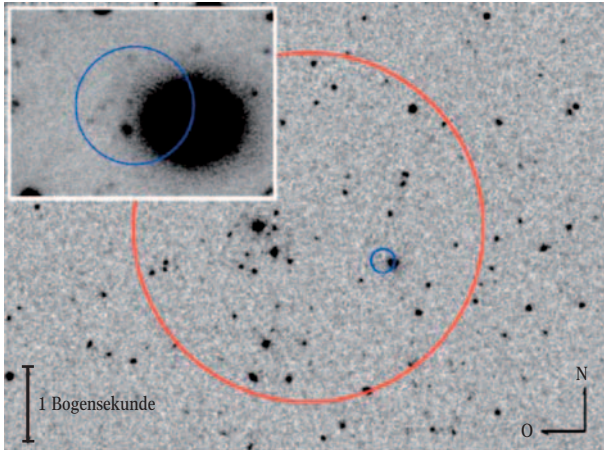


Ausbruch nach Verschmelzen

Neue Erkenntnisse über den Ursprung der kurzen Gammastrahlenausbrüche

Durchbrüche in der Forschung sind häufig neuen experimentellen Anlagen mit neuartigen Detektionsprinzipien und größerer Empfindlichkeit zu verdanken. Das gilt auch für die Erforschung der kosmischen Gammastrahlenausbrüche (Gamma Ray Bursts, GRB). Der Ursprung dieser



Im Mai 2005 gelang es erstmals, auch einen kurzen Gamma Ray Burst (GRB) sehr genau zu lokalisieren: GRB 050509B liegt im Halo einer elliptischen Riesengalaxie (mit Rotverschiebung 0,225), der vermeintlichen Zentralgalaxie eines Galaxienhaufens (Quelle: VLT/FORS2; GRACE Kollaboration).

gewaltigsten Strahlenausbrüche im Universum war lange Zeit völlig rätselhaft.¹⁾ Insbesondere dank des im November 2004 gestarteten Satelliten Swift,²⁾ welcher speziell der schnellen und präzisen Ortung der kosmischen Gamma-Ray Bursts gewidmet ist, hat unser Verständnis der Natur dieses Phänomens ganz erhebliche Fortschritte gemacht.³⁾

Seit einigen Jahren ist bekannt, dass sich die kosmischen Gamma-bursts in „weiche“ und lang anhaltende Bursts (niederenergetischere Gammastrahlung und etwa 2 bis 1000 Sekunden Dauer) einerseits, und „harte“ und zugleich kurze Bursts (höherenergetische Gammastrahlung und etwa 0,01 bis 2 Sekunden Dauer) andererseits unterteilen lassen [1]. Dies deutet auf zwei grundsätzlich verschiedene Populationen und Entstehungsmechanismen hin.

Die Entstehung der langen Bursts, die etwa 75 Prozent aller GRBs ausmachen, lässt sich durch das sog. „Kollapsar-Modell“ [2] erklären: Wenn schnell rotierende, massereiche Sterne ($M > 30 M_{\odot}$) ein Schwarzes Loch bilden, so kann die Rotation zur Bildung einer um-

gebenden Akkretionsscheibe führen. Durchbricht der doppelseitige Jet entlang der Rotationsachse des Schwarzen Loches die kollabierende Sternhülle, so kann er als GRB „sichtbar“ werden, falls der Strahl in unsere Richtung zeigt. Schockwellen im Jet erzeugen den GRB durch Synchrotronstrahlung relativistischer Elektronen. Das langwelligere Nachglühen (Afterglow) setzt gleichzeitig oder unwesentlich später durch Wechselwirkung des Jets mit der umgebenden Materie ein. Das Modell sagt eine simultane Supernova vorher, die innerhalb von zwei bis drei Wochen ihre maximale Helligkeit erreichen sollte.

In den letzten zwei Jahren haben die Beobachtungen klar belegt, dass sich die lang dauernden GRBs durch das Kollapsar-Modell erklären lassen. Das Aufleuchten (optical transient), welches einem langen Burst folgt, ist dabei immer die Überlagerung des eigentlichen Afterglow-Lichts, des Supernova-Lichts mit einem Maximum etwa $(15 \dots 20) \cdot (1+z)$ Tage nach der Explosion (z ist die Rotverschiebung) und dem konstanten Licht der Muttergalaxie, in welcher sich der massereiche Stern befunden hat.⁴⁾ Spektroskopische Beobachtungen haben zudem gezeigt, dass GRB-Supernovae vom Typ Ib/c sind. Sie lassen sich als Explosion eines massereichen Sterns verstehen, der von seiner äußeren Wasserstoff- und eventuell sogar der Heliumhülle befreit ist. Auch dass sich in Afterglow-Spektren (wie z. B. bei GRB 030226; [3]) verschiedene Absorptionslinienkomplexe hochionisierter Elemente fanden, ist damit vereinbar.

Die Supernova-Rate des gesamten Universums beträgt etwa eine Explosion pro Sekunde. Die GRB-Rate beläuft sich hingegen auf etwa ein Ereignis pro Tag. Selbst wenn man den „Leuchtturm-Effekt“ wegen der gebündelten und stark gerichteten Emission („beaming factor“) berücksichtigt, dürfte der Bruchteil aller Supernovae, die wir als GRBs beobachten, sehr klein sein. Die Voraussetzungen für einen GRB sind zudem sehr speziell (große Masse und schnelle Rotation). Daher dürfte es nur sehr selten gelingen, das spektakuläre Endstadium eines massereichen Sterns, also den Gravitationskollaps zu einem rotierenden Schwarzen Loch und die nachfolgende Entstehung des Materiejets, im Gammabereich zu beobachten. Dennoch eröffnet

die direkte Verknüpfung zwischen GRBs und Supernovae eine neue Methode, um die kosmische Sternentstehungsrate bis hin zu sehr hohen Rotverschiebungen zu verfolgen. Der derzeitige Rekordhalter ist GRB050904 bei $z = 6,29$ [4], vergleichbar mit den höchsten Werten bei Galaxien und Quasaren.

Während die Quellen der langen Bursts damit eindeutig identifiziert sind, ist die Situation bei den kurzen Bursts, die etwa ein Viertel aller GRBs ausmachen, weit weniger klar. Man vermutete, dass kurze Bursts auftreten, wenn die beiden Sterne eines Doppelsternpaares, von denen mindestens einer ein Schwarzes Loch oder ein Neutronenstern ist, miteinander verschmelzen [5]. Den größten Anteil letzterer Gruppe sollten Neutronensternpaare bilden, wie z. B. das berühmte Hulse-Taylor-Doppelpulsar-System PSR B1913+16, das infolge der Abstrahlung von Gravitationswellen in etwa 300 Millionen Jahren verschmelzen wird. Diese Hypothese ließ sich aber zunächst nicht durch Beobachtungen bestätigen.

Im Mai 2005 gelang es nun erstmals, einen kurzen Burst (GRB 050509B) schnell und mit bislang unerreichter Genauigkeit im Halo einer elliptischen Ringgalaxie zu lokalisieren sowie einen schwachen Röntgen-Afterglow zu detektieren [6] (Abb.). Nachfolgebeobachtungen u. a. mit dem Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte (ESO) ergaben keinen Hinweis auf eine unterliegende Supernova-Komponente, wie man es von den langen Bursts her kennt. Während bei GRB 050509B keinerlei optisches Nachglühen zu beobachten war, gelang kaum zwei Monate später der Erstnachweis der optischen Afterglows von zwei weiteren kurzen Bursts (GRB 050709 und GRB 050724 [7, 8]). Dies gestattete eine exakte Lokalisierung und damit auch Messung der Rotverschiebung ($z = 0,160$ bzw. $z = 0,258$).⁵⁾

Mit Hilfe der Rotverschiebung der jeweiligen Galaxien, in denen die kurzen GRBs lokalisiert werden konnten, ließ sich auf deren Entfernung und daraus wiederum auf die emittierte Gesamtenergie schließen. Nun zeigte sich, dass die kurzen Bursts etwa nur ein Tausendstel der Energie haben, die bei einem langen Burst freigesetzt wird. Dies ist – ebenso wie die anderen Eigenschaften der beobachteten Strahlung – kompatibel mit dem Modell

1) vgl. S. Klose, J. Greiner und D. H. Hartmann, Physikal. Blätter, Dezember 2001, 47 (2001)

2) vgl. Physik Journal, Januar 2005, S. 7

3) Natürlich tragen auch bodengebundene Beobachtungen und Archivdaten entscheidend zu den Fortschritten bei, vgl. dazu A. Gal-Yam et al., astro-ph/0509891 (2005)

4) Je nach Rotverschiebung z kann sich dabei sowohl die Supernova-Komponente als auch die Muttergalaxie der Beobachtung entziehen.

5) Der Afterglow von GRB 050724 wurde mit dem dänischen 1,54-m-Teleskop auf La Silla, Chile, aufgefunden. Selbst mit relativ kleinen Teleskopen lassen sich also hervorragende wissenschaftliche Entdeckungen machen.

verschmelzender Neutronensterne. Das ist ein Meilenstein in der Erforschung der Gammastrahlenausbrüche. Kurze Bursts wurden in Regionen mit geringer Sternentstehungsrate (z. B. im Halo einer elliptischen Galaxie wie im Falle von GRB 050709) entdeckt, während lange Bursts immer mit hohen Sternentstehungsraten verbunden sind. Das ist konsistent damit, dass kurze Bursts von alten Populationen verschmelzender Doppelsterne herrühren, während lange Bursts im Endstadium kurzlebiger massereicher Sterne auftreten.⁶⁾

Die Thematik der kurzen Bursts ist physikalisch außerordentlich interessant und verspricht weitere spannende Entdeckungen. Das derzeit favorisierte Szenario hat zudem bedeutende unmittelbare Implikationen für die Gravitationswellendetektoren der nächsten Generation, die primär das Verschmelzen von Neutronensternen nachweisen dürften. Denn wenn die Reichweite der Detektoren bis in Entfernungen jenseits des Virgo-Haufens vorstößt, dann erreichen sie Gebiete, wo die ersten Vertreter

der Burster-Population auftauchen sollten. Die Ortungsgenauigkeit der Gravitationswellendetektoren wird jedoch vergleichsweise gering sein. Sollten solche Verschmelzungen aber zugleich im Gammaband als GRB detektierbar sind, dann ließe sich die Quelle durch das zeitgleiche Auftreten eines kurzen Bursts und eines Gravitations-Signals letztlich exakt am Himmel lokalisieren. Das würde der gesamten Theorie starker Gravitationsfelder sehr wahrscheinlich einen merklichen Schub verleihen.

DIETER H. HARTMANN

- [1] C. Kouveliotou et al., *Astrophys. J.* **413**, L101 (1993)
- [2] S. E. Woosley, *Astrophys. J.* **405**, 273 (1993)
- [3] S. Klose et al., *Astron. J.* **128**, 1942 (2004)
- [4] N. Kawai et al., *GCN Circular No.* **3937** (2005)
- [5] M. Ruffert und H.-Th. Janka, *Astron. Astrophys.* **380**, 544 (2001)
- [6] N. Gehrels, et al., *Nature* **437**, 851 (2005)
- [7] D. B. Fox et al., *Nature* **437**, 845 (2005)
- [8] J. Hjorth et al., *Nature* **437**, 859 (2005)

Spin statt Ladung

Neue Ergebnisse zum Spintransport in Kohlenstoff-Nanoröhrchen und zweidimensionalen Elektronengasen untermauern das Potenzial der Spintronik.

Während die konventionelle Elektronik nur von der Ladung der Elektronen Gebrauch macht, zielt die Spintronik darauf ab, sich auch den Spin der Elektronen dienstbar zu machen, um neue oder auch effizientere Wege zur Informationsverarbeitung zu entwickeln [1]. Auf diesem Weg haben Sangeeta Sahoo und Mitarbeiter an der Universität Basel jetzt einen Spin-Feldeffekttransistor vorgestellt [2], bei dem spinpolarisierte Elektronen durch ein Kohlenstoff-Nanoröhrchen wandern. Mit einem elektrischen Feld können sie den Spintransport durch das Nanoröhrchen derart verändern, dass sie abwechselnd einen positiven und einen negativen Tunnelmagnetowiderstand erhalten. Auf diese Weise haben sie ein Spintronik-Bauelement realisiert, beim dem das Eingangssignal an einem

6) Die Szenarien für beide Arten von Bursts sind zudem im Einklang mit den Daten des ehemaligen Weltraum-Gamma-Teleskops BATSE (Burst and Transient Source Experiment), aus denen sich die Rate von 0,1 bis 1 Ereignissen pro Jahr und Kubik-Gigaparsec abschätzen lässt.

Prof. Dr. Dieter H. Hartmann, Department of Physics and Astronomy, Clemson University, South Carolina, USA