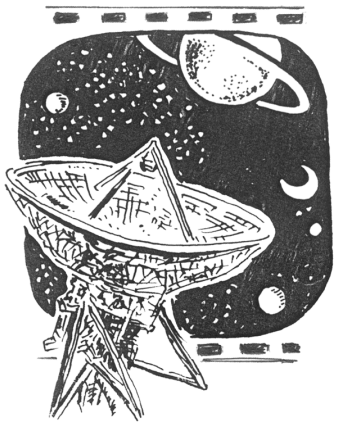

GLAST：观察宇宙的新窗口

——美国 2008 年发射 γ 射线大面积空间望远镜

李　良

2008 年科学家将开启一扇观察宇宙的新窗口，这就是“γ射线大面积空间望远镜”于 2008 年 6 月 11 日在美国卡纳维拉尔角肯尼迪航天中心发射升空。这颗科学探测卫星，其英文全称为 Gamma-ray Large Area Space Telescope，缩写为 GLAST。该项目由美国、法国、德国、意大利、日本和瑞典 6 个国家的政府和科研人员共同开发，其设计寿命为 5~10 年。其科学任务是：探索宇宙间最极端的太空环境，在这种环境条件下，自然可以产生地球上所无法想象的能量；搜寻新物理学规律存在的迹象，以及神秘暗物质的组成成分；了解黑洞是如何将物质的巨大喷射加速到近乎光速；揭开γ射线爆发能量惊人之谜；诠释有关太阳耀斑、脉冲星和宇宙射线起源等问题。

神秘的γ射线暴

夜幕降临，天穹上星星点点如烛光闪烁。随着夜色的加深，除了一闪划过的流星，地球的夜空看上去总是那么的寂静、安详。

其实不然，在伽马（γ）射线波段，人们看到的宇宙是一个充满了突发“暴力”事件的地方，譬如有活动星系核的爆发活动，有正以接近光速向外抛射物质的超大质量黑洞，有大质量恒星的瓦解性爆发和爆发后留下的闪闪发亮的遗迹余辉，还有携带强大磁场的超致密中子星，等等。宇宙中的γ射线还可能涉及神秘的暗物质。通过有效的观测手段，天文学家完全可能见证那些短暂却极为激烈的、宇宙中最为强大的爆发——γ射线暴（以下简称γ暴）。

γ射线是光的最高能形式。在银河系里，当宇宙射线以接近光速的速度与星际气体相撞时会产生γ射线。黑洞和中子星也是产生γ射线的源。γ射线是波长小于 0.1 纳米的电磁波，是比 X 射线能量还高的一种辐射。但是大多数γ射线会被地球的大气层阻挡，观测必须在地球大气之外进行。冷战时期，美国用于监视核爆炸的侦察卫星在 1967 年偶然发现来自浩瀚宇宙空间的γ射线在短时间内突然增强的现象，人们称之为γ暴。出于军事保密等原因，这个发现直到 1973 年才公布出来。令天文学家感到困惑的是，一些γ射线源会突然出现几秒钟，然后消失。这种爆发释放能量的功率非常高，一次γ暴的“亮度”相当于全天所有γ射线源“亮度”的总和。随后，不断有高能天文卫星对γ暴进行监视，差不多每天都能观测到一两次的γ暴。

γ暴的持续时间很短，长的一般为几十秒，短的只有十分之几秒，亮度变化复杂而无规律。但释放的能量却十分巨大，若干秒钟内放射出的γ射线能量相当于几百个太阳一生（100 亿年）中释放的总能量！例如 1997 年 12 月 14 日发生的γ暴，距地球远达 120 亿光年，释放的能量却比超新星爆发还要高几百倍，50 秒内释放的γ射线能量相当于整个银河系 200 年的总辐射能量。这个γ暴在一两秒内的亮度与除它之外的整个宇宙一样明亮。其附近几百千米范围内，再现了宇宙大爆炸后 10^{-3} 秒时的高温高密情形。1999 年 1 月 23 日发生的γ暴比这次更猛烈，释放的能量是 1997 年那次的 10 倍。

关于γ射线暴的成因，至今尚无定论。有人猜测它是两个中子星或两个黑洞发生碰撞时产生的；也有人猜想是大质量恒星在死亡时生成黑洞的过程中产生的，但这个过程要比恒星内核坍塌导致的超新星爆发剧烈得多，因而，也有人干脆把它叫做“超超新星”。

早在二十世纪七八十年代，人们普遍相信γ暴是发生在银河系内的现象，推测它与中子星表面的物理过程有关。然而美国波兰裔天文学家帕钦斯基却独树一帜，他在上世纪 80 年代中期提出γ暴是位于宇宙学距离上和类星体一样遥远的天体（实际上就是说，γ暴发生在银河系之外）。然而那时的研究者已被“γ暴是发生在银河系内”的理论统治多年，所以对帕钦斯基的观点往往付之一笑。但是几年之后，情况发生了变化。1991 年，美国的“康普顿γ射线

天文台”发射升空，γ暴终于受到全面、系统的监视。几年下来，科学家发现γ暴出现在天空的各个方向上，这就与星系或类星体的分布很相似，而与银河系内的天体分布完全不一样。于是开始认真看待帕钦斯基的观点，由此也引发了 1995 年帕钦斯基与持相反观点的另一位天文学家拉姆的大辩论。

然而 10 年前无法测定γ暴的距离，因此辩论双方根本无法说服对方。γ暴在空间上随机发生，而且持续时间很短，因此无法安排后续观测。再者，除短暂的γ暴外，没有其他波段上的对应体，因此无法借助其他波段上的已知距离天体加以验证，也就难以判断谁是谁非。幸运的是，1997 年意大利发射的一颗高能天文卫星能快速、精确地测定γ暴的位置，于是地面上的光学望远镜和射电望远镜就可开展后续观测。天文学家首先成功发现了 1997 年 2 月 28 日γ暴的光学对应体，这种光学对应体被称为γ暴的“光学余辉”；接着看到了所对应的星系，充分证明了γ暴是宇宙学距离上的现象，帕钦斯基和拉姆的大辩论才有了最终结果。迄今全世界已发现 20 多个γ射线暴的“光学余辉”，其中大部分的距离已被确定，均为银河系以外的遥远天体。“光学余辉”的发现极大推动了γ暴的研究工作，使人们对γ暴的观测波段从γ射线发展到了光学和射电波段，观测时间也从几十秒延长到几个月甚至几年。

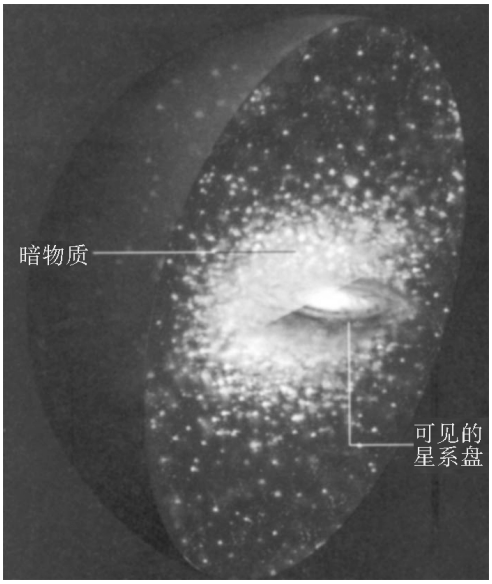

图 1　可见星系盘与暗物质艺术绘画

在 2002 年的一期英国《自然》杂志上，一个英国研究小组就报告了他们关于γ暴的最新研究成果，称γ暴与超新星有关。研究者研究了 2001 年 12 月的一次γ暴观测数据，欧洲航天局的 XMM（牛顿太空望远镜）观测到了这次γ暴长达 270 秒的 X 射线波段“余辉”。通过 X 射线观测，研究者发现了镁、硅、硫等元素在爆发处以亚光速向外逃逸，通常超新星爆发才会造成这种现象。2003 年 3 月 24 日，在加拿大魁北克召开的美国天文学会高能天体物理分会会议上，一部分研究人员宣称，他们已发现一些迄今为止的最有力证据，表明普通超新星爆发可能在几周或几个月之内导致剧烈的γ射线大喷发。这种说法一经提出就在会上引发了激烈争议。2004 年 11 月美国又发射了“雨燕”号γ射线探测器，它携带三台主要设备，即爆发预警望远镜、X 射线望远镜和紫外/光学望远镜。

大多数天体物理学家认为，强劲γ射线喷发来自超新星爆炸形成的黑洞。麻省理工学院的研究人员曾通过钱德拉 X 射线望远镜，追踪了 2002 年 8 月发生的一次时长不超过 1 天的超新星爆发。在这次持续 21 小时的爆发中，人们观察到大大超过类似情况的 X 射线。而 X 射线被普遍认为是超新星爆发后初步形成的不稳定中子星发出的。大量观测表明，γ射线喷发源附近总存在超新星爆发产生的质量很大的物质。反对上述看法的学者却认为，这些说法没有排除 X 射线非正常增加或减少的可能性。而且，超新星爆发与γ射线喷发之间存在时间间隔的原因仍不清楚。

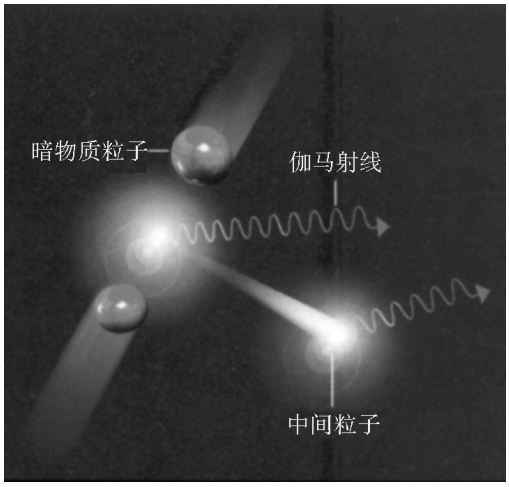

图 2　暗物质粒子相互碰撞可产生γ射线示意图

科学家提出，星系质量比直接观测到的可见物质总量还要大，那些“多出来的质量”是由什么物质构成的呢（图 1、图 2）？只有通过观测才能找到答案。科学家认为，如果利用γ射线望远镜观察到这些γ射线，就不仅能够确认暗物质粒子确实存在（从而排除其他的替代理论），还能揭示这种粒子的某些

性质，比如它的质量和相互作用特性，从而为物理学家提供一个解释暗物质的好机会。

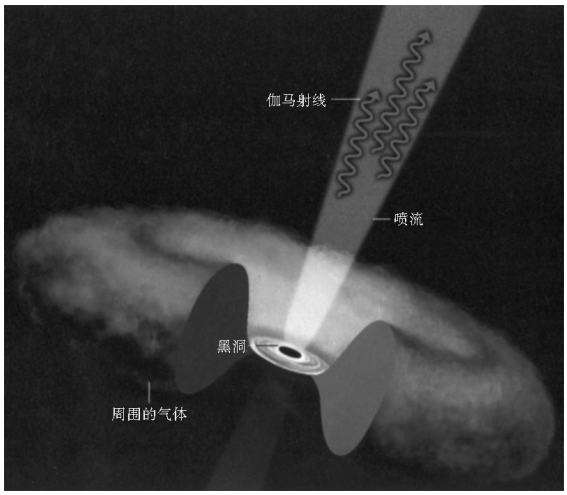

图 3　如图所示的超大质量黑洞，将是 GLAST 观测到的最常见的河外γ射线源

天文学家在过去几年间取得了可喜的发现——γ射线暴发与超新星有关。由于它们如此明亮，所以γ射线暴必须是一条准直束流，与灯塔发出的光锥相似，但要更加集中。否则，爆炸能量就相当于将几倍于太阳的质量瞬间转变为能量火球。

坍缩星理论认为，位于恒星正中心的固态铁球在引力作用下坍缩成一个黑洞，但这种瞬间坍缩总以唯一的方式发生。当铁和周围的物质下落时，核心自转加快，将下落物质展平为一个沿着赤道向内流动的盘面。下落物质相互聚集，挤压着其中一部分物质沿阻力最小的路径（位于两极的孔洞）向外逃逸。两极射出的物质撞击恒星的其他外侧包层，也许没有能力穿透这些物质。氢和氦包层的缺乏大概增加了喷流钻透出来的机率。有科学家指出，与恒星中心的下落物质盘相比，外侧包层的密度相对较小，但冲透这些恒星外层仍需如此多的能量；最终，如果它钻透出来，你就会得到一束γ射线喷流。一些 Ic 型超新星也许无法产生γ射线暴，这意味着喷流试图钻出来，但路上有太多物质阻挡，最终还是无法暴发。这就能解释，为什么一些此类天体中看不到伴随出现的γ射线暴。

图 3 所示的超大质量黑洞，将是 GLAST 观测到的最常见的河外 γ 射线源；如果拿它与太阳系相比，该黑洞的半径将超过火星轨道半径，围绕它旋转的物质盘可延伸至离太阳最近的恒星。高速运动的物质喷流可产生大量 γ 射线。研究这些 γ 射线，有助于了解某些极端环境下的物质特性。此外，导致 γ 射线暴的另一种可能解释是两个中子星的碰撞（图 4）。

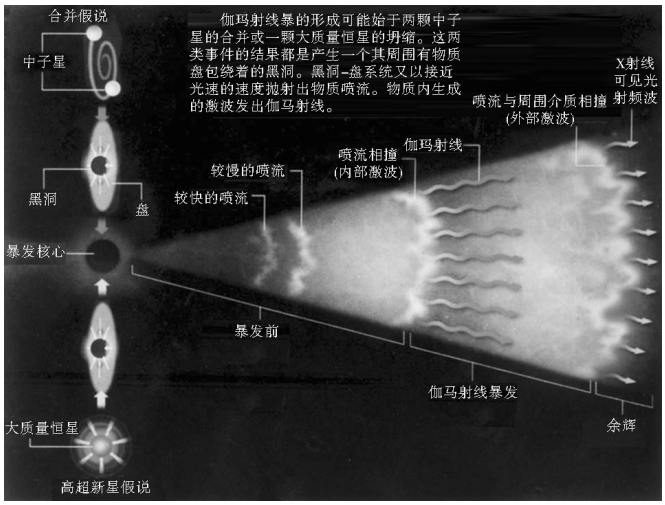

图 4　γ射线暴形成可能和中子星合并、黑洞有关

GLAST 开启观察宇宙的新窗口

在设计上，GLAST 空间望远镜可监测的能谱范围很宽，包括 10G～100GeV 之间迄今未观测过的一段能谱区域（图 5）。这一能谱区域可能隐藏着一些线索，能帮助科学家揭开诸如暗物质成分之类的宇宙谜团。

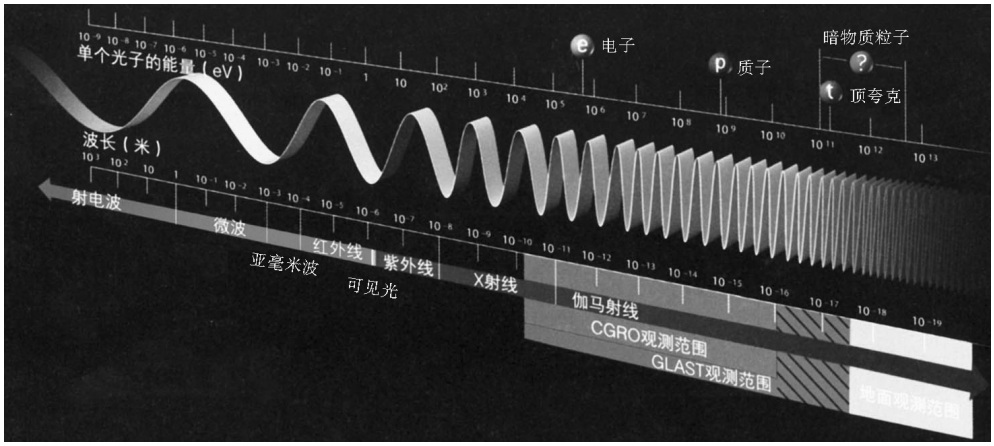

图 5　电磁波谱以及 GLAST 探测的γ射线波段示意图，它可监测包括 10GeV~100GeV 之间（图中斜线阴影部分）的一段迄今未被观测过的能谱区域

GLAST 载有两台大型观测仪器，旨在探测高能宇宙，主要观测目标包括宇宙中的各种奇异天体和剧烈天体现象，特别是 γ 暴、黑洞、类星体、脉冲星、太阳耀斑等，还将进行高能巡天，以继续早年康普顿天文台的工作。科学家认为，一些 γ 暴可能是那些质量为太阳 100 倍的恒星在坍塌过程中产生的，这些恒星最终会形成黑洞。科学家还希望，通过研究 γ 射线如何在宇宙中传播，了解宇宙自身的基本属性。

图 6 是根据 GLAST 的探测能力绘制的一幅模拟天球投影图，投影中心是银河系的核心。明亮的水平亮带表明，银河系盘面发射出强烈的 γ 射线辐射，这些辐射主要是宇宙线与星际气体分子碰撞产生的；图中还有数以千计的亮点，其中大多数都是遥远星系中心的超大质量黑洞。除这些特征外，GLAST 也许还能看到全新物理现象产生的信号。

GLAST 是一项国际合作项目，参加者有美国、法国、德国、日本、意大利和瑞典。该望远镜由美国国家航空航天局（NASA）和美国能源部联合投资，斯坦福大学、斯坦福直线加速器中心、加利福尼亚大学、海军研究试验室、NASA 达德空间飞行中心和一些国际合作伙伴联合建造。NASA 马歇尔空间飞行中心和德国负责建造 GLAST-监视装置。NASA 戈达德空间飞行中心负责任务的管理工作。

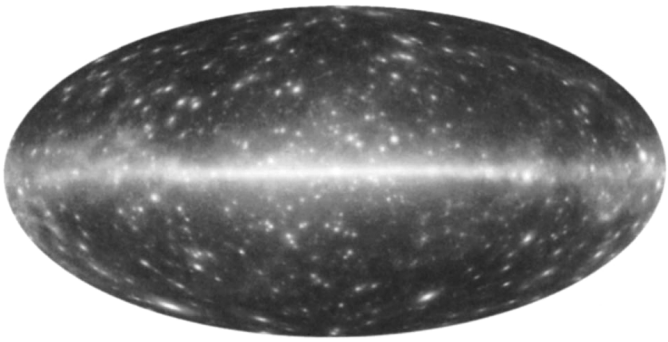

图 6

网上征名——吸引公众关注科学

GLAST 计划于 2008 年 5 月发射到地球低轨道，它装有大面积望远镜（LAT）和爆发监测器（GBM），这两台主要仪器将在太空中探测比可见光能量高数十亿倍的高能γ射线。GLAST 因具有解决理论难题的能力而被众多业内人士寄予厚望。2008 年 2 月 13 日，根据 NASA 网站报道，该机构邀请世界各国人民为 GLAST 起一个名字，以便该望远镜投入使用前拥有一个正式名称，任何人都可通过网站直接将名称发送到 NASA 的名称审核机构。命名要求首先是原创性，即该名称没有被此前的航天器使用过；其次是名称易读、易记，并反映卫星的主要任务；而且不可用在世者姓名命名，提交命名方案时，还需 25 词以内的简要理由。

有人建议用其首字母缩写命名，然而这并非一个标准。也有人建议用已故科学家的名字为其命名，但是前提是该科学家之名未用于 NASA 的其他太空任务。NASA 鼓励人们踊跃参与，并称将综合考虑各方面建议。NASA 华盛顿总部主管科学的副行政长官艾伦·斯特恩说：“我们希望收到一些好的命名建议，能够准确抓住 GLAST 任务的特点，唤起人们对γ射线和高能天文学的关注。我们希望有人能为它取一个琅琅上口又易于记忆的名字，这个名字将频繁地挂在人们的嘴边，成为大家茶余饭后的话题。”

GLAST 的主要探测目的

GLAST 计划有一个口号，即“探索极端宇宙”。GLAST 主要科学目标包括：①探索宇宙间最极端的太空环境，这种环境条件可以产生地球上无法想象的能量；②搜寻新物理学规律存在的迹象，以及神秘暗物质的成分；③了解黑洞如何将物质的巨大喷射加速到近乎光速；④揭开 γ 暴能量惊人之谜；⑤解答有关太阳耀斑、脉冲星和宇宙射线起源等问题。

科学家解释说，GLAST 将为天文学家研究宇宙中的高能γ射线源提供一个强大的新工具，有助于研究那些不甚明了的现象，如活动星系核、类星体、脉冲星和γ射线爆发。GLAST 不仅拥有极其广阔的观测视野，而且还将成为全球最灵敏的γ射线空间望远镜，其观测灵敏度比其他现有γ射线望远镜强 30~300 倍。

GLAST 的一些主要仪器全部组装完毕后，将送至美国海军研究实验室做与气候相关的检测试验。有趣的是，这一新型空间望远镜的开发项目由 NASA 和美国能源部共同负责。由于美国能源部从未参与过天文研究，所以部分专家对此心存疑问，认为核能研究才是美国能源部的本行。这次 NASA 与美国能源部联合开发 GLAST，打开了美国天体物理学家和核物理学家共同开展研究项目的新局面。分析人士认为，这两家机构联手打

造 GLAST 是各有所图的：天体物理学家希望借助 GLAST 之力获取有关宇宙进化的重要信息，而核物理学家则希望探寻可能会改变某些物理学基本定律的信息。同时，研究人员还希望借助其研究宇宙中比可见光光子能量高出数十亿倍的其他光子的活动情况。

此外，美国科学家还希望利用 GLAST 研究来自超级黑洞的高强度微粒喷发，如果可能，它还将用于暗物质微粒碰撞情况的研究。目前，只能在理论物理学家的著作中看到一些有关暗物质微粒碰撞的记录，除此之外，很少有人涉足这一陌生领域。

“没有镜片”的望远镜

γ射线比 X 射线能量更大，它是电磁辐射的最高能量形式，即γ射线在电磁波谱中能量最高、波长最短，每个γ射线光子都携带巨大能量（能量可以转化为物质粒子，就像爱因斯坦质能关系式 $E=mc^2$ 所暗示的那样）。与可见光不同，γ射线很难被镜片聚焦到探测器上，因此 GLAST 装备了能把γ射线转化为正负电子对的探测器。现有天文望远镜一般不能探测到γ射线，它比此前任何γ射线望远镜都要灵敏 30~100 倍。GLAST 的跟踪探测器对 20MeV~300GeV 能量范围的γ射线具有前所未有的灵敏度。

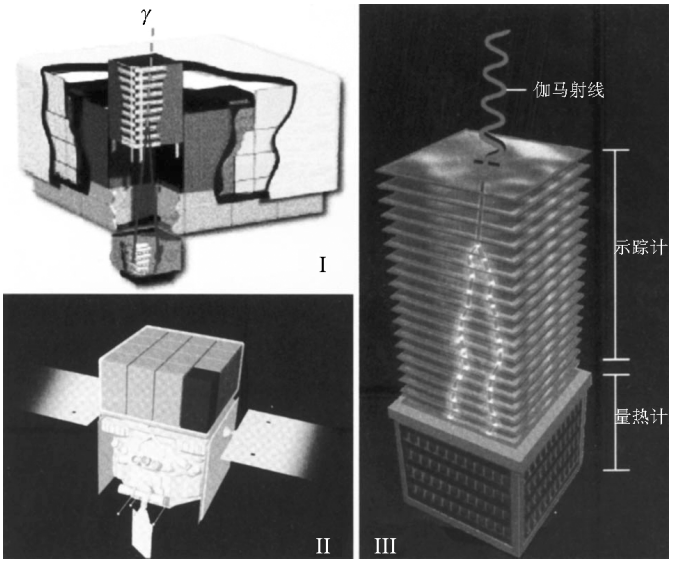

图 7　γ射线大面积望远镜示意图：I 为剖面图，II 为由 16 组探测器组成的 LAT，III为 LAT 探测γ射线示意图

GLAST 的显著特点在于高能γ射线波段的全天域连续成像观测，其主力设备是大面积望远镜（LAT），能谱范围是 20MeV~300GeV。当年康普顿天文台的高能探测器 EGRET 的探测上限不过是 30GeV，灵敏度也不足 LAT 的 1/30。GLAST 的相当一部分观测研究对象正是高能段γ射线暴发现象，GLAST 的另一重要设备是γ射线监测仪（GBM），是专门观测γ暴的闪烁晶体监测仪，主要在能谱较软（低至 8keV~10keV，高端与 LAT 重叠）的波段上工作，用作卫星的触发设备，兼提供暴发位置和光谱信息，并实时将这些数据　传回地面。预计 GBM 每年可探测 200 余次γ射线暴发。

LAT 高约 3 米，是 GLAST 中最大的设备，重约 3 吨。它有 16 组探测器，每组包括钨箔片探测器、追踪器和热量计，下方另有数据采集系统。LAT 的视场超过 2 立体角，相当于全天 4π立体角的 1/5。巡天工作时，只消两个轨道周期就可扫过整个天空，精度优于 1 角分。对于γ射线来说，这一数字已相当不易。由此，GLAST 也可为康普顿时代发现的γ射线源重新定位，更好地揭示其本质。16 组层层叠合在一起的钨箔片探测器按 4×4 排列，一旦有高能γ光子射入，会产生对应能量的正反基本粒子对，即让一个入射的γ射线光子转变成一对正负电子。与钨箔片叠层交替排列的多层硅探测器正好通过追踪粒子的轨迹来确定γ光子的入射方向，它们的能量则通过设备底部的一个量热计测出，以确定γ光子的能量。

GBM 由朝向不同的 12 个盘状碘化钠晶体（8keV~1MeV）与 2 个锗化铋晶体（150keV～30MeV）组成，覆盖视场更大（约 8 立体角），几乎是未被地球遮挡的天区。GBM 对准的天区位于 LAT 视场的背面，只要有 4 个低能探测器记下信号，源区即可定位，精度虽然逊于“雨燕”号的触发器 BAT，但也有 3°左右。对于大视场的 LAT 来说，这一数字已足够了。除 γ 射线暴外，其他瞬变源（包括耀斑）的探测也要依靠 GBM，卫星本体会在接到触发信号之后自动转向。LAT 也可自身触发，GBM 可起到很好的补充作用，大大扩展了 GLAST 的工作波段。

发射 GLAST 的运载火箭为“德尔他”II 型，轨道与“雨燕”类似，是高度为 500 余千米的近圆轨道，可尽量避开带电粒子的影响。升空后先经 2 个月的测试与调整，预计 3 个月后正式公布第一批结果。NASA 的设计目标是，GLAST 触发后 10 秒之内，γ射线暴坐标定位网就可收到坐标信息。

翘首期待新发现

GLAST 监测仪将监测能级从几千万电子伏特到上亿电子伏特或者更高的γ射线暴，这是有史以来

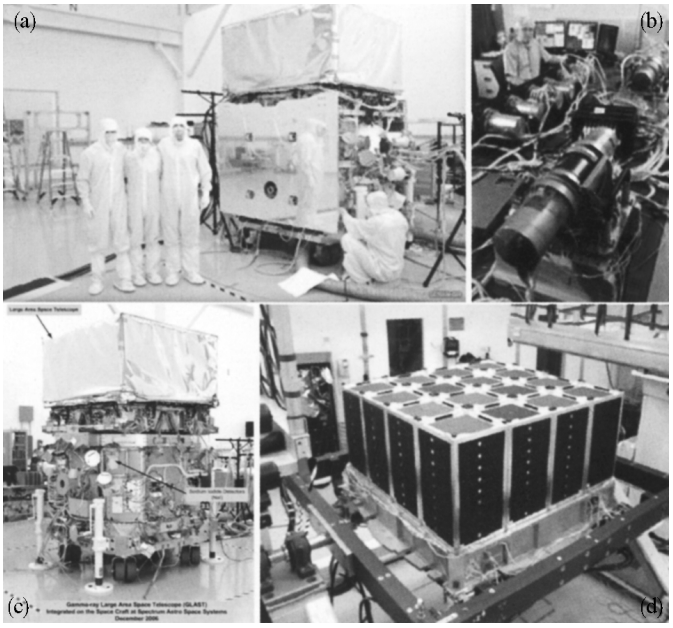

图 8　(a) GLAST 项目科学家在实验室合影，右为正在测试的探测器；(b) 正在测试 GLAST 的监测仪 GMB；(c) 在实验室检测 LAT，(d) LAT 的 16 组探测器及下面附属的数据采集系统

一颗飞行器上装配的用于研究γ射线的覆盖范围最广的仪器。当一次γ暴发生后，GLAST 的γ暴监测仪将捕获暴发中释放的γ射线，在几秒钟内就能确定暴发位置。相关信息会发送给地面科学家；如果暴发格外强烈，飞行器会再次给它定位，这样一来，大面积望远镜就能对它进行观测了。GLAST 监测的γ暴能量级范围比以往仪器要大上百倍。人们期盼 GLAST 在不久的将来能带给科学家许多惊喜，说不定会是具有里程碑意义的图像和新发现。

有科学家提出：在爱因斯坦相对论中，时空是连续的，如果仔细检验的话，时空会不会真像一些量子引力理论假设的那样，如同一锅翻着气泡的沸水，到处充斥着微小的波动起伏呢？通过观测可能会了解到，波长较短的高能γ光子，或许比低能光子更强烈地感受到时空结构中波动起伏的影响。这种效应必定非常微弱。但在γ光子穿越宇宙的长途跋涉中，它或许可以产生能够观测到的时间差异。如果真的发现了这一效应，并且证明它与辐射源无关，这将为时空结构和量子引力尺度的大小提供重要研究线索。“一次γ暴释放出的能量比太阳在 45 亿年释放的全部能量都要多，”该项目首席研究员、天体物理学家米根（Charles Meegan）说，“人们认为γ暴是超大质量恒星爆炸产生的，它至今仍是天体物理学中最大的疑问之一。”

GLAST 项目建立于在过去大型复杂太空设备研发经验的基础之上。在设计和测试 GLAST 的γ暴

图 9　检验相对论——连续存在的时空会翻气泡吗

监测仪过程中，马歇尔中心的科学家吸收了其在建设和运行短脉冲瞬变源试验设备的经验。1991~2000 年，BATSE 共观测了 2700 多次γ暴，为认识这一现象提供了大量信息。在研发过程中，马歇尔中心还与德国马克斯普朗克地外物理学研究所开展合作，后者负责研制监测仪的水晶探测器（用于截取γ射线的主要部件）。来自马歇尔中心和阿拉巴马州立大学的科学家为仪器提供了飞行电子学理论帮助、相关软件，并参与了仪器测试。“它集合了国内外专家的共同努力，”米根说，“在发射升空 1 个月之后，GLAST 的γ暴监测仪将传回第一组数据——到那时，众多参与者的多年研发工作才算是画上了圆满句号。”

（北京天文馆　100044）

科苑快讯

罕见暴风中形成的火星沙丘

火星表面分布着形状大小各异的沙丘，它们是怎样形成的呢？答案是显而易见的。对比撒哈拉和其他陆地沙漠，形成沙丘的火星气候更为恶劣。火星的大气浓度是地球的 1‰，10 年前的强劲火星风吹起这些沙粒时只用了短短的几秒钟。这里条件还算较好的就是表面重力，与地球相比，$3.7m/s^2$ 的重力加速度使风更易运输这些沙粒。

巴西塞阿腊联邦大学（Universidade Federal do Ceará）的帕特尔（Eric Partell）和瑞士苏黎世理工学院（ETH Zürich）的赫尔曼（Hans Herrmann）研究了目前火星的气候是否能形成这些沙丘。研究者们的主要工具是一个成功用于地球沙丘的模型。他们的结论是：火星表面能够形成沙丘，由于所处环境的条件不同就会形成不同类型的沙丘。帕特尔和赫尔曼惊奇地发现了双峰沙丘，目前鲜有证据表明沙丘的形状是由在垂直方向来回震荡的风形成的，他们推出的火星上的振荡周期是 5 万年。这个周期大致与火星自转轴的进动周期相当。

（高凌云编译自 2008 年第 1 期《今日物理》）