

# 从北京国际讨论会 看宇宙线超高能研究

丁林堦

国际宇宙线超高能作用讨论会于1986年10月29日至11月3日在北京举行。这次会议主要讨论高山乳胶室的实验结果及其物理解释。来自美国、日本、苏联、波兰、意大利、法国的宇宙线和高能物理学者31人,与我国学者63人共聚一堂,报告了各自的最新研究成果。会议安排了九个邀请报告,分别就西欧中心的质子-反质子对撞实验的主要结果、美国费米实验室Tevatron的实验安排、宇宙线超高能邻近领域(广延大气簇射和地下 $\mu$ 、 $\nu$ 实验)的研究进展以及强子作用多重产生的理论研究状况作了介绍。这些报告,有助于开拓与会者的视野、把握今后宇宙线超高能研究发展的趋向。在这里,我们试图在介绍会议情况的同时,谈谈宇宙线超高能研究中存在的几个问题。

**利用高山乳胶室进行超高能研究的目的。** 加速器的能量(折算到静止靶情况)在1981年达到 $1.5 \times 10^{14}$ eV,最近已达到 $2 \times 10^{15}$ eV。宇宙线超高能研究必须进入更高一些的能区,才有意义。用高山乳胶室这种实验手段,按照目前甘巴拉山的实验规模,每年约可获得几十个观测能量在 $100\text{TeV}$ 以上的事例,它们的初能大致分布在 $10^{15}$ — $10^{17}$ eV之间,比当前加速器达到的能量高一些。利用高山乳胶室作超高能现象研究的目的,可以归纳为三个方面:

1. 研究 $10^{15}$ — $10^{17}$ eV能区核作用的主要行为;
2. 研究这个能区初级宇宙线的元素成分;
3. 研究这个能区可能出现的反常现象,包括新粒子、新过程等。

具体谈到 $10^{15}$ eV到 $10^{16}$ eV的强子作用,加速器实验表明,软强子过程的主要特征随能量增加是缓变的(所谓“lgS物理”),而部分硬散射的截面随能量很快增长。到了 $10^{15}$ eV以上,强子作用的行为会怎样改变?是继续缓变?或是发生急变?不断增大的硬散射截面会导致什么观测效应?等等,都是宇宙线超高能研究要解答的问题。已经知道,初级宇宙线的能谱在 $10^{15}$ eV到 $10^{16}$ eV区间有复杂的结构,存在所谓的“肩”和“膝”。这个能区的元素成分怎样?各种元素的能谱怎样变化?这既是宇宙线起源、传播的重要问题,也和研究超高能核作用密切相关。至于超高能区可能存在的反常现象,更是粒子物理学家十分瞩目的问题。众所周知,高山乳胶室实验在1972年报导的Centauro事例,即次级粒子中只有强子没有电磁成分的事例,引起了实验和理论粒子物理学家的极大注意。除了作过许多理论解释工作以外,在最高能量的加速器投入运

行之后,很快就安排了实验来专门寻找这一类事例。

**高山乳胶室研究的两个阶段——C-jet 和 A-jet。** 在介绍具体的研究结果之前,需要先讨论一下高山乳胶室实验的特点。高山乳胶室实验已有二十多年的历史了。最早开展的是Chacaltaya组,他们建造中间夹以靶物质的两层乳胶室,直接观测在靶中发生的作用和产生的次级粒子。因此,作用截面、次级粒子多重数、角分布、横动量等都是直接可测量的物理量。他们使用的靶物质中主要成分是碳,所以习惯上把观察到的事例称作C-jet事例。

由于宇宙线粒子的数目随着能量增长而急剧下降,穿过 $500\text{g/cm}^2$ 以上的大气层之后,高能粒子就更少了,所以,在5200米的Chacaltaya山上,用几十平方米的乳胶室工作了十几年,也只记录到七、八十个能量在 $10^{14}$ eV区域的C-jet事例,而 $10^{15}$ eV以上的C-jet事例,迄今还未见报道过。即便如此,C-jet研究还是给出了很好的结果。它作出的截面,平均多重数,平均横动量,特别是高多重数和大横动量关联的现象,都被后来的加速器实验所证实。1981年,西欧中心的SPS对撞机投入运行,加速器的能量已进入了C-jet能区,标志着乳胶室C-jet阶段的结束。

高山乳胶室观察到的超高能事例,更多的是所谓A-jet事例。这些事例都是发生在室上方大气层中的超高能作用,许多后代粒子以近于平行的一束高能粒子的形式进入乳胶室。因为靶是空气,所以习惯上称为A-jet,又叫“族事例”。

七十年代就在研究A-jet。但是1981年C-jet阶段的终结,才标志着高山乳胶室研究进入了一个完全的A-jet阶段。

**A-jet研究的复杂性。** 如上所述,A-jet观察的是超高能作用经过 $500\text{g/cm}^2$ 以上的大气层之后遗留下来的后代粒子,而我们要研究的是头一、两次作用的特征。这时,所有感兴趣的物理量都难于直接测量,人们面临的问题已经与C-jet完全不同,变得复杂多了。作一个比喻,就好比要从某一家族当前存活成员的足迹,去分析二百年以前他们的祖先的特征,这是不容易的。

通常,可以通过一些办法在C-jet事例中挑选出少量“低空事例”。就是说,这类事例的主要作用发生在低空,当然,不能排除其中有的粒子产生于其他高度。到目前为止报导的一些反常事例,有不少就是这样挑出的。但在具体分析时,需要仔细检查“低空判

据”的可靠性,还要避免把低空事例中混入的在高空产生的粒子误认为也是低空产生的。否则,会导致错误的结论。

对于大量的非低空事例,只有借助于蒙特卡洛方法来分析。就是说,预先假定某种核作用模型以及初级粒子成分,通过计算机对每一次作用每一个粒子在大气层中的传播进行模拟,并在高山乳胶室的高度和条件下产生人工的“族事例”,与实验数据进行多方面的比较,借以判断所用的模型和成分是否合适。这种方法,计算量很大,程序设计很庞杂,对多因素问题不易作出确切的答案,不算一种很理想的方法。但是,在没有找到其它更有效的方法之前,这还是一种唯一可行的手段。迄今各个组关于  $10^{15}$ — $10^{17}$ eV 能区作用特征和初级宇宙线成分的分析,主要是用蒙特卡洛方法作出的。

**$10^{15}$ — $10^{17}$ eV 能区的核作用特征和初级宇宙线成分。** 国际宇宙线界对这个问题作出的结论中存在着明显的差别。日本富士山组推论超高能区的强子作用在碎裂区仍有费曼标度不变行为(或标度不变性的弱破坏),同时初级宇宙线中的质子只应该占全部粒子的 15%,铁核约比质子多两倍。苏联 Pamir 组则认为标度不变性一定得破坏。日本-巴西合作的 Chacaltaya 组也认为标度不变性是不存在的。这些不同的结论早几年就有了,到这次会议仍是这个状况。在这次会议上,我国宇宙线学者报道了甘巴拉山的实验结果,特别是利用铁乳胶室对高能事例的测量结果。在物理分析方面,中国学者采用了几个能很好拟合加速器非单衍射实验结果的模型(即自己发展起来的软过程-硬散射模型、近几年提出的邹祖德-杨振宁模型和 Zichichi 组的模型),并仔细考虑了衍射离解过程的贡献,对碎裂区标度不变性问题和初级成分作出了自己的判断。他们认为,目前国外宇宙线学者所使用的作用模型与加速器数据符合的并不很好,有的没有考虑衍射过程,而衍射过程对乳胶室观测量的分析是很重要的。如果比较准确地按照目前加速器数据外推,则超高能区初级宇宙线中质子的份额应该是 30% 左右。

**$10^{15}$ — $10^{17}$ eV 能区的反常现象。**到目前为止,高山乳胶室实验报道了多种反常现象,其中最引人注目的,要数前边提到的 Centauro 事例。1982 年,西欧中心的 SPS 对撞机投入运行不久,就专门安排了一个实验来寻找这类事例,结果为负,没有找到。甘巴拉山和富士山的乳胶室实验也没有观察到此类事例。这是一个矛盾的现象,这个现象已经存在多年了。最近五、六年,这种差别更加扩大了: Chacaltaya 组又陆续报道了一系列反常事例:除 Centauro 之外,还有 mini-Centauro 事例, Geminion 事例和 Chiron 事例。所有这些事例都具有“富强子”特征(即强子很多, $\gamma$ 很少)。后两类事例还具有次结构,叫做 mini-cluster,最近

又发现所谓 giant-mini-cluster。Chacaltaya 组最近把所有这几类事例统称为“Centauro 型”相互作用的事例。

与初始的 Centauro 事例不同,这些事例出现的频率相当不小。如果确实有,所有的高山乳胶室都应该观察到;如果是假象,照理说应该也不难证明。但是,包括这次国际讨论会在内的近几届国际会议上,不同组之间的交锋都比较少。前几年,我国学者证明了所谓 Geminion 的双心事例大部分可以用部分子硬散射解释,至少大部分不是新奇现象。在这次会议上,有另一位日本学者对 mini-Centauro 事例作了评论,认为是普通作用的涨落。除此,对各个组在实验方法上可能存在的系统差别并未作出深入的分析。由于 Centauro 型事例的重要性,显然,今后对这一类现象提出的肯定或否定的证据,都将是很有意义的。

除 Centauro 型事例之外,我国甘巴拉山组报道了一个具有高多重数的超高能环状事例,受到与会者的重视。我国另一篇论文,用超高能核-核作用中由普通核物质到夸克-胶子等离子体相变的模型作大气级联模拟,得到了环状事例,表明相变是这种现象的一种可能的解释。甘巴拉山组报导的另一个事例显示了多层弧状结构,也是很有趣的现象。除此,苏联 Pamir 组报导了一个共面事例,一个横向扩展反常大的事例,都值得深入分析研究。

**超高能  $\gamma$  天文观测。**近年来,利用放置在地面上的宇宙线广延大气簇射探测装置来进行  $10^{15}$ eV 附近的超高能  $\gamma$  天文观测,成了一个热门的研究方向。由于加速器的能量愈来愈高,到九十年代可能达到  $10^{18}$ eV 量级,因此,许多研究宇宙线高能现象的学者,都逐渐把注意力往天文方面转移。在这次会议期间,组织了一个超高能  $\gamma$  天文观测的专题讨论会,报告了国外的最新实验结果和在我国西藏开展超高能  $\gamma$  射线观测的设想。由于我国西藏的海拔高度优势,地理纬度也适合于观测几个很有兴趣的  $\gamma$  源,因此,许多国外学者对这个计划表示了强烈的兴趣,纷纷表示愿意共同合作,把西藏建成为一个技术先进、功能完备的超高能宇宙线观测中心。

**宇宙线研究国际合作和交流的促进作用。**与十年以前相比,我国宇宙线研究的一个显著特点,是逐步走向国际社会。通过开展国际合作,引进了先进的实验手段,使我们的实验水平迅速提高。频繁的人员来往,为我们提供了学术交流的良好机会,也促进了我们的物理研究水平的迅速提高。这次会议,体现了我国宇宙线研究力量的成长。我国学者提交的论文,约占总数 38%,其中青年科研人员和研究生的报告超过一半。他们登台演讲,参与讨论,标志着我们事业兴旺、后继有人,给许多国外同行留下了深刻的印象。