

一个可能的重质量荷电粒子事例*

原子能研究所云南站

(中国科学院)

在海拔 3200 米的高山上, 利用大型磁云室获得了一个超高能作用事例, 其中一条径迹很难用已知粒子解释, 它可能是质量大于 $10 \text{ GeV}/c^2$ 的荷电粒子。现把初步测量分析结果报导如下:

一、实验装置

云室照明区大小为 $150 \times 150 \times 30$ 厘米³, 使用的磁场可在 6000—7500 高斯范围内

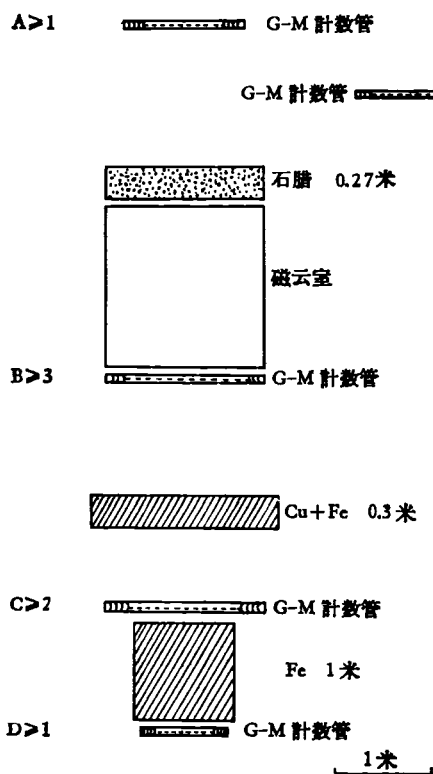


图1 选择器一, 正视图

当A有G-M计数管大于一个放电、B有大于三个放电、C有大于二个放电、D有大于一个放电而E不放电时, 选择系统给出触发讯号。

调节。云室内的气压为 710 毫米汞柱, 其中氩 29%, 氮 63%, 其它气体 (空气) 2%, 凝结液蒸气 6%。凝结液是酒精和水的混合液体, 体积比为 3:1。脉冲氙灯使用能量是 36000 焦耳/脉冲, 闪灯延时 350 毫秒。用两对立体照相机自动照相, 所得照片分别用于粒子径迹的动量测量和游离测量。底片大小 60×60 毫米², 平均压缩倍率分别是 24 倍和 12 倍。底片感光速度为 27 定, 分辨率为 90 条/毫米。

云室同时由两套选择系统控制: 一套是普通核作用选择器 (图 1), 当盖格 (G-M) 计数管列 $A \geq 1, B \geq 3, C \geq 2, D \geq 1, E = 0$ 时, 云室膨胀照相; 另一套是广延簇射中心选择器 (图 2、图 3), 当四个中心选

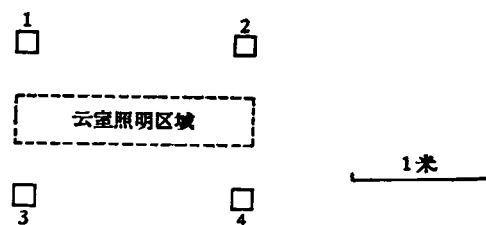


图2 广延簇射中心选择器平面图

* 1972年10月16日收到。

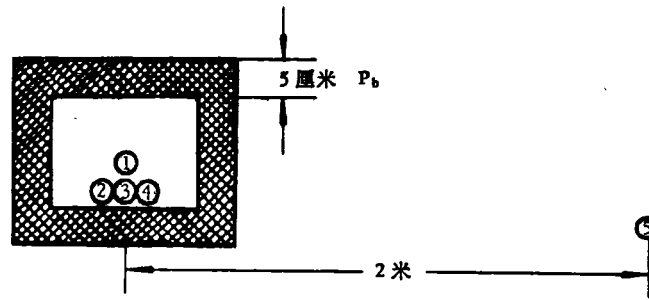


图 3 1—4 剖面图

当广延簇射中有光子、电子在此装置中转换成电磁簇射时，而另一个 G-M 计数管也触发时，给出讯号。1—5 为 G-M 计数管

择器中有二个同时触发时，云室膨胀照相。前者选择单个核作用事例，其平均能量在 300 GeV 以上；后者选择广延簇射，能量在 10^{13} — 10^{15} eV 之间。

二、事例测量结果和分析

1. 事例

事例标号为 16580，图 4 示意了它的三条径迹的位置，并分别以 a、b、c 表示。复制照片见图 5 和图 6。

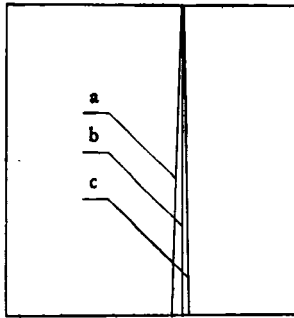


图 4 16580 号事例素描

此事例的特点是能量高、次级荷电粒子多重数低、c 径迹动量高而游离明显低于 a 和 b 径迹。由于径迹间夹角较小，有利于进行相对测量和比较。三条径迹的平均空间宽度为 $D_a = (1.90 \pm 0.12)$ 毫米、 $D_b = (1.94 \pm 0.11)$ 毫米、 $D_c = (1.92 \pm 0.12)$ 毫米，三者实验误差范围内相同，而且与事例前后邻近照片上的径迹平均宽度 $\bar{D} = (1.87 \pm 0.08)$ 毫米也一致。因此，在云室分辨时间内可以认为它们是同时的。此外，根据径迹空间座标计算，在测量误差范围内三条径迹交于云室上部的石蜡靶内。

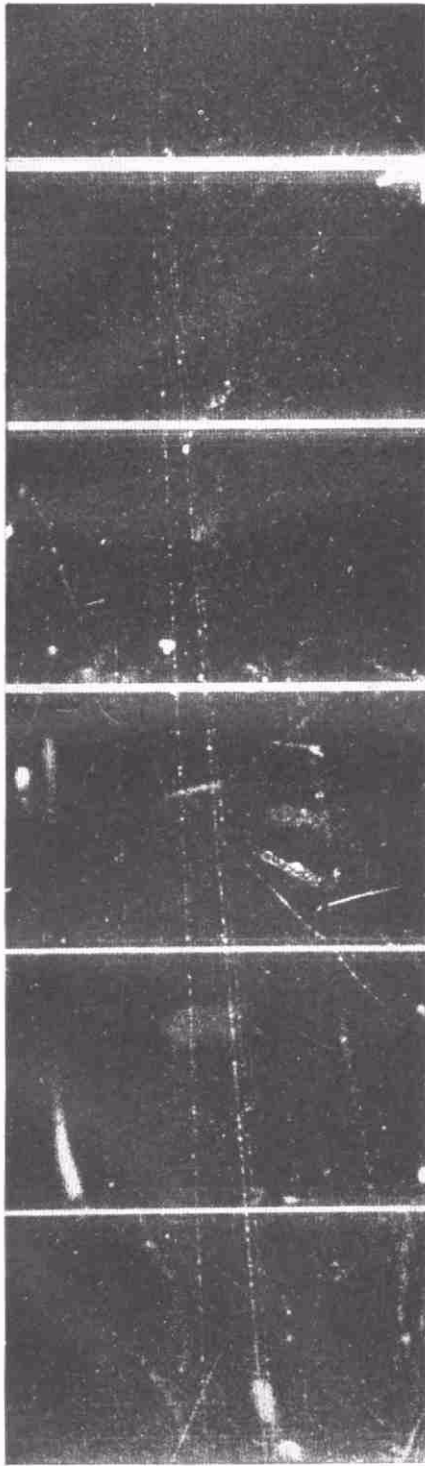
底片上此事例径迹水珠直径为 15—20 微米。

2. 动量

保持云室正常工作的热平衡状态，拍摄了若干条无磁场 μ 介子径迹的照片。为了减少多次散射的影响，选择 μ 介子能量大于 2 GeV。由此测出云室不同区域的最大可测动量 $P_{\text{最大}}$ 。在 16580 号事例三条径迹的区域，空间曲率的系统偏移为 $C_0 = 3.8 \times 10^{-6}$ 毫米⁻¹，它的标准误差 $\Delta C = 4.0 \times 10^{-6}$ 毫米⁻¹，与此相应得

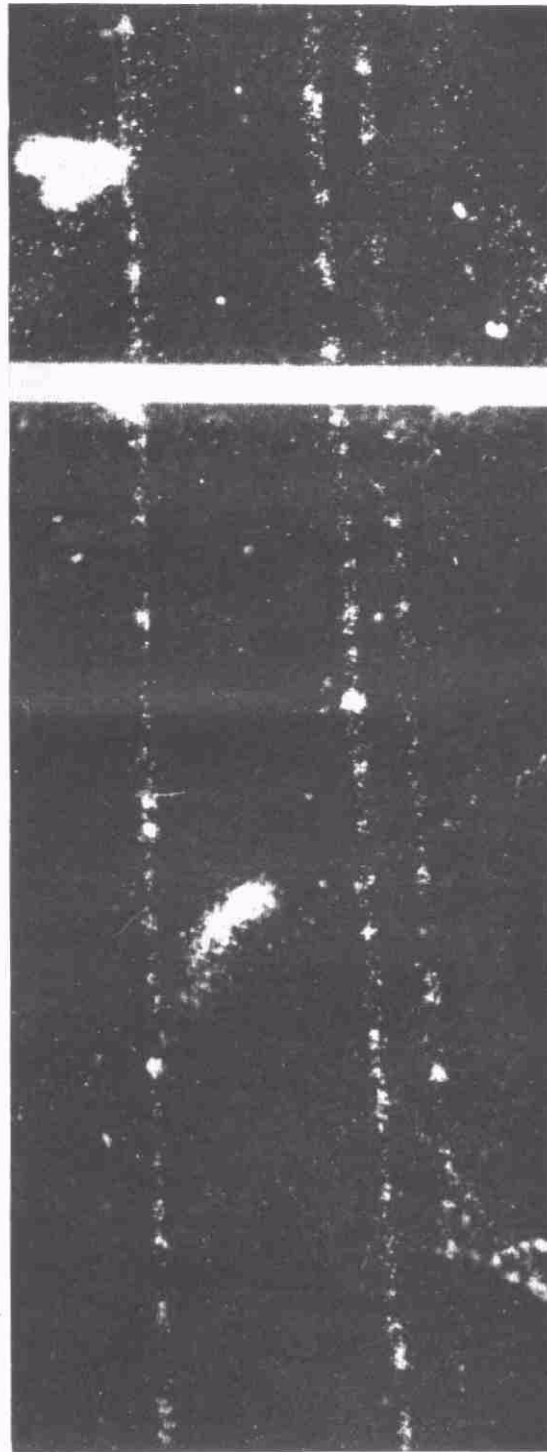
$$P_{\text{最大}} = 48 \text{ GeV}/C.$$

所有径迹动量的测量均是用精度为 1 微米的大型工具显微镜进行：先测量一对照片上径迹的座标，分别对它们作相机镜头的光学畸变校正，再计算出径迹的空间曲率值，最后对系统偏移进行修正，即得产生该径迹粒子的动量。表 1 列出了 a、b、c 三条径迹的动量。



a bc

图 5 16580号事例的照片



a b c

图 6 16580号事例的水珠照片, 近于实物空间的大小

从表 1 看到,测得 c 粒子的动量已大于最大可测动量,根据测量无磁场 μ 介子径迹所得出的曲率分布,可对 c 粒子的动量范围作统计估计,得到 $|P_c| > 40 \text{ GeV}/c$ 的置信水平为 70%。所以,40 GeV/C 可以作为在 70% 置信水平下 c 粒子的动量下限。

表 1 动量测量结果

径迹	空间曲率 (10^{-6} 毫米 $^{-1}$)	径迹所在位置等效 磁场(千高斯)	动量 (GeV/c)
a	-29.3	6.4	$-6.6^{+1.0}_{-0.8}$
b	3.0	6.2	62
c	1.6	6.1	110

表 2 径迹水珠数的测量结果

径迹	测量格数	水珠总数	空间每厘米 平均水珠数
a	48	686	32.7
b	50	741	33.7
c	48	448	21.3

3. 游离

用大型工具显微镜(放大倍率为 50)对一对照片径迹的水珠数分别进行测量,然后互相验证。表 2 列出测量所得 a、b、c 三条径迹的水珠数(未作凝结效率和重叠影响的校正)。

测量时,底片每格长度取 360 微米,再经空间长度校正后,即可给出空间每厘米平均水珠数。

我们利用其它照片上的径迹作过实验游离曲线,并将所得水珠数相对论性增长的比例与理论计算的能量损失相对论性增长的比例相比较,两者基本相符。但目前已测量的径迹数较少,作出的实验游离曲线精度还不够高。

如一径迹水珠总数为 N ,其涨落的标准误差为 \sqrt{KN} ,根据其它照片上 40 段径迹(每段水珠总数约为 450 颗)水珠数的分布,初步定出 K 的值小于 4。有关游离曲线和标准误差的测量分析工作还在继续进行。为进行以下的分析,取 $K = 4$ 。

由于此事例中 a、b、c 三条径迹在空间相距很近,可以在同一区间对三条径迹作相对游离的测量,以避免由于凝结效率和本底水珠的不同而引起的误差。这样,得到 a、b 两径迹相对于 c 径迹的游离密度比值为:

$$I_a/I_c = 1.53 \pm 0.18,$$

$$I_b/I_c = 1.59 \pm 0.19.$$

给出的误差为标准误差。

4. 质量估计

a 粒子的动量较小,其动量测量比较准确。按 a 粒子动量和径迹水珠数测量值,并从我们初步得到的实验游离曲线,得知 a 粒子质量在误差范围内与 π 介子质量一致。然后,我们以此为基础,并利用本文第二节第 3 段中所得出的游离密度相对比值来估计 c 粒子的质量。

在 a 粒子是 π^- 介子时,动量 $P_a = 6.6^{+1.0}_{-0.8} \text{ GeV}/c$,则 $(\beta\gamma)_a = 47^{+7}_{-6}$ 。从我们计算的理论游离曲线查得 a 粒子的游离密度值应为:

$$I_a = 1.35I_0.$$

I_0 为平均最小游离密度。再从测得的 $I_a/I_c = 1.53 \pm 0.18$,可以推出 c 粒子的游离密度值是:

$$I_c = (0.88 \pm 0.11)I_0.$$

从得到的 I_c 值可以看出, 在误差范围内可以认为 c 粒子的游离是最小游离, 即 $(\beta\gamma)_c = 3.4$. 若取 $40 \text{ GeV}/C$ 作为 c 粒子动量 P_c 的下限, 则估计 c 粒子的质量

$$M_c = \frac{P_c}{(\beta\gamma)_c C} \geq 12 \text{ GeV}/C^2.$$

根据 c 粒子的游离测量和动量测量的结果, 在考虑到游离涨落和动量测量误差后, 算出 c 粒子的质量 $M_c \leq 1 \text{ GeV}/C^2$ 的几率小于千分之二. 在云室照片中, 观察到一些超高能核作用事例, 其中高动量质子因统计涨落有可能形成本底. 但从扫描的一千对照片中, 只找到三个超高能核作用事例和 9 条高动量径迹, 连同此事例在内, 共有 11 条高动量径迹, 其中质子径迹应在 5 条以下. 因此, 它们产生的本底是不大的, c 粒子很难解释为已知的粒子.

另外, c 粒子经过整个云室未看到衰变, 因此其飞行时间 $t > 5 \times 10^{-9}$ 秒.

由测得的 b 粒子表观动量 P_b 和 b 粒子相对于 a 粒子的游离比值, 并利用理论游离曲线, 得到 b 粒子的表观质量为 $0.87 \text{ GeV}/C^2$. 可以认为 b 粒子是质子或其它普通强子.

三、讨 论

以上分析, 是以 a 粒子是 π^- 介子作为基础的. 事实上, 只要 a 粒子是质量大于 μ 介子质量的粒子, 均不影响我们对 c 粒子质量所作的估计. 下面讨论 a 粒子是电子的可能性.

据目前所知, 电子主要有两种不同的机制产生. 一种是此事例是一个电磁簇射, 但这种可能性很小. 因为云室上面有近三个辐射长度的物质, 经过这些物质后, 这样大能量的电磁簇射应该有大量的电子在云室中出现. 而且在电磁簇射中, 不大可能出现 c 粒子这样 $(\beta\gamma) < 10$ 的高动量粒子. 另一种是核作用产物转化后所产生的电子. 分析表明, 导致 a 粒子为电子的转化过程出现的几率也都很小, 其中几率最大的是在核作用中产生的 π^0 介子衰变为二个光子, 并仅有一个光子转化为电子对, 电子是观察到的 a 粒子, 而正电子能量很小, 不能在云室照明区中出现. 再进一步考虑了游离涨落和动量测量误差以后, 估计此事例中的 a 粒子是电子而同时 c 粒子是质子的几率小于万分之二.

以上初步测量分析结果表明, 16580 号事例中的 a 粒子是 π 介子, b 粒子可能是普通强子, 而 c 粒子很难用已知粒子来解释, 其质量小于或等于质子质量的几率小于千分之二, 它可能是一个质量大于 $10 \text{ GeV}/C^2$ 的重质量粒子.