

# 近几年我国宇宙线研究的主要进展

霍安祥

(中国科学院高能物理研究所)

宇宙线最主要的特点有两个。第一，它的流强虽然很弱，但含有能量极高的粒子，至今已探测到的宇宙线粒子能量可达  $10^{21}$ eV；第二，它可以从宇宙深处带来各种高能物质样品。人们发现和研究宇宙线已有七十年的历史，现已形成一门学科——宇宙线物理学。这是一门联系从基本粒子和它们之间相互作用到天体演化的学科。它有三个分支：一是利用宇宙线高能粒子进行基本粒子物理，特别是超高能物理现象的研究；二是宇宙线天体物理，主要是研究宇宙线的起源、成分、传播、加速机制及其与星际物质之间的相互作用；三是研究宇宙线在日地空间的传播以及在太阳系中的调制和对空间的影响。本文仅论述这门学科的前两个分支近年来在我国的主要进展。

## 一、历史的回顾

我国许多著名的物理学家，曾经在宇宙线物理研究中有过许多重要的贡献。例如，穿透簇射的研究在比较早时就给出了高能强子与原子核作用时，可以形成核级联和核作用中  $\pi^0$  介子衰变的  $2\gamma$  光子能引起电磁级联。用云室研究  $\mu$  子吸收现象时，实验表明  $\mu$  子没有强作用，并首次指出  $\mu$  子被捕获时，能形成  $\mu$  介原子，同时辐射出光子。在 1947 年发现  $V$  粒子后，我国宇宙线学者同外国学者合作，用较多的事例，第一次给出了  $V^0$  粒子 ( $K_s^0$  介子和  $\Lambda^0$  超子) 的质量、寿命和主要衰变形式等重要结果。在理论方面，系统的研究了快核子与核子相碰撞时，介子的产生。另外，还有一些人研究过宇宙线的东西效应和宇宙线粒子在地磁场中运动的轨迹

等。建国后不久，就在云南海拔 3180 米的落雪山建立了宇宙线实验站。从 1954 年开始，先后在这个站上安装了  $50 \times 50 \times 25$  厘米<sup>3</sup> 的多极云室， $30 \times 30 \times 10$  厘米<sup>3</sup>、磁场为 7000 高斯的磁云室，1957 年建立了观察宇宙线强度变化的  $\mu$  子望远镜和中子强度记录器。在北京和广州先后分别建立宇宙线强度观察站，武汉也安装了类似的装置。

六十年代中期，在落雪山附近，海拔 3220 米山峰上，建成了一个新的高山站(图 1)。主要设备为一大云室组，包括  $150 \times 150 \times 30$  厘米<sup>3</sup> 的磁场为 7000 高斯的磁云室， $150 \times 200 \times 50$  厘米<sup>3</sup> 的多极云室和在云室内放置作用靶的  $70 \times 120 \times 30$  厘米<sup>3</sup> 的上云室。

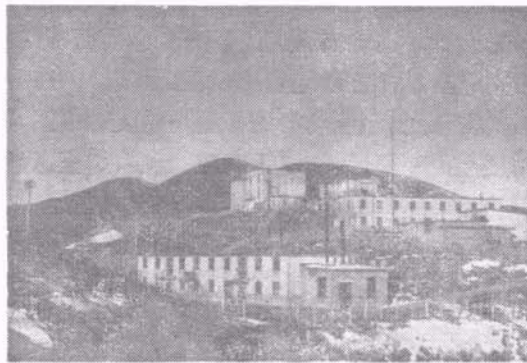


图 1 云南站外景

利用上述一些设备，主要进行了以下一些研究：

在五十年代，主要利用云室研究了高能核作用和奇异粒子的产生及其性质。先后收集了 700 多个奇异粒子事例。其中有一些当时尚属稀有的事例。如  $K_L^0 \rightarrow \pi^\pm + \mu^\mp + \nu$ ，和  $K_L^0$  与核的作用等。较大量地研究了  $\Lambda^0$  和  $K_s^0$  的质

量、寿命、质心系内动量分布和角分布。在弱作用中,宇称不守恒的现象提出之后,测量了 $\Lambda^0$ 衰变时,由宇称不守恒所引起角分布的不对称,实验表明有明显的不对称性。实验还得到了在两个能区(3—5GeV 和十几个 GeV 的能区)产生的 $\Lambda^0$ 超子和 $K_S^0$ 介子的数目比( $N_{K_S^0}/N_{\Lambda^0}$ ),随能量的变化其比值约增加三倍。这个结果两年后为加速器上的结果所证实。

在研究宇宙线高能粒子与核相互作用时,得到在 50GeV 能区,次级粒子的平均横向动量( $P_t$ ) $\approx 300\text{MeV}/c$ 。这个结果在当时还是比较早的。另外,还得到了在 100 GeV 能区,宇宙线高能强子与轻核作用产生的次级粒子的角分布符合双火球发射模型。

对于宇宙线强度变化,有两个站连续记录近 10 年之久。对于大气压力对宇宙线强度变化的影响也作了研究。研制了在人造卫星上观察宇宙线的仪器。

十年动乱期间,有些工作停止了,有些人员离开了。但是,在这样困难条件下,仍坚持了一定的宇宙线研究工作。利用小多板云室继续开展了宇宙线粒子的反常电磁簇射。1972 年用大型磁云室研究宇宙线高能现象时,获得“一个可能的重质量荷电粒子事例”。它的表观实测静止质量是质子质量的 30 多倍,在考虑了磁云室最大可测动量带来的限制之后,这个粒子的质量应大于 12 倍质子的质量。由于粒子游离密度的测量误差和统计涨落,给出它是质子的几率小于千分之二。为了避免粒子游离带来的影响,对于这一事例的另一讨论,利用了实验给出的各个粒子径迹之间的夹角和它们各自的实测动量,在一定假定条件下,可给出这个事例的质量为 24 倍质子的质量。这与原来文章中的结果相一致。在对这一事例的第二篇讨论文章中指出,虽然在原文中仅用了“荷电”二字来描述这个事例,但实际上,是把这个事例的电荷作为 1 来讨论的。由这个粒子的游密度值知道:它的电荷不可能大于 1,但可以是 2/3、1/3 或其他分数电荷。当电荷为 2/3 时,这个粒子的表观质量  $M_c = 25\text{GeV}/c^2$ ; 电荷为 1/3 时,  $M_c =$

物理

$123\text{GeV}/c^2$ 。也就是说,这个粒子的质量可以是质子质量的 100 倍以上。由于磁云室最大可测动量的限制,仅能给出这一粒子的质量是很重的,它的电荷可以是整数 1,也可以是 2/3、1/3 或其他分数电荷,而寿命大于  $10^{-9}$  秒。

## 二、最近几年的主要进展

为了开展超高能宇宙线的研究,并根据先后在 3220 米云南站和 5500 米西藏甘巴拉山进行的试验性乳胶室的工作,[乳胶室是利用国产感光材料和铅板交替组合而成。]1977 年在西藏 5500 米甘巴拉山上正式建立了高山乳胶室[图 2]。经过几年的努力,今年乳胶室的规模可达 300 吨铁组成厚室 50 平方米(29 个辐射长度,3 个核作用长度)和 80 多吨铅板组成的薄室(10 个辐射长度,0.3 个核作用长度)。前者主要观察超高能核作用中的各种次级强子,后者主要观察 $\pi^0$ 介子引起的簇射。此设备可研究  $10^{14}$ — $10^{16}$  eV 的超高能现象。其规模已可以与日本富士山组、苏联帕米尔组和日本-巴西 Chacaltaya 山组相比,是世界上最高的高山乳胶室。从 1980 年开始与日本合作,国内有五个单位参加,即高能所、山东大学、郑州大学、重庆建工学院和云南大学。

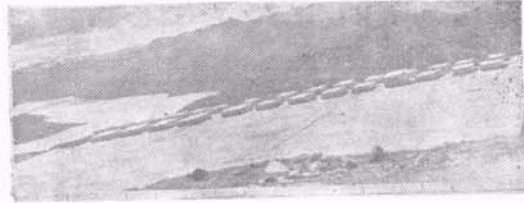


图 2 5500 米高山乳胶室

另一方面,为了发展宇宙线天体物理,考虑到我国近期内不可能有足够数量的卫星用于宇宙线和其他基础科学的研究,我们积极推动了高空科学气球的研制。1977 年开始着手这方面的工作。从 1979 年起由大气所、高能所、空间中心、上海天文台和广州电子所共同组成气球工作机构,并得到了科学院的领导与积极支持,于 1981 年成功地发放了 3 万立方米的气

球,载重 190 多公斤,升空 35—36 公里,平飞时间为 11 小时。不仅进行了几十次气球工程的高空实验,而且也开始用于科研工作,如今年 5 月成功地发放了带有观测原初宇宙线的固体径迹探测器,升空到 36 公里,飞行时间为 11 个小时,并顺利回收(图 3)。

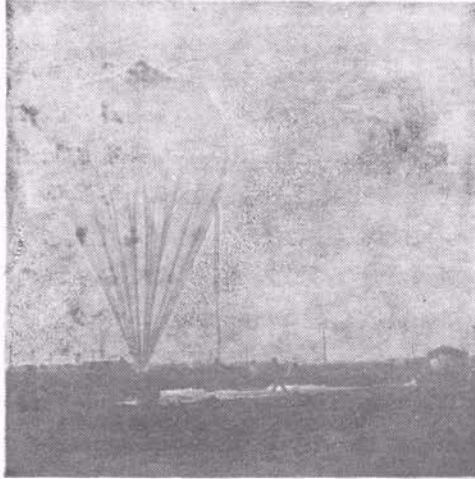


图 3 3 万立方米的气球正在发球

另外,经过几年的研制,建成了由十个闪烁体组成的小型广延大气簇射阵列,每个闪烁体的灵敏面积为 0.28 平方米,它的脉冲幅度分辨率(FWHM)为 70%,其全面积上响应的非均匀度为 11%。小型阵列(图 4)的记录由自制的模数转换电路来自动完成。重庆建工学院也初步建设了小规模地下  $\mu$  子观测设备。山东大学建立了较完整的测量乳胶室的实验设备。北

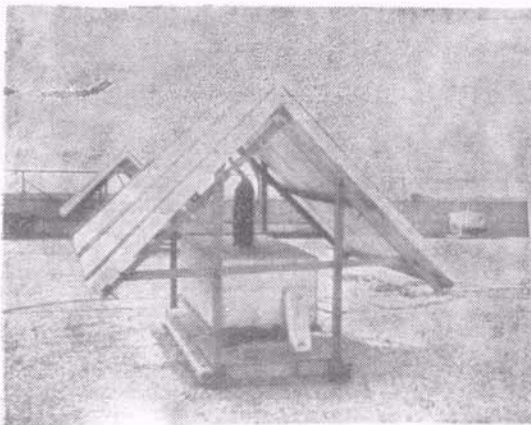


图 4 小型广延大气簇射阵列的一个单元

京和广州宇宙线强度记录站正在继续记录数据。

利用上述设备,主要进行了以下研究工作,并取得了可喜的成果。

近几年来,在 3220 米高度测量了  $\mu$  子的垂直流强和水平方向流强。测量了海平面  $\mu$  子的垂直流强。研究了在 3220 米高度小面积非伴随强子的质子和  $\pi$  介子的流强比值。利用大型磁云室初步测量了动量为 10 至 25 GeV/c, 能区在 3220 米高山的宇宙线反质子流强与质子流强之比,其值为  $I_{\bar{p}}/I_p = 0.09 \pm 0.06$ 。利用这一结果可估算出在原初宇宙线与大气核作用时产生的  $N_{\bar{p}}/N_{\pi^-}$  之比及产生  $\bar{p}$  的截面。它的原初粒子的能量比现有加速器能量要高些,这个结果与标度理论没有矛盾。

为了进一步寻找重质量荷电粒子,探索了慢化后它们存在的可能性。利用大型磁云室在水平方向进行了寻找。实验给出,它的流强小于  $3 \times 10^{-8}$  厘米<sup>-2</sup>·秒<sup>-1</sup>·立体角<sup>-1</sup>。

利用乳胶室对 5500 米高度、能量大于 2 TeV 的电子和  $\gamma$  光子以及由强子引起的簇射,其能量大于 3 TeV 的流强和能谱进行了测量。它的能谱由下式表示:

$$I(\geq E) = AE^{-\beta},$$

其中  $I$  为能量大于  $E$  的粒子流强,  $\beta$  为能谱指数。其测量结果如下:

$$I_{er}(E_r > 2\text{TeV}) = 732 \times 10^{-10}$$

$$(\text{厘米}^{-2} \cdot \text{秒}^{-1} \cdot \text{立体角}^{-1});$$

$$I_{\mu}^{\gamma}(E_r > 3\text{TeV}) = 4.6 \times 10^{-10}$$

$$(\text{厘米}^{-2} \cdot \text{秒}^{-1} \cdot \text{立体角}^{-1}).$$

能谱指数  $\beta$  值分别为:

$$\beta_{er} = 2.0 \pm 0.2;$$

$$\beta_{\mu}^{\gamma} = 1.95 \pm 0.18.$$

先后在珠峰下 6500 米处和云南站 3220 米高度也测量了电子和  $\gamma$  光子能量大于 2 TeV 的流强和能谱。不同大气深度各种粒子流强和能谱的测量可以推算出原初宇宙线粒子在更高能区的能谱、流强和它们同大气原子核作用的截面。目前,这些结果没有反映出能量在  $10^{14}$  eV 附近有什么异常现象。

对乳胶室1981年以前取回的数据进行分析的过程中,获得两个有趣的事例。图5给出了365号事例的靶图,这个事例的可见能量 $\Sigma E_r = 44.5\text{TeV}$ 。它的初粒子能量在 $10^{15}\text{eV}$ 以上。事例的特点是有两组明显分离的超高能簇射,能量分别是 $\Sigma E_{r,1} = 135\text{TeV}$ 和 $\Sigma E_{r,2} = 104\text{TeV}$ 。它们相应的横动量 $P_{t,1} = 7.8\text{GeV}/c$ 和 $P_{t,2} = 4.6\text{GeV}/c$ 。这远远大于 $\pi^0$ 衰变为 $2\gamma$ 时, $\gamma$ 的平均横动量 $200\text{MeV}/c$ 。图6表示了另一事例78-42号的靶图。这个事例的可见能为 $\Sigma E_r = 800\text{TeV}$ ,它是一个大 $\gamma$ 线簇事例。原初粒子的能量近 $10^{16}\text{eV}$ 。在这个事例中有4个能量大于 $50\text{TeV}$ 的 $\gamma$ 线,它们远离事例的轴心。它们的横动量分别为: $8\text{GeV}/c$ , $5\text{GeV}/c$ , $3\text{GeV}/c$ 和 $10\text{GeV}/c$ ,比在这个能区的高能 $\gamma$ 线的平均横动量( $P_{t,\gamma} = 200\text{MeV}/c$ )要大几十倍。这个事例是近几年来国际上宇宙线超高能核作用研究中获得的几种新奇现象的另一新型现象。

大横动量现象的发生,标志着粒子在更深

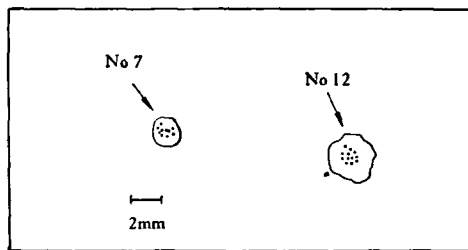


图5 365号事例的靶图

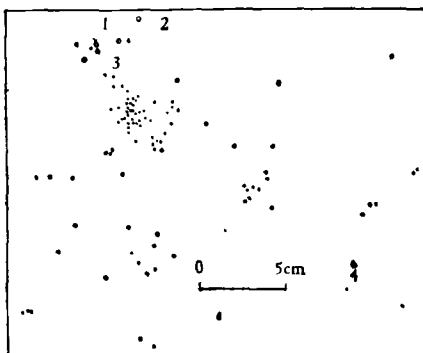


图6 78-42号事例的靶图

1.  $49.6\text{TeV}$ ; 2.  $142\text{TeV}$ ; 3.  $4.1\text{TeV}$ ; 4.  $69.2\text{TeV}$

物理

层发生碰撞。目前,在宇宙线超高能实验中,在 $\Sigma E_r = 100\text{TeV}$ (初能大于 $10^{15}\text{eV}$ )的 $\gamma$ 线簇中,这种大横动量 $P_t$ 现象发生率要比按加速器实验的结果外推得的事例数大许多倍。尤其是在这种作用中,同时产生几个大横动量粒子的现象,用现有的物理知识是难以解释的。随着这类事例的大量积累,对于进一步了解基本粒子是否有更深一层次的结构,将会有所帮助。

另外,利用小型广延大气簇射阵列,初步测量了广延大气簇射的电子密度谱,其能谱指数为 $1.5-1.6$ 之间。目前正在用于观测超高能宇宙线粒子的时间关联现象。为了观察超高能宇宙线强子在均匀介质(如天然水)中的声效应,有两个组分别研究了 $30\text{MeV}$ 电子加速器的电子束和激光束在水中引起声效应的模拟实验。观察到在超声频区有双极或多极脉冲现象,并研究了声压与束流总能量之间的关系。其中一组还先后三次在不同高度和地区的湖泊及水库,进行了探索超高能宇宙线强子在水中引起声效应的可能性。实验表明确有双极或多极超声频讯号。进一步实验如能证明这些讯号与超高能宇宙线粒子有关,将可能对超高能宇宙线的研究提供一种新型的探测手段。

在宇宙线天体物理方面,已进行了三次气球飞行实验。1981年9月将一台 $\gamma$ 射线脉冲望远镜(图7)带至 $34$ 公里的高空。得到了北京地区上空的 $\gamma$ 射线的本底。

1980年9月发放了 $1$ 万立方米气球载原初宇宙线电荷成分探测器。探测器由两层厚 $1.6$ 毫米的CR-39塑料片和一层厚 $200$ 微米的ET76核乳胶组成,面积为 $20 \times 22$ 平方厘米,平均高度为 $33.8$ 公里。实验给出了能量大于 $3\text{GeV}$ /每个核子的电荷成分分布。1982年5月又发放了 $3$ 万立方米的气球,载有研究原初宇宙线电荷成分和高能原初宇宙线核与物质铝核作用的探测器。探测器系由CR-39塑料片和铝板交替组成的室,飞行高度为 $36$ 公里,时间为 $11$ 小时,已顺利回收。

每两年一届的全国宇宙线专业会议已召开两届。从两次会议上报告的文章来看,水平在

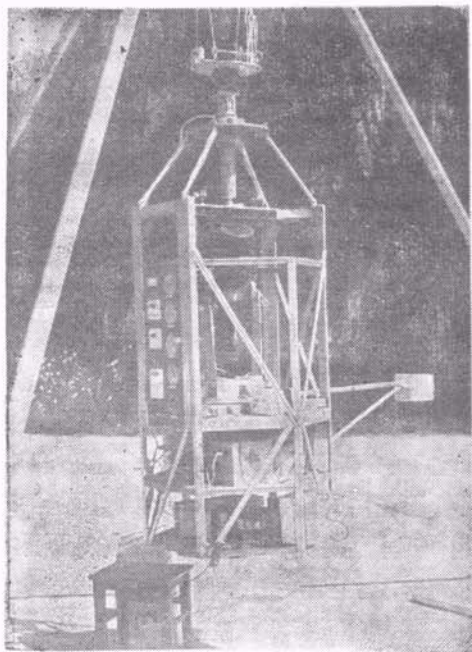


图7 观测 $\gamma$ 射线的望远镜

提高,内容也逐步深入和扩大。第一次会议共有32篇报告,其中18篇属研究成果,评述文章14篇。第二次会议有近100篇报告,绝大部分是研究成果。虽然理论工作和模拟计算占半数,但工作面已涉及到超高能物理、宇宙线天体物理(包括高能天体物理理论)、空间物理和有关方面的实验技术及探测器的研制。总的说来,是在稳步的向前发展。

解放三十多年来,宇宙线工作者逐步地学习并运用毛主席的哲学思想来指导科研工作。高能所宇宙线室结合我国的实际情况和宇宙线物理学的特点,总结出:“在安排研究工作时,要力所能及,逐步发展”;在选题时要“立足常规,着眼新奇”。前者是说,根据研究室的人员业务水平、技术能力、人员多少、组织力量和经费要留有余地的安排工作,争取把研究工作在现有水平上逐步提高和经过一定时期的努力,在某些方面做出较高水平的研究成果。后者是说,一个常规课题,一般是在前人大量工作的基础上开始的,对预期的结果比较有把握。因此,工作经验不多的人员可以从中逐步学会研究工作的方法、掌握必需的专业和基础知识,还可以培养其独立工作能力,在遇到“新奇”现象时,不致漏掉。另一方面,在选择较新的现象作研究课题时,也要对可能产生这一现象的背景进行细致的分析和研究。“一个可能的重质量荷电粒子事例”的获得,就是在研究宇宙线粒子的质量分布的基础上得到的。宇宙线物理中的许多重要发现,常常是在进行其它课题时“偶然”发现的。所以,开始一个研究课题之前,对所选择的课题,首先要找出它的矛盾,分析这些矛盾。在工作过程中,要特别注意可能存在的,用已知的知识不能解释的现象和矛盾,这样就有可能路子越走越宽。

## 我国低温物理发展三十年

赵忠贤

(中国科学院物理研究所)

我国低温物理学科是在新中国诞生之后不久从无到有逐步发展起来的。由低温物理学科推动发展起来的超导电技术在我国已成为一门新技术。超导电技术的应用已列为国家重点发展项目。目前,我国从事上述工作及相应技术(低温技术,超导材料等)的科技人员上千人<sup>1)</sup>,

其中不到十分之一的人员从事较为基础性的研究,但从事低温物理学科研究的人员则还不到百分之五。这些科技人员以及他们所在的单位分布在中国科学院、高等学校、工业部门及国防

1) 台湾省的情况在本文中均未计入。