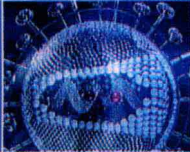
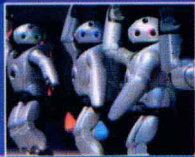


KEXUEMUJIZHE

科学目击者

粒子探微

北京未来新世纪教育科学研究所 编



新疆青少年出版社
喀什维吾尔文出版社

科学目击者

粒子探微

北京未来新世纪教育科学研究所 编

新疆青少年出版社
喀什维吾尔文出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学目击者/张兴主编. —喀什:喀什维吾尔文出版社;乌鲁木齐:新疆青少年出版社,2005.12

ISBN 7-5373-1406-3

I. 科... II. 张... III. 自然科学—普及读物 IV. N49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 160577 号

科学目击者

粒子探微

北京未来新世纪教育科学研究所 编

新疆青少年出版社 出版
喀什维吾尔文出版社

(乌鲁木齐市胜利路 100 号 邮编:830001)

北京市朝教印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 32 开

印张:600 字数:7200 千

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印数:1-3000

ISBN 7-5373-1406-3 总定价:1680.00 元(共 200 册)

如有印装质量问题请直接同承印厂调换

前 言

同仁们常议当年读书之难，奔波四处，往往求一书而不得，遂以为今日之憾。忆苦之余，遂萌发组编一套丛书之念，望今日学生不复有我辈之憾。

现今科教发展迅速，自非我年少时所能比。即便是一个小地方的书馆，也是书籍林总，琳琅满目，所包甚广，一套小小的丛书置身其中，无异于沧海一粟。所以我等不奢望以此套丛书贪雪中送炭之功，惟愿能成锦上添花之美，此为我们奋力编辑的目的所在。

有鉴于此，我们将《科学目击者》呈献给大家。它事例新颖，文字精彩，内容上囊括了宇宙、自然、地理、人体、科技、动物、植物等科学奥秘知识，涵盖面极广。对于致力于奥秘探索的朋友们来说，这是一个生机勃勃、变幻无穷、具有无限魅力的科学世界。它将以最生动的文字，最缜密的思维，最精彩的图片，与您一起畅游瑰丽多姿的奥秘世界，一起探索种种扑朔迷离的科学疑云。

《科学目击者》所涉知识繁杂，实非少数几人所能完成，所以我们在编稿之时，于众多专家学者的著作多有借鉴，在此深表谢意。由于时间仓促，纰漏在所难免如果给读者您的阅读带来不便，敬请批评指正。

编 者

目 录

| | | |
|---|-------------------------------|----|
| 一 | 原子核世界 | 1 |
| | 1. 原子核的发现 | 1 |
| | 2. 原子核的组元 | 3 |
| | 3. 原子核的结构 | 6 |
| | 4. 原子核的一些基本性质 | 9 |
| | 5. 原子核的衰变和反应 | 28 |
| | 6. 原子核的裂变 | 32 |
| | 7. 原子核的聚变 | 34 |
| | 8. 原子核结构模型 | 35 |
| 二 | 粒子世界 | 50 |
| | 1. 正电子、中子、反质子和反中子 | 50 |
| | 2. μ 子、 π 介子、中微子和反中微子 | 56 |
| | 3. 场、粒子和真空 | 60 |
| | 4. 相互作用 | 63 |
| | 5. 粒子世界的对称和对称性 | 65 |
| | 6. 粒子世界的守恒量 | 70 |

| | |
|----------------------|-----------|
| 7. 奇异粒子和奇异数 | 73 |
| 8. 粒子的分类 | 76 |
| 三 粒子和宇宙 | 81 |
| 1. 宇宙的演化 | 81 |
| 2. 强子物质和夸克物质 | 82 |
| 3. 高能重核碰撞 | 84 |
| 4. 暗物质和新粒子 | 86 |

一 原子核世界

1. 原子核的发现

1897年,英国科学家汤姆生发现了电子,并测定了电子的质量。他发现电子的质量仅是氢原子的 $1/1840$,那么原子中大部分的质量应该是在那里呢?整个原子是呈电中性的,电子是负电性的,于是汤姆生就想,原子中带正电那部分物质,质量一定很大,而且可能是它占据了原子的整个空间。这就是汤姆生的原子模型。

1911年,在英国工作的物理学家卢瑟福和他的助手们做了一个实验。他们用 α 粒子作“炮弹”去轰击一片金属箔,在箔后面放置观测用的硫化锌屏,当 α 粒子打到硫化锌屏上时,就会发生闪光,实验结果,大部分 α 粒子能穿透金属箔,按照汤姆生的模型,说明金属箔的原子对 α 粒子运动没有产生什么大影响。于是他们又把硫化锌屏移动了若干角度来观测,当他们移到与 α 粒子源同一侧时,却发现了特别出乎意料的情况,即发现有极个别的 α

粒子发生被金属箔反射回来的现象。初步估计了一下，大约每发射 8000~10000 个 α 粒子中，可能有一个 α 粒子被这样反弹回来。看来原子当中绝大部分空间确是空荡荡的， α 粒子可以轻易穿过。即使 α 粒子碰上了原子中的电子，由于电子质量比它小七千多倍，当 α 粒子与它相碰时。那只好比汽车碰到小石子那样一冲而过。那么卢瑟福实验中那个个别 α 粒子发生那样大的拐弯反弹回来的现象又说明了什么呢？这说明原子当中一定有一个质量至少比 α 粒子质量大许多倍的东西，用卢瑟福自己的话来说，“这好比用 15 英寸的炮弹射击一张薄纸，而炮弹竟然会被反弹回来击中你。”根据库仑定律，作用在电荷上的力与电荷的大小成正比，与两电荷间的距离的平方成反比。可以估算出来， α 粒子只有与一个距离它 10^{-12} 厘米、质量比它大好多倍的正电荷相遇时，才会发生那么强烈的静电斥力。那就相当于一辆小汽车以极快速度和一辆大汽车相撞而被弹回去的情况差不多。当然由于静电的斥力随距离 r^2 成反比，所以 α 粒子越是靠近，其斥力越大，实际上并不需要“相碰”才反射回来，这点与宏观物质如两汽车的相撞是有原则区别的。所以原子当中，一定有一个带正电的但体积却只有 10^{-12} 厘米这样微小的东西。这也就是说原子的质量绝不是均匀地分布在它所占据的空间的整个体积内，而是与它的正电荷一起集中在体积只占整个原子体积一百万亿分之一的体积里。这就是在整个原子世界中几乎主宰一切的、带电

的、微小而且很重的核心——原子核。打个比方吧，如果把一个原子放大成地球那样大，那么原子核充其量不过是地心当中一座高楼而已，或者说如果把原子放大成一座千人以上的大礼堂，那么原子核不过是礼堂当中一张桌子上放的一颗芝麻。原子核集中了原子中 99.99% 的质量。当时卢瑟福想像原子可以与太阳系相比，如果将原子核比作太阳，则电子就好比绕太阳为中心旋转运动的行星，而在这“行星”与“太阳”之间，基本上是空荡荡的宇宙空间，这就是卢瑟福提出的原子核模型。1910 年卢瑟福和他的助手盖革、马斯登的这一杰出实验，揭开了原子世界最重要的一幕。它比汤姆生模型更好地解释了原子结构，成为原子结构的基本观点。

2. 原子核的组元

原子核的体积很小，原子核直径的量级是十万分之一埃。在研究原子核和粒子世界问题时，常用费米作为长度的单位，一费米等于十万分之一埃，也就是一千万亿分之一米。原子核是由质子和中子组成的，质子和中子通过只在 10 费米以内的近距离时才有很强的强相互作用吸引力结合成原子核。在人们发现中子以前，不清楚原子核是由什么粒子构成的，这些粒子又是怎么样构成原子核的。

20世纪30年代初期,人们知道原子核的性质可以由原子序数和原子量两个量描写。原子序数是该原子核所带的正电荷,是单位正电荷的倍数,原子量则正比于原子核的质量,并且大体上是氢原子量的整数倍,而氢原子核就是质子。当时已经发现的基本粒子有质子、电子和光子,质子带单位正电荷,电子带单位负电荷,光子不带电。质子的静止质量很重,是电子的1836.15倍。当时曾有一个原子核的结构模型,认为原子核是由质子和电子所组成,原子量就是原子核中包含的质子的数目,原子核中电子的数目则是原子量减原子序数,这样原子核所带有的正电荷的数目自然就等于原子序数。

这个模型可以对原子核的原子序数和原子量给以很好的解释,但进一步的分析研究就碰到了一系列基本的困难。

第一个困难。原子核的结合很紧,说明把原子核的各组成成分结合在一起的相互作用很强,特别是在距离为1费米附近时,应该远比电磁相互作用强。如果原子核是由质子和电子组成,原子核和电子之间应该有这种相互作用。然而当把电子射向原子核时,接近到几费米甚至1费米距离附近时始终没有察觉到超过通常电磁相互作用的更强的新型的相互作用存在。

第二个困难。如果原子核中包含电子,电子的位置就被限制在原子核的体积内,即在半径为几费米的球体内。由于微观粒子运动普遍满足位置和动量的不确定

关系,电子的动量就不能很小,相应地电子所具有的动能也不能太小。例如,氧原子核的半径约为3费米,从不确定关系给出在氧原子核中电子动量的不确定范围,从而可以估计出电子具有的动能值至少达到16.3兆电子伏特。具有这么大动能的电子不可能被束缚在原子核里,将会很快地从原子核中穿出来,这表明由质子和电子组成的原子核不可能是稳定的。

第三个困难。质子和电子都是自旋量子数为 $1/2$ 的费米子,当它们组成原子核时,可以根据角动量的相加规则很容易地估计出原子核自旋角动量的性质,判断原子核是费米子还是玻色子。由于每一对质子和电子的自旋角动量之和可以是总自旋量子数为0或1,所有的配了对的质子和电子的自旋角动量的总和的自旋量子数必然是整数,因此,原子核的自旋类型应完全由原子序数决定。原子序数为奇数的原子核应该是费米子,原子序数为偶数的原子核应该是玻色子。然而这个规则并不对,氮的原子序数是7,但实验测得氮核的自旋量子数为整数,是玻色子。

3. 原子核的结构

原子核的结构

1932年查德威克在实验中发现中子,中子不带电,质量是电子的1838.67倍,自旋量子数是 $1/2$,中子和原子核之间在近距离有很强的相互作用。中子被发现后,很快就确立了原子核是由质子和中子所组成的。

原子核中包含的质子数就是原子序数,原子量则大体等于原子核中的质子数和中子数的总和。原子核大体是球形,综合从很轻到很重的各种原子核的体积值,得到原子核的体积约等于原子量乘7.24立方费米,这表明原子核的粒子数密度大体上是个常数,每个粒子,不论是质子还是中子都平均占体积7.24立方费米。原子量越大,占的体积也越大。

自由的中子的质量比自由的质子略重,但它们之间的质量差只占质量值的千分之一点四,可以近似地看作相等。质子与中子的差别在于质子带电而中子不带电,然而它们的强相互作用性质和行为相似,都是原子核的组成粒子。这表明质子和中子可以看作是同一种粒子的不同带电状态,质子和中子统称为核子。各种原子核的粒子数密度大体上是常数也反映了各种原子核的质量密

度大体上也是个常数。这个现象一方面显示核子之间的相互作用是只在短距离内才有很强的吸引力,另一方面也显示核子都具有很强的不可入性。

结合能

在核子结合成原子核时,原子核的质量并不是全部核子质量的相加,在这个过程中,会释放出一定的能量,这就是结合能。相应地生成的原子核将损失一部分质量。原子核中平均每个核子的结合能称为平均结合能。例如,氦原子的原子量是 4.002602,一个原子质量单位相当于 $931.494\text{MeV}/c^2$,它的原子核是由两个中子和两个质子组成的。一个中子的质量是 $939.566\text{MeV}/c^2$,一个质子的质量是 $938.272\text{MeV}/c^2$,因此,在中子和质子结合成氦原子核时,由于释放了结合能,相应地质量损失了 $27.276\text{MeV}/c^2$ 。

原子核的能量尺度和原子核结构模型

原子世界中能量常常采用电子伏特作为单位,电子伏特就是一个电子的电量经过一伏特的电压降所获得的能量。对于一个氢原子,如果要把电子从氢原子中拉出去,需要加进去 13.6 电子伏特的能量。原子世界中其他的能量变化,一般也是电子伏特的量级。原子世界中能量变化的尺度是电子伏特。

原子核的能量变化的尺度是兆电子伏特,比原子世

界中能量变化的尺度大 100 万倍。原子核的结构有它特有的特点。最轻的原子核是氢核,它就是一个质子,最重的原子核由 272 个核子组成,原子核中包含的核子数从很少到很多都有。原子核的组成结构上的这个情况显示出几方面的特点。

一方面,许多核子相互吸引结合在一起,很像原子核外许多电子运动组成原子的情形。人们期望,核子的能级分布也将和原子中的电子能级分布类似,也是分层的。实际上,确实发现有些原子核显得特别稳定,有些原子核则很不稳定。根据这方面的特点发展了原子核结构的壳层模型理论,对原子核结构的许多性质给了成功的描述和预言。

另一方面,重原子核由许多核子组成,其现象是由核子作为组元的微观聚集状态。根据这方面的特点发展了原子核结构的费米气体模型理论,对原子核的许多性质和行为给了成功的描述和预言。

再一方面,原子核既然是许多核子聚集的系统,必然会表现出大量核子组成的集体的运动,例如原子核整体的转动和振动,都是典型的集体运动,不能归结为单个核子的运动。根据这方面的特点发展了原子核结构的集体模型理论,也对原子核的许多性质和行为给了成功的描述和预言。

这几方面的理论各自从一方面反映了原子核结构的特点,在它们的基础上,发展了许多理论,进一步揭示原

子核结构的运动行为和动力机理。

4. 原子核的一些基本性质

我们初步有了对原子当中有原子核这样的认识,我们进一步再探索一下,原子核究竟是由什么东西组成,它本身又有那些最重要的特征,它的结构如何,以及我们通过什么手段可以研究这样小的微观世界?

原子核的电荷、质量和组成成分

电荷 我们已经从卢瑟福的 α 散射实验知道, α 粒子碰到原子当中的原子核时,由于静电排斥,会被改变角度。当时卢瑟福就已经用数学方法算出了这种散射所应遵循的定律,他发现沿着一定角度散射的粒子数目,应同散射金属箔的厚度及原子核的电荷的平方成正比,并且同入射的粒子(指当时用的 α 粒子)的速度的四次方成反比。所以通过这实验就可以测定各个元素的原子当中,它的核所带的正电荷的数值,并且证实各种原子核的电荷与核外电子总的电荷数值相等,符号相反。这个数值就是该原子所占据的周期表中的原子序数。因此我们知道,原子核是带正电荷,数值是最小电量单位($e=4.8 \times 10^{-10}$ 静电单位)的整倍数,这倍数通常用 Z 表示。测定这样小的原子核电荷,可以通过许多方法。可以用化学

的办法,因为原子的不同化学性质就可以确定它在周期表中的位置,位置的顺序,就是原子核外电子数目,而核的正电荷仅是与其数量相等、符号相反而已。但比较准确的而又比较广泛的测量核电荷的办法是用测定特征 X 射线的方法。利用莫塞莱定律就可计算得到原子核的 Z 值。

我们知道,原子核周围的电子是按严格的规律一层一层围绕着核而运动,最靠近原子核那层电子叫 K 层电子,而 K 层电子最多只能有两个。由于 K 层电子最靠近原子核,它又和核带相反符号的电荷,这样异性相吸,K 层电子必然要受到原子核最大的吸引力了。吸引力的大小与彼此带的电荷大小有关,所以当我们设法把原子激发,把 K 层电子从最靠近原子核的位置移到远离原子核的其他未被电子占据的轨道上时,靠近 K 层的其他层次如 L 层、M 层的电子,就会跑到被激发而跑开的原 K 层电子的位置上,当 K 层的两个电子空位被其他层电子占据之后,这个情况就不复存在了。在这两个电子占据空着的 K 层电子位置时,会同时辐射出一束电磁波,这电磁波的频率是与 K 层的特征密切相关,因此我们就叫特征 K α 线。

自然界中存在的原子核中最高原子序数是铀,它的原子序数是 92,但是人工制造的元素最高的可到 107 单位电荷,第 106 号元素美苏两国各自宣称是他们首先发现的,因而 106 号元素的名称,甚至连同 104 号、105 号