



SP 18 / 2003 (142)

13. November 2003

Gammastrahlenblitze - kosmisches Feuerwerk bei der Geburt eines Schwarzen Lochs

Astronomen-Team gelingt mit dem Very Large Telescope der ESO der Nachweis, dass Gammastrahlen-Ausbrüche durch die Jet-Emission einer Supernova entstehen

Erst Anfang 2003 haben Wissenschaftler nachgewiesen, dass kosmische Gammastrahlen-Ausbrüche (Gamma-Ray Burst, GRB) in Verbindung mit gewaltigen Supernova-Explosionen auftreten. Diese Entdeckung unterstützt das "Kollaps-Modell", wonach sich die Implosion eines massereichen Sterns über zwei extrem energiereiche Teilchenstrahlen (Jets) ins Weltall entlädt. Doch wegen ihrer extremen Entfernung können diese Jets nicht mit Teleskopen von der Erde aus nachgewiesen werden, sondern allenfalls indirekt in der Lichtkurve des "nachglühenden" Gammastrahlen-Ausbruchs. Einer internationalen Forschergruppe um Jochen Greiner vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching ist es jetzt erstmals gelungen, die Polarisation des nachglühenden Lichts (Afterglow) eines Gammastrahlen-Ausbruchs (GRB 030329) über viele Tage hinweg zuverlässig zu messen. Diese Daten bestätigen jetzt empirisch, dass sich die Explosionswolke der Supernova tatsächlich nicht sphärisch in alle "Himmelsrichtungen", sondern gebündelt in den Jets ausdehnt (Nature, 13. November 2003).

Max-Planck-Gesellschaft
zur Förderung
der Wissenschaften e.V.
Referat für Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit

Hofgartenstraße 8
80539 München

Postfach 10 10 62
80084 München

Telefon: +49 (0)89 2108 - 1276
Telefax: +49 (0)89 2108 - 1207
E-Mail: presse@mpg-gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de

Pressesprecher:
Dr. Bernd Wirsing (-1276)

Chef vom Dienst:
Dr. Andreas Trepte (-1238)

Biologie, Medizin:
Dr. Christina Beck (-1306)

Chemie, Physik, Technik:
Helmut Hornung (-1404)
Eugen Hintsches (-1257)

Geisteswissenschaften:
Susanne Beer (-1342)

Online-Redaktion:
Michael Frewin (-1273)

ISSN 0170-4656

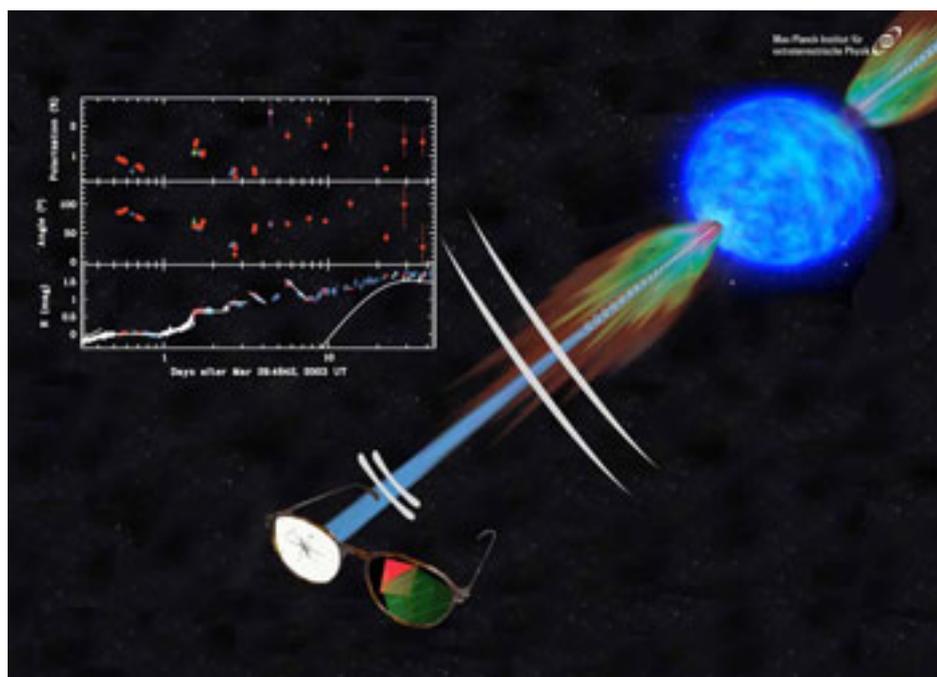


Abb. 1: Schematische Darstellung der Explosion eines massereichen Sterns, der Materie in Form von Jets mit extrem hoher Geschwindigkeiten ausstößt. Treffen diese Jets auf das interstellare Medium, erzeugen sie das linear polarisierte Afterglow-Licht. Aus den Polarisationsmessungen des Lichts lässt sich der Öffnungswinkel des Jets und die Struktur des ihm zugrunde liegenden Magnetfelds bestimmen.

Bild: Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik

Gammastrahlen-Ausbrüche (GRB) sind gewaltige Explosionen in den Tiefen des Weltalls. Innerhalb weniger Sekunden setzen sie mehr Energie frei als die Sonne während ihrer gesamten Lebenszeit von mehr als 10 Milliarden Jahren. Trotzdem sind GRB's von der Erde aus auch mit den stärksten Teleskopen nur als winzige leuchtende Punkte zu sehen. Nach dem derzeit favorisierten Szenario entstehen sie bei der Explosion eines sehr massereichen Sterns in einer extrem hellen Supernova, deshalb auch Hypernova genannt. Diese Explosion kann entweder symmetrisch oder aber sehr asymmetrisch, in Form zweier entgegengesetzt ausgestoßener Teilchenstrahlen (Jets), verlaufen - je nach Stärke des Drehimpulses oder des Magnetfeldes des explodierenden Sterns. Bei einer symmetrischen Explosion würde der vom Beobachter empfangene Energiefluss umgerechnet auf einen Energieausstoß, der sich gleichmäßig über die Kugeloberfläche verteilt. Dies ergibt etwa 1053 erg, eine Energiemenge, die durch theoretische Modelle schwer zu erklären ist. Erfolgt die Explosion jedoch asymmetrisch als Jet, wird der vom Beobachter empfangene Energiefluss nur auf den Öffnungswinkel des Jets umgerechnet, also lediglich auf einen Bruchteil der Kugeloberfläche. In diesem Fall ergibt sich ein Energieausstoß von "nur" 1051 erg, der mit verschiedenen theoretischen Modellen vereinbar ist.

Wegen der extrem hohen Leuchtkraft und dem langen Nachleuchten gehen Wissenschaftler schon seit längerem davon aus, dass Gammastrahlenblitze tatsächlich durch Jets entstehen. Danach bildet sich im Zentrum eines implodierenden Sterns ein rotierendes Schwarzes Loch, das durch Aufsaugen der restlichen Sternmaterie ständig an Masse zunimmt. Über komplizierte Vorgänge entsteht aus der dabei freiwerdenden Gravitationsbindungsenergie eine extreme Energiekonzentration in der Nähe der Rotationsachse des Schwarzen Lochs. Entlang dieser Rotationsachse entsteht dann eine stark gebündelte Ausströmung, ein Jet. Um diese Hypothese zumindest indirekt überprüfen zu können, gibt es heute zwei Möglichkeiten: Zum einen sollte die Lichtkurve eines Gammastrahlen-Ausbruchs zeigen, dass sich die Helligkeitsabnahme etwa einen Tag nach der Explosion charakteristisch beschleunigt. Zum anderen müssten polarimetrische Messungen verdeutlichen, ob die Explosion tatsächlich nichtsphärisch erfolgt und wie groß der Öffnungswinkel des Jets ist.

Den spezifischen Verlauf der Helligkeitsabnahme hat man bereits vor vier Jahren in der Afterglow-Lichtkurve von GRB 990123 erstmals gefunden und danach noch bei einer Handvoll weiterer Gamma-Ray Bursts nachgewiesen. Hingegen waren Polarisationsbeobachtungen von GRB-Afterglows bisher in nur sehr wenigen Fällen überhaupt möglich und bestanden dann aus maximal einer oder zwei Messungen pro GRB. Ihr Nachleuchten wurde selbst für Teleskope der 8-Meter-Klasse zu schnell zu schwach.

Dies änderte sich erst mit GRB 030329, der am 29. März 2003 mit dem NASA-Satelliten "HETE-2" (High Energy Transient Explorer) entdeckt wurde. GRB 030329 ereignete sich in relativ "geringer" Entfernung zur Erde - es handelte sich also um den bislang am nächsten zur Erde gelegenen klassischen Gammastrahlen-Ausbruch. Seine Rotverschiebung betrug nur 0.1685 - er war also "nur" 800 Megaparsec (2,65 Milliarden Lichtjahre) von uns entfernt, was auch seine enorme optische Helligkeit erklärt. Die Messungen bestätigten zunächst frühere Befunde, wonach die Stärke der Polarisation eines GRB-Afterglow nur etwa ein bis drei Prozent beträgt. Darüber hinaus konnten die Forscher aber erstmals weitere 30 Polarisationsmessungen von GRB 030329 mit demselben Teleskop gewinnen und damit die Variation der Polarisation über viele Tage hinweg messen und eine so genannte Polarisationslichtkurve erstellen. Diese Lichtkurve zeigte, dass sich sowohl die Stärke als auch der Winkel der Polarisation ständig ändern. "Derartige Variationen sind die große Überraschung unserer Messreihe," erklärt Jochen Greiner, Astronom am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik und Erstautor der Nature-Studie. "Die Theorie sagt höchstens zwei Maxima in der Polarisationsstärke und nur eine 90 Grad-Änderung des

Winkels voraus. Die Zeitskala dieser Variation hängt mit der Abbremsung des Jets durch das interstellare Medium zusammen."

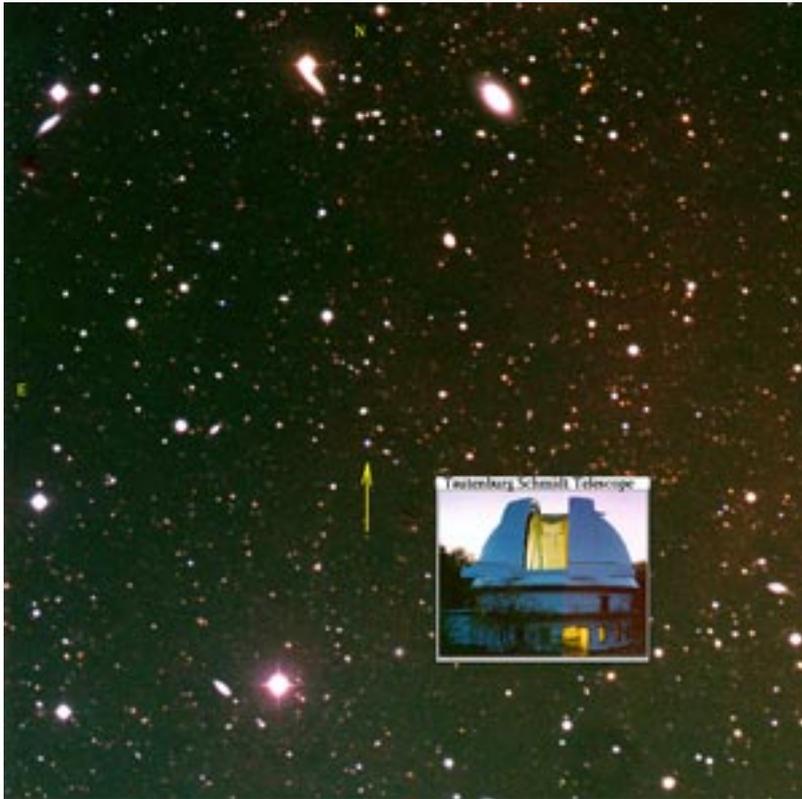


Abb. 2 Das optische Nachleuchten (Afterglow) des Gammastrahlen-Ausbruchs GRB 030329, beobachtet mit dem Tautenburger Schmidt Teleskop (Farbkomposit).

Bild: Thüringer Landessternwarte Tautenburg

Die Lichtkurve verdeutlichte aber auch, dass die der Explosion zugrunde liegende Supernova asymmetrisch war. "Normalerweise würde man erwarten, dass nach etwa zehn Tagen der Jet so langsam und dabei so breit geworden ist, dass wir seine Emission nicht mehr von sphärischer Emission unterscheiden können und die Polarisation auf Null fällt. Doch wir beobachteten selbst nach 38 Tagen immer noch eine deutliche Polarisation. Diese muss also aus dem Licht der Supernova stammen", so Greiner.

Die neuen Befunde ergeben folgendes Szenario: Das Zentrum eines sterbenden Sterns kollabiert zu einem Schwarzen Loch und setzt dabei eine riesige Energiemenge frei, die sich vom Zentrum des Sterns aus in zwei entgegengesetzt gerichteten, hochgradig gebündelten Jets Bahn macht. Innerhalb weniger Sekunden erreichen und durchstoßen diese gewaltigen Teilchenstrahlen die Oberfläche des Sterns und schießen in das den Stern umgebende interstellare Medium hinaus. Dort werden sie abgebremst und erzeugen das von der Erde aus sichtbare Nachleuchten. Die Polarisationsdaten der ersten Tage nach GRB 030329 zeigen nun genau diesen nichtsphärischen Charakter: Die Explosionswolke war also streng gebündelt.

In dem Moment, wo der Jet die Oberfläche des Stern durchstößt, wird auch der Stern selbst zerrissen. Eine Supernova entwickelt sich, die nach bisherigen theoretischen Voraussagen ebenfalls asymmetrisch sein sollte. Auch diese Hypothese wurde nun erstmals durch die etwa zwei Wochen nach der Explosion von GRB 030329 gewonnenen Polarisationsdaten bestätigt. "Aus den spektroskopischen Beobachtungen wissen wir nämlich, dass nach etwa vierzehn Tagen das Supernova-Licht dominiert. Und wieder zeigten die Polarisationsmessungen an, dass das Licht zu diesem späten Zeitpunkt linear polarisiert war: Auch die eigentliche Sternexplosion war also extrem asymmetrisch," so Greiner.

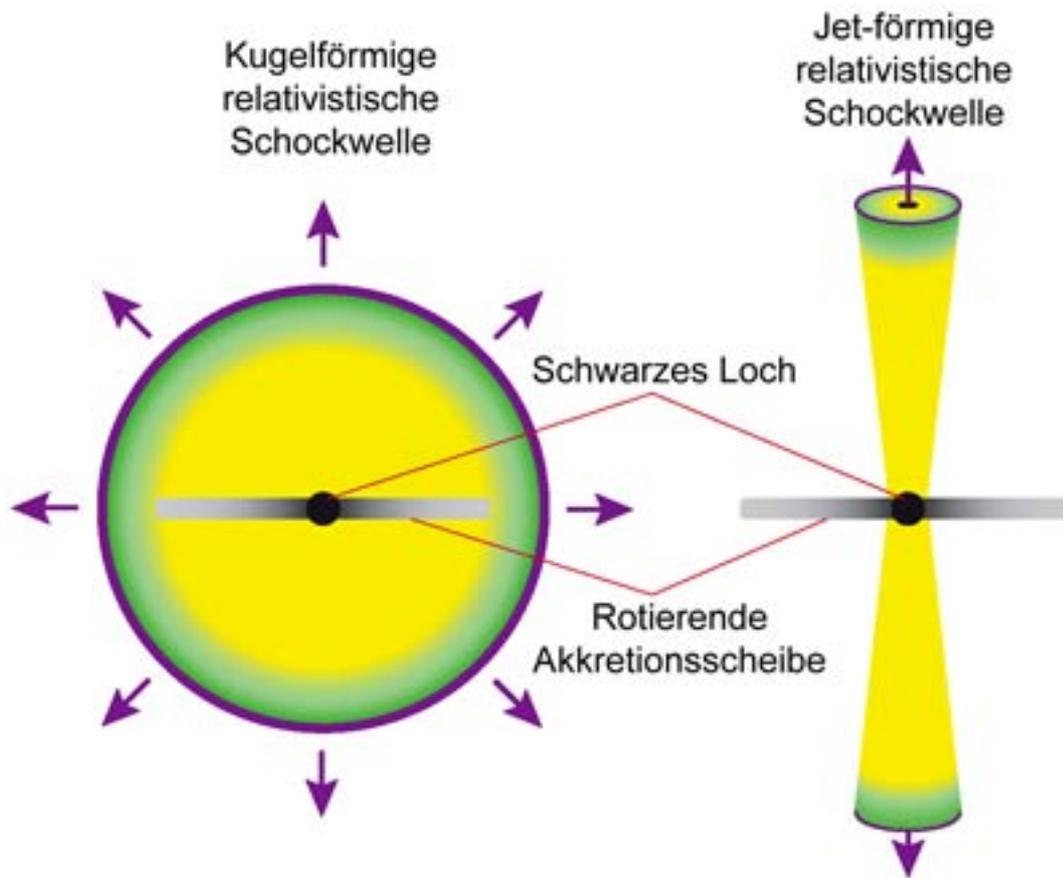


Abb. 3: Zwei Alternativen für die Explosion eines Gammastrahlen-Ausbruchs. Diese kann sich entweder in alle Richtungen (isotrop) ausbreiten (linkes Bild), oder in zwei entgegengesetzt gerichtete Jets (rechtes Bild). Ist der Jet auf uns gerichtet, sehen wir in beiden Fällen gleich viel Strahlung während des Ausbruchs, allerdings ist der intrinsische Energiefluss im Falle der isotropen Explosion um ein Vielfaches höher. Die Wissenschaftler gehen heute davon aus, dass die Explosion in beiden Fällen ein Schwarzes Loch produziert, welches anschließend die Materie aus seiner unmittelbaren Umgebung aufsaugt.

Bild: Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik

"Unsere ausgedehnten Polarisationsmessungen lassen nun erstmals Rückschlüsse über die Struktur des Magnetfeldes im Jet zu. Offenbar können sich die zwei senkrecht zueinander stehenden Komponenten des Magnetfeldes in dem Jet um nicht mehr als 10 Prozent voneinander unterscheiden, zum Beispiel in Form einer in sich verwundenen Spirale," sagt Jochen Greiner.

Doch noch sind die Forscher von einem detaillierten Verständnis der beobachteten Polarisationslichtkurve weit entfernt. So sind die vorliegenden Daten zu GRB 030329 mit nur einem Jet und konstantem Öffnungswinkel nicht vereinbar. Die Wissenschaftler vermuten deshalb, es könnten in diesem Fall auch zwei Jets im Spiel gewesen sein, ein extrem schneller und sehr schmal gebündelter Jet, der den GRB erzeugte, und ein breiterer und langsamerer Jet, der die Afterglow-Lichtkurve dann nach einigen Tagen dominierte."

[AT]

Verwandte Links:

[1] [European Southern Observatory \(ESO\)](#)

[2] [Änderungen der Polarisation im Nachleuchten des GRB 030329](#)

Originalveröffentlichung:

Jochen Greiner, Sylvio Klose, Klaus Reinsch, Hans Martin Schmid, Re'em Sari, Dieter Hartmann, Chryssa Kouveliotou, Arne Rau, Eliana Palazzi, Christian Straubmeier, Bringfried Stecklum, Sergej Zharikov, Gagrik Tovmassian, Otto Bärnbantner, Christop Ries, Emmanuel Jehin, Arne Henden, Anlaug A. Kaas, Tommy Grav, Jens Hjorth, Holger Pedersen, Ralph A.M.J. Wijers, Andreas Kaufer, Hye-Sook Park, Grant Williams, Olaf Reimer

The evolution of the polarization of the afterglow of GRB 030329

Nature, Vol. 426, 13 November 2003

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Jochen Greiner

[Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching](#)

Tel.: 089 30000-3847

Fax: 089 30000-3404

E-Mail: jcg@mpe.mpg.de