说的电流。

在所有这些化学、光学和电学现象中, 原子的核实际上是不变的。然而, 原子核本身是由其组分 (称为质子和中子的粒子) 组合而成的体系。质子带有与电子相等, 但电性相反的电荷, 而中子是电中性的。质子质量为 1.6726×10^{-27} 千克, 中子质量稍大 (1.6750×10^{-27} 千克), 电子质量则小得多 (9.1095×10^{-31} 千克)。像围绕原子核的电子一样, 原子核中的质子和中子也能够被激发到较高能态, 或者, 如果它已经受激, 则能够落回到较低能态。但是, 激发原子核中的核子所需要的能量通常比激发核外电子所需的能量大上百万倍。

所有普通物质都由原子组成, 而原子又由质子、中子和电子组成。但是, 如果由此得出结论说, 质子、中子和电子就是全部基本粒子, 则是错误的。电子仅是称为轻子的粒子

* 关于这类科学符号的简短讨论, 请参见本章末的“科学的指数符号”。

族中的一员，现在已知约有六种粒子属于轻子族。质子和中子则是重子族的成员，这一族粒子很多，已知的就有数百种。电子、质子和中子是相对稳定的，这一特性使它们成为普通物质的基本成分。据认为，电子绝对稳定，而质子和中子（当束缚于原子核内时）的寿命至少为 10^{30} 年。除少数几种粒子之外，所有其它粒子的寿命都非常短，因此在目前的宇宙中非常罕见。（仅有的其它稳定粒子是质量和电荷为零或其值极小，因而不能被俘获进原子或分子中的粒子。）

现在认为，质子、中子和其它重子本身也是组合体，由被称为夸克的更基本的成分构成。就目前所知，电子和轻子族的其它粒子才是真正的基本粒子。但是，不论基本还是不基本，本书中将要讨论的就是构成普通原子的这些粒子——质子、中子和电子。

正如古阿布拉城象征着原子论的诞生一样，也有一个地方使人们联想到原子组分的发现，这就是剑桥大学的卡文迪什实验室。1897年，约瑟夫·约翰·汤姆逊（Joseph John Thomson, 1856—1940）在那里进行了有关阴极射线的实验，从而使他得出结论：存在一种粒子——电子，它既是电的携带者，又是所有原子的一种基本组分。1895—1898年，也是在卡文迪什，欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford, 1871—1937）开始研究放射性。他在发现原子核之后，于1919年又回到卡文迪什，继汤姆逊之后任卡文迪什实验室物理学教授，并奠定了卡文迪什长期以来成为核物理卓越中心的基础。还是在卡文迪什，詹姆斯·查德威克（James Chadwick, 1881—1974）1932年发现了中子，从而找到了全部原子组分。

1962年春天，我第一次访问卡文迪什实验室。当时，我



图 1 麦克斯韦时代建立的剑桥卡文迪什实验室外貌。目前这座楼已由剑桥大学改作它用，实验室迁到了更现代化的建筑中

还是一个年轻的物理学家，离开伯克利的加利福尼亚大学，到伦敦休假一年。那时，卡文迪什实验室还在公立学校路它原来的灰色石砌楼内，自1874年起，这座楼房就矗立在剑桥

大学1786年为作植物园而购买的这块土地上。我记得，它像是一座拥挤的公寓，由狭窄的楼梯和走廊网连接的小房间组成，它完全不同于加利福尼亚大学宏伟的辐射实验室。从伯克利群山上看，加州大学辐射实验室雄伟地耸立在阳光普照的海湾上。卡文迪什实验室给我的印象是，它并不像是对自然秘密发动了那么多次巨大攻击的舞台，而是像资源有限的游击战场。在那里，主要的武器是天才人物的聪明和勇气。

卡文迪什实验室起源于1868—1869年冬天大学委员会的一个报告。当时，委员会开会讨论如何在剑桥为实验物理学安排一个地方。那是一个普遍热衷于实验科学的时代。当时，在柏林，一座新的物理学大实验室已经开始使用，而牛津和曼彻斯特正在建造大学实验室。剑桥在实验科学上一直没有起到领先作用，尽管（或可能是由于）它在数学方面有杰出的传统，这一传统可以追溯到十七世纪卢卡斯数学教授艾萨克·牛顿爵士。但当时经验主义颇为盛行，因此该委员会倡议新设实验物理学教授职位，并新建一座大楼进行演讲和实验。

余下的问题就是筹集资金并寻求一名教授。第一个问题很快得到了解决，那时大学校长是威廉·卡文迪什（William Cavendish），他是德文郡七世公爵，而且是这样一个家族的成员，该家族早已出现了一个著名的物理学家亨利·卡文迪什（Henry Cavendish, 1731—1810），他第一个测量了实验室各种物体之间的万有引力。德文公爵在剑桥本部上学时，特别擅长于数学，后来他在兰开夏的钢铁工业上发了财。1870年10月，他写信给大学副校长，表示愿意提供大楼建设和购买仪器所需要的资金——约6,300英磅。1874年，当大楼竣工时，德文公爵收到一封（用拉丁文写的）感谢

信，提出以卡文迪什家族命名该实验室。

当时曾希望卡文迪什第一任教授是威廉·汤姆逊爵士 (William Thomson, 1824—1907)，即后来的开尔文勋爵，他是英国最著名的实验物理学家。然而，汤姆逊愿意留在格拉斯哥，因而卡文迪什的教授职位给予了另一位苏格兰人：詹姆斯·克拉克·麦克斯韦 (James Clerk Maxwell, 1831—1879)，当时他39岁，隐居在格伦那他的庄园里。

一般认为，麦克斯韦是牛顿和爱因斯坦之间最伟大的物理学家，但把他看作是一位实验物理学教授则是令人奇怪的。虽然他对色觉的某些差别和电阻进行过实验研究（以其夫人为助手），但他的伟大差不多完全在于他的理论研究。最重要的，则是麦克斯韦完成了描述电磁现象的方程组，然后用这些方程预言了电磁波的存在，从而解释了光的本质。尽管麦克斯韦的研究成果为卡文迪什教授职位增添了巨大的威望，但是在他的任期内，卡文迪什实验室并没有发展成领先的实验物理学中心。例如，电磁波的存在并不是在卡文迪什实验室用实验方法验证的，而是在卡尔斯鲁厄由德国实验物理学家海因里希·赫兹 (Heinrich Hertz, 1857—1894) 验证的。

1879年麦克斯韦去世后，再一次打算将卡文迪什教授职位授予威廉·汤姆逊，他再次予以谢绝。这一次，教授职位授予了约翰·威廉·斯特拉特 (John William Strutt, 1842—1919)，即第三代瑞利勋爵。瑞利既是理论物理学家（虽不及麦克斯韦），又是实验物理学家，他解决过各种物理问题。即使在今天，当人们遇到流体力学或光学问题时，从他编纂的著作中寻找解决方法仍不失为良好的起点。在瑞利领导下，卡文迪什实验室规模依然很小，大多数研究工作