

# 甚高能 $\gamma$ -射线点源观测的概况

姜印琳

(中国科学院高能物理研究所)

## 提 要

本文介绍利用大气 $\check{C}$ 光探测技术观测甚高能 $\gamma$ -射线点源的发展历史、基本原理和探测技术, 研究现状及发展前景。最后讨论在我国开展这项研究的可能性。

## 一、前 言

天文学的进步与天文观测仪器的发展是紧密相关的。在空间运载工具和探测技术迅速发展的基础上, 继六十年代初发展起来的 X-射线天文学之后, 七十年代初又打开了电磁波高能端的天文观测窗口—— $\gamma$ -射线天文学。由于 $\gamma$ -射线有很强的贯穿能力和不受星际磁场的偏转, 直接携带着源区丰富的信息, 成为研究高能天体(或源区)和了解宇宙的理想探针。在短短十多年的时间, 利用空间探测器的观测取得了很重要的成果: 发现了银河系弥漫 $\gamma$ -射线和25个分立的 $\gamma$ -射线源, 其中许多尚未找到与其他观测波段相对应的天体; 观测到存在河外 $\gamma$ -射线源的证据; 1972年底发现了至今不知来源的 $\gamma$ -暴现象; 探测到一些明显的谱线(如银心区域的 $e^+e^-$ 湮灭线等); 积累了一些新奇现象。与此同时, 从六十年代开始, 宇宙线研究者就借助甚高能 $\gamma$ -射线探索在地球大气层中产生的广延空气簇射(EAS)及其相伴随产生的大气契仑科夫( $\check{C}$ )光或者荧光, 进行甚高能( $E_\gamma > 10^{11} \text{eV}$ ) $\gamma$ -射线的观测。迄今, 已经把观测的能量从空间探测器达到的最高能限( $\leq 10^{10} \text{eV}$ )延伸到  $10^{18}$  或者  $10^{20} \text{eV}$ , 实现了 $\gamma$ -射线全波段的天文观测。

$\gamma$ -射线天文观测的能量跨越十多个数量级 ( $10^6 - 10^{18}$  或者  $10^{20} \text{eV}$ ), 与射电波段到 X-射线波段的能量变化范围相同。因此,  $\gamma$ -射线天文观测涉及到本质上完全不同的各种各样的探测技术。  $10^6 - 10^{10} \text{eV}$  的 $\gamma$ -射线是空间探测器适用的范围。更高能量 $\gamma$ -射线的探测只能用地面

探测器来实现。根据探测技术的种类, 大致划分为三个能区: 甚高能 $\gamma$ -射线( $10^{11} - 10^{14} \text{eV}$ ), 利用大气 $\check{C}$ 光技术探测; 超高能 $\gamma$ -射线( $10^{14} - 10^{17} \text{eV}$ ), 利用广延空气簇射(EAS)阵列探测; 极高能 $\gamma$ -射线( $10^{17} -$

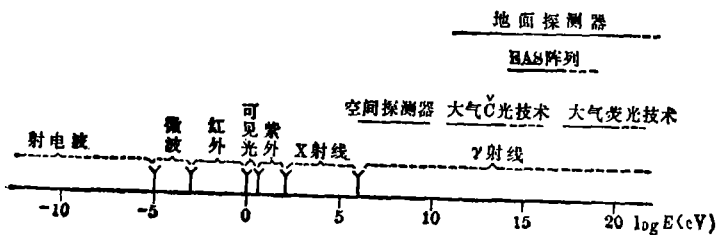


图1. 电磁波谱和 $\gamma$ -射线波段相应的探测技术。

1985年9月26日收到。

$10^{20}\text{eV}$ ), 利用大气荧光技术探测, 目前只有美国 Utah 组的复眼(Fly's Eye)装置能胜任这项工作(如果工作在探测近距离的 EAS  $\check{C}$  光的状态, 观测的能区属于超高能区)。图 1 是电磁波谱和 $\gamma$ -射线波段相应的探测技术。

## 二、甚高能 $\gamma$ -射线天文观测发展的概况

早在 1953 年, Galbraith 和 Jelley 就用最简单的抛物面聚光镜和光电倍增管装置探测到 EAS 产生的大气  $\check{C}$  辐射<sup>[1]</sup>。后来得得到与初级带电粒子幂谱指数相近的大气  $\check{C}$  光强度的幂谱指数, 进一步证实探测的大气  $\check{C}$  光是由初级质子产生的。1958 年 Morrison 首先建议用这个技术寻找初级 $\gamma$ -射线。1961 年苏联学者 Chudakov 等人又建议用大气  $\check{C}$  光技术观测 $\gamma$ -射线点源, 并于 1965 年对 Crab 星云和 Cyg A 进行了天文观测<sup>[2]</sup>。当时, 还有一些类似的观测, 都未能获得有统计显著性的结果。直到 1968 年发现脉冲星以后, 苏联、美国、印度和澳大利亚等国家, 用大气  $\check{C}$  光技术探测甚高能 $\gamma$ -射线点源的研究才得到较快的发展。特别是 1972 年 9 月 2 日 Cyg X-3 强大的射电爆发之后, 1973 年苏联克里米亚天体物理台观测到它发射出能量大于  $10^{12}\text{eV}$  的 $\gamma$ -射线<sup>[3]</sup>; 美国、印度和澳大利亚等国也先后发表了对 Cyg X-3<sup>[4]</sup>、Crab 星云脉冲星<sup>[5]</sup>、Vela X-1<sup>[6]</sup>和 Cen A<sup>[7]</sup>等的观测结果, 从而揭开了甚高能 $\gamma$ -射线天文观测的序幕。在大致相同的期间, SAS-II (1972—73) 和 COS-B (1975—1982) 卫星发现一些高能 $\gamma$ -射线点源( $\sim 100\text{MeV}$ ), 更激励了甚高能 $\gamma$ -射线天文观测的热情。有关早期实验工作和结果的评述请参阅有关文献<sup>[8-10]</sup>。八十年代以来, 甚高能 $\gamma$ -射线天文观测进入了蓬勃发展的时期, 确认了对几个天体观测的基本结果, 对另外许多天体(或天区)给出了流强上限。这期间, 超高能区的研究工作也获得了重大的进展, 探测到 Cyg X-3 发射的大于  $10^{15}\text{eV}$  的周期性超高能 $\gamma$ -射线。

由于微电子学和计算机技术的发展, 极大地推动了大气  $\check{C}$  光探测技术的发展。它为宇宙线起源、高能天体模型和天体演化、 $\gamma$ -射线产生和吸收机制以及超高能粒子物理等学科提供了重要的信息, 受到天文界和宇宙线研究者的一致重视。自第十三届国际宇宙线会议(1973)以来, 有关大气  $\check{C}$  光探测技术和观测结果的文章逐年增加。1980 年 11 月英国皇家学会主持召开了“ $\gamma$ -射线天文学”专题讨论会<sup>[11]</sup>。1982 年 9 月在印度召开了“甚高能 $\gamma$ -射线天文学”讨论会<sup>[12]</sup>, 会议总结了用大气  $\check{C}$  光技术进行甚高能 $\gamma$ -射线天文观测的成果和存在的问题, 讨论了技术发展前景和新的研究方向。因此, 这是一个受到广泛重视和正在迅速发展的研究领域。

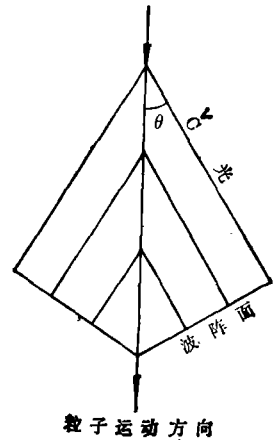


图 2. 快带电粒子产生的 $\check{C}$ 辐射示意图。

## 三、大气 $\check{C}$ 光探测的基本原理和技术现状

带电粒子在介质中运动时, 粒子径迹附近的分子(或者原子)受到极化。如果带电粒子的

运动速度大于该介质中的光速，极化的介质就产生相干辐射，称为 $\check{C}$ 辐射效应。这种辐射是介质极化的次级效应，与带电粒子的本性无关(与所带电荷有关)。一个快带电粒子产生的 $\check{C}$ 光如图2所示。 $\check{C}$ 光的发射角 $\theta = \cos^{-1} 1/n\beta$ ，其中 $n$ 是介质的折射率， $\beta$ 是粒子的速度因子。只有 $\beta \geq 1/n$ 时，才有 $\check{C}$ 辐射效应。 $\beta_{min} = 1/n$ 决定了产生 $\check{C}$ 辐射的阈能。在海平面，空气的折射率 $n = 1.000293$ ，对于正负电子，产生 $\check{C}$ 辐射的阈能是21MeV， $\mu$ 子的阈能是4.3GeV，质子的阈能是39GeV。当 $\beta = 1$ 时，空气中 $\check{C}$ 辐射的极大发射角 $\theta_{max} = 1^\circ.3$ 。计算表明在3,500—5,000Å之间的光子产额约为30光子/米<sup>2</sup>。

一束能量很高的 $\gamma$ -射线入射到地球大气层以后，由于连续的电磁级联过程，逐步发展成广延空气簇射(EAS)，它的主要成分是正负电子和 $\gamma$ 光子。在发展过程中，绝大多数正负电子的速度接近于光速，满足在空气中产生 $\check{C}$ 辐射的条件。因此，伴随EAS的发展，在大气层中产生大量的 $\check{C}$ 光子，称为EAS的大气 $\check{C}$ 辐射。这些 $\check{C}$ 光子流相对于EAS轴干(初级 $\gamma$ -射线入射方向)的半张角约为 $1^\circ$ 。光子流(或光脉冲)的持续时间约为10ns。例如，一个 $10^{12}$ eV的甚高能 $\gamma$ -射线，在级联发展极大位置(约在10公里高度)约有1,000个电子。但由于大气的吸收，这些电子以及后来产生的次级电子几乎不能到达海平面，因此不能用常规的EAS阵列进行探测。但是，伴随EAS发展而产生的大气 $\check{C}$ 光子总数高达 $10^8$ ，并且大部分能到达海平面。相对于EAS的轴干，这些 $\check{C}$ 光子沿径向扩展到很远的距离。在半径为100—200米的范围内，光子流的密度约为30—70光子/米<sup>2</sup>。这就大大地扩展了局部探测器的灵敏面积，使之有可能用大气 $\check{C}$ 光技术对很弱的甚高能 $\gamma$ -射线流( $10^{-10}$ — $10^{-11}$ 光子/米<sup>2</sup>·秒)进行探测。图3是初能为 $10^{11}$ eV的甚高能 $\gamma$ -射线产生的 $\check{C}$ 光子横向分布(计算机模拟结果)<sup>[13]</sup>。用抛物面聚光镜把局部的大气 $\check{C}$ 光子汇聚到焦点附近，用光敏元件(光电倍增管阴极表面)探测瞬态的光爆。这就是EAS大气 $\check{C}$ 光探测技术的基本原理，是现今观测甚高能( $10^{11}$ — $10^{14}$ eV) $\gamma$ -射线唯一可以利用的手段。

大气 $\check{C}$ 光探测装置的优点是设备简单、造价低(相对于其他天文观测仪器)、建造周期短、

收集面积大、角分辨好(约 $1^\circ$ )，能对点源进行连续的跟踪观测。图4是苏联克里米亚天体物理台使用的大气 $\check{C}$ 光探测设备框图<sup>[14]</sup>。这是最简单的探测单元，由两个光轴平行的1.5m抛物面聚光镜，构成一个望远镜系统，进行符合观测。该站用两个这样的望远镜系统获得的Cyg X-3甚高能 $\gamma$ -射线的最初结果<sup>[3]</sup>，至今仍被采用。在保证仪器稳定运行的条件下，通过交替的向源和离源符合计数的记录、符合发生时间的测量来获得 $\gamma$ -射线点源的信息。在此基础上发展起来的探测系统，称为第一代探测器。为了降低偶然符合计数率，目前多数观测组

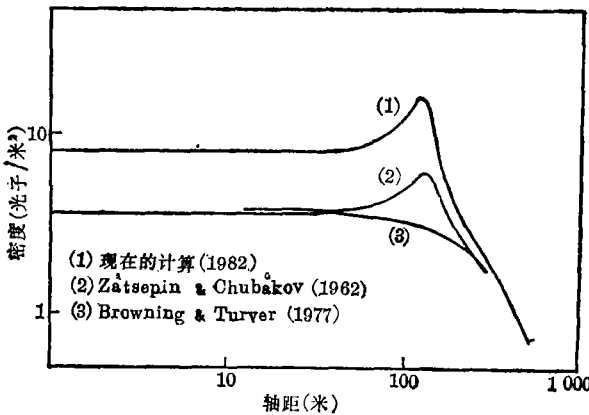


图3. 在地球大气层中 $10^{11}$ eV  $\gamma$ -射线产生的 $\check{C}$ 光子横向分布(海平面)。

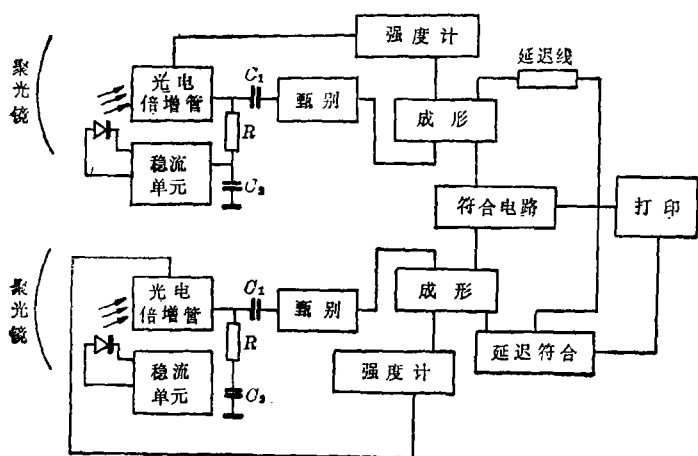
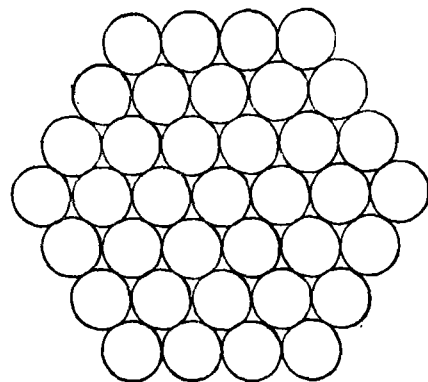
图 4. 克里米亚大气 $\checkmark$ 光望远镜系统设备框图。

图 5. 在10米镜的焦面上37个光电倍增管的分布。

改用三个聚光镜的望远镜系统,以三重符合进行观测。另外,第一代探测器又逐渐发展成阵列形式,配有快时间测量装置,可使角分辨率提高到 $0^\circ.3$ 。

从八十年代开始,美国把 Hopkins 山上10米聚光镜逐步改装成焦面上有37个光电倍增管的二维成像系统,称为第二代探测器<sup>[15], [17]</sup>。图5表示焦面上37个光电倍增管的分布。每个管子的几何视场角是 $0^\circ.5$ ,光阴极的有效视场角是 $0^\circ.36$ 。总几何视场角为 $3^\circ.5$ ,其中光阴极的有效视场约占50%。根据理论的估计,它具有灵敏度高( $\sim 10^{-11}$ 光子/ $m^2 \cdot s$ )、阈能低( $\sim 10^{11}$ eV)、 $\gamma$ -射线能量测量的精度高、角分辨率高( $\sim 0^\circ.1$ )以及根据像斑形状鉴别 $\gamma$ 原初和质子原初等优点。记录事例到达时间的精度为0.5ms,可进行ms级脉冲结构的分析。这个装置于1983年10月投入使用,已有初步结果报导<sup>[16]</sup>。表1列出国外几个主要大气 $\checkmark$ 光探测设备的基本情况。

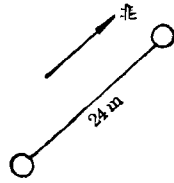
$\gamma$ -射线点源的观测方式,最初采用漂移扫描。望远镜指向天空不动,随地球转动扫描天区。使点源逐渐进入望远镜的视场,经过望远镜的光轴,然后离开望远镜的视场。在这个期间分别取得向源和离源的观测数据。在相同时间内向源期间过超的符合计数被认为是点源的信号。如果符合计数发生的时间得到记录,可研究观测的 $\gamma$ -射线流是否有周期结构。八十年代以来,观测方式向跟踪扫描发展,其优点是有效的向源观测时间长(可连续跟踪观测)。对于已知脉冲周期的高能 $\gamma$ -射线点源,可用位相分析方法寻找更弱的甚高能 $\gamma$ -射线点源,因为位相分析能显著地提高讯噪比。对于未知或没有周期的点源,跟踪扫描还没有很好地解决获得离源观测资料的问题。现在采用向源和离源分别跟踪的方式,一个望远镜有效的向源时间只占可观测时间的一半。由于甚高能 $\gamma$ -射线点源发射强度的时间变化和不规则的爆发现象,连续的向源观测是很必要的。用同样的两个望远镜系统进行交替的向源和离源观测,基本上实现了连续的向源观测,其代价是探测设备增加一倍。

#### 四、研究的现状和结果

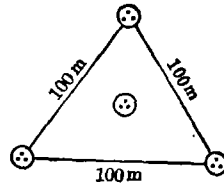
在 $\gamma$ -射线天文观测中,大气 $\checkmark$ 光探测是联接空间 $\gamma$ -射线探测和地面EAS阵列超高能 $\gamma$ -射

表1 国外主要大气C光探测设备

单位、地点、高度(m)	主要设备和性能	布示意图	扫描方式	观测的部分天体
惠普尔天文台(原名霍普金斯山天文台) 霍普金斯山31°N, 2300米	10米反射镜, 焦面上37个光电倍增管。几何视场角3°.5, 角分辨率约0".1, 事例发生时间精度~0.5ms, 幅度分析, 微机自动控制和数据采集, 二维像斑的复制, 自动跟踪精度0".1。	图5 (37个光电倍增管的分布)	跟踪 (1) 向源和高源连续跟踪(1983年10月建成) (2) 漂移(1981)	Cyg X-3, 2CG 195+4, PSR 0531; 0833, M81, 3C273, SS433, Cen A.
衣阿华国立大学喷气推进实验室爱德华空军基地 35°N, 700米	两个11米太阳能聚光镜, 视场角分别为1°.0和1°.8。准备再加两个12米聚光镜。	(见附图1.)	漂移(1982—1983)(每镜两个光电倍增管)	Cyg X-3, Crab星云脉冲星。
达勒姆大学 Dugway (美国犹他州) 40°.2N, 112°.82W, 1450米	12个1.5米反射镜, 每三个组成一个望远镜, 共用一个跟踪架。时间精度1ms, 快时间精度1ns。	(见附图2.)	漂移或跟踪	Cyg X-3, PSR 0532; 1913+16; 0655+64, 2CG 135; 195, Her X-1, 银面。
塔塔基础研究, 印度, 乌塔卡蒙德11°.23N, 2200米	8个1.5米反射镜, 10个0.9米反射镜, 快时间测量。	(见附图3.)	漂移	Crab星云脉冲星, Vela 脉冲星, 3C273, PSR 0950, Cen A.
波切夫斯特鲁姆大学 南非天文台 32°.7S, 1770米	12个1.5米反射镜, 三个构成一个望远镜, 有共同的跟踪架。角分辨率~0".3。	(见附图4.)	漂移或跟踪	南半天空点源(赤纬在+10°—-70°之间)。
克里米亚天体物理台 克里米亚45°N, 海平面	4个1.5米反射镜, 每二个构成一个望远镜, 视场角1°.8。		漂移	Cyg X-3, Cas γ-1, Crab 星云脉冲星, 2CG 195+4, Cen A.
列别捷夫物理研究所 克里米亚天体物理台天山站 3300米	三个1.5米反射镜组成一个望远镜, 共用一个跟踪支架。		漂移或跟踪	Cyg X-3, 2CG 195+4.

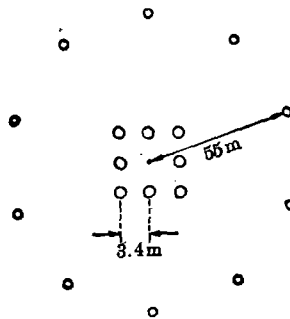


附图1.

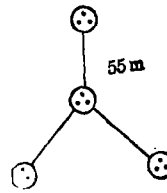


附图2.

(一个单元的  
照片  
见图  
9)



附图3.



附图4.

线探测的桥梁。经过早期研究工作中的挫折和失败,随着电子技术和计算机技术的发展,探测仪器的改进,观测和分析方法的完善,最近几年不断有一些新的观测结果,使该项研究工作更加活跃。凡是有高能 $\gamma$ -射线( $\sim 100\text{MeV}$ )发射或者可能是高能宇宙线源的天体(或天区),都是甚高能 $\gamma$ -射线天文观测的目标。它们是脉冲星、超新星遗迹、X-射线源、银面、类星体、射电星系和活动星系等。目前只有个别天体被确认是甚高能 $\gamma$ -射线点源。对于大多数天体,没有得到高于统计显著性的结果。有些源有时能观测到具有统计显著的结果,但没有被后来或者其他组的观测所证实。从积累的资料表明,时间的可变性是甚高能 $\gamma$ -射线发射的突出特征。对于这个现象,人们是能够理解的。甚高能 $\gamma$ -射线一定是源区极端条件下超高能过程的产物,而大多数超高能过程是不稳定的。另外,也可能是源区或星际介质云随机的遮掩效应。如果能在高统计显著性的观测中进一步证实发射强度的可变性或者爆发特征,则有可能解释现有的某些相互矛盾的结果。一般把观测结果大致划分为三类,第一类是多次观测证实的结果,它们为理论模型的建立提供了依据;第二类是有一定统计显著性的结果,其中有些可能是真的,但需要进一步观测加以证实;第三类可能是一些有意义现象的迹象,成为今后观测的线索。下面介绍北半天区几个典型源观测的结果<sup>[12], [17], [18]</sup>。

### 1. Cyg X-3

( $\delta$ :  $40.9^\circ$ ;  $\alpha$ :  $20^h30^m$ ; 距离 $\sim 10\text{kpc}$ )

Cyg X-3是发现最早, 观测最详细的一个甚高能 $\gamma$ -射线点源, 被视为一个标准源。最近几年已经在超高能区观测到它发射 $E_\gamma > 10^{15}\text{eV}$ 的 $\gamma$ -射线<sup>[19], [20]</sup>。图6是用地面探测器获得的Cyg X-3 $\gamma$ -射线( $E_\gamma > 10^{11}\text{eV}$ )的能谱<sup>[21]</sup>。在超高能区的谱形似乎清楚地显示出 $\gamma + \gamma' \rightarrow e^+ + e^-$ 的吸收效应, 即在星际空间传播过程中超高能 $\gamma$ -射线与 $3^\circ\text{K}$ 背景光子相互作用的损失。如果能得到进一步的证实, 它将是量子电动力学的又一实验证据。这是地球上至今人工方法无法实现的粒子相互作用现象。考虑到吸收的修正, 在 $E_\gamma > 10^{11}\text{eV}$ 能区的积分能谱接近于 $F(>E_\gamma) \propto E_\gamma^{-1}$ 的形式。当 $E_\gamma > 2 \times 10^{16}\text{eV}$ 时, 能谱有截止的可能性或者源的性质有变化。实验点的离散可能是强度随时间变化的反应。在甚高和超高能区都观测到4.8小时的周期效应, 它的时间变化率 $\dot{P} \lesssim 2 \times 10^{-9}$ 。观测事例在周期位相中的分布有两个峰值, 峰值宽度随 $\gamma$ -射线能量增加有变窄的倾向<sup>[22]</sup>。

用大气 $\check{C}$ 光探测技术还发现Cyg X-3甚高能 $\gamma$ -射线的发射有以下特点<sup>[12], [17]</sup>,

(1) 像在X-射线能区一样, 有34.1天的周期性;

(2) 流强有突然增加的现象, 大约持续几天称为不规则的成分;

(3) 有持续8分钟的瞬态发射现象;

(4) 发现甚高能 $\gamma$ -射线的发射与射电活动性和

X-射线发射峰相关联的证据。

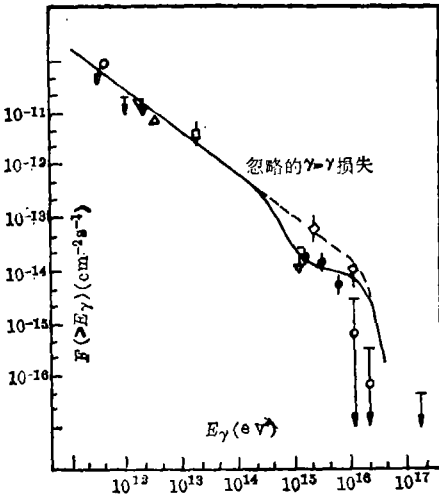


图6. Cyg X-3甚高能 $\gamma$ -射线的能谱。

随着上述观测结果的进展, 关于Cyg X-3甚高能 $\gamma$ -射线产生机制的理论模型也在经历不断的演变。最初为了解释甚高能区观测的结果, 模型以双星为主, 甚高能 $\gamma$ -射线的产生机制是电子的同步加速辐射、逆康普顿散射或者韧致辐射。具体模型的差别是源的结构不同, 上述过程发生的方式和区域的不同, 包含年青脉冲星的双星模型预言甚高能 $\gamma$ -射线流应有(4—30)ms的脉冲周期。大气 $\check{C}$ 光探测技术正在对ms级的脉冲周期进行探测。如果甚高能和超高能 $\gamma$ -射线的能谱指数是一致的, 它们应该是同一个机制产生的。这样, 超高能 $\gamma$ -射线观测结果的出现, 又迫使旧的理论模型发生了质的变化, 从电子原初转变为质子原初。至于在源区如何产生如此高能电子或者质子, 亦有不同的探讨。

### 2. Crab星云和脉冲星

( $\delta$ :  $22^\circ$ ;  $\alpha$ :  $5^h31^m$ ; 距离:  $2\text{kpc}$ )

早期的观测表明Crab星云有高能过程的证据。用大气 $\check{C}$ 光探测技术进行天文观测的初期, 它就是一个有意义的目标。六十年代的观测只能给出显著性不高的流强上限。1968年发现脉冲星PSR 0531, 被看作是Crab星云能源的核心。从此, 观测Crab星云和PSR 0531甚高能 $\gamma$ -射线的实验又兴旺起来。1971年观测到PSR 0531的发射可能有周期效应。1973年Grindley

等人获得更显著的结果, 但峰位比光学主峰延迟了6.5ms<sup>[23]</sup>。1974年Jennings等人观测到两个峰<sup>[24]</sup>, 间距与光学主峰一致。但是, 相对预期的位置移动了18ms。至今PSR 0531周期脉冲信号观测的结果, 无论在强度和相位两个方面都有较大的差别<sup>[25]</sup>。最近几年的观测表明, 它在分、日、月等时间尺度的发射都有强烈变化的特性。它还有频繁的爆发现象, 大约每小时一次, 持续时间可短到2ms<sup>[26]</sup>。其他能区也同样观测到发射的时间变化特性。

图7是地面探测技术得到的Crab星云脉冲星 $\gamma$ -射线的能谱<sup>[27]</sup>。实线是低能和高能区平均流强能谱 ( $F(>E_\gamma) \propto E_\gamma^{-1.08}$ ) 的外推。在大气C光探测技术能区, 大多数观测到的平均流强

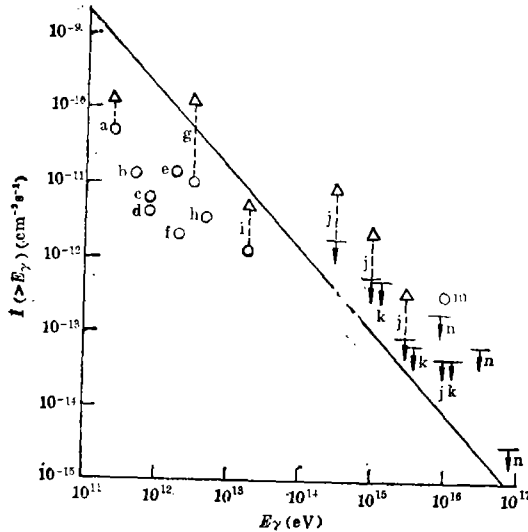


图7. Crab星云脉冲星甚高能和超高能区 $\gamma$ -射线的能谱。

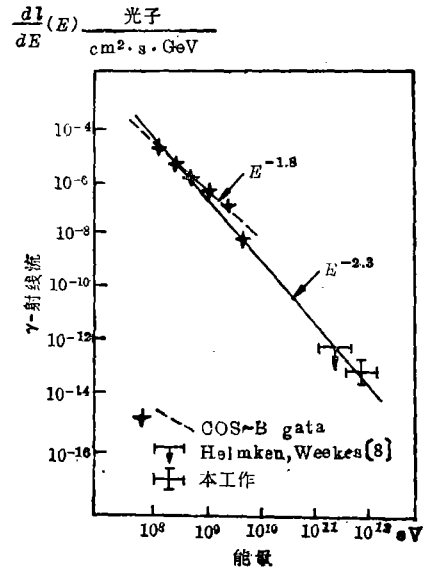


图8. 2CG 195+4  $\gamma$ -射线的微分能谱。

(图中 $\circ$ 符号)此外推能谱低很多。观测点的离散也很大, 可能是发射的时间可变性和瞬态爆发造成的。如果只考虑PSR 0531的瞬态流强(图中 $\Delta$ 符号表示的流强), 能得到很接近外推能谱的结果。因此, 有人认为源的发射实际上是稳定的, 由于某种方式的吸收, 产生了时间变化的特性。超高能区观测点的离散也可能是时间变化的表现。该能区的观测点都超过外推谱线, 原因尚不清楚。

### 3. 2CG 195 + 4

这是一个被COS-B和SAS-II卫星发现的高能 $\gamma$ -射线源, 具有约59s的周期。它被认为是2CG表中最强的一个, 有微弱的光学发射, 但还没有探测到射电波段的发射。Zyskin等人<sup>[28]</sup>用天山站大气C探测装置观测到它发射 $E_\gamma > 10^{12}$ eV的 $\gamma$ -射线, 流强为 $(5 \pm 3) \times 10^{-11}$ 光子/米<sup>2</sup>·秒, 并测定出周期为 $(59.28 \pm 0.01)$ 秒。图8是2CG 195 + 4  $\gamma$ -射线的微分能谱。最近Cawley等人报导了用10米聚光镜二维成像系统观测的结果<sup>[29]</sup>, 认为它不是一个确认无疑的甚高能 $\gamma$ -射线源。

对于另外一些天体, 如北半天区的PSR 1937 + 21和Her X-1, 南半天区的Vela X-1, Vela脉冲星和Cen A以及银面等都有一些类似的观测结果, 可参阅有关的文章<sup>[11], [12], [17], [18]</sup>。



## 五、发展的前景

甚高能 $\gamma$ -射线天文观测的唯一技术——大气 $\text{C}$ 光探测技术——已经为天文观测做出了重要的贡献。但是,无论从探测技术或者天文观测的状况而言,都处在发展的初期阶段,大量的研究工作等待人们去开拓。由于源本身发射的可变性,传播过程中的随机因素,加上存在着很强的宇宙线(质子)本底以及EAS发展过程中的涨落和观测环境条件的变化等等,都对观测结果有不同程度的影响。因此,对大气 $\text{C}$ 光探测技术精度的要求是很高的。最近几年观测仪器不断地改进,如第一代探测装置向阵列发展,与EAS阵列联合运行;第二代探测器投入使用;考虑发展第三代探测器<sup>[17]</sup>;利用EAS大气 $\text{C}$ 光模拟计算的结果,进行观测资料的分析和新探测器的设计以及鉴别 $\gamma$ 原初和质子原初;利用微电子学和微机实现观测的稳定控制、多参量测量和资料的自动化处理等等,都是在为完善大气 $\text{C}$ 光探测技术进行的努力。改进的重点是降低探测阈能(尽量与空间探测能区相衔接),提高流强灵敏度和角分辨率,扩大灵敏面积和有效地排除质子本底,这样才能探测更弱的甚高能 $\gamma$ -射线天体,并且能提高每次观测结果的统计显著性。

今后,除了继续对几个甚高能 $\gamma$ -射线源进行监测和在新的水平上对更多的候选天体和其他天体进行观测以外,还要深入研究以下基本问题:甚高能 $\gamma$ -射线点源的种类;是否每一个脉冲星都发射甚高能 $\gamma$ -射线;甚高能 $\gamma$ -射线流所包含的成分(瞬态的或爆发的,不规则的和稳定的);是否每一个源都有这三种成分等等。显然,需要从简单的观测和资料积累的阶段朝探讨规律的方向发展。

另外,发展更多的观测网点,对某个天体进行同时的和连续的协作观测也是很重要的。南非新的大气 $\text{C}$ 光探测阵列和澳大利亚的阵列将为南半天区的观测做出贡献。随着时间的推移,一定会有更多的地面探测装置投入使用。可以预期,八十年代后期大气 $\text{C}$ 光探测技术会有较快的发展,观测的规模将不断地扩展。伴随的结果是人们对高能天体发生的高能过程有更深入的了解,对宇宙的认识更加深化。

## 六、结 语

甚高能 $\gamma$ -射线天文观测是天文界和宇宙线研究者共同开拓的研究领域,是人们认识宇宙的重要窗口。尽管它已有十多年的历程,但在我国还是空白。我们认为,在我国发展大气 $\text{C}$ 光探测技术,进行甚高能 $\gamma$ -射线天文观测是有现实性的。第一,设备简单、规模适中,花钱少,周期短,投资后可得到永久性的常规观测仪器;第二,我国天文界和宇宙线工作者对此项工作的重要意义已有充分认识,而合作是尽快发展这项技术的捷径;第三,北京天文台兴隆站可以满足大气 $\text{C}$ 光探测对环境的要求,也是观测 Cyg X-3最有利的地理纬度。对北半天区可观测的其他重点目标(Her X-1 [ $\delta$ : $35^{\circ}.4$ ], Crab星云脉冲星 [ $\delta$ : $22^{\circ}$ ], PSR 1937 + 21 [ $\delta$ : $21^{\circ}.5$ ]和2CG 195 + 4 [ $\delta$ : $17^{\circ}.6$ ]),也是合适的观测位置,这样既节省了投资,又充分发

挥了兴隆站的潜力。最近,北京天文台、紫金山天文台和高能物理所宇宙线室经过调研和考察,正在研究合作筹建大气 $\gamma$ 光探测装置,为奠定我国甚高能 $\gamma$ -射线天文观测的基础而努力!

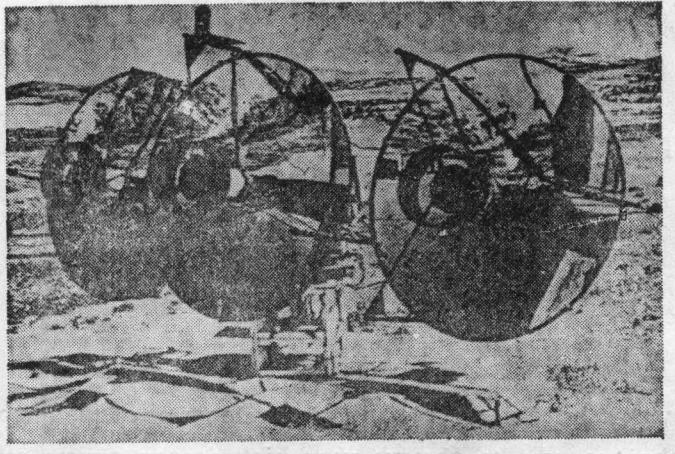


图 9. Dugway (Utah)观测站一个望远镜的照片。

### 参 考 文 献

- [1] Galbraith, W. and Jelley, J. V., *Nature*, 171 (1953), 349.
- [2] Chudakov, A. L. et al., *Cosmic Ray*, 26, 99, Trans. Consultants Bureau, (1965).
- [3] Vladimirovsky, B. M. et al., *13th ICRC*, 1 (1973), 456.
- [4] Weekes, T. C. and Helmken, H., *Proc. 12th ESLAB Symposium*, 39, Frascati, Italy, (1977).
- [5] Grindlay, J. E. et al., *Ap. J.*, 209 (1976), 592.
- [6] Grindlay, J. E. et al., *Ap. J.*, 201 (1975), 82.
- [7] Grindlay, J. E. et al., *Ap. J.*, 197 (1975), L9.
- [8] Jelley, J. V., *Progress in Elementary Particles and Cosmic Rays*, North Holland, 9 (1976), 41.
- [9] Porter, N. A. and Weekes, T. C., *Smithsonian Astrophysical Observatory Special Report*, (1977), 381.
- [10] Ramana Murthy, P. V., *Non Solar Gamma Rays*, 71, Pergamon, (1980).
- [11] *Gamma-Ray Astronomy*, 123, A Royal Society Discussion, (1980. 11).
- [12] *Proceedings of the International Workshop on Very High Energy Gamma Ray Astronomy*, Ootacamund, India, (1982. 9).
- [13] Acharya, B. S. et al., 同 [12], 303.
- [14] Stepanian, A. A. et al., 同 [12], 43.
- [15] Cawley, M. F. et al., *19th ICRC*, 2 (1985), 453.
- [16] Cawley, M. F. et al., *19th ICRC*, 1 (1985), 173, 131.
- [17] Weekes, T. C., *Proceedings of the Cosmic Ray Workshop*, 25, University of Utah, 10-14 January, 1983.
- [18] Porter, N. A., *18th ICRC*, 12 (1983), 435.
- [19] Samorski, M. and Stamm, W., *Ap. J.*, 286 (1983), L17.
- [20] Lloyd-Evans, J. et al., *Nature*, 305 (1983), 784.
- [21] Wolfendale, A. W., *Gamma Ray Astronomy*, *Phys. Bull.*, 36 (1985), 171.
- [22] Samorski, M. and Stamm, W., *18th ICRC*, 1 (1983), 135.
- [23] Grindlay, J. E. et al., *Ap. J.*, 209 (1976), 592.
- [24] Jennings, D. M. et al., *Nuovo Cimento*, 26 (1974), 71.
- [25] Cawley, M. F. et al., *19th ICRC*, 1 (1985), 131.

- [26] Bhat, P. N. et al., *18th ICRC*, 1 (1983), 139.  
[27] Boone, J. et al., 同 [17], (1983), 268.  
[28] Zyskin, Yu. L. et al., *18th ICRC*, 1 (1983), 122.  
[29] Cawley, M. F. et al., *19th ICRC*, 1 (1985), 173.

(责任编辑 林一梅)

## The Observational Situation of Very High Energy Gamma Ray Point Sources

Jiang Yinlin

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

### Abstract

This paper reviews briefly the history of development of the atmospheric Cerenkov light detection technique used to observe very high energy gamma ray point sources. Also the basic principle, detection technique, research situation and prospect of development are included. Finally we discuss the possibility of starting this research in our country.