

Die **GLAST-Mission**

Ein Blick in die kosmischen Hexenkessel

Einer der letzten astronomisch noch nicht ausreichend erforschten Spektralbereiche ist derjenige der Gammastrahlen. Das neue Weltraumteleskop GLAST, dessen Start für den 16. Mai vorgesehen ist, wird diese Lücke schließen. Jenseits der Erdatmosphäre wird es die hochenergetischen Photonen registrieren, die Einblicke in die heftigsten Vorgänge des Universums erlauben.

Von Giselher Lichti und Andreas von Kienlin

Wieviel anders sähe unsere Welt aus, wenn unsere Augen nicht für sichtbares Licht, sondern für hochenergetische Gammastrahlung empfindlich wären. Statt der romantisch funkelnden Sterne am nachtschwarzen Himmel würden wir ein Feuerwerk aus hellen Blitzen und ein geheimnisvolles Leuchten wahrnehmen, das uns zu Zeugen der wichtigsten und energiereichsten Prozesse werden ließe, die das Universum zu bieten hat: Explosio-

nen massereicher Sterne, der Einsturz von Materie in alles verschlingende Schwarze Löcher, Kollisionen von Neutronensternen sowie Stoßwellen, die entstehen, wenn fast lichtschnelle Materieströme auf interstellares Gas prallen.

Gammastrahlen gehören wie Photonen des sichtbaren Lichts zum elektromagnetischen Spektrum. Ihre Energie ist jedoch millionen- bis milliardenfach größer, ihre Wellenlänge entsprechend kleiner. Da sie wie Teilchen mit Materie in Wechselwir-

kung treten, werden sie auch Gammaquanten genannt; ihre Energie wird, wie in der Teilchenphysik üblich, in Elektronvolt (eV) angegeben (siehe Glossar auf S. 44).

Wegen des Teilchencharakters der Gammaquanten versagt das gewohnte Instrumentarium der Astronomie. Gammastrahlen können nämlich nicht wie sichtbares Licht mit Spiegeln und Linsen eingesammelt und auf kleine Detektoren fokussiert werden. Stattdessen sind Instrumente mit großen Zählerflächen erforderlich, um die geringen Flüsse der kosmischen Gammaquanten nachzuweisen. Erst durch die Fortschritte in der Detektorentwicklung für die Kern- und Hochenergiephysik gelang es, geeignete Instrumente für den Einsatz in der Astrophysik zu bauen.

Die Beobachtung des Sternhimmels im Gammabereich wird zusätzlich durch den Umstand erschwert, dass Gammaquanten bereits in großer Höhe bei Wechselwirkungen mit den Luftmolekülen absorbiert werden. Dies macht technisch aufwändige Ballon- oder Satellitenmissionen nötig. Erst bei sehr hohen Energien oberhalb von



wissenschaft in die schulen!

Didaktisches Material zu diesem Beitrag steht Ihnen kostenlos auf der Website www.wissenschaft-schulen.de zur Verfügung. Nachweis und Eigenschaften von Gamma-»Strahlung« sind Standardthe-

men im Oberstufenunterricht, aber sie werden oft nur in eingeschränktem Sinn im Zusammenhang mit Radioaktivität behandelt. Die Materialien zur astronomischen Bedeutung der Gammastrahlen ermöglichen nun, anhand der aktuellen Forschung in die Thematik einzuführen. Unser Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Bad Wildbad durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert.

100 Gigaelektronvolt (1 GeV = 10^9 eV) lassen sich Gammastrahlen vom Boden aus indirekt nachweisen, und zwar über das Tscherenkow-Licht von Teilchenschauern, die bei der Umwandlung der Energie einzelner hochenergetischer Gammaquanten in der oberen Atmosphäre entstehen (siehe SuW 8/2006, S. 36, sowie SuW 8/2007, S. 26).

Die Gammaastronomie wurde 1967 mit einem speziellen Experiment an Bord des NASA-Satelliten OSO-3 eröffnet. Als weitere wissenschaftliche Missionen folgten 1972 SAS-2 (NASA) und drei Jahre später COS-B (ESA); beide lieferten Karten der Gammastrahlung unseres Milchstraßensystems. Mit dem Compton Gamma-Ray Observatory (CGRO) der NASA, das von 1991 bis 2000 in Betrieb war, etablierte sich die Gammaastronomie endgültig als eigenständiger Forschungszweig. Als einzige noch laufende Mission untersucht das Gammaobservatorium Integral der ESA seit 2002 den Himmel im Bereich der harten Röntgen- und weichen Gammastrahlung (20 keV bis 10 MeV).

Neuer Pionier der Gammaastronomie

Die Instrumente an Bord dieser Satelliten führten zu zahlreichen neuen Entdeckungen und Erkenntnissen. Allerdings reichte ihre Empfindlichkeit nicht aus, um alle Entdeckungen zu erklären. Diese Aufgabe soll nun das Gamma-Ray Large Area Space Telescope (GLAST) übernehmen, das im Bereich der hochenergetischen Gammastrahlung wesentlich empfindlicher ist als alle seine Vorgänger.

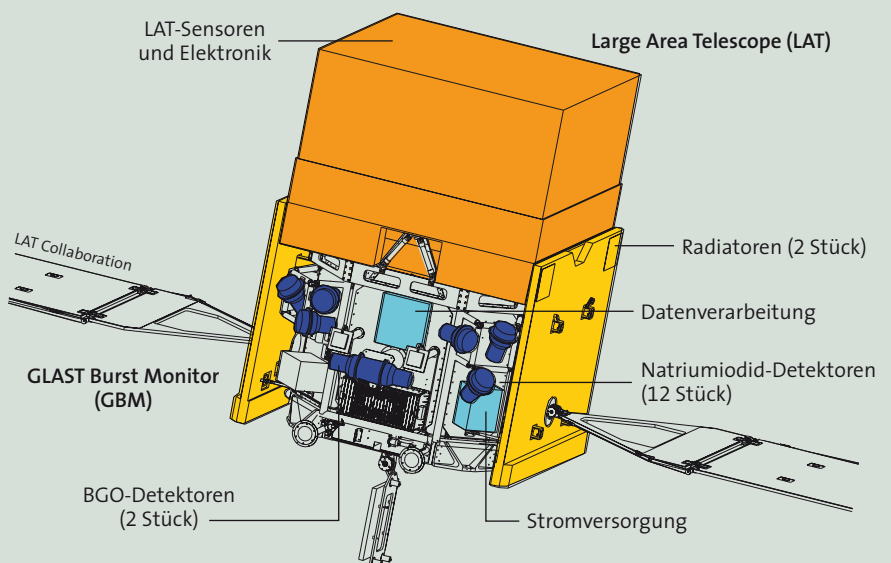
GLAST ist eine internationale Mission, die den Himmel im Energiebereich von 20 MeV bis mehr als 300 GeV erforschen soll. Das Hauptinstrument, das Large-Area Telescope (LAT), ist im Wesentlichen ein Nachfolgeinstrument des Gammastrahlenteleskops EGRET, das an Bord von CGRO hochenergetische Gammastrahlung mit Hilfe einer Funkenkammer gemessen hat. Allerdings wird das LAT zum Nachweis der Gammaquanten großflächige Siliziumstreifendetektoren verwenden und damit eine um den Faktor 30 höhere Empfindlichkeit, ein größeres Gesichtsfeld und eine bessere Winkelauflösung erreichen. Dank seiner schnellen Reaktionszeit wird es auch variable Ereignisse am Himmel mit hoher Zeitauflösung untersuchen können.

Dadurch wird es mit dem LAT auch möglich sein, die rätselhaften kurzen, aber



NASA

Das Gamma-Ray Large Area Space Telescope (GLAST) wird als eines der großen Weltraumteleskope die astronomische Forschung der nächsten Jahre dominieren. Etwa zwei Monate nach dem Start, der am 16. Mai erfolgen soll, wird die NASA das Teleskop umbenennen.



GLAST enthält zwei wissenschaftliche Experimente: das Large Area Telescope (LAT) und den GLAST Burst Monitor (GBM). Die zwölf Natriumiodid-Detektoren und zwei BGO-Detektoren des GBM sind zusammen mit der zum Instrument gehörenden Stromversorgungsbox und dem Bordrechner außen am Satellitenbus angebracht.

sehr intensiven Gammablitz (*gamma-ray bursts*, GRBs) zu untersuchen. Unterstützt wird diese Aufgabe durch ein zweites Instrument, den GLAST Burst Monitor (GBM), der hauptsächlich Gammablitz im Bereich niedriger Gammaenergien und harter Röntgenstrahlung (10 keV bis 30 MeV) vermessen soll. Die Funktionsweise beider Instrumente ist im nebenstehenden Kasten beschrieben.

Das GLAST-Projekt

An der Entwicklung und dem Bau der Messinstrumente beteiligte sich in den letzten Jahren eine Vielzahl von Wissenschaftlern aus Deutschland, Frankreich, Italien, Japan, Schweden und den USA. Die beiden Autoren dieses Artikels waren am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching für den Bau der Detektoren und der Stromversorgung für den GLAST Burst Monitor verantwortlich, der von den Firmen Jena-Optronik GmbH in Jena und EADS Astrium AG in Friedrichshafen ausgeführt wurde. Die finanziellen Mittel dafür stellte das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) bereit. Für die Projektleitung auf Ebene der NASA und die Entwicklung der zentralen Prozessiereinheit des GBM sind Kollegen vom Marshall Space Flight Center und der University of Alabama in Huntsville verantwortlich.

Nach ihrer Auslieferung in die USA wurden die Komponenten der wissenschaftlichen Flughardware dort zu den kompletten Instrumenten zusammengesetzt und für ein Jahr vielfach getestet und anschließend kalibriert. Im Sommer 2006 wurden schließlich beide Instrumente an den Satellitenbauer General Dynamics, C4 Systems, in Phoenix, Arizona, übergeben und dort auf den Satelliten integriert (Foto S. 44).

Von Mai 2007 bis Februar 2008 wurde der gesamte Satellit auf seine Tauglichkeit für Weltraumbedingungen geprüft – dazu gehörten Vibrationstests, Überprüfungen in der Vakuum- und Kältekammer sowie Tests für elektromagnetische Verträglichkeit. Im März traf der etwa 4,5 Tonnen schwere Satellit bei der Firma Astrotech nahe dem Kennedy Space Center in Florida ein. Dort wurden die letzten Tests zur Startvorbereitung durchgeführt. Am 16. Mai soll nun GLAST von der benachbarten Cape Canaveral Air Force Station mit einer schweren Delta II-Rakete in eine 565 Kilometer hohe Erdumlaufbahn

Wie GLAST kosmische Gammastrahlen registriert

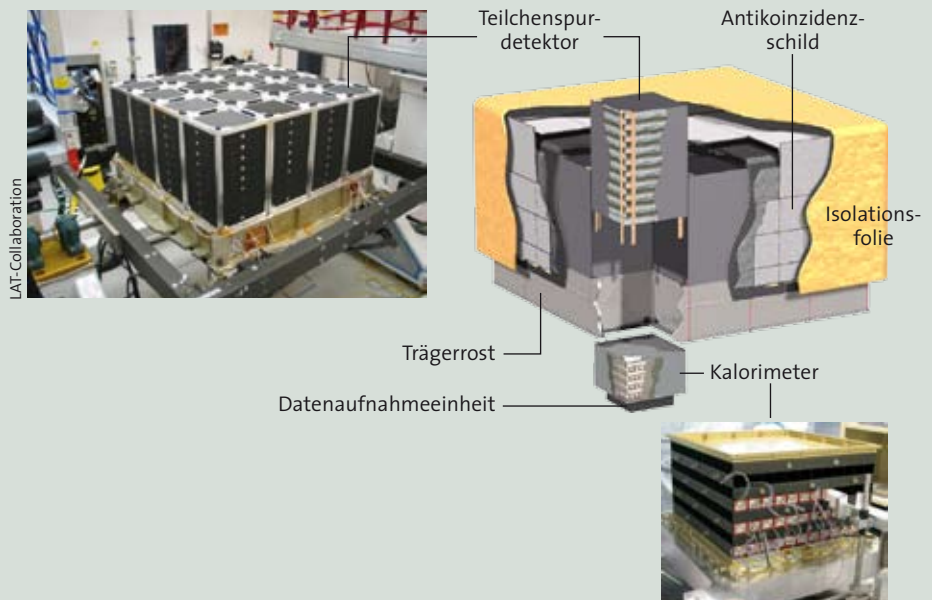
Für den Nachweis der Gammastrahlung oberhalb von 20 MeV nutzt das Hauptinstrument von GLAST, das Large-Area Telescope (LAT), den Effekt der Paarbildung: Ein Gammaquant kann sich im elektrischen Feld eines Atomkerns in zwei Teilchen umwandeln, nämlich in ein Elektron (e^-) und ein Positron (e^+). Die Spuren dieser beiden elektrisch geladenen Teilchen werden in einem Siliziumstreifendetektor sichtbar gemacht. Aus der Rekonstruktion der Spuren lässt sich die Richtung des einfallenden Gammaquants bestimmen.

Die Energie des Gammaquants ergibt sich aus der in einem Kalorimeter gemessenen kinetischen Energie des Elektrons und des Positrons. Beide Teilchen werden dabei fast vollständig abgestoppt. Dies geschieht durch Wechselwirkung mit dem elektrischen Feld von Atomkernen: Die positive Ladung der Kerne lenkt die Elektronen und Positronen aus ihrer Bahn ab, wodurch diese elektromagnetische Strahlung, Bremsstrahlung genannt, aussenden. Diese Strahlungsquanten zerfallen nun in weitere Elektron-Positron-Paare. Durch die sukzessive Wiederholung dieses Prozesses bildet sich eine elektromagnetische Kaskade aus.

Da in der erdnahen Umlaufbahn zahlreiche geladene Teilchen vorhanden sind, die Störsignale im Streifendetektor und im Kalorimeter erzeugen, ist das LAT von einem Antikoinzidenzschild umgeben, das diese unerwünschten Ereignisse aus dem Datenstrom herausfiltert: Nur Ereignisse, die zwei Spuren in den Streifenzählern, ein Signal im Kalorimeter und kein zeitgleiches Signal im Antikoinzidenzdetektor erzeugt haben, werden als Gammaquanten betrachtet und registriert.

Das LAT ist modular aus 16 identischen Detektortürmen aufgebaut. Jeder besteht aus einem Teilchenspurdetektor, einem Kalorimeter und einer Datenaufnahmeeinheit. Der Teilchenspurdetektor setzt sich aus 18 übereinander geschichteten Siliziumstreifenzählern zusammen. Zwischen diesen befinden sich dünne Konverterfolien aus Wolfram, in denen der Paarbildungsprozess stattfindet.

Das Kalorimeter, das unterhalb des Teilchenspurdetektors angebracht ist, enthält acht Lagen mit jeweils zwölf Cäsiumiodid-Szintillatorstäben, die von Photodioden ausgelesen werden. Diese Anordnung erlaubt es, das räumliche Profil von Teilchenschauern zu messen und daraus die Energieverluste zu bestimmen.



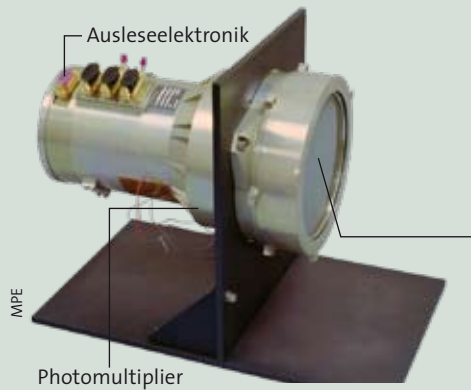
Das LAT ist modular aus 16 gleichen Detektoreinheiten mit den Abmessungen $40 \times 40 \times 87,5$ cm aufgebaut (Foto oben links). Die Grafik zeigt schematisch den Aufbau einer Detektoreinheit und die übrigen Komponenten des LAT. Das LAT-Kalorimeter besteht aus acht Lagen mit jeweils zwölf Cäsiumiodid-Szintillatorstäben, die von Photodioden ausgelesen werden (rechts unten).

Mit ihr lässt sich auch die hadronische Komponente der kosmischen Hintergrundstrahlung unterdrücken, wodurch die Energieauflösung erhöht wird. (Hadronen sind Teilchen wie Protonen und Neutronen, die der starken Wechselwirkung unterworfen sind.)

Der das LAT umgebende, segmentiert aufgebaute Antikoinzidenzschilde besteht aus Plastiksintillatoren, die mit Hilfe von Lichtleitern, die an kleine Photomultiplier gekoppelt sind, ausgelesen werden. Mit diesem Antikoinzidenzdetektor wird der um einen Faktor 1000 höhere Teilchenhintergrund signifikant reduziert: Im Detektor finden einige tausend Ereignisse pro Sekunde statt, von denen nur etwa 30 als gute Ereignisse zum Boden übertragen werden.

Zum GLAST Burst Monitor (GBM) gehören zwölf Natriumiodid-Szintillationsdetektoren, die harte Röntgen- und niederenergetische Gammastrahlung im Bereich von 10 keV bis 1 MeV nachweisen können. Einfallende Gammastrahlung lässt den Kristall kurz aufleuchten. Dieses Szintillationslicht wird durch einen angekoppelten Photomultiplier in elektrische Ladungspakete umgewandelt, die dann weiter verstärkt und an die zentrale Prozessiereinheit weitergeleitet werden (Foto oben). Die Natriumiodid-Kristalle haben einen Durchmesser von 12,7 Zentimetern und sind 1,27 Zentimeter dick. Diese flache Scheibenform verleiht den Detektoren eine richtungsabhängige Empfindlichkeit. Je nach Winkel relativ zur Detektornormalen ändert sich die Größe der Fläche, mit der die einfallende Gammastrahlung gemessen wird. Frontal einfallende Strahlung sieht die volle kreisförmige Kristallquerschnittsfläche; seitlich, unter 90 Grad, einfallende Strahlung hingegen sieht nur die schmale rechteckige Seitenfläche der Kristalle.

Die zwölf GBM-Detektoren sind so am Satelliten GLAST angebracht, dass jeder Detektor in eine andere Richtung schaut (siehe Grafik S. 41 unten). Durch diese spezielle Anordnung wird erreicht, dass Gammablitz unabhängig von der Richtung, aus der sie aufleuchten, stets von mindestens drei der zwölf Detektoren registriert werden. Durch die unterschiedliche Winkelanordnung der Detektoren relativ zur einfallenden Strahlung misst



Zwölf solcher Natriumiodid-Detektoren des GLAST Burst Monitor (GBM) weisen Strahlung von 10 keV bis 1 MeV nach.

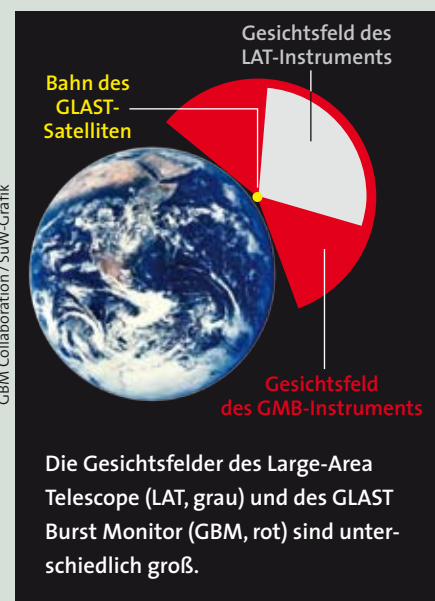
Eintrittsfenster aus Beryllium, dahinter scheibenförmiger Natriumiodid-Kristall

jeder Detektor eine andere Intensität. Aus den Intensitätsverhältnissen ergibt sich dann grob die Richtung des Bursts.

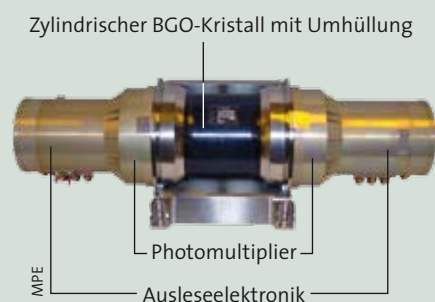
Die Grafik rechts zeigt das Gesichtsfeld des GBM. In einem großen Raumwinkelnbereich von ungefähr 9 Steradian können Gammablitz bereits an Bord mit einer Genauigkeit von weniger als 15 Grad lokalisiert werden, die dann am Boden auf bis zu 3 Grad verbessert wird. Man erwartet, dass der GBM etwa 200 Gammablitz pro Jahr entdecken wird.

Um die Energielücke zwischen den Natriumiodid-Detektoren und dem LAT (von 1 MeV bis etwa 20 MeV) zu schließen, ist der GLAST Burst Monitor noch mit zwei so genannten BGO-Detektoren ausgestattet, die Gammastrahlung von 150 keV bis 30 MeV messen sollen. Sie bestehen aus zwei zylindrischen, 12,7 cm × 12,7 cm großen Wismutgermanatkristallen ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$), deren Szintillationslicht mit zwei Photomultipliern gemessen und in ein elektronisches Signal umgewandelt wird (Foto rechts). Die beiden BGO-Detektoren sind auf zwei gegenüberliegenden Seiten des GLAST-Satelliten montiert, so dass jeder Detektor Strahlung von einer Hälfte des Himmels registriert. Im Gegensatz zu den Natriumiodid-Detektoren sind sie nicht richtungsempfindlich.

Die Suche nach Gammastrahlungsausbrüchen geschieht in der zentralen Prozessiereinheit des GBM. Dort untersuchen verschiedene Trigger-Algorithmen die Zählraten der Natriumiodid-Detektoren auf rasche Anstiege. Steigt die Zählrate in mindestens zwei Detektoren signifikant an, so wird der GBM in den Burstmodus geschaltet; für einige hundert Sekunden werden dann die einzelnen Ereignisse mit Zeit- und Energieinformationen zur Erde gesendet. Parallel dazu wird das LAT



Die Gesichtsfelder des Large-Area Telescope (LAT, grau) und des GLAST Burst Monitor (GBM, rot) sind unterschiedlich groß.



Der BGO-Detektor des GLAST Burst Monitor (GBM)

innerhalb weniger Hundertstelsekunden alarmiert. Nach spätestens zwei Sekunden wird die im GBM-Rechner bestimmte Position des Bursts zusammen mit der Angabe über die Stärke und dem Anteil an hochenergetischen Gammaquanten ebenfalls dem LAT übermittelt. Der Bordrechner entscheidet dann, ob der gesamte Satellit umorientiert werden soll, um nach hochenergetischer verzögerter Gammaemission des Bursts zu suchen.



NSSTC; General Dynamics

Die erste Inbetriebnahme des kompletten GBM-Instruments erfolgte am National Space Science and Technology Center in Huntsville, Alabama (ganz links). Gemeinsam mit dem LAT wurde es anschließend im Reinraum der »Factory of the Future« bei General Dynamics, C4 Systems, in Phoenix, Arizona, in den Satelliten GLAST integriert (links).

geschossen werden (Foto S. 45 oben). Von dort soll er für mindestens fünf Jahre das Universum im Licht der Gammastrahlung erforschen. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme – etwa neun Wochen nach dem Start – soll GLAST neu benannt werden. Entsprechende Namensvorschläge konnte jedermann bis Ende März einreichen; ausgewählt wird entweder der Name einer berühmten Persönlichkeit oder ein sonstiger einprägsamer Begriff.

Wissenschaftliche Zielsetzung

Mit ihrer enormen Energie können Gammastrahlen den Weltraum nahezu ungehindert durchdringen. Im Gegensatz zu Licht und Röntgenstrahlung werden sie weder von Staub noch von Gaswolken merklich absorbiert und können uns somit noch aus den größten Entfernungen ungeschwächt und unabgelenkt erreichen.

Somit wird GLAST Gammaquellen am Rande unseres Universums untersuchen und uns einen Blick in dessen Anfangsphase erlauben. Da wir die physikalischen Prozesse kennen, bei denen Gammaquanten erzeugt werden, und diese Prozesse in der Nähe von äußerst exotischen Gebilden stattfinden, wird man mit GLAST diese Objekte studieren können.

Dabei handelt es sich um sehr kompakte Himmelskörper wie Neutronensterne und Schwarze Löcher (ihr Durchmesser beträgt nur etwa zehn beziehungsweise

zwei Kilometer). Beide sind Endprodukte der Sternentwicklung und entstehen bei Supernova-Explosionen. Schwarze Löcher sind dabei Regionen der Raumzeit, an denen die Materie so stark konzentriert ist, dass ihre Gravitationskraft selbst Licht nicht mehr entweichen lässt, wenn es eine theoretische Grenze, den Ereignishorizont, unterschritten hat.

Neben den stellaren Schwarzen Löchern gibt es zudem die »extrem massereichen« Schwarzen Löcher in den Zentren aktiver Galaxien. Deren Ereignishorizont kann eine Ausdehnung von rund zehn Astro-

nomischen Einheiten erreichen (was etwa dem Durchmesser der Jupiterbahn entspricht).

Schwarze Löcher saugen Materie aus ihrer Umgebung an. Da deren Drehimpuls erhalten bleibt, bildet sich um das zentrale Schwarze Loch eine Akkretionsscheibe aus, in der sich die Materie spiralförmig auf den Ereignishorizont zu bewegt, bevor sie schließlich dahinter verschwindet. Dabei werden enorme Energiemengen freigesetzt. Aufgrund von Prozessen, die man noch nicht völlig versteht, schießen senkrecht zur Akkretionsscheibe Strah-

Glossar

Elektronvolt: Einheit der Energie in der Teilchenphysik. 1 Elektronvolt (eV) ist die kinetische Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen einer elektrischen Spannung von einem Volt im Vakuum gewinnt. Die Umrechnung in SI-Einheiten geschieht über die experimentell bestimmte Beziehung $1 \text{ eV} = 1,60217733 \times 10^{-19} \text{ Joule}$. Ein Photon mit einer Energie von 1 eV hat eine Frequenz von $2,4 \times 10^{14}$ Hertz und eine Wellenlänge von 1,2 Mikrometern. Photonen des sichtbaren Lichts haben eine Energie von etwa 2 eV.

Flare: Eruptionen in der Chromosphäre der Sonne, die heißes, ionisiertes Gas bogenförmig nach oben schleudern und mit der Emission von hochenergetischer Strahlung verknüpft sind.

Gammastrahlen: Elektromagnetische Strahlung mit Energien von mehr als etwa 200 Kiloelektronvolt (keV) und Wellenlängen kleiner als etwa 6×10^{-12} Meter.

Tscherenkow-Licht: Elektromagnetische Strahlung, die entsteht, wenn Teilchen sich in einem Medium mit einer Geschwindigkeit bewegen, die kleiner als die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, aber größer als die Lichtgeschwindigkeit in diesem Medium ist.



Startplatz der Delta II auf der Cape Canaveral Air Force Station

NASA

len aus fast lichtschnell beschleunigten Teilchen heraus (siehe Grafik unten). Diese emittieren dabei Gammaquanten, die hauptsächlich in die gleiche Richtung abgestrahlt werden, in der die Materiejets davonschießen.

Ist der Jet, der von einem extrem massereichen Schwarzen Loch im Zentrum einer aktiven Galaxie ausgeht, auf den irdischen Beobachter gerichtet, so sprechen die Astronomen von einem Blazar. Ein solches Objekt erscheint besonders hell im Gammalicht, in dem ein großer Teil der gesamten Leuchtkraft abgestrahlt wird. Die Helligkeit im Gammabereich kann allerdings stark variieren; während aktiver Phasen kann sie diejenige in anderen Wellenlängenbereichen um mehr als das Zehnfache übersteigen.

Unter den mit dem EGRET-Teleskop entdeckten Quellen sind schätzungsweise 70 Blazare. Mit dem empfindlicheren LAT-Instrument auf GLAST hoffen die beteiligten Forscher, mehrere tausend dieser extremen Objekte zu finden und zu erforschen.

Eine besonders interessante Entdeckung von EGRET war, dass die Helligkeit von Blazaren auf Zeitskalen von weniger als einem Tag stark variieren kann. Das ist nur möglich, wenn die emittierende Region kleiner ist als ein Lichttag – also kleiner als die Strecke, die Licht in einem Tag zurücklegt (was 170 Astronomischen Einheiten entspricht). Mit GLAST wird

man sich also regelrecht in das Innere eines solchen gewaltigen Mahlstroms hineinzoomen, und so hoffentlich die dort ablaufenden Prozesse besser verstehen. Denn es ist bis heute noch nicht ganz klar, wie die Gammaquanten die kleinen Emissionsgebiete verlassen können, ohne sich durch Selbstabsorption (die Umwandlung jeweils zweier Gammaquanten in ein Elektron-Positron-Paar) gegenseitig zu vernichten. Vermutlich ist des Rätsels Lösung in Einsteins Relativitätstheorie zu suchen. Offenbar bewegen sich die Teilchen im Jet fast mit Lichtgeschwindigkeit, so dass durch die Zeit- und Raumdehnung die Vorgänge der Selbstabsorption vermieden werden können.

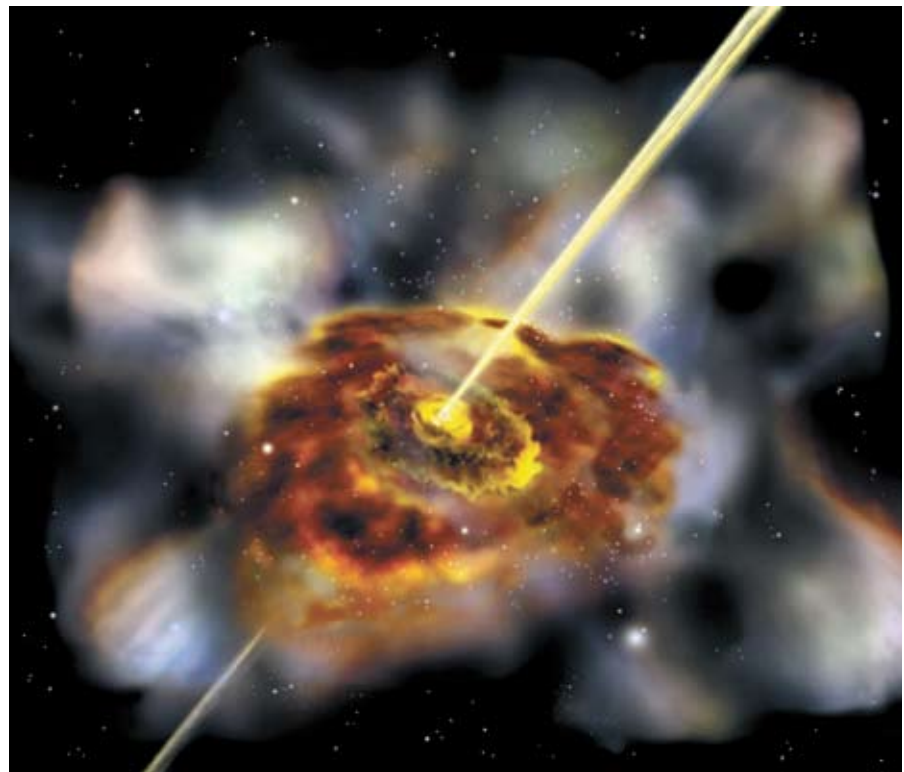
Vor allem vom LAT erhoffen sich die Wissenschaftler neue Erkenntnisse über physikalische Gesetzmäßigkeiten. Denn die Kollisionsenergien in den Jets sind wesentlich größer als diejenigen, die in irdischen Beschleunigern jemals erreicht werden können. Vielleicht gelingt es mit dem Universum als Labor, die Natur der subatomaren Kräfte zu enträtseln?

Wegen ihrer extremen Leuchtkraft lassen sich Blazare noch in riesigen Entfernungen beobachten – und somit in Zeiten, die in der Anfangsphase des Universums liegen. Ihre Gammastrahlen sind also gewissermaßen Boten aus der Frühzeit des

Kosmos. Die Astronomen hoffen, aus ihrer Beobachtung Hinweise auf die Entstehung der ersten Sterne und Schwarzen Löcher zu gewinnen. Nach heutigem Verständnis haben diese Schwarzen Löcher die Strukturbildung im Universum stark beeinflusst und sind für die Entstehung von Galaxien mit verantwortlich.

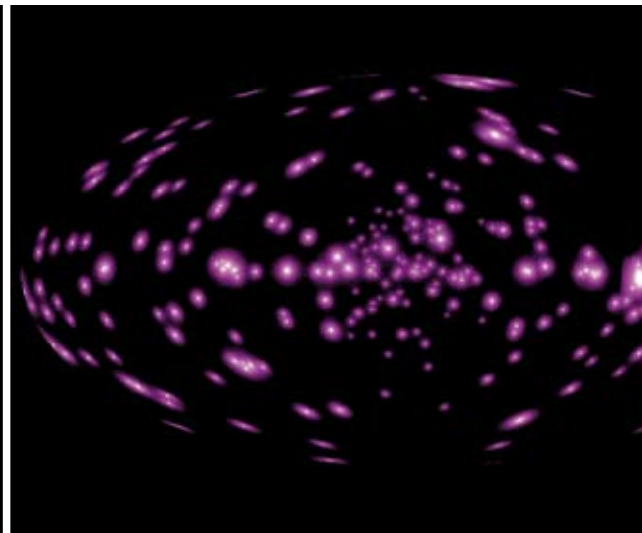
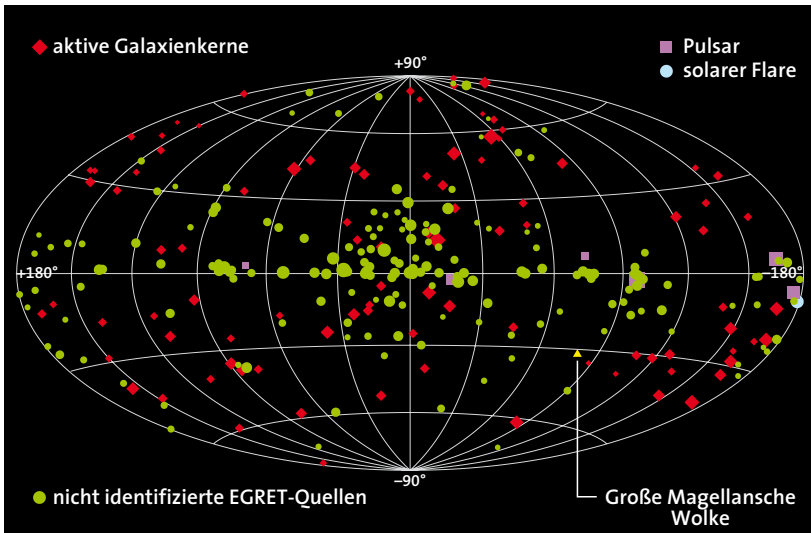
EGRET hat 271 kosmische Quellen entdeckt, von denen 170 noch nicht mit bekannten Objekten identifiziert werden konnten. Da sie im Gammalicht intensiv leuchten, könnte nun mit GLAST, dessen Instrumente eine hohe Empfindlichkeit und ein hohes Auflösungsvermögen besitzen, ihre Identifizierung gelingen. Damit könnte entschieden werden, ob diese Objekte eine neue Art von Blazaren, Pulsaren, Doppelsystemen oder gar eine völlig neue Klasse von Objekten sind. LATs Fähigkeit, mehr Quellen zu messen, sie besser zu lokalisieren, ihr Energiespektrum über einen größeren Bereich zu bestimmen und ihre veränderliche Helligkeit zu verfolgen, wird also helfen, die Natur dieser Quellen zu entschlüsseln.

Dies ist auch in anderem Zusammenhang von großer Bedeutung. So wurde von den Instrumenten SAS-2 und EGRET ein isotroper extragalaktischer diffuser Gammastrahlenfluss oberhalb von etwa 30 MeV gemessen, dessen Ursprung bis heute



NASA

Das Zentrum einer aktiven Galaxie. Vom zentralen Schwarzen Loch werden senkrecht zur Akkretionsscheibe zwei Jets abgestrahlt.



unverstanden ist. Die einfachste Erklärung wäre, dass es sich um die Strahlung vieler unaufgelöster Punktquellen handelt. Aber auch exotischere Möglichkeiten kämen in Frage. Beispielsweise könnte es sich um den Überrest einer Strahlung handeln, die im jungen Universum bei noch unbekanntem hochenergetischen Prozessen entstand und sich noch heute als schwaches Glimmen bemerkbar macht.

Die fundamentale Frage nach dem Ursprung dieser Strahlung lässt sich womöglich mit GLAST beantworten. Denn das LAT kann mit seiner höheren Empfindlichkeit und einer gleichmäßigen Überdeckung des Himmels den Beitrag von Punktquellen zur diffusen Hintergrundstrahlung von einer möglichen kosmologischen Komponente trennen. Würde eine solche kosmologische Komponente nachgewiesen, so wäre das gewiss eine der herausragenden Entdeckungen von GLAST. Denn eine echte diffuse Komponente könnte vom Zerfall exotischer Teilchen im jungen Universum herrühren. Ein solcher Kandidat ist das Neutralino – das leichteste supersymmetrische Teilchen des Standardmodells der Elementarteilchenphysik. Es ist zugleich der aussichtsreichste Kandidat für die Dunkle Materie, die etwa zwanzig Prozent aller Materie im Universum ausmacht.

Die Dunkle Materie wurde postuliert, um das Rotationsverhalten von Galaxien und die Stabilität von Galaxienhaufen zu erklären. Sollte das Neutralino die Dunkle Materie ausmachen, so müsste seine Dichte, wie Modellrechnungen zeigen, zum galaktischen Zentrum hin zunehmen. Da die Neutralinos auf Grund ihrer nichtrelativistischen Geschwindigkeiten zerstrahlen und dabei Gammalinien mit Energien im GeV-Bereich emittieren würden, müsste das

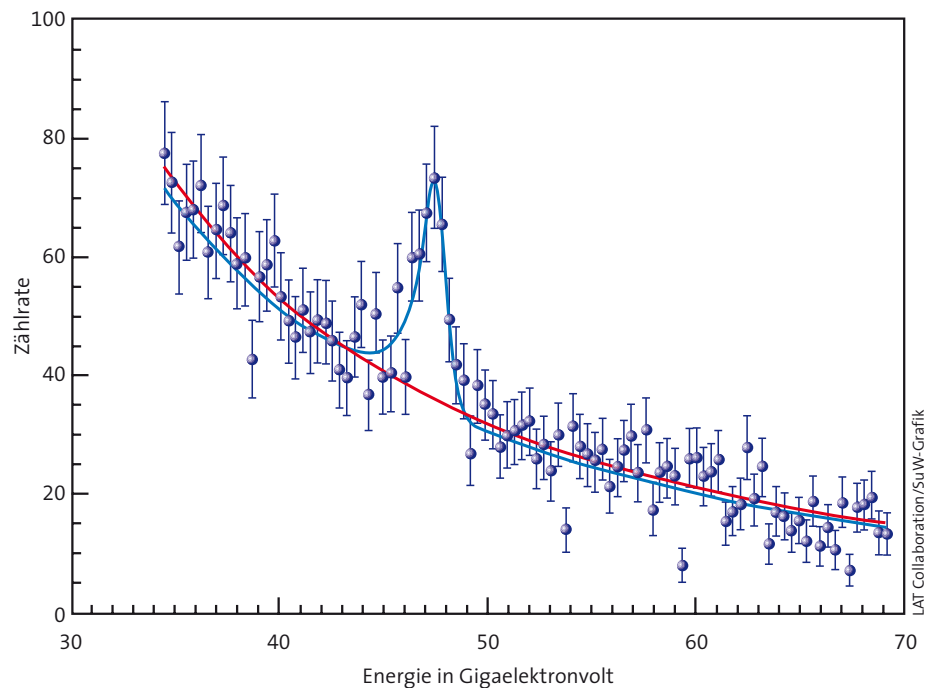
LAT für bestimmte Parameter des entsprechenden theoretischen Modells eine solche Linie messen. Das haben jedenfalls die Ergebnisse von Simulationsrechnungen gezeigt, die eine starke Gammalinie bei etwa 47 GeV vorhersagen (siehe Grafik unten). GLAST könnte also nicht nur die Frage nach dem Ursprung der diffusen Hintergrundstrahlung beantworten, sondern auch das Rätsel der Dunklen Materie lösen.

Pulsare

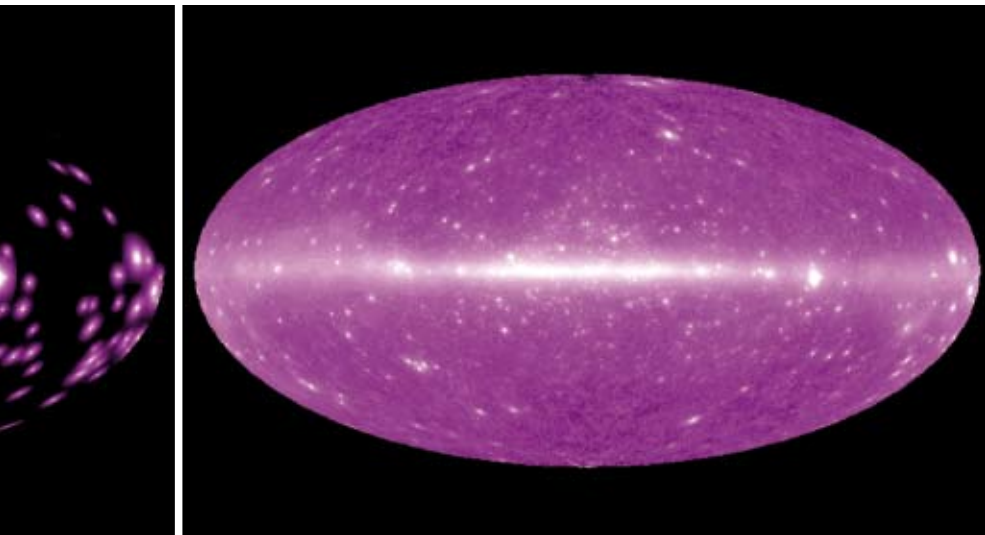
Pulsare, schnell rotierende Neutronensterne, waren die ersten bei Gammaenergien entdeckten Quellen und werden seit 30 Jahren gründlich untersucht. Dennoch gibt es bei ihnen noch viele offene Fragen. Beispielsweise ist noch immer unklar, wie

und wo die Teilchen beschleunigt werden, welche die Gammastrahlung erzeugen. Und wie sieht die Geometrie des Teilchenstrahls aus? Diese Frage ist wichtig, denn sie bestimmt, welcher Teil des Himmels vom Emissionskegel überstrichen wird: Erst wenn man das weiß, lässt sich die Anzahl der Pulsare in unserer Galaxis verlässlich abschätzen.

Zu all diesen Fragen wird GLAST wichtige Erkenntnisse beisteuern. Denn der Satellit testet die Physik der Pulsaremission, indem er mit seiner hohen Zeitauflösung phasenabhängige hochaufgelöste Energiespektren misst. Das erlaubt dann einen Vergleich mit den Vorhersagen der theoretischen Modelle. So sollte zum Beispiel unterschieden werden können, ob die



Sollte die Dunkle Materie aus exotischen Teilchen bestehen, könnte GLAST Hinweise darauf finden. Ein Neutralino beispielsweise sollte sich durch eine Emissionslinie (blau) verraten.



Die bisher umfassendste Karte von hochenergetischen Gammaquellen am Himmel erstellte das Teleskop EGRET an Bord des Satelliten CGRO (ganz links). Ein Auge, das diese Gammaquellen sehen könnte, würde den Himmel etwa wie im mittleren Bild gezeigt wahrnehmen. Das rechte Bild, eine Computersimulation, verdeutlicht, wie GLAST mit seiner besseren Energie- und Ortsauflösung den hochenergetischen Gammahimmel beobachten wird.

EGRET Collaboration (links, Mitte)/LAT Collaboration (rechts)

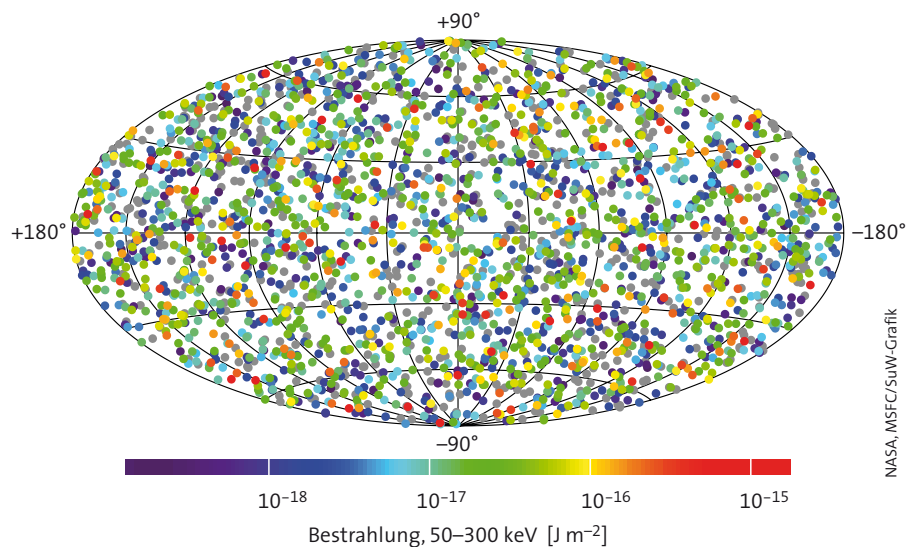
Gammastrahlung bevorzugt in der Magnetosphäre oder in der Nähe der Polkappen des Neutronensterns erzeugt wird, denn die Spektren der beiden Fälle sollten sich bei Energien von mehr als 10 GeV deutlich unterscheiden.

Solare Flares

Auch die Strahlung der Sonne gehört zu den Forschungsobjekten von GLAST. Seit Anfang der 1970er Jahre ist bekannt, dass solare Flares Gammastrahlung im MeV-Bereich emittieren. Die Strahlung stammt von Teilchen, die bei einer solchen Eruption beschleunigt werden und dann mit den Atomkernen der Sonnenatmosphäre in Wechselwirkung treten. Die angeregten Atomkerne emittieren beim Übergang zurück in den Grundzustand diskrete Gammaquanten.

Doch Bremsstrahlung und der Zerfall von Pi-Mesonen erzeugen auch ein kontinuierliches Spektrum, das sich bis in den GeV-Energiebereich erstreckt. EGRET hat 1991 noch mehrere Stunden nach Ausbruch eines sehr intensiven Flares dessen Gammastrahlung bis zu 2 GeV registriert. Bis heute ist unklar, wie es zu dieser lang anhaltenden Emission kommen konnte. Werden die Teilchen in der impulsiven Phase beschleunigt und dann in »magnetischen Flaschen« gespeichert, oder werden sie kontinuierlich über den gesamten Zeitraum beschleunigt? Das sind die Fragen, die uns Astrophysiker interessieren.

GLAST wird auf verschiedene Weise zur Beantwortung dieser Fragen beitragen. Das LAT kann die Emissionsregion eines starken Flares mit hoher Auflösung abbilden. Damit lässt sich feststellen, ob die Beschleunigung punktförmig oder ausgebreitet erfolgt. Die hohe Empfindlichkeit



NASA, MSFC/SuW-Grafik

Diese Himmelskarte in galaktischen Koordinaten enthält die Positionen der 2704 Gammastrahlenausbrüche, die das Burst and Transient Source Experiment (BATSE) an Bord des Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) während seiner neunjährigen Missionsdauer beobachtete. Ihre gleichmäßige Verteilung am Himmel zeigt, dass die Bursts kosmischen Ursprungs sind und nicht in unserem Milchstraßensystem entstehen.

und der große dynamische Bereich des LAT ermöglicht zudem ein deutlich besseres Studium der Flarespektren und ihrer zeitlichen Entwicklung. Die genaue Messung der spektralen Form wird ergeben, ob die Gammastrahlung durch beschleunigte Elektronen oder Protonen erzeugt wird.

Für die Vermessung solarer Flares eignet sich auch der GBM mit seinem großen Gesichtsfeld. Er wird wesentlich mehr Flares als das LAT beobachten und gerade den Energiebereich von 10 keV bis 30 MeV abdecken, in dem die Emissionslinien der angeregten Atomkerne auftreten. Da GLAST während des Minimums des elfjährigen solaren Aktivitätszyklus startet, wird die Zahl der beobachtbaren Flares von Jahr zu Jahr zunehmen und nach fünf Jahren (der geplanten Lebensdauer von GLAST)

fast das Maximum erreichen. Man darf also erwarten, dass GLAST die Flarephysik einen großen Schritt weiter nach vorn bringen wird.

Gammastrahlenbursts

Gammastrahlenausbrüche (auch Gammablitz oder nach dem englischen *gamma-ray bursts* kurz GRBs genannt) sind kurzzeitige, einige millisekunden- bis minutenlange Strahlungsausbrüche von Quellen, die – wie wir heute wissen – in Entfernungen von einigen Milliarden Lichtjahren stehen. Seit mehr als 30 Jahren gehören sie zu einem der großen Rätsel der Astrophysik (siehe SuW 12/2007, S. 42 ff., und den Beitrag auf S. 30 in diesem Heft).

Im Zeitraum ihrer Ausbrüche gehören die GRBs zu den hellsten Gammaquellen

am Himmel, und speziell bei hohen Gammaenergien, im GeV-Bereich, können sie bis zu zehntausendmal heller sein als die hellsten aktiven Galaxienkerne. Die Positionen der Gammablitz am Himmel sind gleichmäßig verteilt, was einen Ursprung innerhalb unseres Milchstraßensystems ausschließt (siehe Grafik auf S. 47 unten). Ein GRB wiederholt sich nicht, wie es bei anderen veränderlichen Erscheinungen der Fall sein kann. Daher werden Gammablitz häufiger durch Instrumente mit großem Gesichtsfeld, wie dem LAT und dem GBM, beobachtet. So erwarten wir mit dem GBM die Entdeckung von etwa 200 Gammablitz pro Jahr.

Der GBM wird zu jedem mit dem LAT entdeckten Gammablitz die spektrale Information in einem breiten Energieband mit hoher Zeitauflösung liefern. Zusammen mit dem LAT werden sogar sieben Energiedekaden abgedeckt (siehe Grafik oben rechts).

Mit Hilfe der vom GBM gemessenen Spektren wird es erstmals möglich sein, einen Zusammenhang zwischen der hochenergetischen und der niederenergetischen Gammaemission herzustellen – ein entscheidender Fortschritt im Hinblick auf die Entscheidung zwischen verschiedenen theoretischen Modellen.

Hochenergetische Gammaemission hatte EGRET in nur wenigen Fällen beobachtet. Speziell im Fall von GRB 940217 war erstaunlich, dass dieses hochenergetische Nachleuchten anderthalb Stunden anhielt. Es ist bis heute ein Rätsel, wie es zu einer solch langen Emission kommen kann. Unklar ist auch, wie diese Gammaquanten produziert werden und vor allem, wie sie ihrem Entstehungsgebiet entkommen können, ohne vorher absorbiert zu werden. Nur jene Gammaquanten können entweichen, die sich parallel zu den Röntgenphotonen bewegen, wie es für ein sich mit relativistischer Geschwindigkeit bewegendes Emissionsgebiet der Fall ist. Die Beobachtungen mit EGRET zeigen, dass dafür extrem hohe Geschwindigkeiten erforderlich sind, die höchstens um wenige tausendstel Prozent von der Lichtgeschwindigkeit abweichen.

Für die Erzeugung von Gammastrahlung durch Elektronen und Protonen kommen mehrere Prozesse in Frage, zum Beispiel die direkte Erzeugung über die Ablenkung der geladenen Teilchen in einem starken Magnetfeld oder aber über inverse Comptonstreuung, wo ein relativistisches Teilchen mit einem Photon zu-

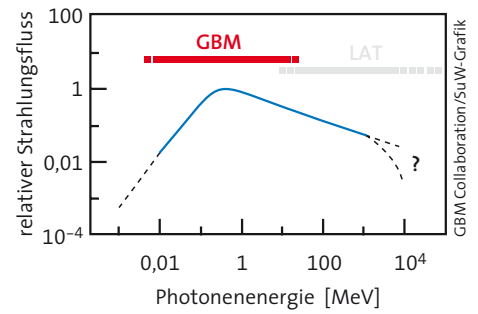
sammenstößt und es zu Gammaenergien hochkatapultiert. Die Beobachtungen der zeitlichen Entwicklung der spektralen Energieverteilung über den Energiebereich, der mit GLAST gemessen werden kann, wird eine Entscheidung zwischen den verschiedenen Emissionsmechanismen erlauben.

Die kurze Totzeit des LAT wird erstmals das Studium des Zeitverhaltens von Gammablitz bei diesen hohen Energien ermöglichen. Die Beobachtungen der spektralen Entwicklung und der Energieabhängigkeit der GRB-Pulsstrukturen haben gezeigt, wie äußerst wichtig diese sind, um zwischen internen und externen Stoßmodellen unterscheiden zu können. Stöße sind eine effiziente Methode, um Teilchen auf hohe Energien zu beschleunigen. Dabei erzeugen die internen Stöße – schnellere Teilchen innerhalb der explodierenden Quelle laufen auf langsamere auf – die Gammaquanten der prompten Emission, womit sich auch die irregulären Lichtkurven von GRBs erklären lassen. Die externen Stöße, wo die Teilchen mit dem Medium der Umgebung in Wechselwirkung treten, erzeugen sehr wahrscheinlich das Nachleuchten bei größeren Wellenlängen (im Röntgenbereich und im Optischen). Die Messungen von GRB-Lichtkurven bei verschiedenen Energien, wie sie GLAST durchführen kann, werden Licht auf diese Beschleunigungsprozesse werfen.

Instrumentelle Lücke geschlossen

Es konnte hier nur ein exemplarischer Überblick über die Wissenschaft gegeben werden, die man sich von den Beobachtungen mit GLAST erhofft. Einen wichtigen Aspekt wollen wir aber noch erwähnen: GLAST wird eines der großen Teleskope des nächsten Jahrzehnts sein, und es wird als einziges die Lücke schließen, die zwischen den Energiebereichen klafft, die mit den bodengebundenen Tscherenkow-Teleskopen auf der einen Seite und den weltraumgestützten Röntgenteleskopen auf der anderen Seite erforscht werden können.

Damit wird es erstmals seit CGRO wieder möglich sein, Energiespektren von Quellen über das gesamte elektromagnetische Spektrum mit hoher Genauigkeit zu vermessen. Wissenschaftler des GLAST-Teams bereiten schon seit einiger Zeit die Koordination solcher Beobachtungen vor. Man darf hoffen, dass mit diesen gemeinsamen Anstrengungen unsere Kenntnisse über das extreme Universum enorm erweitert werden.



Die Instrumente LAT und GBM überdecken zusammen etwa sieben Größenordnungen in der Energie der Gammaquanten. Damit lassen sich die Spektren von Gammastrahlenausbrüchen in einem weiten Bereich erfassen.



GISELHER LICHTI ist Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching und arbeitet seit mehr als 30 Jahren in der Gammaastronomie. Er war bei den großen Satellitenmissionen COS-B, CGRO und Integral beteiligt und ist Co-Principal Investigator des GBM.



ANDREAS VON KIENLIN ist Wissenschaftler in der Gammaastronomie-Gruppe am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching. Er ist Co-Investigator des GLAST Burst Monitors (GBM) und des Spektrometers SPI der Gammaastronomie-Mission Integral der ESA.

Literaturhinweise

- Atwood, W. B. et al.:** Ein Fenster zum heißen Universum. In: *Spektrum der Wissenschaft* 4/2008, S. 34–41.
 - De Angelis, A. und Peruzzo, L.:** Das Gammastrahlen-Teleskop MAGIC. In: *Sterne und Weltraum* 8/2007, S. 26–36.
 - Kann, D. A. et al.:** Kosmische Gammastrahlenausbrüche. Neue Erkenntnisse und neue Rätsel in der Ära des Gamma-Satelliten Swift. In: *Sterne und Weltraum* 12/2007, S. 42–50.
 - Morrison, P.:** On gamma-ray astronomy. In: *Il Nuovo Cimento*, 7, 859–864 (1958).
 - Völk, H. J.:** Neue Ergebnisse der Gammaastronomie. In: *Sterne und Weltraum* 8/2006, S. 36–45.
- Weblinks zum Thema siehe unter www.astronomie-heute.de/artikel/948901**

SIRIUS
OBSERVATORIES

presented by **APM Telescopes**



Kuppel 2,3m Durchmesser, optionale Motorisierung und Unterbau

ab € 4.995.-

Kuppeln 3,5 Durchmesser, optionale Motorisierung und Unterbau

ab € 10.995.-



Nach dem 2,3m Heim-Model, dem 3,5m Schul-Model und dem 6,7m Universitäts-Model gibt es nun, dem Wunsch vieler Amateurastronomen folgend, auch ein 5m Observatorium mit der Bezeichnung College-Model von Sirius Observatories. Die große Kuppel bietet viel Platz, ist aber noch klein genug um völlig problemlos aufgebaut zu werden. Eine leicht verständliche Anleitung hilft dabei.

Kuppeln 5,0 Durchmesser, optionale Motorisierung und Unterbau

ab € 35.999.-

Kuppeln 6,7 Durchmesser, optionale Motorisierung und Unterbau

ab € 41.630.-

**Preise zzgl. Versand ab Lager
Frankreich nach Deutschland
je nach Größe ab € 750.-**



Poststrasse 79
66780 Rehlingen

Tel: 06835 - 500671
Fax: 06835 - 500673

www.apm-telescopes.de