



徐春娴 黄天祥

一、 γ 天文学简史和实验上的困难

1900年维拉德(P. Villrad)在研究镭辐射时发现了一种穿透性很强,能使乳胶感光的中性射线,这就是 γ 射线。这种 γ 射线是原子核能级跃迁发出的,核谱学现已成为研究宇宙现象的有用工具。

由漫谈(一)我们已看到,无论是太阳X射线还是宇宙X射线均是在无意中发现的。但是 γ 天文学却走的是另一条路,它是先从理论认识迈开步子的。早在1950年日本的早川(Hayakwa)就已讨论宇宙线和星际气体核作用产生 $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ 的宇宙效应,而哈钦逊(Hutchinson)也在1952年讨论了宇宙线韧致辐射产生 γ 的问题。甚至还早一些人们就研究了宇宙线电子逆康普顿散射的天体物理意义。到1958年,莫力森(Morrison)发表了一篇理论文章,描述了宇宙中各种可能的 γ 产生过程。这大大鼓励了 γ 天文学实验的积极性,从而使 γ 天文学走上了理论、实验齐头并进的阶段。

由于 γ 射线直接与一些高能过程有关;且它的穿透性强,不受星际磁场的影响,能更多地保留原初方向的信息,所以对这样一个遥远宇宙使者的研究,能使我们得知远处和早年宇宙所发生的事情,给予有关宇宙结构、起源和演化的知识。

人们对 γ 射线的高能量、低吸收感到极大兴趣,但这却使实验探测遇到了很多困难,这主要是低流量,大本底和方向判断差。与X射线天文学相比, γ 天文的实验进展是缓慢的。许多辐射过程,往往是随着光子能量的上升产额下降很快,这使 γ 射线流量比X流量弱得多,因而工作时间仅为几分钟的火箭探测对于 γ 几乎是无效的。另外宇宙线荷电粒子的存在,使我们必须在大本底下探测极弱的 γ 射线。例如,近地空间能量大于1千电子伏的X射线的强度是15个/平方厘米·秒·立体角,比中纬度的荷电粒子强一百倍;而便于探测的能量大于50兆电子伏的 γ 光子强度是 4×10^{-4} 个/平方厘米·秒·立体角,比荷电粒子弱四百倍。这不能不要求 γ 探测器有较高的探测效率,较大

的有效几何因子(面积 \times 立体角)。但卫星上的仪器却不能太重,也不能太大。气球观测虽对于重量、大小限制稍宽,但由于原初宇宙线与大气作用产生了许多次级 γ ,而原初 γ 本身也要衰减,这就使气球 γ 探测受到又一附加干扰。特别是在1—10MeV能区, γ 光子主要通过

康普顿过程与物质发生作用,该过程截面小,能量也只是部分地传给反冲电子,所以探测效率只能达到百分之十左右;加上宇宙线与仪器外壳物质作用产生的次级 γ 以及中子导致的低能缓发 γ 均在这一能段,所以这一能段的探测就更困难了。双康普顿望远镜是这能段可用的仪器,但它的效率只有百分之一左右。由于存在这些困难,使 γ 天文观测一开始便在大于50MeV的高能段进行。加之 γ 射线有强穿透性,使得在X射线天文观测中使用的准直系统对 γ 无效,这就使 γ 射线的方向判断也较差。现在这一能量的方向判断多用多丝室一类的仪器。近十年来,人们在 γ 探测方面作了许多努力,利用卫星、气球做了许多工作,促进探测技术、气球技术都得到了高度发展,使 γ 天文从开发阶段进入了发展阶段。

二、 γ 天文学的研究现状

虽然,真正成功的 γ 观测只有约十年的历史,但已取得了一些可喜的成果。例如,已观察到来自银面,银心的 γ 射线,确认了弥漫 γ 背景的存在,发现了 γ 爆现象,发现了一批 γ 射线源;而对于太阳大耀斑 γ 线状谱的观测成功给研究天体成份及其上面发生的聚合过程提供了新线索。

下面我们将简单介绍一下有关 γ 天文观测的结果。

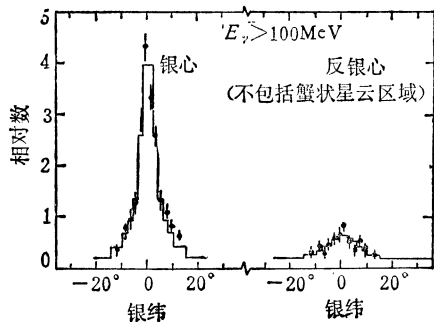


图1 SAS-2 测到的在银心和反银心方向上能量大于100MeV的 γ 射线随银纬的分布,由图可见银盘和银心有较强的 γ 发射。

1. 关于银面及银心的 γ 发射首次肯定的 γ 探测是在美国太阳轨道观测站3号(OSO-3)上得到的,1972

年他们报道了银盘和银心有大于 100MeV 的 γ 发射,但由于能谱范围和空间分辨的限制,没有能给出更多的信息.1972—1974 年间,所有成功的 γ 观测(气球和卫星)都是关于探测银心区域的 γ 辐射的.后来小天文卫星 2 号(SAS-2)的 γ 望远镜有了几度的角分辨,它给出了更为细致的关于银盘、银心发射的图象,见图 1.

2. γ 射线源 1975 年 8 月发射了欧洲几国共同协作的 γ 天文卫星(COS-B),它有较好的灵敏度和角分辨.它使 γ 源的数目从四个增加到 29 个,使我们有了 γ 天空的初步图象.见图 2.它们几乎集中在天球赤道面上,有下述几个特征:源的大小 $\leq 1^\circ-2^\circ$; 积分流量 $I(>100\text{MeV}) \sim (1-5) \times 10^{-6} \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$; 距离大体在 2—7KPC; γ 发射功率(大于 100MeV 的光子)约为 $(0.4-5)10^{29}$ 瓦.它们当中只有几个认为是和

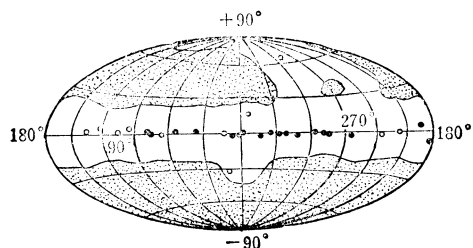


图 2 COS-B 卫星测得的能量大于 100MeV 的 γ 点源分布,图中阴影部分为 CO-B 没有搜寻的天区,黑圆点表示流量大于 1.3×10^{-6} 光子 $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$,空心圆表示流量低于此值的 γ 点源.

已知天体有关系的,它们是蟹状星云脉冲星(PSR0531+21)、船帆座脉冲星(PSR0833-45)、类星体 3C273、天鹅座(Cyg-3),可能还有一个与暗星云有关,但其余的都是仅仅作为 γ 射线源而被发现的.

3. 弥漫 γ 射线背景 许多组都观察到各向同性的 γ 背景辐射,它构成了直到 200MeV 的连续背景谱.对此,有人认为这是宇宙在演化过程中产生的 γ 射线的累积效应或者是宇宙线与 2.7°K 微波背景逆康普顿散射形成的;也有人认为,这是银河系外许多 γ 点源发射的总效果.

4. 宇宙 γ 射线爆 某些非用于 γ 天文学研究的卫星,也为 γ 天文学的发展作出了重大贡献.例如美国用于监视核实验的维拉系列卫星(Vela-4)是 γ 爆事例的发现者. γ 射线爆是能量为 $\text{keV}-\text{MeV}$ 的高能光子流在短时间内的陡增现象.它所涉及的空间范围和能量区间都相当可观,像 1979 年 3 月 5 日的大 γ 爆被九个卫星观察到,根据每个卫星观测该事例的时间差别,初步断定该爆的源是大麦哲伦星云(LMC)中的一个超新星遗迹,如果真是这样,则该爆发的总能量可高达 5×10^{44} 尔格.至今人们已得到近百个 γ 爆事例.理论家们虽已提出几十种理论模型来解释它的能量来

源、发生机制以及时间、能谱方面的特征,但仍无一个令人满意的结论. γ 爆与其它波段的联合观测将是一件很有意义的工作,已有几个实验组试图在这方面打开局面.但由于 γ 爆出现的空间、时间都不能事先知道,且持续时间至多几十秒,这给联合观测带来很大困难.

5. γ 射线谱线的观测 γ 射线谱线的探测,是一个令人感兴趣的问题.若认为线状谱线是由核跃迁产生的,则对谱线的观测能提供宇宙的物质成份、元素的宇宙合成和宇宙的形成过程等方面的信息.若认为正负电子湮没形成 0.511MeV 谱线,则由此推得宇宙中正、负电子的分布.并可用以检验脉冲量的某些模型,因为一般认为中子星的磁场内有强正电子流存在.如果谱线是强磁场中的回旋辐射形成的,则可通过谱线的测量对空间磁场分布和强度作出估计.

对 γ 谱线的探测是个困难的事情,但国外已有过一些成功的观测.1972 年利用 OSO-7 卫星对大的太阳耀斑进行观测,成功地测到 0.5MeV 和 2.2MeV 的 γ 谱线,见图 3.在阿波罗 15 和 16 号飞船上,也测到了月亮表面发出的 γ 谱线,并由此推知月面氧、镁、铝、硫和钾等元素的丰度,其结果与月岩样品分析结果一致.1973 年有人观察到银心方向有 0.473MeV 的 γ 谱线,并认为这是 0.511MeV 的 γ 谱线红移形成的.

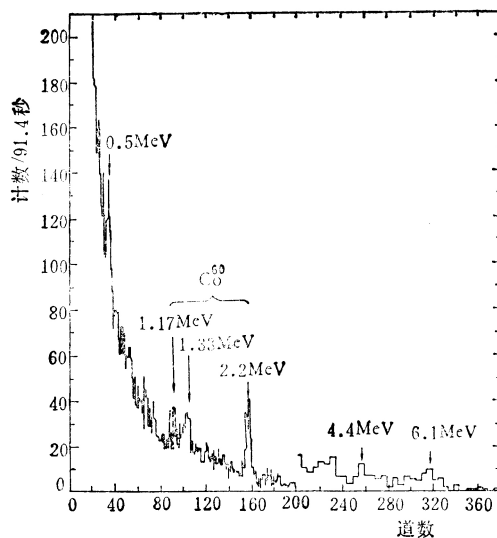


图 3 OSO-7 测得的太阳耀斑 γ 谱,发现了能量为 2.5MeV, 2.2MeV 的 γ 谱线

1979 年九月美国发射了高能天文观测台 3 号(HEAO-3),上面载有由碘化铯屏蔽的四个锗探测器组成的 γ 望远镜,它将为 γ 天文学提供最新的资料.

(完)