

γ 射线暴理论中有争议的两个问题

文冠一

γ 射线暴是指宇宙射线中的 γ 射线爆发,属宇宙线天体物理学研究的范畴.它是通过对 γ 射线爆发所释放出来的巨大能量的研究来认识我们目前的宇宙及天体的演化.

高能天体物理学主要研究发生在宇宙天体上的高能现象和高能过程,它研究的对象是:有高能粒子或高能光子参与的现象或过程,例如超新星爆发、星系统的活动和爆发、天体的X射线和 γ 射线辐射、X射线暴、 γ 射线暴、和中微子的产生、传播、演化等过程.随着类星体、脉冲星、宇宙X射线源、 γ 射线源的相继发现,空间技术和基本粒子探测技术在天文观察中的广泛应用以及高能物理学对天体物理学的不断渗透,对宇宙中高能现象和高能过程的研究日益活跃.高能天体物理学和高能物理学之间有十分密切的联系,它们互相渗透,互相促进.

而宇宙线天体物理学又是宇宙线物理学中的一个分支,它主要利用宇宙线进行天文观测.研究天体和宇宙空间的状态、组成和演化规律.研究宇宙线的起源、能量的强度分布、密度的分布、加速、传播和演变.

由于物理学理论,尤其是相对论、核物理学、粒子物理学和微波波谱学以及空间技术、红外技术和其它现代化的技术在天文学上的应用,使科学家们能够逐步认识到天体和宇宙的物理本质,

国内需求,小规模、高水平、有特点地开展核数据测量;核技术应用研究努力向其他交叉学科渗透.经过长期的酝酿和慎重的研究,中国原子能科学研究院提出了在现有的串列加速器上建设北京放射性核束装置的建议.它的建成将为我国核物理研究在新核素的合成与性质研究、远离 β 稳定线的核结构研究、核天体物理学研究等领域创造大量的机会,同时在材料科学、生命科学及原子物理等交叉学科中有广阔的应用前景.

抚今追昔,成绩来之不易.展望21世纪,

洞察天体和宇宙形成的奥秘,为天体物理学的研究和发展提供了理论基础.目前宇宙线天体物理学在 高能天体物理学中占有越来越重要的地位,它正在为阐明地球、太阳和太阳系的来龙去脉,星系的起源和演化,宇宙 的过去、现在和未来,地球外生命和地球外文明等当代重大课题作出贡献.

50多年前,人们发现了一种穿透能力很强的辐射——宇宙线.宇宙线从宇宙中射到地球上来,但多年来人们一直没有搞清这种辐射所包含的成份,现在,人们已经知道,宇宙线是一些带电的粒子——质子、原子核、电子和正电子,还有从宇宙中向我们射来的X射线和 γ 射线,中微子以及X射线暴和 γ 射线暴.

早在1958年人们就提出了建立 γ 射线天文学的问题,并由此进行了许多观察、测量和研究.1963年苏美两国签订了禁止在大气层和外层空间中爆发核装置的条约,为了监督该条约的执行,美国发射了四颗维拉卫星系列.卫星中的仪器是由洛斯·阿拉莫斯实验室设计的,能检测到由核爆炸释放出来的各类辐射:“在核裂变和聚变时发射的 γ 射线,热辐射和高能中子.”维拉卫星系统没有检测到由核试验所释放出的 γ 射线辐射,但从1969年7月到1972年7月,却意外地记录到了16次 γ 射线爆发,每次的持续时间由分之一秒到几十秒不等.特别需要指出的是,在

充满机遇和挑战.我们有信心按照“统观全局、突出重点、有所为有所不为”的原则,规划好实验室的中远期发展目标,争取为我国核事业和核物理科学的发展再立新功.

我们的前辈科学家在极端艰苦的条件下几乎是从零开始发展起我国今天的核物理事业.我们今天有责任继往开来,建设好串列加速器核物理国家实验室,无愧于前辈科学家对我们的殷切期望.

几个相距很远的维拉卫星上也观测到了 γ 射线暴。所以,我们可以排除出现 γ 射线暴是由于某个卫星上的仪器误差或失灵所致。1973年,美国维拉卫星探测到了人类自发现 γ 射线暴以来的第一个极其强烈的 γ 射线暴,其辐射强度的变化异常激烈,它每秒辐射的能量高达太阳每秒辐射能量的 10^7 倍,而它辐射这一巨大能量的面积却是太阳表面积的 10^{-6} 倍,这一发现使高能天体物理学界大为震惊。1979年3月5日,在太阳系中不同位置上运行的九颗人造卫星记录到了大麦哲伦云中发生的一次 γ 射线超爆,它的辐射强度比1973年纪录到的强度又增加了 10^4 倍以上。

我们知道, γ 光子的速度等于光速,所以在不同位置上的卫星不能同时检测到 γ 射线暴。由于维拉系列卫星与卫星之间的距离达24万公里,这就造成了 γ 射线暴的最大滞后时间几乎等于1秒,而仪器记录这种暴的精度达到百分之几秒,所以检测结果绝对可靠。从另一角度来看,由于卫星之间存在距离而产生检测记录到的 γ 射线暴的滞后时间,同时考虑到卫星的已知位置,基本上能肯定 γ 射线暴不是来自太阳或地球。但在 γ 射线暴的方向上,至今还没有发现任何不寻常的“对应天体”。上述 γ 射线暴是极强的,据科学家们推测应该是中子星碰撞或爆炸而产生的 γ 射线暴。目前,这种观点在宇宙线天体物理学中占据了统治地位。至于这些 γ 射线暴的源到地球的距离有多大,宇宙线天体物理学界有两种不同的观点。一种观点认为 γ 射线暴起源于距我们地球较近的银河系,这里,我们也可以把它叫做近处起源;另一种观点认为 γ 射线暴起源于距我们地球相对来说较远的宇宙,根据宇宙学起源模型的理论我们把它叫做宇宙学距离。但究竟是起源于银河系还是起源于宇宙学距离,这是至今为止宇宙线天体物理学中尚未解决的难题。

70年代是宇宙线天体物理探测取得巨大成就的年代。对于 γ 射线暴的发现,就其本身来说是一件十分有意义的事,因为发现这种射线暴将有助于我们研究 γ 射线暴的物理学机制和起源。

1996年7~8月间,中国科学院高能物理研究所宇宙线和高能天体物理实验室的余文飞、吴枚

等专家对美国康普顿 γ 射线天文卫星(CGRO)上的探测器BATSE记录到的,由美国航空航天局马歇尔航天中心处理,并由哥德航天中心的GRO科学数据中心和太阳数据分析中心提供,对世界天文学家公开的数据进行了分析。从1991年4月19日到1992年3月5日,共记录到 γ 射线暴261次。他们采用标准烛光假设并假定 γ 射线暴在欧几里德空间呈均匀分布,计算了 γ 射线暴的 $\log N(>P) \sim \log P$ 分布曲线,也叫大小谱,得到了暴的数目与强度成 $-3/2$ 次幂的关系。但是PVO及CGRO的RATSE的观测数据与 $-3/2$ 次幂规律有很大的偏离。对这种偏离有两种不同的解释,一种解释认为 γ 射线暴是近处起源即起源于银河系、其本身的分布是满足 $-3/2$ 次幂规律的,只是由于探测器本身探测效率的影响造成了低强度暴数目的减少;另一种解释认为 γ 射线暴是产生在宇宙学距离上,符合宇宙学起源模型的理论,只是由于宇宙学红移(红移:是美国天文学家哈勃对恒星和星系进行了观测、分析和研究,发现了所有具有线光谱的星系,其谱线都移向光谱的红端,我们把它叫做恒星谱线的红移现象。哈勃通过研究确定了星系谱线的红移相对于我们地球之间的距离存在着线性关系,即河外星系的光谱红移是与星系离开我们速度与距离成线性关系的,也就是说,离开我们越远的星系远离我们的速度越快)的影响造成了低强度暴数目的减少,即这种现象反映了 γ 射线暴的实际分布性质。这两种观点的区别是十分明显的。如果第一种解释正确的话,那么实测的 γ 射线暴的大小在对探测器的效率进行修正后应该符合 $-3/2$ 次幂规律;如果第二种解释正确的话,则根据宇宙学起源模型的理论并考虑宇宙学红移的影响后,计算出的理论结果应和实测结果相符。

科学家们在上述的分析中采用了较简单的宇宙学模型,同时考虑了探测器效率的修正和其他方面的误差因素对观测结果的影响,在计算大小谱的分布曲线时,选取 γ 射线暴的光度和空间分布密度为常数,得到的理论计算值在误差范围内与实验观测BATSE得到的大小谱分布曲线没有显著的偏离,即由宇宙学模型理

论得出的理论计算值曲线和实测曲线基本吻合,也就是说上述的分析结果是支持 γ 射线暴起源于宇宙学距离上的。

在这之后,他们又分析了1991年~1995年BATSE探测到的1000多个 γ 射线暴(在25keV~2MeV能量区域内)观测记录数据,经分析后指出:“BATSE所观测到的 γ 射线暴强度在空间分布不均匀(弱暴缺乏),是成为 γ 射线暴宇宙学起源的主要依据之一, γ 射线暴的时间膨胀和弱暴能谱较强暴低也是 γ 射线暴宇宙学起源的迹象”。

另一方面,他们分析了1991年~1995年BATSE探测到的4000多个太阳硬X射线暴记录数据。太阳硬X射线暴作为太阳系内的高能爆发,对它性质的了解将有助于我们重新理解 γ 射线暴宇宙学起源的证据。经分析研究,他们发现BATSE γ 射线暴的微分强度分布同BATSE太阳硬X射线暴的微分强度分布很相似。因此,太阳硬X射线暴的强度分布和 γ 射线暴的强度分布的相似性使人们对将 γ 射线暴的 $\log N(>P)-\log P$ 分布作为它起源于宇宙学距离的证据提出了疑问,也就是说,太阳硬X射线暴的强度分布对 γ 射线暴的非宇宙学起源模型有利。在这里,太阳硬X射线暴和 γ 射线暴这两种高能爆发在产生机制上具有的相似性也许还有其他更深层次的原因。

综上所述,很显然我们在对 γ 射线暴的记录数据和太阳硬X射线暴的记录数据以及这两种暴之间的关系进行了分析研究后得出了两种截然不同的看法。

70年代至今, γ 射线暴的研究一直是科学家们感兴趣的问题,这种神秘的 γ 射线暴现象持续时间较短,而且没有观测到其他波段上的对应体,它是银河系起源还是宇宙学距离上起源仍是人们争论不休的问题,但人们还从来没有在同一个方向上观察到两次或两次以上的 γ 射线暴。也就是说,不管 γ 射线暴的源在银河系还是在宇宙学距离上, γ 射线暴在同一个方向上只能出现一次。这种情况和科学家们推测的在宇宙深处中子星碰撞爆炸而产生 γ 射线爆

发的物理机制相吻合。这是因为碰撞产生爆炸而使天体毁灭具有不可重复性,所以在宇宙同一方向位置上只能出现一次 γ 射线暴。

美国康普顿 γ 射线观测卫星CGRO自1991年进入太空5年多来,已经观察记录到1700多次发生在不同位置上的 γ 射线暴。1996年10月27日,该卫星观测到一次长达100秒的 γ 射线暴,15分钟后又观测到另一次仅持续0.9秒的爆发。10月29日,在同一方位,该卫星又在间隔11分钟的时间内,先后观测到两次分别持续30秒和750秒的 γ 射线爆发。最后的这次爆发是康普顿天文卫星观测到的 γ 射线爆发中时间最长,发出能量最大的一次。也就是说,在10月27日到10月29日观察到的4次 γ 射线爆发均在同一个方位上。

对此,专家们认为在宇宙同一方向上重复观测到 γ 射线爆发纯粹是一种巧合,并推测这种爆发是宇宙中某个天体最终死亡时产生的。最流行的一种观点是宇宙深处的中子星发生碰撞爆炸而产生 γ 射线爆发,它们应分别来自不同的源头,所以在同一方向上只能出现一次 γ 射线爆发。而另一部分专家则认为上述观察到的4次 γ 射线爆发至少有两次是来自于同一个源头,并由此对 γ 射线暴的现行物理学观点提出了怀疑。

γ 射线暴究竟是起源于银河系,还是起源于宇宙学距离,这一问题是在宇宙线天体物理学目前尚未解决的问题。现在又出现了在同一方位上观察到两次或两次以上 γ 射线暴的问题,即1996年10月27日~1996年10月29日美国康普顿天文卫星观察到的4次同一方位上的 γ 射线暴。为此,一部分专家认为上述4次 γ 射线暴至少有两次是来自同一个源头,而对中子星碰撞爆炸产生 γ 射线暴的观点提出了怀疑。如果这种结论得到确认,则说明现有的宇宙线天体物理学理论与上述结果是矛盾的并且现有的宇宙 γ 射线暴理论根本不成立,且有待于重新解释,那么宇宙线天体物理学的理论框架也得推倒重建。这真是一波未平,一波又起。但我们相信,随着观察手段和科学技术水平的现代化以及科学研究的迅猛发展,科学家们最终会对 γ 射线暴的物理学机制提出一个完备的物理学理论解释。