

■ Eine Klasse für sich?

Bislang ließen sich alle Gamma-Ray Bursts (GRBs) in zwei Klassen einteilen. Ein im vergangenen Jahr detektierter Burst scheint nicht in dieses Schema zu passen.

Gammastrahlenblitze sind gewaltige Energieausbrüche mit einer Dauer von weniger als einer Sekunde bis einigen Minuten, die sich in sehr großer Entfernung von uns ereignen. Ein Gamma-Blitz strahlt heller als alle übrigen Gammastrahlenquellen am Himmel zusammen. Gammablitz haben zudem ein Nachglühen im Röntgen-, optischen und Radio-Spektralbereich, das sich über Tage bis Wochen abschwächt und schließlich erlischt [1].

Alle bislang beobachteten GRBs lassen sich in zwei Klassen einteilen: Die langen GRBs mit weicher Gammastrahlung dauern mindestens zwei Sekunden, die kurzen GRBs mit harter Gammastrahlung sind kürzer. Bei drei von den über 400 bislang beobachteten langen Bursts wurde einige Tage nach dem Gammablitz eine Kernkollaps-Supernova entdeckt (bzw. „Hypernova“ wegen der typischerweise um einen Faktor 100 größeren abgestrahlten Energiemenge). Zum ersten Mal gelang diese Verknüpfung bei der Hypernova SN 1998bw, die mit dem GRB 980425 einherging und daher oft als Beispiel angeführt wird.

Im Allgemeinen ereignen sich lange GRBs in jungen „blauen“ Galaxien mit jungen Sternen und hoher Sternbildungsrate. Nach dem Kollapsmodell entstehen diese GRBs beim Kollaps eines massereichen Sterns und der Bildung eines Schwarzen Loches. Die damit einhergehende Supernova (SN) sollte in allen nahen GRBs zu sehen sein. Kurze GRBs sind hingegen schwieriger zu lokalisieren und haben auch ein schwächeres Nachglühen. Eine SN wurde bisher jedoch bei keinem kurzen GRB entdeckt. Man glaubt, dass kurze GRBs beim Verschmelzen zweier Neutronensterne oder eines Neutronensterns und eines Schwarzen Loches entstehen. Schließlich zeigen die Muttergalaxien kurzer GRBs kaum



Nach dem sog. Kollapsar-Modell gehen lange Gamma Ray Bursts mit einer Supernova einher, deren ausgestoßene Hülle (hier: der Krebs-Nebel) sichtbar sein sollte. Entgegen dieser Erwartung war dies bei dem langen GRB 060614 nicht der Fall.

Zeichen von Sternentstehung. In beiden Fällen geht man davon aus, dass die Explosionen nicht isotrop sind, sondern dass ein GRB zwei entgegengesetzt gerichtete Materiestrahlen (Jets) ausstößt.

Vergebliche Suche nach einer Supernova

Nun liegen Ergebnisse von vier unabhängigen Forschergruppen über den langen GRB 060614 vor, die mit diesen Modellvorstellungen für nicht vereinbar gehalten werden [2–5]. GRB 060614 wurde von dem eigens für die Entdeckung von GRBs konzipierten Satelliten Swift entdeckt und hatte eine Dauer von 102 s, ist also ein langer GRB. Das gut lokalisierte Nachglühen liegt am Rand einer schwachen Zwerggalaxie. Deren Entfernung wurde mit – auf kosmischen Skalen – nur 466 Mpc bestimmt ($z = 0,125$), sodass auch eine SN erwartet wurde. Drei unabhängige Gruppen berichten nun allerdings über ihre vergebliche Suche danach [3–5]. Wenn es dennoch eine SN gab, war

deren maximale absolute Leuchtkraft von $M_V \approx -13,5$ mag mindestens 150-mal schwächer als die bereits erwähnte SN 1998bw ($M_V \approx -19$ mag) – ansonsten hätte man sie in den Bildern sehen müssen. Wäre also der GRB 060614 das Ergebnis einer SN-Explosion gewesen, dann hätte diese sogar schwächer sein müssen als die gewöhnlichen Supernovae. Die Autoren der drei Veröffentlichungen stimmen darin überein, dass sich die Abwesenheit der SN nicht durch Absorption in der Muttergalaxie des GRB oder im interstellaren Medium unserer Galaxie erklären lässt, weil diese sehr klein ist.

Zwei weitere Ungereimtheiten fallen bei GRB 060614 auf:

- Die Muttergalaxie von GRB 060614 ist sehr lichtschwach, eine Größenordnung lichtschwächer als typische GRB-Galaxien [4].
- Der Unterschied in den Ankunftszeiten von energieärmeren Photonen und energiereichen, der sog. Zeitverzug (temporal lag), entspricht eher dem typischen Verhal-

ten kurzer Bursts, was inkonsistent mit der langen Dauer ist.

Fynbo et al. diskutieren einen weiteren Burst, GRB 060505, der ebenfalls lang und nah ist (Dauer ca. 4 s, $z = 0,089$, entsprechend 332 Mpc). Auch bei ihm wurde keine SN entdeckt und die Leuchtkraft mit ca. 250-mal schwächer als SN 1998bw angegeben [3]. Dieser Burst wurde in einer normalen Muttergalaxie gefunden, aber leider war es wegen des Datenformats nicht möglich, den Zeitverzug zwischen energieärmeren und energiereichen Photonen zu messen.

Es ist offensichtlich, dass GRB 060614 und GRB 060505 ungewöhnlich waren. Gehrels et al. schlagen deshalb u. a. vor, eine neue Klasse von GRBs langer Dauer einzuführen, die nicht von massereichen Sternen produziert würden [2]. Ob dies wirklich nötig ist, wird sich jedoch erst zeigen müssen. Derzeit existieren mehrere alternative Erklärungen, die zwar teilweise

als unwahrscheinlich erscheinen, aber durchaus wahrscheinlicher sind als die Notwendigkeit einer dritten GRB-Klasse, nachdem für alle ca. 4000 bislang beobachteten GRBs zwei Klassen ausgereicht haben. Eine dieser Alternativen ist eine größere Entfernung, sodass die Zuordnung des GRB zu der derzeit favorisierten Muttergalaxie falsch wäre. Bereits eine um den Faktor 3 bis 5 größere Entfernung reicht aus, um sowohl die Leuchtkraft der Muttergalaxie in den „normalen“ Bereich zu bringen als auch die Nicht-Entdeckung der Supernova plausibel erscheinen zu lassen. Die Röntgen- und UV-Daten erlauben eine um bis einen Faktor 10 größere Entfernung ($z = 1,3$, Vertrauensbereich 99,99 %) [2]. Eine andere Alternative wäre, dass die zu GRBs führenden Hypernovae durchaus unterschiedlich hell sind – im Gegensatz zu den Standard-Supernovae, die alle die gleiche Energiemenge abstoßen, sodass man aus

deren beobachteter Helligkeit die Entfernung und sogar die Existenz der dunklen Energie ableiten kann. Eine solche geringere Leuchtkraft ließe sich z. B. durch eine sehr schwache Explosion erklären, in der die Geschwindigkeit der abgestoßenen Sternhülle nicht groß genug zum vollständigen Entweichen ist. Daher würde die Hülle wieder zurück auf das Schwarze Loch fallen und könnte keine optische Strahlung aussenden. Welches Szenario zutrifft, wird erst die Beobachtung weiterer GRBs zeigen.

Sheila McBreen und Jochen Greiner

Dr. Sheila McBreen,
Dr. Jochen Greiner,
Max-Planck-Institut
für extraterrestrische
Physik, 85748 Gar-
ching

- [1] S. Klose, J. Greiner und D. H. Hartmann, *Physik. Blätter*, Dezember 2001, S. 47
- [2] N. Gehrels et al., *Nature* **444**, 1044 (2006)
- [3] J. P. U. Fynbo et al., *Nature* **444**, 1047 (2006)
- [4] M. Della Valle et al., *Nature* **444**, 1050 (2006)
- [5] A. Gal-Yam et al., *Nature* **444**, 1053 (2006)

■ Clockwork Optik

Mit kalten Strontiumatomen wurde ein Rekordwert für die spektrale Auflösung eines optischen Übergangs erreicht – ein vielversprechendes Ergebnis für eine neue Generation optischer Atomuhren.

In einer konventionellen Atomuhr wird ein Mikrowellenoszillator auf einen Referenzübergang von Cäsium-Atomen stabilisiert und bildet so das „Pendel“ der Uhr. Ein elektronisches „Uhrwerk“ zählt die Schwingungen und setzt diese in eine Zeitangabe um. Eine wesentlich höhere Genauigkeit versprechen die in den letzten Jahren durchgeführten Entwicklungen für eine optische Atomuhr, bei der ein Laser auf einen optischen Referenzübergang stabilisiert wird. Mit dem von Theodor Hänsch entwickelten optischen Frequenzkamm als Uhrwerk lässt sich die verglichen mit Mikrowellen um Größenordnungen höhere Pendelfrequenz des Lasers präzise herunterteilen und elektronisch zählen. Entscheidend für die insgesamt geringere Unsicherheit ist letztlich, dass die atomare Linie möglichst schmal und

ungestört ist und mit einem hohen Verhältnis von Signal zu Rauschen aufgenommen werden kann. Um Störungen durch die Bewegung der Atome zu vermeiden, müssen diese über eine längere Zeit in einem Bereich lokalisiert bleiben, dessen Ausdehnung kleiner als die Wellenlänge der anregenden Strahlung ist. Diese Forderung ist offensichtlich für Laserlicht schwieriger zu erfüllen als für Mikrowellen.

Die „magische“ Wellenlänge

Große Fortschritte in der Entwicklung optischer Atomuhren ergaben sich in den letzten Jahren durch die Kombination von Techniken der Laserkühlung und der Speicherung von Atomen in Fallen. Als besonders geeignet haben sich lasergekühlte Ionen in Paul-Fallen erwiesen. Hier lässt sich die Bewegung des Ions bis in den Grund-

zustand des Fallenpotentials abkühlen, und die Falle selbst hat praktisch keinen Einfluss auf die innere Niveaustuktur des Ions. Da aber jeweils nur ein einzelnes Ion betrachtet wird, ist das Signal schwach und mit einem relativ starken Rauschen behaftet. Neutrale Atome dagegen lassen sich wegen der Abwesenheit der Coulomb-Abstoßung in großer Zahl und bei hohen Dichten kühlen und speichern. Fallen für neutrale Atome funktionieren jedoch immer über eine Verschiebung der inneren Energieniveaus, die für eine hochauflösende und präzise Spektroskopie sehr nachteilig ist. Eine Lösung dieses Dilemmas hat H. Katori vorgeschlagen: die Speicherung von Atomen in einem „optischen Gitter“ bei einer „magischen“ Wellenlänge [1].

In einer stehenden Laserwelle (dem optischen Gitter), deren Fre-