

# 不用加速器的基本粒子物理实验

况 浩 怀

早期基本粒子物理实验是用宇宙线作高能粒子源,五十年代起,加速器能量越来越高,七十年代初对撞机等等效能量进入  $10^{12}$ eV 能区.最近即将达到  $10^{13}$ eV 能区.建造加速器的费用越来越昂贵,而现在研究基本粒子所需的能量越来越高.于是,在最近十年来,科学家们重新设计和进行了一批不用加速器的基本粒子物理实验,并取得了一批令人瞩目的实验结果.

在加速器尚未达到的能区用超高能宇宙线研究强作用,70年代初首先由宇宙线实验指出强作用总截面随能量增高而增高,后为加速器实验所证实,以后用高山乳胶室和广延空气簇射实验(EAS)测量截面上升的规律,最近测量EAS引起大气荧光的实验Fly's eye 测算出在初能为  $10^{18}$ eV 时核子作用总截面为  $(12 \pm 11)$ mb.在强作用多重产生其它特征参数测量中,以高山乳胶室观察到的强子在碳靶中引起  $10^{14} - 10^{15}$ eV 作用得到较好的结果,实验在海拔5200米南美恰卡尔塔亚山由巴西-日本合作进行,实验测出  $\pi^0$  介子横动量分布及赝快度分布,并且指出横动量平均值随快度密度增长而增长,这种现象已为80年代运行的西欧中心P $\bar{P}$ 对撞机SPS在  $\sqrt{S} = 540$ GeV时观察所证实.这个组还指出在  $10^{15}$ eV以上可能存在一种称为“Centauro”的新型作用,这种作用的几十至上百个次粒子中没有  $\pi$  介子,不过这种反常事例并没有在其它组大型乳胶室实验(包括中国西藏5500米甘巴拉山乳胶室)中观察到.在SPS中也没有观察到.

当60年代观测到宇宙充满了  $3^{\circ}\text{K}$  微波光子,立即有人提出,宇宙线在传播过程中将与之作用,当能量接近  $10^{20}$ eV时作用截面及能量损失迅速增加,宇宙对这样高能粒子不再是透明的了,宇宙线能谱到此能区应该截断.由于此能区事例极端稀少,EAS实验能量测量误差较大,故至今尚无肯定结论,有的组认为无此截断,观测到一些  $10^{20}$ eV的事例,有的组数据表明截断在  $5 - 10 \times 10^{19}$ eV范围.

初级宇宙线中包含有超高能重核,美日合作JACEE组用气球把乳胶室带到大气顶层观测超高能核-核作用,得到几个初能  $\geq 10^{14}$ eV的核核作用事例,都具有多重性高且次粒子平均横动量大的特征.其中一例初能约为  $100\text{TeV}$ /每核子的Ca + C作用,次粒子有一个  $\alpha$ ,  $(760 \pm 30)$ 个荷电粒子及  $> 300$ 个光子,由光子测算出  $\langle Pr_{\pi^0} \rangle = (700 \pm 50)\text{MeV}/c$ .这些数值都明显的高于强子-强子作用,估计这个事例能量密度超过

$1\text{GeV}/\text{fm}^3$ ,可能已呈现层子-胶子等离子体相变.这个实验要扩大规模到航天飞机上去作.由于我国已经成功的试放了十万余米<sup>3</sup>高空气球,此类实验也有条件进行.此外SPS数据中有少量事例赝快度分布  $dn/d\eta$  有很窄的高峰,在宇宙线中早就有次粒子呈环状锥体发射事例的报道,在我国甘巴拉山乳胶室实验也有这类事例.有的认为在某些模型下统计涨落会引起这种分布,有的则认为这是层子-胶子等离子体出现的征兆,关键还要在更高能区积累更多事例才能得结论.

众所周知,80年代初,一批规模巨大的质子衰变实验,结果是迄今为止未见到质子衰变的事例,相应质子寿命下限约为  $2 \times 10^{32}$ 年,要想提高这个下限是很困难的,因为实验规模已如此巨大,要布置更大规模的实验而且准备作负结果是很难通过的,何况中微子引起的本底事例是很难鉴别.正因此,这些探测器都成了规模空前的地下  $\mu, \nu$  探测器,其中美国的SOUDAN-1探测到天鹅座X-3方向存在  $\mu$ 子峰,它具有4.8小时周期结构,意大利Blanc山下的NUSEX有类似探测结果,但另几家质子衰变探测器未观察到这种现象.人们早已观测到天鹅座X-3发射周期为4.8小时X-射线并发射能量到  $10^{13}$ eV的  $\gamma$ -射线.以后EAS阵列探测到来自此方向具有相同周期结构的  $> 10^{15}$ eV的事例,很自然,设想这个星体还发射能量  $> 10^{15}$ eV的  $\gamma$ -射线,不过当时就因为这些事例没有超高能  $\gamma$ -引起EAS的贫  $\mu$  特征而感到迷惑.现在更难设想超高能  $\gamma$ -能产生地下  $\mu$ ,SOUDAN组提出可能存在一种未知的中性粒子,由源出发到地球后作用产生  $\mu$ 子.当然也可以设想是已知的中性粒子,如中微子在  $> 10^{15}$ eV的超高能区具有近似于强作用的截面,  $\mu$ 子为它作用的次级产物,因为,已有迹象表明轻子与层子有可能处于同一层次,在一定能量以上其作用特征相同也是可能的.最重要的是要检验这种现象是否存在.现在质子衰变探测器都在进行  $\mu, \nu$  测量,因为加速器只能产生几百GeV的  $\mu, \nu$ ,高于此能区的  $\mu, \nu$  作用只能在宇宙线中研究,还有一些规模很大的  $\mu, \nu$  探测实验正在建设.

利用宇宙线进行高于加速器能区作用研究是一直在进行,但每要使探测能区提高一个量级,其实验规模及所用投资都要增加一个量级以上.我国和日本合作在西藏甘巴拉山的乳胶室实验,把约300吨铁板和140吨铅板运到海拔5500米的高山上构成  $150\text{米}^2$  的

乳胶室。总计已消耗近 200 万美元,可以研究  $10^{15}$ — $10^{16}$ eV 能区的多重产生等问题。要想把研究能区提高一个量级,即推到  $10^{17}$ eV 能区(美国 SSC 超导超型对撞机等效能区),苏联正在海拔 3200 米的阿拉加兹山上布置一个称为“ANI”的实验装置,其中心乳胶室和游离量能器达  $1500$  米<sup>2</sup>,还有  $800$  米<sup>2</sup>地下实验室,地下实验室中有最大可测动量为  $3$  TeV 的  $\mu$  子磁谱仪和  $200$  米<sup>2</sup>闪烁体构成的  $\mu$  子探测器,此外还在直径约为  $0.5$  公里范围内布置 EAS 阵列,苏联人称这是最后一个宇宙线高能作用实验。通常 EAS 阵列可以记录到  $10^{20}$ eV 能区的事例,但由于这种事例散布面积都在平方公里以上,而探测器不可能布置很密,因此所得信息很少,现在只能用其推算作用截面。而 EAS 研究的主要方向转向于测量这些超高能粒子来自何方?它们是怎么被加速的?有没有超高能点源?等等天体物理问题。

其它有兴趣的实验还很多,如磁单极子的探测、分数电荷粒子的探测、太阳中微子的探测、中微子振荡实

验、星体引力坍缩时发出的中微子暴的探测、引力波的探测等等,不过都尚无可靠的结果。

总起说来,人工加速器能量从 40 年代末的  $\sim 10^9$  eV 提高到现在的  $\sim 10^{15}$ eV,约为千万倍,由此产生并寻找到质量近  $10^{11}$ eV 的中间玻色子,证明人类的创造力是伟大的。但随着人类认识的深入又发现人类的能力并不是无限的,在整个宇宙的演化过程中以至当今宇宙中某些星体中存在的极端物理现象在地球上是很难以实现的。如  $SU(5)$  大统一理论预言的磁单极子质量高达  $10^{16}$ GeV,超对称大统一理论预言的质量更高。这类粒子如果确实存在的话很难设想地球上能造出高能加速器产生出来,只有可能是早期宇宙产物的遗迹。在当今宇宙中超高密度的星体,超高强度的磁场,超高能的粒子等等很多都是现在地球上难以实现的。所以,充分利用整个宇宙这个大实验室,作一些不用加速器的基本粒子物理实验始终是有价值的。