

CHRIS SCHUR



NASA / ESA / STSCI, ROBERT WILLIAMS / HDF TEAM

Kosmische Kryptologie

Um das Geschehen in entfernten Ecken des Universums zu entschlüsseln, arbeiten Astronomen wie Geheimdienstler oder Spezialisten eines kriminaltechnischen Erkennungsdienstes.

>> Daniel Wolf Savin, Benjamin J. McCall und Kate Kirby

Woraus bestehen interstellare Wolken? Welche Eigenschaften hat die Materie, die supermassereiche Schwarze Löcher umgibt? Warum strahlen eiskalte Kometen energiereiche Röntgenstrahlung aus? In kodierter Form geben die Spektren der Objekte die Antworten auf all diese Fragen. Die Spektroskopie – also das Gewinnen und die Analyse von Spektren – ist somit das wichtigste Instrument, das uns zur Erforschung des Universums jenseits unseres Sonnensystems zur Verfügung steht (»Detektive des Sternenlichts«, AH Dezember 2004, S. 22).

Die Gesetze der Physik besagen, dass jedes Atom und jedes Molekül bei bestimmten charakteristischen Wellenlängen Strahlung aussenden (»emittieren«) oder einfangen (»absorbieren«) kann. Astronomen verwenden ein Spektrometer, um das Licht eines Himmelsobjekts in sämtliche Wellenlängen aufzufächern, aus denen es sich zusammensetzt – wie ein Prisma, das das Sonnenlicht in alle Regenbogenfarben zerlegt. Die Linien, die in dem resultierenden Spektrum sichtbar werden, sind wie ein Fingerabdruck, den man zur Bestimmung der an den Strahlungsprozessen be-

teiligten Atome, Ionen oder Moleküle verwenden kann. Doch um einen »Täter« zu überführen, muss sein Fingerabdruck bekannt sein.

Seitdem Joseph Fraunhofer sich im Jahr 1814 erstmals mit dem Spektrum unserer Sonne auseinandersetzte, arbeiten deshalb Astronomen mit Laborphysikern und Theoretikern zusammen. Nur so können sie es schaffen, die Informationen, die in kosmischen Spektren kodiert sind, richtig zu entschlüsseln. Diese Bemühungen haben in vielen wissenschaftlichen Bereichen zu Durchbrüchen geführt – wie zur Entdeckung von Heli-



AL NAGLER

Viel von dem, was wir über das Universum wissen, verdanken wir den Spektren von Sternen (links), Galaxien (Mitte) und Kometen wie C/1996 B2 Hyakutake (rechts). Um jedoch Linien in den Objektivprismenspektren eines Sternfelds (links, mit einem Kometen im Zentrum) zu identifizieren, müssen die Astronomen ihre Aufnahmen mit Laborspektren jener Atome oder Moleküle vergleichen, welche die Verursacher dieser Linien sein könnten. Ohne solche irdische Detektivarbeit wären die Muster aus Emission und Absorption, die bei der Aufspaltung des Sternlichts in seine Komponenten sichtbar werden, nicht zu entschlüsseln.

um, dem Verständnis, welche Elemente im Urknall entstanden sind, und der Erklärung des Lebenszyklus von Sternen.

Jedes astronomische Spektrum enthält eine Botschaft. Um sie zu dekodieren, muss man jene Atom-, Molekular-, Nuklear- und Festkörperprozesse verstehen, die zum Spektrum beitragen. Die Laborastrophysik ist deshalb so etwas wie der Stein von Rosetta für Astronomen: ein Übersetzungsschlüssel, der die Spektren für uns lesbar macht.

Die Forschung auf diesem Gebiet umfasst sowohl experimentelle als auch theoretische Arbeit – die beiden Bereiche er-

gänzen, bestätigen oder widerlegen einander. Die Theorie beschäftigt sich darüber hinaus mit physikalischen Situationen und Zuständen, die zu extrem sind, um sie im Labor nachzustellen.

Erkennungsdienst Physik

Experimente hingegen bieten die Möglichkeit, durch Messungen Ergebnisse für Probleme zu erzielen, für die eine theoretische Behandlung zu kompliziert wäre. Ohne diese Arbeit »hinter den Kulissen« wäre es Astronomen nicht möglich, die Spektren von Sternen oder anderen kosmischen Objekten zu interpretie-

ren. Ein paar Beispiele können erklären, wie das Zusammenwirken von Beobachtung, Experiment und Berechnung es den Forschern ermöglicht, einigen der faszinierendsten Geheimnisse des Universums auf die Spur zu kommen.

► Fall 1 – Diffuse Interstellare Banden.

Die Spektren der Sterne enthalten zahlreiche dunkle Linien, die auf Atome in der Sternatmosphäre zurückgehen. Diese absorbieren das Licht, das gerade auf dem Weg zu uns ist, bei speziellen Wellenlängen. Im frühen 20. Jahrhundert machten die Astronomen eine erstaunliche Entdeckung: Manche jener Absorp-

> tionslinien stammen von Wolken aus Gas, die zwischen uns und den Sternen liegen. Diese diffusen interstellaren Wolken haben nur ein Milliardstel von einem Milliardstel der Dichte der Erdatmosphäre, doch wegen ihrer enormen Größe können sie die Masse von zehntausend Sonnen erreichen.

Auf die spektroskopische Arbeit in den Labors aufbauend, konnten die Astronomen einige dieser Spektrallinien identifizieren. Sie fanden heraus, dass die Linien von Atomen wie Natrium, Kalium oder Titan und von kleinen, kohlenstoffhaltigen Molekülen stammten. In jüngster Vergangenheit haben Wissenschaftler auch größere Moleküle nachgewiesen. Angesichts solcher Fortschritte sollte man meinen, dass diese interstellaren Wolken heute schon gut verstanden sind.

Dem ist aber nicht so. Eine nicht unbedeutende Anzahl dunkler Stellen in den Spektren der Sterne konnte bis heute nicht identifiziert werden. Die ersten zwei dieser rätselhaften Linien wurden im Jahr 1919 von Mary Lea Heger am Lick Observatory in Kalifornien ent-

deckt. Sie sind breiter als normale Linien und erscheinen in fotografischen Spektren unscharf oder diffus. Daher werden sie auch als Diffuse Interstellare Banden (DIBs) bezeichnet.

Folgebeobachtungen wiesen die Existenz hunderter DIBs nach – und ergaben außerdem, dass diese vermutlich von großen, wahrscheinlich organischen – also kohlenstoffhaltigen – Molekülen stammen. Doch wir haben immer noch nicht die geringste Ahnung, um welche

kül, das für ein DIB verantwortlich sein könnte, nehmen seinen »Fingerabdruck« im Labor und prüfen, ob er mit jenem im beobachteten Spektrum übereinstimmt. Die Kriterien, nach denen die Moleküle für diese Untersuchungen ausgewählt werden, beruhen dabei auf unserem beschränkten Wissen über die chemischen und physikalischen Bedingungen in diffusen interstellaren Wolken – und auf allen weiteren Informationen über das Spektrum eines bestimmten Moleküls,

Trotz enormen Aufwands blieb die Suche der Wissenschaftler nach den »Banden-Mitgliedern« bis heute erfolglos

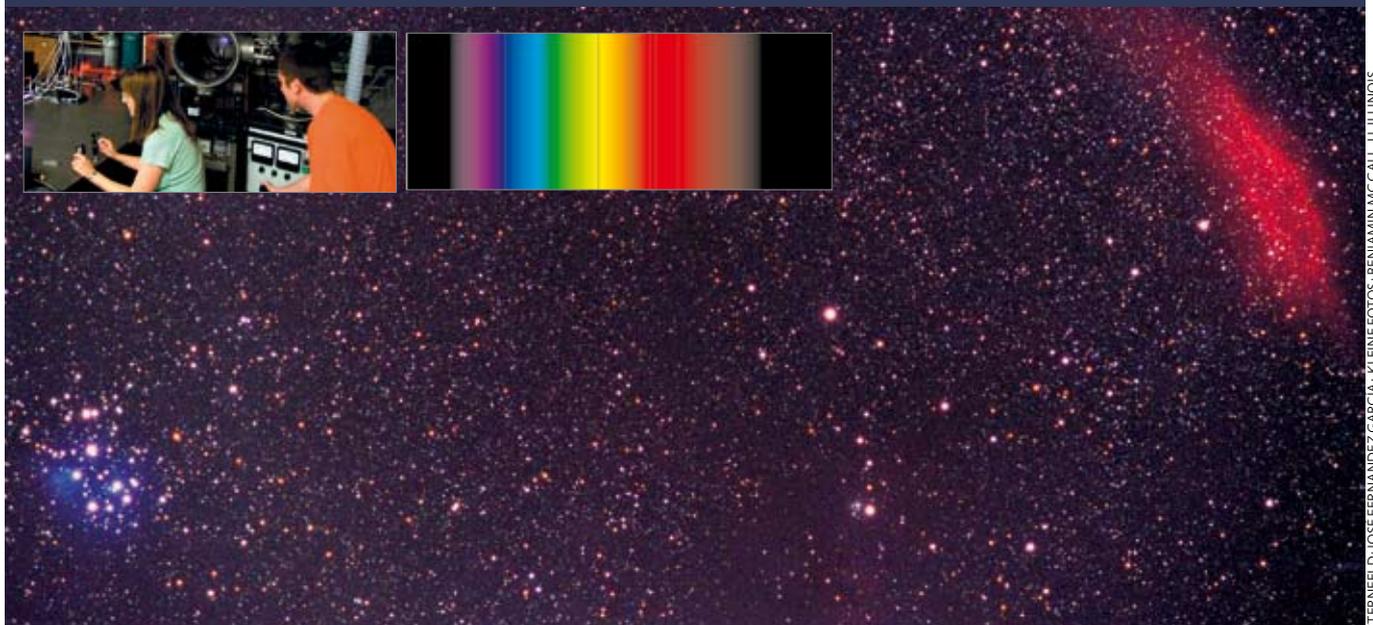
Moleküle es sich handelt! Das ist sehr erstaunlich, wenn man bedenkt, dass die meisten anderen Fragen, die die Astronomen vor achtzig Jahren beschäftigt haben, schon längst beantwortet sind.

Die Vorgehensweise bei der Suche nach der Lösung dieses Rätsels ist dabei eigentlich recht simpel: Die Wissenschaftler wählen ein bestimmtes Mole-

derer wir auf irgendeine Weise habhaft werden können. Hier korrekt zu »raten« ist nicht leicht: Bis heute waren die Wissenschaftler erfolglos. Das Auffinden des richtigen Moleküls erfordert außerdem, dass wir im Labor annähernd interstellare Bedingungen herstellen.

Eine der Forschungsgruppen, die sich mit den Spektren potenzieller DIB-Kan-

Diffuse Interstellare Banden



Erscheint ein Sternfeld röter, als es eigentlich sollte – wie bei diesem hier zwischen den Plejaden (M 45, links im großen Bild) und dem California-Nebel (NGC 1499) –, wissen die Astronomen sofort, dass sich Staub und Gas zwischen uns und den Sternen befindet. Tatsächlich zeigen

die Spektren von Sternen in Feldern wie diesem Hunderte von Absorptionslinien – und manche stammen offenbar von interstellaren Wolken. Fast neunzig Jahre nach ihrer Entdeckung sind diese Diffusen Interstellaren Banden (DIBs) immer noch keinem Stoff zugeordnet. Wissenschaftler an

der University of Illinois (kleines Bild, links) untersuchen das Laborspektrum von C_{60}^+ , einem möglichen Trägermolekül bestimmter DIBs. Das kleine Bild rechts zeigt ein »bereinigtes« DIB-Spektrum ohne die zusätzlichen Absorptionslinien des Sterns oder der Erdatmosphäre. <<

STERNFELD: JOSE FERNANDEZ GARCIA; KLEINE FOTOS: BENJAMIN MCCALL, U. ILLINOIS

didaten beschäftigt, ist die von Benjamin McCall an der University of Illinois. Sein Team ist gegenwärtig damit beschäftigt, das Spektrum des ionisierten Moleküls C_{60}^+ zu ermitteln, das eine fußballähnliche Form hat und ein heißer Kandidat für zwei DIBs im nahen Infrarot ist. Um diese Ionen herzustellen, erhitzen die Wissenschaftler in einem Ofen neutrales Fullerene, C_{60} , in seinem festen Zustand auf 650 Grad Celsius. Es verdampft, das entstehende Gas dehnt sich aus und gelangt durch eine winzige Öffnung in eine Vakuumkammer. Dabei kühlen die Moleküle auf minus 243 Grad ab, was in etwa den Temperaturen im interstellaren Weltraum entspricht. Zuvor wird das Gas durch eine Hochspannungsentladung ionisiert – ähnlich wie in einer Neonröhre –, und dabei entsteht C_{60}^+ .

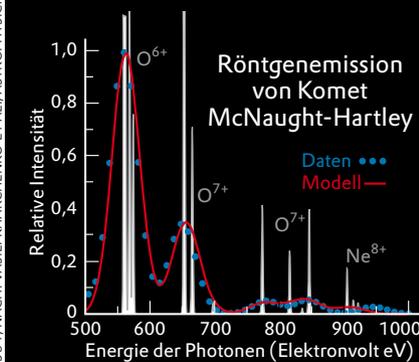
McCalls Forschungsgruppe verwendet dann eine ausgeklügelte Technologie auf Laserbasis, die »Cavity Ringdown«-Spektroskopie, um Absorptionslinien zu untersuchen: Zwei besonders gut reflektierende Spiegel werden so aufeinander ausgerichtet, dass zwischen ihnen ein Hohlraum entsteht, der die potenzielle DIB-Trägersubstanz enthält – in diesem Fall C_{60}^+ .

Laserlicht mit regelbarer Wellenlänge wird nun von hinten durch einen der Spiegel geleitet und dann zwischen den Spiegeln hin- und hergeworfen. Dadurch legt der Laserstrahl im Hohlraum mehrere Kilometer innerhalb des Gases zurück. Wenn die Forscher die Wellenlänge des Lasers verändern, variiert auch der Grad, in dem das Licht vom Gas gedämpft wird, und das Absorptionsvermögen des DIB-Kandidaten wird auf diese Weise gewissermaßen »abgetastet«.

Komissar Zufall – bitte kommen!

Überall auf der Welt werden ähnliche Laborexperimente mit möglichen interstellaren Molekülen durchgeführt. Doch trotz des enormen Aufwands sowohl auf Seiten der Laborwissenschaftler als auch der Astronomen blieb die Suche nach den Stoffen, die DIBs erzeugen, bis heute erfolglos.

► **Fall 2 – Röntgenstrahlung von Kometen.** Einer der spannendsten Aspekte der Astronomie ist wohl die Entdeckung unvorhergesehener Phänomene. Ein Beispiel: Seit den 1950er Jahren wissen wir, dass Kometen Klumpen aus Eis und Staub sind, die auf lang gezogenen Bah-



Heiße Strahlung von kalten Kometen? Wie soll es möglich sein, dass eisige Schweifsterne wie Hyakutake (großes Foto rechts) und McNaught-Hartley (Diagramm) hochenergetische Röntgenstrahlung aussenden? Die Erklärung liegt in Wechselwirkungen mit den schnellen Ionen des Sonnenwinds. Auf Basis dieses Mechanismus erzielen Laborastrophysiker und Theoretiker wie Vasilii Kharchenko, Alex Dalgarno und Kate Kirby (oberes Foto, v. l. n. r.) eine viel versprechende Übereinstimmung zwischen dem Modell (rote Kurve) und Daten von Chandra (blaue Punkte).

nen um die Sonne kurven (AH Mai 2004, S. 28). Wir können sie sehen, weil sie das Sonnenlicht reflektieren. Niemand hätte erwartet, dass derart kalte Objekte energiereiche Röntgenstrahlung aussenden – denn diese ist normalerweise ein sicheres Zeichen für hohe Temperaturen. Doch genau das beobachtete ein Team um Carey Lisse von der Johns Hopkins University in Baltimore 1996 mit dem Satelliten Rosat beim Kometen Hyakutake (siehe Foto oben) während seines nahen Vorbeiflugs an der Erde. Seitdem haben die Astronomen auch bei vielen anderen Schweifsternen Röntgenstrahlung entdeckt.

Ihr Ursprung war anfangs ein Mysterium. Röntgenstrahlung wird normalerweise von Materie geschluckt oder durchgelassen – Reflexion oder Streuung spielen so gut wie gar keine Rolle. Außerdem war die beobachtete Intensität

viel zu stark, als dass sie durch reine direkte Reflexion der Röntgenstrahlung von der Sonne zu erklären wäre.

Den Astronomen war klar, dass des Rätsels Lösung in den Spektren der Kometen zu suchen war. Doch die Instrumente an Bord von Rosat hatten nur geringe spektrale Auflösung. Die Fingerabdrücke, die der Satellit liefern konnte, waren für diesen Zweck einfach nicht gut genug.

1997 äußerte Tom Cravens von der University of Kansas die Vermutung, dass der Sonnenwind (AH Juli/August 2004, S. 24) etwas mit dem Phänomen zu tun haben könnte. Er besteht aus Elektronen, ionisiertem Wasserstoff und Helium sowie Spuren anderer ionisierter Elemente wie Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff. Der Strom kommt direkt von der Sonne. Cravens erkannte, dass jedes dieser Ionen gewissen Molekülen in der

> Koma eines Kometen – etwa neutralem Wasser oder Kohlendioxid – ein Elektron entreißen könnte. Diese Elektronen würden zwar von den Atomen wieder eingefangen, landeten jedoch zunächst auf Bahnen, die weit weg vom Atomkern liegen. Aus diesen äußeren Bereichen würden sie dann weiter »nach innen springen« und dabei Röntgenphotonen aussenden.

Bald darauf berechneten Vasili Kharchenko und Alex Dalgarno vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) in Cambridge, Massachusetts, die ersten theoretischen Röntgenspektren auf der Grundlage eines solchen Sonnenwind-Elektroneneinfangs. Sie ermit-

telten, wo in den Atomen die Elektronen dabei landen, mit welchen »Sprüngen« sie anschließend weiter nach innen hüpfen und welche Wellenlängen die resultierende Röntgenstrahlung haben sollte.

Satelliten-Interpol

1999 wurden die beiden Röntgen-Satelliten Chandra und XMM-Newton von Nasa und Esa gestartet. Diese Satelliten waren mit Spektrometern ausgestattet, deren Auflösung ausreichte, um die Fingerabdrücke klar sichtbar zu machen.

Mit zusätzlichem Archivmaterial vom Extreme Ultraviolet Explorer (EUV) und theoretischen Modellen konnte das Rätsel der Kometen schließlich gelöst werden:

Die Quelle ihrer Röntgenstrahlung war tatsächlich der Sonnenwind.

So weit, so gut – aber da gab es immer noch auffällige Unterschiede zwischen beobachteten und errechneten Kometenspektren. Erklärbar wäre das mit einer Unvollständigkeit der Modelle. Trifft dies zu, könnte man die Unterschiede nutzen, um komplexere und damit genauere Modelle zu entwickeln. Doch die Ursache könnten auch Fehler im verwendeten atomaren Datenmaterial sein.

Eine der Forschergruppen, die sich der Herausforderung stellten, die theoretischen Atomdaten experimentell zu eichen, war jene von Ara Chutjian am Jet Propulsion Laboratory der Nasa (JPL) in

Aktive Galaktische Kerne

In den strahlend hellen Kernen aktiver Galaxien (a) verbergen sich supermassereiche Schwarze Löcher. Der Großteil der energiereichen Strahlung dieser AGNs (Active Galactic Nuclei) wird in entgegengesetzt gerichtete Jets gebündelt, die sowohl aus Strahlung als auch aus schnellen Teilchen bestehen. Ihre Röntgenspektren sind extrem komplex. Ein AGN ist von derartig hoher Leuchtkraft, dass er die mehrere hundert Milliarden Sterne seiner Muttergalaxie überstrahlen kann.

Der Test Storage Ring am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg (b, c und d) ist das ideale Instrument, um die Zusammenstöße von Atomen in AGNs zu untersuchen. Um die Rekombination von Elektronen bei niedrigen Energien zu studieren, werden Ionen eingeleitet (b, rechts unten) und dann im Uhrzeigersinn entlang dem 55 Meter langen Ring geführt und gebündelt. Die orangefarbenen lackierten Dipolmagnete biegen den Strahl, die roten Quadrupolmagnete (Foto b) fokussieren ihn. Unter dem Gerüst links im Bild findet der Einschuss des Elektronenstrahls statt.

Das Chandra-Röntgenspektrum der aktiven Galaxie NGC 3783 (e) zeigt zahlreiche Absorptionslinien von ionisiertem Sauerstoff-, Neon-, Magnesium- sowie Eisenatomen. Das beobachtete Absorptionsspektrum (blau) wird vom Labormodell (rot) gut wiedergegeben – mit Ausnahme des Bereichs zwischen 1,5 und 1,7 Nanometern, wo das Modell noch unsicher ist.



S & T, CASEY B. REED

MPI FÜR KERNPHYSIK HEIDELBERG

Kalifornien. Die Grundlage für ihre Experimente bildete ein Mikrowellengenerator ganz ähnlich jenen, die in Mikrowellenherden verwendet werden. Die Wissenschaftler erhitzen atomare Teilchen auf die typischen Temperaturen in der Sonnenatmosphäre und erhielten so Ionen, die jenen im Sonnenwind gleichen.

Dann beschleunigten sie diese Ionen auf die Geschwindigkeit des Sonnenwinds: etwa dreihundert bis siebenhundert Kilometer pro Sekunde. Der so erzeugte Strahl wurde durch eine Zelle geleitet, die Wasser oder Kohlendioxid enthielt – also jene zwei Moleküle, die den Großteil aller von Kometen abdampfenden Stoffe ausmachen. Ein spezielles

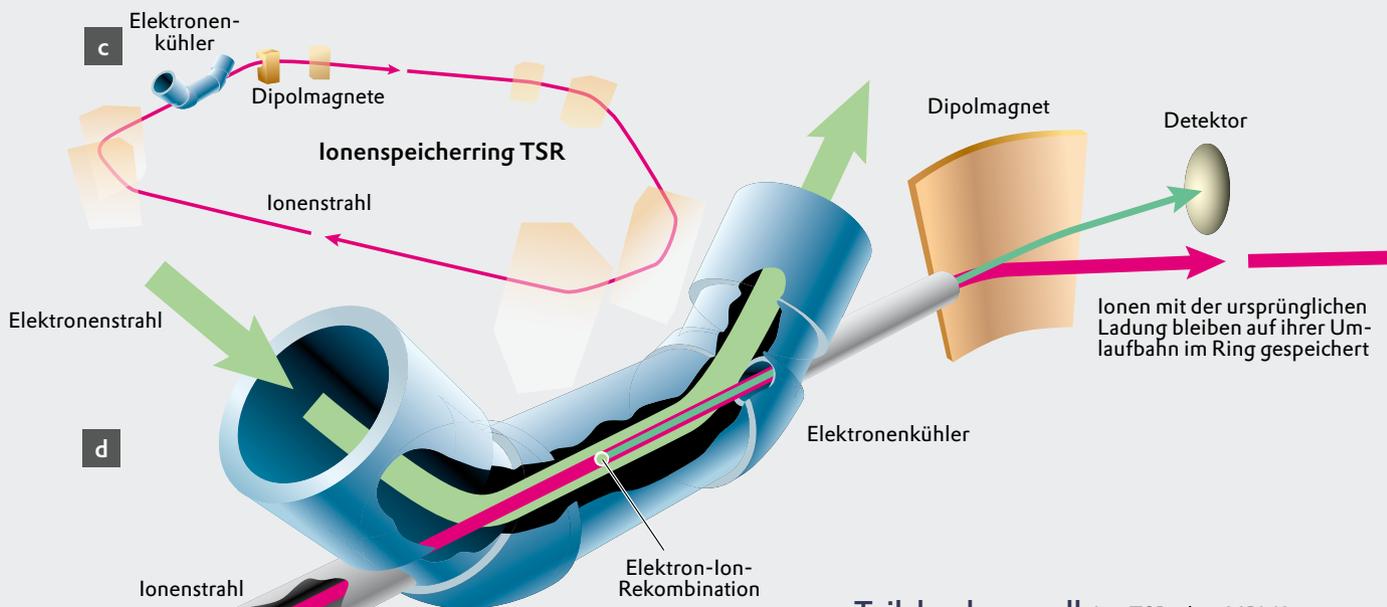
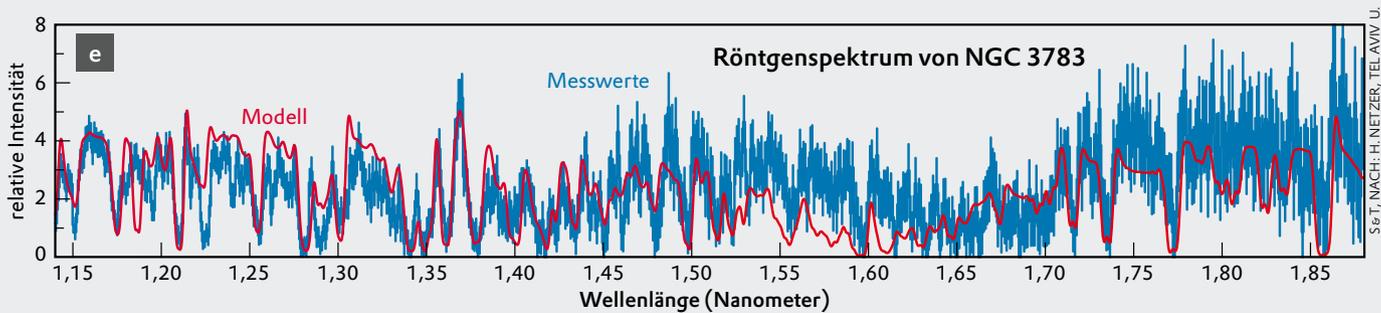
Instrument registrierte nun die Röntgenstrahlung, die durch den Elektroneneinfang erzeugt wurde. Die so gewonnenen Daten sind die Grundlage für eine Überprüfung der Theorien. Außerdem helfen sie den Astronomen dabei, die Linien in den Röntgenspektren der Kometen zu identifizieren.

Erfolgreiche Rasterfahndung

Durch Kombination theoretischer Berechnungen und Labordaten konnten die Wissenschaftler Modelle erstellen, die die Röntgenspektren der Kometen recht gut erklären. Die Übereinstimmung ist noch nicht perfekt, und es gibt immer noch einige Probleme; doch die Forscher sind

auf diese Art einem völlig neuen Weg, Röntgenlicht zu erzeugen, auf die Spur gekommen. So scheint der Sonnenwind-Elektroneneinfang auch für einen Teil der energiereichen Strahlung verantwortlich zu sein, die von Mars, Jupiter oder der Erde selbst stammt. Der Prozess ist im Sonnensystem stärker verbreitet als ursprünglich vermutet. Künftige Röntgenteleskope, verbesserte Rechnungen und eine größere Anzahl an Labormessungen könnten unter Umständen einmal die Untersuchung des Sonnenwinds auf Grundlage der Röntgenspektren der Kometen ermöglichen.

► **Fall 3** – Aktive Galaktische Kerne. Die experimentelle Astrophysik aus dem La- >



Teilchenkarussell Im TSR des MPI-K rasen Eisenionen mit 100 Millionen Kilometer pro Stunde im Kreis (c). Im Elektronenkühler (d) wird der Strahl mit einer bekannten Menge an Elektronen gemischt. Rekombinieren sie mit einem Ion, fliegt dieses aus dem Ring und wird im Detektor registriert. So lässt sich die gesuchte Rekombinationsrate präzise bestimmen.

WISSEN SIE, WELCHE VORTEILE EIN ABO HAT?



Präsent
zur
Wahl!

ABONNIEREN

>>> Sie zahlen im Inland nur € 56,- für das Jahresabonnement von ASTRONOMIE HEUTE (10 Ausgaben). Als Schüler, Student, Azubi, Wehr- oder Zivildienstleistender zahlen Sie auf Nachweis sogar nur € 50,-.

>>> Unter www.astronomie-heute.de/archiv haben Sie freien Online-Zugriff auf alle Hefte im Volltext seit der Erstausgabe.

>>> Für Ihre Bestellung bedanken wir uns mit einem Präsent Ihrer Wahl.

Jahresabo **spektrumdirekt**.
Die tägliche Wissenschaftszeitung
im Internet mit über 16 000
Archivartikeln und vielen Links

Das Buch »Vom Regenbogen zum
Polarlicht« erklärt verständlich
die faszinierenden Leucht-
erscheinungen in der Atmosphäre

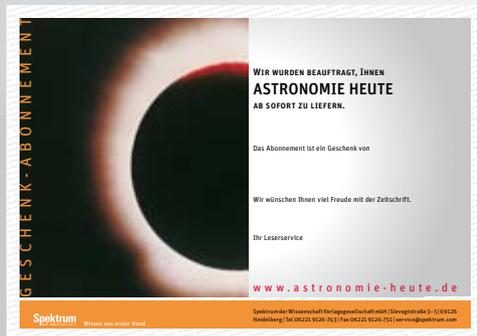
EMPFEHLEN

Sie haben uns einen neuen Abonnenten vermittelt?
Dann haben Sie sich eine Dankesprämie verdient und
können zwischen folgenden Geschenken wählen:



Präsent
zur
Wahl!

Die iTunes-Musik-
karte im Wert von
€ 25,- für den Music-
store von Apple



VERSCHENKEN

Verschenken Sie ein Jahr Lesevergnügen! Das erste Heft
des Abonnements verschicken wir mit einer Grußkarte in
Ihrem Namen.

>>> Abonnieren und profitieren Sie gleich unter:

www.astronomie-heute.de/abo

> bor hilft uns auch dabei, das Wesen Schwarzer Löcher zu verstehen. Diese Objekte gehören zu den wohl exotischsten, die man kennt. Sie verbiegen die Raumzeit und erzeugen dabei jede Menge Röntgenstrahlung. Teilchen werden in ihre Schwerkraftstrudel gezogen, wirbeln auf das Loch zu und strahlen dabei energiereiche Photonen ab. Die intensive Strahlung trifft auf das umgebende Material und entreißt den Atomen ihre Elektronen – ein Gas aus freien Elektronen und Ionen entsteht. Um die unmittelbare Umgebung eines Schwarzen Lochs zu verstehen, braucht man also exaktes Wissen um die Wechselwirkungen zwischen Elektronen und Ionen.

Extrem massereiche Schwarze Löcher verbergen sich in den Zentren aktiver Galaxien – wie Quasare oder Blazare. Diese Aktiven Galaktischen Kerne (AGNs, von: Active Galactic Nuclei, siehe Kasten auf S. 32) senden so viel und so energiereiche Strahlung aus, dass sie manchmal das Licht der Galaxien, die sie beherbergen, berstrahlen – und das sind jeweils hunderte Milliarden Sterne.

Die Röntgen-Satelliten Chandra und XMM-Newton gewährten den Astronomen wichtige Einblicke in die extremen Bedingungen, die nahe den AGN-Zentren herrschen. So zeigen von beiden Satelliten aufgenommene Spektren beispielsweise mysteriöse Strukturen in den Winden, die man in der Umgebung der zentralen Schwarzen Löcher beobachtet. Doch wir können die physikalischen Eigenschaften dieser Regionen nur schwer berechnen, da wir über jene Elektron-Ion-Kollisionen, die die beobachteten Spektren erzeugen, nur wenig wissen.

Neueste Röntgenbeobachtungen lassen darauf schließen, dass das Eisen in den AGN-Winden weniger stark ionisiert ist als bisher angenommen. Komplexe Computermodelle sind aber unsere einzige Möglichkeit, auf Grundlage der AGN-Messungen das Gleichgewicht zwischen Ionisation und Rekombination zu berechnen. Dieses Gleichgewicht bestimmt nämlich den mittleren Ionisationsgrad des Gases.

Hagai Netzer von der Tel Aviv University hat kürzlich die Theorie vorgestellt, dass die Annahme zu niedriger Rekombinationsraten des Eisens für die Unterschiede zwischen den Beobachtungen und den Modellen verantwortlich sein könnte. Berücksichtigt man dies in den

Modellen, so würden sie besser mit den Beobachtungen übereinstimmen.

Die meisten verwendeten Rekombinationsraten gehen auf Ergebnisse quantenmechanischer Rechnungen zurück. Doch mehr als achtzig Jahre nach den fundamentalen Arbeiten von Heisenberg, Schrödinger und Co. können theoretische Atomphysiker viele Kollisionsprozesse heutzutage immer noch nicht verlässlich berechnen. Dies demonstriert eindrucksvoll die Komplexität der modernen Physik – und zeigt ebenso, wie wichtig verlässliche Messwerte aus dem Labor sind, um die theoretischen Resultate zu überprüfen.

Mit Hilfe von Anlagen wie dem Speicherring für schwere Ionen (»Testspeicherring«, TSR) am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg (MPI-K)

Neueste Messungen vom TSR zeigen, dass die bisher verwendeten theoretischen Werte offenbar wirklich zu niedrig sind!

untersuchen experimentelle Astrophysiker direkt hier auf der Erde die gleiche Art von Kollisionen, wie sie in AGNs vorkommen. Die Forschung am TSR ist eine Zusammenarbeit der Gruppen um Andreas Wolf vom MPI-K, Alfred Mller von der Uni Gießen und Daniel Wolf Savin von der Columbia University, New York City. In dem TSR-Experiment (Foto S. 32 und Grafiken S. 33) wird zunächst ein Strahl negativ geladener Eisenionen beschleunigt und durch eine dünne Folie geleitet. Die Kollisionen innerhalb der Folie entreißen den Eisenatomen Elektronen, wodurch ein Strahl positiv geladener Eisenionen entsteht. Je mehr Elektronen dabei verloren gehen, desto höher ist der Ionisationsgrad des Eisens.

Der Strahl wird dann mit einer Geschwindigkeit von etwa zehn Prozent der Lichtgeschwindigkeit in den TSR eingeleitet. An einem bestimmten Abschnitt treffen die Ionen auf einen Elektronenstrahl, mit dem sie sich entlang einer Strecke von etwa eineinhalb Metern vermischen. Und genau dort passieren Zusammenstöße zwischen Elektronen und Ionen, die jenen in AGNs gleichen.

Mit dem TSR können die Wissenschaftler nun die grundlegenden Rekombinationsraten für Eisen bestimmen. Jüngste Messungen zeigen, dass die bis-

her verwendeten theoretischen Raten offenbar wirklich zu niedrig sind. Die aktuellen Ergebnisse aus dem Labor können nun in die Modelle eingepflegt werden und so zu einem besseren Verständnis der Umgebung der zentralen Schwarzen Löcher beitragen.

Mit jeder neuen Teleskop- und Detektorgeneration verbessern sich sowohl die räumliche als auch die spektrale Auflösung. Schon allein deshalb muss man jene physikalischen Prozesse, die den beobachteten Spektren zu Grunde liegen, immer besser und genauer verstehen. Die Laborastrophysik ist ein interdisziplinäres Feld, das Bereiche der Physik, Chemie und Astronomie umfasst. Sie ist die Grundlage für viele Aspekte der Astronomie. Leider haben Kürzungen der Fördermittel die dafür vorgesehenen

Budgets drastisch eingeschränkt, und das geführt dringend benötigte Forschungen auf diesem wichtigen Gebiet.

Wir werden auch künftig mit immer neuen kosmischen Rätseln konfrontiert werden. Das wird besonders deutlich, wenn man bedenkt, dass wir immer weiter in den Kosmos hinaussehen – dank neuer, kostspieliger Observatorien sowohl auf der Erde als auch in der Erdumlaufbahn. Doch nur durch kontinuierliche Investitionen in die Laborastrophysik werden die Astronomen dafür gerstet sein, diese Rätsel zu lösen und das bestmögliche wissenschaftliche Verständnis aus ihren Beobachtungen zu gewinnen. <<

Daniel Wolf Savin ist Physiker an der Columbia University. Er studiert die Wechselwirkungen zwischen Elektronen und Ionen in AGNs. **Benjamin J. McCall** ist Chemiker und Astronom an der University of Illinois. Sein Spezialgebiet ist die Erstellung laserbasierter Spektren potenzieller DIB-Träger und anderer Moleküle. **Kate Kirby** ist theoretische Physikerin am Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics und untersucht die Röntgenemissionen von ionisierten Plasmen.

Links und Verweise zu diesem Artikel unter astronomie-heute.de/artikel/869916