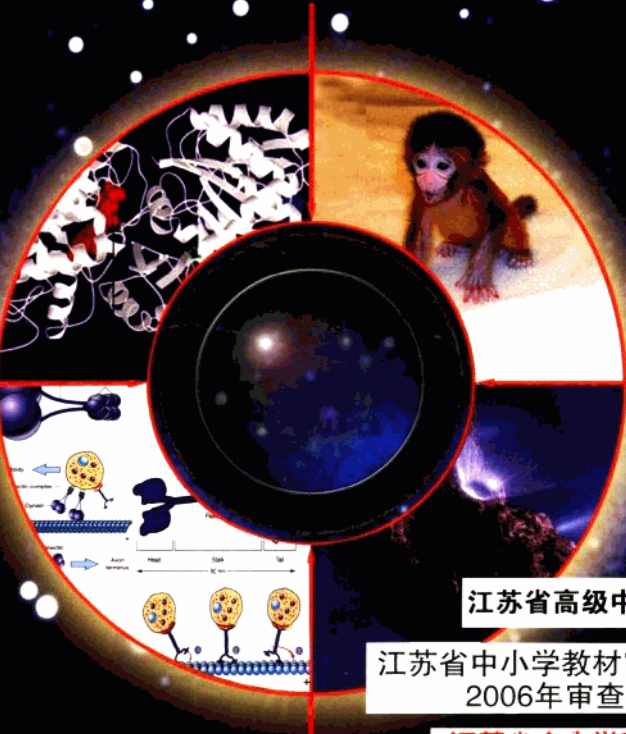




THE LATEST REPORTS ON SCIENCE

最新科技报告



江苏省高级中学选修课本

江苏省中小学教材审查委员会
2006年审查通过

江苏省中小学教学研究室
编著

凤凰出版传媒集团

江苏教育出版社

江苏省高级中学选修课本
江苏省中小学教材审查委员会 2006 年审查通过

最新科技报告

江苏省中小学教学研究室编著

策划 李 容

主编 厉光烈 王泽农

凤凰出版传媒集团



江苏教育出版社

JIANGSU EDUCATION PUBLISHING HOUSE

江苏省高级中学选修课本

书 名 最新科技报告
责任编辑 杨新华
出版发行 凤凰出版传媒集团
江苏教育出版社(南京市马家街 31 号 210009)
网 址 <http://www.1088.com.cn>
集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>
经 销 江苏省新华发行集团有限公司
照 排 南京理工出版信息技术有限公司
印 刷 核工业南京华宇彩色印刷厂
厂 址 南京市察哈尔路 16 号(邮编 210003)
电 话 025-83347217
开 本 890×1240 毫米 1/32
印 张 7.25
字 数 238 000
版 次 2006 年 8 月第 5 版
2006 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5343-4262-7/G·3957
定 价 4.65 元
盗版举报 025-83204538

苏教版图书若有印装错误可向承印厂调换
提供盗版线索者给予重奖

编写说明

《最新科技报告》(以下简称《报告》)是江苏省于 2001 年秋季开始开设的高级中学选修课,该课程的教材由江苏省中小学教学研究室提出选题与策划意见,委托江苏教育出版社组织编写出版。继 2004 年第 3 版之后,这次编写的是第 4 版。

由于工作原因,这一版由江苏省中小学教研室直接委托厉光烈和王泽农两位先生主编,选题与策划意见仍然是根据近两年世界和中国十大科技新闻,还有近两年的诺贝尔科学奖拟定的。

我们根据“选题与策划意见”,考虑科技新闻所反映的学科特点,选择《报告》的主题,并且聘请有关方面的专家参加编写。因为是为高中学生编写教材,大家都欣然同意。这次的作者队伍中有科学院院士陆琰先生和好几位老一辈科学家,还有著名的科普作家。特借此机会向全体作者表示衷心感谢。

这一版保留了第 2、3 版的四篇材料,然后按照物质科学(宇观、宏观、微观)、生命科学(生物、医学等)、技术科学(材料、信息、能源、航天、海洋、交通,其他)和诺贝尔奖相关学科这样的顺序排列。这一版共组织了十六讲,供各中学开设相关课程使用,高中一、二、三年级均可开设。《报告》一方面要反映最新科技成果,另一方面要顾及中学生现有文化程度,所以我们尽量地“从头讲起不怕浅”,“增加铺垫,降低坡度,分散难点,循序渐进”。尽管如此,许多概念、名词、公式,对同学们,甚至老师们,都可能是陌生的,大家应该抓住主要的概念和内容,了解人类揭露自然奥秘的思路和方法,并且从当代科技发展中看到人类社会的未来,提高自身科技素养,激发起自己的爱好和追求。

希望这一版能保持前几版的特色,并希望读者们提出意见,供今后再版时修订改进。

目 录

第1讲	宇宙 γ 射线暴	黄永锋	陆 埏	(1)
第2讲	弱电统一的历程	厉光烈		(17)
第3讲	暗物质与暗能量之谜 ——粒子宇宙学简介	张新民		(36)
第4讲	探测火星上的水	黄艳华	江向东	(42)
第5讲	“深度撞击”:探究彗星的秘密	李 良		(55)
第6讲	核反应堆技术及其应用 ——从原子能发电到大规模制氢 ...	安 鹏		(69)
第7讲	微型机器:分子马达 ...韩英荣 郑 燕 赵同军 展 永 卓益忠			(84)
第8讲	生命的天书	张 猛		(99)
第9讲	解码生命:人类基因组计划及其深远 影响	张 猛		(112)
第10讲	干细胞:人类健康的新希望	孙可一		(129)
第11讲	鸿篇巨著:《中国植物志》	华 春		(147)
第12讲	纳米科学技术	林鸿溢		(163)
第13讲	光学中的魔方:光子晶体	张 超	朱永元	(174)

- 第 14 讲 2004 年诺贝尔物理学奖:强相互作用**
 渐进自由性质的发现 黄 涛(179)
- 第 15 讲 2004 年诺贝尔化学奖:细胞内蛋白质**
 降解机制揭秘 王永潮(191)
- 第 16 讲 2004 年度诺贝尔生理学或医学奖:受**
 体揭示嗅觉奥秘 熊耀斌 傅杰青(204)

黄永锋(南京大学天文系)

陆 埏(中国科学院紫金山天文台 中科院院士)

第 1 讲 宇宙 γ 射线暴

为你导游 闪电发生在我们地球大气层内,是一种常见的自然现象。它们变幻无常,像利剑一样穿透重重乌云,耀眼而又壮观,令人叹为观止。有趣的是,在大气层外,在茫茫太空中,居然也有一种类似闪电的、变幻莫测的现象,这就是宇宙 γ 射线暴。

γ 射线暴是来自宇宙空间的一种短时标的高能 γ 射线爆发活动。它们最初是 20 世纪 60~70 年代美国利用人造卫星进行核试验监测时偶然发现的。今天人们已经知道, γ 射线暴并不罕见,它们在频繁地发生着。如果我们有适当的卫星在观测,那么差不多每天都可以记录下 2 到 3 次 γ 射线暴。它们像闪电一样随机地在太空中出现和消失,其方位完全无法事先预知。

γ 射线的这种神秘爆发非常出乎天文学家们意料之外,理所当然地受到了广泛关注。然而在 γ 射线暴被发现之后的近 30 年里,人们尽管付出了艰苦的努力,对其本质仍是一无所知。原因是 γ 射线探测器的定位能力很差,地面上的天文学家根本无法找到 γ 射线暴在光学、红外和射电等波段的对应天体,也就无法确定它们的距离。没有了距离信息,天文学家们只能是一片茫然。

1997 年观测上终于取得了里程碑性的重大突破:借助 X 射线望远镜,意大利和荷兰合作研制的 BeppoSAX 卫星成功地对几个 γ 射线暴事件进行了快速和高精度的定位,终于使人们找到了 γ 射线暴在 X 射线、光学和射电波段的对应体(称作余辉),并观测到了它们的寄主星系,初步揭开了 γ 射线暴的神秘面纱。这一进展被美国《科学》杂志评为 1997 年度世界十大科技成就之一。今天我们已经确定, γ 射线暴发生在遥远的宇宙边缘,涉及极其巨大的能量,其激烈程度仅次于一百多亿年前宇宙诞生时的那次大爆炸! 距离问题虽是基本解决了,理论天体物理学家们却面临着更大的困惑:这种激烈的爆发是如何产生的?

本文试图采用通俗的语言,对 γ 射线暴的观测特征、距离、余辉以及一些理论问题作一简明而又尽可能全面的介绍。

迷你词典 γ 射线 γ 射线是电磁波的一种。电磁波覆盖了很宽的能段范围。在低能端(即低频端),是我们熟悉的无线电波,波长可从 1 毫米一直延伸到几十米甚至更长,天文学上习惯把无线电波称为射电波。波长从 $0.7\text{ }\mu\text{m}$ ($7\,000\text{ }\text{\AA}$, 即 $7\times 10^{-7}\text{ m}$) 到 1 mm 之间的是红外线,即使在夜间,地面上的物体都有很强的红外辐射。波长从 $3\,000\text{ }\text{\AA}$ 到 $7\,000\text{ }\text{\AA}$ 的就是我们熟悉的可见光,这只是电磁波中非常窄的一个波段。波长从 $100\text{ }\text{\AA}$ 到 $3\,000\text{ }\text{\AA}$ 的是紫外线波段。波长从 $1\text{ }\text{\AA}$ 到 $100\text{ }\text{\AA}$ 的是 X 射线。波长比 $1\text{ }\text{\AA}$ 更短的就是 γ 射线了。有趣的是,电磁辐射虽然是一种波,却又同时具有粒子的特性,这称为电磁辐射的波粒二象性。在射电波段,电磁辐射的表现以波动性为主,例如可有明显的衍射和干涉等现象。而在紫外、X 射线和 γ 射线波段,电磁辐射则主要表现出粒子性,例如沿直线传播,并能发生碰撞和散射等。这时电磁辐射的能量似乎是由一个个分立的粒子携带着的,我们形象地把这样的能量小单元称为光子。电磁波的频率越高,每个光子的能量就越高,两者之间是成正比的。X 射线光子的能量通常在 100 eV (电子伏,1 个电子被 1 V 电势差加速后所获得的能量为 1 eV) 以上,而 γ 射线光子能量则高于 $10\,000\text{ eV}$ 。

第 1 节 来自太空的神秘“闪电”

γ 射线暴(以下简称 γ 暴或 GRB)是来自宇宙空间的一种短时标的 γ 射线爆发现象。它很类似于我们大家熟悉的闪电,不同的是 γ 暴来自太空而非地球大气层中,而且 γ 暴的辐射发生在 γ 射线而不是光学波段。

γ 暴的最初发现纯属偶然,也颇有戏剧性。自二战结束后开始并且延续达 40 年之久的东西方冷战,是 20 世纪后半叶最具影响力的事件。冷战时期最严重的一次军事对抗发生在 1962 年,当年 10 月中旬,前苏联在古巴设立进攻性导弹发射基地一事被美国发现,由此导致了一场震惊世界的古巴导弹危机,核战争一触即发。在千钧一发之际,人类的理智最终还是战胜了冲动,古巴导弹危机和平结束。然而,东西方的严峻对峙局面并未缓解,美苏之间对对方的戒心仍是有增无减。20 世纪 60 年代中期,为了监督关于禁止在大气层中进行核试验的国际条约的执行情况,美国发射了一系列军事卫星,以监测前苏联核爆炸中的 γ 射线。1967 年开始,美国的 Vela 卫星真的不时记录到一些 γ 射线爆发现象,使美国政府十分紧张。军方花了几年的时间终于搞清楚它们均来自于宇宙空间,证实只是一场虚惊。由于军事保密的原因,该现象

直到 1973 年才由洛斯阿拉莫斯实验室的科学家在美国《天体物理杂志》的一篇快报中以“对源自宇宙空间的 γ 射线爆发的观测”为题发表出来。这篇经典论文报告了在三年时间内被两颗以上的卫星同时观测到的 16 次 γ 暴事件。每次爆发中辐射的 γ 射线光子能量绝大多数介于 0.2 MeV (20 万电子伏) 和 1.5 MeV 之间, 持续时间短的不到 0.1 s, 长的可达 30 s 且有很复杂的时间结构。 γ 暴现象很快也得到了前苏联卫星的证实。

在天文学中, 对任何一个天体, 测定其距离都是很重要的。举一个简单的例子, 设想我们在夜空中观测到一个闪烁的小光点, 那么这个小光点的本质到底是什么, 就主要取决于它离我们的距离了。如果光点离我们只有几十米远, 那么它可能只是一只萤火虫; 如果离我们几百米远, 可能就是高楼顶上的信号灯; 如果离我们几千米远, 那么可能是海边的灯塔或者是夜航的飞机; 如果离我们几百公里远, 那么可能是人造地球卫星; 如果离我们几光年远, 就会是像太阳一样炽热而庞大的恒星了; 再极端一点, 如果这个光点在宇宙边缘, 那么它就该是由几十亿到上千亿颗恒星集中在一起组成的星系了! 自然, 对于 γ 暴这种全新的现象, 它们到底离我们多远就是一个极其关键的问题。

遗憾的是, 在宇宙空间中测量距离是很困难的, 这通常需要借助多波段尤其是光学波段的观测来实现。 γ 暴发现伊始, 天文学家们就努力尝试去寻找其光学对应体, 但这种努力总是无果而终。原因是每次 γ 暴持续的时间都很短, 而人们往往要在好几天后才能得到其空间方位信息, 此时再通过光学望远镜去观测, 早已什么都看不到了。这就像你看到壮观的闪电发生时, 急忙想拿照相机去拍下来, 往往只能扑个空。在 γ 暴发现之后的很长一段时间里, 人们除了知道它们既非来自地球, 也非来自太阳之外, 其他的几乎是一无所知。甚至可以说连它们到底是远在天边, 还是近在眼前都不知道!

不管怎样, 在 γ 射线波段的这种神秘爆发是完全出乎人们意料之外的, 理所当然地受到了广泛关注, 理论天体物理学家对此尤感兴趣。仅在两三年之内, 被提出的 γ 暴理论模型就达上百个之多, 涉及的天体可谓五花八门, 包括超新星爆发、中子星、黑洞、耀星、反物质、相对论性尘埃、白洞, 甚至许多其他更古怪的天体。例如, 根据不同天文学家的设想, γ 暴可能产生于两个致密星 (包括中子星、黑洞和白矮星) 的碰撞, 也可能产生于大质量恒星死亡塌缩时的爆发, 也可能是微型黑洞的蒸发, 也可能是大块反物质和物质的湮灭, 还可能是太阳系内彗星和小行星的碰撞等。为此, 美国著名天文学家鲁德曼 1975 年曾戏谑地说,

理论家都有这样一种“拼命地将新现象纳入他们各自所钟爱的模型之中”的趋势。很长时间里， γ 暴的本质成了天体物理领域中的一大悬念。

小知识 天文学中的距离测量 对于太阳系内离我们比较近的天体如行星、小行星、彗星等，在地球上相隔很远的两个地点同时观测该天体，会发现它在地球上的经纬度位置略有差异，称为视差。通过测量视差角度大小，再结合两个观测地点的直线距离，就可以很容易地计算出天体离我们的距离。这种方法叫做三角视差法，其原理正如我们人类借助两只眼睛来判断周围物体的距离一样。三角视差法是一种比较准确的距离测量途径。

对于离我们几光年到上百光年的恒星，我们仍然可以通过三角视差法测量距离，只不过这时选择的两个观测地点必须拉得足够开。我们可以巧妙地借助地球绕太阳公转的轨道来实现。例如春天的时候观测并记录下恒星的经纬度位置，到了秋天，地球运动到太阳的另一侧，我们再次观测该恒星在天球上的位置，就能观测到明显的视差了。此时两个观测地点的直线距离刚好就是地球公转轨道的直径。

当待测对象更远时，天文学家们就只能根据恒星、星系等天体的物理性质来估算距离了。例如造父变星是一种亮度能很规律地周期性变化的恒星，其辐射功率和光变周期间有很好的相关性。于是通过测量造父变星的光变周期，可以得到其辐射功率，再根据其视亮度就可以计算距离了。又如 Ia 型超新星在其爆发时，最亮时刻的辐射功率基本是固定的，所以也可以根据其视亮度估计距离。另外，我们的宇宙诞生于约 137 亿年前的一次剧烈大爆炸，直到今天整个宇宙的空间仍然是在膨胀着，这使得宇宙学距离上的任意两个天体都在相互退行，并且其远离的速度大致与它们之间的距离成正比。退行速度和距离的正比关系是天文学家哈勃在上世纪 20 年代发现的，称为哈勃定律。所以对于距离我们超过几千万光年的天体，我们还可以通过测量其高速退行导致的光谱多普勒红移来得到它们的远离速度，从而根据哈勃定律计算出距离。

迷你词典 超新星爆发 恒星的主要能量来源是其核心发生的由氢聚生成氦的核反应，该反应释放出的热能抵抗着恒星自身巨大的引力，处于这一阶段的恒星是相当稳定的，称为主序星。恒星在主序阶段能停留很长时间。当恒星内部绝大多数的氢都被转变成氦后，恒星就结束了其主序阶段的“生命”，要走向“死亡”。质量较小的恒星如我们熟悉的太阳，此时会比较稳定地逐步向中心塌缩，直到变成一个密度高达 10 t/cm^3 的白矮星。质量较大的恒星，则在死亡阶段会发生剧烈

的爆炸,这就是超新星爆发。经过超新星爆发,恒星有可能会被完全炸碎,变成一团气体和尘埃;也有可能残留下一颗比白矮星更致密的中子星(半径只有10 km左右,但密度则高达每立方厘米上亿吨!);还有可能直接生成一个黑洞。超新星爆发时,其亮度可比平时增加上亿倍,甚至可超过整个星系的总亮度!

第2节 γ 暴的观测特征

长期以来,人们一直无法观测到 γ 暴在其他波段的对应体,也就无法直接测量其距离。尽管困难重重,天文学家们仍孜孜不倦地通过 γ 射线波段这个惟一的窗口观测着,想方设法去分析已获得的资料和数据,透过种种蛛丝马迹,了解 γ 暴的本质。在20世纪70~80年代,先后从事过 γ 暴观测的高能天文卫星就有10多个。但是这些卫星的灵敏度都比较低,因此观测能力还是很差的,每年被观测到的 γ 暴大致只有十几次。

20世纪90年代情况开始显著改善。1991年美国的康普顿 γ 射线天文台(CGRO卫星)发射升空,上面携带有一个高灵敏度的 γ 射线探测器BATSE,是专门用来研究 γ 暴的。CGRO的设计寿命只有四五年,实际上一直以良好的状态运行到2000年6月才销毁。在排除了太阳耀斑和地面干扰等众多因素后,BATSE平均每天都可以记录到一两次 γ 暴,这表明这种事件是很常见的。

相对以前的探测器,BATSE的定位能力也有较大提高。BATSE包含8个子探测器,分布在六面体的8个顶点上。只要不被地球遮挡,每一个子探测器都能随时观测来自天空任一方向的 γ 暴事件,只是单个子探测器无法给出 γ 暴的方向信息。但是 γ 暴发生时,一些探测器由于离暴的方向略微近些,记录到的触发时间就会稍早一点。所以通过各个子探测器记录到的触发时间之差(当然这个时间差只在 10^{-9} 到 10^{-8} s的量级),就可以计算出 γ 暴在天空中的方向了。不过这种方法的定位误差在 1° 到 7° 之间,而且即使是这样粗糙的定位也不能在 γ 暴发生之后很快就得到,而是要在地面进行数据处理,等处理好往往已是好几天之后的事情了。

20世纪70~80年代,天文学家们观测到的 γ 暴总数还只有200多次,BATSE则使得这个数值迅速增加为接近3 000次,而且这些暴大多具有方向信息。1997年之前人们对 γ 暴的认识主要就来自BATSE的观测资料。下面我们详细介绍 γ 暴在 γ 射线波段的一些主要观测特征,以及天文学家们从中得到的关于 γ 暴本质的启示。

(1) 持续时间。一次典型的 γ 暴一般持续几秒到几十秒,最长的可达上千秒,而最短的甚至只有几毫秒。大致说来,以 2 s 为界, γ 暴可分为长暴和短暴两种。长暴持续时间大多集中在 20 s 附近,短暴多集中在 0.2 s 附近,长暴的数目大约是短暴的 3 倍。而且总体上看,长暴中单个 γ 光子的能量平均要比短暴的光子能量略低些,或者说长暴能谱略微偏软。 γ 暴分为长、短两类的事实强烈暗示我们,它们具有不同的起源。例如长暴可能来自大质量恒星死亡时的塌缩,这个过程很容易产生持续几十秒的爆发;而短暴可能来自双致密星的碰撞,这个过程往往只持续很短时间。

(2) 光变曲线。天体的辐射强度随时间的变化情况称为光变曲线。图 1-1 给出了几个 γ 暴的光变曲线作为例子。 γ 暴的光变曲线有的很光滑,也有的很复杂,起伏很快且变化幅度很大。在一些 γ 暴事件中,整个光变曲线往往是由几百个小的脉冲组成的,这意味着暴源中存在着极其复杂的运动过程。特别值得注意的是,很多 γ 暴的光变时标很短,有些 γ 暴的光子流量甚至在 0.2 ms 的时间内由背景直接上升到了极大值。根据光变时标,天文学家可以用一个很巧妙的方法对天体

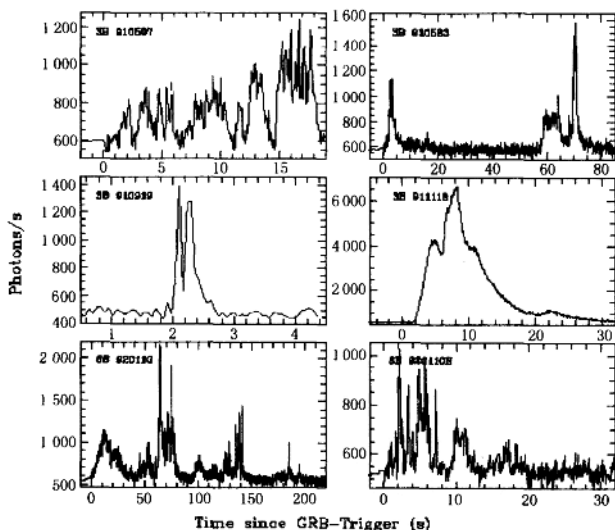


图 1-1 6 个 γ 暴的光变曲线

辐射区的大小给出一个限制:设一个静止或低速(指运动速度远小于光速 c)运动着的天体的光变时标为 Δt ,那么该天体的尺度一定小于光在 Δt 时间内走过的距离(即 $c \Delta t$)。这是因为光是以有限的速度(光速)传播的,对于一个球形天体,这使得其弯曲球面上同时发出的光子并不能同时到达观测者,而是会有个时间延展。如果该球形天体半径大于 $c \Delta t$ 的话,那么即使其表面的亮度同时改变,观测者最终看到的光变时标也会长于 Δt 。由此我们可以知道,如果 γ 暴辐射区相对于我们的整体运动速度远小于光速的话,其尺度一般应当小于几百千米,有的甚至不超过 60 km! 对于这样小的天体,即便是黑洞,质量也必然小于几十个太阳质量。因此,产生 γ 暴的天体最大也只能是恒星层次的。

(3) 能谱特征。每次 γ 暴都辐射出大量的 γ 射线光子,这些光子的典型能量在 100 keV(千电子伏)到几个 MeV(百万电子伏)之间,100 MeV 的高能端仍未见明显切断,有的光子能量甚至高达 20 GeV(十亿电子伏)。 γ 暴的能谱表现出明显的非热辐射特征,一般可用幂函数或分段幂函数拟合。20 世纪 80 年代末,曾有报道称日本的 Ginga 卫星观测到一些 γ 暴能谱在几十千电子伏附近有吸收线,刚好可解释成电子在中子星的强磁场中运动形成回旋吸收线。这被看做是 γ 暴起源于银河系内中子星的有力证据,在当时曾十分轰动。另外曾有报道称还发现了 400 keV 左右的发射线,也正好可解释成正负电子对在中子星表面湮灭再经引力红移形成。吸收线和发射线的报道使得“ γ 暴是银河系内的中子星表面发生的局部过程”的观点盛极一时。然而后来更灵敏的众多卫星均未证实这些吸收线和发射线的存在,现在人们对这些谱线的真实性普遍持怀疑态度。

(4) 空间分布。 γ 暴在空间中的分布是高度各向同性的。换句话说,不论你朝哪个方向看过去,单位面积的天空中曾经发生过的 γ 暴次数都是一样的。这个结果早在 1991 年 CGRO 上天之前人们就已得到,CGRO 上天之后,BATSE 的结果进一步证实了其正确性,见图 1-2。这种各向同性的分布特点能为我们了解 γ 暴的起源提供极其有价值的线索。例如,如果认为 γ 暴产生于我们所在的银河系内的恒星的话,由于地球离银心有 2 万多光年远,那么 γ 暴很可能主要发生在离银心 30 万光年以外的银晕中,这样在地球上看过去它们才会显得具有如此高度各向同性。此时一次典型的 γ 暴辐射的能量大约是 10^{36} J,即大致相当于太阳在 1 000 年内辐射的总能量。但这种银晕 γ 暴模型面临着—个明显的困难:位于南天的大麦哲伦云和小麦哲伦云是离我们银河系最近的两个星系,距离大约是 15 万光年,按理这两个星系应当像我们

的银河系一样,其星系晕中也有很多 γ 暴发生,因此我们应该在大、小麦哲伦云方向看到相对较多的 γ 暴才对,事实却并非如此。实际上,更自然的想法是认为 γ 暴产生于遥远的宇宙学距离上(即几十亿光年之外)。宇宙中的物质是均匀分布的,这很自然地解释了 γ 暴的各向同性。另外 BATSE 的观测资料还表明强度较弱的 γ 暴数目明显偏少。如果认为所有 γ 暴的内禀峰值辐射功率彼此相差不大的话,那么我们可以根据观测到的 γ 暴峰值强度来判断它们的相对距离;看上去越弱的 γ 暴,离我们应当越远些。接受这一合乎逻辑的假定后,弱源偏少的事实告诉我们:距离越远,单位体积的宇宙空间中产生的 γ 暴次数似乎越少,这一点恰好可以解释成宇宙膨胀的影响。高度各向同性以及弱源数目偏少,这是 BATSE 取得的最重要的两个成果,它们使得 γ 暴的宇宙起源假说在 20 世纪 90 年代逐渐流行起来。

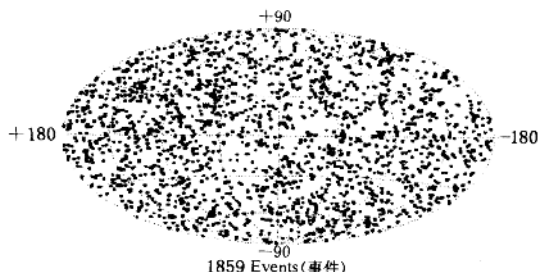


图 1-2 BATSE γ 暴在天空中的各向同性分布

(5) 爆发能量。单次 γ 暴在 γ 射线波段辐射到地球的总能量一般介于 $10^{-10} \text{ J/m}^2 \sim 10^{-7} \text{ J/m}^2$ 之间,典型值可取作 10^{-8} J/m^2 。如果产生于宇宙学距离上(约 100 亿光年),那么一次典型的 γ 暴释放的 γ 光子总能量将高达 10^{45} J ;如果 γ 暴起源于银晕中(约 30 万光年),辐射总能量是 10^{36} J ;而如果产生于银盘内(约 1 000 光年),能量则只有 10^{31} J 。特别地,要是 γ 暴就发生在我们太阳系外围的奥尔特云中的话,能量将不到 10^{20} J 。在这四种情况下产生 γ 暴的天体和机制必将完全不同,由此也可以看出距离对 γ 暴研究的重要性。然而不幸的是很长时间里人们对 γ 暴的距离一点概念也没有,甚至连它们到底是远在天边,还是近在眼前都完全不知道。

(6) 不重复爆发。一般来说,同一个天空方向不会发生 2 次或 2

次以上的 γ 暴。当然严格来讲,由于 γ 暴从发现至今也不过 40 年,表面上看我们似乎只能说同一个暴源在几十年内不会重复发生第二次 γ 暴。但是由于目前发现的 γ 暴总数已接近 3 000 次,这些 γ 暴全都不重复发生,因此不重复爆发的结论还是相当可靠的。这个简单的事实也能为我们了解 γ 暴的起源提供重要线索,例如据此我们基本可以确定 γ 暴不应当是中子星表面的局部过程。大家都知道地震就是地球表面的局部过程,因此地球上每天都会发生约 300 起大大小小的地震。类似地,如果 γ 暴是中子星表面的局部过程的话,那么同一颗中子星应当有能力反复产生 γ 暴事件,这与 γ 暴不重复爆发的特点明显不符。

本节的最后,我们也特别说明一下,其实在 γ 暴中还有一个特殊的小类别,称为软重复暴。软重复暴目前一共只观测到了 5 个源,每个都可不规则地重复爆发。从 20 世纪 70 年代被发现至今,这些源中最活跃的已重复爆发了 100 多次,最少的则只有不到 10 次。软重复暴的另一个显著特征是平均光子能量很低,只有 30 keV 左右。现在天文学家已基本确定软重复暴产生于银河系或近邻星系内的年轻中子星,它们的磁场可能高达 10^{15} 到 10^{16} Gs(高斯, $1\text{ T}=10\,000\text{ Gs}$, 普通中子星的磁场约在 10^8 到 10^{13} Gs 之间),软重复暴就是由一些与磁场相关的运动过程产生的。与软重复暴相区别,其他的 γ 暴则称为经典 γ 暴。经典 γ 暴在 γ 暴总数目中占了绝大部分,通常人们提到的 γ 暴都是指经典 γ 暴。本文中的“ γ 暴”一词,除非特别指出,也都指的是经典 γ 暴。

第 3 节 γ 暴源距离之争

长期以来围绕着 γ 暴距离的争论是异常激烈的。关键的困难在于 γ 射线探测器对 γ 暴源的定位精度很差,方向测量的误差一般在 1 度甚至几度以上,而且像这种粗糙的定位结论也通常要在 γ 暴发生十几天甚至几十天之后才能得到。大家知道天上肉眼可见的星星大约有 6 000 颗,这大致相当于每 10 平方度的天球面积中有一颗肉眼可见的恒星。但是肉眼看不见的暗弱的恒星和星系数目则要多得多!哈勃空间望远镜曾做过 3 次有趣的观测,每次都专门对准一个方向连续曝光 10 天左右,结果发现在 1 平方角分的天空中就有上千个星系。这意味着在 10 平方度范围内,仅星系的数目就将达到惊人的 360 万个!再加上十几天甚至几十天的时间延迟,这样一来,地面上的天文学家根本就无法去找到 γ 暴在光学、红外和射电等波段的对应体,也就无法确定其距离。

20 世纪 70 年代人们就已经注意到 γ 暴是各向同性地发生的,考虑到我们整个宇宙的物质分布在大尺度上是非常均匀的,于是很自然

就有人提出 γ 暴应当是产生于遥远的宇宙深处。但仅从各向同性特点出发来解释距离并不是惟一的选择。例如,也有人提出 γ 暴可能发生在我们的银河系的星系晕中。虽然我们所处的太阳系偏离银心 2 万多光年,但银晕可延展至离银心 10 万光年处,因此从太阳附近看过去,银晕还是高度各向同性的。另外也有人认为 γ 暴来自银河系的银盘中。银盘的厚度大约是 2 000 光年。的确,如果我们的视野只局限于银盘内,那么我们只能看到一些亮的恒星,它们也应该是各向同性地分布在天球上面。甚至还有人相信 γ 暴就发生在我们的太阳系里,例如奥尔特云中。奥尔特云是分布在离太阳约 0.2 光年的一圈物质,长周期彗星就是起源于奥尔特云中。从地球上看过去,奥尔特云也是各向同性的。上面这些想法都能满足各向同性的要求。但除此之外各派学者都拿不出更充足的证据,谁也说服不了谁, γ 暴也因此而显得更加神秘起来。

20 世纪 80 年代末,情况似乎出现了一点转机,日本的科学家利用他们的 Ginga 卫星观测到几个 γ 暴的 X 射线辐射。通过分析 X 射线能谱,他们在几十千电子伏处找到了一些吸收线的证据,并把这些吸收线解释成电子在强磁场中的回旋吸收。由此计算出的磁场高达 10^{12} Gs,这刚好是中子星表面磁场的量级。据此他们提出 γ 暴来自银盘内的中子星,是中子星表面的局部过程。这一观点很快被绝大多数人所接受。在 1990 年的一次关于 γ 暴的国际学术会议上,除了美籍波兰科学家帕辛斯基一个人仍坚持宇宙学起源的观点外,几乎所有其他科学家都认为 γ 暴是银河系起源的,并且相信即将发射的灵敏度更高的 CGRO/BATSE 会给出更进一步的证据;随着总数目的增加, γ 暴会表现出向银道面和银心集中的趋势。然而 1991 年 CGRO/BATSE 投入运行后,新结果完全出乎人们意料:虽然观测到的 γ 暴数目迅速上升了一个数量级,但其各向同性的特征却更加明显了(见图 1-2)。另外 BATSE 还揭示出较弱的 γ 暴数目明显偏少的重要特点。相当一部分的科学家开始转而支持 γ 暴的宇宙学起源,但同时有很多科学家提出银晕起源的可能性仍不能被排除。这样一来, γ 暴的距离之争顿时又空前激烈起来。

20 世纪天体物理学领域中曾经有过两次影响深远的大辩论,都是关于距离的。第一次大辩论指的是 20 年代夏普勒和柯蒂斯关于“星云”本质的争论。当时天文学家们发现夜空中除了有大量的点状恒星外,还有大量模糊的延展源,它们被统称为“星云”。夏普勒认为这些“星云”全部都是银河系内的气体和尘埃团,我们的银河系就是整个宇

宙；而柯蒂斯则认为“星云”是位于银河系之外的其他星系，银河系只是宇宙中极为普通的一个星系。1925年，两人曾在华盛顿自然历史博物馆中进行了一场著名的公开辩论。由于观测手段的进步，几年之后人们就用大望远镜将某些星云分解为恒星集团，柯蒂斯获胜。这次大辩论使得人们的视野由银河系内拓展到了银河系之外，天文学以及人们的自然观也因此向前迈进了一大步。第二次大辩论是20世纪60年代人们关于类星体距离的争论。类星体是当时天文学家们新发现的一种点状源，光谱中表现出很高的红移（可达0.1或以上，这在当时已经是高红移了。当然今天人们发现的类星体和星系，红移最高的已经超过6.0）。根据类星体的点状特征，它们的空间尺度应该是不大的，例如小于1光年。但如果按照哈勃定律去计算，它们的距离将非常遥远，从而其辐射功率可高达太阳的 10^{14} 倍！绝大多数天文学家都难以相信在一个小于1光年的空间范围内竟能稳定地释放出如此巨大的能量来。类星体红移是否是宇宙学红移的问题，成了当时天文学家们激烈争论的一个焦点。最终，随着观测到的高红移类星体数目的迅速增加，以及人们对超大质量黑洞和星系演化的理解，宇宙学红移的观点占了上风，人们的视野也因此一下子扩展到了宇宙的边缘。

关于 γ 暴距离问题的激烈争论现在通常被人们称为20世纪天体物理领域的第三次大辩论。有趣的是，1995年，持银晕起源观点的代表人物、美国科学家兰牧和坚持宇宙学起源的帕辛斯基，就在当年夏普勒和柯蒂斯展开辩论的大厅里，也就 γ 暴的距离问题进行了一次公开辩论，当时的与会者支持兰牧的和支持帕辛斯基的基本上各占一半。人们期待着这场关于 γ 暴距离的第三次大辩论同样会给天体物理带来令人振奋的进步，但关键的问题是这次辩论何时会有一个完美的答案。

第4节 γ 暴余辉的发现

最终的突破性进展来自1997年初BeppoSAX卫星的杰出贡献。BeppoSAX是意大利和荷兰合作研制的，1996年底发射升空。它独创性地集X射线和 γ 射线探测器于一体，即上面除了有一个对全天空敏感的 γ 射线探测器外，还有一个 $40^\circ \times 40^\circ$ 视场的X射线望远镜，随时都监视着一块面积占全天5%的天空。如果某个 γ 暴刚好在这块天空内发生，那么 γ 射线探测器和X射线望远镜就会同时各自独立地记录到一次爆发事件，且X射线和 γ 射线的光变曲线将高度相关。于是X射线望远镜就可对该暴给出误差在3角分之内的精确位置来。重要的是，BeppoSAX小组还充分利用了互联网时代信息快速传递的优势，每