

Photonen auf Rekordenergien bringen, wie die Wissenschaftler um Razmik Mirzoyan vom Münchner Max-Planck-Institut für Physik in der Fachzeitschrift »Nature« berichten.

Sichtbar aus Milliarden Lichtjahren Entfernung

Gammablitz, im Englischen »gamma-ray bursts« (GRBs) genannt, wurden in den 1960er Jahren von Satelliten entdeckt, die eigentlich sowjetische Atomtests aufspüren sollten. Heute registrieren Forschungssatelliten die GRB-Ereignisse beinahe täglich. GRBs setzen so viel Strahlung frei, dass sie für spezielle Messinstrumente auch aus Milliarden Lichtjahren Entfernung noch deutlich sichtbar sind.

Dennoch weist die Menschheit vermutlich nur einen kleinen Teil der stattgefundenen Ausbrüche nach. Die Energie der Explosion wird nicht gleichmäßig abgestrahlt, sondern eng gebündelt in Form zweier gegenläufiger Strahlen, so genannter Jets. Nur wenn ein solches Strahlenbündel in Richtung Erde zeigt, bekommen Forscher von dem Gammastrahlenausbruch etwas mit.

So war es auch am 14. Januar 2019: Im südlichen Sternbild Chemischer Ofen (lateinisch: Fornax) leuchtete im Gammalicht eine neue Quelle auf, und die NASA-Satelliten Swift und Fermi schlugen um 21:57:03 Uhr mitteleuropäischer Zeit Alarm. Zwar war der anfängliche Blitz nach weniger als einer Minute wieder verblasst. Doch manche Gammablitz, darunter auch GRB 190114C, zeigen ein Nachleuchten in einem weiten Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums, das Minuten, Stunden oder auch Tage sichtbar bleiben kann.

Insgesamt sechs Satelliten und 15 Observatorien auf dem Erdboden nahmen daher GRB 190114C – beziehungsweise dessen Nachglühen – ins Visier. Die resultierende Beobachtungskampagne war ein Musterbeispiel für die Multi-Messenger-Astronomie (siehe SuW 9/2018, S. 24), bei der unterschiedlichste Observatorien in allen ihnen zur Verfügung stehenden Wellenlängenbereichen ein Gesamtbild eines Objekts zeichnen. In den ersten elf Tagen nach dem Alarm konnte die Quelle praktisch durchgehend vom Radio- bis in den Gammabereich überwacht werden (siehe Grafik S. 24). Eile war gefragt, denn wie man in der doppeltlogarithmischen Darstellung der Grafik sieht, fiel der Ener-

ZUM NACHDENKEN

Gammastrahlenausbruch GRB 190114C



Die ersten Photonen des Gammastrahlenausbruchs GRB 190114C registrierte das Burst Alert Telescope (BAT) an Bord des Neil Gehrels Swift Observatory am 14. Januar 2019 um $T_0 = 20:57:03,19$ Uhr UT. Es nahm die Quelle ins Visier und identifizierte seine Position. Ein Alarm wurde rund eine halbe Minute später ins Internet gesandt. Mehr als 20 Satelliten und bodengebundene Teleskope konnten Daten zum rund 25 Sekunden langen Ausbruch und dem darauf folgenden Nachleuchten gewinnen, das sich über mehrere Tage verfolgen ließ. Solch lange Gammastrahlenausbrüche werden dem Kollaps besonders massereicher Sterne zugeschrieben.

Aufgabe 1: Die maximale Leuchtkraft des anfänglichen, etwa $t_{\text{Peak}} = 6$ s langen Gammablitzes von GRB 190114C wurde zu $L_{\text{Peak}} = 1,67 \cdot 10^{46}$ W gemessen. Sie entstammt Modellen nach einer dünnen, mit ultrarelativistischer Geschwindigkeit expandierenden Schale. **a)** Welche Energiemenge E_{Peak} wurde dabei freigesetzt? **b)** Um welchen Faktor unterscheidet sich das Ergebnis von der über die gesamte Lebensdauer der Sonne abgestrahlten Energie, wenn ihre

Leuchtkraft im Mittel $\bar{L}_\odot = 5 \cdot 10^{26}$ W beträgt und sie $t_\odot = 10^{10}$ a lang leuchtet?

Aufgabe 2: Mit Hilfe des X-Ray Telescope (XRT) von Swift wurde 64 Sekunden nach T_0 der Fluss des Röntgen-Nachleuchtens zwischen 0,2 und 10 keV zu $F_{X64} = 7,39 \cdot 10^{-11}$ W/m² gemessen. Bei der beobachteten Rotverschiebung von $z = 0,4245$ ist die Leuchtkraftdistanz der Quelle $d = 2,354$ Gpc (1 pc = $3,086 \cdot 10^{16}$ m). **a)** Wie groß ist die als isotrop (gleichförmig in den Raum angenommene) gedachte abgestrahlte Röntgenleuchtkraft L_{X64} zu diesem Zeitpunkt? **b)** Die Belichtungszeit der Messung betrug $t_{X64} = 0,1$ s. Wie groß wäre die Photonendichte N_{X64} gewesen, wenn es sich nur um Photonen der Energie $E_{X5} = 5$ keV (1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J) gehandelt hätte? **c)** Wie viele Röntgenphotonen n_{X64} hätte das Teleskop mit seiner Apertur $A_{\text{XRT}} = 110$ cm² aufgesammelt und dem Detektor zugeleitet?

Aufgabe 3: Die Erzeugung von Photonen mit Energien im TeV-Bereich geschieht nur in einem Umfeld hochrelativistischer Geschwindigkeiten v . Dabei steht der Lorentz-Faktor für $(1 - (v/c)^2)^{-1/2}$. Die MAGIC-Daten ergaben, dass die Materie des Feuerballs der Explosion einen Lorentz-Faktor $\Gamma = 100$ besitzt. Der Lorentz-Faktor der Elektronen liegt sogar bei $\gamma_e = 10^4$. Wenn nun Röntgenphotonen mit $E_X = 10$ keV über den inversen Compton-Effekt zu höheren Energien gestreut werden sollen, so muss die Energie $E_e = \Gamma \gamma_e m_e c^2$ der Elektronen ($m_e c^2 = 511$ keV) größer sein als E_X . Ist das der Fall? AMQ

ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem



368 Seiten. Preis: 25 €. Bestell-Link:
<https://amzn.to/2sIYh6L>

Ihre Lösungen senden Sie bitte an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. E-Mail: zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de. Einsendeschluss ist der 5. Juni 2020.

Alle Leser, die bis einschließlich des Mai-Heftes 2020 mindestens neun richtige Lösungen erhalten, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt. Die Preise der neuen Runde werden auf Seite 95 vorgestellt. Bitte beachten Sie unsere Teilnahmebedingungen auf Seite 14! Sie können Ihre Datenschutzrechte nach Art. 15 ff. DSGVO ausüben, indem Sie uns unter service@spektrum.de kontaktieren.