

Wie das All leuchtet

Milliarden und Abermilliarden von Punktquellen tauchen die gesamte Milchstraße in ein diffuses Röntgenlicht. Was die galaktische Hintergrundstrahlung ausmacht, entzog sich lange irdischen Blicken. Jetzt konnten Astronomen das Rätsel lösen

Von Mikhail Revnitsev
und Helmut Hetznecker

Wenn Astronomen ihre Teleskope auf den Himmel richten, empfangen sie ein buntes Allerlei an Strahlung aus dem Weltall. Strahlung von Sternen und Galaxien, Strahlung von heißem und kaltem Gas, Strahlung im infraroten Bereich, optische, Radio- oder Röntgenstrahlung. Das menschliche Auge ist naturgemäß nur für optische Lichtwellen empfänglich, die lediglich einen Bruchteil der gesamten Bandbreite an Strahlung ausmacht, die uns aus dem All erreicht.

Vergleicht man den Bereich des sichtbaren Lichtes mit einer Oktave in der Musik, entspräche die Breite des gesamten elektromagnetischen Spektrums mindestens 53 Oktaven. Ein Klavier, das einem solchen Frequenzumfang gerecht würde, wäre etwa neunehalb Meter breit. In der Tat bergen diese unsichtbaren Strahlungskomponenten Unmengen an wertvoller Information über die kosmischen Vorgänge. Daher arbeiten beobachtende Astronomen seit jeher daran, einen möglichst großen Bereich aus dem Spektrum der Himmelsstrahlung zu vermessen.

Röntgenstrahlung entsteht im Universum immer dort, wo es besonders „heiß“, sprich energiereich zugeht.

Das Chandra X-Ray Observatory in einer künstlerischen Darstellung. Rechts: Bildmosaik der Milchstraße aus dem Chandra-Observatorium.

So saugen supermassive Schwarze Löcher in den Zentren massereicher Galaxien mit brachialer Gewalt Gas und Sterne aus ihrer Umgebung auf. Während dieses Prozesses erhitzt sich das Material, kurz bevor es für immer verschwindet, durch seine innere Reibung auf bis zu hundert Millionen Kelvin. Bei solchen Temperaturen wird thermische Energie überwiegend im Röntgenbereich abgestrahlt.

Astronomen beobachten das Leuchten von Milliarden Lichtjahren entfernten aktiven Galaxien, darunter sogenannte Quasare, die ihre enorme Leuchtkraft ebendiesem Prozess verdanken. Aber auch andere Röntgenquellen gibt es im Univer-

sium zuhauf: Zum Beispiel entsteht die Strahlung in bestimmten Doppelsternsystemen. Besteht das Stern-

paar aus einem sehr kompakten Objekt – einem Weißen Zwerg oder einem Neutronenstern – einerseits und einem Roten Riesen andererseits, kann Materie vom Riesenstern auf den Zwerg überströmen. Aber nicht nur Punktquellen können Röntgenstrahlung aussenden. Massereiche Galaxienhaufen, nicht selten Hort von mehr als tausend Galaxien, sind gewöhnlich in einen Halo (Bereich) aus extrem heißem Gas gebettet, der im Röntgenbereich hell leuchtet. Zahlreiche solcher diffusen Quellen erstrecken sich über Millionen von Lichtjahren im Universum.

Auch in unserer Milchstraße fanden Astronomen seit den 1970er-

Jahren eine hohe Zahl von Röntgenquellen, darunter viele der erwähnten Röntgendoppelsterne, aber auch massereiche Sterne, deren viele Millionen Kelvin heiße Korona die energiereiche Strahlung produziert. Ende der 1970er-Jahre konnte man zudem eine diffuse, das heißt von großräumigen Quellen abgegebene, Röntgenstrahlung nachweisen, die uns aus dem gesamten Bereich der galaktischen Ebene erreicht. „Galaktischen Röntgenhintergrund“ nennen die Astronomen dieses Flächenleuchten. Als dessen Ursprung wähte man über viele Jahre das interstellare Gas, das man in großen Mengen in der Scheibenebene der Milchstraße findet.

Diese Vermutung brachte jedoch ein schwer zu lösendes Problem mit sich: Um Röntgenstrahlung

der gemessenen Spektraleigenschaften zu erzeugen, müsste das interstellare Gas so heiß sein, dass es aufgrund seiner thermischen Energie das Gravitationsfeld der Galaxis überwinden und daraus entweichen würde. Allerdings werden in der Umgebung der Milchstraße keine signifikanten Mengen eines solchen Gases beobachtet. Die Astronomen standen vor einem Rätsel.

Die Geschichte der Röntgenastronomie begann 1949, als mithilfe einer Forschungsrakete zum ersten Mal die Röntgenstrahlung eines Himmelskörpers, nämlich der Sonne, nachgewiesen wurde. Das große Problem, mit dem dieser Forschungs-



Foto: NASA

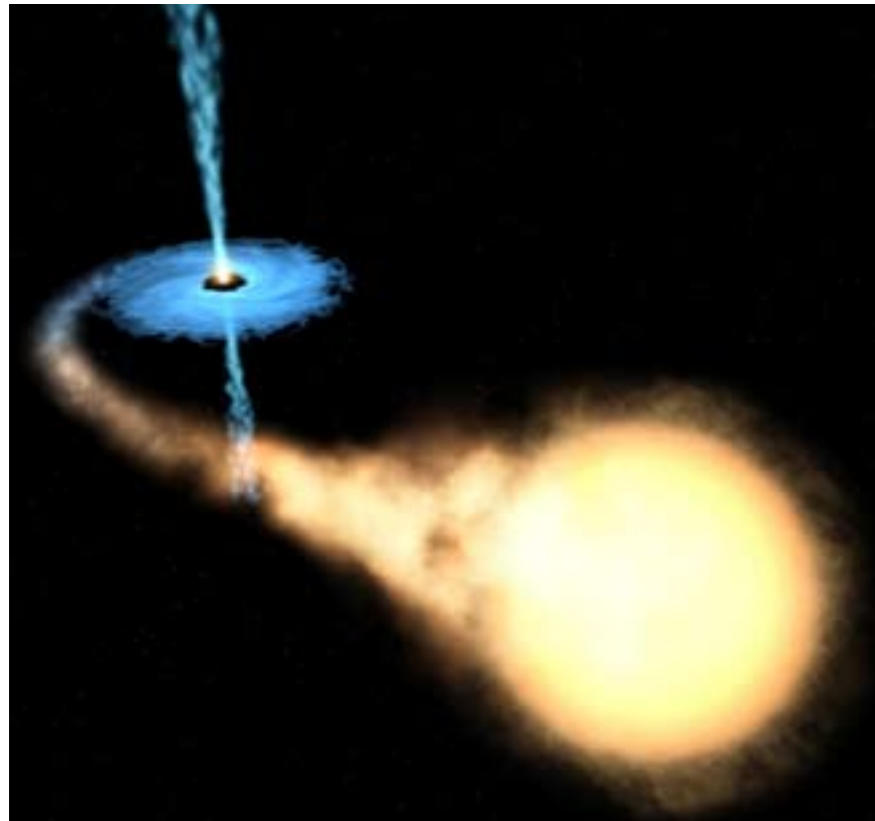


Foto: NASA

Links: Voller Dynamik: ein „X-ray-Binary“, ein Doppelstern in einer künstlerisch gestalteten Ansicht. Rechts: Chandra ist der bisher größte Satellit, der mit einem Space Shuttle in eine Umlaufbahn befördert wurde – 13,8 Meter lang und 4,8 Tonnen schwer.

zweig seit jeher zu kämpfen hatte, war, dass die Atmosphäre der Erde die Strahlung sehr effektiv abschirmt – sehr zu unserem Glück, denn unter dem Einfluss der energiereichen elektromagnetischen Wellen gäbe es kein Leben auf der Erde. Die Astronomen müssen daher ihre Röntgendetektoren hoch über der Atmosphäre platzieren. Vor dem Beginn des Raumfahrtzeitalters setzte man dafür V2-Raketen und Höhenballons ein. Eine flüchtige Raketenbeobachtung war es auch, mit deren Hilfe man 1962 die erste Röntgenquelle außerhalb unseres Sonnensystems entdeckt hat: den 9000 Lichtjahre entfernten Röntgendoppelstern Scorpius X-1 im Sternbild Skorpion.

Ein wichtiger Schritt für die Röntgenastronomie war 1970 der Start des NASA-Satelliten UHURU, dem ersten, der ausschließlich auf die Messung von kosmischen Röntgenstrahlen spezialisiert war. Mit seinem noch recht rudimentären Sensor durchmusterte der Satellit den gesamten Himmel nach neuen Quellen. Die beachtliche Ausbeute: 340 Röntgensysteme. Während UHURU noch

mit einer von Bohrungen durchzogenen Bleiplatte auskommen musste, standen den neueren Satelliten der späten 1970er- und 1980er-Jahre ausgereifte Röntgenteleskope zur Verfügung, die die einfallende Strahlung ähnlich wie ein optisches Teleskop zu Bündeln in der Lage waren – ein Quantensprung in der Abbildungsqualität. Damit war es möglich, eine neu entdeckte Quelle mit Sternen oder Galaxien aus optischen Beobachtungen zu identifizieren.

Als „Star“ unter den Röntgensatelliten galt der deutsche ROSAT, der 1990 ins All geschossen wurde. Ausgerüstet mit einem sogenannten Wolter-Teleskop, das die Leistung seiner Vorgänger um ein Vielfaches übertraf, revolutionierte er innerhalb von nur einem Jahr den Datenbestand der Röntgenastronomie: Mit der neuen Technik wurden Objekte sichtbar, die hundertmal schwächer leuchteten als die bis dahin erfassten. Die Entdeckung von nicht weniger als 60000 Röntgenquellen geht auf das Konto von ROSAT, darunter Vertreter sämtlicher Quellenspezies wie Quasare, Röntgendoppelsterne und Supernova-Überreste, aber auch Ga-

laxienhaufen und besonders heiße – sonst aber gewöhnliche – Sterne.

Nach diesem Erfolg ging ROSAT aber nicht in Frührente. Bis zu seinem Dienstende im Februar 1999 schickte er die Daten von fast 150000 Röntgenquellen zur Erde. Einer seiner wichtigsten Beiträge zur Forschung betraf allerdings den kosmischen Röntgenhintergrund. Der gesamte Kosmos leuchtet aus allen Richtungen gleichmäßig in diffusem Röntgenlicht. Wie man mithilfe von ROSAT nachweisen konnte, handelt es sich dabei um eine Überlagerung von abermilliarden Punktquellen, in erster Linie fernen Quasaren und anderen aktiven Galaxien, die mit früheren Sensoren und Teleskopen räumlich nicht auflösen waren.

Zur Frage nach der Natur der galaktischen Hintergrundstrahlung konnte auch ROSAT nichts Entscheidendes beitragen. Dass die Strahlung nicht von heißem interstellarem Gas stammen konnte, war aus den oben genannten theoretischen Gründen schnell klar: Das Gas würde mit tausenden von Kilometern pro Sekunde aus dem Schwerfeld der Milchstraße entweichen.

Nun war schon seit Jahren bekannt, dass die räumliche Verteilung der Röntgenintensität auffällig mit der Verteilung der Infrarot-(IR-)Strahlung übereinstimmt, die von der Scheibe und dem Zentrum der Milchstraße ausgeht. Die IR-Strahlung rührt hauptsächlich von massereichen Sternen her, deren sichtbares Licht von den interstellaren Wolken der galaktischen Ebene verdunkelt wird; ihr IR-Licht erreicht die Erde dagegen beinahe ungeschwächt. Ein deutlicher Hinweis also, dass die Quelle der diffusen Röntgenstrahlung in eben jenen Sternen zu suchen ist. Ebenso „verdächtig“ erschien die Tatsache, dass die Intensität der Röntgenstrahlung aus einer bestimmten Region streng mit der dortigen Sternendichte korreliert – ein Faktum,



Foto: NASA



Foto: NASA

Erstaunlich tiefe und aufschlussreiche Einblicke: Eine Aufnahme des Chandra X-ray Observatoriums zu einer Himmelsregion in der Nähe des Zentrums unserer Galaxis.

das man auch von den Sternen der Sonnenumgebung kennt.

Diese Hinweise griff ein Team von Forschern am Münchener Exzellenzcluster „Struktur und Ursprung des Universums“ am Max-Planck-Institut für Astrophysik und an anderen Einrichtungen auf, um die Natur des galaktischen Röntgenhintergrundes zweifelsfrei zu klären. Zu diesem Zweck richteten sie das Teleskop des Röntgensatelliten CHANDRA insgesamt elf Tage lang auf eine kleine Region nahe des galaktischen Zentrums, maßen die Intensität des daraus abgestrahlten Röntgenlichtes und korrigierten den Wert um die Beiträge des extragalaktischen Röntgenhintergrundes und der Dämpfung durch die interstellare Materie. Ihr Ergebnis verglichen sie mit einer Messung der IR-Strahlungsintensität aus derselben Region – ein Schritt, durch den die Forscher sicherstellten, dass die ausgewählte Region repräsentativ ist. Denn das Verhältnis beider Intensitäten entspricht ganz und gar dem

Verhältnis, das sich aus einem Vergleich der IR- und Röntgendaten der gesamten Milchstraße ergibt.

Dank der hohen Abbildungsqualität der CHANDRA-Instrumente gelang es darüber hinaus, in der beobachteten Region insgesamt 473 Punktquellen der Strahlung nachzuweisen. Bei den meisten davon handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um Weiße Zwerge von Doppelsternsystemen und Sterne mit hoher koronaler Aktivität.

Die Messungen konnten allerdings nur einen relativ schmalen Spektralbereich innerhalb der vergleichsweise energiearmen weichen Röntgenstrahlung aufklären. Sollte die Annahme zutreffen, dass in der Tat das gesamte Röntgenspektrum aus diskreten Quellen stammt, sollte die Verteilung der harten Röntgenstrahlung ebenso mit jener der IR-Strahlung zusammenpassen. Und ein zweites eindeutiges Kriterium müsste erfüllt sein: Der Erzeugung thermischer Strahlung durch den stetigen Materiefluss von einem Roten Riesen auf einen Weißen Zwerg (oder einen Neutronenstern) ist nämlich ein gewisses Energielimit aufgeprägt, das sich unmittelbar auf das Spektrum

der Strahlung niederschlägt: Man sollte deshalb erwarten, dass die Intensität der Röntgenstrahlung bei sehr hohen Energien rasch abnimmt. Beide Vorhersagen konnten mithilfe von Daten bestätigt werden, die das Internationale Gammastrahlen-Observatorium INTEGRAL über vier Jahre von der Milchstraße sammelte.

Aufgrund der überzeugenden Befunde sehen es die Wissenschaftler als erwiesen an, dass Röntgendoppelsterne und koronal aktive Sterne in der Tat für wenigstens 80 Prozent der diffusen Röntgenstrahlung der Milchstraße verantwortlich sind. Das drei Jahrzehnte überdauernde Rätsel um den Röntgenhintergrund unserer Galaxis scheint gelöst.

Dr. habil. Mikhail Revnivtsev ist Astrophysiker und Research Fellow am Exzellenzcluster „Universe“ der Technischen Universität München. Helmut Hetznecker ist Astrophysiker und Wissenschaftsjournalist.

Adresse: TU München, Exzellenzcluster „Universe“, Boltzmannstraße 2, 85748 Garching

Der Cluster wird von der DFG im Rahmen der Exzellenzinitiative gefördert.

► www.universe-cluster.de