

不寻常的超高能现象

任敬儒

到底多高能量的现象叫超高能现象呢？这没有一个不变的数值界限，目前来说，是指万亿电子伏以上能量的粒子引起的现象。这样高能量的粒子，现有的高能加速器都不能产生，只有在宇宙线中存在，是相当稀少的。它们与核或核子作用，产生许多粒子，紧密地挤在一起，像从很小的孔喷出的高压气流一样，沿入射粒子飞来的方向发射出来（图1）。

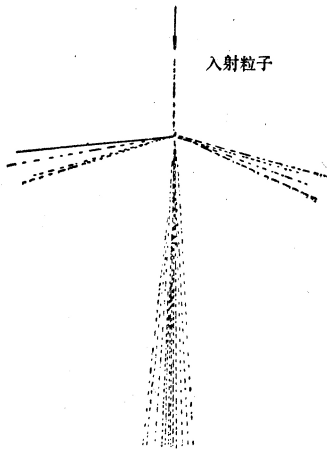


图1 超高能现象

我们知道，当能量在千分之几电子伏时，出现了超导现象；到几个电子伏（ $\sim eV$ ）出现了分子的激发；千电子伏（ KeV ）有原子激发；几百万电子伏（ MeV ）有原子核的激发；几十亿电子伏（ GeV ）有“基本”粒子的激发，总之，大致是能量增高千倍，人们对物质结构的认识就深了一层。那么，从几十亿电子伏再增高千倍，到几万亿电子伏（ TeV ）以上，会出现什么？不言而喻，用宇宙线进行超高能现象的研究，肯定可以更细致地研究“基本”粒子的深层结构及粒子产生、变化的规律。这也就是

当前用宇宙线进行超高能现象研究的重要意义。

这么高能量的粒子在宇宙线中是相当稀少的，而且因为宇宙线是来自星际空间的高能粒子，在它们到达地面前，要穿过很厚的大气层，与大气层中原子核碰撞，消耗了能量，所以如果要较为直接地观测超高能现象，必须在大气稀薄的高山上，或利用飞机、气球、卫星开展实验，探测器的面积要尽可能地增大，观测时间也要尽量加长。当然也可以在地面上进行广延大气簇射的研究，这就是要通过几十代后的子孙，间接地了解其祖先的面貌。用这种方法要细致地、确切地了解原初状态是困难的。我们在此不想多谈。

观察这么高能量的现象用哪种探测器更合适呢？在高能物理发展中，云雾室、乳胶叠是立有功勋的，但用它们直接观测几万亿电子伏以上能区的超高能核作用已相当困难。比较合适的还是乳胶室，它在这么高能区甚至到几亿亿电子伏（ $10^{16}eV$ ）还是比较有效的。把它放在高山顶上（或飞机、气球上）可以连续记录超高能现象。例如，当乳胶室上空发生一次大规模的核作用，就会产生大量的介子与核子，其中 π^0 介子很快就衰变成 γ 光子（ γ 光子又可变成电子和阳电子）。电子或 γ 光子进入乳胶室后，就产生电磁簇射现象，在室中X光片上形成黑斑。电磁簇射发展的状态与大小，表现为黑斑的大小与黑度的大小，这是直接与电子、光子的能量相对应的。测出黑度就能定出电子、光子的能量；根据黑斑位置又可定出电子、光子到来的方向。当强子进入乳胶室时，在室的深处发生核

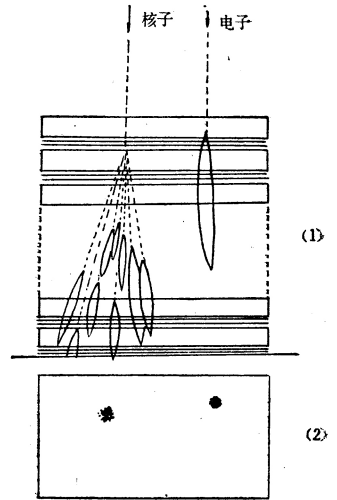


图2 (1) 电子电磁簇射及核作用 (2) 它们在X光片上的图像

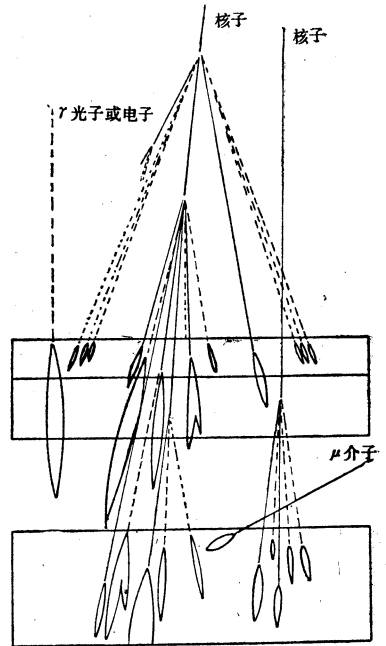


图3 产生簇的图像

作用，也形成黑斑，不过与电子、光子的黑斑不同，是一小群黑斑。原

因是在乳胶室上空或乳胶室的产生体(即靶)中有许多核心(图2)在发生作用,从而x光片上形成一组黑斑,称为簇(图3)。研究簇中各成员的关系,就可以了解作用的某些规律。通常乳胶室可分割开相距十几个微米的点,因此它能细致地描绘出大部分超高能粒子的行为,这对观测罕见的超高能现象是十分有利的,它得到许多有趣的结果。

超高能作用的机制又是怎样的呢?理论家们提出过不少模型,企图解释超高能现象,但是每一种模型往往都只能解释一部分实验事实。多年来谈论较多的是各种“火球模型”。

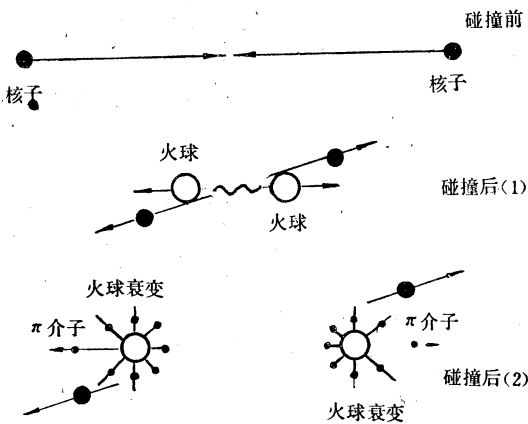


图4 火球模型示意图

个核子碰撞后,核子往往偏离自己原来运动方向,而产生两个或两个以上(在质心系看)运动比核子慢的集团。这种集团有确定的质量和温度,很快就衰变成大量的介子,人们把这种集团称为“火球”。当入射粒子能量增高到某个值之后,就可以产生新的更大的火球。目前实验上找到了三种不同质量的火球。当然,也有些现象是完全不能用火球模型解释的。总之,超高能现象由于事例稀少,测量不准等原因,目前的研究还是很初步的。但是许多不寻常的现象已引起了高能物理学工作者的重视。下面选几个有代表性的超高能事例介绍一下。

一、“仙女座星云群”(Andromeda)。这是1968年在当时世界最

高的宇宙线观测站——5200公尺的恰喀尔塔亚山上建立的48平方米的乳胶室中得到的、能量超过几亿亿电子伏的巨大簇射现象。因为记录这个现象的x光片上的簇射黑斑的形状非常像仙女座星云而得名。这是直接观测到的最大能量的簇射,关于它的产生机制至今还不很清楚。事例的核心有一厘米左右范围完全变黑了,用光度学方法可估计总能量约为几亿亿电子伏。在黑核心外的乌云中存在着30多个能量在5—100万亿电子伏的 γ 射线形成的黑斑,在离中心2厘米的外围,还有240多个能量大于万亿电子伏的粒子。能量大于千亿电子伏

的电子和光子,估计要超过十几万个。事实说明,超高能作用的多重数是相当大的,近来还有不少事实,表明多重数随能量的增长,在能量超过百万亿电子伏(10^{14} eV)后,出现一个显著的变化,就是增长得更快了。有些解释说这是由于某种更大的火球产生了,像仙女座星云群这个事例,就相当于一个质量为二千三百亿电子伏的巨大火球的产生,它很快地衰变成很多 π 介子。

二、“半人马座”(Centaurus),是1973年在恰喀尔塔亚山上,用一个有靶的、分上下层的乳胶室得到的。最先在下室发现一个直径为一厘米左右的黑斑群。在通常情况下,沿粒子到来方向返回上室,应找到一组很大的电磁簇射黑斑,但没有发现对应的黑斑。只在上室深些地方,按入射方向找到一个小簇,且小簇成员都是强子。这个事例是在乳胶室上空50米高度上发生的作用,因此这是一个产生粒子极多,但没有产生 π^0 介子的超高能核作用事例。

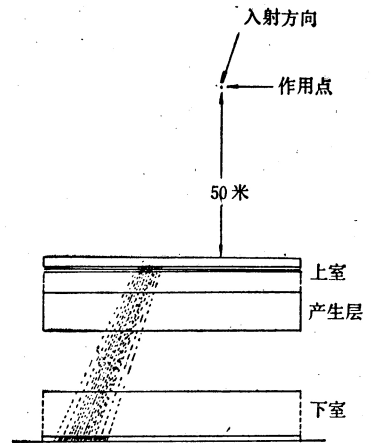


图5 “半人马座”事例

到目前为止,“半人马座”类型的事例已找到四例。以前发现的许多高能的作用,都含有上百个 γ 射线,经分析这里由于在作用中产生了一个巨大火球,它衰变成许多 π 介子。这火球的静止质量在两千至三千亿电子伏之间。值得注意的是,“半人马座”事例的静止质量,大致也是在两千三百亿电子伏左右,与衰变成多 π 介子的巨大火球的静止质量大致相同,这暗示两者之间存在着一定关系,这将是今后实验的主要课题。

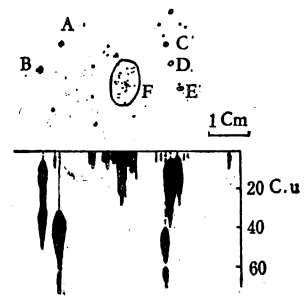


图6 “巨神”事例靶图

三、“巨神”(TITAN)是1977年在富士山上,用35厘米厚的乳胶室找到的、一个极特殊的巨大高能核作用事例(图6)。这个事例的突出形象是由五个互相明显分立的高能簇射组成,总能量为473万亿电子伏。五个高能簇射黑斑相互分离较远,处于事例的外围,而中心区是一组普通的 γ 簇,能量为125万亿

电子伏,这种事例的研究,对揭示大横动量产生的机制是很有帮助的.

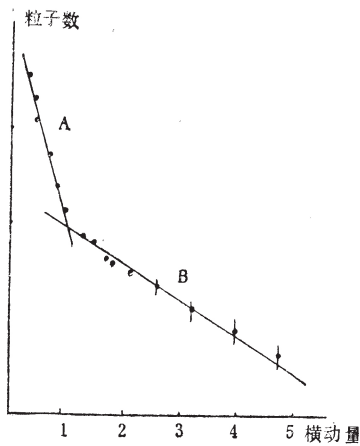


图7 一个超高能事例的次级粒子横动量分布

仔细地排除各种可能的干扰,得到A、B、D簇射横动量,都在1.7—2.0 GeV/C 之间, C、E 在 0.5—0.7 GeV/C 之间,都大于高能核作用的平均横动量。由于原初作用的产生高度,在室上空 2500 公尺之内,这就排除了原初入射粒子是重元素的

可能。因为若是重元素,至少产生高度在 2 万公尺以上,而通过这么长的路程,五个粒子不发生作用的可能性是相当小的。“巨神”事例好像表明大横动量产生的机制,是不同于上述的火球模型的。有人认为是核子内部的部分子与部分子碰撞。更有趣的是 A、B 组与 C、D、E 组的能量几乎是平衡的。

还有些有意思的事例,如一个初能为亿亿电子伏的事例,可以显现出两种横向动量分布,在图 7 中,分布 A 是过去常见的横动量分布,分布 B 是未曾发现的横动量分布。这个事例产生的 π^0 介子数有 200 多个,而经验公式预计只能有 65 个 π^0 介子。总之,超高能现象的研究,会给人们许多启示,随着观测能量的增高,将会出现更多新现象,提出更多新问题,为高能物理研究探索着道路。

在我国,这么高能域的实验刚刚开始,也观测到有 22 个成员的中等 γ 族 (图 8), 预计初能在 700 万

亿电子伏以上。1977 年建造的西藏高山乳胶室,就是为开展这方面工作建立的。我国有许多条件优越的高山及高山湖泊,有利于开展超高能实验,我们应当充分利用这些条件,为实现四个现代化做出贡献。



图8 我国高山乳胶室找到的一个 γ 族