

甚高能和超高能 γ 射线天文观测现状

陈映宣

(中国科学院高能物理研究所)

提 要

甚高能和超高能 γ 射线天文观测对于天体演化和宇宙线起源有很重要的意义。本文介绍了1972年以来在 10^{11} — 10^{16} eV 能区 γ 射线天文观测的主要结果和观测站的情况,

一、前 言

观测表明,有些天体不但发射射电波、X射线,而且还发射高能、甚高能 and 超高能 γ 射

表 1 EAS 大气契伦科夫光观测站^{[1],[2]}

站名及实验组	高度(公里)	纬度	设备及主要目标
MHO (霍普金斯山惠普尔天文台)史密松天文台与都柏林大学、衣阿华大学、夏威夷大学和达勒姆大学实验组合作	2.3	31°N	10米和1.5米反射镜相距100米符合工作,着重发展成像技术,角分辨率0.1°—1°,阈能 10^{12} eV; 企图鉴别质子 EAS。
CRIMEA (苏联, 克里米亚天文台)	海平面	45°N	两对1.5米反射镜, 每对符合, 以漂移扫描方式工作, 阈能 10^{12} eV; 集中在 Cyg X-3 和银道面。
OOTY (印度, 乌塔卡蒙德天文台)	2.3	11°N	8个1.5米和10个1米反射镜符合, 以跟踪或漂移扫描方式工作, 阈能 5×10^{11} eV, 主要集中在脉冲星 Cyg X-3。
DUGWAY (衣阿华大学和加利福尼亚大学组合作)	1.4	40°N	4组镜子(每组三个1.5米镜子)横向相隔50米, 每组可单独工作也可作为阵符合工作; 主要集中在 Cyg X-3, PSR 0531 等目标上。
TSA (天山阵), 列别捷夫大学实验组	3.3		三个1.5米反射镜, 阈能 10^{12} eV。过去主要集中在 Cyg X-3, 2CG195 等天体。
NARRABRI (悉尼大学实验组)			两个7米反射镜, 观测过南天两个天体, 已停止工作。
JPL (衣阿华和加利福尼亚大学共用)	0.7	35°N	两个11米和1个12米太阳聚光镜, 计划还要扩大。
FLY'S EYE (犹他大学)			阈能 3×10^{14} eV, 观测过蟹状星云脉冲星。

1984年12月26日收到。

1985年3月15日收到修改稿。

线。 γ 射线能谱从几十keV延伸到 10^{16} eV以上。通常把高能段划分为三个能区： 10^6 — 10^{10} eV能区称为高能 γ 射线天文(HE-GRA)，这个能区只能用气球和卫星运载仪器到高空进行观测； 10^{11} — 10^{14} eV能区称为甚高能 γ 射线天文(VHE-GRA)；在此能区以上称为超高能 γ 射线天文(UHE-GRA)。后两个能区都可以在高山和海平面用大气契仑科夫技术(ACT)和广延大气簇射阵列(EASA)进行观测。从1972年到现在，甚高能 γ 射线天文观测已有12年历史，观测的主要手段是用大气契仑科夫装置(有9个观测站，见表1)，阈能约 10^{11} eV；从1975年以来已有6个地面EAS阵或站(见表2)进行了甚高能和超高能 γ 射线天文观测，阈能 10^{12} — 10^{15} eV。观测过的已知天体有12个，已经观测到发射甚高能 γ 射线的点源有7个。现在尚处于发现新源、累积数据、观察特征阶段。观测天体发射的甚高能和超高能 γ 射线及其特征，将逐渐揭示其新的发射机制，对于进一步了解天体的演化和宇宙线的起源具有十分重要的意义，无疑将揭开天体物理的新篇章。本文将概述1982年(VHE-GRA会议)前的结果和1982年以后的新结果。由于现在正处于累积数据、观察特征阶段，其变化规律尚不很清楚，本文仅限于实验结果的概括而不涉及理论模型。

表2 地面EAS阵^[6a]

站名及实验组	高度(公里)	主 要 设 备
KIEL 阵(西德, 凯尔大学)	海平面	28个1米 ³ 闪烁计数器, 角分辨率好于1°, 覆盖能区 10^{15} — 10^{17} eV; 正筹备迁往西班牙Roque de Los Muchachos高地(28.8°N)建立56个计数器的新阵列 ^[4] 。
HAVERAH PARK 阵(利兹大学)	海平面	用大EAS阵中的小阵之一观测UHE-GRA, 阈能 10^{15} eV。
AKENO 阵(日本, 明野EAS阵, 东京大学宇宙线所)	0.8	大EASA中一部份用来观测UHE-GRA, 阈能 10^{15} eV, 角分辨率 2.5° — 5° 。
LODZ 阵(波兰, 罗兹大学)	海平面	闪烁计数器小阵, 有测EAS中的 μ 子装置, 阈能 10^{12} eV, 角分辨率 $\pm 15^\circ$ 。
DUBLIN-COK 长基线站(爱尔兰, 都柏林, 柯克大学)	海平面	两个子站(每站三个1米 ³ 闪烁计数器)分别放在都柏林大学和柯克大学, 相隔250公里远, 阈能 10^{14} eV。
意大利小阵		4个1米 ³ 液体闪烁计数器, 阈能 3×10^{14} eV, 角分辨率 5.5° 。

二、主要观测结果

1. Cyg X-3 ($\alpha=20^h30^m.5$, $\delta=40^\circ.8$)

Cyg X-3既是X射线源又是目前观测到能量分布很宽的超高能 γ 源，在 10^{11} — 10^{16} eV能区都已观测到它发射的 γ 射线，其强度可变，有周期性和偶发性两种成份。周期性成份又分为4.8小时和34天两种周期，并与X射线发射周期相同。这是具有复杂周期性运动的双星系统。

(1) 周期性成份

克里米亚组1972—1980年观测到能量 $>10^{12}$ eV的 γ 发射^{[2], [5]}，周期 $p=0.199683 \pm 1 \times$

10^{-6} 天, 其变化率 $\dot{p}=3 \times 10^{-9}$ 秒/秒。流强变化在周期相图上出现两个峰, 主峰位于相 0.15—0.20 处, 次峰位于相 0.7—0.8 处(图 1, 图 2)。1980 年 11 月—1983 年 1 月意大利组^[6]在 $E \geq 3 \times 10^{13}$ eV 能量下观测到一个峰, 位于相 0.60—0.65 处, 其变化周期 $p=0.1996817$ 天, $\dot{p}=1.78 \times 10^{-9}$ 秒/秒。在 1976 年 3 月—1980 年 1 月期间凯尔组^{[7a, b], [8]}观测到超高能 γ 发射, 能量 $> 2 \times 10^{15}$ eV 的 γ 发射流强为 $(7.4 \pm 3.2) \times 10^{-14}$ 光子/厘米²·秒, 能量 $> 2 \times 10^{16}$ eV 的 γ 发射流强为 $(1.1 \pm 0.6) \times 10^{-14}$ 光子/厘米²·秒, $p=0.1996816 \pm 2 \times 10^{-7}$ 天, 主峰位于相 0.35,

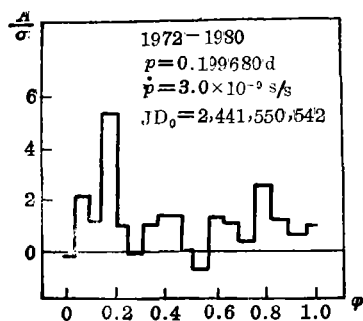


图 1. Cyg X-3 甚高能 γ 流强变化 4.8 小时周期的相图。 ϕ 表示划分为 10 个区间的相 (以下各图含意均相同), A 表示源强变化的平均值, σ 表示它的标准误差^[5]。

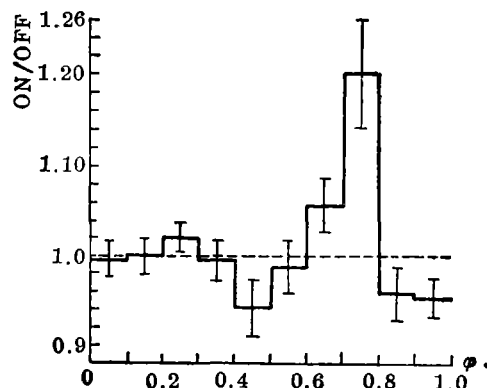


图 2. 惠普尔天文台^[2] 1980 年得到的 Cyg X-3 γ 流强 4.8 小时周期变化的相图, 是单峰, 位于相 0.7—0.8 之间。ON 表示向源计数, OFF 表示背景计数。

次峰位于相 0.65(图 3)。这个结果已被利兹组证实^[9]。但明野组^[10a, b]于 1978—1983 年间的观测中未见到在 Cyg X-3 方向有能量 $> 2.6 \times 10^{15}$ eV 的过量 γ 簇射。

克里米亚组在 $E > 10^{12}$ eV 能量下观测到 34 天的周期, 流强变化见图 4, 峰位于相 0.4—0.6 之间。意大利组在 $E \geq 3 \times 10^{13}$ eV 能量下也观测到 34 天的周期性。

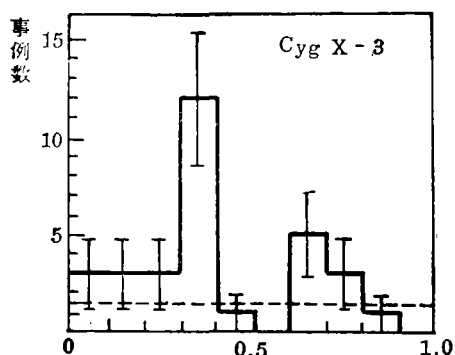


图 3. Cyg X-3 发射超高能 γ 流强 4.8 小时的周期性变化。

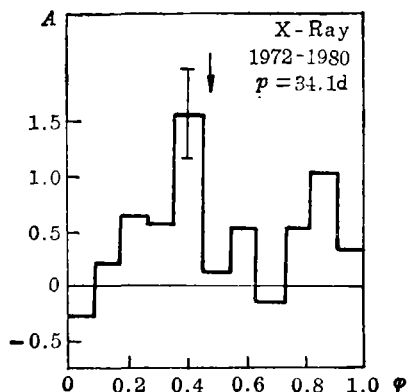


图 4. Cyg X-3 甚高能 γ 发射流强 34 天的周期性变化。

(2) 偶发性成份

偶发性成份有偶发稳定发射和暂现发射两种^{[11],[12]}。前者可以在任意相发生并延续好些天,似乎与强射电爆发有联系。克里米亚组^{[11],[111]}在1972—1974及1980年均观测到 $E > 10^{12}\text{eV}$ 的较强偶发稳定发射,时间大约是在8、9、10月份,而且是跟在射电爆发之后。

暂现发射表现为持续8分钟的爆发^{[12],[13]},似乎和4.8小时周期成份及射电爆发无关。偶发性成份的真实特征有待于进一步观测。

1982年前用契仑科夫技术在 10^{11} — 10^{12}eV 附近观测Cyg X-3的结果列在表3^[11]。4.8小时

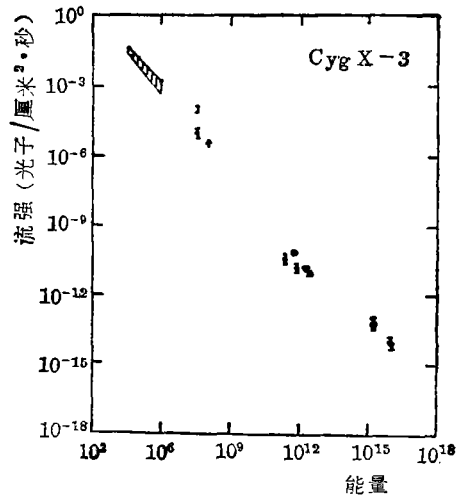
表3 Cyg X-3 甚高能 γ 射线的观测结果

实验组	原文 ^[11] 文献序号	年 月	效 应	E_0 (10^{12}eV)	流强 (10^{-11} 光 子/厘米 ² ·秒)	观测系统	注 释
CRIMEA	16,17	1972	$\sim 5\sigma$	1.2	7	符合工作, SL	单峰, 位于相 $\simeq 0.1$
CRIMEA	16,17	1973.9	$\sim 3.5\sigma$	1.2	2.4	符合工作, SL	单峰, 位于相 $\simeq 0.1$
CRIMEA	16,17	1974.8	$\sim 4.6\sigma$	1.2	6	符合工作, SL	双峰, 位于相 $\simeq 0.1, 0.6$; 偶发性发射
CRIMEA	16,17	1975	$\sim 4.6\sigma$	1.2	1.5	符合工作, SL	单峰, 位于相 $\simeq 0.1$
MHO	19	1976	—	~ 0.3	< 0.6	10米	上限
CRIMEA	17	1976—1979	$\sim 3.5\sigma$	1.2	1.0	符合工作, SL	发射在相 ~ 0.1 和 0.6
MHO	20	1979	—	~ 0.3	< 0.6	10米	上限
MHO	21	1980.5—6	$\geq 4\sigma$	~ 2	~ 1	符合工作, SL	发射在相 0.6 — 0.7 , 与X射线闪烁相关
CRIMEA	17	1980.10	$\sim 3.5\sigma$	1.2	~ 1	符合工作, SL	偶发性发射, 在相 $\simeq 0.6$
DUGWAY	18	1981.8—10 ($\sim 2.5\sigma$)	~ 1	~ 1	$\sim 10(?)$	符合工作, SL	单峰, 位于相 0.625 ; 仅是低相
MHO	19	1981.9—11	~ 3 — 4σ	~ 0.3	< 3	10米, 低相	$O=0.6$ — 0.7 ; $O\sim 0.8$ 闪烁
JPL	13	1981.9	$\sim 4\sigma$	~ 1	~ 1	2×7 米符合工作	$O=0.5$ — 0.7
MHO	21	1982.6	—	~ 1	< 1	10米—7个光电倍增管照相系统增	上限
DUGWAY	18	1982.6—8	~ 3 — 4σ	~ 1	?	符合工作, SL	正效应位于4.8小时周期的相 $\simeq 0.62$ 处, 靠近34天周期相最大值

的周期特征虽然比较确定,但各实验组的峰位相值不同,在不同能区也不尽一样。进一步仔细观测弄清其真实特征,以及对光变曲线的精致分析,将有助于Cyg X-3甚高能 γ 产生机制的建立。

(3) 能谱

如图5所示,高能段似乎能够与低能段较好的衔接,在11个量级的能域里近似地为单一指数的幂谱,积分谱指数约为 -1.1 ^{[21],[8]},比较平坦,然而这还很粗糙。进一步仔细测量

图 5. Cyg X-3 的 γ 射线积分能谱。

10^{12} — 10^{17} eV 能区的能谱十分重要。因为甚高能 γ 与微波背景光子作用产生电子对过程的几率峰值在 10^{15} eV 附近, 这将使能谱在 10^{15} — 10^{16} eV 附近出现一个小的吸收切断, 这个切断的出现与否将是对量子电动力学假定所预言的 $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$ 过程的检验。

2. PSR 0531 + 21 (蟹状星云脉冲星)

用契仑科夫技术观测的结果列于表 4^[1]。在 10^{11} — 10^{13} eV 能区 γ 流强在 10^{-11} — 10^{-12} 光子/厘米²·秒范围。周期信号在幅度和相两个方面都是变化的, 有 1 分钟、15 分钟、天、月甚至年的变化^[2]。目前还没有得到确定的变化规律。短时间尺度的变化分析表明 γ 发射很不均匀, 在特征性的主脉冲之间有中介脉冲, 相位时常漂移, 很

可能是偶发发射, 有的持续 5—10 分钟不等^[1]。

表 4 蟹状星云脉冲星甚高能 γ 射线的观测结果

实验组	原文 ^[1] 文献序号	年月	效应	E_0 (10^{12} eV)	流强 (10^{-11} 光 子/厘米 ² ·秒)	观测技术	注 释
MALTA	12	1970.2—3	3.5σ	2	0.2		主脉冲+中介脉冲, 18ms 延迟
MHO	8	1969.10—1972.4	—	0.12	<1.7	单束	10米, 跟踪
MHO	8	1971.1	—	0.8	<0.7	双束	SL, 漂移扫描
MHO	5,8	1971.11—12	$\sim 3\sigma$	0.8	0.6	双束	主脉冲+中介脉冲; -2ms 延迟; SL, 漂移扫描
MHO	15	1972.1	$\sim 4\sigma$	5	0.3	广角	仅有中介脉冲
MHO	15	1972.2—3	—	5	<0.2	广角	10米, 跟踪
MHO	8	1973.2	—	0.8	<0.2	双束	SL+10 米, 跟踪
MHO	15	1973.2—3	—	5	<0.2	广角	10米, 跟踪
MHO	8	1973.12	5.2σ	0.8	0.4	双束	仅主脉冲(?); 6ms 延迟; SL+10米, 跟踪
MHO	8	1974.1	4.3σ	1.8	1.3	3 个光电倍增管 符合	仅中介脉冲(?); -2ms 延迟
IOWA	3	1976.3	$\sim 4\sigma$	20	0.5	符合系统	主脉冲; ~ 15 ms 延迟
OOTY	10	1977.2	3.6σ	6.4	1.2	符合, 密布阵列	主脉冲+中介脉冲; 不确定相
OOTY	11	1978	—	3.2	<1	密布阵列	
OOTY	11	1979	—	2	<1	密布阵列	
OOTY	11	1980	—	1.5	<1	密布阵列	
OOTY	11	1981.2(总)	$\lesssim 2\sigma$	0.9	<0.5	疏布阵列	
		1981.2	4.3σ	0.9	0.3	疏布阵列	选择效应 $\geq 2\sigma$ 的事例, 主脉 冲+中介脉冲; 不确定相
DUGWAY	18	1981.10	$\sim 5\sigma$ (峰值)	2	2	符合阵列	暂现效应

在超高能区(10^{15} — 10^{16} eV), 1980年12月犹他组^[10]在蟹状星云方向 $3^{\circ}.5$ 角内观测到 10^{16} eV的 γ 发射, 流强 $(2.1 \pm 0.7) \times 10^{-12}$ 光子/厘米²·秒。但1981年2月反而没观测到。罗兹组^[15]在1975—1979年观测到过量的贫 μ 空气簇射, 流强 $(3 \pm 2) \times 10^{-13}$ 光子/厘米²·秒, 统计显著性 3.6σ , 但角分辨率低($\pm 15^{\circ}$)。Hayashida等^[10]在1978—1981年得到 $E > 2 \times 10^{15}$ eV的 γ 流强上限比罗兹组大约低一个量级, 这并不矛盾, 因为流强是变化的。但他们的角分辨率

也很低($2^{\circ}.5$)。由于角分辨率不高, 所观测的天区较宽, 这些结果具有一定的不确定性, 因为在 PSR 0531 + 21 旁边还有一颗脉冲星 PSR 0525 + 21 (周期3.7 秒) 是包括在这些实验观测的角度范围内的。

蟹状星云脉冲星的 γ 射线能谱在图6^[14]给出。这是综合了 10^{11} — 10^{17} eV能区的结果而得出的, 实线是1.5keV—2GeV能区的外推谱。显然, 在 10^{14} eV以下和以上的实验值有明显的差异。

虽然蟹状星云脉冲星的甚高能和超高能 γ 发射很不稳定, 其变化特征还不十分清楚, 有待于进一步长期连续地进行观测, 但其时间结构和能谱特性显然与X和低能 γ 射线发射特征很不相同。这可能预示其发射机制有所差异。

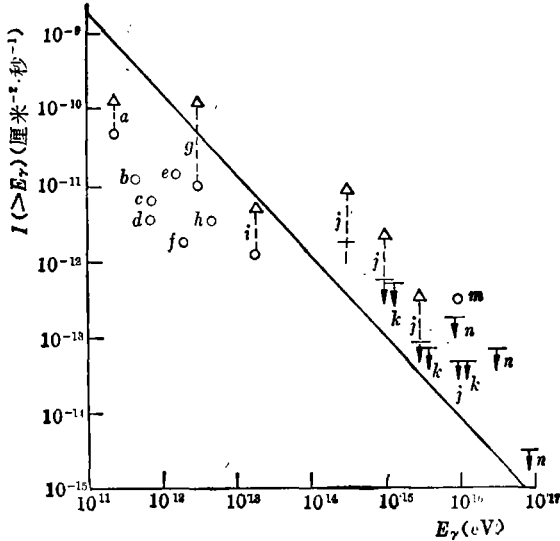


图6. PSR 0531的 γ 射线积分能谱。

Δ —单个夜晚观测的高流强, \circ —长期测量平均流强, 其他说明参见[14]。

3. 2CG 195 + 4 ($\alpha=6^{\text{h}}31^{\text{m}}.8$, $\delta=17^{\circ}.9$)

1978—1981年天山组^[16]观测到周期性的 γ 发射, $E > 10^{12}$ eV的 γ 流强为 $(5 \pm 3) \times 10^{-11}$ 光子/厘米²·秒, 周期 59.28 ± 0.01 秒, 和卫星在 $> 5 \times 10^7$ eV能区的结果一致。他们把此结果与Heimken和Weekes在 $> 3 \times 10^{11}$ eV下测得的结果相结合, 并与卫星观测流强比较, 初步得到微分能谱指数为-2.3。

4. PSR1937 + 21和Her X-1 ($\alpha=16^{\text{h}}56^{\text{m}}.0$, $\delta=35^{\circ}.4$)

PSR1937 + 21是1982年发现已知周期最短的射电脉冲星, 周期1.5毫秒。到目前为止还没有探测到X射线和低能 γ 射线。1984年达勒姆组^[8a]报道观测到 $E > 10^{12}$ eV的偶发发射, 瞬时流强峰值为 3×10^{-11} 光子/厘米²·秒。

在同一实验中也观测到Her X-1的偶发发射, 瞬时流强峰值为 6×10^{-10} 光子/厘米²·秒。1984年6月又报道观测到了周期性的历时三分钟的 γ 发射^[8b]($E > 10^{12}$ eV), 周期1.24秒, 与X射线发射周期相同。Her X-1是X射线双星, 发射周期为1.24秒和1.7天, 前者是脉冲星周期, 后者是伴星轨道周期。

5. PSR 0833 - 45和Cen A ($\alpha=13^{\text{h}}22^{\text{m}}.5$, $\delta=42^{\circ}.8$)

PSR0833 - 45是位于南半球的射电脉冲星, 周期89.2毫秒。 γ 发射具有和蟹状星云脉冲星相似的变化特征, 观测结果列在表5。乌塔卡蒙德组^{[17], [18]}通过1980—1981年的观测, 粗

表 5 Vela 脉冲星甚高能 γ 射线的观测结果

实验组	原文文献序号 ^[1]	年月	效应	E_0 (10^{12} eV)	流强 (10^{-11} 光子/厘米 ² ·秒)	观测系统	注 释
NARRABRI	7	1972.4—5	4.2σ	0.3	1.0	2×7米 双束	单个窄脉冲; 接近光学相
NARRABRI	7	1973.4—5	—	0.3	<0.8	2×7米 双束	由全部数据得出的上限
NARRABRI	7	1973.4—5	3σ	5	~0.1	2×7米 双束	仅对高相是单个窄脉冲; 接近光学相
NARRABRI	7	1974.4—5	—	0.3	<2	2×7米 双束	限制曝光时间
OOTY	1	1977.1—3	—	16	<2	密布SL阵	
OOTY	11	1979.2—3	~ 4σ	4.5	~1	密布SL阵	两个峰相隔0.4个相区间; 没有观测相
OOTY	11	1980.1—3	—	3.4	<1.2	密布SL阵	
OOTY	11	1981.1—3	~ 1σ	2.3	~1.2	疏布SL阵	两个峰相隔0.4个相区间; 没有观测相

略地得到甚高能段的积分能谱 $\propto E^{-2.0 \pm 0.2}$ 。

Cen A 是位于南半球的观测到有甚高能量 γ 发射迹象的唯一河外天体, 它靠近 PSR 0833-45 的北边, 乌塔卡蒙德组一起观测了这两个天体, 结果不详。表 6 列出了悉尼组^[1]1972—1974年的观测结果。

表 6 Cen A 甚高能 γ 射线的观测结果

实验组	原文文献序号 ^[1]	年月	效应	E_0 (10^{12} eV)	流强 (10^{-11} 光子/厘米 ² ·秒)	观测系统	注 释
NARRABRI	6	1972.3—5	4σ	0.3	~4	2×7米 双束	X射线高
NARRABRI	6	1973.3—4	1σ	0.3	<4	2×7米 双束	X射线低
NARRABRI	6	1974.3—5	3σ	0.3	~4	2×7米 双束	X射线高
NARRABRI	6	1972—1974	4.6σ	0.3	~4	2×7米 双束	全部数据的平均

6. 银道面

1979年Fomin等人^[2]报道观测到在宽的银河经度范围内甚高能 γ 射线的吸收特征。1981年Weekes等人^[2]报道在经度 170° — 210° 范围内出现过甚高能 γ 的增强。另有两个组报道^[3]银河平面中的源出现过显著的统计性发射, 但未被后来的观测确认。

7. 较年老的脉冲星

对 PSR 0950 和 PSR 1150 的早期观测曾报道过正效应, 但后来未被证认^[2]。1978—1981年乌塔卡蒙德组对 PSR 0950 观测到了甚高能 γ 发射迹象^[18], 1982—1983年又进行了观测, 其结果还未见到。

8. 3C 273, M 87 和 SS 433

Danaher等^[19]曾在两种阈能 (2×10^{12} eV 和 8×10^{12} eV) 下进行过观测, 没有发现有甚高能

γ 发射的迹象。明野组^[10b]对SS433也未观测到 $E > 10^{15}$ eV的 γ 发射。

9. 可能的点源

Stamm和Samorski^[7a,7b]在分析1976年3月—1980年1月的观测数据中,发现了包括Cyg X-3在内的6个可能的 $E > 10^{15}$ eV的 γ 源。统计显著性都超过 4.5σ ,随机簇射事例的概率 $< 10^{-5}$,结果列在表7。表8列出了在此实验中可以看到的6个COS-B γ 源 $E > 10^{15}$ eV的 γ 流强上限。

表7 广延空气簇射能量 $E > 10^{15}$ eV的已辨认和可能的 γ 射线源

源序号	辨认情况	位置		超过量 (σ)	随机簇射的 概率 ^{c)}	$E > 10^{15}$ eV的流强 ^{d)} (光子/厘米 ² ·秒)
		$\delta(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$			
1	—	32.3	36.0	5.4	9.7×10^{-6}	$(2.4 \pm 0.8) \times 10^{-13}$
2	Cyg X-3 ^{a)}	40.8	307.7	4.9	1.8×10^{-5}	$(1.9 \pm 0.6) \times 10^{-13}$
3	—	42.6	270.3	4.8	2.2×10^{-5}	$(1.9 \pm 0.6) \times 10^{-13}$
4	2CG 135+01 ^{b)}	61.1	36.2	4.6	2.4×10^{-5}	$(1.5 \pm 0.5) \times 10^{-13}$
5	—	67.4	352.7	4.5	4.3×10^{-5}	$(1.8 \pm 0.5) \times 10^{-13}$
6	—	25.9	34	5.2	4.7×10^{-5}	$(3.0 \pm 1.1) \times 10^{-13}$

a) Samorski, M. and Stamm, W., *Ap. J. Letters*, 268 (1983), L17;

b) Swanenburg, B. N. et al., *Ap. J. Letters*, 242 (1981), L69;

c) 对于给定位置的概率;

d) 假定微分能谱 $\propto E^{-2.2}$ 。

表8 在Kiel EAS实验中可看见的六个COS-B γ 源^{a)}能量 $E > 10^{15}$ eV的光子流强上限

源名称 ^{a)}	3σ 上限的过量簇射	$E > 10^{15}$ eV的流强 ^{b)} (光子/厘米 ² ·秒)	积分能谱指数 ^{c)}
2 CG 065+00	7.5	$< 1.6 \times 10^{-13}$	> 0.98
2 CG 075+00	10.1	$< 1.3 \times 10^{-13}$	> 1.00
2 CG 078+00	11.2	$< 1.2 \times 10^{-13}$	> 1.05
2 CG 095+04	15.4	$< 1.0 \times 10^{-13}$	> 1.01
2 CG 121+04	15.5	$< 1.1 \times 10^{-13}$	> 0.99
2 CG 135+01	15.1	$< 1.0 \times 10^{-13}$	> 1.00

a) 同表7注释 b);

b) 假定微分能谱 $\propto E^{-2.2}$ 的 3σ 上限流强;

c) $E > 100$ MeV的COS-B流强和 $E > 10^{15}$ eV的 3σ 上限EAS流强相结合的积分能谱指数。

参 考 文 献

- [1] Grindlay, J. E., in Proceedings of the International Workshop on Very High Energy Gamma Ray Astronomy, p.257, in India, September 1982.
- [2] Weekes, T. C., in Proceedings of the Cosmic Ray Workshop, University of Utah, p.25, January 1983.
- [3a] 18th ICRC, 1 (1983), 8.
- [3b] 美国科学新闻, No.45, October 1984.
- [4] Samorski, M., Aspects of a New Extensive Air Shower Experiment to Observe Cosmic Gamma Ray Sources beyond 10^{14} eV, February, 1984.
- [5] Stepanian, A. A. et al., as the same 1, p.43—63.
- [6] Morello, C. et al., 18th ICRC, 1 (1983), 127.

- [7a] Stamm, W. and Samorski, M., 18th ICRC, **1** (1983), 131.
[7b] Samorski, M. and Stamm, W., 18th ICRC, **1** (1983), 135.
[8] Samorski, M. and Stamm, W., *Astrophys. J. Letters*, **268** (1983), L17.
[9] Lloyd-Evans, J. et al., *Nature*, 305 (1983), 784.
[10a] Hayashida, N. et al., 17th ICRC, **9** (1981), 9.
[10b] Hara, T. et al., 18th ICRC, **1** (1983), 145.
[11] Fomin, V. P. et al., 17th ICRC, **1** (1981), 28.
[12] Weekes, T. C., as the same 1, p.270.
[13] Gibson, A. I. et al., as the same 1, p.97.
[14] Boone, J. et al., as the same 2, p.268.
[15] Dzikowki, T. et al., 17th ICRC, **1** (1981), 8.
[16] Zyskin, Yu. L. and Mukanov, D. B., 18th ICRC **1** (1983), 122.
[17] Vishwanath, P. R., as the same 1, p. 21.
[18] Bhat, P. N. et al., 18th ICRC, **1** (1983), 143—144.
[19] Danaher, S. et al., 17th ICRC, **1** (1981), 34.

(责任编辑 严豪健 刘金铭)

The Status of Very High Energy and Ultra High Energy Gamma Ray Astronomy Observation

Chen Yingxuan

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

Abstract

The Gamma Ray astronomy results in the energy region 10^{11} — 10^{16} eV since 1972 are summarized. The status of observatories is also introduced in this paper.