

中学生课外读物



粒子家族的功勋成员

谢诒成 著

人民教育出版社

中学生课外读物
现代科学技术丛书

粒子家族的功勋成员

谢 治 成

人 民 教 育 出 版 社

本书通俗地介绍了电子、光子、中子、正电子、中微子、 π 介子、 μ 子、奇异粒子、 Ω^- 粒子、 J/ψ 粒子、 τ 子、中间玻色子等粒子发现史的故事，使读者了解微观粒子的特性及粒子物理的研究方法和发展情况。书中对粒子物理的一些重要假说和科学观点做了深入浅出的介绍，生动有趣，耐人寻味。书中附有大量插图和漫画，可帮助读者加深了解书的内容并增加趣味性。这些没有图号的漫画是谢诒献画的。

本书可供对粒子物理有兴趣的高中学生和具有中等文化程度的青年阅读，也可供中学教师参考。

中学生课外读物
现代科学技术丛书
粒子家族的功勋成员
谢诒成 编

*

人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京市房山县印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 3.25 字数 67,000

1984年8月第1版 1985年2月第1次印刷

印数 1—10,000

书号 7012·0735 定价 0.37 元

前 言

顾名思义,你可能从书名就猜到了,这本小书的内容写的是关于粒子物理的故事,主角是微观粒子。对!你猜对了。

可以说有史以来人类就在不断地思索:我们周围那丰富多彩的大自然是怎样构成的?支配着它的基本规律是什么?在科学技术不发达的古代,人们很难找到这些问题的答案。于是,不得不求助于信仰与宗教,产生了如“盘古开天”、“上帝造人”之类的神话。但另一方面,也有一些古代科学家和哲学家,以物质为基础来寻求自然界的基本规律。例如,我国在商周之际就出现了具有朴素唯物自然观的阴阳说和五行说。在古书《尚书》的洪范篇中有关于五行的明确记载:“一曰水,二曰火,三曰木,四曰金,五曰土。”认为这五种东西是万物的根本。在西方希腊,古时候也有一种学说,认为火、土、水、气是自然界的四种独立元素,一切物质都是由这四种元素组成的。这些思想的一个共同点,就是认为多种多样的物质是由少数东西构成的。希腊哲学家德谟克利特(约前460—370)更明确地提出,物质是由极小的不可再分的粒子构成的。英语中的“原子(atom)”一词,就来源于希腊语,含义是“不可再分之物”。现在看来,德谟克利特原子论的某些内容仍是正确的,但在当时的技术条件下,无法证实原子的存在,因此,关于原子论的学说只能被看做是哲学的一种无根据的玄想罢了。

十七世纪开始,近代自然科学发展起来,原子论的内容也

随之具体、丰富和发展。首先，由玻义耳引入了“元素”(实为单质)的概念。后来于十九世纪初，道尔顿和阿伏加德罗先后发展了原子和分子的概念，认为物质是由不可再分的原子构成的，原子可以结合成分子，分子是保持物质化学性质的最小单元，同种原子构成的是元素(单质)，几种不同原子构成的是化合物。1869年，门捷列夫发现了元素的周期律，表明原子论确实反映了物质内部结构。这样，直至上世紀末本世纪初，人们认为已找到了组成自然界各种物质的最小单元，那就是原子。

1897年，汤姆生发现了电子，原以为不可再分的原子显出了内部结构。至1911年知道了原子内部是电子和原子核。1932年发现了中子，同年又提出原子核是由质子和中子组成的学说。原子直径大约是 10^{-10} 米，原子核集中在大约 10^{-16} 米范围内，在肉眼无法分辨的这么小的空间内，竟然是一个熙熙攘攘的微观世界！支配着微观世界物质运动的，是一种完全不同于宏观物体的运动规律，这种规律要用量子力学来描述。原子结构发现后，人们心目中构成物质的最小“砖块”就是电子、质子、中子了，所以它们被称为“基本粒子”。

从三十年代开始，随着实验技术的发展，“基本粒子”的数目越来越多，到六十年代，“基本粒子”已不是数以十计，而是多达上百种，成了一个大家族。按照各自的性质，它们又分为几大类，即：光子、轻子和强子(最近又发现了一类中间玻色子，它与光子可统称为媒介子)。当时，强子的性质已明显表现出有内部结构。在这以后，“基本粒子”这个名称就名不符实了，于是近年来又把它们改称为“粒子”。研究粒子的种类、性

质、运动规律以及它们的内部结构的学科就叫粒子物理学。

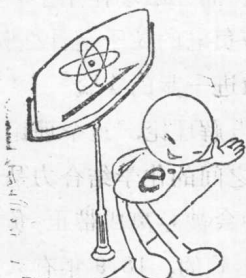
现在，粒子家族的成员比六十年代又增加了许多，每种粒子都为我们带来了关于微观世界的新信息。在他们之中有一些成员，它们的发现对粒子物理学的发展建立了很大的功劳。下面就是这些功勋粒子的故事。

目 录

前言	1
一、电子带我们进入微观世界	1
二、二象性的光子	8
三、中子打开了原子核宝库的大门	16
四、第一个反粒子——正电子	23
五、隐身者——中微子——露面了	31
六、寻找汤川粒子所经历的曲折	41
七、一群奇异粒子问世	47
八、光荣的迟来者—— Ω^- 粒子	57
九、意料之外，情理之中的 J/ψ 粒子	65
十、不轻的“轻子”—— τ 重轻子	74
十一、又一个里程碑	
—— W^+ 、 W^- 、 Z^0 粒子与电磁力和弱力的统一	78
结束语	91
附录：粒子特性数据表	94

一、电子带我们进入微观世界

十九世纪初,电学家们发现了一种叫做阴极射线的现象。



这就是在充有稀薄气体的玻璃管两端加上高压电后,玻璃管内发生的放电现象。首先有人发现,如果提高真空度,则在阳极方面的玻璃上会出现荧光,

由此推测这可能是从阴极发出的某种射线打在玻璃管壁上所致。随后的实验证明这个推测

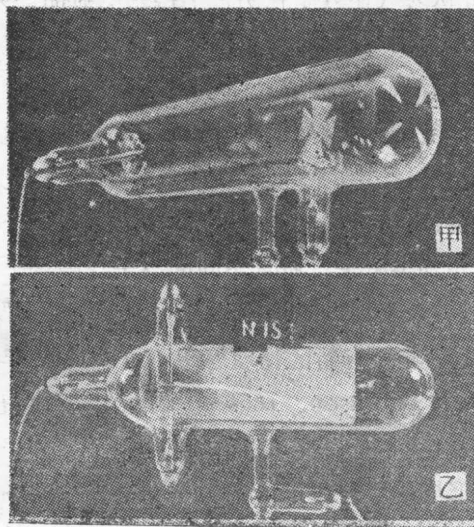
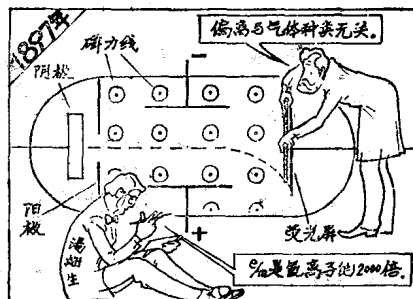


图 1

是正确的。当时，不少科学家都很重视阴极射线现象，感到有必要弄清它的本质。他们把一个十字形金属片放在射线的通路上，在阳极后面的玻璃管壁上就出现这个小物体的阴影(图1甲)。如再把一块磁铁放在玻璃管旁，阴影的位置就移动。从阴影移动的方向可以知道，阴极射线是带负电的粒子。在没有磁场作用时，阴极射线沿直线前进，而在磁场作用下，它就发生了弯曲(图1乙)。那么，这些带负电的粒子是什么呢？科学家有一些不同的推测，并尝试去做进一步的实验。

当时有一种比较先进的法拉第电解理论，这个理论认为各种物质分子都由原子组成，原子之间的化学结合力是由电力产生的，电解质分子在稀薄溶液中会被分离成带正、负电荷的离子，这些假设都经实验证实是正确的。1879年有人从电解理论类推，认为气体分子在阴极上得到电荷而成为离子，由于阴极的电斥力而飞向阳极。许多人自然而然地接受了这种想法，但是也有人注意到有几个事实与这种说法相矛盾。首先，阴极射线能够通过金属薄膜，而离子是不可能通过的；另外，阴极射线在磁场中的弯曲状况与气体的种类无关，在一定的磁场下，射线的偏离程度是一定的，而如果是离子，则离子的质量与气体种类有关，质量不同的离子在磁场下的偏离程度是不同的。看来用现成的理论不可能满意地解释阴极射线。要揭开这个迷，非要有新的物理思想不可。1897年英国剑桥的汤姆生(J. J. Thomson, 1856—1940)大胆地提出一种假说，认为阴极射线不是由离子，而是由比原子、分子轻得多的带负电粒子形成的。他根据带电粒子在电场或磁场作用下会发生弯曲的事实，提出一个测量阴极射线粒子的速度及荷质



比 e/m (即电荷与质量之比)的方法。不久, 完成了著名的实验, 测得的阴极射线粒子的荷质比不仅与粒子的速度无关, 而且与管中气体种类和阴极材料也无关。这一结果相当出乎人们意料, 但实验事实是毋庸置疑的。当时测得的阴极射线粒子的荷质比是氢离子荷质比的 1700 倍, 现在测得更精确的值应为 1800 倍。

图 2 甲是汤姆生使用的仪器, 乙是它的简图, 从阴极 C 发出的射线, 穿过狭缝 A 、 B 变成为细束, 当射线穿过 D 和 E 之间时, 若将 D 、 E 充电, 细束就会或上或下地偏转, 在管子右端带有标尺的屏上可测得偏转程度, 偏转的方向说明细束是带负电的。然后在 D 、 E 之间加一个方向和书的平面垂直的磁场, 可以发现, 磁场也使细束或上或下地偏转, 偏转的方向同样表明细束是带负电的。如果让电场和磁场同时作用而互相抵消偏转, 就可计算出射线的速度; 从电场或磁场单独产生的偏转, 可以算出射线粒子的荷质比。你也许要问, 这是一个很简单的实验, 为什么在汤姆生以前没人想到去做呢? 汤姆生本人曾回答了这个问题。他指出, 要使这个实验成功必须获

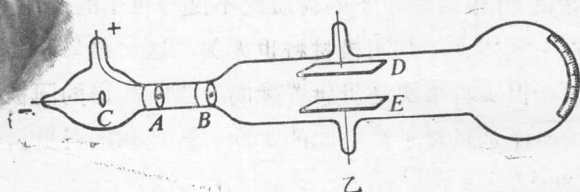
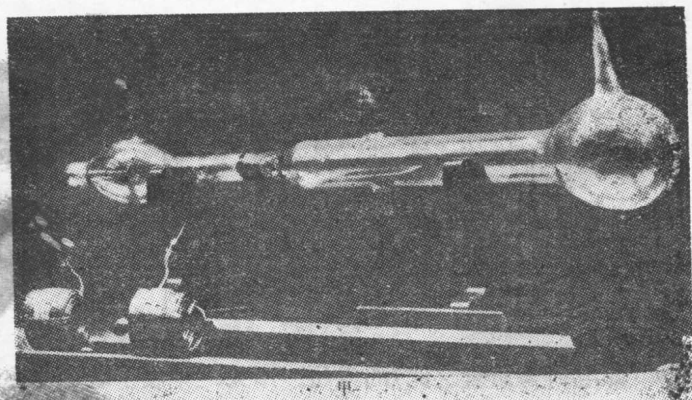


图 2

得高度的真空,这一点说起来比做起来容易得多。确实,在汤姆生的年代要达到实验要求的高真空是很难的,因为从1855年水银真空泵问世算起,高真空技术的发展才不过几十年的历史。由此可见,技术的进步对科学的发展有重要影响。

汤姆生还近似地测定了阴极射线粒子的电荷及氢离子的电荷,证明这两者大小相等,符号相反。这样就完全弄清了阴极射线粒子的存在和性质,汤姆生称这些粒子为“微粒”,并称它们所带电荷为“电子”,因为这个电荷代表了一个最小单位。后来,人们就把阴极射线粒子本身称为电子。

电子的发现打破了原子不可分的陈旧观念,微观世界的

大门开始呈现在人们的面前。

原子中存在有带负电的电子,而整个原子是中性的,那么原子中的正电部分是如何分布的呢?从发现电子后汤姆生就开始思考原子的结构。1903年他正式提出了自己的原子模型,设想一个包含有 Z 个电子的原子中连续均匀分布着正电荷,总电量为 $+Ze$, Z 个电子平衡地埋置在正电荷中,就是说正电部分象一个圆面包,电子象葡萄干嵌在中间。从经典电磁学的观点看,这个模型可以说明原子的稳定性,而且汤姆生估计出原子的半径约为 10^{-10} 米,与实际情况非常符合,所以这个原子模型得到了普遍承认。然而,几年以后,出现了一个震动物理和化学界的实验结果。这就是卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937)和他的同事们在用 α 粒子轰击金属箔片的实验中,发现了与汤姆生原子模型不一致的现象。 α 粒子是从天然放射性中发现的,它带有两份正电荷,质量是氢原子的四倍,当它轰击物质的原子时,受物质原子中的正电部分排斥,电子比 α 粒子轻得多,不会对 α 粒子的运动有多大影响。如果按照汤姆生的模型,正电荷是分散分布在原子中的, α 粒子的偏转角一般不会太大(图3甲)。1909年,卢瑟福让他的助手盖革和学生马斯登注意观察 α 射线的大角度散射。实验结果表

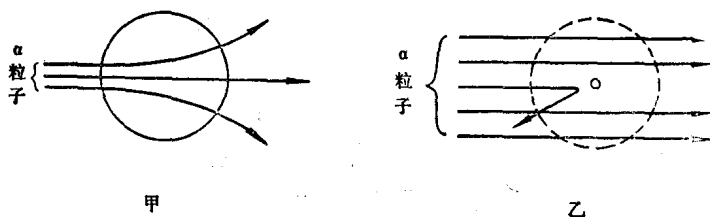


图 3

明出现了一些大角度偏转的 α 粒子(图3乙),其数目和偏转的程度远远超过了汤姆生模型的估计, α 粒子随角度分布的状况也与汤姆生模型不符。卢瑟福曾是汤姆生最得意的学生,但在实验数据面前,他毅然否定了过去老师的假设,于1911年提出了自己的新的原子结构模型。他认为要解释 α 粒子发生大角度偏转的事实,必须假设原子中的正电部分是集中在原子中心的一个极小范围内,这个范围只有 10^{-15} 米这么大!前面说过,原子的大小约为 10^{-10} 米,这样,原子核在原子内就象一颗米粒悬在人民大会堂的大厅中心一样,周围绝大部分是空荡荡的,而且电子的质量只占原子总质量的几千万分之一,极轻的电子围绕着重而小的核心转,看起来倒有点象太阳系中的行星围绕太阳运行,不过后者的尺度是亿万公里,前者却是在一个肉眼看不见的极小空间内。这个图象着实有点不好接受,难怪一开始不大人相信卢瑟福的结论呢!

卢瑟福模型还存在很大的缺陷,例如,它不能说明原子的稳定性,不能解释为什么电子不会落到原子核上。因为根据经典的辐射理论,电子与原子核之间的电磁相互作用会使围绕原子核转的电子连续发光,这样电子的能量就要越来越少,转的圈子也就越来越小,最后与原子核相碰。这个推理的结果与事实不相符,因为人们早就知道原子是相当稳定的。那么一定有一种原因使电子不会连续发光而丢失能量,因而能在原子核中维持稳定的轨道。1913年丹麦科学家尼尔斯·玻尔(Niels Bohr, 1885—1962)针对这个问题并结合实验上观测到的原子光谱线的特点,把量子假设应用于卢瑟福模型,提出了一个新理论。玻尔假设原子内的电子不能在任意的轨道

上运动,而只能在一组具有特定条件的轨道上,这个条件限定每条轨道相应的角动量(动量矩)只能取某一常数的整数倍,取其他中间值的情况是不允许的,因而,处在一个轨道上的电子不能连续地经过中间状态变到另一轨道上去,而只能跳跃式地变化。当原子中的电子都处于尽可能低的能量的轨道上时,原子就是稳定的。玻尔模型能很好地解释原子发光所产生的线光谱。

玻尔理论一提出,任何一个习惯于经典物理思维方法的物理学家毫无例外地感到震惊。他们是在事实的“逼迫”下才不能不接受它的。它的成功揭示了电子的运动中某些物理量不可连续改变,只能一份一份地增加或减少,这就叫做量子化,而量子化正是微观世界的一个主要特点。

二、二象性的光子

对于光，大家是熟悉的。清晨，一缕金色的阳光透入窗内，为你送来了日出而作的信号。夜晚，灯下课儿学涂鸦，光亮延长了劳作欢乐时间。这里说的光是可见光。还有的光是眼睛觉察不出来的，对这种光其实我们也不陌生。例如，医院里使用的X光，取暖用的红外线发生器发出的红外光，还有紫外线灯发出的紫外光，等等。虽然自然界中光的现象处处存在，而且人类很早就懂得利用光，不过人类真正开始认识光的本质，却是十九世纪初的事了。

十九世纪以前，有一种学说曾在很长一段时期里占上风，它认为光是由发光体射出来的粒子流，这种学说的代表人物是牛顿，他认为光线的直线传播和反射、折射现象是粒子性的表现。十九世纪初，人们发现了光的干涉和衍射现象，表明了光有波动性。把一个单色光源的光分为两束，让它们通过两条不同的路径后再会合到一起投射到屏幕上，就会出现明暗相间的条纹，这种现象就叫光的干涉，例如光通过双缝产生的干涉。干涉是波动所特有的现象，如果你在平静的水池中投下两颗石子，它们各自引起两个由中心向外传播的水波，当这两个水波相交后，你就会发现相交处的水面呈现激荡和宁静区域相间的图案，这就是水波的干涉现象。人们眯起眼睛看灯光时，会看到彩色条纹，这是光的衍射现象。衍射也是波的

特性。我们知道,用波动性同样能解释光的反射和折射现象。于是,牛顿的粒子说被抛弃了,从而光的波动说发展起来了。

十九世纪后半期,电磁学进展很快。1861年麦克斯韦提出了完整的电磁学理论,从他的理论推出电磁波的速度与光速完全一致,而且电磁波的传播方式也与光波一致,因此,他提出光的本质就是电磁波,这个学说很快就得到了证实。光的电磁说是十九世纪物理学的一个伟大成就,它把人类司空见惯的两种现象——光和电统一了起来。从此,我们知道,X光、紫外光,可见光和红外光与无线电技术中的短波、中波一样都是电磁波,只是各自的波长不同而已。

十九世纪末,由于原子论的确立,电子的发现和法拉第-麦克斯韦电磁学说等经典物理理论取得了辉煌的成就,当时所有的物理现象几乎都得到了完满的解释。尽管还有一些疑难,有些人认为大局已定,对自然界的认识接近完成,物理学的使命即将结束。英国著名的科学家开耳芬晚年说过的一段话典型地代表了这种观点,他说:“物理学已经可以认为是完成了,下一代物理学家可以做的事情看来不多了,但是,在物理学的晴朗天空的远处,还有两朵令人不安的小小的乌云”。这两朵乌云指的是:迈克耳孙(A. A. Michelson, 1852—1941)-莫雷(Morley)证实光速不随观测系统而变的实验及热辐射问题。开耳芬何曾料到,正是这两朵看起来“无妨大局”的乌云,却带来了两场大风暴,致使物理学在二十世纪中以崭新的面貌出现:迈克耳孙-莫雷实验指出牛顿力学的局限,终于在1905年爱因斯坦(1879—1955)提出了著名的相对论理论;而热辐射问题则孕育出量子力学的诞生。

热辐射是一种常见的现象，俗话说万物生长靠太阳，太阳能就是以辐射的方式传到地球上来的。把东西放在火炉旁会烤得很热，这也是热辐射的结果。通过一些实验，人们认识到热辐射的本质与光一样，也是电磁波。物体吸收辐射热而发热是物质的原子与电磁波相互作用的结果。电磁波携带着能量，当原子吸收或放出电磁波时，就吸收或放射出了能量。如果用仪器来分析热物体发出的辐射，就会发现它发出的波长范围很宽，并且各个波长处的辐射强度不同，因此可以得出它的“谱分布”曲线。谱分布表明热辐射在某个波长处有最大值，温度越高，跟最大强度相对应的波长越短。你是否注意过，当一块铁被加热时，随着温度升高，会从发红光变为发白光。这个现象说明了谱分布的特点，因为在可见光中，红光波长最长。取暖用的火炉辐射的主要是波长很长的红外光，所以通常只能感受到热，而看不见光。

十九世纪末，科学家仔细研究了黑体的热辐射规律。所谓黑体，就是对热辐射能完全吸收而没有反射的物体。实际上，几乎没有一个物体是理想的黑体，不过，从加热炉的小孔中发出的辐射差不多接近黑体的热辐射，所以可以用它来做实验。科学家通过实验测定了不同温度下黑体辐射的谱分布曲线（图4），就尝试从理论上来推导描述这种曲线的公式。当时出现了两种理论，从不同的途径分别得出两个不同公式。一个在短波范围与实验结果相符，但在长波范围不相符（图4中的维恩线），另一个正相反（图4中的瑞利—琼斯线）。黑体辐射问题使科学家大伤脑筋，他们不能满意于两个不理想的公式，希望找到一个统一的公式来描述整个波长范围内的情况。