

在海平面宇宙线中寻找小电荷粒子

唐孝威 李焕铁 吕军光

(中国科学院高能物理研究所)

宋绍仪

(中国科学院原子能研究所)

摘 要

用符合计数器望远镜测量电离损失的方法,在海平面宇宙线中寻找相对论性的小电荷粒子。实验中用厚碘化钠(铊)计数器测量粒子的很小电离损失,来确定粒子电荷。用反符合环形计数器排除侧面进入的粒子本底,实验测量了电荷范围从 $\frac{1}{12}$ 到 $\frac{1}{4}$ 电子电荷的小电荷区域。测量的初步结果给出:海平面宇宙线中的(非大气簇射中心区的)小电荷粒子通量的上限,在电荷0.08到0.19电子电荷范围内及0.19到0.25电子电荷范围内,分别小于 4×10^{-5} 粒子/平方厘米·秒·立体弧度及 2×10^{-5} 粒子/平方厘米·秒·立体弧度(置信水平90%)。

一、前 言

这个实验的目的是在海平面宇宙线次级粒子中寻找带很小电荷的粒子。目前高能物理研究表明,层子是带 $\frac{1}{3}$ 或 $\frac{2}{3}$ 电子电荷的粒子,有兴趣的问题是:自然界中是否可能存在比较稳定的、比层子带更小电荷的粒子(亚层子)?

我们注意到,虽然已经进行过寻找 $\frac{1}{3}$ 及 $\frac{2}{3}$ 电子电荷的粒子的大量实验,但迄今为止,还没有人在宇宙线中寻找过电荷比 $\frac{1}{4}$ 电子电荷更小的粒子。本实验是在宇宙线次级粒子中寻找相对论性的、电荷范围从 $\frac{1}{12}$ 到 $\frac{1}{4}$ 电子电荷的小电荷粒子。

如果宇宙线次级粒子中有能量高,质量大的小电荷粒子,设它们的核作用自由程足够长,则可以飞行到达海平面。本实验就在海平面的宇宙线粒子中寻找具有这种特性的粒子。

二、实验装置

这个实验的原理是:质量大的相对论性带电粒子穿过物质时,电离损失的能量沉积

正比于粒子电荷的平方,因此测量粒子在探测器中电离损失的能量沉积,就可以确定粒子的电荷。

实验是在中国科学院原子能研究所进行的,在原有低本底 γ 谱仪的基础上,根据这个实验的需要作了新的安排。用符合计数器望远镜,测量垂直方向入射粒子在计数器中产生的能量沉积,由特别小的能量沉积来寻找小电荷粒子。实验室接近海平面高度。实验装置见图 1。

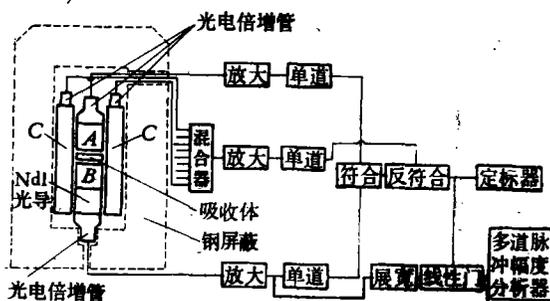


图 1 实验装置图。

A 计数器——NaI(Tl) 晶体,直径 8 厘米,高 8 厘米; B 计数器——NaI(Tl) 晶体,直径 7.5 厘米,高 7.5 厘米; C 计数器——环状 NaI(Tl) 晶体,外圈直径 20 厘米,内圈直径 10 厘米,高 30 厘米,用 8 个光电倍增管收光。A 计数器和 B 计数器的间距为 5 厘米,中间放一块由 0.5 厘米铅、0.5 厘米铜和 0.5 厘米不锈钢组成的吸收体。

A、B 计数器对能量 661keV γ 射线的能量分辨率是 11%。A、B 计数器用小面积的晶体,好处是可以避免宇宙线多粒子击中的事例,缺点是计数器望远镜的接收度小,限制了实验灵敏度。实验中要排除宇宙线单电荷粒子本底,方法是使 A 计数器和 B 计数器输出脉冲经过放大器后,分别送到单道脉冲幅度分析器进行选择。单道脉冲幅度分析器的上阈和下阈形成一个窗口,下阈的作用是排斥幅度很小的噪声,上阈的作用是排斥单电荷粒子的脉冲,只让那些幅度大于噪声而又远小于单电荷粒子能量沉积的脉冲通过。然后 A、B 计数器的脉冲再进行符合,符合线路的分辨时间是 0.5 微秒。

用反符合计数器屏蔽的方法,来排除计数器望远镜的小幅度脉冲本底(假事例)。因为从计数器望远镜侧面来的簇射粒子,会产生同时进入 A、B 计数器的低能电子或 γ 射线,造成假的小幅度脉冲的符合计数。斜射到计数器望远镜侧面的宇宙线 μ 子,也会同时擦过 A、B 计数器的边缘而造成假计数。因此在计数器望远镜的周围放一环状的碘化钠(铯)晶体,即 C 计数器,进行反符合屏蔽。

整个实验装置放在四层建筑物内一楼实验室中。在装置顶部加厚度 20 厘米的钢块,以除去宇宙线次级粒子的软成分本底。此外在 C 计数器外面还包厚的屏蔽体,以除去周围来的低能粒子本底。屏蔽体由 14.5 厘米钢、2 厘米铅、0.5 厘米不锈钢和 0.5 厘米有机玻璃组成。

实验测量 B 计数器的事例,电子学的选择触发条件是: 1) 粒子在 A 和 B 计数器中产生小幅度脉冲,可以通过各自的窗口; 2) A、B 计数器同时输出小幅度脉冲,产生符合输出; 3) 同时 C 计数器没有脉冲输出。A、B、C 计数器符合-反符合的选择触发脉冲启动

门线路,这时 B 计数器的事例被选择而由多道脉冲幅度分析器记录。由记录的事例脉冲幅度谱,可以分析入射粒子在 B 计数器中的能量沉积。

用电离损失公式预先计算了不同电荷的相对论性粒子穿过 B 计数器时产生的能量沉积的分布曲线。图 2 中画出了一部分计算结果,其中曲线 1 和 2 是电荷为 $\frac{1}{9}$ 和 $\frac{1}{6}$ 电子电荷粒子的情况,曲线 3 是单电荷粒子的情况。从图中看出,如果实验中出现具有确定电荷的小电荷粒子,则在记录事例的脉冲幅度谱中,可以辨认出小电荷粒子峰来。如果待测粒

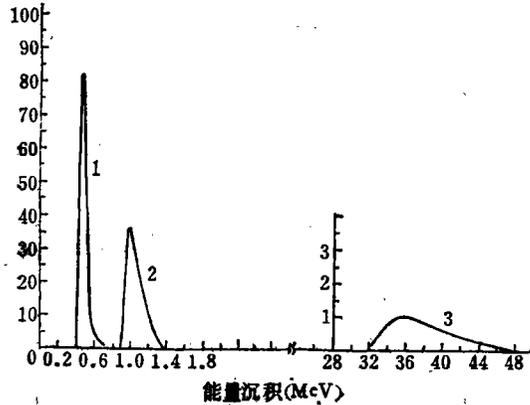


图 2 预期相对论性小电荷粒子产生的输出脉冲幅度分布。纵轴是事例数(相对单位),横轴是能量沉积(MeV),曲线 1、2、3 分别是相对论性的电荷为 $1/9$ 、 $1/6$ 电子电荷及单电荷粒子的情况。

子的脉冲幅度分布曲线同单电荷粒子的分布靠得比较近,甚至有重叠的部分,则必须用一系列独立的探测器进行取样,以排除单电荷粒子脉冲。但是像图 2 中曲线 1、2 同单电荷粒子的分布(曲线 3) 差距很大,则可以只用两个符合探测器独立取样。

三、测量结果

用计数器望远镜测量了海平面宇宙线 μ 子,来求得单电荷相对论性粒子在 B 计数器中的能量沉积。在相同电压下测量了 ^{60}Co γ 射线峰进行比较,定出 μ 子在 B 计数器中能量沉积的最可几值为 38MeV 。这个结果同理论计算值接近。由此推算,如果有电荷 $1/9$ 和 $1/6$ 电子电荷的相对论性粒子,它们在 B 计数器中能量沉积的最可几值,将分别为 0.45MeV 和 1.0MeV 。实验中选择 A 、 B 计数器单道脉冲幅度分析器的下阈相当能量沉积为 27keV ,上阈相当能量沉积为 2.5MeV 。这样保证了有效地排斥噪声及单电荷粒子的本底。

在上述实验条件下,对海平面宇宙线进行了 100 小时的测量,测量得到的事例脉冲幅度谱见图 3。离线分析时,引入能量沉积的切断值为 200keV ,由此限定实验寻找的小电荷粒子的电荷范围。图 3 中记录的连续本底,实际上是在 A 、 B 计数器中同时出现的低能 γ 射线本底,其幅度满足选择触发条件而被记录下来。如果所寻找的小电荷粒子存在

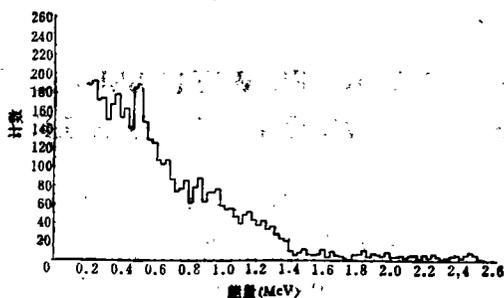


图 3 测量 100 小时的事例的脉冲幅度谱。道宽为 27.5keV。

的话,在事例的脉冲幅度谱中应该出现超过连续本底计数 3 倍标准偏差的峰,而且峰的宽度和电离损失的统计涨落(见图 2)相当。在实验数据中没有发现满足这些标准的事例。

连续本底的来源是:宇宙线的簇射粒子和 γ 射线、碘化钠和光电倍增管所含的 ^{40}K 放射性本底等。在脉冲幅度谱中相应于能量 511keV 的位置有小峰,这可以解释是宇宙线或本底 γ 射线产生的正电子湮灭 γ 射线在 B 计数器中记录的峰。分析数据时已扣去这个小峰。

小电荷粒子通量上限是由连续本底计数的统计涨落来估计的。从 100 小时测量得到的本底计数,以及 μ 子符合计数率 (1.15/分),可以求出垂直方向小电荷粒子通量和 μ 子通量比值的上限(取相应峰宽内本底计数 1.645 倍标准偏差作为小电荷粒子计数的上限)。再用已知的垂直方向 μ 子通量 $I = 0.8 \times 10^{-2}$ /平方厘米·秒·立体弧度,就得到海平面宇宙线次级粒子中相对论性的、垂直方向小电荷粒子通量的上限 I_{zm} , 结果见图 4。在电荷 0.08 到 0.19 电子电荷范围内,上限值小于 4×10^{-5} 粒子/平方厘米·秒·立体弧度 (90% 置信水平);在电荷 0.19 到 0.25 电子电荷范围内,上限值小于 2×10^{-5} 粒子/平方厘米·秒·立体弧度 (90% 置信水平)。

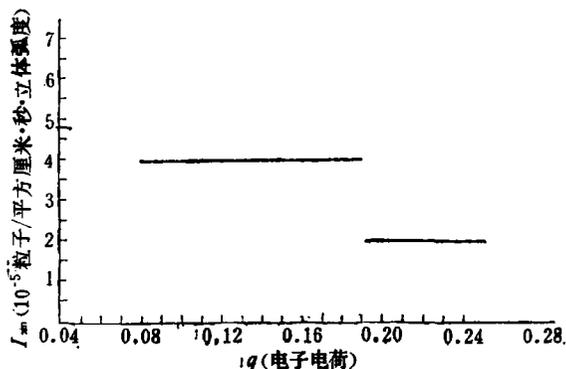


图 4 海平面宇宙线中小电荷粒子垂直方向的通量的上限值 I_{zm} 。

进一步的实验探索工作,需要提高实验的灵敏度,以及扩大寻找的电荷范围。

感谢中国科学院原子能研究所有关同志对本实验的协助。感谢肖健、霍安祥、丁林凯、况浩怀等同志提出意见。

SEARCH FOR PARTICLES WITH SMALL CHARGE IN COSMIC RAYS ON THE SEA LEVEL

TANG HSIAO-WEI LI HUAN-TIE LIU JUN-GUANG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

SONG ZHAO-YI

(Institute of Atomic Energy, Academia Sinica)

ABSTRACT

In this experiment we searched for relativistic particles with small charge in cosmic rays by a coincident NaI (Tl) counter telescope. In the telescope both NaI (Tl) counters are used to measure the ionization loss of the particles in order to determine the charge of the relativistic particles. An annular anticoincident counter is used to reject the backgrounds from the sides. The experimentally measured charge range is from 1/12 to 1/4 electron charge. The preliminary measurements give the following upper limits of flux of particles with small charge in cosmic rays on the sea level, which are not within the core of the air shower, less than 4×10^{-5} particles/cm²·sr·sec in the 0.08 to 0.19 electron charge range and less than 2×10^{-5} particles/cm²·sr·sec in the 0.19 to 0.25 electron charge range.