

中微子有静质量吗?

中微子是弱作用粒子。30年代泡利提出了中微子假设,认为原子核 β 衰变放出电子的同时,还放出一个静止质量为“0”的中性粒子。这一假设非常成功地解释了 β 衰变过程中的一系列现象。后来的许多实验都证明了中微子的存在。50年代,发现了自由的电子型中微子,60年代又发现了自由的 μ 子型中微子。

1972年瑞典一个实验组通过对氚核 β 衰变电子能谱的测量,认为中微子是有静止质量的, $m_\nu < 55\text{ev}$;苏联(1976年)和加拿大(1980年)等国也都做了实验,分别给出中微子质量在14至46ev和0至45ev之间的结果。美国一个实验组通过对实验数据进行分析,认为电子中微子和 μ 中微子之间会发生振荡。这一系列实验都提出了中微子是有静止质量的这样一个问题。但是实验的精度和结果都还没有达到能使人们完全信服的程度。

如果实验证明中微子振荡是存在的,那就无疑地说明中微子确实有静止质量,即 $m_\nu \neq 0$,但是通过这一实验仅能获得两种中微子的静止质量平方之差,而无法知道它们的质量各是多少。瑞典、苏联和加拿大都是通过测量氚核 β 衰变的能谱来测定 m_ν 的,还有人提出通过测量电子俘获过程中内轫致辐射的 γ 谱来确定 m_ν 。目前世界上许多国家都对这一问题非常感兴趣。

下边简单地谈一谈测量 m_ν 的原理。氚核 β 衰变如下: ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + e + \nu$

根据理论,容许型 β 谱可以写成

$$N(E) = K \cdot F(z, E) \cdot P \cdot E \cdot (E_0 - E) \cdot [(E_0 - E)^2 - m_\nu^2]^{1/2}$$

在这里 K 是一个常数, $F(z, E)$ 是费米函数, P 、 E 分别代表 β 粒子的动量和动能, E_0 是 β 粒子的最大动能,

m_ν 代表中微子静止质量。

当 $m_\nu = 0$ 时

上式可写成

$$\frac{N(E)}{F(z, E) \cdot P \cdot E} = K(E_0 - E)$$

这是一条直线称为费米标绘。当 $m_\nu \neq 0$ 时费米标绘就要向下弯曲,在与 E_0 相距 m_ν 处跟能量座标相交。我们可以测出氚核 β 衰变的能谱,画出费米标绘,定出 m_ν 。

这个问题初看起来并不难,只是一个测量能谱的问题,但仔细考虑一下存在的问题还是不小的。首先, E_0 较大,对于氚核, E_0 约为18.6keV,而 m_ν 很小,就按30ev估算, $(30\text{ev}/18.6\text{keV}) < 0.2\%$,这就要求 β 谱仪有较高的分辨率。其次,最能表现出 m_ν 作用的部分在 E_0 附近,但是在此区间 $N(E) \rightarrow 0$,即计数很少,这就会带来很大的统计误差,再加上散射、本底、放射源等的影响,就使在此区间很难测准。这些都给实验及结果分析带来许多困难,也是瑞典、苏联等国的实验还使人们表示怀疑的原因。

过去,理论上认为中微子静止质量 $m_\nu = 0$ 。许多实验都和这一理论符合得很好。随着科学的发展和实验精度的不断提高,人们提出 $m_\nu \neq 0$ 。因此,进一步用精密实验来测定中微子静质量 m_ν 是很有意义的,是粒子物理中的一个重要课题。如果 $m_\nu \neq 0$,那将给许多研究领域带来深远的影响。例如,过去认为宇宙在大爆炸后,一直在膨胀,而且要一直膨胀下去。现在由于中微子充满了整个宇宙空间,如果 m_ν 为30ev左右,那么整个宇宙质量的百分之九十儿都将被中微子所占有。这样,宇宙大爆炸的计算结果就要变了。由于宇宙的质量几乎增大了一百倍,宇宙不再是一直膨胀下去,而是膨胀到一定程度就要开始收缩。这样,结论就将变成,宇宙要振荡了。(孙小安)