

ZUM NACHDENKEN

Energiequelle von Gammablitz



Gammablitz zeugen von energiereichen Vorgängen, bei denen Schwarze Löcher entstehen. Die kurze Variante resultiert aus der Verschmelzung zweier Neutronensterne.

Aufgabe 1: In den letzten Millisekunden verliert das System der beiden Neutronensterne durch die Abstrahlung von Gravitationswellen enorme Mengen an Energie und bildet einen hypermassereichen Neutronenstern (HN). Man berechne für die letzte Umrückung mit $\Delta t = 2$ ms der Neutronensterne mit Radius $R_N = 13,6$ km umeinander die abgestrahlte Energie ΔE mit Hilfe der Gravitationsleuchtkraft:

$$L_G = \frac{64}{5} \frac{G^4}{c^5} \left(\frac{M_N}{r} \right)^5$$

$M_N = 1,5 M_\odot$, $r = 2 R_N$, $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$, $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $M_\odot = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

Aufgabe 2: Man vergleiche die beim Kollaps des HN von $R_{\text{HN}} = 2^{3/2} R_N$ bis zum Schwarzschildradius $R_{\text{SS}} = 2 G M_{\text{SL}}/c^2$ freigesetzte Energie mit der typischen Energie $E_\gamma = 10^{43}$ J, die mit einem Gammablitz verknüpft ist. $M_{\text{SL}} = 2,91 M_\odot$; potenzielle Energie einer Masse M mit Radius R : $E_{\text{pot}} = \frac{3}{5} G M^2/R$.

Aufgabe 3: Die finale Phase bis zum Aufbau des magnetohydrodynamischen Jetmotors dauert nur rund $t_{\text{mhd}} = 20$ ms. Man vergleiche mit der Freifallzeit $t_{\text{FF}} \approx [R_{\text{HN}}^3/(G M_{\text{SL}})]^{1/2}$ des HN und der Lichtlaufzeit von R_{HN} nach R_{SS} . AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. Juli 2011** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528246.

Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern **Preise** verlost: siehe S. 109

sich nämlich zu einem extrem niedrig aufgelösten Spektrum zusammensetzen. Die Lage der Absorptionskante ist damit zwar nur grob bestimmt, liefert aber eine »fotometrische« Rotverschiebung irgendwo zwischen $z = 9,0$ und $9,5$ – wiederum ein neuer Rekord. Das entspricht einer Entfernung von 13,1 Milliarden Lichtjahren und einer Epoche rund 500 Millionen Jahre nach dem Urknall.

Möglicherweise ist das Aufleuchten von GRB 090429B das fernste Licht, das uns je von einem kosmischen Objekt erreicht hat. Die kosmische Hintergrundstrahlung trifft zwar von einer Rotverschiebung z von mehr als Tausend bei uns ein, doch ordnen wir sie keinem Objekt zu, da sie das Glühen homogener Gasblasen in der kosmischen Ursuppe zeigt. In der tiefsten Hubble-Aufnahme aller Zeiten, dem *Ultra Deep Field* (UDF), fanden Astronomen zwar eine Galaxie, UDFj-39546284, deren Rotverschiebung sie bei $z = 9$ bis 12 vermuten (siehe SuW 5/2011, S. 18), doch beträgt die Chance noch immer 1:5, dass

es sich um ein näheres Vordergrundobjekt handelt.

Die extrem leuchtkräftigen GRBs wirken deshalb wie seltene und nur einmalig aufblitzende Leuchttürme, die uns den Weg zur frühesten Sternentstehung im Kosmos weisen. Prinzipiell erlauben die Infrarotdetektoren unserer Teleskope heute den Nachweis von GRBs bis zur Rotverschiebung $z = 14$, also bis zu einer Zeit knapp 400 Millionen Jahre nach dem Urknall. Die Heimatgalaxien dieser so ferneren GRBs werden sich allerdings nicht leicht untersuchen lassen. Sie sind die lichtschwächsten Objekte, auf die wir uns in naher Zukunft einlassen können.

Wie schon erwähnt, unterscheiden wir zwei Gammablitz-Typen nach ihrer Dauer: Lange GRBs flackern im Gammabereich im Mittel 30 Sekunden lang, kurze dagegen im Mittel nur eine Viertelsekunde. Das Nachleuchten der kurzen GRBs ist viel schwächer und wurde bislang selten gesehen. Anfänglich dominierten elliptische Galaxien mit älteren Sternen bei

Rotverschiebungen unter $z = 1$ die Statistik der kurzen GRBs. Mittlerweile fanden sie sich jedoch in allen Galaxientypen.

Soweit wir die Explosionen langer Gammabursts untersuchen konnten, kollabieren dabei Sterne mit mehr als 25 Sonnenmassen und einer Lebenserwartung von weniger als 15 Millionen Jahren als Hypernovae. Die Sterne haben ihre Hülle aus Wasserstoff und Helium schon vor dem Kollaps verloren, sind also leuchtkräftig brennende Kerne, die rein aus schweren Elementen vom Kohlenstoff bis zum Eisen bestehen. Sie rotieren sehr schnell, eventuell weil sie aus der Verschmelzung massereicher Doppelsterne hervorgingen. Die Rotation verzögert dann ihren vollständigen Kollaps, so dass Teile des Sterns eine Scheibe bilden, die schließlich auf ein schnell rotierendes kompaktes Objekt fällt. Erst dabei werden Teile der Scheibe in nahezu lichtschnelle polare Jets umgelenkt, die den Gammablitz in engen, relativistischen Lichtkegeln abstrahlen. Lange GRBs kommen daher, soweit wir wissen, immer aus Sternentstehungsgebieten. Ihre Häufigkeit folgt zeitlich auch grob der kosmischen Sternentstehungsgeschichte.

Die beiden fernsten Bursts mit rund einer halben und einer ganzen Sekunde Dauer liegen eher im Bereich der kurzen Bursts. Auch die drei Bursts auf den Plätzen drei bis fünf waren sehr kurz. Mit unter vier Sekunden Dauer liegen sie am kurzen Ende der statistischen Verteilung langer Bursts. Da kurze Bursts aber aus nicht so jungen Doppelsternbeziehungsweise Neutronensternsystemen kommen, ist ihr gehäuftes Auftreten bei den höchsten Rotverschiebungen eher unerwartet. Ob dies nun allerdings bedeutet, dass im frühen Universum ein anderer Explosionsmechanismus am Werk war als zu späteren Phasen, also in Galaxien mit geringerer Rotverschiebung, ist spekulativ.

CHRISTIAN WOLF forscht seit zehn Jahren in Oxford über die Entwicklung von Galaxien, über Supernovae und Gammastrahlenblitze.

Literaturhinweise

Cucchiara, A. et al.: A photometric redshift of $z \sim 9.4$ for GRB 090429B. arXiv 1105.4915, 2011.

Tanvir, N. R. et al.: A γ -ray burst at a redshift of $z \approx 8.2$. In: Nature 461, S. 1254–1257, 2009