

宇宙线和正电子的发现

肖 健

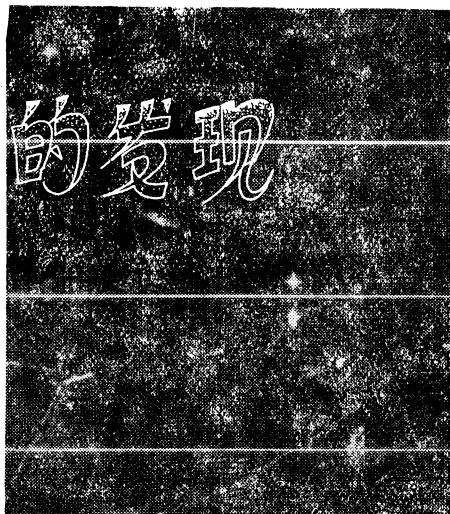


图 1

十九世纪末,人们发现了x射线、电子和放射性元素;二十世纪初,又发现了原子的构造和原子核。在这些发现的基础上,人们开始注意到有一种射线是由宇宙空间射到地球上来的,它可以穿透厚层的岩石达到很深的地下,这种射线被命名为“宇宙线”。

那时候,人们以为“宇宙线”是很高能量的 γ 射线,因为当时所知的穿透本领最大的射线就是 γ 射线。按照这样的观点,有人估计, γ 射线与原子相遇,可以把原子周围的电子打出来,测量这些电子能量的分布,就可以进一步了解宇宙线的性质。

当时使用的仪器是放在强磁场里的云室。云室是一个密闭的容器,前面是一块平面玻璃,两侧是入射照明光线的玻璃窗,后面有一块橡皮膜。云室内充有比大气压稍高的气体,如空气或氩,并充有少量的酒精和水的混合液。平时挤压橡皮膜使云室的体积稍有缩小,在常温

下达到热平衡时,云室内的液体蒸汽达到饱和状态。当有带电粒子穿过云室内的气体时,粒子沿着其经过的途径,使气体电离而产生一些离子。这时,突然放松橡皮膜,使它在一瞬

间急速地后退一定的距离,室的体积急速膨胀,以致室内的温度骤然下降,室内的液体的蒸汽因而处在过饱和状态。如果体积膨胀控制得适当,则液体蒸汽并不凝结,而只以离子为核心凝结成为一颗颗的小水珠。由于只在带电粒子经过的途径产生离子,所以这些小水珠都凝结在粒子经过的途径上。这时从侧窗射入一个脉冲强光,并通过前窗用照像机把这些水珠照下来,则照片上将显现出这个带电粒子所走过的路径。照片上的由水珠所显现的粒子所经过的路径叫做粒子的径迹。

用云室来探测宇宙线,可以在照片上看到不少带电粒子的径迹。

可以根据照片上径迹的水珠密度,估算出带电粒子的速度(图2,图中水珠的密度以 $1/10$ 来表示,粒子速度以 β 表示,

$$\beta = \frac{\text{粒子速度}}{\text{光速}}。$$

但这样还不够,还不知道粒子的动量和质量。为此还必须把云室放在一个大的电磁铁的两个磁极之间,使整个

云室处在一个均匀的强磁场内,磁力线的方向和照像的方向平行。带电粒子在磁场中走过,就会转圈,动量越大,转圈半径也越大;动量越小,转圈半径也越小。根据照片上粒子径迹转圈的半径,就可以估算粒子的动量;再根据水珠的密度,又可以估算粒子的速度。有了动量和速度,粒子的质量也就可以知道了。

利用这样的仪器观测宇宙线打出来的电子,却出现了意外的现象。原来以为打出来的带电粒子应该都是电子,电子都应该按相同的方向转圈。事实上却不是这样,有不少的粒子却是按相反的方向转圈,按相反方向转圈的粒子所带的电荷应该是正电荷(与电子相反)。

这些带正电荷的粒子是质子吗?质子是带正电的,而且 γ 射线也有可能把质子打出来。但是不是!从这些按相反方向转圈的粒子径迹的水珠数来看,它们差不多全都是速度很高的($1/I_0$ 接近1, $\beta > 0.95$ 见图2),再从转圈半径来看,这些高速的粒子的动量却都不大。动量是质量和速度相乘,速度很大而动量不大,就必定质量很小,因此肯定不是质子。当然,在这些带正电的粒子中,也有个别粒子速度小而动量大,这些粒子质量必定大,可以辨认为质子。根据这些实验事实

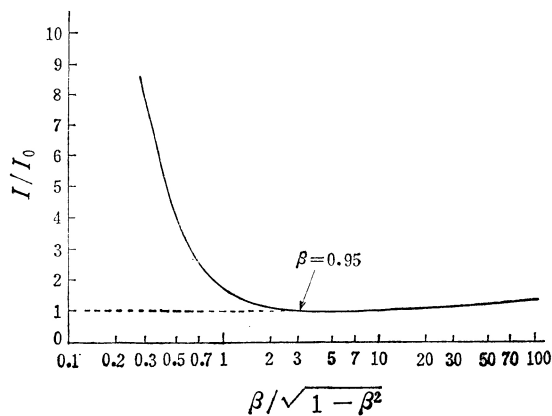


图 2

和对实验事实的分析,可以推断宇宙射线打出来的次级粒子中,除了大量的电子外,还有大量的小质量的带正电粒子。

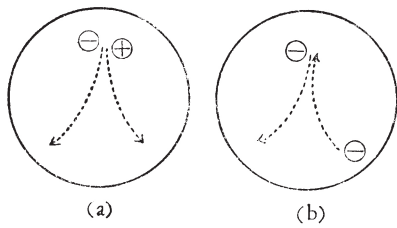


图 3

- (a) 云室中两条径迹,如果两条都是从上向下,那末左边一条是顺时针方向转圈,右边一条是逆时针方向转圈,转圈方向相反。(根据左手定则,假定磁力线垂直穿入纸内,则左边是电子,右边是正电子。)
- (b) 如果左边一条是从上向下,右边一条是从下向上,那末两条都是顺时针方向转圈,转圈方向相同。

有没有可能这些按反方向转圈的粒子并不是按反方向转圈,而是从下向上射的普通带负电的电子呢?(见图3)为了辨别粒子是从上往下,还是从下往上,可以在云室中沿水平方向放一块有一定厚度的铅板。粒子经过铅板时会损失动量,因此根据径迹在铅板上下转圈半径的大小,就可以判断粒子是从上向

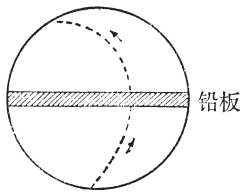


图 4

铅板下面曲率半径大,动量大;铅板上上面曲率半径小,动量小。所以粒子是从下往上穿过铅板的。

下,还是从下向上(图4)。用这样的方法做实验,可以可靠地判断粒子转圈的方向。实验结果令人信服地证实了宇宙线打出来的次级粒子中,确有不少小质量的带正电粒子,它们的质量与电子的质量相同。这样,就发现了一种前所未有的粒子——正电子。另一方面,研究人工放射性的同位素和利用 γ 放射源进行的实验也证实了正电子的存

在。电子和正电子互为反粒子,它们质量相同,自旋(电子和正电子都象一个小陀螺在旋转)相同,都是 $\hbar/2$ ($\hbar$ 是普朗克常数),电荷的大小相同,磁矩(电子和正电子又都象一个小磁针)的大小也相同,但它们的电荷的正负相反,磁矩的方向(相对于自旋来说)也相反。

在正电子发现以前,理论上已有预见,因为把电子的运动方程写成相对论形式后,就会发现这个方程除了有描述电子运动的解之外,还有一种解,这种解与一种未知的粒子相联系,这种未知粒子的质量和电子相同,但电荷与电子正相反。

正电子被发现以后,立刻就有人正确地指出,它正是相对论形式的电子运动方程所预言的新粒子。按照这个理论,能量大于1.02兆电子伏的 γ 光子,在原子核的电场中(尤其在重原子核的电场中),可以转化成为一对正负电子(见图5),这在实验上得到了证实。实验上还证实,一对正负电子相遇,能够湮灭,转化成为光子。

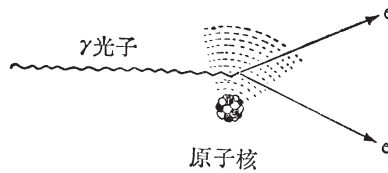


图 5

正电子的发现,在哲学上和“基本”粒子的研究中都有很重要的意义。毛主席教导我们:“事物都是一分为二的。”“对立统一规律是宇宙的根本规律。”这是辩证唯物主义对于自然界和人类社会的最根本的看法,是辩证唯物主义的核心。由正电子的发现,第一次在实验上证实了自然界确实有反粒子存在,正粒子和反粒子组成一对矛盾。光子转化为一对正负电子,一对正负电子湮灭成为光子的发现,第一次在实验上证实了粒子可以产生,也可以湮灭和转化,产生和湮灭也组成一对矛盾。这些发现雄辩地证明了辩证唯物主义的无比正确,沉重地打击了电子是永恒不变、不生不灭的物质始原的形而上学思想,使人类对客观世界有了更加深刻的辩证唯物主义的认识。自然界是辩证法的证物。正电子的发现又一次给辩证唯物主义提供了重要证据。

从“基本”粒子研究方面,正电子的发现给了我们重要的启示:不但电子有反粒子——正电子,所有的“基本”粒子都应该有反粒子,原子核也应该有相对应的反原子核,而且所有的粒子都可以产生和湮灭。粒子与反粒子的对立的统一,产生与湮灭的对立的统一,在微观世界是普遍存在的,已成为“基本”粒子理论的不可缺少的组成部分。