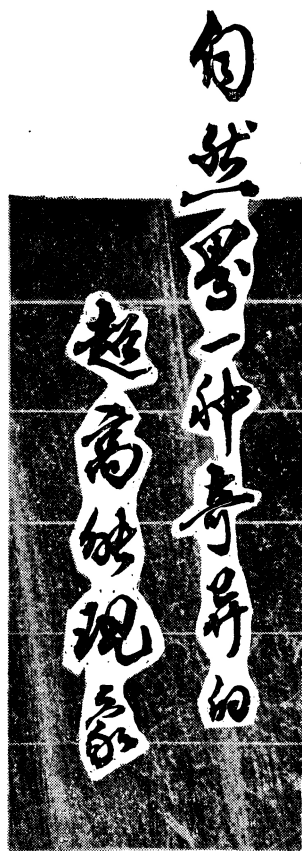




刘永钺

看不见的 粒子阵雨

在无穷无尽的宇宙空间，在丰富多彩的天体演化过程中，每时每刻都在产生着大量的高能粒子流，它们以接近光的速度，象高速炮弹一样，从四面八方射向人类的摇篮——地球。这就是初级宇宙射线。

初级宇宙线中有各种能量的粒子，当它们中间的某一个超高能粒子和大气原子核碰撞，就产生出第一代的粒子。新产生的粒子又继续和大气原子核相碰，产生出更多的第二代的粒子。于是，

接二连三的高能核作用——核级联发生了；接二连三的电磁作用——电磁级联发生了。这两个过程极其复杂叠加的结果，粒子迅速增殖到很多很多，然后在大气吸收下逐渐衰减，最后，象下雨一样，铺天盖地，从天而降，覆盖面积达几个平方公里，粒子数最多可达 2×10^{12} 个！这种奇异的超高能现象，就叫广延大气簇射（图1）。

这种粒子阵雨，很是奇妙。当你在看这篇文章时，也许它正降落着，可是你却看不见，也感觉不到它。它们当中有些成员穿透本领很大，可以轻而易举地穿过你住的房子，也许还要从你身体中通过一下，然后进入很深的地下，方肯止步。这种自然现象人们对它已经适应了，人类就是在它的淋浴下发展起来的。人们发现它，是一九三八年。现在，广延大气簇射是宇宙线物理学研究的一个重要组成部分。

多途径、多成分的观测

广延大气簇射是一种空间范围广大的超高能现象。除了产生覆盖大面积的簇射粒子外，发现它还会产生多种伴随现象，如：当簇射粒子高速通过空气时，

会沿一定方向发出契伦柯夫光；当簇射粒子激发空气分子时，会发出各向同性的大气闪光；当簇射粒子穿过地磁场时，还会发射无线电波。观测各种伴随现象，了解它在大气中怎样发展变化，有助于研究超高能相互作用的特征和性质。人们研制了各种粒子探测器、光学探测器和无线电探测器，把它们组合在一起，构成一个巨大的观测阵列。这样，对每一个广延大气簇射事例，同时进行多途径、多成分的观测，就可能在一次观测中，获得尽可能多的信息。

研究广延大气簇射的装置，大致可以分为两类：一类主要用来研究超高能核作用，向着密集、精细的方向发展；另一类主要用来研究超高能初级宇宙线，向着大面积的方向发展，现在最大的面积已达六十四平方公里！如果再把研究的能区提高，面积势必更大，困难就会更多。因此，有人想到了这样一个问题：月球上面没有大气层，如果一个超高能粒子射到月球岩石中，将会产生什么后果呢？于是，又提出了一个新的声探测方案。

能谱会截断吗？

宇宙线中的粒子，能量到底有多高？通过广延大气簇射的研究，一九七一年记录到一个能量高达 $4 \times 10^{21} \text{eV}$ 的粒子，这比目前最大加速器给出的质子能量还要大 10^9 倍以上。这样高的能量，可将64公斤的重物抬高一米，微观粒子竟具有宏观尺度的能量！人们有理由指望，在自然界这个超高能实验室中，将会产生一些目前高能加速器不能产生的奇异现象。

如果我们把不同能量的初级宇宙线粒子，按数目的多少排列起来，就构成了一个能量谱——初级宇宙

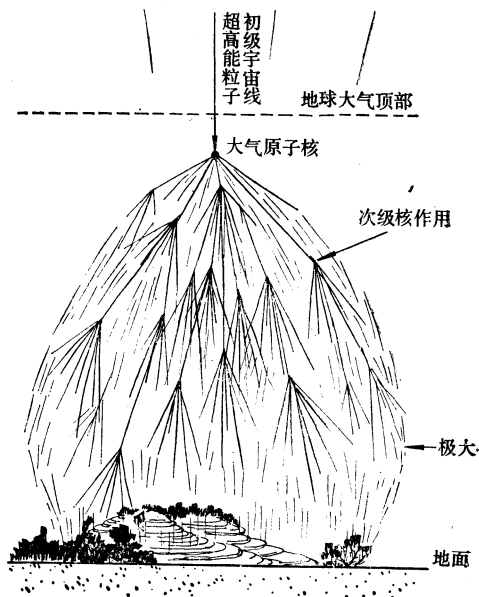
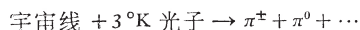


图1

线能谱。能量越高的粒子,数目越少,而且数目下降很快。是否高到某一个能量以后,在地球上就观察不到它们了(也就是说,能谱被截断了)呢?这个问题与天文学有着密切的关系。

过去人们以为,宇宙空间是虚无飘渺,空空如也。一九六六年天文学上的一个重大发现,打破了这种陈旧的看法。原来,宇宙空间弥漫着许许多多的 3°K 微波辐射光子,经间接测定,光子的密度为548个/立方厘米,光子的平均能量为 $7 \times 10^{-4}\text{eV}$,如果初级宇宙线的能量高到一定程度,将会产生下面的光核反应:



一个初级宇宙线质子与能量为 $7 \times 10^{-4}\text{eV}$ 的光子碰撞,产生 π 介子的最低所需能量约 10^{20}eV ,因此,能量超过 10^{20}eV 的初级宇宙线粒子,在地球上就应观察不到,能谱应在 10^{20}eV 附近截断。但是,到目前为止,能量在 $2 \times 10^{19}\text{eV} - 10^{20}\text{eV}$ 之间的粒子,已记录到了几十个,可以说,在 10^{20}eV 附近并没有观察到实验能谱有截断的迹象。所以,这还是一个有待今后解决的重要问题。

大气广延簇射到来的方向

过去通过对广延大气簇射到来方向的研究,发现初级宇宙线的粒子,能量一直高到 10^{18}eV ,都是从四面八方均匀进入地球的,也就是说,是各向同性的。但是,上面提到的那个能量为 $4 \times 10^{21}\text{eV}$ 的粒子,在它到来的方向上,有射电源3C409和脉冲星AP2015+28。3C409是银河系外的射电源,银河系的磁场强度估计为 2×10^{-9} 高斯,一个这样高能量的粒子,从3C409射到地球仅偏离 3° 左右。实验迹象表明:能量大于 10^{19}eV 的初级宇宙线粒子,似乎呈现出各向异性。但因统计数据太少,要作最后的结论,还为时过早。对这个问题的研究,能提供宇宙线起源的信息,是很重要的。

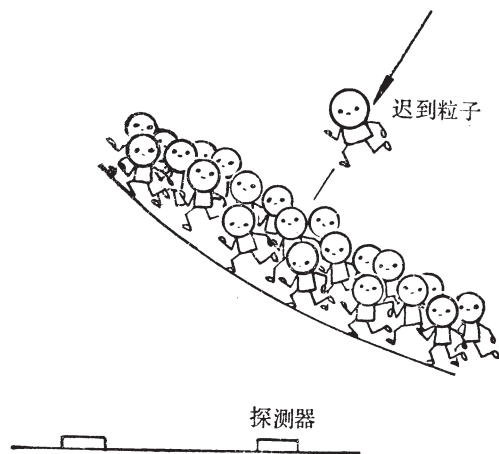


图3

重要的发现

在 10^{12}eV 以下的能区,高能核作用产生的次级粒子,平均横向动量是一个常数,约为 $0.35\text{GeV}/c$ 。人们以为,这是一个普遍适用的规律。但是,通过广延大气簇射的研究,却得到了一个出乎意外的重要结果。

原来以为广延大气簇射是有一个簇射轴心,簇射粒子是轴对称分布的。对心区结构进行精细研究之

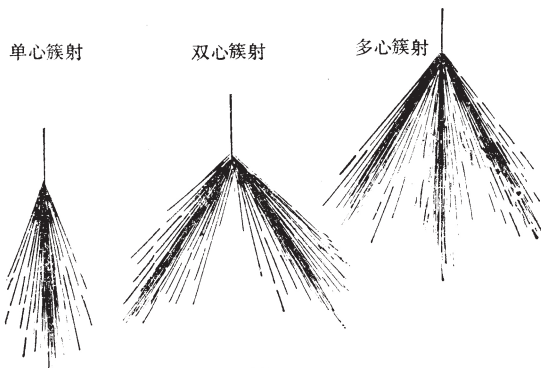


图2

后,发现还有沿两个和两个以上轴心发展的簇射。我们分别把它叫做单心、双心和多心簇射(图2)。通过对双心和多心簇射的深入研究,在 10^{14}eV 以上能区的碰撞中,记录到了一批具有大横向动量的事例,其数值从 $5\text{GeV}/c$ 到 $50\text{GeV}/c$ 都有。由于大横向动量的比例增加,平均的横向动量就比 10^{12}eV 以下能区大得多。这是广延大气簇射研究中的一个主要发现。

高能核作用截面随能量增加和大横向动量事例,通过加速器的实验,得到了最后的肯定,推动了“基本”粒子理论向前发展。以后,在宇宙线的实验中又记录到一种奇异的事例。在探测器上面约五十米高度的碰撞中,一次产生出九十个左右的强子和反强子。据推测,可能是一个能量为 $2 \times 10^{15}\text{eV}$ 的初级粒子。另外,在 $10^{14} - 10^{15}\text{eV}$ 能量范围,研究了广延大气簇射心区荷电强子和中性强子的比例之后也指出,只有核子和反核子对的产生截面增加才能解释实验结果。目前加

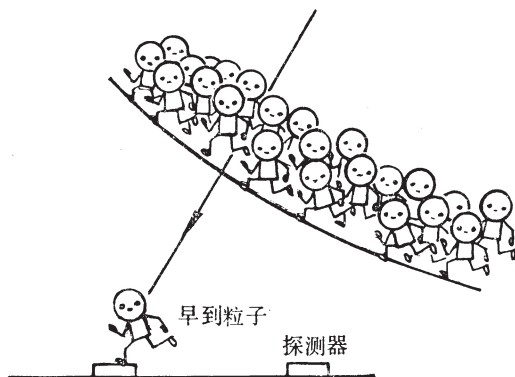


图4

速器的能量还没有观测到这种增加，有希望在加速器能量提高后，作出最后的结论。

迟到粒子和早到粒子

一九七二年，云南宇宙线实验站用大型磁云室，在广延大气簇射中心选择器和核作用选择器两套选择系统同时工作的情况下，找到一个可能的重质量荷电粒子事例，它的质量大约比质子质量大十倍。但是这样的事例太少太少了，实验还不能肯定，寻找重粒子的工作还在继续进行。到那里去找呢？大横向动量的事例使人们得到启示：广延大气簇射中可能存在一种比强相互作用还要强的超强相互作用，由于超强作用的结果，重粒子成分可能增加。因此，世界上许多国家都开展了在广延大气簇射中寻找重粒子的工作。其中的一个实验就是抓住重粒子是个身体重的“胖子”，可能走得慢这个特点，在广延大气簇射中寻找伴随产生的迟到粒子(图3)。

上面说到迟到粒子，那么，有没有早到粒子呢？随着科学的发展，新现象层出不穷，人们开始对光速极限产生了怀疑，在理论上已经进行了许多研究。但是，实践才是检验真理的唯一标准。因此，寻找超光速的粒子——快子就成了关键。广延大气簇射不仅是一种高能现象，而且也是一种高速的现象，产生的簇射粒子都是以接近光的速度在运动。于是，在广延大气簇射中寻找早到粒子的实验就开展了。如果广延大气簇射中产生了快子，它就应该比其它粒子跑得快，先到达探测器上(图4)。有人宣称，已经记录到了早到粒子，但其它同类的实验却没有记录到。还需要改进方法，进一步做实验。

从宇宙空间来的高能粒子流，是天体演化过程的产物，它带来了天体演化过程的信息；它们在地球大气中又引起一系列的反应，产生出形形色色的奇异现象。对广延大气簇射的研究，将会有一些新的发现，为天体物理和超高能物理的研究作出贡献。