
伽马射线暴的研究故事

陆 埏

中国科学院 紫金山天文台

伽马射线暴，简称伽马暴，是宇宙空间中伽马射线短时间突然增强的一种现象。这种现象的发现要追溯到 20 世纪 60-70 年代，那时，国际政治正处于冷战时期。为了监测苏联等国家是否进行核武器爆炸试验，美国向太空发射了几个 Vela 系列的军事卫星。因为核武器爆炸总要放射出大量的伽马射线，Vela 卫星上就安装了一些测量伽马射线的仪器。单一卫星无法确定伽马射线来自何方向。为了测定方向，Vela 卫星总是成对地发射升空的。有趣的是，美国的 R. W. Klebesadel 等人果然在 1969 年 7 月至 1972 年 7 月间在 Vela 5a-Vela 5b 和 Vela 6a-Vela 6b 两对卫星的观测数据中，发现了 16 个伽马射线突然增强的实例。但是他们发现，这些伽马射线均不是来自地球方向，也不是来自太阳方向，而是来自宇宙空间。显然，这些事例均与核武器爆炸无关，它们应当是一些尚不为人所知的天文新现象，这种天文现象就叫做伽马暴。

由于伽马暴放射伽马射线的持续时间很短，一般只有几秒到几十秒，短的甚至可以只有几毫秒，长的也只能到千秒量级。伽马射线强度变化很快，在远短于毫秒的时间内就可以有显著的变化，因此，伽马暴源的大小只能在百公里以内，否则伽马暴源不同地方发出的光到达观测者的时间有先有后，会把原来的快速变化平均掉而看不到。小于百公里，意味着伽马暴源只能是恒星级（而不是星系级）天体，甚至只能是致密恒星，比如中子星半径约为 10 公里，恒星级黑洞更小。

天文上最重要也最难的就是测定距离。如果不知道距离，等于什么也不知道。比如，发现一个亮点，如果距离很近，它可能只是一只萤火虫，如果很远，也许会是一颗星。伽马暴的距离极难测定，因而长期处于神秘状态。直到约 20 年前，Compton 卫星上的仪器（BATSE）发现伽马暴在空间中的分布是高度各向同性的，才意识到原来伽马暴远在“天边”（即在宇宙学距离上，离地球达几十亿光年甚至更远），特别是直到 1997 年，意大利-荷兰 BeppoSAX 卫星发现了伽马暴的余辉（即在短暂的伽马射线发射停止后，还会有 X 射线、可见光、射电连续辐射长达几天、几个星期甚至几个月或年）。余辉的发现使伽马暴的可观测时间从若干秒钟延长到了几个星期甚至几个月或更长，有充裕的时间进行研究，为直接测定它的距离提供了可能。正由于测定了距离，确证它们是在宇宙学距离上，因而能量极高，温度极高，一定形成了一个极高温度的火球。这个火球必然要膨胀，其内各个不同膨胀速度壳层之间相互碰撞会产生内激波而导致伽马暴，发射同步辐射伽马射线；火球继续膨胀而与均匀星际介质碰撞会产生外激波而导致余辉，发射较低能量（较长波长）的同步辐射。因此，伽马暴这个神秘现象得到了比较自然的合理解释，被称为伽马暴的标准模型。

陆埏和他的学生（戴子高、韦大明、黄永锋、王祥玉等）深深感觉到，标准

模型的建立不是给伽马暴的研究画上了句号,而是提供了新的研究起点。事实上,标准模型中包含了不少简化假设,研究这些假设,就开辟了新的“后标准时代”,寻找那些“后标准效应”,进而揭示诸如伽马暴起源、演化历程、能源机制以及辐射性质等基本问题。

标准模型假设火球以极端相对论速度(大于 $0.9999c$, c 为真空中的光速)膨胀,对起始速度而言,这无疑是正确的。但是,他们发现,火球膨胀减速很快,往往几天,至多几十天后,火球膨胀就要减速到非相对论,而余辉往往可以延续较长时间,甚至可到几个月或年。因此,极端相对论模型不适用于余辉的晚期演化。为此,他们提出了一个余辉动力学演化的统一模型,可以描述从早期极端相对论到晚期非相对论膨胀的整个演化过程。

通过研究一些伽马暴(GRB970616等),他们发现,这些伽马暴的环境不是标准模型所认为的均匀星际介质,而是密度与距离成平方反比关系的星风介质。随后,GRB980326、GRB980519、GRB991208、GRB000301C、GRB040106、GRB081109A等伽马暴周边也被发现是星风环境。这种环境正是前身星的星风造成的,表明伽马暴起源于大质量恒星的塌缩。2003年发现的伽马暴GRB030329与超新星SN2003dh成协,证实了伽马暴(特别是长暴)起源于大质量恒星塌缩的观点,它们是Ib、Ic型超新星爆发的结果。他们还找到一些伽马暴,其环境密度颇高,是致密介质,也不同于通常的星际介质。这种介质可能与星云、恒星形成区有关,也意味着与大质量恒星的塌缩有关。

1998年他们指出,在一些伽马暴生成时有可能在其中心形成了一颗强磁场的毫秒脉冲星。这种脉冲星可以在伽马暴主暴结束后以磁偶极辐射的形式持续向火球注入额外能量,使余辉的光变曲线显著变平。2004年后发射的Swift卫星发现了大量早期X射线余辉光变曲线确实存在“变平段”,美国科学院院士Gehrels等将GRB070110余辉光变曲线的平坦段视为这一持续活动中心引擎的直接证据。这个中心引擎效应已经得到了广泛应用。

他们还指出,同步辐射固然是伽马暴辐射的主要形式,但在一些条件下,逆康普顿散射也会对伽马暴余辉起重要作用。特别是对于谱指数比较大的,介质比较稠密的伽马暴,逆康普顿散射可以有相当重要的贡献,而且会明显影响余辉光变曲线的形状。还有,利用反向激波中电子的同步自康普顿辐射,还可以对伽马暴的早期高能光子作出重要贡献。

在上述各项后标准研究中,也提供了各种环境参数等遵循的一个余辉动力学演化的统一模型方程组,可以给出喷流的演化规律。

从上世纪60-70年代的一个误导信号起始,现在伽马暴已经发展成为一个相当壮观的多波段、全波段的天文新学科。2011年,这个领域已经获得了号称东方诺贝尔奖的邵逸夫天文学奖。它能否进一步获得诺贝尔奖,不久的将来便会见分晓。