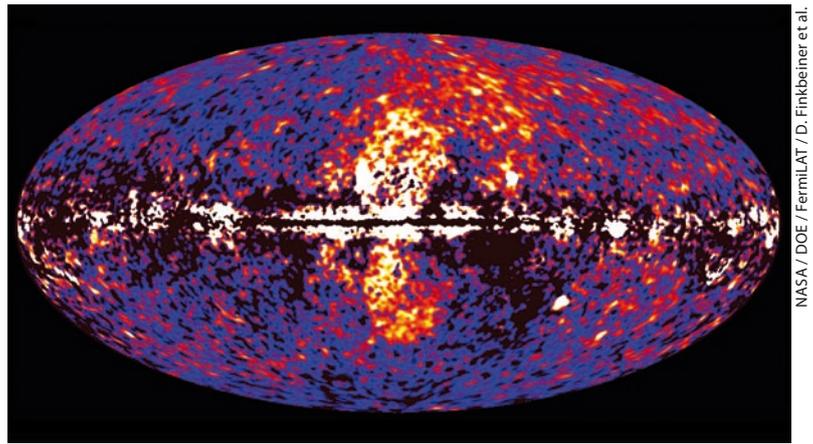


■ War die Milchstraße „kürzlich“ eine aktive Galaxie?

Der Fermi-Satellit entdeckt große Blasen energiereicher Gammastrahlung um die Zentralregion der Galaxis.

Klassische Astronomie hat meist mit punktförmigen, nicht räumlich auflösbaren Objekten zu tun – Sternen in Entfernungen von vielen Lichtjahren. Wenn ein Himmelsbeobachter ein ausgedehntes Objekt entdeckt, kann er sicher sein, etwas Besonderes gefunden zu haben. Vor Kurzem hat eine Gruppe von Astronomen vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics in Cambridge (Massachusetts), eine sehr ausgedehnte diffuse Lichtquelle entdeckt [1] – allerdings nicht im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums, sondern in dem der Gammastrahlen mit Photonenenergien von mehr als einer Milliarde Elektronvolt (1 GeV). Andeutungen dieser Emission wurden zwar schon in früheren Durchmusterungen mit kleineren Satelliteninstrumenten gefunden (EGRET [2] und COS-B [3]), aber die zweifelsfreie Bestätigung gelang erst jetzt durch die genauen Messungen mit dem Large Area Telescope (LAT) an Bord des Fermi-Observatoriums [4].

Die prägnanteste Struktur am Gammahimmel ist die Ebene der Milchstraße mit der allgegenwärtigen Wechselwirkung von Teilchen der kosmischen Strahlung mit dem interstellaren Gas und vielen eingebetteten Punktquellen. Daneben



NASA / DOE / FermiLAT / D. Finkbeiner et al.

Abb. 1 Subtrahiert man vom ganzen Gammastrahlungshimmel einfache Modelle der galaktischen Ebene, des isotropen kosmischen Hintergrunds und der

Punktquellen, tritt deutlich eine hantelförmige Struktur aus zwei riesigen „Gamma-Blasen“ ober- und unterhalb des galaktischen Zentrums (Bildmitte) hervor.

fand Fermi bislang ungefähr 700 aktive Galaxien (Blazare, Radiogalaxien, etc.) vor einem allgemeinen, isotropen Gammahintergrund [4]. All diese Quellen lassen sich gut mit semi-empirischen Modellen beschreiben und von der Himmelskarte subtrahieren. Obwohl dies an vielen Stellen nicht perfekt gelingt, ist doch ein signifikanter Überschuss von Strahlung aus der inneren Galaxis zu sehen (**Abb. 1**). Symmetrisch zu beiden Seiten des galaktischen Zentrums und senkrecht zur galaktischen Ebene erstreckt sich ein gleichmäßiges Leuchten über einen Himmelsbereich von ungefähr 40 Grad entlang

der Milchstraßenscheibe und bis 50 Grad in Richtung der Pole.

Die Sonne ist zirka 28 000 Lichtjahre vom galaktischen Zentrum entfernt. Wenn wir die Assoziation der großen Blasen mit dem Zentrum akzeptieren – die Symmetrie zu beiden Seiten der Milchstraße und die genaue Ausrichtung auf das Zentrum machen diese Annahme plausibel – dann haben wir hier Blasen mit einem Radius von ungefähr 11 000 Lichtjahren vor uns! Das sind in der Tat Objekte im galaktischen Maßstab (**Abb. 2**)!

Die energiereiche Strahlung im Spektrum von 1 bis 100 GeV, welche die beiden Blasen emittieren, hat eine Gesamtlichtkraft von 4×10^{30} W. Das entspricht ungefähr fünf Prozent der Leuchtkraft der Milchstraße im Gammabereich oder zirka 10 000-mal der Strahlungsleistung der Sonne. Was könnte die Quelle dieser diffusen Emission aus den Blasen sein?

Prinzipiell kommen vier Prozesse für die Erzeugung von Gammastrahlung infrage: Sie kann zum einen durch den Zerfall von instabilen Elementarteilchen (z. B. $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$) entstehen, wobei die Mesonen aus Kollisionen von energiereichen Protonen mit dem interstellaren Medium stammen. Dieser Prozess benötigt also nicht nur kosmische Strahlung, sondern

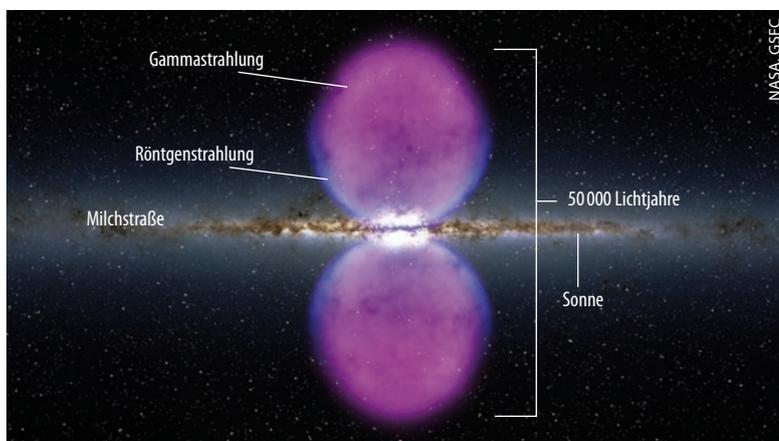


Abb. 2 Die beiden Gamma-Blasen messen rund 50 000 Lichtjahre – die Hälfte des Durchmessers der Milchstraße. Erste Hinweise auf deren Ränder erhielt der

deutsche Röntgensatellit Rosat in den 1990er-Jahren (blau), die Gammastrahlung (violett) entsteht dagegen im gesamten Volumen der Blasen.

auch Gas von genügender Dichte als Target. Nachdem sich in den Volumina der Blasen hoch über der galaktischen Ebene bisher weder mit radioastronomischen Untersuchungen (neutraler Wasserstoff) noch im Infrarotbereich (Moleküle und Staub) Gas mit der erforderlichen Dichte fand, kann man den hadronischen Quellenprozess für die GeV-Strahlung mit genügender Sicherheit ausschließen.

Zum anderen können relativistische Elektronen durch Wechselwirkung mit Materie (Bremsstrahlung), Magnetfeldern (Synchrotronstrahlung) oder Photonen (inverse Compton-Streuung, IC) Emissionen mit jeweils charakteristischen Spektren hervorbringen. Nachdem wir in den galaktischen Blasen nur ein äußerst dünnes interstellares Medium erwarten, fällt Bremsstrahlung aus und es bleiben Synchrotron- und IC-Strahlung übrig. Die Ingredienzien für den Entstehungsprozess wären damit hochrelativistische Elektronen, Magnetfelder sowie Licht von der galaktischen Ebene und die kosmische Hintergrundstrahlung.

Die Hypothese, dass im Gammabereich inverse Compton-Streuung extrem relativistischer Elektronen (mit Energien von 100 bis 1000 GeV) an der kosmischen 3K-Hintergrundstrahlung und der infraroten und sichtbaren Komponente des galaktischen Strahlungsfelds dominiert, passt gut zu Beobachtungen in weit entfernten Spektralbereichen: Wenn das Vo-

lumen, in dem sich die Elektronen aufhalten, von schwachen Magnetfeldern (ca. 5 μG) durchzogen ist, entsteht Synchrotronstrahlung lediglich im Mikrowellenbereich von 10 bis 100 GHz. Genau dieses Signal hat die Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) gefunden [6]: Die zwei Gebiete mit diffuser Mikrowellenemission sind quasi deckungsgleich mit den Fermi-Gammastrahlungsblasen.

Damit wäre der Strahlungsprozess plausibel erklärt – was bleibt ist die Frage nach dem Ursprung und der Energiequelle für die relativistischen Elektronen, des heißen Plasmas und der Felder, die diese relativ scharf begrenzten gigantischen Blasen ausfüllen. Die Diskussion über die mögliche Ursache ist in vollem Gange und noch liegen keine eindeutigen Ergebnisse vor.

Möglicherweise hat in der inneren Galaxis vor einigen Millionen Jahren Sternentstehung in weit überdurchschnittlichem Maße stattgefunden, ein „Starburst“. Wir könnten davon jetzt die Hinterlassenschaft der massereichsten Sterne sehen, die inzwischen als Supernovae explodiert sind und die – wie Fontänen – heißes Plasma in den Raum oberhalb und unterhalb der Milchstraße hinaus bliesen und durch Stoßwellen heizten.

Alternativ bietet sich das supermassereiche Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße als Quelle der Blasen an. Die meisten Galaxien beherbergen solche Schwarzen Löcher mit einer Masse von meh-

rerer Millionen bis Billionen Sonnenmassen. Gaswolken und Sterne umkreisen sie und gelegentlich – bei den aktiven galaktischen Kernen andauernd –, strömt Materie auf das Loch zu. Diese Akkretion setzt sehr viel Energie frei (bis zu 10^{16} J/kg), die sich zum Teil in zwei gebündelte relativistische Ausflüsse (Jets) von Plasma, beschleunigten Teilchen und Magnetfeldern kanalisiert. Sollte das Zentrum unserer Milchstraße vor einigen Millionen Jahren eine solche Episode von Akkretion und Jet-Emission durchgemacht haben, könnten die gewaltigen Blasen von Gamma- und Mikrowellenstrahlung die sichtbaren Beweise sein, dass auch in einer ansonsten ruhigen Galaxis hin und wieder äußerst dynamische Ereignisse bei höchsten Energien vorkommen können. Um die Physik der galaktischen Kerne und ihrer oft unvorhersehbaren Strahlungsausbrüche besser zu verstehen, kommt daher künftig der Überwachung des Himmels im Bereich der Gammastrahlung eine gesteigerte Bedeutung zu.

Gottfried Kanbach

- [1] Meng Su, T. Slayter und D. Finkbeiner, *Astrophys. J.* **724**, 1044 (2010)
- [2] D. D. Dixon et al., *New Astronomy* **3**, 539 (1998)
- [3] A. W. Strong, *Adv. in Space Research* **3**, 87 (1984)
- [4] J. Greiner, *Das tobende Universum*, *Physik Journal*, Dezember 2010, S. 34
- [5] G. Dobler et al., *Astrophys. J.* **717**, 825 (2010)
- [6] C. L. Bennett et al. 2003, *ApJS* **148**, 97

KURZGEFASST

■ Auf dem Weg zur Spektroskopie von Antiwasserstoff

Bereits 2002 gelang es am CERN erstmals, einzelne Antiwasserstoff-Atome herzustellen. Richtig spannend wird es allerdings erst, wenn sich die Eigenschaften dieser Antiatome untersuchen lassen. Besonders interessieren sich Physiker für die Gravitationskraft zwischen Antimaterie und gewöhnlicher Materie sowie für die Frage, ob sich die Spektrallinien von Wasserstoff und Anti-Wasserstoff unterscheiden – letzteres würde die Verletzung der fundamentalen CPT-Symmetrie bedeuten. Am CERN ist es der ALPHA-Kollaboration nun erstmals gelungen, ausreichend

kalte Antiwasserstoff-Atome herzustellen und 38 davon in einer Falle einzufangen. Während diese Forschergruppe zum Ziel hat, den 1s-2s-Übergang zu vermessen, verfolgt die ASACUSA-Kollaboration einen anderen Weg: Sie hat eine neuartige Falle entwickelt, die es erlauben soll, einen Strahl an kalten, spinpolarisierten Antiwasserstoff-Atomen herzustellen. Damit wäre es möglich, die Hyperfeinaufspaltung des Grundzustands mithilfe der Mikrowellenspektroskopie zu untersuchen. G. B. Andresen et al., *Nature* **468**, 673 (2010); Y. Enomoto et al., *Phys. Rev. Lett.* **105**, 243401 (2010)

■ Protonradius bestätigt

Der Radius des Protons bzw. genauer sein Ladungsradius ist eine fundamentale Naturkonstante. Die A1-Kollaboration am MAMI-Beschleuniger in Mainz hat nun aus Experimenten zur elastischen Elektron-Proton-Streuung den Radius neu bestimmt zu 0,879 fm und damit den bisherigen „offiziellen“ Wert der CODATA bestätigt. Warum ein kürzlich am Schweizer Paul-Scherrer-Institut aus Myon-Proton-Streuung abgeleiteter Wert sich davon um fünf Standardabweichungen unterscheidet, ist bislang ein Rätsel. J. C. Bernauer et al., *Phys. Rev. Lett.* **105**, 242001 (2010)

Dr. Gottfried Kanbach, Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Giessenbachstraße, 85748 Garching