

域的推广。当二个光脉冲相隔时间为  $\tau_s$ , 脉冲宽度为  $\tau$ ,  $\tau$  大大短于分子弛豫时间, 则  $2\tau_s$  时刻后样品发回回波脉冲。第一个光脉冲或称激励脉冲, 引起分子激发, 但由于消相位作用彼此相位逐渐无关了。第二个光脉冲称为质问脉冲, 使各已消相位的激发分子重整相位, 在宏观上出现偶极矩, 回波脉冲或称为回答脉冲。用 6943 埃在红宝石, 10.6 微米在六氟化硫中观察到光子回波。回波脉冲方向与前二个光脉冲方向有关。重整相位后的原子系统相当于一个两能级的相干态, 回波脉冲的强度与时间间隔  $\tau_s$  有关, 用这方法可以测量分子系统的弛豫时间。

按时间分, 非线性光学现象可分两大类。一类是由电子引起的称为快速非线性效应, 其响应时间为  $10^{-16}$  至  $10^{-15}$  秒, 如倍频、参量放大、多光子吸收等; 另一类为原子分子振动和极化趋向引起的称为慢速非线性效应, 其响应时间为  $10^{-9}$  至  $10^{-13}$  秒, 如布里渊散射, 喇曼散射和自聚束等。如果光脉冲很短, 例如  $\tau \sim 10^{-12}$  秒, 则很多慢速非线性过程将跟不上, 而快速非线性过程则基本上不受影响。这时, 自聚束不易发生, 受激布里渊散射被抑制, 受激喇曼散射斯托克斯线变窄, 其峰值可高于激光脉冲, 这些现象被称为微微秒脉冲非线性光学。在理论上处理方法基本上与第四节介绍的相同, 在(6)式和(7)式左边出现时间微商项。微微秒脉冲非线性光学成为非线性光学一个新的研究方向。

## 参 考 文 献

- [1] Arecchi, F. T., et al., *Laser handbook*, Vol. 1. & Vol. 2, Amsterdam, (1972).
- [2] Bloembergen, N., *Nonlinear Optics*, New York, (1965).
- [3] Minch, R. W., et al., *Appl. Opt.*, **54** (1966), 1357.
- [4] Walls, D. F., et al., *J. Phys., A. Gen. Phys.*, **5** (1972), 534.
- [5] Bjorkholm, J. E., et al., *IEEE J. Quant. Elect.*, **6** (1970), 797.
- [6] Bloembergen, N., *Laser and unconventional Optics Journal*, **22** & **23** (1970).
- [7] Frische, M., et al., *Ann. Phys.*, **28** (1972), 231.
- [8] Peterson, L. M., et al., *Jour. Opt. Soc. Amer.*, **63** (1973), 13.
- [9] Bjorkholm, J. E., et al., *Jour. Opt. Soc. Amer.*, **63** (1973), 1321.
- [10] Carusotto, S. E., et al., *Nuovo Cimento Lett.*, **11** (1969), 628.
- [11] Catalano, I. M., et al., *Opt. Commun*, **5** (1972), 212.
- [12] Bieme, H. L., *Z. An. Math. Phys.*, **16** (1965), 18.
- [13] Arecchi, F. T., et al., *Phys. Rev. Az*, **1** (1970), 1730.
- [14] Bloembergen, N., *IEEE Jour. Quant. Elect.*, **8** (1972), 519.

# 宇宙射线天文学的实验方法

谭 伦 昌

(中国科学院原子能研究所)

**提要** 本文结合宇宙射线天文学的最近进展, 讨论了 X 射线天文学、 $\gamma$  射线天文学以及其他宇宙射线天文学的实验方法, 重点是利用核辐射探测技术所取得的成果。对实验装置所必需的运载工具也作了简短的描述。

## 一、引 言

近年来, 天文学研究的实验方法有两方面值得注意的进展:

1. 各种天体物理过程所产生的电磁辐射的观测能区, 在高能端大大扩展。1931 年发现了银河系中心辐射的电磁波后, 人类才得以摆脱光学观测天象的限制, 观测能区从可见光延伸到低能电磁辐射, 由此所产

生的射电天文学对天体演化研究做出了重要的贡献。但是, 广泛研究比可见光能量高得多的电磁辐射, 仅开始于 1962 年发现天蝎座方向的强烈 X 射线源。其后发展起来的 X 射线天文学和  $\gamma$  射线天文学在很短的时间内取得了不少重要的成就, 特别是发现了奇特的 X 射线脉冲星, 使它们成为目前天文界瞩目的重心之一。

2. 不仅通过探测高能电磁辐射, 也通过探测其他种类的宇宙射线来进行天文学研究。宇宙射线是存在于宇宙空间的高能粒子流, 它除了包括高能电磁辐射

(光子)之外,还含有各种粒子和原子核。因为这些粒子和原子核是各种高能天体物理过程的产物,对它们的研究也将有助于了解天体演化问题。特别是其中的稳定的不荷电粒子(如中微子)也和光子一样不会受到星际磁场的调制,直接到达地球附近时带有初始过程较多的信息,研究它们更具有重要的意义。此外,通过对荷电宇宙射线的起源和传播过程的研究,也对天体物理学的发展做出了重要的贡献。

因为探测对象是各种高能粒子和原子核,宇宙射线天文学的实验方法和传统的光学或射电天文技术有很大区别(当然,有时也可能推广光学天文的聚焦、分光方法,如发展了X射线掠射(Grazing)和衍射技术<sup>[1]</sup>)。它广泛应用各种核辐射探测技术,并且根据天文工作的需要发展了它们。本文将结合宇宙射线天文学的最近进展,讨论它的实验方法,重点是利用核辐射探测技术所取得的成果。对实验装置所必需的运载工具也作了简短的描述。

自然,宇宙射线天文学所取得的成就是和光学、射电天文学的进步分不开的,但是本文由于篇幅所限,对它们之间的相互联系将不及讨论了。

## 二、运载工具

### 1. 天文实验卫星

除了中微子外,各种初级宇宙射线通过和地球周围大气层的作用都将逐渐被吸收,因此宇宙射线天文学实验适宜在上升高度大的卫星中进行。事实上,美国发射的«OGO»、«OSO»和«OAO»等系列卫星,苏联发射的«质子(протон)»和«宇宙(космос)»等系列卫星,西欧各国联合发射的«ESRO»系列卫星都装置了大量的宇宙射线天文学的实验设备。美国在1970年12月还发射了命名为«乌呼鲁(UHURU)»的SAS-A卫星,它在两年多的连续巡天中已为X射线天文学集聚了不少重要资料<sup>[2]</sup>,1972年11月美国又发射了SAS-B卫星,专用于 $\gamma$ 射线天文学研究<sup>[3]</sup>。但是由于财政困难,美国原拟在1975年到1976年发射的供高能天体物理学实验用的“HEAO”系列卫星(每个重9.8吨,价值超过两亿美元。)计划,至少将推迟一年<sup>[4]</sup>。

用于宇宙射线天文学实验的卫星,必须注意的是:

(1) 选取轨道 这根据探测对象而定。进行X射线天文学和 $\gamma$ 射线天文学实验,卫星宜选择低高度,近地球赤道的类圆轨道,从而地磁场可屏蔽荷电宇宙射线的干扰(如«乌呼鲁»卫星的近地点是520公里,远地点是560公里,仰角为3度<sup>[5]</sup>)。但在探测荷电宇宙射线时,卫星宜选取高度高、偏心率大的轨道,从而可减少地磁场和大气反照(Albedo)射线的影响。卫星轨道最好都能避开地球周围的辐射带,不然在穿过辐射带时须由地面指令停止探测装置的工作。

(2) 准确定向 在X射线天文学或 $\gamma$ 射线天文学实验中,为了证认辐射源在天空中的方位,卫星必须有精确的定向系统。通常用星传感器来实现定向,它把星光聚焦在光电倍增管前的光栅上,受到卫星运动调制的星光信号和观测资料同时发送回地面站,分析比较即可确定卫星的方向,一般精度好于1分。

(3) 姿态控制 卫星自转速度的变化往往对观测资料产生附加的调制,因此需要有自转稳定系统。为了对天空中指定方位进行详细研究,卫星也应能根据地面指令指向天空中的任意方向。

### 2. 探空火箭和气球

卫星虽然上升高度大,但在载荷能力、回收资料方式等方面仍存在不少限制,因此一些实验也在探空火箭或气球中进行。它们上升高度比卫星低,剩余大气层的影响也更加显著。大气层不仅吸收所探测的射线,而且高能宇宙射线同它作用所生的次级射线,还会形成附加的本底。

(1) 火箭 上升高度一般大于100公里,有效工作时间数分钟。因为收集资料时间短,主要用于流强大,但在大气层中吸收强烈的软X射线和低能荷电粒子的探测。确定火箭方向的方法和卫星相似。

(2) 气球 上升高度约在30公里左右,持续飞行数小时。硬X射线能深入到这种高度,可供探测。更高能量的 $\gamma$ 射线和荷电粒子的探测也可以在气球中进行,但会受到上述剩余大气层中二次射线的干扰。气球吊篮的精确定向,常用饱和铁心式磁强计对地磁场取向,有时也辅助应用星传感器。

## 三、X射线天文学

### 1. X射线源的证认

(1) X射线探测器 通常称0.1keV到500keV的电磁辐射为X射线。能探测到的天体物理过程产生的X射线能量下限,受到星际吸收的限制(随源距地球的远近,星际吸收限约在1keV到0.1keV之间)。在X射线天文学研究中,探测软X射线用大面积薄窗正比计数管。常用铍做窗材料,它的良好密封性能保证计数管长期稳定的工作(如在«乌呼鲁»卫星中,采用面积840厘米<sup>2</sup>、窗厚50微米的铍窗正比计数管,探测X射线能区在1.7keV到18keV间<sup>[6]</sup>)。但是铍窗的厚度限制了计数管对更低能量X射线的灵敏度,对极软X射线的探测可使用有机薄膜窗计数管,不过它的制造工艺和使用条件都较复杂。

X射线探测器应能排斥高能 $\gamma$ 射线和荷电粒子产生的本底。在正比计数管中这是利用脉冲形式甄别技术来实现的,它基于高能射线电离路程长,X射线电离集中于局部区域会引起计数管上升时间的差别的原

理,一般可将本底压低 50 倍<sup>[1]</sup>。

随着 X 射线能量升高,正比计数管充气对它的吸收减弱,使用重气体(氙、氙)时探测 X 射线能区上界约为 50 keV。对探测更高能量的 X 射线,须用 NaI(Tl)、CsI(Tl) 或 CsI(Na) 等晶体组成的闪烁计数器。CsI(Na) 能耐受恶劣环境,应用日益广泛。

(2) 准直器 ~X 射线天文学研究的一个重要方面是证认各种 X 射线源,确定它们在天空中的方位。因为正比计数管或闪烁晶体本身没有方向性,在它的前面必须加准直器才能限定所接收 X 射线的方向。角分辨最好的准直器呈丝栅型,它由相距一定距离的几排金属丝构成,当卫星运动使 X 射线源通过探测系统的视界时,探测器所接收到的 X 射线就被它调制成分离的带,每个带的角宽度由相邻两根丝的间距和相距最远的两排丝的距离决定。对探测器记录到的 X 射线强度进行重心分析,决定源方向的精度可达半分。因为准直器要吸收 X 射线,角分辨好和灵敏度高的要求是互相矛盾的。为此在《乌呼鲁》卫星中使用了两个准直器,一个有较大的视场(5 度 × 5 度)和较低的角度分辨,用于巡天和寻找弱源;另一个有较小的视场(0.5 度 × 5 度)和较高的角分辨,可对强源和特定对象进行精细研究。分析《乌呼鲁》卫星所收集的部分资料,就已发现了 125 个新源<sup>[4]</sup>。

丝栅型准直器的丝要求完全吸收所探测的 X 射线,适用于软 X 射线区。硬 X 射线使用板条型(Slat)准直器,它限制探测的 X 射线只能从平行薄板的间隙中通过。在《OSO-3》卫星上使用的硬 X 射线准直器,系在整块 CsI(Na) 晶体上钻了 48 个蜂窝状的孔构成<sup>[5]</sup>,可说是板条型准直器的一种变形。使用闪烁晶体构成准直器的优点是:γ 射线在准直器上的康普顿散射光子将在探测器中产生附加的本底,如用光电倍增管记录构成准直器的闪烁晶体中的散射电子信号,并和探测器的输出作反符合,这种本底的干扰就大大降低。通常称这种方法为“主动式”(Active)屏蔽技术。

## 2. X 射线极化的测量

研究 X 射线的产生机制在天体物理学中有着重要的意义。不同机制产生的 X 射线有着不同的能谱、极化(偏振)等特征。如粗略说来,热辐射 X 射线具有指数型能谱,而非热机制能谱呈幂级数型。利用多道幅度分析器分析探测器的输出脉冲即可得到 X 射线的能谱。可惜由于能谱测量精度不够高,而不同机制产生的 X 射线谱型类似,致使所得结果存在不少混淆,因此还应测量 X 射线的极化等物理量来结合讨论。分析各种天体物理过程可知:

(1) 相对论性电子在准均匀磁场中的同步加速过程期望发射强烈线性极化的 X 射线。

(2) 高能电子同极化光子的逆康普顿散射产生极

化 X 射线。

(3) 在球形对称均热等离子体中的热韧致过程所生的 X 射线不极化。

(4) 准单向分布的高能电子在线性韧致过程中将产生极化随能量变化的 X 射线。

在 X 射线天文学研究中,采用汤姆逊散射极化仪来测量 X 射线的极化。汤姆逊散射 X 射线集中于入射 X 射线的电矢量方向上出射。为了减少光电吸收,用低原子序数物质(如氯化锂),制造散射体,在它的四周放置正比计数管来记录散射 X 射线,故主要适用软 X 射线极化的测量。但是随着 X 射线能量的降低,光电效应截面上升陡峻,在散射体中光电吸收和汤姆逊散射竞争的结果,仪器灵敏度较低。为了提高灵敏度,美国计划在《HEAO》卫星中采用 196 个散射体组成的汤姆逊散射极化仪<sup>[6]</sup>。

X 射线同物质作用的主要方式是光电效应,大约百分之八十的光电子是原子 K 壳层电子的出射,它们也倾向于入射 X 射线电矢量方向<sup>[7]</sup>。因为光电子容易散射和吸收,很难测准它的方向,不过最近已探测到不同方向极化的 X 射线所引起的正比计数管输出脉冲上升时间的差别<sup>[10]</sup>。因此我们相信随着漂移室<sup>[11]</sup>和自触发流光室<sup>[12]</sup>技术的发展,有可能制造利用光电效应的高灵敏极化测量仪。

## 3. X 射线源强度随时间变化的研究

通过研究强度随时间变化的 X 射线源,特别是对 X 射线脉冲星武仙座 x-1 和半人马座 x-3 的详细分析<sup>[13]</sup>,大大促进了天体物理研究的发展。

我们知道,不同物理机制所引起的源强度变化的时间尺度差别很大。例如:

(1) X 射线脉冲星的周期性脉冲发射,源强度以数十毫秒到数分的周期变化。

(2) X 射线脉冲星周期随时间变化,有的在一小时中周期可增大或减小万分之几。

(3) 双星交食引起的 X 射线强度变化,周期大约为数天。

(4) 更长周期的源强度变化,例如武仙座 x-1 的 35 天周期变化。

(5) 在一些 X 射线源上观测到的强度在数分钟(闪变)到数小时(耀变)的突然变化。

在 X 射线探测器的记录资料中,所有这些变化都是迭加在一起的。因此为了观测如 X 射线脉冲星的脉冲周期那样的快速变化,必须尽可能地提高探测系统的灵敏度,以保证在每个划分得很短的时间间隔上得到有统计意义的取样;同时在处理数据时,还发展了相位分析、富利叶分析等寻找基本脉冲周期的方法<sup>[14]</sup>。为了观测源的长期变化,自然要求探测系统能长期稳定工作。

在改进仪器的灵敏度和分辨率的基础上,如能进一步研究 $\gamma$ 射线脉动部分的功率、能谱和极化等特征,必将促进对源机制的了解。

## 四、 $\gamma$ 射线天文学

### 1. $\gamma$ 射线源的探索

进行 $\gamma$ 射线天文学实验会遇到不少困难。例如各种天体物理过程产生的电磁辐射,通常具有指数型或幂级数型能谱,随辐射能量的升高,流强减弱得很快,在探测 $\gamma$ 射线的弱流时,不得不面临荷电宇宙射线的强本底。加之 $\gamma$ 射线天文学实验装置一般比较复杂,目前不少实验仍只能在气球上进行,因此还会受到上述大气层中次级射线的附加干扰。此外,低能 $\gamma$ 射线(能量约为1MeV到10MeV)虽然流强较大,但它主要通过康普顿散射同物质作用。由于康普顿散射不仅截面小,而且 $\gamma$ 射线能量仅部分传与散射电子,基于它来制造角分辨好,效率高的 $\gamma$ 射线天文学用探测器十分困难。

因此,探索 $\gamma$ 射线源的工作,一开始只好在较高能量(约数十MeV)进行。此时 $\gamma$ 射线转换为电子对的截面增加,从产生的电子对还可追溯初级 $\gamma$ 射线的方向。探测系统应对 $\gamma$ 射线转换效率高,角分辨好,有时间分辨和本底甄别能力,火花室在一定程度上可以满足这些要求。普通火花室采用平行板电极结构,从所拍摄的正负电子对径迹照片反推初级 $\gamma$ 射线方向的精度约1度。因为空间实验中回收胶卷的困难以及适应计算机处理数据的需要,故广泛应用了各种火花室自动读出数据技术,包括磁芯读出、磁致伸缩延迟线读出和声波读出等。在磁芯读出时是以丝栅代替火花室的平行板电极,每根丝分别穿过磁芯,利用火花放电电流翻转磁芯即可记忆径迹位置。配合火花室工作须由塑料闪烁体计数器和契伦柯夫计数器组成触发选择系统,整个装置外面再包以塑料闪烁体计数器以实现电荷粒子的反符合屏蔽。使用这种探测系统在气球上进行的实验,可能已发现了4个 $\gamma$ 射线分离源<sup>[15]</sup>。

### 2. 测量 $\gamma$ 射线的能谱

通常认为 $\gamma$ 射线弥漫背景谱是 $X$ 射线弥漫背景谱的自然延伸<sup>[16]</sup>。因为这些背景辐射的一种产生机制是高能电子和微波背景辐射的逆康普顿散射,因此对它们的研究有着重要的宇宙学意义。

用火花室可估计 $\gamma$ 射线的能量。在低能区,此由测量正负电子对张角大小或它们在电极上的多次库仑散射来实现<sup>[17]</sup>;在高能区,利用重金属材料制造火花室电极板,测量 $\gamma$ 射线在火花室中发展的级联簇射大小也可计算 $\gamma$ 射线的能量,但是这些方法精度一般较低。

利用大型闪烁晶体制造的全吸收能谱仪能更准确地测定 $\gamma$ 射线的能量。 $\gamma$ 射线通过级联簇射(电磁级联簇射或核级联簇射)把几乎全部能量耗散在闪烁晶体中,因此可以在很宽的能区准确地测定 $\gamma$ 射线的能量。美国发展了制造直径71厘米、厚度26厘米的大型CsI(Na)晶体的技术,在30MeV到300GeV能区,用它测量 $\gamma$ 射线能量的精度为百分之四。已准备用它配合大型丝火花室在HEAO卫星中进行 $\gamma$ 射线天文学研究<sup>[18]</sup>。

### 3. 在地面上对超高能 $\gamma$ 射线的探测

研究超高能区 $\gamma$ 射线的另一方面的困难来源于它的流强极低,以致几乎不可能直接测量。克服这方面困难的一个重要尝试是在地面上探测能量大于 $10^{12}$ eV的 $\gamma$ 射线在上层大气中的级联簇射所产生的契伦柯夫闪光。在大型球面反射镜的焦点上放置光电倍增管,利用无月的晴朗夜空记录这种闪光。因为光锥角宽度小,探测系统角分辨好。但是一些自然界(主要是雷电)和人为的原因也可能引起夜空闪光,因此需要利用契伦柯夫快速光脉冲的特征,对几个反射镜装置作快时间符合来除去干扰。由于每个反射镜直径大(一般大于1米)、安装精度高,适宜采用“漂移扫描”方式:随着地球运动,当研究对象通过探测装置的视界时,测量契伦柯夫闪光的强度变化。实验要持续很多夜晚,因此需要高精度的时钟信号,作为频率标准的晶体稳定度要达到 $10^{-8}$ 到 $10^{-10}$ 。当蟹状星云脉冲星NPO532通过探测装置的视界时,曾发现有超过平均计数率两倍标准偏差的契伦柯夫闪光,认为可能是发现了NPO532发射的超高能 $\gamma$ 射线<sup>[19]</sup>。

当 $\gamma$ 射线能量大于 $10^{14}$ eV时,在地面上可直接探测它在大气层中发展的广延空气簇射。因为就同大气层作用产生 $\pi$ 介子的截面说来, $\gamma$ 射线比核作用粒子小两个数量级,故它所发展的空气簇射含有少量 $\mu$ 介子。对“少 $\mu$ 簇射”的分析可能获得 $\gamma$ 射线天文学的重要情报<sup>[20]</sup>。

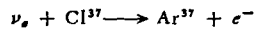
## 五、其他宇宙射线的天文学研究

### 1. 中微子的天文学研究

中微子是一种不荷电的稳定粒子。它的穿透能力极强,可以提供极遥远星体演化过程的情报,但是探测它也极为困难,需要很大的实验规模。

在太阳中微子的研究中已取得重要的成果。太阳在热核反应过程中产生大量的电子、中微子。到达地球附近时估计它的流强达 $10^{11}$ 厘米<sup>-2</sup>秒<sup>-1</sup><sup>[21]</sup>。可是它的作用截面很小。(约为 $10^{-44}$ 厘米<sup>2</sup>),因此仍必须有很大规模的探测系统,并且要很好地屏蔽其他粒子的干扰。通常实验在地下矿井中进行,如在地下4400米

等效水深处,用 390000 立升的  $C_2Cl_4$ , 通过反应



来测量太阳中微子的流强<sup>[11]</sup>,使用冷却到 77K 的碳酰中的活性碳吸附放射性  $Ar^{37}$ ,再用正比计数管来探测它的衰变。持续近十年的实验表明,探测到的太阳中微子流强比现有理论预期值小 8 到 9 倍,因此对太阳能源机制的研究提出了重要问题。

除了太阳中微子以外,不少天体物理过程估计都会有大量中微子放出。例如坍缩星在收缩成中子星的过程中,可以通过 *Urca* 过程或等离子体过程产生大量的电子、中微子<sup>[12]</sup>。但因目前探测系统的灵敏度极低,并且缺乏方向性,尚无法进行实验观测。此外,在地下利用大型闪烁体和径迹室(如气泡描述仪)装置也观察到过一些大天顶角的  $\mu$  介子、中微子事例,难以认为它们是大气层中的次级产物<sup>[13]</sup>。但是总的看来,中微子天文学研究的进一步开展,有赖于中微子探测技术的进步。

## 2. 初级电子的探测

研究高能电子的产生机构以及它在传播过程中同微波背景辐射的作用,具有重要的宇宙学意义。在测量初级电子的能谱方面做了大量的工作,所用的探测方法是各式各样的,从闪烁晶体、半导体探测器、火花室到气球运载的铅玻璃契仑柯夫谱仪和核乳胶-铅夹层的簇射探测装置。实验的一种困难来源于强质子本底和大气层反照电子的干扰。为此在低能区使用“ $\frac{dE}{dx}$ ”(能量损失率)和“ $E$ ”(总能量)双探测器技术。

因为“ $E$ ”探测器所探测到的具有相同能量的电子和质子,在“ $\frac{dE}{dx}$ ”探测器中将耗散不同的能量,据此可以

分辨它们。在低能区则使用契仑柯夫计数器。因为契仑柯夫辐射具有阈特性和方向性,通过辐射介质的选择可以允许只记录下行电子,从而排斥质子或上行反照电子的干扰。不过在超高能区契仑柯夫计数器将逐渐不灵敏,因之从新引起电子和质子的相互混淆,这不仅带来了测量电子谱的困难,也严重干扰了初级质子谱的测量。事实上,引人注意的初级质子谱在  $TeV$  区是否有转折就联系了能否清晰分辨电子和质子的问題<sup>[14]</sup>。由此可见,发展穿越辐射(*Transition Radiation*)探测器<sup>[15]</sup>在宇宙射线天文学研究中,也有重要的意义。

正电子是初级宇宙射线中唯一确证的反粒子,利用它和负电子在磁场中偏转方向的不同可以区分它们。例如<sup>[16]</sup>曾使用永久磁铁构成的火花室磁谱仪,在动量范围  $20MeV/c$  到  $250MeV/c$  间,测量了正、负电子的比例和能谱。为了减少地磁场的影响,实验是在极区将装置用气球上升到上层大气中进行的。在谱仪

适用的动量范围之外,辨认低能正电子可探测它们在物质中湮灭产生的特征  $\gamma$  射线;辨认高能正电子可根据地磁场的“东西效应”(在一定的地磁纬度,从东方进入的正电子要比从西方进入时须有较高的动量,而负电子相反)。去分析记录到的高能电子的入射方向,从而可估计  $10GeV$  能区的正电子份额。综合各种实验结果,发现高能正电子所占份额不到百分之十。说明大部分高能电子不是高能质子和星际物质作用所生的次级射线,否则正电子所占的份额将大大增加。但初级电子又会通过和红外背景辐射的逆康普顿散射迅速损失掉,因此这和现有的红外背景辐射强度的测量又是矛盾的。可见必须有进一步的实验研究<sup>[17]</sup>。

## 3. 宇宙中反物质的研究

宇宙中是否存在反物质,从研究天体演化的观点来看有重要的意义。考虑到高能质子和星际物质作用也会产生少量的反质子,因此寻找初级宇宙射线中的反核将是反物质存在的重要证据。低能反核停止在物质中时将有特征湮灭现象产生,曾用曝光在上层大气中的乳胶室来寻找它们,结果未得以发现低能反核<sup>[18]</sup>。至于高能反核因为动量高,小型磁铁无力偏转它们,故研究中使用了超导磁体所构成的大型磁谱仪。超导线圈用液氮冷却,磁场总积分达 4 千高斯米<sup>[19]</sup>。配合四个光学火花室组成的望远镜,最大可测动量近于每电荷  $100GeV/c$ 。实验的一个重要本底也是上行反照核的干扰,故用辅助的塑料闪烁体来进行飞行时间测量,从而判定核的运动方向而排斥反照核干扰。用气球将实验装置上升到大气上层,发现了一个可能的反氧核,但可信度小于三倍标准偏差。考虑到随反核的原子序数增大,它在剩余大气层中的作用和在探测装置中的核散射强烈增加,利用此种实验装置看来适宜于首先寻找反轻核。据称该实验也拟在 «HEAO» 卫星中继续进行。

## 参 考 文 献

- [1] Gursky, H., *Proc. of I. A. U. Symposium*, No. 37, Rome, (1969), 5.
- [2] Giacconi, R., et al., *Astrophys. J.*, **165** (1971), L27.
- [3] *Spaceflight*, **15** (1973), 192.
- [4] *Phys. Today*, **26** (1973), 97.
- [5] Sanford, P., et al., *Proc. of I. A. U. Symposium*, No. 37, Rome, (1969), 36.
- [6] Horbert, W., et al., *Scien. Amer.*, **227** (1972), 27.
- [7] Peterson, L., et al., *Proc. of I. A. U. Symposium*, No. 37, Rome, (1969), 59.
- [8] Landerker, P., *IEEE Trans. on Nucl. Scien.*, NS-19 (1972), 463.
- [9] Hereford, F., and Keuper, J., *Phys. Rev.*, **90**

- (1953), 1043.
- [10] Sanford, P., et al., *Proc. of I. A. U. Symposium*, No. 37, Rome, (1969), 36.
- [11] Walenta, A., et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **92** (1971), 373.
- [12] Kobayashi, S., *Nucl. Instr. and Meth.*, **81** (1970), 72.
- [13] Metz, W., *Science*, **179** (1973), 986.
- [14] Giacconi, R., et al., *Astrophys. J.*, **167** (1971), L67.
- [15] Frye, G., et al., *Proc. 12th Int. Conf. on Cosmic Rays*, Hobart, **1** (1971), 70.
- [16] Clark, C., et al., *Proc. of I. A. U. Symposium*, No. 37, Rome, (1969), 269.
- [17] Claverie, A., et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **97** (1971), 161.
- [18] Hughes, E., et al., *IEEE Trans. on Nucl. Scien.*, NS-19 (1972), 126.
- [19] Grindlay, J., *Proc. 12th Inter. Conf. on Cosmic Rays*, Hobart, **1** (1971), 67.
- [20] 菅浩一, «宇宙线研究»(武谷三男编), 东京, (1970), 66.
- [21] 李惕碛, «科学通报», 1973.
- [22] Davis, R., et al., *Phys. Rev. Letters*, **20** (1968), 1205.
- [23] 北村崇, «宇宙线研究», **15** (1970), 69.
- [24] 三宅三郎, «宇宙线研究»(武谷三男编), 东京, (1970), 137.
- [25] 西村纯, «宇宙线研究», **16** (1971), 221.
- [26] Yuan, L. C. L., et al., *Phys. Letters*, **40B** (1972), 689.
- [27] Kniffen, D., et al., *Proc. 11th Inter. Conf. on Cosmic Rays*, Budapest, **1** (1969), 181.
- [28] Greenhill, J., et al., *Nature*, **230** (1971), 170.
- [29] Buffington, A., et al., *Nature*, **236** (1972), 335.

# 近代空间天文学的进展

张和祺

(中国科学院紫金山天文台)

## 一、概况

以人造卫星为标志的太空研究已经经历了十五年以上的历史。如果从探空火箭算起,太空研究的历史还可以追溯到本世纪四十年代。空间科学技术的迅速发展,给空间天文事业开辟了十分广阔的前景。空间天文当今作为天文学中一个独特领域,已经发展成为一门相当齐全的综合性学科。

### 1. 外空天文观测的优越性

首先,它能够在不同程度上越过地球大气这个屏障,开拓了天文观测波段,取得由外层空间进入地球的整个电磁谱的可能性。各类天体发射着波长从  $10^8$  厘米到  $10^{-11}$  厘米范围内的辐射。但是地面天文观测主要地局限在可见光区域内。由于大气中臭氧、氧、氮等分子对紫外线的强烈吸收,以致无法观测到天体的紫外光谱。在红外区,则由于水汽、二氧化碳等分子的振动、转动所造成的强烈吸收,只留下为数很少的几个天文观测的“窗户”。在射电区域,低层大气的水汽和氧气构成短波主要的吸收因素;而电离层的折射效应将反射较长波段的辐射。由于分子瑞利散射和大质点散射的存在,地球大气还起着非选择性消光作用。而外空天文观测,将在很大程度上消除这些缺陷。

其次,外空观测将减轻或消除由于地球大气的非均匀性的变化造成的光线抖动。以太阳为例,到目前为止,经过严格选址的地面台站要经常获得小于 1 弧秒细节的天象是十分困难的;原因在于地面附近温差效应所致的对流运动,它造成成像质量的下降。而外空观测,只要仪器的分辨本领和导向稳定性有保证,成像细节将大大提高。

不仅如此,今天已经能够直接获取观测客体的样品,开辟了直接探索太阳系附近天体的新时代。例如有现在已经能够取得行星际介质的不同粒子成分、月球和行星表面的各种物理参量、免受地球大气和磁场歪曲的各类天体发射出来的粒子辐射,以及太阳各类粒子辐射的流强、能谱、空间几何分布和时变函数等等。在不久将来,有可能捕获彗星的气体尘埃和星际气体的粒子样品。

### 2. 外空观测的成就

目前,外空天文观测广泛地使用高空飞机、平流层气球、探空火箭、人造卫星、宇宙飞船等作为运载工具。特别是人造卫星和宇宙飞船,是空间天文中进行长时期综合性考察的主要手段。自六十年代以来,各国已经发射了一系列“轨道天文台”以及许多小型天文卫星、射电天文卫星和行星际空间考察站。1970年发射的“乌呼鲁”(Uhuru)卫星专门用来探测河内、河外 X 射