

Röntgenastronomie mit Ballonen

Von Dr. Susanne Päch, Egling

Höhenforschungsballone sind zu einem wichtigen Hilfsmittel der Astronomie der kurzwelligen elektromagnetischen Strahlen (Gamma- und Röntgenstrahlen-Astronomie) geworden, weil sie befriedigende Resultate bei vergleichsweise niedrigen Kosten zu erzielen gestatten.

Viele Jahrhunderte hindurch kannte man vom Universum nur jenen Teil, über den uns das auf die Erdoberfläche dringende sichtbare Licht informiert. Doch das sichtbare Licht, dessen Photonen von unserer Atmosphäre nicht verschlungen werden, macht nur einen ganz kleinen Teil jener elektromagnetischen Strahlung aus, die von galaktischen und extragalaktischen Himmelsobjekten ausgesandt wird. Erst seit dem zwanzigsten Jahrhundert gelang es den Astronomen, in andere Spektralbereiche zu „sehen“: Während sich am Ende des Zweiten Weltkriegs das sogenannte „Radiofenster“ dem irdischen Himmelsbetrachter eher zufällig öffnete, blieben diesem die am kurzwelligen Ende des Spektrums angesiedelten Bereiche des fernen Ultraviolett sowie der Röntgen- und Gammastrahlung weiterhin verschlossen, deren Photonen von der irdischen Lufthülle absorbiert werden. Wer also Wissen darüber erhalten will, der muß die eintreffenden Signale in den obersten Schichten unserer Atmosphäre oder noch höher sammeln. Methoden dafür stehen mit Raketen, Satelliten und Stratosphärenballonen erst seit wenigen Jahrzehnten zur Verfügung – und so gehören die Röntgen- und die Gammastrahlenastronomie zu den jüngsten Teildisziplinen dieser ältesten Wissenschaft.

Die Trennung von Röntgen- und Gammastrahlenastronomie ist eher willkürlich; manche Forscher unterscheiden sie überhaupt nicht. Prinzipiell gibt es zwei Einteilungskriterien: zum einen die Prozesse, die zur Aussendung von Photonen führen, zum anderen die dabei entstehende Energie – wobei sich natürlich beide Aspekte wechselseitig bedingen. Während Röntgenphotonen typischerweise bei Wechselwirkungen von Elektronen mit Materie, Schwerkraft- oder Magnetfeldern entstehen, tritt Gammastrahlung als Folge von Kernprozessen, also im Bereich von Protonen, Neutronen und Elementarteilchen auf; bei der Röntgenstrahlung werden Energien von 0,1 keV (weiche Röntgenstrahlung) bis 500 keV (harte Röntgenstrahlung) emittiert, Photonen, die noch höhere Energien aussenden, bezeichnet man als Gammastrahlung.

Es dauerte bis 1949, ehe der erste experimentelle Nachweis der weichen Röntgenstrahlung gelang: H. Friedman und seine Mitarbeiter stellten beim Aufstieg einer A-4 (V2)-

Rakete – die als Kriegsbeute von Deutschland nach Amerika gekommen war – fest, daß die Sonne auch im Röntgenbereich strahlt. Nichtsolare galaktische und extragalaktische Röntgenquellen konnte man sogar erst in den sechziger Jahren erstmals nachweisen – auch hier mit Höhenforschungsraketen. Ende der sechziger Jahre waren rund fünfzig Röntgenquellen bekannt. Als 1970 der erste Satellit für Röntgenstrahlung – der von der NASA gebaute UHURU – gestartet wurde, erweiterte sich diese Zahl bei dieser ersten vollständigen Durchmusterung auf über zweihundert; mit dem unter deutscher Federführung entwickelten ROSAT erwartet man eine wahre Explosion neuer Funde, die zu mehr als 100 000 neuen Objekten im weichen Röntgenbereich führen soll.

Um diese Strahlung überhaupt messen zu können, bedarf es spezieller Instrumente – herkömmliche Teleskope können dafür nicht eingesetzt werden, da wegen der extrem kurzen Wellenlänge weder Linsen noch senkrecht reflektierende Spiegel brauchbar sind.

Neben der Nutzung von Raketen- und Satellitentechnik für den Aufstieg der Meßgeräte hat sich für die Beobachtung bestimmter Himmelsregionen und -objekte im harten Röntgenbereich eine weitere Methode – von der Öffentlichkeit weitgehend unbeachtet – bewährt: Die Detektoren werden mit riesigen heliumgefüllten Ballonen in die obersten Bereiche der Atmosphäre gebracht und sammeln dort 20–40 Stunden lang Daten.

Seit 1971 gibt es ein deutsches Projekt, das – vom Astronomischen Institut der Universität Tübingen (AIT) ins Leben gerufen – inzwischen zusammen mit dem Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik (MPE) in Garching durchgeführt wird. Zur Datensammlung sind bereits zehn solcher Stratosphärenflüge erfolgt, die zu neuen Erkenntnissen im Bereich der hochenergetischen Röntgenastronomie führten. Denn während beispielsweise mit dem ROSAT Energien zwischen 0,1–2 keV untersucht werden, muß man bei Ballonforschungen wegen der selbst bei einer Flughöhe von rund 40 km verbleibenden Restatmosphäre auf Energien von mehr als 20 keV ausweichen.

Die extreme Höhe, in die die Ballone ihre Nutzlast befördern müssen, und die damit zusammenhängenden Probleme von Start und Landung der Detektoren hatten die Entwicklung geeigneter Techniken zur Folge – ein mehrköpfiges Team muß eine Vielzahl von Aufgaben erfüllen, um die einwandfreie Durchführung des Projekts zu ermöglichen.

Problem Nr. 1: das Wetter

Da braucht man zuerst einmal einen geeigneten Startplatz; im Gegensatz zu üblichen Ballonaufstiegen gibt es nur wenige Orte auf der Erdkugel, die die Durchführung eines derartigen Projekts überhaupt ermöglichen. Zum einen ist ein eingespieltes Technikerteam nötig, das einen reibungslosen Start der Riesenballone gewährleistet, zum anderen erfordert die Bergung der Meßinstrumente nach Beendigung der Mission, daß Windeinflüsse den Ballon nicht zu weit abtragen. Ein drittes Problem beschreibt Joachim Trümper, unter dessen Leitung das Röntgenprojekt von seiten des MPE steht, folgendermaßen: „Leider ist in Europa aus technischen Gründen an den Einsatz derartig großer Ballone, wie wir sie brauchen, nicht zu denken.

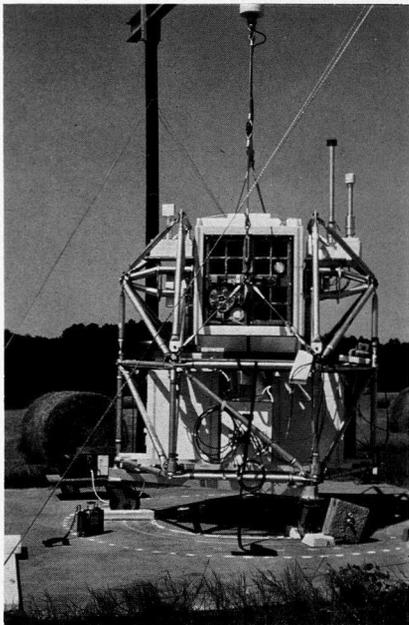


Abb. 1: Die Ballongondel mit eingebauter Nutzlast. Neben den Detektoren beherbergt sie die aufwendige Bordelektronik, Regeleinheiten sowie Versorgungsgeräte.

Flugsicherungsbestimmungen und sehr kurze Flugzeiten sowie die Gefahr eines Absturzes über einem dichtbesiedelten Gebiet sind nur einige von vielen Problemen.“ So wick man bisher einmal nach Australien und neunmal nach Amerika aus – in jene Länder also, die weite, unbesiedelte Gebiete aufweisen. In die Staaten reist man immer zum Ballonstartplatz des Nationalen Zentrums für Atmosphärenforschung (**N**ational **C**enter for **A**tmospheric **R**esearch = **N**CAR) in Palestine, das rund 150 km südöstlich von Dallas in der texanischen Prairie liegt. Der runde, halb asphaltierte Startplatz hat einen Durchmesser von etwa einem Kilometer; neben geeigneten Startfahrzeugen und geschultem Personal steht den Wissenschaftlern ein ausgedehnter Gebäudekomplex zur Verfügung, der die exakte Vorbereitung der diversen Nutzlasten gewährleistet.

Langzeitflüge, wie sie für die Röntgenastronomie nötig sind, kann man nur zweimal im Jahr durchführen – wenn der Wind in der oberen Atmosphäre zu einer relativ genau festlegbaren Zeit dreht. Während er von Mai bis September auf der Nordhalbkugel konstant aus östlicher Richtung weht, herrscht das restliche Jahr über Westwind. Im Mai

und September, zur Zeit des sogenannten „turnaround“ also, ist die ideale Zeit für längere Stratosphärenflüge, denn der Ballon entfernt sich während der vier bis fünf Tage dauernden Winddrehung kaum von seinem Aufstiegsort, kreist um ihn herum, und die Nutzlast kann innerhalb eines Radius' von einigen hundert Kilometern geborgen werden. Im Vergleich dazu: Zu anderen Zeiten dauert ein Stratosphärenflug maximal acht Stunden; dann hat sich der Ballon bereits bis zu 800 km von seinem Startpunkt entfernt.

Problem Nr. 2: das Warten

Um einen reibungslosen Ablauf einer Ballonmission sicherzustellen, schicken AIT und MPE eine Crew von etwa zehn Teilnehmern nach Palestine, deren Aufenthaltsdauer auf ungefähr sechs Wochen veranschlagt ist: fünf Mitarbeiter des MPE (davon drei Wissenschaftler und zwei Mechaniker) und fünf des AIT (neben drei Wissenschaftlern auch zwei Elektroniker). Sie alle sind nach Ankunft im Ballonflugzentrum erst einmal einige Wochen damit beschäftigt, die Nutzlast aufzubauen, zu prüfen, die nötigen Vakuumtests durchzuführen und sie auszurichten; die gesamte Elektronik muß abgestimmt werden.

Dann beginnt meist das große Warten – das Warten auf den „turnaround“. Auf die Drehung des Windes hoffen nicht nur die deutschen Teilnehmer; sechs bis sieben Gruppen aus aller Welt liegen hier auf der Lauer, von denen später maximal drei Ballone gleichzeitig in der Luft sein werden. Nicht alle von ihnen benötigen Langzeitaufenthalte in der Luft, die den gesamten „turnaround“ ausnutzen. Auch Atmosphärenforscher sind anwesend – und die Astronomie ist mit Ballonexperimenten im Infrarot über den optischen bis zum Gammastrahlenbereich vertreten. Die Winddrehung kann zwar mit der Genauigkeit von einigen Tagen vorausgesagt werden, der genaue Zeitpunkt wird jedoch erst kurz vorher bekannt.

Problem Nr. 3: der Start des Ballons

Die knapp zwei Tonnen schwere Ballon-Nutzlast des AIT/MPE besteht aus einer Gondel von rund fünf Kubikmetern; sie beherbergt die schwenkbar angebrachten Detektoren, sowie die zugehörige Elektronik, die Regeleinheiten und die Versorgungsgeräte. Jener Teil der Detektoren, der aus Halbleitermaterial besteht (rund ein Zehntel der gesamten Detektorenfläche), muß während des Flugs mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Außerdem braucht man für die Lageregelung der Gondel und für die Nachführung der Detektoren – die mit einer Genauigkeit von sechs Bogenminuten arbeiten – komplizierte Bordsysteme.

Die Kristall-Detektoren arbeiten nach folgendem Prinzip: Die Röntgenstrahlung fällt durch sogenannte „Kollimatoren“, aus Metall gefertigte gebündelte Röhren mit jeweils einem Blickfeld von drei Grad; dahinter liegen die eigentlichen Meßkristalle aus Natriumjodid, mit deren Atomen die eintreffende Strahlung in Wechselwirkung tritt. Die bei diesem Prozeß entstehende Anregungsenergie, die in Form von Lichtquanten, also Photonen, wieder abgegeben wird, entspricht der Energie der einfallenden Strahlung. Die Photonen treffen nun auf einen Photomultiplier, in dem jeder Lichtblitz in einen meßbaren Stromimpuls umgewandelt und verstärkt wird. Die mitgeführte Elektronik notiert und verarbeitet die eingehenden Daten wie Energiewerte und Zeitpunkt des Auftreffens; dabei können durch die Halbleiter-Detektoren die Energiewerte recht genau aufgelöst werden. Gleichzeitig steht die Gondel über eine Daten- und Kommandotelemetrie mit der Bodenstation in Funkverbindung. Der Rechner in der Bodenstation steuert nicht nur

das Ballon-Teleskop, sondern kann sogar spezielle wissenschaftliche Analysen in Echtzeit vornehmen. Anhand der eingehenden Daten wird das Röntgenspektrum des beobachteten Objekts erstellt, das die Basis der weiteren wissenschaftlichen Auswertung bildet.

Für den Start eines Stratosphärenballons ist ein besonderes Fahrzeug erforderlich, das den Ballon mit seinen bis zu 120 m Durchmesser am Boden hält, während er mit Helium gefüllt wird. Natürlich wird nur ein kleiner Teil seines gesamten Volumens von rund $\frac{1}{2}$ Mio m^3 mit dem leichten Gas vollgepumpt, das sich dann beim Aufstieg wegen des sinkenden äußeren Luftdrucks immer mehr ausdehnt; erst in 40 km Höhe nimmt der Ballon die typische Kugelform an. Diese $\frac{1}{2}$ Mio m^3 Volumen liegen kurz vor dem Start an sich zusammengefaltete Hülle etwa hundert Meter langgezogen am Boden. Eine kleine Manschette sorgt nämlich dafür, daß das eingeleitete Helium ausschließlich am obersten Teil des Ballons gesammelt bleibt, wo es sich zu einer kleinen Kugel formt. Nach Beendigung des Füllvorgangs hat ein weiteres Fahrzeug die Aufgabe, die Nutzlast beim Aufstieg genau unter den langsam aufsteigenden Ballon zu bringen. Die Manschette wird in 200 m Höhe über Funk abgesprengt.

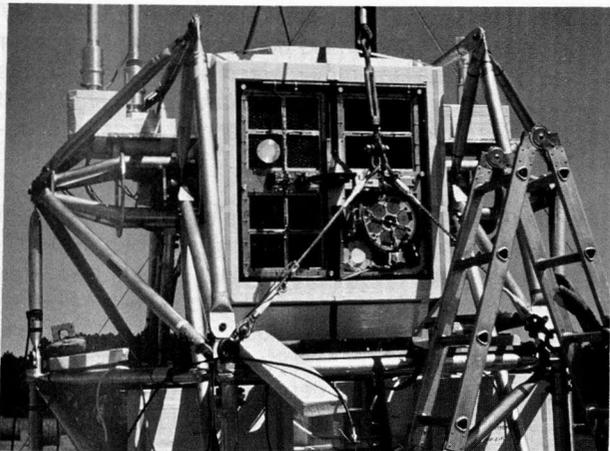


Abb. 2: Der wichtigste Teil der Nutzlast sind die Detektoren, die die Röntgenstrahlung messen. Unten rechts sieht man den hochauflösenden Halbleiterdetektor mit der wabenförmigen Sechseckanordnung; die anderen „Fenster“ bilden die Kollimatoren für die dahinterliegenden Kristalldetektoren.

Der vom AIT/MPE-Team für die neueste und schwerste Version der Nutzlastgondel eingesetzte Ballon gehört zu den größten seiner Art. Allein die Hülle des Monstrums wiegt zwei Tonnen – obwohl der Kunststoff nur $\frac{1}{10}$ mm dick ist. Nur dreimal sind bisher Ballone mit gleichem Fassungsvermögen gestartet worden, aber alle diese Missionen führten dazu, daß die Ballonhülle beim Aufstieg oder kurz nach Erreichen der Flughöhe langsam aufriß. Das Maximum der derzeitigen Möglichkeiten von Stratosphärenballonen scheint damit voll ausgeschöpft zu sein.

Problem Nr. 4: die Landung der Nutzlast

Die Landung der Gondel kann sich recht abenteuerlich gestalten, nämlich dann, wenn starker Wind bläst oder aber Probleme bei den Landungsvorbereitungen auftreten. Der Standort des Ballons vor der Landung ist ja durch die Telemetrieanlage ungefähr lokalisierbar. Um die genaue Lage zu orten, muß ein Sportflugzeug aufsteigen. Der Pilot sondiert das Gelände, in dem der Ballon niedergehen wird. Sollte es sich dabei um unwegsames Gebiet mit Canyons oder mit Wasser handeln, oder auch eine Stadt oder ein Öfeld in der Nähe sein, so wartet der Pilot, bis der Ballon

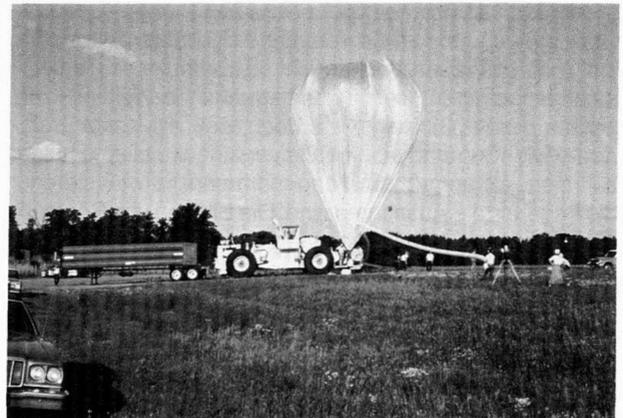


Abb. 3: Der Ballon mit dem Startfahrzeug bei den letzten Vorbereitungen vor dem Aufstieg. Links die Flaschen mit dem Füllgas.

aus dieser Zone herausgetrieben wurde. Scheint der voraussichtliche Landeplatz günstig, unterrichtet er den Rest der Bergungsmannschaft, die nun in den dazu nächstgelegenen Ort aufbricht. Nun gibt der Pilot das Zeichen zur Absprengung des Ballons von der Nutzlast. Gleichzeitig wird die Ballonhülle an einer Sollbruchstelle aufgerissen und kehrt ebenfalls zur Erde zurück. Der riesige Fallschirm, der an der Nutzlast angebracht ist, entfaltet sich; an ihm schwebt die Gondel im Verlauf von ca. 30 Minuten zu Boden. Im Moment des Aufschlags wird der Fallschirm abgesprengt – um zu verhindern, daß er die Gondel am Boden weiterschleift. Um den Aufprall der empfindlichen Meßgeräte zu lindern, sind überall „Stoßdämpfer“ aus Wellpappe angebracht – immerhin schlägt die Gondel mit einer Geschwindigkeit von rund 3 m/s auf. Nach der Beobachtung der Landung trifft sich der Pilot mit den anderen Mitgliedern der Bergungsmannschaft. Bis auf einen Wissenschaftler handelt es sich um geschultes Personal des Ballonflugzentrums. Sie alle fahren nun zum Landeplatz.

Bei einem der deutschen Ballonflüge im Jahr 1980 vom AIT/MPE gelang es jedoch nicht, den Fallschirm ordnungsgemäß von der Nutzlast zu trennen: aufgrund der stürmischen Witterung zog er die wertvolle Last drei Kilometer durch den texanischen Wüstensand und riß dabei zwei Hochspannungsleitungen nieder; doch die Instrumente blieben unbeschadet – abgesehen von einigen „Blebschäden“, wie sich Professor Trümper ausdrückte.

Abb. 4: Die Nutzlast eines Höhenforschungsballons nach der Landung. Wellpappe dient als Stoßdämpfer, um den Aufschlag zu lindern. Der Fallschirm, an dem die Nutzlast zu Boden geht, wurde kurz vor dem Aufschlag abgesprengt.



Die Botschaft der Röntgenstrahlung

Obwohl noch jung an Jahren, hat die Röntgenastronomie entscheidend zum Verständnis astronomischer Phänomene beigetragen; sie hat das herrschende Weltbild maßgeblich beeinflusst, zeigte sie doch, daß explosive Ereignisse wie Supernovae im Universum weitaus häufiger auftreten, als ursprünglich angenommen, ja, daß sie eher die Regel als die Ausnahme sind. Die Bildung von Röntgenphotonen ist stets mit hochenergetischen Prozessen und Wechselwirkungen verbunden: in Gegenden extrem hoher Temperaturen – Millionen bis Milliarden Grad – oder hoher Magnetfeldstärken, sowie Konzentrationen relativistischer Teilchen. Deshalb gehören zu den typischen Röntgenquellen vor allem die Exoten des Himmels: Supernova-Überreste und Röntgendoppelsterne, Neutronensterne innerhalb unserer eigenen Milchstraße, sowie Quasare und Galaxienhaufen im extragalaktischen Bereich.

Die Beobachtungen, die von den Mitarbeitern des AIT/MPE-Projekts bisher durchgeführt wurden, umfassen Röntgendoppelsterne wie Cyg X-1 oder Sco X-1, pulsierende Röntgendoppelsterne wie Her X-1 und Cen X-3; weiter untersuchte man den Krabben-Nebel und seinen Pulsar sowie unser galaktisches Zentrum. Auch einige extragalaktische Röntgenquellen hat man mit dem Ballon-Röntgenteleskop schon beobachtet; doch das Schwergewicht der Forschung lag und liegt auf den Röntgendoppelsternen.



Abb. 5: Oftmals ist die Nutzlast nach der Landung arg ramponiert, aber die Hauptsache ist, daß die Meßdaten erhalten sind und ausgewertet werden können.

Neutronensterne sind durch relativ große Masse auf kleinstem Raum gekennzeichnet und entstehen meist bei Supernova-Explosionen; dort bleiben sie als Rest im Zentrum des entstehenden, leuchtstarken Materienebels zurück. Ihre Masse entspricht etwa der unserer Sonne, jedoch ist sie auf einen Durchmesser von wenigen Kilometern zusammengepreßt. Die Dichte übersteigt damit die mittlere Dichte eines Atomkerns; das führt dazu, daß die Atome „aufgebrochen“ werden. Die Elektronen drücken in die Atomkerne hinein und neutralisieren sich so mit den positiv geladenen Protonen – Neutronen bleiben übrig. Daher die Bezeichnung „Neutronstern“.

Junge Neutronensterne zeichnen sich durch eine extrem schnelle Rotationszeit aus – sie senden Strahlungsblicke aus, wie die auch im optischen Bereich bekannten Pulsare, aber im Röntgen- und Gammabereich. Diese pulsierende Strahlung erklärt man damit, daß bei einem Neutronstern die Magnetpole, an denen die hochenergetische Strahlung entsteht, nicht in der Rotationsachse liegen; es kommt daher zum bekannten „Leuchtturm-Effekt“.

Über einen Zeitraum von einer Million Jahre nimmt die Rotationsdauer von Neutronensternen merklich ab; sie liegt nun im Sekundenbereich. Mehrere hundert solcher alten Neutronensterne sind in der Milchstraße bekannt. Sie gehören oft zu Doppelsternsystemen, bei denen der kleine, kompakte Neutronstern eine normal große Sonne umläuft. Dank seiner immensen Gravitation zieht der Neutronstern ständig Materie von seinem Begleitstern zu sich. Sie bildet eine Scheibe und spiralt sich dann nach innen. Mit etwa halber Lichtgeschwindigkeit stürzt sie auf eine kleine Polfläche des Neutronsterns. Das dabei entstehende Plasma sendet intensive Röntgenstrahlung aus, die man wegen ihrer analogen Entstehungsweise mit der bei Zyklotronen und Synchrotronen auftretenden Strahlung auch Zyklotron- beziehungsweise Synchrotronstrahlung nennt. Wie groß die dabei entstehende Strahlung ist, hängt von der Stärke des Magnetfeldes ab.

Ein typischer Fall: Her X-1

Seit mehreren Jahren stellt Herkules X-1, ein Röntgendoppelstern in 19 500 Lichtjahren Entfernung, ein bevorzugtes Beobachtungsobjekt bei den Ballonflügen des AIT/MPE dar. Im Gegensatz zu den meisten anderen Röntgenquellen strahlt er ausschließlich im Röntgenbereich, ist für uns also nur in diesem Abschnitt des Spektrums überhaupt wahrnehmbar. Her X-1 umkreist seinen Begleiter alle 1,7 Tage – das läßt sich anhand der Röntgenimpulse, die er aussendet, feststellen; immer, wenn er von der Erde aus betrachtet hinter seinem Begleitstern vorbeigeht, deckt dieser seine Strahlung ab. Die Eigenrotation des Neutronsterns beträgt 1,24 s.

Bei einem Beobachtungsflug im Jahr 1976 gelang dem Team ein wichtiger Beitrag zur Röntgenastronomie: Erstmals konnte das Magnetfeld eines Neutronsterns bestimmt werden. Bis dahin war die sich aus der Pulsfrequenz ergebende Rotationsperiode bekannt, ebenso das Energiespektrum bis zu ungefähr 30 keV. Oberhalb dieses Werts nimmt die Intensität der Strahlung rasch ab und läßt sich daher nur mit besonderen Meßinstrumenten, jenen großflächigen Detektoren nachweisen, die selbst auf kleinste Intensitäten ansprechen, 1976 konnte man zum erstenmal bei einem Ballonflug des AIT/MPE dieses hochenergetische Spektrum erfassen; zum Erstaunen der Wissenschaftler fand man nicht das erwartete kontinuierliche Spektrum, sondern linienartige Strukturen bei 55 keV und 110 keV. Das ist erstaunlich, weil derartige Linien üblicherweise atomare Absorptions- oder Emissionslinien sind, die jedoch im niederenergetischen Bereich unter 10 keV liegen und mit 24fach ionisiertem Eisen, dem schwersten natürlichen häufig vorkommenden Element aufhören. Darüber kannte man nur kontinuierliche Spektren. Eine Linie bei 55 keV müßte von 77fach ionisiertem Platin herrühren; derart schwere Elemente sind allerdings in der kosmischen Materie sehr selten.

Joachim Trümper hat daher vorgeschlagen, diese Linien als Zyklotronlinien zu interpretieren, die dadurch entstehen, daß Elektronen im starken Magnetfeld des Neutronsterns auf Kreisbahnen gezwungen werden, die der Planckschen Theorie entsprechend gequantelt sind. Die Situation entspricht damit jener der Elektronen in der Elektronenhülle eines Atoms, womit die Voraussetzungen für die Entstehung von Emissions- und Absorptionslinien nach dem Planckschen Mechanismus gegeben ist. Mit dieser Deutung war es erstmals gelungen, daraus die Magnetfeldstärke von Her X-1 zu berechnen. So müßte dieser Neutronstern mit einer Linie bei 55 keV (die 110

keV werden als Resonanzlinie interpretiert) eine Magnetfeldstärke von rund 5×10^{12} Gauss besitzen. Im Vergleich dazu: Das Magnetfeld der Erde beträgt nur Bruchteile eines einzigen Gauss. Damit hätte der Doppelstern das größte bisher im Kosmos gemessene Magnetfeld.

Mit NASA-Satelliten konnte inzwischen die Spektralstruktur von Her X-1 nicht nur bestätigt, sondern auch bei zwei weiteren Neutronensternen in ähnlicher Weise nachgewiesen werden. Sie sind mit 3,6 und 7,8 s gepulst und es ergibt sich eine Feldstärke von etwa 2×10^{12} Gauss. Zwar scheint die Deutung des deutschen Teams sehr wahrscheinlich, doch bedarf es weiterer Forschungen, um sie endgültig zu beweisen. Dazu wird man auch in Zukunft auf ballongetragene Röntgenteleskope zurückgreifen.

Ballonexperimente lassen sich vergleichsweise billig und schnell vorbereiten. Dauert die Projektplanung eines Satelliten viele Jahre mit Gesamtkosten von 300 Mio DM im Fall von ROSAT, so können Ballonflüge bei einem Kostenaufwand von $\frac{1}{2}$ Mio DM pro Start realisiert werden. Wie in anderen Fällen auch sind beide keine direkten Konkurrenten, sondern ergänzen sich gegenseitig.

Für wertvolle Hinweise aus erster Hand und Informationen über die praktische Arbeit im Gelände danke ich Herrn Dr. Helmut Steinle vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik.

Literaturnachweis:

M. Leventhal/C. J. MacCallum: Gamma Ray Astronomy. Scientific American, Juli 1980.

R. Staubert: Röntgenastronomie mit Ballonen und Satelliten. Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft. Nr. 54, 1981.

34. IAF-Kongreß in Budapest

Der 34. Kongreß der Internationalen Astronautischen Föderation wird vom 9.–15. Oktober 1983 in Budapest in Ungarn stattfinden. Das Leitthema ist „Cooperation in Space“ (Zusammenarbeit im Weltraum). Dieses Leitthema wurde in Weiterverfolgung des 33. Internationalen Astronautischen Kongresses 1982 in Paris gewählt, bei dem die Anforderungen an Weltraumsysteme des Jahres 2000 zur Debatte standen.

Unter dem Leitbegriff „Zusammenarbeit im Weltraum“ wird der 34. IAF-Kongreß sowohl die internationale Kooperation wie auch die Zusammenarbeit zwischen den Entwicklern technischen Raumfahrtgerätes und den praktischen Anwendern behandeln. Der Kongreß wird eine Gelegenheit bieten, jüngste Ergebnisse und zukünftige Planungen zu untersuchen, insbesondere, wie sich diese in den nächsten Jahren in ihrer praktischen Bedeutung auf die Menschheit auswirken werden. Im Vordergrund stehen hier operationelle und kommerziell nutzbare Systeme in den Bereichen Telekommunikation einschließlich Fernsehen, Erderkundung, Wettersatelliten, Materialbearbeitung und biologische Effekte bei Mikrogravitation. Der Kongreß, der von der Magyar Asztronautikai Egyesület (Ungarische Astronautische Gesellschaft) ausgerichtet wird, ist für alle Interessenten zur Teilnahme offen.

Die DGLR veranstaltet in Zusammenarbeit mit der American Express Company, Büro München, aus verschiedenen Abflugsorten der Bundesrepublik Gruppenreisen nach Budapest.

Bitte beachten Sie die Beilagen über diese günstige Gruppenreise und melden Sie sich möglichst umgehend an!