

Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundliches Weltbild

Jubiläums-Seminar aus Anlaß des fünfundzwanzigjährigen Bestehens himmelskundlicher Weiterbildungs - Seminare. Sie wurden vom Planetarium der Stadt Wien zusammen mit dem Österreichischen Astronomischen Verein abgehalten. Mit herzlichen Glückwünschen gratulierte dazu Univ.-Prof.Dr.Viktor K.Abalakin, Direktor der Zentralsternwarte Pulkovo bei St.Petersburg, in einem mit großem Beifall der Zuhörerschaft im Kuppelsaal bedachten Life-Telephongespräch!

Zur Geschichte himmelskundlicher Raumfahrt - Künstliche Erdmonde, Raumstation MIR - IRAS und ISO - COBE - ROSAT - HIPPARCOS - HUBBLE - SOHO - ULYSSES - GALILEO. In sich abgeschlossene Fortführung der Seminare gleichen Generalthemas 1995 und 1996.

- 1 - 2 **Titelseite, Inhaltsverzeichnis.** 25 Jahre Seminare zur himmelskundlichen Weiterbildung. Inhaltsverzeichnisse ab 1973 unter <http://members.ping.at/astbuero>
- 3 - 28 **Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt** (Manfred Veselsky, Wien).
- 29 - 44 **Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR** (Univ.-Prof.Dr.Viktor K.Abalakin, Direktor, Zentralsternwarte Pulkovo/St.Petersburg, Wolfgang Vollmann und Prof. Hermann Mucke, Wien).
Dazu Liste der Veröffentlichungen über astrophysikalische Beobachtungen und zugehörige Geräte auf MIR, mit kurzen Zusammenfassungen.- Dieser Beitrag von Prof.Dr.Abalakin - er konnte bedauerlicherweise nicht persönlich anwesend sein und begrüßte die Hörer telephonisch - konnte leider aus Platzgründen nicht wiedergegeben werden, aber eine autorisierte Kopie ist gegen Einsendung eines mit ATS 14.- freigemachten Umschlages für A4 unentgeltlich vom Astronomischen Büro, Hasenwartg.32, A-1238 Wien, erhältlich.
Ferner dazu Ausstellung eines MIR-Modells 1:25 von Josef Fahrleitner, Graz, mit Gästecomputer zur Ermittlung der Sichtbarkeit der Raumstation und Bilder.
- 45 - 56 **Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO** (Univ.-Prof.Dr.Ronald Weinberger, Institut für Astronomie der Universität Innsbruck).
- 57 - 62 **Der Satellit COBE - ein Überblick** (Silvia Haindl, Wien).
- 63 - 82 **Röntgenastronomie mit ROSAT** (Dr.Alexander Probst, Wien).
Dazu Kurzausstellung in der Planetariumsvorhalle aus den ROSAT-Kalendern.
- 83 - 106 **Astrometrie mit HIPPARCOS** (Prof. Hermann Mucke, Wien).
- 107-118 **Astronomie mit dem HUBBLE SPACE TELESCOPE** (Dipl.Ing.Dr.Robert Weber und Dipl.Ing.Gudrun Weinwurm, Institut f.Theoretische Geodäsie und Geophysik, Abteilung Theoretische Geodäsie, Technische Universität Wien).
Dazu Ausstellung „Sternwarte im All“ mit HST-Modell 1:10 und Startkomplex mit SPACE SHUTTLE 1:72 von Josef Fahrleitner, Graz, einem interaktiven Atmosphären-Experiment und zahlreichen Bildern.
- 119-140 **Sonnenforschung mit SOHO** (Karl Glaser, Wien).
- 141-154 **Die Mission ULYSSES** (Silvia Haindl, Wien).
- 155-178 **Mit GALILEO zum Jupiter** (Wolfgang Vollmann, Wien).

Seminarleiter: Prof.Hermann Mucke, Planetarium und Uraniasternwarte / Astron.Büro, Wien.

Das Seminar wurde an fünf Abenden im Frühling 1998 im Planetarium der Stadt Wien als Gemeinschaftsveranstaltung von diesem und dem Österreichischen Astronomischen Verein durchgeführt.

Als Fortführung der zwei Seminare 1995 und 1996 „Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundliches Weltbild“ wurden weitere Beiträge geboten.

SEMINARPAPIERE

Die Dokumentation der Seminare 1973 bis 1998 wurde vom Österreichischen Astronomischen Verein herausgegeben und umfaßt 3044 Seiten DIN A4. Ihre Erstellung hat sich dank des Computer-Einsatzes vereinfachen und beschleunigen lassen. Ab Ausgabe 1986 und in Resten ab 1979 einschließlich sind sie noch lieferbar. Bestellungen nimmt das Astronomische Büro, Hasenwartgasse 32, 1238 Wien. Tel.+ Fax 00431 - 889 35 41, e-mail astbuero@astronomisches-buero-wien.or.at entgegen. Die Titel aller Beiträge stehen in der Homepage des Astronomischen Büros: <http://members.ping.at/astbuero/>. Generalthemen:

1973	Astronomische Koordinatensysteme, 58	1988	Die Galaxien, 223 (Hausrekord)
1974	Gebrauch astronomischer Jahrbücher, 81	1989	Planet Erde, 211
1975	Himmelskarten und ihr Gebrauch, 97	1990	Die Milchstraße, 188
1976	Fernrohre und ihr Gebrauch, 115	1991	Die Sonnenuhren (in Urania), 100
1977	Astronomische Phänomenologie, 106	1992	Moderne Astronomische Phänomenologie, 137; dessen Fortsetzung,
1978	Amateurastronomie, Theorie/Praxis, 108	1993	Astron. Phänomenologie, 105
1979	Astronomische Finsternisse, 104	1994	Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundl. Weltbild, 144
1980	Die Kometen, 111	1995	Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundl. Weltbild, 70
1981	Der Mond, 147	1996	Angewandte Astronomische Phänomenologie, 90
1982	Die Kleinplaneten, 164	1997	Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundl. Weltbild, ~93
1983	Die Doppelsterne, 163		
1984	Die Sonne, 199		
1985	Himmelskunde und Kleinrechner, 167		
1986	Die Meteore, 127		
1987	Die Veränderlichen, 172		

Die Zahlen hinter den Generalthemen geben die im Durchschnitt pro Abend *tatsächlich anwesenden* Teilnehmer an. Die Papiere waren jeweils für den Abend vor dessen Beginn gegen Vorweis der Kurskarte und persönlicher Teilnahme unentgeltlich zu beheben.

SEMINAR-PRAXIS

Diese Kurse für Fortgeschrittene erforderten einschlägige Grundkenntnisse, aber es wurde darauf geachtet, daß den Darlegungen doch leicht zu folgen war. Außer Dia- und Folienprojektion wurden auch Planetariums-Demonstrationen, Fernsehfilme, Ergänzung durch Computereinsatz (Uraniastar und Internet) in Großprojektion oder zum Thema passende Kurzausstellungen geboten. Auch Life-Telephongespräche mit Fachleuten gab es.

Jeder Abend wurde durch eine Pause unterbrochen, in der Getränkeautomaten zur Verfügung standen und Literatur zur Einsicht ausgelegt wurde. Die Vortragenden, die dank der Seminarpapier-Forderung immer gut vorbereitet waren, waren dann kurz zu sprechen.

Immer konnten die Hörer aufmerksam den Vorträgen folgen, denn die „Seminarpapiere“ enthoben Sie der Mühe des - im dunklen Kuppelsaal ohnehin nicht möglichen - Mitschreibens. Die Veranstalter bemühten sich, jeden Abend wirklich so ergiebig und interessant als nur möglich zu gestalten. Das war wohl mit ein Grund für den ausgezeichneten Besuch.

Res severa est verum gaudium

Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

INHALT

	Fortsetzung
Von den ersten Schritten zur anspruchsvollen Nutzung	1
Unbemannte Mondsonden	3
Sonden zu Merkur und Venus	7
Sonden zum Mars	8
Sonden zu Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun	10
Sonnen- und interplanetare Raumsonden	11
Sonden zu Kometen	12
Bemannte Raumflüge	13
Radioastronomie im Weltraum	19
Infrarot und Submillimeter-Astronomie	20
Ultraviolett und extreme Ultraviolett-Astronomie	21
Röntgen-Astronomie	22
Gamma-Astronomie	23
Literatur	25

Das Thema ist ebenso spannend wie umfangreich. Diese kleine Auflistung kann sich deshalb nur auf einige Schwerpunkte konzentrieren. Trotzdem stand das Bemühen im Vordergrund, die wesentlichsten Missionen zu erfassen und deutlich zu machen, wie außerordentlich viel hier geschehen ist.

Wir stehen an der Schwelle zum Weltraum. Doch die Sehnsucht, diese Schwelle zu überschreiten, empfanden bereits unsere in geschichtsloser Vergangenheit lebenden Urahnen, die fragend zu den Gestirnen blickten.

Wann also begann es ? Mit der Lösung praktischer Probleme, wie Zeit- und Kalenderrechnung, der Navigation? Diente doch die Astronomie z. B. der Mesopotamier, Ägypter, aber auch der alten mexikanischen Kulturen vorwiegend praktischen Zwecken. Dies änderte sich in der griechischen Wissenschaft. Das Bestreben klang durch, die Erscheinungen des Weltalls in allgemeinen Gesetzen auszudrücken.

Diese Sehnsucht war Jahrtausende auf Beobachtung beschränkt. Daß der Mensch sichere Küstengewässer verließ, später Ozeane überquerte, zeigt dieses in die Menschheitswiege mitgegebene Streben.

In der Literatur gibt es dafür zahlreiche Beispiele. Bereits 160 v Chr. beschreibt Lukian von Samosate die erste Weltraumreise: „Vera Historia“.

Johannes Kepler (1571-1630), beschreibt die physikalischen Bedingungen eines Raumfluges und der Mondwelt in märchenhafter Form im "Traum vom Mond" (Somnium seu Opus Posthumum de Astronomia Lunari). Nach Keplers Tod von seinem Sohn Ludwig 1634 herausgegeben.

Jules Verne (1828-1905). Begründer des modernen utopisch-technischen Abenteuer- und Entdeckerromanes. In seinem berühmten Werk von der Reise zum Mond wird zum ersten Mal die Möglichkeit einer Weltraumreise als Geschwindigkeitsproblem dargestellt. Seine Schilderungen haben die technische Entwicklung in vielem angeregt und vorweggenommen.

1. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Erst die Raketentechnik ermöglichte es der Menschheit, diesem Ziel, nämlich die „Küstengewässer“ der Erde zu verlassen, näher zu kommen. Dazu seien nur einige Pioniere genannt, durch deren außerordentliche Leistungen die Entwicklung speziell in den letzten Jahrzehnten rasant beschleunigt wurde.

Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski (1857-1935). Russischer Lehrer, beschäftigte sich eingehend mit physikalischen Fragen und veröffentlichte 1895 eine Schrift über die Raumfahrt. Schlug als einer der Ersten das Stufenprinzip und flüssige Treibstoffe für Raketenmotoren vor. Baute 1891 für seine Versuche einen Windkanal und veröffentlichte 1903: "Die Erforschung der Weltenräume durch Reaktionsapparate".

Robert Goddard (1882-1945). Amerikanischer Physiker. Erzielte 1935 mit einer Flüssigkeitsrakete eine Höhe von 2300 m. Goddard fand unabhängig von Oberth und Ziolkowski das Stufenprinzip für Raketen.

Hermann Oberth (1894-1989). Nach dem Studium der Medizin, Mathematik und Physik als Lehrer tätig, später Raketeningenieur. 1923 erschien jenes berühmte Buch, welches die Grundlage der modernen Raketenforschung werden sollte: "Die Rakete zu den Planetenräumen". In diesem Werk werden erstmalig die Probleme der Raumfahrt exakt mathematisch analysiert. Auch wird darauf hingewiesen, daß Raketen mit flüssigen Treibstoffen weit leistungsfähiger seien als Pulverraketen.

Sergej Pawlowitsch Koroljow (Korolev) (1906-1966). Führender Raketenkonstrukteur der Sowjetunion, maßgeblich an der Raumfahrtentwicklung beteiligt, konstruierte seit 1933 Interkontinental- und Trägerraketen, Satelliten (z.B. Sputnik 1 und 2), Raumfahrzeuge für bemannte Weltraumflüge (Wostok, Woschod, Sojus) und Raumsonden (Luna 1 bis 8, Venus 1-3, Mars 1).

Wernher von Braun (1912-1977). Maßgeblich an der Entwicklung der A4 (V2), einer Flüssigkeitsgroßrakete, beteiligt. Sie wurde mit Alkohol und flüssigem Sauerstoff betrieben, war 14m lang und hatte eine Reichweite von ca. 350 km. Ihre Höchstgeschwindigkeit betrug ca. 6000 km/h, womit erstmals die Schallgeschwindigkeit (1200 km/h) überschritten wurde. Diese Entwicklung wurde nach dem 2. Weltkrieg fortgesetzt, die V2 diente als Forschungsinstrument.

Von den ersten Schritten zur anspruchsvollen Nutzung

(Siehe weiter die Einzelkapitel)

Start	Staat	Aufgabe
04.10.57	USSR	SPUTNIK 1 Erster künstlicher Erdsatellit, Durchmesser 58 cm, Gewicht 83.60 kg. Flugbahn zwischen 228 und 947 km. Dichte und Temperatur der Hochatmosphäre.
03.11.57	USSR	SPUTNIK 2 Hatte bereits ein Gewicht von 508 kg. Trug das erste Lebewesen (Polarhündin Laika) in den Weltraum, UV und Röntgenstrahlung der Sonne. Erste Übermittlung biologischer Meßwerte aus einer Erdumlaufbahn.
01.02.58	USA	EXPLORER 1 Erster US-Satellit; Temperatur, Strahlung und Meteoriten, Entdeckung der Van-Allen-Strahlungsgürtel.
17.03.58	USA	VANGUARD 1 Erster Satellit mit Solarzellen zur Energieversorgung, Gewicht 1.5 kg. Atmosphärische Dichte, Temperatur, Erdgestalt.

2. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
15.05.58	SPUTNIK 3	USSR	Gewicht 1327 kg. Erste Übermittlung umfangreicher geophysikalischer Meßwerte aus dem Weltraum. Magnetfeld, Strahlung, Mikrometeoriten.
17.02.59	VANGUARD 2	USA	Wolkenbild-Überwachungsversuche.
19.08.60	SPUTNIK 5	USSR	Erste Bergung von Lebewesen nach einem Raumflug, (Hündinnen Strelka und Belka).
31.01.61	SAMOS 2	USA	Mikrometeoritenhäufigkeit
16.03.62	KOSMOS 1	USSR	Beginn einer Forschungssatelliten-Serie.
29.09.62	ALOUETTE 1	KANADA/USA	Ionosphäre
30.01.64	ELEKTRON 1+2	USSR	Erster Doppelstart von Forschungssatelliten; innerer bzw. äußerer Van Allenscher Strahlungsgürtel.
04.09.64	OGO 1	USA	Erster geophysikalischer Forschungssatellit.
15.12.64	SAN MARCO	ITALIEN/USA	Atmosphärische Dichte
16.02.65	PEGASUS 1	USA	Mikrometeoritensatellit
16.07.65	PROTON 1	USSR	Kosmische Strahlung
26.11.65	A-1, ASTERIX	FRANKREICH	Erster Französischer Satellit.
17.12.65	KOSMOS 100	USSR	
08.04.66	OA0 1	USA	Erster von 3 Satelliten für UV- und Röntgenastronomie.
07.09.67	BIOSATELLIT 2	USA	Biologische Kapsel zurückgewonnen.
03.10.68	AURORA	ESRO/USA	Ionosphäre und Polarlicht.
05.12.68	HEOS 1	ESRO/USA	Magnetosphäre
14.10.69	INTERKOSMOS 1	USSR	UV- und Röntgenstrahlung der Sonne, deren Einflüsse auf Hochatmosphäre, ostdeutsche und tschechische Experimente.
08.11.69	AZUR 1	BRD/USA	Erster deutscher Satellit, Strahlungsgürtel, solare Partikel, Polarlicht.
11.02.70	OSUMI	JAPAN	Erster von Japan gestarteter Testsatellit.
24.04.70	CHINA 1	CHINA	Erster von Rotchina gestarteter Test- (und Propaganda-) Satellit.
14.04.72	PROGNOS 1	USSR	Sonnenphysik, solare Auswirkungen auf Ionosphäre
10.07.72	KOSMOS 500	USSR	Hochatmosphäre der Erde.
16.12.72	AEROS 1	BRD	Hochatmosphäre, UV-Strahlung.

3. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
30.08.74	ANS	NL/USA	Erster Niederländischer Satellit, Astronomie.
15.11.74	INTASAT	SPANIEN/USA	Erster Spanischer Satellit.
09.08.75	COS-B	ESA/USA	Stellare Röntgen- und Gammastrahlung.
04.05.76	LAGEOS 1	USA	Geodätischer Satellit mit Laserstrahlen-Meßgerät.
20.04.77	GEOS 1	ESA/USA	Europäischer geophysikalischer Satellit.
12.08.77	HEAO 1	USA	Hochenergiestrahlung
22.10.77	ISEE 2	ESA/USA	Europäischer Sonne-Erde-Forschungssatellit, mit ISEE 1 (USA) gestartet.
26.01.78	IUE 1	ESA/USA	Umfangreiche Ultraviolettastronomie.
04.02.78	KYOKKO	JAPAN	Polarlicht
16.02.78	UME 2 (ISS 2)	JAPAN	Ionosphäre
26.04.78	HCMM	USA	Temperatur der hohen Atmosphäre.
14.07.78	GEOS 2	ESA/USA	Magnetosphäre
12.08.78	ISEE 3	USA	Sonnenwind
13.11.78	HEAO 2	USA	Hochenergieastronomie
17.03.88	IRAS-A	INDIEN	Mit Wostok Rakete transportieren die Sowjets die IRAS-A ins All, 1. bezahlter Transport.
19.09.88	OFFEQ	ISRAEL	Mit eigener "Shavit" Trägerrakete startet der erste israelische Satellit.
09.08.89	HIPPARCOS	ESA	Mit Ariane 4, Trägerrakete in den Weltraum. Hipparcos mißt mit bisher höchster Genauigkeit, Ort, Entfernung, Eigenbewegung und Helligkeit von ca. 118 000 Sternen (und weitere 1 Million Sterne mit geringerer Genauigkeit).

Unbemannte Mondsonden

Start		Staat	Aufgabe
11.10.58	PIONIER 1	USA	Erreichte mit 113 784 km Erdbstand ungef. 1/3 der Mondentfernung, 43 Stunden lang Daten aus dem erdnahen Raum, insbesondere über Strahlungsgürtel.

4. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
06.12.58	USA	PIONIER 3 Erreichte nur 102 300 km Erdbstand, entspricht etwa 27% der Mondentfernung, Daten über Strahlung aus erdnahem Raum, entdeckte im Raum Strahlungsbereiche.
02.01.59	USSR	LUNIK 1 Flog in 5600 km Entfernung am Mond vorbei, erreicht als erster Raumflugkörper die Fluchtgeschwindigkeit, in Sonnenumlaufbahn.
03.03.59	USA	PIONIER 4 Flog in 60 000 km Entfernung am Mond vorbei, in Sonnenumlaufbahn.
12.09.59	USSR	LUNIK 2 Schlug nach 34 Stunden Flugzeit auf Mondoberfläche auf.
04.10.59	USSR	LUNIK 3 Erste Aufnahmen der Mondrückseite aus 6300 km Abstand, danach in Erdumlaufbahn bis April 1960, dann Wiedereintritt in Erdatmosphäre.
23.04.62	USA	RANGER 4 Mondaufschlag, jedoch keine Daten bei Anflug übermittelt.
30.01.64	USA	RANGER 6 Schlug auf Mond auf, keine Fernsehbilder, da Übertragung versagte.
28.07.64	USA	RANGER 7 Mondaufschlag, übertrug seinen Aufschlagenflug (Mare Nubium) auf Mond während der letzten 15 Minuten / 4308 Bilder.
17.02.65	USA	RANGER 8 Mondaufschlag, übertrug beim Aufschlagenflug (Mare Tranquillitatis) auf Mond 73 137 Bilder der Mondoberfläche.
21.03.65	USA	RANGER 9 Mondaufschlag in Krater Alphonsus, übertrug während Aufschlagenflug 5814 Bilder der Mondoberfläche.
09.05.65	USSR	LUNA 5 Schlug hart auf Mond auf, erster mißlungener Versuch weicher Landung.
08.06.65	USSR	LUNA 6 Verfehlte Mond um 160 000 km, in Sonnenumlaufbahn.
04.10.65	USSR	LUNA 7 Schlug wegen Frühzündung der Bremsraketen hart auf Mond auf.
03.12.65	USSR	LUNA 8 Schlug wegen Spätzündung der Bremsraketen hart auf Mond auf.
31.01.66	USSR	LUNA 9 Erste weiche Mondlandung, im Oceanus Procellarum (64° W / 7° N), Panoramabilder vom Mond nach Landung für 3 Tage.
31.03.66	USSR	LUNA 10 In Mondumlaufbahn, zahlreiche Daten über Mond und aus Mondumlaufbahn
30.05.66	USA	SURVEYOR 1 Weiche Mondlandung (nahe Krater Flamsteed) übermittelte im Zeitraum von 2 ½ Monaten 12 150 Aufnahmen von der Mondoberfläche.
01.07.66	USA	EXPLORER 33 (=IMP D) Überschußgeschwindigkeit verhinderte Einschuß in Mondumlaufbahn und machte Sonde zu Erdsatellit, in Erdumlaufbahn.
10.08.66	USA	LUNAR ORBITER 1 Fotografierte aus Mondumlaufbahn, Absturz auf Mond am 29.10.66.
24.08.66	USSR	LUNA 11 Daten aus Mondumlaufbahn.

5. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
20.09.66	USA	SURVEYOR 2 Schlug wegen Versagens der Bremsraketen hart auf Mond südöstlich Krater Kopernikus auf.
22.10.66	USSR	LUNA 12 Übermittelte Daten und Bilder aus Mondumlaufbahn.
06.11.66	USA	LUNAR ORBITER 2 Erreichte Mondumlaufbahn, übermittelte 205 Aufnahmen der Mondoberfläche, schlug am 11.10.67 auf Mond auf.
21.12.66	USSR	LUNA 13 Übermittlung von Bildern und Meßdaten über Bodenbeschaffenheit vom Mond.
04.02.67	USA	LUNAR ORBITER 3 Übertrug 182 Bilder der Mondoberfläche, schlug am 09.10.67 auf Mond auf.
17.04.67	USA	SURVEYOR 3 Bildübertragung und Bodenanalysen des Mondes. Mechanische Schaufel.
04.05.67	USA	LUNAR ORBITER 4 Übertrug aus Mondumlaufbahn 163 Bilder, Absturz auf Mond am 06.10.67.
14.07.67	USA	SURVEYOR 4 Harter Mondaufschlag am 16.07.67 wegen Funkabbruch 2,5min vor Landung.
19.07.67	USA	EXPLORER 35 (IMP E) Magnetschweif der Erde alle 29.5 Tage aus Mondumlaufbahn gemessen.
01.08.67	USA	LUNAR ORBITER 5 Erreichte geplante Bahn und übertrug Mondfotos, Absturz auf Mondoberfläche am 31.01.68, -letzte Lunar-Orbiter-Mission.
08.09.67	USA	SURVEYOR 5 Weiche Mondlandung, übertrug 19 000 Fotos von Mondoberfläche und Daten über chemische Zusammensetzung der Mondmaterie.
07.11.67	USA	SURVEYOR 6 Weiche Mondlandung, Bilder und Daten übertragen, erste Standortversetzung auf Mond mittels Raketenantriebs.
07.01.68	USA	SURVEYOR 7 Weiche Mondlandung, Bilder- und Datenübertragung.
07.04.68	USSR	LUNA 14 In Mondumlaufbahn, untersuchte Schwerefeld des Mondes und Massenverhältnis von Erde und Mond
15.09.69	USSR	SONDE 5 Umfliegung des Mondes mit Annäherung bis auf 1950 km, Bilder der Erde aus 90 000 km Entfernung, Rückkehr zur Erde und Bergung aus Indischem Ozean am 21.09.68.
10.11.68	USSR	SONDE 6 Zweite unbemannte Mondumfliegung mit Rückkehr zur Erde, Landung in der USSR, Filmaufnahmen der Mondrückseite aus 2420 km Abstand.
13.07.69	USSR	LUNA 15 Umflog Mond 52mal, Bahn zweimal durch Antrieb verändert, am 21.07.69 auf Mondoberfläche zum Absturz gebracht.
08.08.69	USSR	SONDE 7 Dritte unbemannte Mondumfliegung und Rückkehr zur Erde, Aufnahmen der Mondrückseite aus 2000 km Abstand, Farbfotos von Mond und Erde, Bergung nach Landung in der USSR.
12.09.70	USSR	LUNA 16 Weiche Mondlandung am 20.09.70 im Mare Serenitatis, 1. automatische Pro-entnahme von Mondmaterie aus 35 cm Tiefe. Rückkehr zur Erde und Bergung.

6. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
20.10.70	USSR	SONDE 8 Weitere Mondaufnahmen, Bergung nach Rückkehr zur Erde im Indischen Ozean.
10.11.70	USSR	LUNA 17 Weiche Mondlandung am 17.11.70, erstes automatisches Mondfahrzeug für Mondoberfläche, Mondfahrzeug LUNOCHOD 1 arbeitete 11 Monate, über 200 Mondpanoramen und 20 000 Einzelbilder sowie Bodenuntersuchungen von 500 Punkten übertragen. Fahrstrecke 10.5 km.
04.08.71	USA	P&F SATELLIT (Apollo 15) In Mondumlaufbahn, erster aus bemanntem Raumfahrzeug (Apollo 15) gestarteter Satellit.
02.09.71	USSR	LUNA 18 Mondumlaufbahn, 54 Umläufe, dann Aufprall bei versuchter weicher Landung.
28.09.91	USSR	LUNA 19 Mondumlaufbahn, Fotografie der Mondoberfläche, Gravitationsfeld-Untersuchungen usw.
14.02.72	USSR	LUNA 20 Weiche Mondlandung, Bild- und Datenübertragungen, Entnahme von Bodenproben aus bergigem Gelände, Rückkehr zur Erde und Bergung.
16.04.72	USA	P&P-SATELLIT (Apollo 16) Zweiter in Mondumlaufbahn von bemanntem Fahrzeug (Apollo 16) ausgestoßener Mondsatellit, Daten über Mond und Mondbahn.
08.01.73	USSR	LUNA 21 Weich auf Mond gelandet am 16.01.73, Mondfahrzeug LUNOCHOD 2 abgesetzt, 86 Panoramabilder, 80 000 Einzelaufnahmen und weitere Daten. Fahrstrecke 37 km.
10.06.73	USA	EXPLORER 49 In Mondumlaufbahn, dort Registrierung galaktischer und solarer Radiostrahlung
29.05.74	USSR	LUNA 22 Erreichte am 02.06.74 Mondumlaufbahn, zahlreiche Fotos und Daten vom Mond, mehrfache Bahnänderung.
28.10.74	USSR	LUNA 23 Erreichte Mondumlaufbahn am 02.11.74, Landung am 06.11.74, Bodenprobenentnahme mißlang.
09.08.76	USSR	LUNA 24 Erreichte Mondumlaufbahn am 14.08.76, Landung am 17.08.76, Bodenprobenentnahme bis aus 2 m Tiefe mit automatischem Bohrergerät, Rückkehr zur Erde.
24.01.90	JAPAN	HITON Die Sonde erreicht Mondumlaufbahn. Von der Sonde trennt sich eine 11 kg schwere Teilsonde (Hagoroma / 03.08.90) und beginnt sich in der Mondumlaufbahn zu bewegen (Kontakt wurde jedoch unterbrochen). Fällt nach 3 jähriger Funktion auf den Mond (10.04.93).
25.01.94	USA	CLEMENTINE-1 Nach 22 Jahren Pause wieder US-Sonde zum Mond, zwischen 26.02.-03.05. 2 Millionen Fotos, auch Schwere- und Höhenmessungen. Weiterflug zum Kleinplaneten (1620) Geographos schlug fehl.
06.01.98	USA	LUNAR PROSPECTOR 295 kg schwer; Spektrometer, Magnetometer, Gravimeter. Erfassung, Art und Verteilung der chemischen Elemente auf dem Mond, besonders jener für be-

7. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
		LUNAR PROSPECTOR - Fortsetzung mannte Stationen auf dem Mond wichtige. Sehr gering im Regolith polnaher Gebiete verteiltes Wassereis nachgewiesen. Messung des Schwere- und Magnetfeld des Mondes. Vorerst ein Jahr Beobachtung aus 100 km, später vielleicht mehrere Monate aus 10 km Höhe.

Sonden zu Merkur und Venus:

Start	Staat	Aufgabe
12.02.61	USSR	VENUS 1 (von Sputnik 8) Kommunikationsabbruch in 7.56 Millionen km Erdbstand, ergebnisloser Vorbeiflug an Venus in 100 000 km Entfernung, erster sowjetischer interplanetarer Flug.
27.08.62	USA	MARINER 2 Passierte Venus in 34 830 km Abstand am 14.12.62, lieferte Daten aus 34 745 km Venus-Abstand.
02.04.64	USSR	SONDE 1 Passierte Venus nach Funkausfall in 100 000 km Entfernung, keine Daten, in Sonnenumlaufbahn.
12.11.65	USSR	VENUS 2 Flog in 23 810 km Abstand am 27.02.66 an Venus vorbei, wegen Funkausfall keine Venusdaten.
16.11.65	USSR	VENUS 3 Schlug am 01.03.66 auf Venus auf, wegen Funkausfall keine Venusdaten.
12.06.67	USSR	VENUS 4 Erste Erforschung der Venusatmosphäre am 18.10.67 bis 26 km über Venusoberfläche.
14.06.67	USA	MARINER 5 Passierte Venus in 3968 km Entfernung am 19.10.69 und übermittelte Daten zu Magnetfeld, Druck, Temperatur.
05.01.69	USSR	VENUS 5 Übermittelte während Abstieg in Atmosphäre am 16.06.69 Daten: In 25 km Höhe 320° C und 27 atm.
10.01.69	USSR	VENUS 6 Übermittelte am 17.05.69 während Abstieg in Atmosphäre und bei Aufschlag 51 Minuten lang Daten.
17.08.69	USSR	VENUS 7 Erste weiche Landung auf Venus. Übermittelte für 23 Minuten nach Landung
am		15.12.70 Daten: An der Oberfläche 475°C und 90 atm.
27.03.72	USSR	VENUS 8 Landete auf Venus am 22.07.72 und übermittelte 50 Minuten lang Daten von der Atmosphäre und der Oberfläche.
03.11.73	USA	MARINER 10 Vorbeiflug am 05.02.74 in 5760 km Abstand, 6800 Bilder von Venus mit Atmosphären-Spiralstruktur (erste Sondaufnahmen des Planeten) und zahlreiche physikalische Daten. Kein Magnetfeld.

8. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
		MARINER 10 - Fortsetzung Anschließend an die Venusdaten von Mariner 10: Weiterflug zum Merkur, Vorbeiflug am 29.03.74 in 750 km Abstand, 2300 Bilder. Weitere Vorbeiflüge 21.09.74, 16.03.75 und 08.09.75, Mindestdistanz 1000 km, 40% Oberfläche erfaßt.
08.06.75	USSR	VENUS 9 Venussatellit und Landegerät, Lander übermittelte am 22.10.75 erste Bilder von der Venusoberfläche 53 Minuten lang. Weiters Daten zur Oberflächensituation.
14.06.75	USSR	VENUS 10 Venussatellit und Landegerät, Lander übertrug am 25.10.75 für 65 Minuten nach Landung Aufnahmen der Venusoberfläche und Daten.
20.05.78	USA	PIONIER-VENUS 1 Venussatellit zur Messung der Atmosphäre und Topografie (Radar), Sonnenwind usw. Eintritt in Umlaufbahn 04.12.78.
08.08.78	USA	PIONIER-VENUS 2 Vier Kapseln am 09.12.78 gelandet: Daten über Dichte, Temperatur und Chemie der Atmosphäre, Temperatur und Druck auf der Oberfläche usw.
09.09.78	USSR	VENUS 11 Orbiter und Landekapsel, gelandet 21.12.78.
14.09.78	USSR	VENUS 12 Wie Venus 11, gelandet 25.12.78.
30.10.81	USSR	VENUS 13 Im Anflug und in Venusnähe Magnetfeld und Teilchen mit österreichischen Meßgeräten erfaßt. Erstmals Farbfotos; Bodenanalyse mit Schaufel, Spektrometer und Versuchskameras am 01.03.82.
04.11.81	USSR	VENUS 14 Wie Venus 13, Gamma-Ausbruch Experiment, Landung am 05.03.82.
20.06.83	USSR	VENUS 15 Polarer Venus-Satellit. Beginn von ausführlichen Radarkartenaufnahmen der nördlichen Venushalbkugel. Eintritt in Umlaufbahn 10.10.83.
15.06.84	USSR	VEGA-1 Landeeinheit von Vega-1 landet auf Venus am 11.06.85. Beim Durchdringen der Venusatmosphäre setzt die Landeeinheit von Vega einen Instrumentalen Forschungsballon frei. Vega-Hauptteil fliegt zum Komet Halley weiter.
21.12.84	USSR	VEGA-2 Alles wie Vega-1, Landeeinheit landet auf Venus am 15.06.85.
04.05.89	USA	MAGELLAN Erstmaliger Start einer Sonde von einem Space-Shuttle (Atlantis, STS-30), 10.08.90 - Sonde wird in Venuslaufbahn gebracht, macht von der Venusoberfläche genauere Radarkartenaufnahmen, Dauer: 4 Jahre.

Sonden zum Mars

Start	Staat	Aufgabe
28.11.64	USA	MARINER 4 Erster erfolgreicher Vorbeiflug am Mars am 15.07.65 in 9844 km Entfernung, erste Nahaufnahmen (21 Bilder mit Kraterformen) sowie Daten vom Mars, jetzt in Sonnenumlaufbahn, Funkverbindung bis 20.12.67 (!).

9. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
30.11.64	USSR	SONDE 2 Passierte Mars in 1600 km Abstand, jedoch keine Funkverbindung und daher keine Daten, jetzt in Sonnenumlaufbahn.
18.07.65	USSR	SONDE 3 Techn. Test für Marsflug, übermittelte während des Vorbeifluges am Mond Bilder der Mondrückseite, ging in Sonnenumlaufbahn.
24.02.69	USA	MARINER 6 Vorbeiflug am 31.07.69 in 3411 km Entfernung, übermittelte 75 Fernsehbilder des Mars, insbesondere der Äquatorgegend und andere Daten.
27.03.69	USA	MARINER 7 Vorbeiflug am 05.08.69 in 3524 km Abstand, übermittelte 126 Fernsehbilder des Mars, darunter 33 der Südpolarregion und andere Daten.
19.05.71	USSR	MARS 2 Übermittelte Daten aus Umlaufbahn des Mars, Landekörper stürzte bei Landeversuch am 27.11.71 ab.
28.05.71	USSR	MARS 3 1. weiche Landung auf dem Mars, am 02.12.71. Übermittelte Daten aus Umlaufbahn, Landegerät setzte auf, aber Bildübertragung vom Boden fiel nach 20 Sek. aus.
30.05.71	USA	MARINER 9 1. Mars-Satellit, gelangte in geplante Marsumlaufbahn am 14.11.71, übermittelte zahlreiche physikalische Daten und über 7000 Aufnahmen der Marsoberfläche.
21.07.73	USSR	MARS 4 Einschuß in Marsumlaufbahn mißlang, Sonde flog in 2200 km Abstand am Mars vorbei, einige Vorbeiflug-Bilder und Daten, keine Landung.
25.07.73	USSR	MARS 5 Für einige Tage, ab 12.02.74, gute Bilder aus Marsumlaufbahn, Untersuchung der Atmosphäre.
05.08.73	USSR	MARS 6 Daten aus Marsatmosphäre während Durchfliegung, Absturz bei Landung.
09.08.73	USSR	MARS 7 Vorbeiflug in 1300 km Abstand, keine Landebremmung, keine Daten.
20.08.75	USA	VIKING 1 Erfolgreiche Satelliten-Mission um den Mars und erste erfolgreiche Landung am 20.07.76 (48° W / 22° N) mehrere tausend Bilder und tausende von Daten aus der Mars-Umlaufbahn und von der Marsoberfläche sowie automatische Bodenproben-Untersuchungen.
09.09.75	USA	VIKING 2 Erfolgreiche Satelliten-Mission und Landung am 07.08.76 (226° W / 48° N), wie bei Viking 1 tausende verschiedener Meßdaten und Fotos sowie automatische Bodenproben-Untersuchungen.
07.07.88	USSR	PHOBOS 1 Mars-Orbiter und Landekapsel auf Marsmond Phobos. Fehlschlag durch Orientierungsverlust.
12.07.88	USSR	PHOBOS 2 Wie Phobos 1, gelangte in Umlaufbahn um Mars und maß dort 1989 mit österreichischen Meßgeräten erstmals das Mars-Magnetfeld. Bilder von Phobos, Landung auf ihn mißlang.
25.09.92	USA	MARS OBSERVER 3 Tage vor Erreichen der Marsumlaufbahn bleibt der Radiokontakt aus.

10. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
07.11.96	USA	MARS GLOBAL SURVEYOR Marssatellit im Umlauf um Mars seit 11.09.97. Seit Frühling 1998 genaue Mars-Kartographie. Auch Atmosphäre und Magnetfeld erforscht.
04.12.96	USA	PATHFINDER Landesonde mit Kleinfahrzeug SOJOURNER, gelandet am 04.07.97 (34° W / 19° N) Zahllose Panorama- und Spezialbilder sowie Atmosphären- und Bodenuntersuchungen mit Röntgen-Rückstrahlergerät (von Österreichern entwickelt)

Sonden zu Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun:

Start	Staat	Aufgabe
03.03.72	USA	PIONIER 10 Flog in 130 000 km Abstand am 04.12.73 an Jupiter vorbei, übermittelte rund 3000 Bilder und Daten über Magnetfeld und Partikelstrahlung, u.a. Entdeckung der Strahlungsgürtel Jupiters. Kreuzte 1976 die Saturn-, 1979 die Uranus-, 1983 die Neptun- und 1987 die Plutobahn; verließ das Sonnensystem als erster von Menschenhand geschaffener Flugkörper in Richtung Sternbild Stier. Plakette mit kodierter Information über Erde und Menschen.
05.04.73	USA	PIONIER 11 Flog in 42 000 km Abstand am 03.12.74 an Jupiter vorbei; mehrere tausend Bilder, Daten über Jupiter, seine Strahlungsgürtel, Magnetfeld, Atmosphäre, Großen Roten Fleck. Erstmals Polarregionen Jupiters beobachtet und auch die "Swing-by" Technik erprobt, um zu Saturn zu gelangen. Als erste Sonde zum Saturn passierte sie ihn am 01.09.79 im Abstand von 21 000 km. 440 Bilder vom Planeten, Ringsystem und Titan. Auch Daten über die physikalischen Verhältnisse nahe Saturn wurden gesammelt und eine Plakette wie auf Pionier 10 mitgeführt. Nach dem Kreuzen der Plutobahn 1988 verließ die Sonde das Sonnensystem.
20.08.77	USA	VOYAGER 2 Vorbeiflug am Jupiter in 650 000 km Entfernung am 09.07.79, Übertrug rund 15 000 Bilder der Atmosphäre und der Monde; Vulkanismus auf Io entdeckt. Daten der physikalischen Zustände in Jupiternähe. Weiterflug zum Saturn, den die Sonde am 25.08.81 in einem Abstand von 101 000 km passierte. Etwa 18 500 Bilder und Daten über die physikalischen Zustände in der Nähe des Saturn, über die Komplexheit des Ringsystems und das Mondsystem. Weiterflug zum Uranus, Vorbeiflug in 107 000 km Abstand am 24.01.86. Bilder der Atmosphäre und der Ringe, der Monde sowie Neuentdeckung von Monden. Weiterflug zum Neptun, Vorbeiflug am 24.08.89 im Abstand von 4800 km. Bilder der Atmosphäre, der Monde; Ringsystem (als Ringteile) bestätigt. Neue Monde entdeckt. Daten zu den physikalischen Zuständen in Neptunnähe. Führt Ton-/Bild-Platte mit Informationen über Erde und Menschen mit.
05.09.77	USA	VOYAGER 1 Vorbeiflug an Jupiter am 04.03.79 in 277 000 km Abstand. Bilder der Atmosphäre, der Monde, Entdeckung seines Ringes und neuer Monde. Daten zu

11. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
		VOYAGER 1 - Fortsetzung den physikalischen Zuständen in Jupiternähe. Weiterflug zum Saturn, Vorbeiflug am 11.11.80 im Abstand von 184 000 km. Rund 17 500 Bilder der Atmosphäre, des Ringsystems, der Monde; Stickstoff- Atmosphäre von Titan und neue Monde entdeckt. Daten zu den physikalischen Zuständen in Saturnnähe. Führt Ton-/Bild-Platte wie Voyager 2 mit.
18.10.89	GALILEO USA	Orbiter und Atmosphärensonde., Trennung 13.07.95; Beginn des Umlaufes um Jupiter 07.12.95, Eintritt der Atmosphärensonde in die Jupiteratmosphäre 07.12.95, anschließend ein Jahr Primärmission um Jupiter. Begegnungen mit dem Kleinplaneten (951 Gaspra) 20.10.91, Abstand 1600 km. Erstmals Kleinplaneten-Bilder; mit (243) Ida und erstmalig Bilder eines Kleinplaneten- Mondes, Dactyl, 28.08.93, Abstand 2500 km. Näheres siehe Referat „Mit Galileo zum Jupiter“.
15.10.97	CASSINI / HUYGENS USA/ESA	Saturn-Orbiter und Titan-Landesonde, Eintreffen bei Saturn 2004, Entlassung von Huygens zu Titan und danach 4 Jahre Beobachtung Saturns aus der Umlaufbahn. Näheres siehe Sternbote 10/1997.

Sonnen- und interplanetare Raumsonden

Start	Staat	Aufgabe
11.03.60	PIONIER 5 USA	Umfliegt Sonne innerhalb der Erdbahn, Daten aus Entfernungen von der Erde bis zu 45 Millionen km über Energieausbrüche der Sonne und Sonnenwind.
27.06.60	SOLRAD 1 USA	Sonnenstrahlung, erste "Huckepack"-Satelliten.
07.03.62	OSO 1 USA	Sonne
26.04.62	ARIEL 1 UK/USA	Ionosphäre, Sonne
16.07.65	SONDE 3 USSR	In Sonnenumlaufbahn, lieferte Fotos der Mondrückseite während Vorbeiflug, vermutlich Testsonde für Venus 2 und 3.
26.12.65	PIONIER 6 USA	In Sonnenumlaufbahn, viele interplanetare Daten, Sonnenwind, kosmische Strahlen.
17.08.66	PIONIER 7 USA	In Sonnenumlaufbahn, interplanetare und solare Messungen.
13.12.67	PIONIER 8 USA	In Sonnenumlaufbahn, Untersuchung der Sonnenstrahlung.
08.11.68	PIONIER 9 USA	In Sonnenumlaufbahn, Daten über Sonnenstrahlung.
10.12.74	HELIOS 1 USA/ESA	Annäherung an die Sonne bis auf 48 Millionen km, zahlreiche Daten über den sonnennahen interplanetaren Raum (Rakete USA, Sonde BRD).

12. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
15.01.76	HELIOS 2	USA	Annäherung an die Sonne bis auf 45 Millionen km, zahlreiche Daten über den sonnennahen interplanetaren Raum (Rakete USA, Sonde BRD).
18.10.89	GALILEO	USA	siehe Seite 15
06.10.90	ULYSSES	ESA/USA	Flug zu Jupiter, Swing-by 08.02.92, dann zurück zur Sonne, Bahn fast genau über ihre Pole: In heliographischer Breite südlich 70° Süd 26.06.94 – 05.11.94, nördlich 70° Nord 20.06.95 – 30.09.95. Daten über die physikalischen Zustände in der Sonnenumgebung (Heliosphäre).
02.12.95	SOHO	ESA/USA	Gemeinschaftsprojekt von ESA und NASA zur kontinuierlichen Beobachtung der Sonne. Näheres siehe Referat: "Sonnenforschung mit SOHO".

Sonden zu Kometen:

Start		Staat	Aufgabe
12.08.78	ISEE-3	USA	International Cometary Explorer. Erste Sonde zu einem Kometen, 21P Giacobini-Zinner, danach zum Kometen 1P Halley. Kreuzte am 11.09.85 den Schweif dieses Kometen, 18 Minuten Passage, 7900 km vom Kern entfernt. Am 28.03.86 stand die Sonde 31 Mio km vom Kometen 1P Halley entfernt zwischen diesem und der Sonne und sammelte Daten über den Sonnenwind.
15.12.84	VEGA 1	USSR	Sonde zur Venus (siehe dort) und zu Kometen 1P Halley. Vorbeiflug am Kometen 06.03.86 in 10 000 km Abstand vom Kern. Bilder von Koma und Kern, Daten über Drehung, Magnetfeld (mit österreichischen Meßgeräten), Partikel, Staub.
21.12.84	VEGA 2	USSR	Wie Vega 1, Vorbeiflug am Kometen 09.03.86 in 3000 km Abstand vom Kern. Leistung wie bei Vega 1, aber dank der geringeren Entfernung genauer.
08.01.85	SAKIGAKE	JAPAN	Sonde zum Kometen 1P Halley, Vorbeiflug am 11.03.86 in 7 Mio. km Abstand vom Kern. Daten zu Wechselwirkungen von Sonnenwind und Kometenmaterie.
02.07.85	GIOTTO	ESA	Sonde zum Kometen 1P Halley, Vorbeiflug am 13.03.86 in 540 km Abstand vom Kern. Bilder von Koma und in hoher Auflösung vom Kern mit Strukturen und Ausströmungszentren. Physikalische Zustände in Kometennähe erfaßt.
08.03.86	SUISEI	JAPAN	Sonde zum Kometen 1P Halley, Vorbeiflug am 08.03.86 in 200 000 km Abstand vom Kern. Bilder von Koma und Kern, Daten zu physikalischen Zuständen in Kometennähe.

13. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Bemannte Raumflüge

Start		Staat	Aufgabe
12.04.61	WOSTOK 1	USSR	Erster Mensch in der Umlaufbahn um die Erde (Juri Gagarin) eine Erdumkreisung (1 Stunde 48 Minuten).
05.05.61	MERKUR-REDSTONE 3	USA	Erster amerikanischer ballistischer Raumflug (Alan Shepard) (15 Minuten 22 Sekunden).
21.07.61	MERKUR-REDSTONE 4	USA	Bemannter Suborbitalflug, Gus Grissom, (15 Minuten 37 Sekunden) Kapsel versunken.
06.08.61	WOSTOK 2	USSR	Bemannter Raumflug, German Titow, 17 Erdumkreisungen, 25 Stunden.
21.02.62	MERKUR-ATLAS 6	USA	Erster Amerikaner in Umlaufbahn, John Glenn, 3 Erdumkreisungen, (4 Stunden 54 Minuten).
24.05.62	MERKUR-ATLAS 7	USA	Bemannter Raumflug, Scott Carpenter, 3 Erdumkreisungen, (4 Stunden 54 Minuten).
11.08.62	WOSTOK 3	USSR	Bestandteil des ersten Doppelfluges (mit Wostok 4), A. Nikolajew 64 Erdumkreisungen, 3 Tage 22 Stunden.
12.08.62	WOSTOK 4	USSR	Bestandteil des ersten sowjetischen Doppelfluges (mit Wostok 3), beim ersten Umlauf Annäherung bis auf 5 km an Wostok 3, Pawel Popowitsch, 48 Erdumkreisungen, 2 Tage 23 Stunden.
03.10.62	MERKUR-ATLAS 8	USA	Bemannter Raumflug, Walter Schirra, Zahl der Erdumkreisungen auf 6 gesteigert, 9 Stunden.
15.05.63	MERKUR-ATLAS 9	USA	Erster amerikanischer bemannter Raumflug von über 24 Stunden Dauer, Gordon Cooper, 22 Erdumkreisungen, 34 Stunden 20 Minuten.
14.06.63	WOSTOK 5	USSR	Zweiter Doppelflug (mit Wostok 6) 81 Erdumkreisungen, 4 Tage 23 Stunden.
16.06.63	WOSTOK 6	USSR	Erste Frau im Weltraum (Walentina Tereschkova), Doppelflug mit Wostok 5. Annäherung bis auf 5 km, 48 Erdumkreisungen, 2 Tage 22 Stunden 48 Minuten.
12.10.64	WOSCHOD 1	USSR	erste Drei-Mann-Raumkapsel
18.03.65	WOSCHOD 2	USSR	Erster Ausstieg aus Raumkapsel im Weltall, EVA 10 Minuten (extra vehicular activity) A. Leonow, 17 Erdumkreisungen, 26 Stunden.
23.03.65	GEMINI-TITAN 3	USA	Erster 2-Mann-US-Flug, erste Umlaufbahnmanöver.
03.06.65	GEMINI-TITAN 4	USA	Erster amerikanischer Weltraumspaziergang, Edward White, EVA 21 Minuten, James McDivitt, 62 Erdumläufe, 4 Tage 1 Stunde 54 Minuten
21.08.65	GEMINI-TITAN 5	USA	erster einwöchiger Raumflug
04.12.65	GEMINI-TITAN 7	USA	Erstes Rendezvous im Weltraum (mit Gemini 6) Dauerrekord: 206 Erdumläufe, längster US-Flug für acht Jahre, 13 Tage 18 Stunden 35 Minuten.

14. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
15.12.65	GEMINI-TITAN 6	USA	Erster US-Doppelflug, Rendezvous mit GT-7 auf 1.8 m.
16.03.66	GEMINI-TITAN 8	USA	Erstes Koppelungsmanöver mit AGENA-Rakete.
03.06.66	GEMINI-TITAN 9	USA	Rendezvous mit Agena-Zielsatelliten, EVA (Eugene Cernan) 2 Stunden, 45 Erdumläufe.
18.07.66	GEMINI-TITAN 10	USA	Zweimaliges Rendezvous, Koppelung mit AGENA, Bahnanhebung auf 761 km.
12.09.66	GEMINI-TITAN 11	USA	Rendezvous und Koppelungsmanöver, mit AGENA Bahnanhebung auf 1368 km.
11.11.66	GEMINI-TITAN 12	USA	mehrfache Koppelung, 56 Erdumläufe
27.01.67	APOLLO 1	USA	Brand in der Kommandokapsel während eines Bodentests führt zum Tod dreier Astronauten (Gus Grissom, Ed White, Roger Chaffee).
23.04.67	SOJUS 1	USSR	Erster Testflug des Sojus-Raumfahrzeuges 3 EVA's; tödlicher Absturz von Wladimir Komarov wegen Fallschirmversagens.
11.10.68	APOLLO 7	USA	Erster bemannter Apollo-Flug (3 Mann Besatzung).
26.10.68	SOJUS 3	USSR	Rendezvous-Übungen mit unbemannter Sojus 2.
21.12.68	APOLLO 8	USA	Erste bemannte Mondumfliegung. James Lovell, William Anders, Frank Bor- man.
14.01.69	SOJUS 4	USSR	Erste Koppelung zweier bemannter Raumkapseln.
15.01.69	SOJUS 5	USSR	Chrunow und Jelisejew kehrten in Sojus 4 zurück.
03.03.69	APOLLO 9	USA	Koppelung mit Mondfähre in Erdumlaufbahn.
18.05.69	APOLLO 10	USA	Mondfähre mit Stafford und Young bis auf 14 km über Mondoberfläche
16.07.69	APOLLO 11	USA	Neil Armstrong und Edwin Aldrin auf Mond, Michael Collins in Umlaufbahn; 20 kg Mondmaterie zurückgebracht, 2h15 EVA (extra vehicular activity).
11.10.69	SOJUS 6	USSR	
12.10.69	SOJUS 7	USSR	
13.10.69	SOJUS 8	USSR	Umfangreiche Manöver zwischen den drei Raumfahrzeugen, erste Schweiß- versuche im Raum.
14.11.69	APOLLO 12	USA	2 EVA's = 7h39, 34 kg Mondmaterie zurückgebracht.
11.04.70	APOLLO 13	USA	Sauerstofftank-Explosion auf Weg zum Mond, keine Mondlandung.
01.06.70	SOJUS 9	USSR	Neuer Dauerrekord in Erdumlaufbahn (285 Erdumläufe).
31.01.71	APOLLO 14	USA	2 EVA's = 9h25, 44 kg Mondmaterie zurückgebracht.

15. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
19.04.71	USSR	SALJUT 1 Saljut: Sammelbezeichnung für 15 m lange sowjetische Raumfahrzeuge, an die bemannte Raumfahrzeuge vom Typ Sojus angekoppelt wurden. Gewicht 19 t., erste Raumstation, 2800 Erdumläufe.
23.04.71	USSR	SOJUS 10 Koppelung mit Saljut 1, ohne Station zu betreten.
06.06.71	USSR	SOJUS 11 23 h an Bord von Saljut 1, Besatzung bei Wiedereintritt erstickt.
26.07.71	USA	APOLLO 15 Erstes Mondauto, erste wissenschaftliche Mission; 3 EVA's = 18h36, 78 kg Mondmaterie zurückgebracht.
16.04.72	USA	APOLLO 16 3 EVA's = 20h14, 97.5 kg Mondmaterie zurückgebracht.
06.12.72	USA	APOLLO 17 3 EVA's = 22h06, 113 kg Mondmaterie zurückgebracht.
14.05.73	USA	SKYLAB 1 75 t, erste US-Raumstation, 35 000 Erdumläufe, abgestürzt Juli 1979.
25.05.73	USA	SKYLAB 2 Neuer Dauerrekord, mehrere EVA's für Forschung und Reparaturen, zahlreiche wissenschaftliche, technische und medizinische Experimente.
28.07.73	USA	SKYLAB 3 Experimente wie Skylab 2
27.09.73	USSR	SOJUS 12 Erprobungsflug
16.11.73	USA	SKYLAB 4 zahlreiche EVA's = 3d 05h 48m
18.12.73	USSR	SOJUS 13 128 Erdumläufe
25.06.74	USSR	SALJUT 3 Raumstation
03.07.74	USSR	SOJUS 14 Koppelung mit Saljut 3
26.08.74	USSR	SOJUS 15 Koppelung mit Saljut 3 mißlang, verfrühte Rückkehr
02.12.74	USSR	SOJUS 16 Vortest für ASTP Erprobung einer Neukonstruktion für das Gemeinschaftsprojekt Apollo/Sojus.
26.12.74	USSR	SALJUT 4 Raumstation
11.01.75	USSR	SOJUS 17 467 Erdumläufe
24.05.75	USSR	SOJUS 18 993 Erdumläufe
15.07.75	USSR	SOJUS 19
15.07.75	USA	ASTP Erstes US/USSR-Koppelungsmanöver in der Erdumlaufbahn.
17.11.75	USSR	SOJUS 20 Unbemannter Versorgungsflug zu Saljut 4.
22.06.76	USSR	SALJUT 5 Raumstation
06.07.76	USSR	SOJUS 21 789 Erdumläufe Mannschaft blieb 48 Tage in Saljut 5.
15.09.76	USSR	SOJUS 22 Unter anderem Erd fotografie mit Multispektralkamera.
14.10.76	USSR	SOJUS 23 Mißlungener Koppelungsversuch mit Saljut 5.
07.02.77	USSR	SOJUS 24 Koppelung mit Saljut 5
29.09.77	USSR	SALJUT 6 18.5 t, erste Raumstation, an die unbemannte Versorgungsraumfähren Progress ankoppeln und langfristige Versorgung ermöglichen konnten.
09.10.77	USSR	SOJUS 25 Ankoppelung an Saljut 6 mißlang.

16. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
10.12.77	SOJUS 26	USSR	Ankoppelung an Saljut 6 nach 21 Erdumfliegungen, Rückkehr mit Sojus 27.
10.01.78	SOJUS 27	USSR	Ankoppelung an Saljut 6 am 11.01.78 - erstmals zwei Raumfahrzeuge an einer Raumstation, Rückkehr mit Sojus 26.
02.03.78	SOJUS 28	USSR	Erster Nichtrosse an Bord eines sowjetischen Raumfahrzeugs, (Wladimir Remek, CSSR).
16.06.78	SOJUS 29	USSR	EVA zur Erprobung eines neuen Raumanzuges, Rückkehr mit Sojus 31.
27.06.78	SOJUS 30	USSR	Erdumkreisungen gemeinsam mit einem polnischen Astronauten, Mirosław Hermaszewski.
26.08.78	SOJUS 31	USSR	Koppelung mit Saljut 6 am 27.08.79, Rückkehr mit Sojus 29.
25.02.79	SOJUS 32	USSR	Koppelung mit Saljut 6, Langzeitrekord von 175 Tagen Aufenthaltsdauer im Weltraum.
12.03.79	PROGRESS 5	USSR	Unbemanntes Versorgungsfahrzeug, Ankoppelung an Saljut 6 zur Versorgung am 14.03.79.
10.04.79	SOJUS 33	USSR	Koppelung an Saljut 6 wegen Triebwerkstörungen mißlungen, frühzeitige Rückkehr.
13.05.79	PROGRESS 6	USSR	Unbemanntes Versorgungsfahrzeug, Ankoppelung an Saljut 6 am 15.05.79.
06.06.79	SOJUS 34	USSR	Rückkehr mit Besatzung von Sojus 32 (Ljachow und Rjumin).
28.06.79	PROGRESS 7	USSR	Unbemanntes Versorgungsfahrzeug, Ankoppelung an Saljut 6, am 30.06.79.
27.03.80	PROGRESS 8	USSR	Unbemanntes Versorgungsfahrzeug, Ankoppelung an Saljut 6 am 29.03.80.
09.04.80	SOJUS 35	USSR	Zurück mit Sojus 37, neuer Langzeitrekord von 185 Tagen, Besuch von vier anderen Besatzungen.
27.04.80	PROGRESS 9	USSR	Unbemanntes Versorgungsfahrzeug.
26.05.80	SOJUS 36	USSR	Besuch bei Besatzung von Sojus 35, Rückkehr mit Sojus 35. 1. Ungarischer Astronaut (Farkas Bertalan), 1 Woche Forschungsarbeit.
05.06.80	SOJUS T2	USSR	Erster bemannter Flug der Baureihe Sojus T, Besuch bei Besatzung Sojus 35 (4 Tage), 2 Personen Besatzung.
29.06.80	PROGRESS 10	USSR	Unbemanntes Versorgungsfahrzeug.
23.07.80	SOJUS 37	USSR	Besuch bei Besatzung von Sojus 35, Rückkehr mit Sojus 36, 1. Vietnamesischer Astronaut (Pham Tuan).
18.09.80	SOJUS 38	USSR	Besuch bei Besatzung von Sojus 35, Rückkehr mit Sojus 38, 1. Kubanischer Astronaut (Arnaldo Tamayo Mendez).

17. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
28.09.80	PROGRESS 11	USSR	Unbemanntes Versorgungsfahrzeug.
27.11.80	SOJUS T3	USSR	Testflug, Reparaturarbeiten an Saljut 6.
24.01.81	PROGRESS 12	USSR	Unbemanntes Versorgungsfahrzeug.
12.03.81	SOJUS T4	USSR	Erdbeobachtung, 75 Tage Aufenthalt, Rückkehr in T4-Wiedereintrittsmodul.
22.03.81	SOJUS 39	USSR	1. Mongolischer Astronaut (Zsugderdemidijn Gurragsaa) Erdbeobachtung. Erste Fernsehübertragung holographischer Bilder aus dem Weltraum.
12.04.81	STS-1	USA	Columbia, Erstflug des Raumtransporters, weiche Fluglandung. auf festem Landeplatz, erster Orbital-Testflug des Space Shuttle Columbia.
25.04.81	KOSMOS 1267	USSR	Forschungsraummodul, wurde an Saljut-6 angedockt (19.06.81), Flug im automatischen Betrieb 1 Jahr und 3 Monate gemeinsam.
14.05.81	SOJUS 40	USSR	1. Rumänischer Astronaut (Dumitru Prunariu) Rendezvous und Kopplungsmanöver mit Saljut 6
12.11.81	STS-2	USA	Zweiter Flug des Raumtransporters Columbia.
19.04.82	SALJUT 7	USSR	Kosmos 1443 - wurde angedockt (1983). Kosmos 1686 - -- (1985).
03.06.82	KOSMOS 1374	USSR	1. Modell einer Raumfähre (1:3), auch Bor-4 genannt.
24.06.82	SOJUS T-6	USSR	1. Französischer Astronaut (Jean-Loup Chretien).
12.10.82	GLONAS	USSR	Beginn des Navigationssystemausbaues von Glonas.
04.04.83	STS-6	USA	1. Flug des Space Shuttle Challenger
18.06.83	STS 7	USA	1. Amerikanische Astronautin (Sally Ride).
28.11.83	STS 9	USA	1. Deutscher Astronaut (BRD) Ulf Merbold. 1. Mitflug der ESA Spacelab in der Columbia Ladefläche.
07.02.84	STS 41-B	USA	Astronaut Bruce McCandless bewegt sich erstmals im Weltraum mit MMU Raketen ohne "Nabelschnur".
03.04.84	SOJUS T-11	USSR	1. Indischer Astronaut (Rakesh Sharma).
11.04.84	STS 41-C	USA	Erstmalige Reparatur eines Satelliten (Solar Max) im Weltraum.
25.07.84	SALJUT 7	USSR	1. Weltraumspaziergang einer Astronautin (Svetlana Savizkaja) und erstmalige Schweißarbeit.
30.08.84	STS 41-D	USA	1. Flug der Discovery.

18. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
05.10.84	STS 41-G	USA	Challenger, 1. Kanadischer Astronaut (Marc Garneau), 1. Weltraumspaziergang einer Amerikanischen Astronautin (Kathryn Sullivan).
08.06.85	SOJUS T-13	USSR	Koppelt zu der ohne Energie gebliebenen Saljut 7. V. Dzsanjibekov und V. Savinih setzen diese wieder in Betrieb.
17.06.85	STS 51-G	USA	Discovery, 1. Saudi Arabischer Astronaut (Sultan Salman Al-Saud).
03.10.85	STS 51-J	USA	1. Flug der Atlantis.
30.10.85	STS 61-A	USA	Challenger 1. Holländischer Astronaut (Wubbo Ockels).
26.11.85	STS 61-B	USA	Atlantis 1. Mexikanischer Astronaut (Rodolfo Neri-Vela) und internationale Besatzung.
27.01.86	STS 51-L	USA	Challenger Wegen eines technischen Fehlers explodierte die Raumfähre 73 Sekunden nach dem Start, die siebenköpfige Besatzung verlor ihr Leben. Mit ihren Namen wurden die Kleinplaneten 3350-3356 benannt.
19.02.86	MIR	USSR	Die Zentraleinheit der MIR-Raumstation wird ins All gebracht. Die Raumstation ist mit Modulteilern ausbaufähig. MIR ist die am längsten funktionierende Raumstation. Näheres siehe Referat „Künstliche Erdtrabanten und Raumstation MIR.“
05.05.86	SOJUS T-15	USSR	Erstmals fliegen Astronauten von der Raumstation MIR zur Raumstation Saljut 7 und zurück.
05.02.87	SOJUS TM-2	USSR	2. Astronomische Besatzung.
31.03.87	MIR	USSR	Zweites Modul "Kvant" an MIR angekoppelt.
22.07.87	SOJUS TM-3	USSR	1. Syrischer Astronaut (Muhammad Faris).
29.08.88	SOJUS TM-6	USSR	1. Afghanischer Astronaut (Abdul Mohmand).
29.09.88	STS 26	USA	Start des 1. Space Shuttle nach der Challenger Katastrophe.
09.12.88	MIR	USSR	1. Französischer Weltraumspaziergang, Jean-Loup Chretien von Raumstation MIR aus (davor nur USSR und USA).
23.08.89	PROGRESS M-1	USSR	Modernisiertes Transportraumschiff.
01.02.90	IKAR	USSR	Aleksandr Serebov probiert erstmalig eine Manöviereinheit aus, kann sich damit 33 m von MIR entfernen.
25.04.90	HUBBLE	USA	Hubble Teleskop wird von Discovery (STS-31) in 600 km Höhe gebracht und umkreist in dieser Bahn die Erde. (Hauptspiegel Durchmesser: 240 cm). Die Aufnahmen vom HST zeigen fehlerhafte Hauptspiegel-Optik. Näheres siehe Referat „Astronomie mit dem HST.“
02.12.90	SOJUS TM-11	USSR	1. Japanischer Astronaut (Akijama Tojohiro).

19. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
18.05.91	USSR	SOJUS TM-12 An Bord die 1. Britische Astronautin (Helen Sharman).
02.10.91	USSR	SOJUS TM-13 1. Österreichischer Astronaut (Franz Viehböck).
17.03.92	USSR	SOJUS TM-14 An Bord der Deutsche Klaus Dietrich Flade.
24.03.92	USA	STS-45 Atlantis - 1. Belgischer Astronaut (Dirk Frimout).
07.05.92	USA	STS-49 1. Flug von Endeavour.
31.07.92	USA	STS-46 Internationale Bordbesetzung. Schweiz: Claude Nicollier. Italien: Franco Malerba.
12.09.92	USA	STS-47 Endeavour - 1. Ehepaar im Weltraum (Mark Lee und Jan Davis).
12.02.93	USA	STS-61 1. Service-Mission. Reparatur von HST (Hubble Teleskop). Die Besatzung: Story Musgrave, Jeffrey Hoffman, Thomas Akers, Kathryn Thornton.
03.02.94	USA	STS-60 Zum ersten Mal fliegt ein Russischer Astronaut mit einer Amerikanischen Raumfähre.
01.07.94	USSR	SOJUS TM-19 An Bord Kasachischer Astronaut: Talgat Musabajev.
06.02.95	USA / USSR	STS-63 Discovery nähert sich 11 m der MIR Raumstation, aber eine Koppelung kommt nicht zustande.
14.03.95	USSR	SOJUS TM-21 1. Start eines Amerikanischen Astronauten (Norman Thagard) mit Sojus. Er arbeitet 115 Tage lang auf MIR.
29.06.95	USA / USSR	STS-71 Erstmalig koppelt ein Amerikanisches Space Shuttle an MIR.
03.09.95	USSR	SOJUS TM-22 Mit internationaler Bordbesetzung startet Sojus zur MIR. Thomas Reiter, ein ESA Astronaut, bleibt 179 Tage lang in der Raumstation.
15.11.95	USA / USSR	STS-74 (Atlantis/MIR) Atlantis koppelt ein Modul (DM) an die MIR. In der Raumstation arbeiten amerikanische, russische, kanadische und deutsche Astronauten.
11.02.97	USA	HST 2. Service-Mission

Radioastronomie im Weltraum

Start	Staat	Aufgabe
1960	USA	TRANSIT 2 Navigationssatellit, Messung des kosmischen Radiostrahlungshintergrundes (Maximum 30-300 m Wellenlänge).

20. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start	Staat	Aufgabe
04.07.68	USA	EXPLORER 38 (RAE -1) 200 kg Gewicht, Höhe 5800 km, Kartographierung des Radiostrahlungshintergrundes von Quellen in der Milchstraße und Messung von Radiostrahlungsausbrüchen auf der Sonne. Entdeckung der Radiostrahlung von Jupiter.
13.03.71	USA	EXPLORER 43 Für Experimente ähnlich RAE-1. Mehrzwecksatellit (IMP).
10.06.73	USA	EXPLORER 49 (RAE-2) Mondsatellit (Reduktion des Einflusses terrestrischer Radiostrahlung), für die Verweilzeit hinter dem Mond war diese gänzlich eliminiert und konnte die radioastronomischen Beobachtungen anderer Quellen nicht stören.
28.06.79	USSR	SALJUT 6 (KRT-10) Cosmic Radio Telescope 10 auf der Raumstation. Radiostrahlung der Sonne, der Milchstraße, des Pulsars PL0329.

Infrarot und Submillimeter-Astronomie

Start	Staat	Aufgabe
04.-12.72	USA	HISTAIR-Suborbitalflüge Infrarot - Durchmusterung mit 16.5 cm Teleskop, 2 Flüge zur Erforschung des Südhimmels (Australien). 7 Starts.
26.12.74	USSR	SALJUT 4 (ITS-K IR) Teleskop-Spektrometer auf Raumstation. Wellenlängenbereich 7-15 µm
29.09.77	USSR	SALJUT 6 (BEST-1M) Submillimetermessung auf Raumstation.
26.01.83	USA/ESA	IRAS Umfassende Satelliten Infrarot-Durchmusterung des Himmels, Gemeinschaftsprojekt USA, Niederlande und Großbritannien.
18.11.89	USA	COBE Satellit. Kosmische Hintergrundstrahlung und diffuse Infrarot-Hintergrundstrahlung. Näheres siehe gleichnamiges Referat.
29.07.95	USA	SL-2 IRT Spacelab-2 Infrarot-Teleskop auf Space-Shuttle "Challenger STS-51F.
17.03.95	USA	IRTS Satellit. Infrarot-Teleskop auf wiederverwendbarer Plattform. Im Jänner 1996 von Space Shuttle 13 geborgen.
17.11.95	ESA	ISO Bisher größtes und vielseitigstes Infrarot-Raumobservatorium, genutzt auch von österreichischen Astronomen. Näheres siehe Gastvortrag: "Infrarot-Astronomie, mit IRAS und ISO".

Ultraviolett- und extreme Ultraviolett-Astronomie**1. Ultraviolett (>50 nm)**

Start		Staat	Aufgabe
1946		USA	Höhenraketen des V2-Typs, Erstmals UV-Spektrum der Sonne gemessen. 50er Jahre USA.
			Spezialraketen , Erste UV-Messungen von Fixsternen (Delta und Pi im Skorpion).
10.12.64	COSMOS 51	USSR	keine Details
12.12.64	5E5	USA	UV-Photometer
19.04.68	COSMOS 215	USSR	UV, Röntgen, sichtbares Licht
07.12.68	OA0-2	USA	UV-Observatorium
19.04.71	ORION 1	USSR	Auf Raumstation Saljut 1
12.03.72	TD-1A	ESRO/USA	Europäische UV-Himmels - Durchmusterung. Genutzt auch von österreichischen Astronomen.
21.08.72	OA0-3	USA	UV-Observatorium "Copernicus". Genutzt auch von österreichischen Astronomen.
16.04.72	APOLLO 16	USA	Bemannte Mondmission, brachte UV-Kamera auf den Mond.
14.05.73	SKYLAB	USA	3 UV Experimente auf Raumstation.
30.08.74	ANS	NL/USA	1. Niederländischer Satellit, UV- und Röntgenbeobachtungen.
27.12.75	D2B-AURA	FRANKREICH	Französische UV-Mission.
20.08.77	VOYAGER 2	USA	UV-Spektrometer. Ebenso auf VOYAGER 1.
22.09.77	PROGROZ 6	USSR	UV-Spektrometer "Galaktika".
26.01.79	IUE	USA/ESRO	International Ultraviolet Explorer. Bisher größter und erfolgreichster UV- Satellit. Teleskop von 45 cm Durchmesser mit Spektrometer, genutzt auch von Österreichischen Astronomen.
23.03.83	ASTRON	USSR	UV-Satelliten-Observatorium
28.11.83	SPACELAB 1	USA	2 UV- Experimente
31.03.87	MIR	USSR	UV-Teleskop "Glazar" auf Kvant-1. Näheres siehe Referat "Künstliche Erdmonde und Raumstation MIR".
02.12.90	ASTRO 1	USA	UV Observatorium auf Space Shuttle Columbia (STS-35).
24.03.92	FAUST	USA	UV Kamera auf Space Shuttle Atlantis (STS-45).
02.05.95	ASTRO-2	USA	UV Observatorium an Bord von Space Shuttle Endeavour (STS-67).

22. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

2. Extremes Ultraviolett (6 nm - 50 nm).

Start		Staat	Aufgabe
15.07.75	ASTP	USA	Extrem-UV Teleskop in Apollo Service Modul.
01.07.90	ROSAT-WFC	USA	Satellit mit Extrem-UV-Teleskop im Rahmen einer Röntgen Mission.
07.06.92	EUVE	USA	Satellit zur Gesamthimmels-Durchmusterung im Extrem-UV.
12.09.93	ORFEUS	USA	Satellit mit Extrem-UV-Teleskop auf frei fliegender Plattform.
19.11.96	ORFEUS	USA	Erneuter Satelliten-Flug des Extrem UV-Teleskops.
21.04.97	MINISAT-01	Spanien	EURD ISM Experiment UV-Satellit

Röntgen - Astronomie

Start		Staat	Aufgabe
1949			Wird bei einem V2 Aufstieg die Röntgenstrahlung der Sonne entdeckt.
1950			Beobachtung der solaren Röntgenstrahlung mittels Höhenrakete um ihren Ursprung zu lokalisieren (während einer Sonnenfinsternis).
Juli 1962			X-1 im Skorpion als erste extrasolare Röntgenquelle aufgefunden (Höhenrakete).
April 1963			Röntgenstrahlung aus dem Krabbennebel festgestellt (Höhenrakete).
1966			Erste Extragalaktische Röntgenquelle entdeckt (M 87).
08.03.67	OSO-3	USA	Hauptsächlich Sonnenforschungs-Satellit, mit kleinem Röntgen-Experiment.
19.04.68	COSMOS 215	USSR	Erforschte UV, sichtbares Licht und Röntgenstrahlung.
17.05.68	ESRO-2B	Europa	Europäische Mission
09.08.68	OSO-6	USA	Sonnen-UV

Bis 1970 waren schon mehr als 70 Röntgenquellen bekannt, auch diffuse Röntgenstrahlung wurde gefunden.

12.12.70	SAS 1 (UHURU / EXPLORER 42)	USA	1. Röntgen-Durchmusterung. Uhuru bedeutet in der Kisuaheli-Sprache (Ostafrikanisches Küstengebiet) Freiheit.
13.08.74	ANS	NL/USA	Niederländischer UV- und Röntgensatellit
15.10.74	ARIEL 5	USA/ESA	Röntgenobservatorium
17.05.75	SAS-3	USA	Explorer 53
12.08.77	HEAO-1	USA	Bisher vollständigste Röntgen-Durchmusterung.

23. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
13.11.78	HEAO-2	USA	Einstein-Observatorium. Vielseitige Röntgen-Astronomie.
02.06.79	ARIEL 6	USA	Kosmische- und Röntgenstrahlung
17.06.85	SPARTAN-1	USA	Frei fliegendes Experiment mit Space Shuttle "Discovery" (STS-51G).
29.07.85	SL-2XRT	USA	Röntgenteleskop, Space Shuttle "Challenger" (STS-51F).
19.02.86	MIR	USSR	Sowjetische Raumstation, umkreist die Erde in 380 km Höhe.
05.02.87	ASTRO-C	JAPAN	Deutsches Röntgenteleskop HEXE innerhalb des Moduls Kvant-1. Röntgen-Satellit "Ginga".
01.06.90	ROSAT	ESA/USA	Bisher größter und vielseitigster Röntgen-Satellit. Umfangreiche Durchmusterung. Näheres siehe Referat "Röntgen-Astronomie mit ROSAT".
02.12.90	BBXRT	USA	Breitband-Röntgen Teleskop, auf Space Shuttle "Columbia" (STS-35).
13.01.93	DXS	USA	Spektrometer für diffuses Röntgenlicht, auf Space Shuttle "Endeavour" (STS-54).
10.12.95	XTE	USA	Amerikanischer Röntgen-Satellit.
30.04.96	SAX	ESA/USA	Italienisch-Niederländischer Röntgen-Satellit.

Gamma-Astronomie

Die Grenze zwischen Röntgen und Gamma-Strahlung wird von den Astronomen verschieden angegeben. Gewöhnlich nennt man Energiewerte von >100 bzw. >500 KeV (Kilo-Elektronvolt).

1. Satelliten für kosmische Gamma-Strahlung (Auswahl)

Start		Staat	Aufgabe
27.04.61	EXPLORER 11	USA	Erste kosmische Gamma-Strahlungsmessung mittels Szintillationszähler. Ursprung der Strahlung zweifelhaft.
08.03.65	OSO-3	USA	Entdeckung von Gamma-Strahlung aus der Galaktischen Ebene.
12.03.65	KOSMOS 60	USSR	16-Kanal NaJ-Szintillations-Spektrometer.
28.04.67	ORS4 (ERS18)	USA	Gamma-spektrometrische Messungen. Spin-stabilisierter Satellit von 7.8 kg.
04.03.68	OGO-5	USA	Für Gamma-Photonen >2,5 MeV
15.11.72	SAS-2 (Explorer 48)	USA	Himmels-Durchmusterung

24. Fortsetzung Referat: Zur Geschichte der himmelskundlichen Raumfahrt

Start		Staat	Aufgabe
09.08.75	COS-B	USA	Himmels-Durchmusterung
22.09.76	COSMOS 856	USSR	
	Gamma-Spektrometer, 1000-4000 MeV.		
21.05.77	COSMOS 914	USSR	
	Diffuse Gamma-Strahlung		
12.01.79	COSMOS 1106	USSR	
	Kristall-Szintillations-Spektrometer zur Erdbeobachtung.		
20.09.79	HEAO-3	USA	
	Kosmische Strahlung, Gamma-Spektrometrie 0.6-10 MeV.		
01.12.89	GRANAT	USSR	
	Gamma-Observatorium mit SIGMA Teleskop; große europäische Beteiligung.		
11.07.90	GAMMA	USSR	
05.04.91	CGRO	USA	
	Großes Gamma-Observatorium.		

2. Satelliten für kosmische Gamma-Ausbrüche (Auswahl)

06.06.66	OGO-3	USA	
	Gamma-Ausbrüche registriert von einem für andere Zwecke gebauten Instrument.		
24.05.67	EXPLORER 34	USA	wie OGO-3
21.06.69	EXPLORER 41	USA	wie OGO-3
29.09.71	OSO-7	USA	wie OGO-3
16.04.72	APOLLO 16	USA	
	Mond Gamma-Spektrometer (bemannte Mond-Mission).		
29.06.72	PROGNOZ 2	USSR /FRANKREICH	
	Auch für Sonnenwind-Studien u. a., gemeinsam mit Frankreich.		
15.01.76	HELIOS 2	USA/BRD	
	Sonnen-Sonde mit deutscher Beteiligung. In Umlaufbahn um die Sonne.		
15.03.76	SOLRAD 11A	USA >	Doppel-Start
15.03.76	SOLRAD 11B	USA >	19 Ausbrüche beobachtet
20.02.78	PIONIER VENUS ORBITER	USA	
	Trug Detektor für Gamma-Ausbrüche, funktionierte bis 08.10.92.		
12.08.78	ISEE-3	USA	
	Zum Komet Giacobini-Zinner, trug auch Detektor für Gamma-Ausbrüche.		
09.09.78	VENUS 11	USSR	Venus Satelliten
14.09.78	VENUS 12	USSR	Gamma-Ausbruch-Detektoren
30.10.78	PROGROZ 7	USSR/FRANKREICH	
	Arbeitete 7 Monate		
14.02.80	SOLAR MAXIMUM MISSION	USA	Gamma-Ausbruch Detektor
30.10.81	VENUS 13	USSR	Venus-Satellit
	1. Farbfotos, Bodenanalyse.		
04.11.81	VENUS 14	USSR	--
	Gamma-Ausbruch-Experiment.		
20.05.92	SCROSS-C2	INDIEN	
	Indischer Satellit. Registrierte ca. 8 Gamma-Ausbrüche.		
21.04.97	MINISAT-01	SPANIEN	Spanischer Satellit

Literatur

Balss Heinrich: Antike Astronomie, Ernst Heimeran, München, 1949.

Rükl Antonin: Taschenatlas Mond-Mars-Venus, Artia, Prag 1977.

Buedeler Werner: Geschichte der Raumfahrt, Sigloch Edition, 2. Auflage
Künzelsau 1979/1982.

LIFE im Weltraum, Amsterdam 1984.

Engelhardt Wolfgang: Planeten, Monde, Ringsysteme, Birkhäuser,
Basel 1984

Lexikon der Astronomie, Herder, Freiburg, Basel, Wien 1989.

Learner Richard: Die Geschichte der Astronomie, Weltbild Verlag, Augsburg 1989.

Fischer D. und Duerbeck H.: Hubble - Ein neues Fenster zum All.
Dazu CD-ROM. Birkhäuser, Basel 1995.

Lexikon der Naturwissenschaftler, Spectrum Akademischer Verlag,
Heidelberg/Berlin/Oxford 1996.

Aschenbach, B., Hahn, H. und Trümper, J.: Der unsichtbare Himmel -
Astronomie mit Rosat. Birkhäuser, Basel 1996.

Almar-Both-Horvath-Szabo: SH-Atlasz Ürtan, Springer Hungarica,
Budapest 1996.

Herzlichen Dank an Frau Klara Wenger Danoczy für ihre Übersetzungen
aus dem Ungarischen!

Davies John K.: Astronomy From Space, The Design and Operation of Orbiting
Observatories, John Wiley & Sons, Cichester UK, 1997.

Manfred Veselsky, Eduardgasse 13, Stiege 2, A-1180 Wien

Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

Dieses Referat befaßt sich mit Erdsatelliten - am Beispiel von MIR. In weiteren Seminarbeiträgen werden einige mit wichtigen himmelskundlichen Aufgaben behandelt.

Seit dem Start des ersten künstlichen Erdmondes am 4. Oktober 1957 eröffneten sich auch der himmelskundlichen Beobachtung nach und nach all die Möglichkeiten, die der erdnahe und später der Weltraum des Sonnensystems bietet. Als Sputnik 1 damals die Erde umrundete, war selbst für viele Astronomen noch nicht absehbar, wie sehr das himmelskundliche Weltbild durch diese neuen Beobachtungsmethoden verändert werden würde.

1 Allgemeine Sichtbarkeit

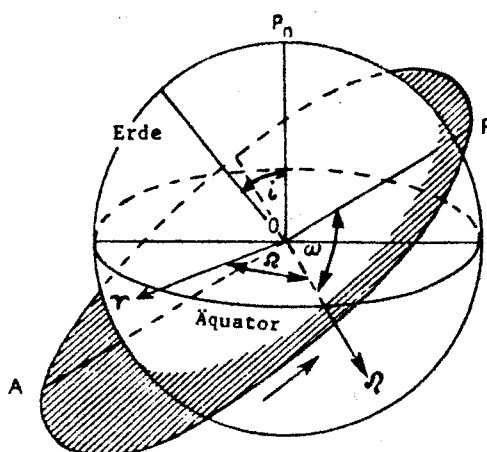
Derzeit (1998) gibt es mehr als hundert Satelliten, die unter günstigen Umständen mit freiem Auge im Überflug gesehen werden können. Allabendlich oder allmorgendlich, wenn der Satellit noch oder schon im Sonnenlicht fliegt, mehr als 20° Höhe erreicht und am Beobachtungsort die bürgerliche Dämmerung geendet oder noch nicht begonnen hat, liegen günstige Sichtmöglichkeiten vor. Das bedeutet mindestens nautische Dämmerung, die zwischen 6° und 12° Sonnentiefe besteht. Die zugehörigen, Österreich betreffenden Uhrzeiten können dem „Österreichischen Himmelskalender“ (Lit.1) entnommen werden.

Satelliten erscheinen als bewegte Lichtpunkte, einem hochfliegenden Flugzeug vergleichbar, blinken aber nicht so rasch und regelmäßig und tauchen - oft hoch am Himmel - in den Erdschatten oder erscheinen aus ihm. Weil der sichtbare Überflug meist nur wenige Minuten dauert, ist es nötig, für die Beobachtung Bahnlage und Uhrzeit ungefähr zu kennen.

2 Bahn im Raum und am Himmel

Der gegenwärtig größte künstliche Erdmond, die Raumstation MIR, ist in Helligkeiten sichtbar, die bis zu jener der Venus anwachsen können und recht stetig verlaufen. Wir wollen daher an ihr die Bewegungs- und Sichtbarkeitsverhältnisse von Satelliten beschreiben.

Eine Satellitenbahn unterliegt langsamen Veränderungen durch Störungen seitens Sonne, Mond und Planeten sowie erdseits vor allem durch die trotz der großen Höhe dort noch vorhandenen Reste der Lufthülle. Zudem ändert sie sich natürlich auch durch Betriebsmaßnahmen. Näheres siehe „Bahnen künstlicher Satelliten“ von A.Bohrmann (Lit.2), woraus unsere Zeichnung stammt. Sie zeigt die Erde und - schraffiert - die Satelliten-Bahnebene:



- O Erdmitte
- Pn Nordpol
- Ω Rektaszension aufsteigender Knoten (NODE oder RAAN)
- ω Argument Perigäum (OMEGA)
- i Bahnneigung (i)
- A Apogäum, Erdferne
- P Perigäum, Erdnähe
- AP Große Bahnachse
- Frühlingpunkt

1. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

Zur Berechnung des Satellitenortes in der als Ellipse mit der numerischen Exzentrizität EE aufgefaßten Bahn ist auch noch die Epoche (EPYR; EPOCH) anzugeben, zu welcher der Satellit die vom Perigäum an gleichmäßig mit der Zeit zunehmende Mittlere Anomalie MM besitzt. Die Zahl der Umläufe pro Tag wird die Mittlere Bewegung NN genannt.

2.1 Subsatellitenpunkt und Satelliten-Raumort

Senkrecht unter dem jeweiligen Ort des Satelliten oder hier der Raumstation liegt auf der Erdoberfläche der Subsatellitenpunkt. Durch dessen geographische Länge und Breite sowie den dortigen Erdabstand des Satelliten ist sein augenblicklicher Raumort festgelegt.

2.2 Subsatellitenbahn

Satellitenbewegung und Erddrehung lassen auf ihrer Oberfläche die Subsatellitenbahn entstehen. Sie liegt stets „unter“ der Raumbahn des Satelliten. Die Bahnneigung bewirkt, daß sich die vom Satelliten überflogenen Erdhälften abwechseln. In einer Erdkarte, die durch Ausbreitung der Erdoberfläche in ein Rechteck entsteht, ergibt sich das schlangenförmige Abbild der Subsatellitenbahn, wie wir es aus den Raumflug-Kontrollzentren kennen.

2.3 Satellitenort am Himmel

Von einem Beobachtungsort auf der Erdoberfläche gesehen, bildet sich ein Teil der Raumbahn des Satelliten auf die Himmelskugel ab und der Satellitenort am Himmel wird dort für einen bestimmten Zeitpunkt durch Azimut, Höhe und Entfernung des Satelliten festgelegt.

3 Berechnung des Satellitenortes im Raum und am Himmel

Grundlage: A.Bohrmann, Bahnen künstlicher Satelliten (Lit.2). Dieser Abschnitt folgt dem zugehörigen Programmteil von W.Vollmann in „Uraniastar[®]1.1“ (Lit.3), die Notation folgt der Programmiersprache Pascal und wir wählen MIR:

3.1 Ausgangsgrößen

3.1.1 Elemente (Lit 9: Space Station MIR. URL: <http://www.hq.nasa.gov/osf/mir/>)

Name	Wert	Erklärung, [Maßeinheit]
EPYR	98	Ausgangsepoche [letzte 2 Stellen der Jahreszahl]
EPOCH	79.52111	Ausgangsepoche [Tag und Dezimalen im Jahr]
II	51.6570	Bahnneigung, [Grad]
NODE	135.0424	Rektaszension des aufsteigenden Knotens, [Grad]
EE	0.0004841	Numerische Exzentrizität
OMEGA	131.5736	Argument des Perigäums, [Grad]
MM	228.5725	Mittlere Anomalie zur Ausgangsepoche, [Grad]
NN	15.62894000	Mittlere Bewegung, [Umläufe/Tag]

Um sie länger benutzen zu können, kann man wie in Uraniastar hinzunehmen:

dOMEGA	2.506300	Änderung von OMEGA, [Grad/Tag]
dNODE	-5.047600	Änderung von NODE, [Grad/Tag]
dNN	0.00030000	Änderung von NN, [1/Tag]

2. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

3.1.2 Anmerkungen

Alle Größen sind im folgenden mit mehr Stellen als inhaltlich vertretbar angegeben, um eigene Programme besser nachprüfen zu können.

3.1.3 Aus den Elementen abgeleitete Hilfswerte:

$t_0 = 2450893.02111$ Ausgangsepoche als JD (UT) = 1998 03 20, 7h30 (EDT)

3.1.4 Beobachtungsort:

Häufig wird der Erdradius an einer bestimmten geographischen Breite RHO benötigt. Er berechnet sich zu:

- (1) $RHO = R_{Equ} - 21.40 \cdot \sin(Br)$
RHO wird in Kilometern erhalten
 R_{EQU} = Erdradius am Äquator = 6378.2 km
BR = Geographische Breite
sqr = Quadratfunktion

Daraus folgen die geozentrischen rechtwinkligen Koordinaten des Beobachtungsortes für Orte mit Seehöhe 0 Meter:

- (2) $RHOSINPHI = RHO \cdot \sin(BR)$
 $RHOCOSPHI = RHO \cdot \cos(BR)$

Wiener Urania Sternwarte (Dachterrasse) :

LG	-16.38541667	Geographische Länge, [Grad]
BR	48.2120236	Geographische Breite, [Grad]
SH	186.18	Seehöhe, [Meter]

RHO	6366.3028197
RHOCOSPHI	4242.3515121
RHOSINPHI	4746.8163267

3.1.5 Termin der Rechnung:

1998 März 22, 4h20m37s MEZ = JD 2450894.639317 = t

3.2 Die Bewegung in der Bahnellipse

3.2.1 Zwischenzeit seit t_0 berechnen

- (3) $TAGE = (t - t_0)$
TAGE 1.6182071296 Tage

3.2.2 Wahlweise: Berechnung der aktuellen Werte der stark veränderlichen Elemente mit den täglichen Änderungen

- (4) $NODE = NODE + dNODE \cdot TAGE$
(5) $OMEGA = OMEGA + dOMEGA \cdot TAGE$
(6) $NN := NN + dNN / 2.0 \cdot TAGE$

NODE	126.87433769	Grad
OMEGA	135.62931253	Grad
NN	15.629182731	Umläufe / Tag

3. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

3.2.3 Weitere Hilfsgrößen

(7) $U := 1.0 / NN$

U = Umlaufszeit [Tage]

(8) $AR := \text{pow}(U * \text{Konst}, 2.0/3.0)$

AR = Halbe große Achse in Erdradien

Konst = 17.043235 km³/d², Bohrmann p.25 = Schwerebeschleunigung

pow = Power-Funktion: pow(x,2) bedeutet: x²

(9) $A := AR * \text{Erdradius}$

A = Halbe große Achse in Kilometern

NN	15.62894	
U	0.063983865828	Tage
Konst	17.043235	(*km ³ /d ² , Bohrmann p.25 *)
Erdradius	6378.0	(* km *)
AR	1.0594529443	a in Erdradien
A	6757.1908789	a in Kilometern

3.2.4 Mittlere Anomalie zum Rechenterrin t

(10) $M := NN * 360.0 * \text{TAGE} + MM$

NN 15.629182731

M 333.42427325 [Grad]

3.2.5 Exzentrische Anomalie zum Termin t

(11) $E := M + e0 * \sin(E)$

e0 = EE * 180 / Pi() = Numerische Exzentrizität in Grad

Keplergleichung (11) durch Iteration lösen!

EE 0.0004841

M 333.42427325 [Grad]

E 333.41185894 [Grad]

3.2.6 Ort in der Bahn zur Zeit t

(12) $r := A * (1.0 - EE * \cos(E))$

r = Radiusvektor, Kilometer

(13) $v := \text{atn2}(A * \sqrt{1.0 - \text{sqr}(EE)} * \sin(E), A * (\cos(E) - EE))$

v = Wahre Anomalie in Grad

atn2 = quadrantenrichtiger Arcus Tangens des ersten Arguments dividiert durch das zweite Argument

Erstes Argument = $A * \sqrt{1.0 - \text{sqr}(EE)} * \sin(E)$

Zweites Argument = $A * (\cos(E) - EE)$

r 6754.2656577 Kilometer

v 333.39944194 Grad

3.3 Geozentrischer Ort des Satelliten (Rekt, Dekl, r)

(14) $u := \text{OMEGA} + v$

4. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

$$(15) \text{ Dekl} := \arcsin(\sin(u) * \sin(l))$$

$$(16) \text{ Rekt} := \text{atn2}(\sin(u) * \cos(l), \cos(u))$$
$$\text{Rekt} := (\text{Rekt} + \text{NODE}) / 15.0$$

u	109.02875447	Grad
Dekl	47.855284128	Grad
Rekt	16.396393122	Stunden

3.4 Bahnprojektion auf die Erdoberfläche

GMST = Sternzeit in Greenwich passend zu t

3.4.1 Berechne die geogr. Länge Proj_Lg unter dem Satelliten

$$(17) \text{ Proj_Lg} := (\text{Rekt} - \text{GMST}) * 15.0$$

Proj_Lg in Grad

3.4.2 Berechne die Breite Proj_Br unter dem Satelliten

$$(18) \text{ Proj_Br} := \text{Dekl} + 11.5/60.0 * (\text{Erdradius}(\text{Dekl}) / r) * \sin(2 * \text{Dekl})$$

Bohrmann S. 31

Erdradius(Dekl) berechnet den Erdradius für die Breite gleich der Deklination Dekl, siehe Formel (1)

3.4.3 Berechne die Höhe des Satelliten über dem Subsatelliten-Punkt

$$(19) \text{ Proj_Ho} := r - \text{Erdradius}(\text{Proj_Br}) \quad \text{Erdradius siehe Formel (1)}$$

3.4.4 Beispiel:

GMST	15.305899396	[Stunden]
Proj_Lg	16.357405895	[Grad]
Proj_Br	48.035048704	[Grad]
Proj_Ho	387.89713042	[Kilometer]

3.5 Topozentrischer Ort des Satelliten

GMST = Sternzeit in Greenwich zum Termin t, [Stunden]

LMST = Sternzeit am Ort der Berechnung zum Termin t, [Stunden]

3.5.1 Rekt, Dekl, Distanz topozentrisch

Kartesische Koordinaten

$$(20) x := r * \cos(\text{Dekl}) * \cos(\text{Rekt} * 15.0) - \text{Rho} \cos \Phi * \cos(\text{LMST} * 15.0)$$

$$y := r * \cos(\text{Dekl}) * \sin(\text{Rekt} * 15.0) - \text{Rho} \cos \Phi * \sin(\text{LMST} * 15.0)$$

$$z := r * \sin(\text{Dekl}) - \text{Rho} \sin \Phi$$

Polarkoordinaten

Umwandlung von kartesischen Koordinaten (x,y,z) in Polarkoordinaten (r,theta,phi)

r = Radiusvektor

theta = [-90 Grad,+90 Grad] = Breite

phi = [-180 Grad,+180 Grad] = Länge

$$(21) \text{ Rho} := \text{SQR}(X) + \text{SQR}(Y);$$

5. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

```
R:=SQRT(RHO+SQR(Z));
(22) PHI:=ATN2(Y,X);
    IF PHI<0 THEN PHI:=PHI+360.0;
(23) THETA:=ATN2(Z,SQRT(RHO));
    sqrt = Quadratwurzelfunktion
```

Topozentrischer Ort:

```
DELTA = Entfernung vom Beobachtungsort = R
TOPO_DEKL = Topzentrische Deklination = THETA
TOPO_REKT = Topozentrische Rektaszension = PHI
```

3.5.2 Azimut und Höhe vom Beobachtungsort aus

Stundenwinkel LHA

```
(24) LHA := GMST - Rekt + Länge
    LHA = (* Stundenwinkel, Local Hour Angle *)
```

Geometrische Höhe H

```
(25) H := sin( Br ) * sin( Dekl ) + cos( Br ) * cos( Dekl ) * cos( LHA )
    H := arcsin( H )
```

Azimut Az

```
(26) Z := sin(LHA)
    N := cos(LHA) * sin(Br) - tan(Dekl) * cos(Br)
    Az := arctan( Z / N ) * (180.0/Pi)
    if N < 0 then Az := Az + 180.0
    Az := R360( Az + 180 )
    R360 reduziert das Argument auf 0 ... 360 Grad
```

Beispiel

GMST	15.305899396	[Stunden]
LMST	16.398260507	[Stunden]
x	-120.01541498	
y	-263.78711614	
z	261.15007341	
Topo_Delta	390.11114226	[Kilometer]
Topo_Dekl	42.022686107	[Grad]
Topo_Rekt	245.53585464	[Grad]
Topo_Rekt	16.369056976	[Stunden]
Az	183.01597855	[Grad, NOSW]
H	83.802978435	[Grad]

3.6 Ist der Satellit im Sonnenlicht?

3.6.1 Ausgangsgrößen

ErdRadiusMittel = (6378.2 + 6356.8) / 2.0

ZDsonne : (* Zenitdistanz der Sonne am Subsatellitenpunkt *)

ShadowRadius : (* Radius [km] des Erdschattens über Erdmittelpunkt, gemessen am Subsatellitenpunkt *)

SoRekt, SoDekl : (* Rekt und Dekl Sonne zum Termin t *)

6. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

GMST : (* Sternzeit in Greenwich zu t *)

LMST : (* Sternzeit am Ort zu t *)

SoAz : (* Azimut der Sonne am Ort zu t *)

SoHo : (* Höhe der Sonne am Ort zu t *)

Rekt, Dekl : des Satelliten, geozentrisch

3.6.2 Rechengang

(27) $ZD_{\text{sonne}} := \arccos(\sin(\text{Dekl}) * \sin(\text{SoDekl}) + \cos(\text{Dekl}) * \cos(\text{SoDekl}) * \cos((\text{Rekt} - \text{SoRekt}) * 15))$

(28) $\text{ShadowRadius} := \text{ErdRadiusMittel} / \sin(ZD_{\text{sonne}})$

(29) $\text{InShadow} := (\text{ZD}_{\text{sonne}} > 90.0) \text{ AND } (r \leq \text{ShadowRadius})$

(* es muss die Sonne am Subsatellitenpunkt UNTER dem Horizont stehen und der Satellit tiefer als der Schattenrand sein *)

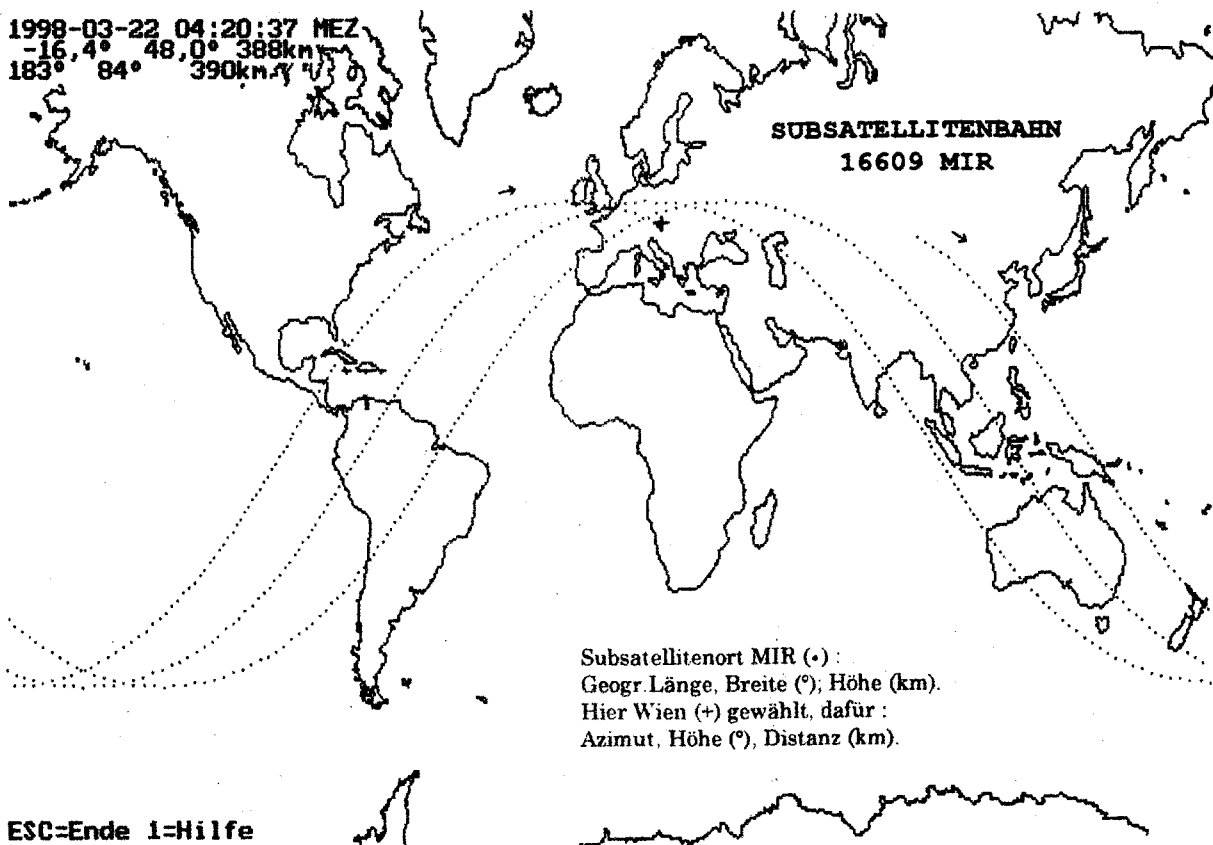
3.6.3 Beispiel

SoRekt	0.079828268887	SoHo	-16.093746757
SoDekl	0.51909409206	ZDsonne	106.23137977
GMST	15.305899396	ShadowRadius	6631.840219
LMST	16.398260507	InShadow	FALSE
SoAz	70.307312562		

4 Darstellung der Satellitenbewegung mit Uraniastar 1.1

Als Beispiel wählen wir MIR mit den Elementen für 1998 03 20 und illustrieren die Rechnung aus Abschnitt 3: MIR stand am 22. März 1998 um 4h20m37s MEZ für Wien zenitnah:

1998-03-22 04:20:37 MEZ
-16,4° 48,0° 388km
183° 84° 390km



Subsatellitenort MIR (*):
Geogr. Länge, Breite (°); Höhe (km).
Hier Wien (+) gewählt, dafür:
Azimut, Höhe (°), Distanz (km).

7. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

In der umseitigen Weltkarte ist die Erdoberfläche in ein Rechteck ausgebreitet worden, was natürlich in hohen geographischen Breiten erhebliche Verzerrungen gegenüber einem Globusbild mit sich bringt, hier aber nicht weiter schadet. Es gibt auch eine Europakarte.

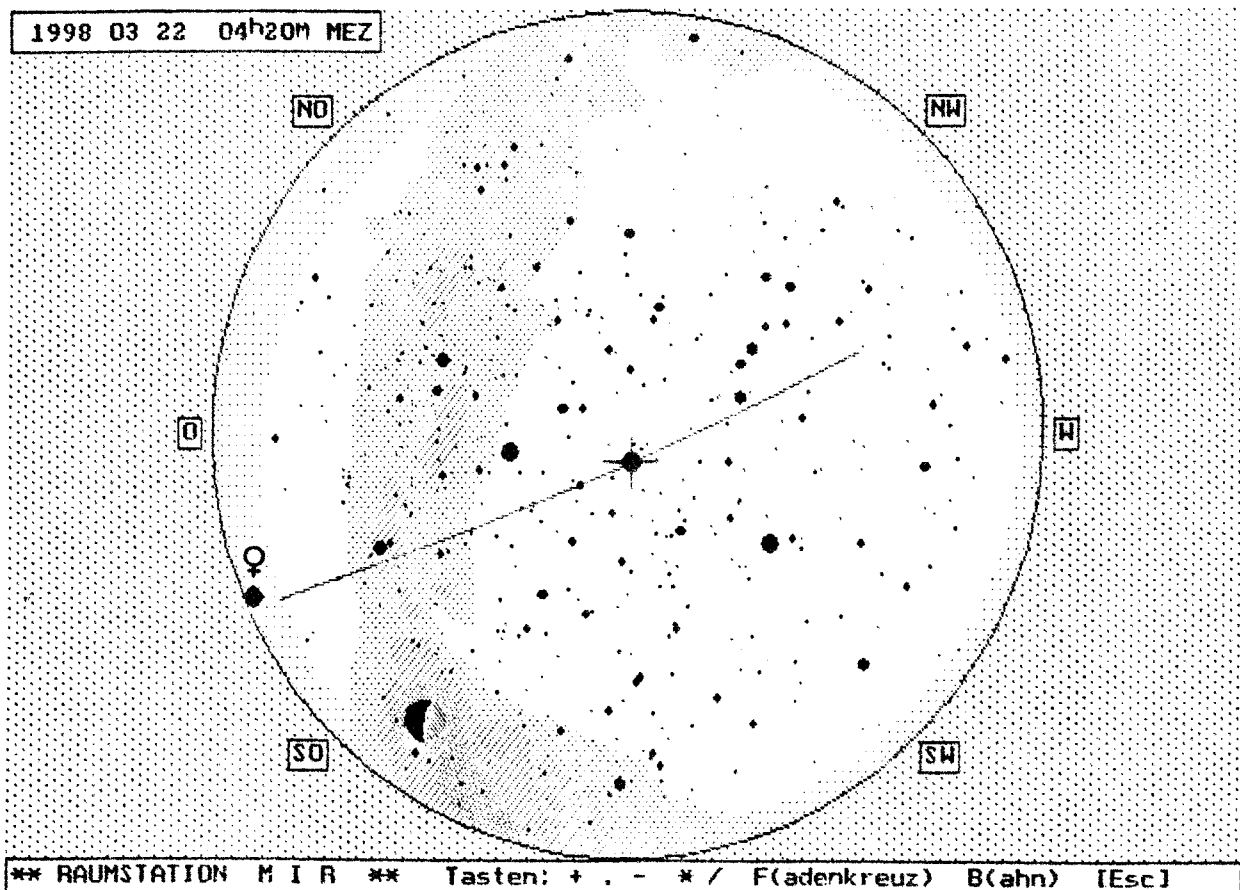
Subsatellitenbahn:

Die Raumbahn von MIR hatte damals eine Apogäumhöhe von 382.53 km und eine Perigäumhöhe von 375.99 km; der Unterschied von nur 6.54 km macht die große Kreisähnlichkeit ihrer Bahn deutlich. MIR besaß damals eine Umlaufzeit von 92.14 Zeitminuten, also etwas mehr als 1 ½ Stunden. Es sind fast drei Umläufe punktiert dargestellt, um den Betrag der jeweiligen Veränderung der Subsatellitenbahn infolge der Erddrehung zu zeigen.

Auf dem Bildschirm sind die Bahnpunkte im Sonnenlicht und der Ort von MIR (o) weiß, im Erdschatten schwarz dargestellt. In der ersten Zeile des Schriftfeldes links oben steht die jeweilige Uhrzeit; in der zweiten für den jeweiligen Subsatellitenpunkt die zugehörige geographische Länge (westlich von Greenwich positiv, östlich negativ), die Breite (nördlich positiv, südlich negativ) und die dortige Höhe über der Erdoberfläche in km. Die Bahnpunkte haben ½ Zeitminute Abstand. Die Bewegung kann schrittweise oder stetig vor- oder zurück erfolgen sowie angehalten, beschleunigt oder verzögert werden.

Beobachtungsort und lokale Sichtbarkeit:

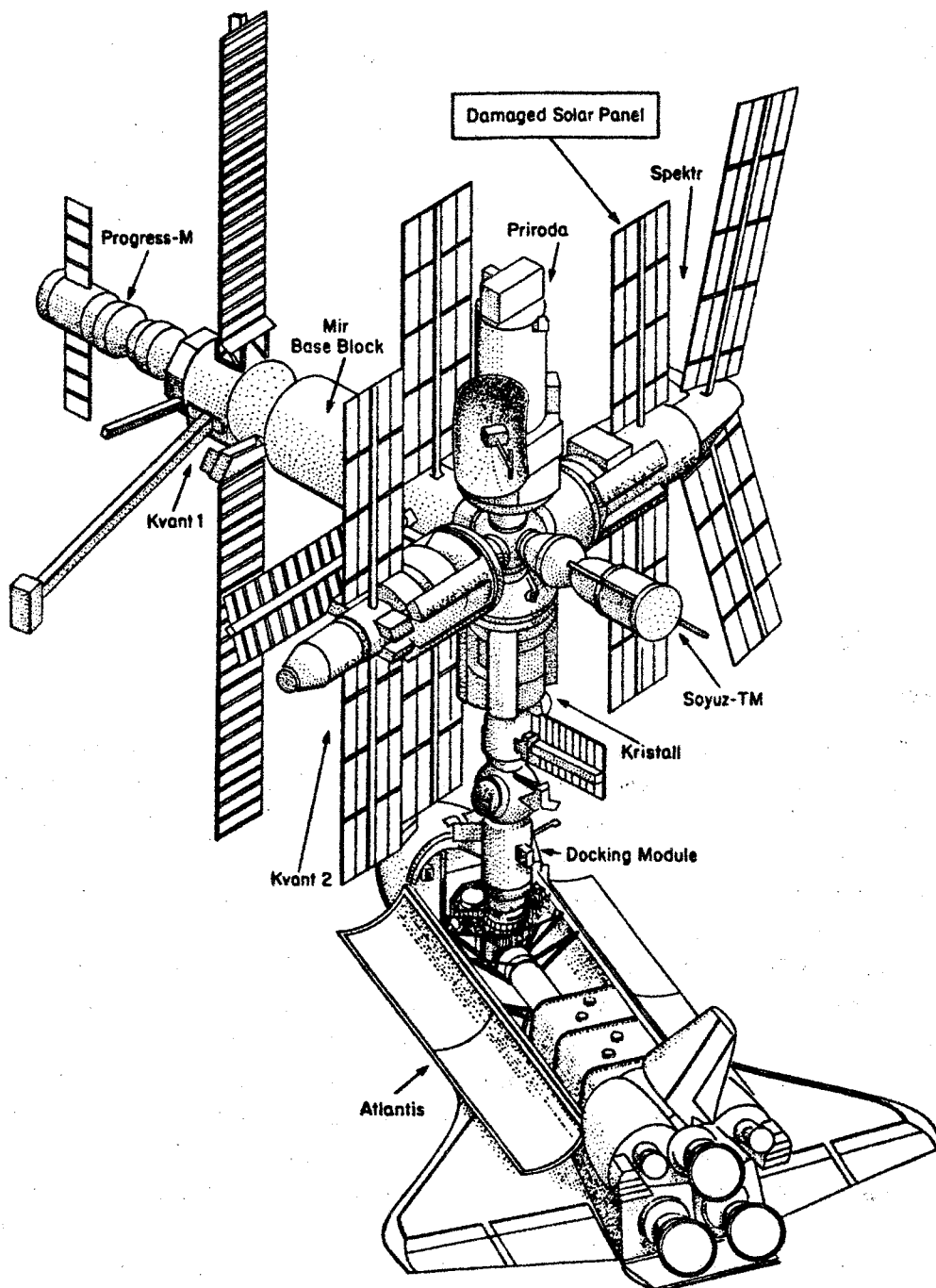
Die geographische Länge, Breite sowie die Seehöhe des Beobachtungsortes kann vorab eingegeben werden und wird mit einem Kreuz (+) markiert. Für Sonnenhöhen unter -6° (Ende der bürgerlichen Dämmerung) ist es auf dem Bildschirm schwarz, sonst weiß. Ein dortiger Beobachter sieht daher MIR dann mit freiem Auge, wenn sie weiß und der Beobachtungsort schwarz dargestellt sind und sie genügend hoch am Himmels steht. Für positive Satellitenhöhen kann eine Sternkarte gezeichnet werden:



8. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

Die nebenstehende Abbildung entspricht der vorangehenden hinsichtlich des markierten Subsatellitenortes und zeigt MIR am Himmel für Wien am 22. März 1998, 4h20m37s MEZ; die Zeitsekunden sind nicht ausgewiesen, aber berücksichtigt. Der jeweilige Satellitenort kann auch hier durch Azimut und Höhe angezeigt werden, ebenso die scheinbare Bewegung, Bahn und Helligkeit. Die Karte hat die Sternengrenzgröße +5,0mag visuell, auch die Milchstraße, die fünf hellen Planeten, der Mond und die Dämmerung werden dargestellt. Erwähnt sei nochmals, daß die beiden Karten je nach eingegebenen Bahnelementen auch die Phänomenologie anderer Satelliten zeigen können. Der nächste MIR in dieser Beziehung entsprechende Satellit wird die Internationale Raumstation sein, die eine ähnliche Raumbahn hat.- Zur lokalen Sichtbarkeit von Satelliten siehe auch (Lit.9 und 10).

5 Aufbau und gegenwärtiger Ausbauzustand der Raumstation MIR



5.1 Aufbau von MIR im Überblick

MIR ist die erste aus Teilen aufgebaute Raumstation, siehe umseitige Abbildung des Ausbaustandes seit 1997 aus „The MIR Space Station“ (Lit.5). Das Wort „Mir“ bedeutet im Russischen „Friede“ oder „Welt“. Ebenfalls aus der ehemaligen USSR gingen ihr der erste künstliche Erdmond „Sputnik 1“ (1957) sowie die erste Raumstation „Saljut 1“ (1971) voran. Die USA folgten mit ihrem ersten Satelliten „Explorer 1“ (1958) und ihrer ersten Raumstation „Skylab 1“ (1973).

Ursprünglich nur für eine Lebensdauer von fünf Jahren bestimmt, bewährte sich MIR - nun schon mehr als zwölf Jahre im Umlauf - in personeller und technischer Hinsicht denkbar vielseitig. Für die in Bau befindliche „Internationale Raumstation“ sind MIR-Erfahrungen daher verständlicherweise sehr wertvoll. Dieses große Unternehmen entsteht in internationaler Zusammenarbeit zwischen RSA (Russian Space Agency), NASA (US National Aeronautics and Space Administration), ESA (European Space Agency) und NASDA (Japanese Space Agency).-

Der Aufbau von MIR vollzog sich in mehreren Schritten, wie kurz beschrieben werden soll:

Teil	Gestartet Datum	Länge/Durchmesser m		Druckraum m ³	Masse t
Basisblock	1986 02 20	13,1	4,2	90	20,9
Kvant 1	1987 07 30	5,8	4,2	40	11,1
Kvant 2	1989 11 26	12,4	4,4	61	18,5
Kristall	1990 06 10	13,7	4,4	61	19,6
Spektr	1995 05 20	13,0	4,4	62	19,6
Priroda	1996 04 23	13,0	4,4	66	19,7
Dockmodul	für Space Shuttle	4,6	2,2	4	4,2
Soyus	Personenfähre	7,0	2,7	10	7,1
Progress	Lastfähre	7,0	2,7	8	7,2
Gesamt	Siehe Graphik	Etwa 35 x 30 x25 m		402	127,9

5.2 Einzelteile von MIR

5.2.1 Basisblock

Im Wohnraum sind alle Einrichtungen untergebracht, die für einen längeren Aufenthalt der Besatzung erforderlich sind - wie Einrichtungselemente, Küchenelemente, Vorats- und Abfallbehälter sowie Einzelkabinen mit Sitz- und Schlafgelegenheiten. Am Ende des Wohnabschnitts liegt der Wasch- und Toilettenbereich.

Der Arbeitsraum enthält die Zentrale mit den Kommando- und Überwachungseinrichtungen für die ganze Raumstation sowie auch wissenschaftliche Geräte.

Der Antriebs- und Treibstoffbereich schließt an den Arbeitsbereich an, der außen Antennen für Satellitenkommunikation und Andockradar sowie verschiedene Sensoren trägt.

Im Zustand der Schwerelosigkeit ist es an und für sich belanglos, wo in den Aufenthaltsräumen oben und unten ist. Die gewohnte irdische Orientierung wurde aber, weil sie zum Wohlbefinden der Besatzung entscheidend beiträgt, auch in der Raumstation vorgesehen. So ist der Boden der Arbeiträume mit dunkelgrünem Teppich bedeckt, die Wände sind hellgrün und die Decke ist weiß. Auch die innere Ausgestaltung und die Einrichtung trägt diesem Konzept Rechnung und verstärkt die Vorstellung von „oben/unten“. Im Wohnbereich herrschen weiche Pastelltöne vor, um eine gemütliche Umgebung zu schaffen.

5.2.2 Kvant 1

Dieses wissenschaftliche Laboratorium ist in einen Wohn- und einen nicht unter Druck stehenden Instrumentenraum geteilt. Die astrophysikalische Ausrüstung, die wir hier verständlicherweise etwas eingehender vorstellen, umfaßt folgende Instrumente für den Röntgen-, Gamma- und Ultraviolett-Bereich:

Röntgen-Teleskope:

Das Max Planck Institut für Extraterrestrische Physik in Garching und das Institut für Astronomie der Universität Tübingen baute ein Szintillations-Spektrometer, das als „High Energy X-Ray Experiment HEXE“ bekannt wurde (siehe auch Referat „Röntgen-Astronomie mit Rosat“). Es enthält vier identische Phoswich-Detektoren für Röntgenstrahlung von 15 bis 200 keV in einem $1,6^\circ \times 1,6^\circ$ großen Sehfeld. Ein Phoswich-Detektor besteht aus zwei Kristallen Na(Tl) und CsI(Na), die optisch verbunden ein PHOosphor SandWICH bilden. Ersterer dient als Röntgendetektor, letzterer liefert die aktiver Schicht eines Szintillators. Die Helligkeit der Szintillation wird mit Hilfe eines Photomultipliers gemessen.

Ein Hochdruck-Gasszintillations-Proportionalzähler „Sirene 2“ der ESA erfaßt Röntgenstrahlung von 2 bis 100 keV in einem $3^\circ \times 3^\circ$ großen Sehfeld. Dabei handelt es sich um eine verbesserte Version des schon auf dem Satelliten EXOSAT verwendeten Instruments zum Studium der Strahlung von überhitztem und hochverdünntem Gas.

Das TTM, ein von der Space Research Organisation in Utrecht und der Universität von Birmingham beigestelltes „Weitwinkel Coded-Mask Imaging Spektrometer“, ist eine verbesserte Ausführung des schon bei der SPACELAB 2 - Mission verwendeten Instruments. Es kann Röntgenstrahlung im Bereich von 2 bis 30 keV in einem $7,8^\circ \times 7,8^\circ$ großen Feld erfassen. Damit ist Ortsbestimmung von Röntgenquellen bis auf 2' genau möglich.

Aus Rußland kamen das Röntgenteleskop „Pulsar X-1“, ein Spektrometer mit vier gleichartigen Phoswich-Detektoren für Röntgen- sowie Gammastrahlung von 50 bis 800 keV mit $3^\circ \times 3^\circ$ großem Sehfeld und ein 180° Weitwinkel-Scanner bis 1300 keV für eine Röntgen-Durchmusterung mit zeitlicher Auflösung von einer Millisekunde.

Prominente Beobachtungsobjekte im Röntgenbereich waren u.a. die Supernova 1987A, Supernova-Reste, Doppelsterne, bei denen eine Komponente ein weißer Zwerg, Neutronen-Stern oder vermutlich ein schwarzes Loch ist, Pulsare, transiente Röntgenquellen, Novae und rekurrende Novae, Kugelhaufen, das Galaktische Zentrum und Quasare.

Ultraviolett-Teleskop:

Für die Ultraviolett-Spektrometrie im Bereich zwischen 115 und 135 nm ist das „Glasar-Teleskop“ des Byurakan Astrophysical Observatory in Armenien bestimmt. Trotz Bildverstärker waren für schwache Objekte doch Belichtungszeiten bis zu zehn Minuten nötig. Ziel war die Durchmusterung nach hellen Quasaren, Kernen aktiver Galaxien sowie Stern-Assoziationen im UV. Im Transfertunnel von Kvant 1 war eine kleine Luftschleuse eingebaut, um den Filmwechsel am Instrument außerhalb des Druckraumes zu ermöglichen.

Kreiselanlage und Sofora-Mast mit Lagestabilisierungseinheit:

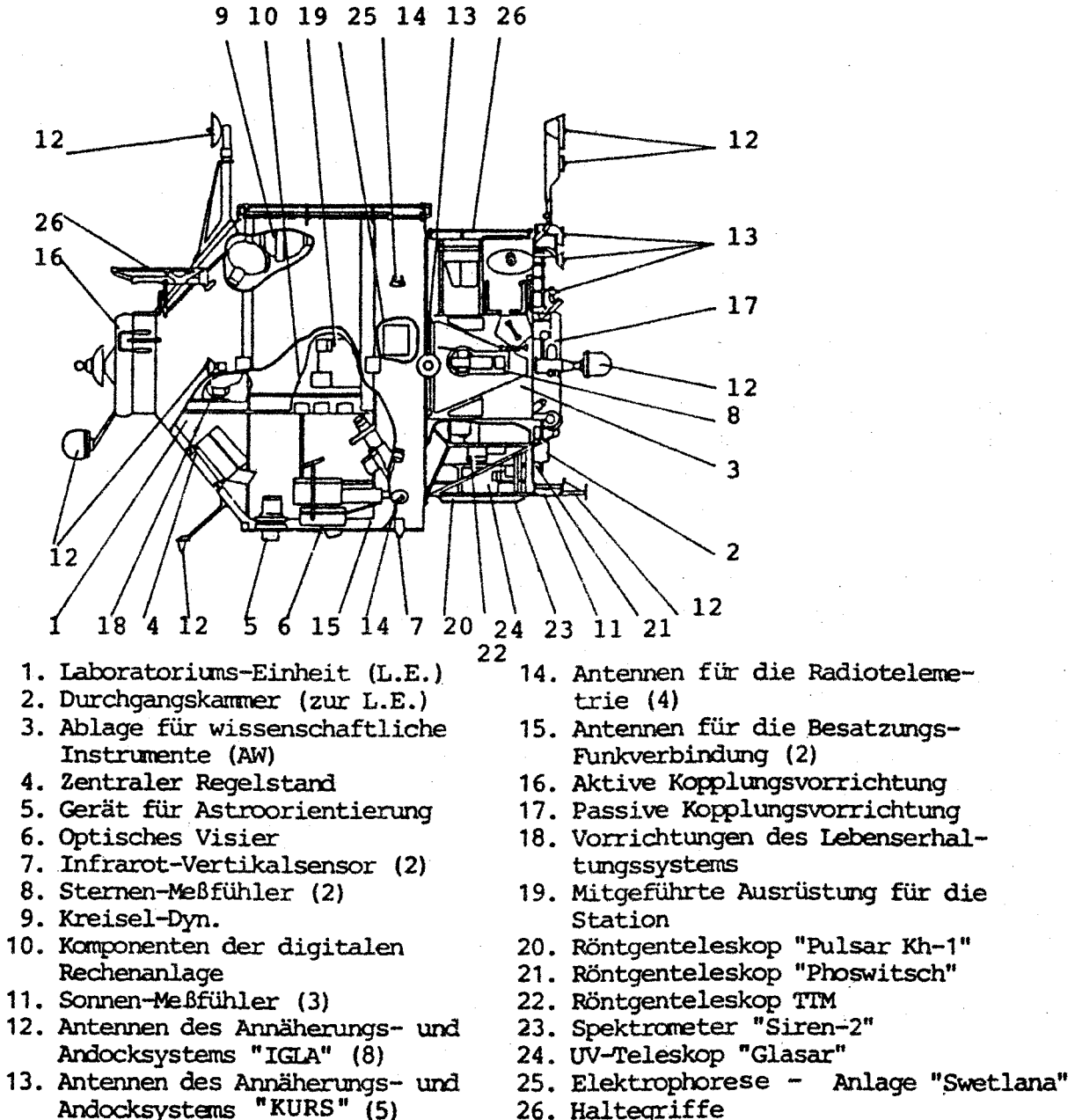
In Kvant 1 sind auch die sechs 165kg-Kreisel untergebracht, die in magnetischer Lagerung mit 10 000 U/min rotieren können - je zwei für die drei Raumachsen. Mit diesen war es möglich, die Orientierung der Raumstation mit von Sonnenzellen versorgten Elektromotoren ohne Einsatz von Treibstoff zu bewahren oder zu ändern. Das war letztlich auch nötig, um die Raumstation und ihre Teleskope mit einer Genauigkeit von 1,5' zu stabilisieren. Dem diente auch der außen angebrachte 14m-Mast „Sofora“ mit der Lagestabilisierungseinheit, aus der kleine Stöße kalten Gases Lagekorrekturen bewirken.

11. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

Svetlana:

Fast die Hälfte der wissenschaftlichen Geräte-Nutzlast von 1600kg entfällt auf „Svetlana“, eine halbindustrielle, biotechnische Elektrophorese-Anlage, u.a. zur Isolierung von Mikroorganismen für die Herstellung landwirtschaftlich einsetzbarer Antibiotika.

Kvant 1, Querschnitt schematisch, (Lit.4). Zu vergleichen mit vorangehender Abbildung:



5.2.3 Kvant 2

Ein Raum enthält eine Luftschleuse, um die Raumstation zu Außenarbeiten bequem verlassen zu können. Dort sind auch Hilfsmittel zur Fortbewegung im Raum aufbewahrt, die solche Tätigkeiten erleichtern („Weltraum-Motorrad“). Damit kann u.a. leichter Material dem Weltraum ausgesetzt werden, um später Veränderungen feststellen zu können.

In einem weiteren Raum sind wissenschaftliche Instrumente zur Erdbeobachtung untergebracht, z.B. die Multispektralkamera „MKF-6MA“, mit der simultan in sechs Spektralberei-

13. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

Eine weitere Besonderheit auf Spektr ist der fernbedienbare Manipulator-Arm „Pelikan“, mit dem Lasten aus einer Luftschleuse gehoben und an den Außenwänden angebracht werden können, wo kleine Plattformen mit Strom-, Daten- und Telemetrie-Anschluß vorhanden sind. Er erspart der Besatzung Ausstiege - wichtig, weil ein Raumanzug nur auf zehn solche EVA's berechnet ist.

Am 25. Juni 1997 wurde Spektr von der unbemannten Lastfähre Progress 34 bei der Erprobung des neuen TORUS-Leitsystems gerammt. Dabei wurde eine Sonnenzellenfläche beschädigt und in Spektr kam es infolge eines Lecks zu leichtem Druckverlust. Der nötige Abschluß von Spektr führte auch dazu, daß der Raumstation nur mehr die halbe elektrische Energie zur Verfügung stand. Der Schaden konnte jedoch weitgehend behoben werden: Nach jüngster Mitteilung des russischen Kontrollzentrums in Korolev, „arbeiten alle Systeme an Bord der Raumstation MIR gut“.

5.2.7 Priroda

In diesem vorläufig letzten Zusatzteil für MIR werden vor allem Fernerkundung und Erdwissenschaften betrieben (das Wort Priroda bedeutet im Russischen Natur).

Mit den Mikrowellen-Radiometern des Systems „Ikar“, werden die überflogenen Gebiete senkrecht, schräg und in einem Panoramafeld in 11 Wellenlängen untersucht. „Istok-1“ ist ein 64-kanaliges, im Infraroten arbeitendes Spektral-Radiometer zur Beobachtung der Ozeane. „Greiben“ mißt das mittlere Meeresniveau im überflogenen Bereich. Zur Erfassung der Konzentration von Ozon und Aerosolen in der Hochatmosphäre dient das Spektrometer „Ozon-M“ und das 17-kanalige Spektrometer „MOZ“ untersucht die unter dem Ort der Raumstation vom Meer reflektierte Sonnenstrahlung im visuellen und infraroten Spektralbereich. Die optischen Scanner „MSU-KS“ für mittlere und „MSU-E“ für hohe Auflösung liefern Wolkenbilder und mit dem synthetischen Apertur-Radar „Travers“ läßt sich in mittlerer Auflösung durch die Wolken sehen.

Der Modular Optoelectronic Multispectral Scanner „MOMS“ liefert Bilder der Erdoberfläche bis hin zu hochauflösender Relief-Topographie; dieses vielseitig einsetzbare Instrument der DLR ist auf einer fernsteuerbaren Plattform an der Außenwand von Priroda montiert und hat sein eigenes Global Positioning System (GPS), um für jede Aufnahme den Ort des Instruments bis auf 5m und die Richtung der Visur bis auf 10° genau zu erfassen.

Dank seiner reichen Geräteausstattung können auf Priroda u.a. folgende Beobachtungsschwerpunkte gesetzt werden:

Ökologische Situation großer Industriebezirke, Beeinflussung der Natur durch den Menschen, Konzentration kleiner Mengen von Ozon und anderen technisch produzierter Gase, Temperaturfeld an der Oberfläche der Ozeane, Auswirkung des Energie- und Massenaustausches zwischen Ozeanen und Lufthülle auf das Wetter, Wolkenforschung, Datenbeschaffung für geologische Karten der Rohstoff- und Wasservorräte, der Erosion, der Situation der Wälder sowie der landwirtschaftlich genutzten Flächen. Zudem werden Atomkraftwerke überwacht und ein Warnsystem vor Erdbeben und anderen Katastrophen aufgebaut.

6 Nähers zu MIR und zu Arbeiten auf MIR

Näheres über MIR und auch über Saljut und ISS findet sich in (Lit.5). Eine umfangreiche Auflistung der Publikationen astrophysikalischer Beobachtungen auf MIR, z.T. mit Zusammenfassungen, enthält (Lit.6) und über die Ergebnisse der österreichischen medizinischen

12. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

chen zwischen 450 bis 840nm Aufnahmen gemacht werden können. Wenn sie überlappen, ist auch Stereophotogrammetrie möglich.

Um für Erdaufnahmen nicht die ganze Raumstation entsprechend ausrichten zu müssen, wurde außen auf Kvant 2 die fernsteuerbare Plattform ASPG-M angebracht, die mit einer Genauigkeit von besser als 0,5' einstellbar ist. Auf ihr waren beziehungsweise sind z.B. angebracht: „ITS-7D“ Spektrometer, „ARIZ“ Röntgen-Spektrometer, „MKS-M2“ Optisches Multibereichs-Spektrometer und die „Gamma-2“ Video-Spektralkamera.

Ferner gibt es auf Kvant 2 Einrichtungen für zoologische Experimente, beispielsweise für die Geflügelzucht unter Schwerelosigkeit.

Schließlich ist ein Aufenthaltsraum mit Waschgelegenheit und Vorräten an Sauerstoff und Trinkwasser vorhanden und Kvant 2 enthält auch Einrichtungen zur Bewegungskontrolle der Station und für die Energieverteilung auf ihr.

5.2.4 Kristall

Dieser hauptsächlich für technologische Untersuchungen und industrielle Fertigung von Halbleiterteilen hoher Qualität für Mikroelektronik bestimmte Teil besitzt dazu eine Anzahl Öfen: „Krater“ für die Untersuchung von Supraleitern, „Optizon“ für die Herstellung von Halbleitern (speziell Silikon) und „Zona“ für die Züchtung von Einkristallen.

Außerdem trägt Kristall das UV-Teleskop „Glaser 2“ und die Röntgenteleskope „Pulsar X-2“ sowie „Marina“, „Buket“ und „Granat“ - Detektoren für kosmische Strahlung.

Ferner beherbergt es das Elektrophorese-Experiment „Ainur“, ein Gegenstück zu „Svetlana“ auf Kvant 1, sowie „Svet“, einen Kultivator für höhere Pflanzen unter Einwirkung einer Nährlösung und intensiver Beleuchtung: Rettich und Lattich wuchsen rasch.

Für multispektrale Erdbeobachtungen steht auf Kristall das System „Priroda-5“ zur Verfügung, das aus zwei Kameras „KFA-1000“ besteht; das sind Filmkameras mit einer Auflösung von 5m am Erdboden.

5.2.5 Dockmodul

Dieses Andocksystem ist für Anschlußteile bis 100 t bestimmt, u.a. für das Space Shuttle, siehe Gesamtdarstellung in Abschnitt 5.

5.2.6. Spektr

Dieser Teil besitzt sehr leistungsfähige Solarzellen, was ihm die Bezeichnung „Power Module“ eintrug. Die Hauptaufgaben von Spektr liegen auf geophysikalischem Gebiet: Erdbeobachtung mit Schwerpunkt natürlicher Rohstoffbestände und Lufthülle, wozu eine Anzahl multispektraler Sensoren vorhanden ist:

Mit „Balkan-1 Lidar“ werden Wolkenhöhen gemessen; mit „Pion-M“, „Lira“ und „Buton“ wird die Erdatmosphäre untersucht. Das „Astro-2 Spektrometer“ erfaßt die Zusammensetzung der in der Höhe der MIR-Bahn vorhandenen Gase und mit den Spektrometern „Faza“ und „Feniks“ wird die Erde studiert. Der Röntgenstrahlendetektor „Taurus“ und der Gammastrahlendetektor „Grif“ messen die Strahlung, der MIR beim Durchfliegen des Erdmagnetfeldes ausgesetzt ist. Weiters sind Spektrometer („Volkov“, „Svet“, „Ryabina“ und „KR-05“) sowie Radiometer („Yusa“ und „Neva-5“) im Einsatz. Die „tellurischen Linien“, die besonders beim Auf- und Untergang der Sonne durch die Absorption in der Erdlufthülle auftreten, werden mit dem „Mir InfrAred Atmospheric Spektrometer MIRAS“ in ihrer tages- und jahreszeitlichen Änderung gemessen.

14. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

mente bei Austromir wird im Überblick in (Lit.7) berichtet. (Lit.8) ist ein illustrativer Leitfaden zur Fernerkundung aus Erdumlaufbahnen (u.a. mit MOMS, vgl. Abschnitt 5.2.7, Priroda).

7 MIR im Planetarium der Stadt Wien und auf der Wiener Urania Sternwarte

Um die künstlichen Erdmonde und ihre heutige, so bedeutende Rolle für das himmelskundliche Weltbild am Beispiel von MIR und auch MIR (sowie in Nachfolge die Internationale Raumstation) wirkungsvoll zu erläutern, z.B. im Planetarium der Stadt Wien und auf der Wiener Urania Sternwarte, wurden folgende didaktische Hilfsmittel geschaffen und eingesetzt:

7.1 Subsatellitenbahn und Himmelsbahn in elektronischer Projektion

In der 20m-Kuppel des *Planetariums* wird in einem 4 x 6m großen Feld, allen Gästen bequem sichtbar, der Computer-Bildschirm projiziert. So kann auch die Subsatellitenbahn und Himmelsbahn jedes Erdsatelliten, vor allem MIR, nach Voreingabe der Bahnelemente sowie der geographischen Koordinaten des Beobachtungsortes für Zeitpunkte nahe der Epoche der Bahnelemente gezeigt werden. Dies kann dem ganzen Publikum oder auch nur, falls MIR unter den Sternen des Planetariumshimmels gezeigt werden soll, allein dem Vortragenden am Schaltpult sichtbar erfolgen.

Unter der 7,3m-Kuppel der *Urania Sternwarte* bestehen ähnliche Vorführungsmöglichkeiten. Dort ist die 2 x 3m große Projektionsfläche links neben dem Torspalt, ebenso wie der Projektor mit der Kuppel mitdrehend, angebracht. Die Weltkarte mit der Subsatellitenbahn erweckt den Eindruck, in einem Raumflug-Kontrollzentrum zu sein und wenn der Spalt in die entsprechende Richtung gedreht und auf die volle Breite von 2m geöffnet wird, kann der Anblick des echten Himmels mit der projizierten Sternkarte samt dem Satellitenort verglichen werden. Die genaue Übereinstimmung erweckt stets freudiges Staunen der Besucher.

7.2 Modell der Raumstation MIR und MIR-Gästecomputer

Im *Oswald Thomas Saal des Planetariums* wird derzeit außer dem Modell 1:10 des Hubble Weltraum-Teleskops samt Startkomplex mit Space Shuttle, Bildern und einem Interaktivem Experiment zur Wirkung der Erdlufthülle auch die Raumstation MIR vorgestellt. Die hervorragend naturtreuen Modelle wurden von *Josef Fahrleitner, Graz*, gebaut.

Das 1,0 x 1,4m große MIR-Modell 1:25 zeigt den derzeitigen, hier beschriebenen Ausbaustand der Raumstation. Zur besseren Betrachtungsmöglichkeit wird es mit einem oberhalb der Saaldecke angebrachten Elektromotor langsam gedreht. Unter dem Modell steht ein Computer, der die Subsatellitenbahn und Himmelsbahn zeigen kann. Die Ausstellungsbesucher können auf diese Weise leicht selbst die Sichtbarkeit der Raumstation für jeden gewünschten Beobachtungsort und Zeitpunkt beurteilen und auch vorhersagen.

Außerdem sind zwei Bilder mit Aufnahmen der Erdoberfläche von Bord der MIR zu sehen, die mit der Kamera Priroda-5/KFA-1000 (100cm Brennweite, Bildformat 30x30cm, infrarotsensibilisierter Spektrozonal-Farbfilm) am 25. September 1991 aufgenommen wurden. Sie zeigen St. Pölten und Umgebung sowie das Grenzgebiet zur Slowakei entlang der March nördlich Marchegg und stammen dankenswerterweise von *Dipl. Ing. R. Kalliany, TU Graz*.

8 Literatur

- 1 Mucke, H.: Österreichischer Himmelskalender, 1998 im 42. Jahrgang. Astronomisches

15. Fortsetzung Referat: Künstliche Erdmonde - Raumstation MIR

Büro, Wien 1997. ATS 88.-

- 2 Bohrmann, Alfred: Bahnen künstlicher Satelliten. BI Hochschultaschenbücher Nr.40, Bibliographisches Institut, Mannheim 1963. Nur mehr antiquarisch erhältlich.
- 3 Pietschnig, Ing.M., und Vollmann, W.: Uraniastar[®]1.1. Software für Astronomische Phänomenologie, Arbeit am Fernrohr und himmelskundliche Bildung. Seit 1988 (Release 1.0), auf der Wiener Urania Sternwarte im Führungsbetrieb eingesetzt. 1995 in der erweiterten Release 1,1 erhältlich. Prospekt zu Leistung, Systemanforderungen und Preis gern vom Astronomischen Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien.
- 4 Riedler, W: Austromir Handbuch. Eine wissenschaftlich-technische Beschreibung. Forschungsgesellschaft Joanneum GmbH, Graz 1991. Restexemplare ebendort unentgeltlich erhältlich, Steyrergasse 17, A-8010 Graz.- Weiters: Erlebnisse und Erfahrungen von F.Viehböck und Ch.Lothaller in „Austromir 1991, der österreichische Schritt ins Raumzeitalter“, Tau Edition & Tau Type, Bad Sauerbrunn, 1991. ATS 298.-
- 5 Harland, D.M.: The MIR Space Station, a Precursor to Space Colonisation. Das Buch ist ein sehr eingehendes Standardwerk für MIR, behandelt aber zudem Saljut und die Internationale Raumstation. Wiley - Praxis Series in Space Science and Technology, John Wiley & Sons, Cichester - New York - Weinheim - Brisbane - Singapore - Toronto. Published in association with Praxis Publishing, Chichester, 1997. ISBN 0-471-97587-7. S 693.-
- 6 Abalakin, V.K.: Liste der Veröffentlichungen über astrophysikalische Beobachtungen und zugehörige Instrumente an Bord von MIR. Mit kurzen Zusammenfassungen. Privatmitteilung des Autors. Leider kann die umfangreiche, von 1984 bis 1998 reichende Liste hier aus Platzgründen nicht wiedergegeben werden, aber eine autorisierte A4-Kopie wird unentgeltlich gegen Einsendung eines mit ATS 14.- freigemachten Umschlages für A4 vom Astronomischen Büro, Hasenwartg.32, A1238 Wien, zugeschickt.
- 7 Bachi, N., Frisch, B., Gerstenbrand, F., Mossaheb, M, Stepan, Ch.: Österreichische Medizin im Weltraum. Zu den Medizin-Experimenten des Projektes Austromir und deren ersten Ergebnissen. Der Sternbote, 38.Jg., Nr.471 (10 / 1995), ISSN 0039-1271, Astronomisches Büro, Wien. ATS 18.-
- 8 Drury, S.A.: Images of the earth, a guide to remote sensing. Verschafft eine Vorstellung von den Methoden und Möglichkeiten der Fernerkundung der Erde aus Umlaufbahnen. Solche Beobachtungen können auf MIR (vor allem auf den Modulen Spektr und Priroda) gemacht werden. ISBN 019-854997-0, Oxford University Press, Oxford Science Publications, Oxford, New York, Tokyo. 2.Auflage, 1998. ATS 445.-
- 9 Puttkamer, v J., für NASA: Space Station MIR. Neuigkeiten, Elemente und lokale Sichtbarkeitsverhältnisse. URL: <http://www.hq.nasa.gov/osf/mir/>
- 10 Peat, Ch., Anite Systems, für DLR: GSOC Satellite Visibility - Home Page. Die lokalen Sichtbarkeitsverhältnisse für alle Satelliten heller als +3,5mag / +4,0mag / +4,5mag, MIR für nächste 10 Tage, Iridium Flares für nächste 7 Tage / 24 Stunden / Letzte 48 Stunden. URL: <http://www.gsoc.dlr.de/satvis/>

Univ.Prof.Dr.Viktor K.Abalakin, Direktor, Zentralsternwarte, 196140 Pulkovo / St.Petersburg.
Prof.Hermann Mucke, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien.
Wolfgang Vollmann, Gerichtsgasse 20/23, A-1210 Wien.

Gastvortrag: **Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO**

1 Allgemeines zur Infrarot-Astronomie

1.1 Der infrarote Spektralbereich

Der infrarote (IR) Spektralbereich wurde den Astronomen erst in den 60-er-Jahren zugänglich. Der astronomische Zugriff auf das IR ist vor allem Dr. F. Low zu verdanken, der durch hervorragende Kontakte mit amerikanischen Militärkreisen das Potential der damals in der Ausmusterung begriffenen Panzer-IR-Nachtsichtgeräte für die Astronomie erkannte und selbst weitreichende astronomische Adaptierungen vornahm.

Das Infrarote erstreckt sich zwischen circa 760 nm (oder auch 1 μm) und etwa 1 mm, schließt somit an den langwelligen Teil des sichtbaren Lichts an und endet an der Grenze der Radiowellen (ab und zu wird in der Literatur auch der sog. Submillimeter-Bereich zwischen die Infrarot-Strahlung und die Radiowellen-Strahlung gefügt).

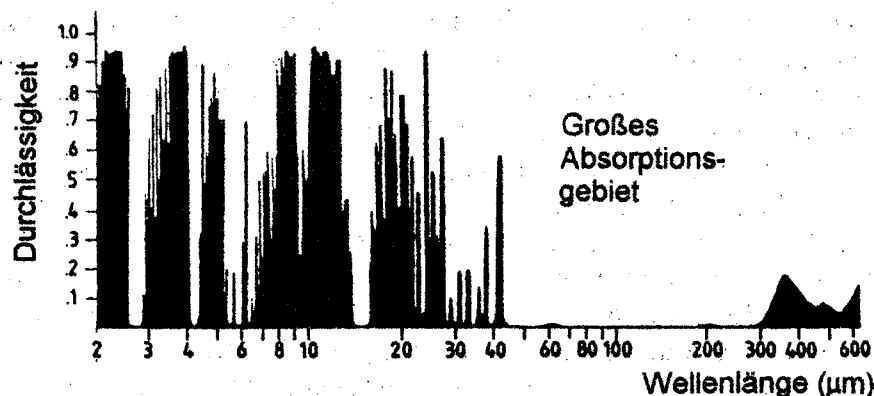
Die Atmosphäre der Erde ist für einen großen Teil des IR-Wellenlängenbereiches undurchlässig und Astronomen, die Planeten, Sterne, Staubwolken Galaxien etc. im IR untersuchen wollen, müssen ihre Beobachtungen auf die sog. atmosphärischen Fenster beschränken oder sie müssen ihre Beobachtungen von großen Höhen aus vornehmen, wobei sich heutzutage besonders Satelliten anbieten.

Die atmosphärischen Infrarot-Fenster, in denen Beobachtungen mit Teleskopen von Bodenobservatorien auf hohen Bergen (am besten über 3000 m, denn besonders irdischer Wasserdampf verhindert die IR-Transparenz der Atmosphäre) aus durchgeführt werden können, sind:

1.0 – 2.5 μm 3.0 – 5.0 μm 7.5 – 14.5 μm 17 – 24 μm
320 – 370 μm 420 – 500 μm 600 – 1000 μm

Die Fenster oberhalb 40 μm sind allerdings nur zu Zeiten besonders günstiger Wettersituationen nutzbar, wenn der Wasserdampfgehalt der Luft über dem Observatorium weniger als etwa 1 mm an niederschlagbarem Wasser beträgt.

Abb. 1: Die Durchlässigkeit (Transmission) der Erdatmosphäre für Infrarotstrahlung



Beobachtungsobjekte: Planeten und Monde, Zodiakallicht, Protosterne und Umgebung, feste Teilchen um junge Sterne (z.B. entstehende Planetensysteme), von ionisiertem Wasserstoff

1. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

dominierte Areale („H II Regionen“), kühle Sternoberflächen, Rote Riesensterne mit Massenabfluß, Planetarische Nebel, Supernova-Überreste, allgemein verteilte „kühle“ interstellare Materie, Galaxien, Quasare - v.a. aber STAUB in all seinen Variationen und Verbreitungsgebieten (Staub ist implizit in obiger Aufzählung enthalten).

1.2 Staub

1.2.1 Allgemeine Kurzübersicht

Staub (Masse in Milchstraße $M_{\text{Staub}} \approx 4 \cdot 10^{13}$ kg) ist von vielfältiger Bedeutung im Kosmos. Staubbildung: in Atmosphären kühler Riesensterne bzw. nahe Protosternen. Der Transport in den interstellaren Raum geschieht durch Strahlungsdruck.

Eigenschaft	Staub
Masseanteil	0,1%
Zusammensetzung	Feste Partikel $d = 0,1 - 1 \mu\text{m}$ H ₂ O-Eis, Silikate, Graphit mit Verunreinigungen
Partikeldichte	$10^{-13} \text{ cm}^{-3} = 100 \text{ km}^{-3}$
Massendichte	$10^{-23} \text{ kg m}^{-3}$
Temperatur	10 – 20 K
Untersuchungsmethoden	Absorption und Streuung von Sternlicht; Interstellare Verrötung; Interstellare Polarisation; Thermische Infrarot- emission

Abb. 2: Einige wichtige Eigenschaften des INTERSTELLAREN Staubes

1.2.2 Extinktion

Extinktion = Absorption + Streuung durch Staub. Absorptionswirkung ist im „sichtbaren“ Wellenlängenbereich evident. Beispiel: Das Milchstraßenband im sichtbaren Licht, verursacht durch deren scheibenähnliche Gestalt sowie der peripheren Lage des Sonnensystems. Die Staubabsorption bewirkt die klumpige Erscheinung des Bandes. Weiters denke man an die zahlreichen dunklen Längs-Streifen v. a. bei Scheibengalaxien, die von der Seite her gesehen werden (z.B. NGC 891, NGC 4565), oder, als besonders bekanntes Beispiel, an den Absorptionsstreifen rund um die Sombrero-Galaxie (NGC 4594).

Die Extinktion ist stark wellenlängenabhängig: Sie nimmt zu kürzeren Wellenlängen hin zu. Im UV-Bereich wirkt sie folglich deutlich stärker als im Optischen, d.h. sichtbaren, Bereich, im Infraroten wird sie immer kleiner, um bei mittleren oder gar langen IR-Wellenlängen kaum oder gar keine Rolle mehr zu spielen. So wird etwa die Extinktion einer dünnen Staubwolke, die im Visuellen (bei 550 nm) mit 1 mag wirkt, bereits im nahen IR, etwa bei 2.2 μm , auf 0.1 mag abgenommen haben. Radiowellen werden völlig ungehindert durch Staub dringen.

Durch Messungen in Richtung vieler, v.a. weit entfernter, Sterne hat man schon vor langer Zeit die Existenz eines in die meisten Richtungen der Milchstraße hin vorhandenen, d.h. allgemein gültigen „Gesetzes der interstellaren Extinktion“ erkannt. Diese „Interstellare Extinktionskurve“ wird u.a. zur Interpretation der Natur der Staubteilchen herangezogen.

2. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

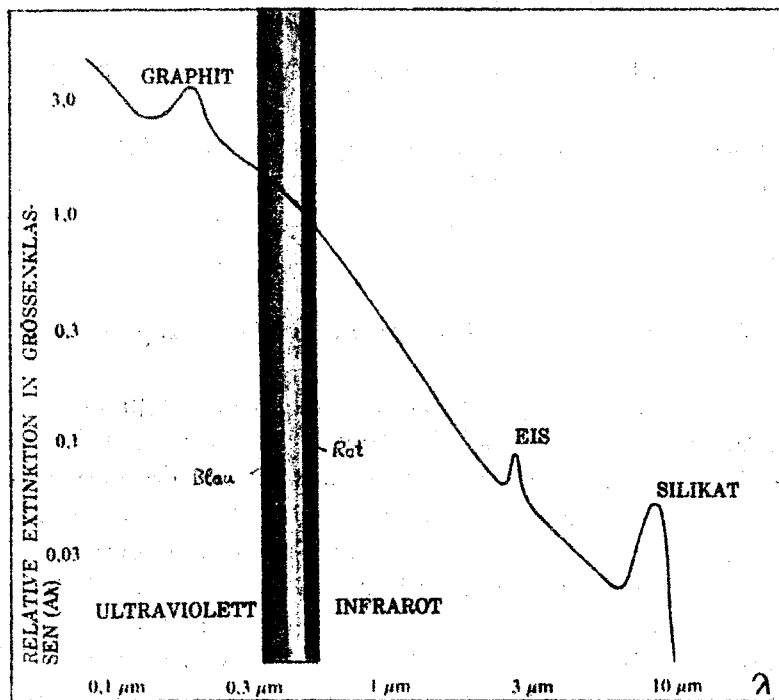


Abb. 3: Die Interstellare Extinktionskurve, ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Extinktion und der Wellenlänge. Man beachte, daß im IR die Extinktion schnell gegen vernachlässigbare Werte sinkt (Staubwolken werden „transparent“).

1.2.3 Thermische Infrarotemission

Inter- bzw. zirkumstellarer Staub ist dem Strahlungsfeld der Sterne ausgesetzt. Dadurch geschieht eine Aufheizung auf eine Temperatur, die sich im Endeffekt entsprechend einem Gleichgewicht von Zu- und Abstrahlung - näherungsweise nach dem Kirchhoffschen Satz - einstellt. Das heißt, das Modell eines Schwarzen Körpers ist für das Abstrahlungsvermögen gut brauchbar.

Je nach Größe und Zusammensetzung der Staubteilchen sind folgende charakteristische Temperaturen abgeleitet worden: Im zirkumstellaren Fall typischerweise bis zu 500 Kelvin (K), das entspricht einer Abstrahlung bei größtenteils unter 30 μm . Im interstellaren Fall zumeist $10 \leq T \leq 50$ K (einer Abstrahlung bei größtenteils mehr als 100 μm entsprechend).

Abhängig vom Material verdampfen Staubteilchen, die aus allen möglichen Elementen, vor allem aber Kohlenstoff (und auch Wassereis) bestehen, bei Temperaturen oberhalb von etwa 1500 bis 1800 K (z.B. in Nähe heißer Sterne bzw. in Schockfronten).

Interessanterweise hat man auch Staub in Bereichen sehr heißer Gase gefunden, in denen die Existenz von Staub eigentlich ausgeschlossen sein sollte. Als Erklärung bietet sich die Neuproduktion von Staub in der Nähe von für Staubproduktion geeigneten Himmelskörpern an, wobei dem Staub dann allerdings keine lange Lebenszeit beschieden ist - oder/und es existieren klumpenartige Knoten und „Taschen“ aus kühlerem Gas innerhalb des heißen Gases; derartige Klumpen können durchaus Lebensdauern von mehrerer tausend Jahren aufweisen, bis sie aufgelöst bzw. ionisiert werden.

2 Prinzip der Infrarot-Teleskope

Während man im Bereich des optischen Lichtes durch das Seeing in der Auflösung limitiert ist, spielt in der IR-Astronomie die Beugung eine entscheidende Rolle. Ein Teleskop hat ein Auflösungslimit durch die Beugung von etwa

3. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

$$\alpha ['] = 0.25 \lambda_{[\mu\text{m}]} / D[\text{m}]$$

So etwa beträgt die beugungslimitierte Auflösung von IR Teleskopen in Bogensekunden:

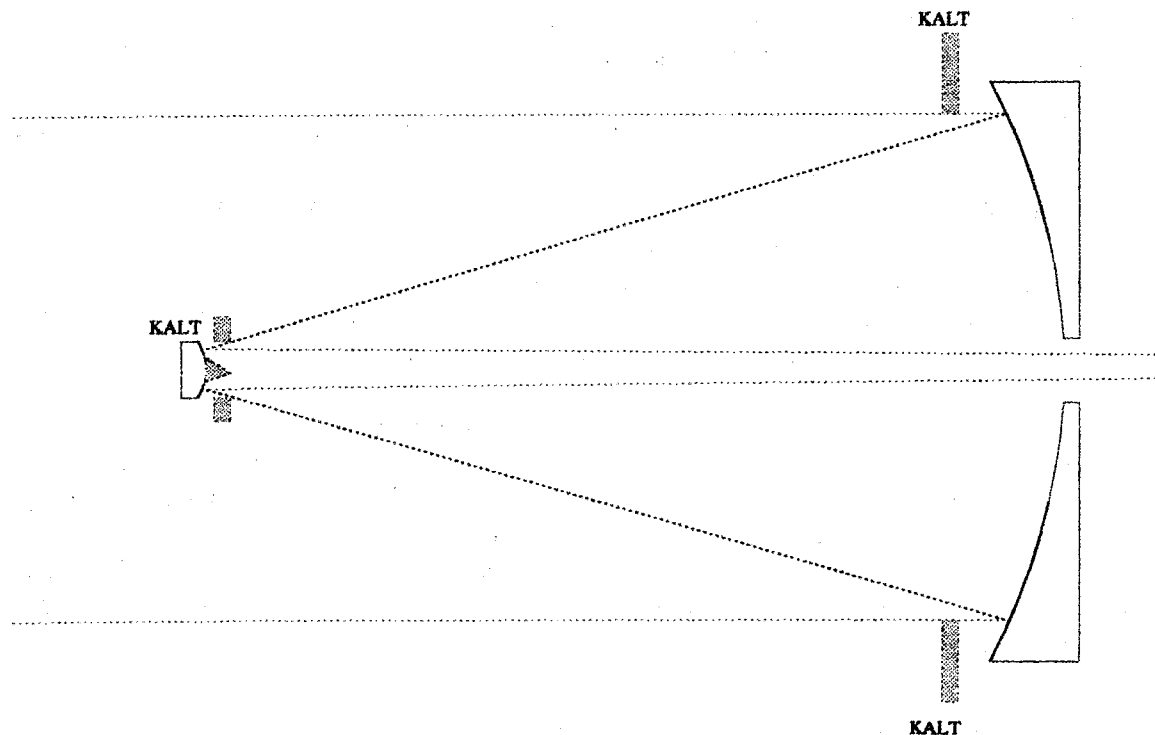
Teleskopgröße:	0.6m (IRAS/ISO)	bei 1 μm :	0.41	bei 10 μm :	4.1	bei 100 μm :	41
	1 (ESO IR)		0.25		2.5		25
	3.8 (UKIRT)		0.066		0.66		6.6
	10 (KECK)		0.025		0.25		2.5

Bei mittleren und Fern-IR-Wellenlängen ist also das Auflösungslimit die Beugung im Gerät.

Da die Brechungsindices in Gläsern für das IR sehr klein sind, scheiden Linsensystemen völlig aus. Nur Spiegelteleskope sind hier geeignet. Hierbei wird durchwegs ein Cassegrain-System verwendet. Mehr Bedeutung als in optischen Wellenlängen kommt im IR der Verspiegelungsmethode zu. Es werden sogar wegen der höheren Qualität der Oberflächen die im optischen schlecht geeigneten bzw. ungeeigneten Materialien Silber und Gold verwendet.

Weiters wird bei IR Teleskopen darauf geachtet, daß die Eintrittsöffnung in das Meßgerät klein ist, da sich damit ein kaltes Gerät (es darf ja möglichst keine Störung durch lokale Wärmequellen vorhanden sein!) besser verwirklichen läßt. Dies führt zu Fokalverhältnissen > 20 (optische Teleskope haben typischerweise > 10). Ebenso sollte der Sekundärspiegel und dessen Aufhängung möglichst klein sein, da er im Strahlengang des Primärspiegels Wärmestrahlung abgibt. Zusätzlich werden die Ränder und Aufhängungen jeder IR-Optik mittels gekühlter Blenden abgeschattet. Ebenso wird der Schatten des Sekundärspiegels, welcher sich im inneren Teil des Strahlenganges abbildet, mittels einer gekühlten Scheibe ausgeblendet.

Abb. 4: Schema eines IR Teleskops mit Cassegrain System



Zu guter letzt wird mit dem Sekundärspiegel „gewackelt“. Dies ist eine Technik, bei der durch die Veränderung der Bildwege, welche bis hin zum Ein- und Ausblenden des Bildes in die Kamera führt, eine Trennung der Signale vor und hinter dem Sekundärspiegel vorgenommen wird.

3 Der IRAS (Infrared Astronomical Satellite) und sein Output

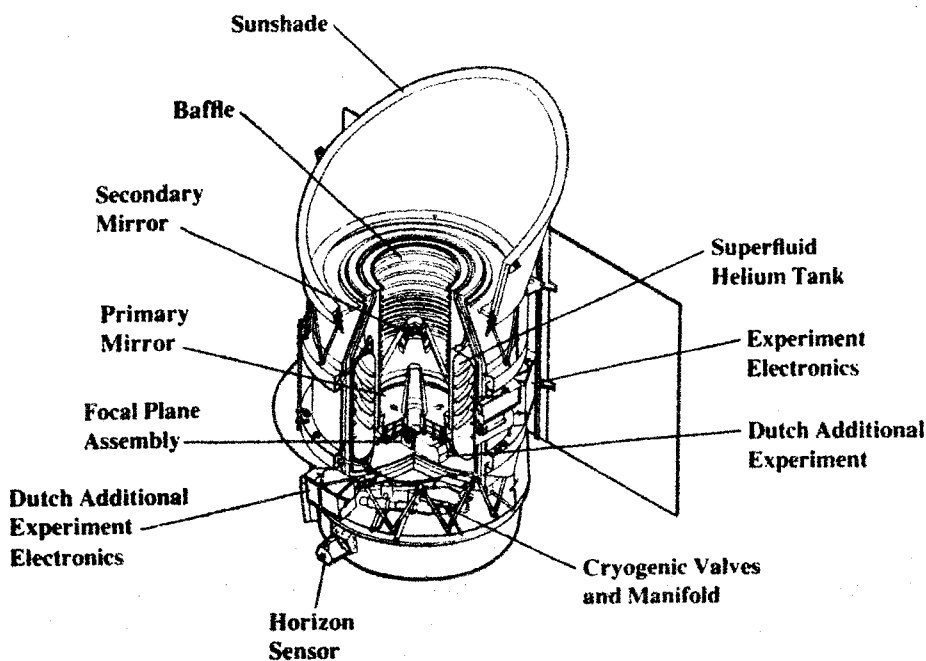
3.1 Das Gerät und Grundsätzliches zur Mission

Ausgangspunkt: Wunsch, mit den neuen IR-Sensoren eine Durchmusterung des Himmels durchzuführen - denn eine solche wäre, zumindest bei $>20 \mu\text{m}$, vom Erdboden unmöglich.

Wichtigstes Ziel des IRAS-Unternehmens war die zuverlässige Durchmusterung des Himmels bei den Wellenlängen („Bändern“) von 12, 25, 60, und $100 \mu\text{m}$. In diesen Spektralbereichen können Objekte mit Schwarzkörper-Temperaturen von einigen hundert bis herab zu etwa 10 K beobachtet werden. IRAS konnte zudem „zusätzliche Beobachtungen“ von besonders interessierenden Objekten machen; einige davon wurden bereits vor dem Start geplant, andere folgten im Anschluß an Entdeckungen während der Durchmusterung.

IRAS war ein internationales Unternehmen, an dem die USA, die Niederlande und Großbritannien beteiligt waren. Kernstück des Satelliten war ein 60 cm Spiegelteleskop mit 64 Halbleitersensoren in der Fokalebene. Da diese Sensoren nur bei niedrigen Temperaturen arbeiten, befanden sie sich zusammen mit dem Teleskop in einem Kryostaten – einem großen Isoliergefäß, das in einem torusförmigen Tank 475 l superflüssiges Helium enthielt. Während das Helium langsam verdampfte, konnten die Sensoren bei 1.8 K und das Teleskop unter 10 K gehalten werden. Damit war während der gesamten Mission die größtmögliche Empfindlichkeit sichergestellt. Der Heliumvorrat bestimmte somit die nutzbare Lebensdauer von IRAS.

Abb. 5: IRAS



Die Beobachtungen wurden mit einer Auflösung von etwa 20 bis 90 Bogensekunden durchgeführt; die Helligkeitsgrenze lag bei 0.25 bis 0.40 Jy ($1 \text{ Jansky} = \text{Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$) in den Bändern 12 bis $60 \mu\text{m}$ und etwa 1.0 bis 3.0 Jy bei $100 \mu\text{m}$. Oft war weniger ein schwaches Signal als eher der „helle“ Hintergrund bei dieser geringen Auflösung das Limit.

Die Satellit wurde am 26.1.1983 vom Luftwaffenstützpunkt Vandenberg, Kalifornien, gestartet. Er wurde in eine 900 km hohe sonnensynchrone Kreisbahn mit 99 Grad Inklination zum Äquator gebracht. Die große Durchmusterung begann Anfang Februar und dauerte bis Ende

5. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

August 1983. Dabei wurde der ganze Himmel gemessen – mit Ausnahme kleiner Gebiete, die durch technische Schwierigkeiten verloren gingen. Im September begann eine 2. Durchmusterung, die bis zum Aufbrauchen des Kühlmittels am 21.11.1983 andauerte. Bis dahin hatte IRAS 97% des Himmels erfaßt.

Der aus der IRAS-Durchmusterung schon 1984 erstellte Katalog („Punktquellen-Katalog“) umfaßt etwa 250.000 Objekte – hundertmal mehr, als vor dem Start bekannt waren - und weitere 700.000 Quellen, welche als „faint sources“ erkannt, aber nicht mehr genau vermessen worden sind. Weiters wurden Kataloge mit Daten über räumlich ausgedehnte Quellen und mit den Spektren des niederländischen Spektrometers etwas später veröffentlicht. Auch ein Katalog der Beobachtungen von Kleinplaneten wurde hergestellt.

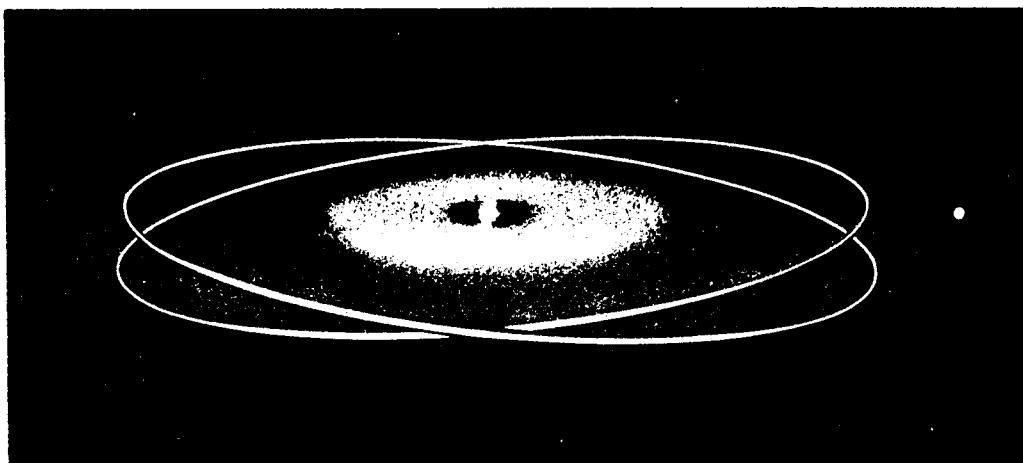
3.2 Eine Auswahl wissenschaftlicher Ergebnisse

Kurzzusammenfassung: Nach der Fertigstellung der Kataloge gelangen den Astronomen mit IRAS während der Mission und der nachfolgenden Datenauswertung viele interessante Entdeckungen: im Sonnensystem u.a. sechs neue Kometen, darunter der Komet Iras-Araki-Alcock, große unsichtbare Schweife des Tempel-2-Kometen und weiterer Kometen, mehrere Kleinplaneten, darunter das ungewöhnliche Objekt 3200 Phaeton (Rest eine Kometenkerns!?) und überraschende Streifen in der Zodiakallicht-Wolke. Um den Stern Wega wurde eine Staubhülle der Art entdeckt, wie man sie bei der Bildung von Planeten erwartet. Ähnliche Materiescheiben wurden um weitere Sterne gefunden (z.B. Beta Pictoris, Epsilon Eridani). Sternentstehungsgebiete in Dunkelwolken wurden ausführlich untersucht, wobei viele Protosterne entdeckt wurden. Beim Stern Beteigeuze wurden 3 große Staubhüllen beobachtet, die vermutlich aus vom Stern ausgestoßener Materie stammen. Inzwischen als „Infrarot-Zirrus“ bezeichnete Staubwolken wurden am gesamten Himmel entdeckt. Mit IRAS wurde das Zentrum des Milchstraßensystems genauestens untersucht. Außerhalb unserer Galaxis wurden viele Galaxien mit hoher IR-Leuchtkraft entdeckt; in einigen dieser Infrarot-Galaxien bewirkt eine erhöhte Sternentstehungsrate, daß sie im IR heller als im Sichtbaren sind. Für manche IRAS-Quellen wurde noch keine optische Entsprechung gefunden, ihre Erklärung bleibt (noch) rätselhaft.

Ein paar Beispiele:

Ein Befund aus unserem Sonnensystem
Der Andromedanebel im Optischen und Infraroten
Eine Grundlage für Anwendung von IRAS-Messungen in den 4 Bändern

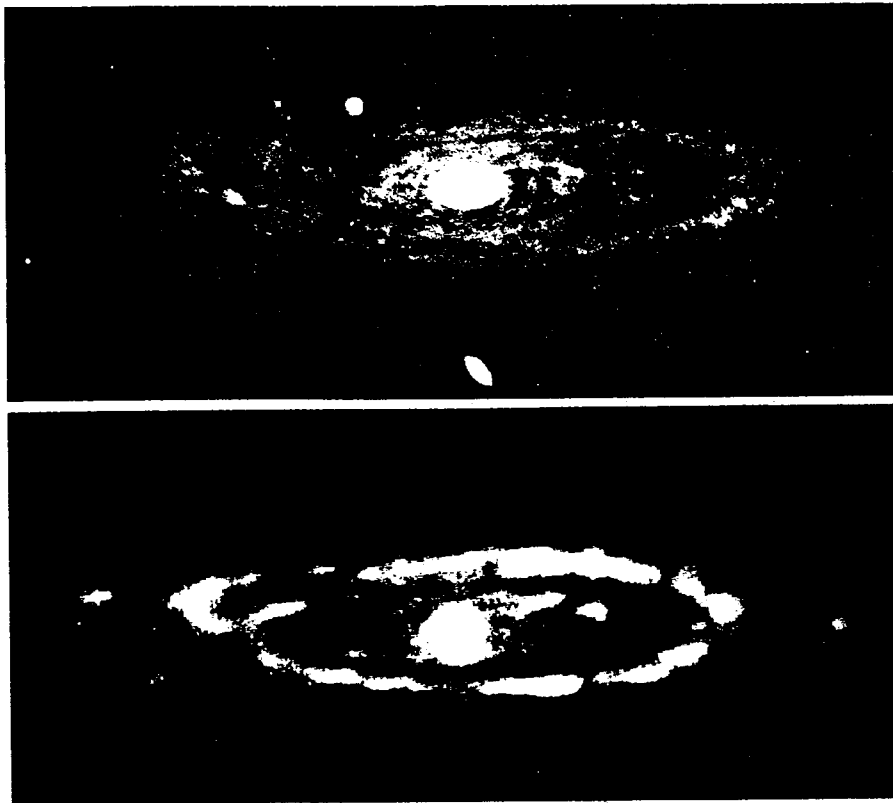
Abb. 6: Eine Zeichnung des Staubringes in unserem Planetensystem, zwischen Mars und Jupiter gelegen.



6. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

In der nächsten Abb. beachte man die Lokalisation der optischen bzw. der Infrarot-Emission

Abb. 7: Der Andromedanebel im Optischen (oben) und Infraroten (60 μm) (erstere stammt v.a. von Sternen, letztere v.a. von interstellaren Staubwolken)



Nun zu einem Gegenstück des in der stellaren optischen Photometrie so wichtigen (U – B) vs. (B – V)-Diagramms, nämlich einem IR-Flußverhältnis-Diagramm:

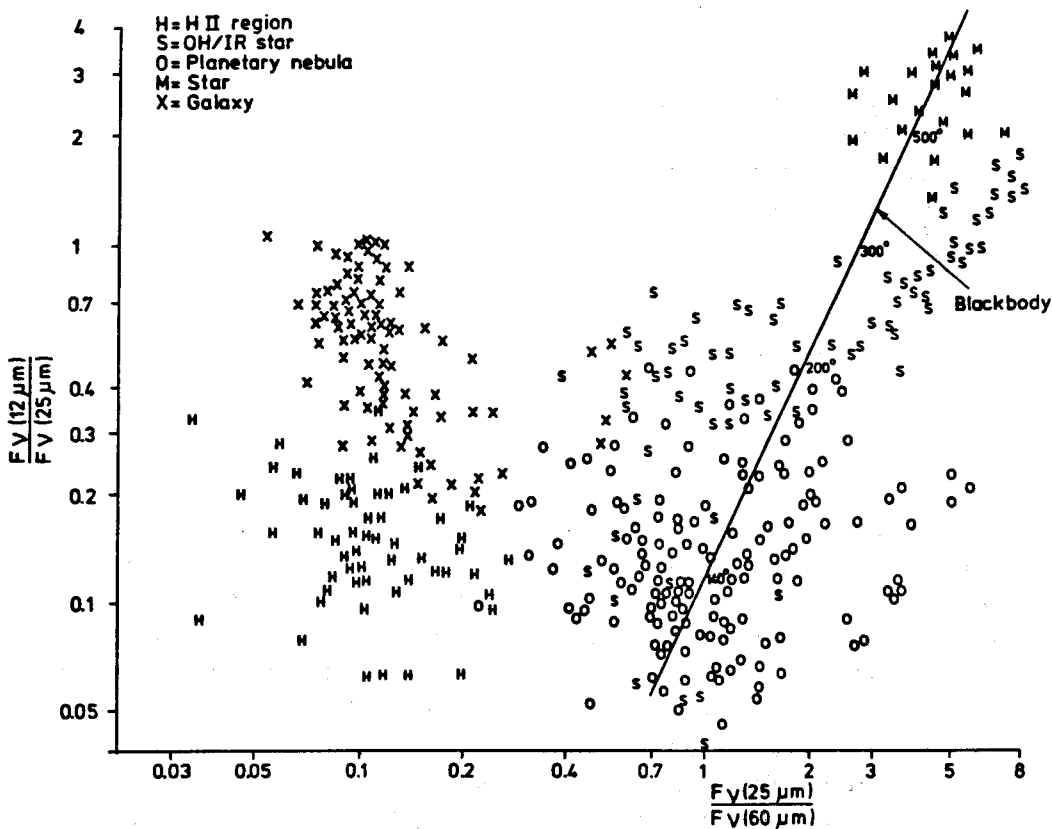


Abb. 8: Ein Farb-Farb-Diagramm d. IRAS-Flüsse von verschiedenen astronomischen Objekten bzw. Objekt-Klassen. Derartige Diagramme dienen u.a. zu einer Schnellklassifikation IR-Strahlung emittierender Objekte, aber auch zur Ableitung physikalischer Basisparameter

4 Das ISO (Infrared Space Observatory) und sein Output

4.1 Das Gerät und Grundsätzliches zur Mission

Zeitgleich mit der IRAS Mission faßte die ESA (European Space Agency) den Entschluß, einen Nachfolger zur detaillierten Beobachtung einzelner Objekte mit besserer Auflösung und besserer Empfindlichkeit (hinunter zu Milli-Jansky) zu bauen: Das ISO-Projekt war geboren. Bis 1985 wurde fixiert, welche Instrumente ISO tragen soll. Anschließend führte ein Konsortium von 35 Firmen und vielen wissenschaftlichen Instituten den Bau durch. Für Österreich war diese Mission eine Besonderheit: Das junge Mitgliedsland Österreich konnte bei ISO erstmals an einem Weltraumprojekt gleichberechtigt partizipieren. Österreichische Astronomen waren bei der Vergabe von Beobachtungszeit erfolgreich und Mitglieder der Astronomie-Institute in Wien und Innsbruck konnten schon in der ersten Antragsrunde für fünf Projekte hauptverantwortlich zeichnen und waren an zwei weiteren beteiligt. Auch die österreichische Industrie war am Bau des Satelliten entscheidend beteiligt: Der Sonnenschild und die Trägerstruktur der Sonnenblende wurden von der Österreichischen Raumfahrt- und Systemtechnik Ges. (ORS), Wien, und der ACT Hochleistungskunststofftechnik, Ternitz, entwickelt.

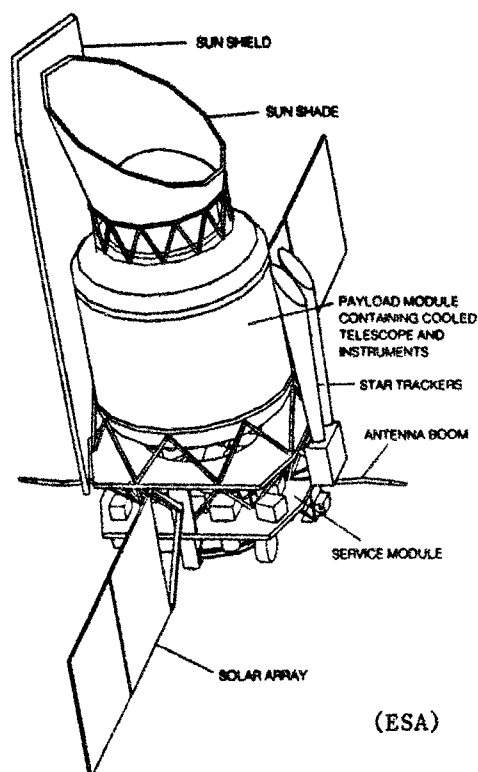


Abb. 9: ISO

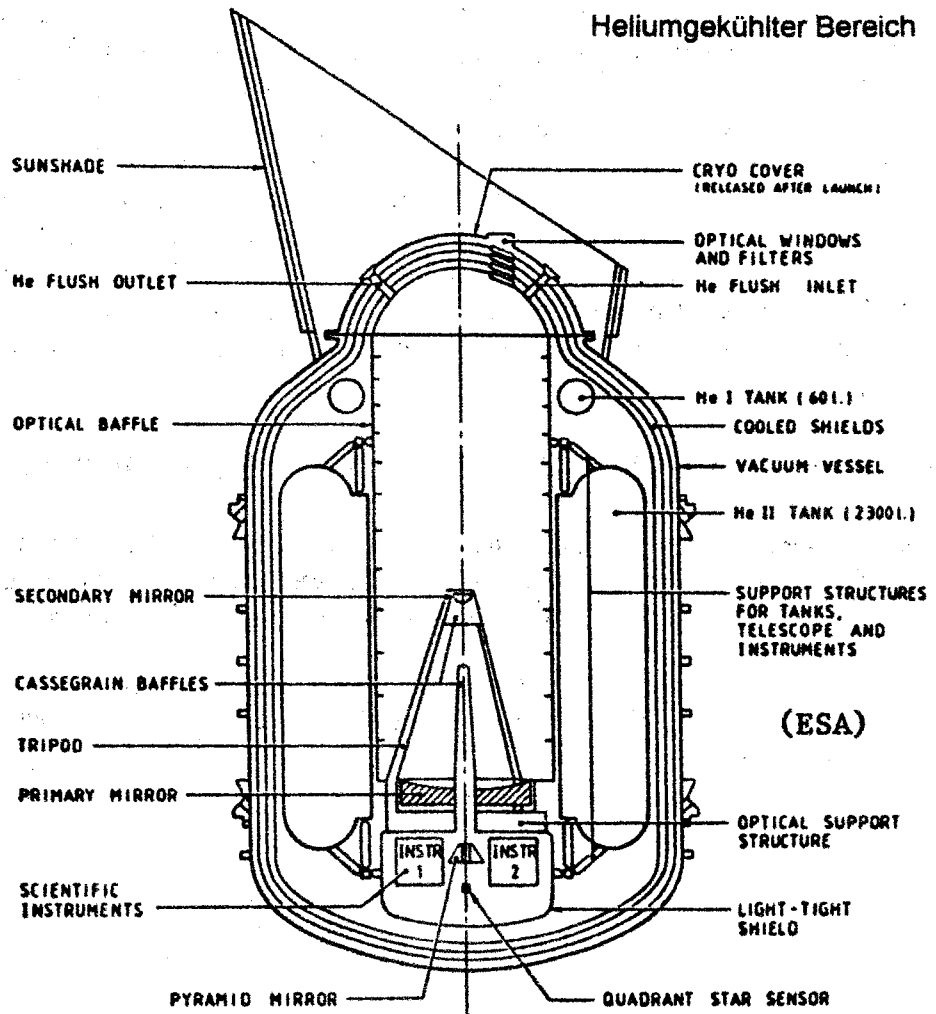
ISO wurde am 17.11.1995 vom europäischen Raumfahrtzentrum Kourou, Französisch-Guyana, gestartet und in eine hochelliptische Bahn gebracht, in der die Erde in Abständen von 1000 bis 70000 km einmal pro Tag umrundet wird. Dabei befindet sich ISO 16 Stunden außerhalb der störenden Strahlungsgürtel der Erde. Der rund 7 Milliarden Schilling teure Satellit ist mit dem vergoldeten Hauptspiegel von 60 cm ein komplett ausgestattetes astronomisches Observatorium mit Kamera, Photometer und 2 Spektrographen. Mit ISO wurden Beobachtungen im Wellenlängenbereich von 4 bis 240 μm möglich.

ISO ist im wesentlichen ein großer Kryostat mit einem torusförmigen Tank, welcher 2300 Liter superflüssiges Helium mit einer Temperatur von 1.8 K enthält. Das über eine Düse aus-

8. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

strömende Gas kühlt das Teleskop und die Instrumente. Der aus dem Teleskop kommende Strahlengang wird in 4 Teile zerlegt, welche gleichzeitig die 4 Instrumente versorgen. Dadurch liegen die Gesichtsfelder der einzelnen Instrumente etwa $10'$ am Himmel entfernt.

Abb. 10: Die Hauptkomponenten des ISO



Das Photopolarimeter (ISOPHOT) deckt photometrisch und spektroskopisch den Bereich von 1.5 bis 200 μm ab. Die Kamera (ISOCAM) reicht von 2.4 bis 180 μm . Verschiedene Filter, Polarimeter und Skalierungslinsen ermöglichen ein weites Einsatzgebiet des Instruments.

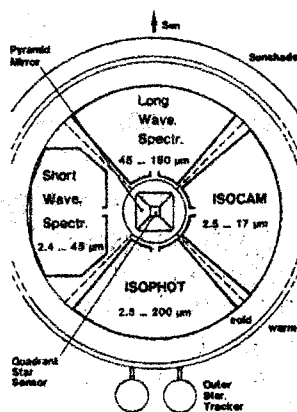


Abb. 11: Die vier ISO-Instrumente hinter der Brennebene. Der pyramidenförmige Spiegel teilt das Gesichtsfeld in 4 benachbarte Gebiete

Alle ISO-Instrumente sind photonenzählende integrierende Detektoren mit hoher Empfindlichkeit. Sechs solcher abbildender Einheiten sind in ISOCAM und ISOPHOT verwirklicht.

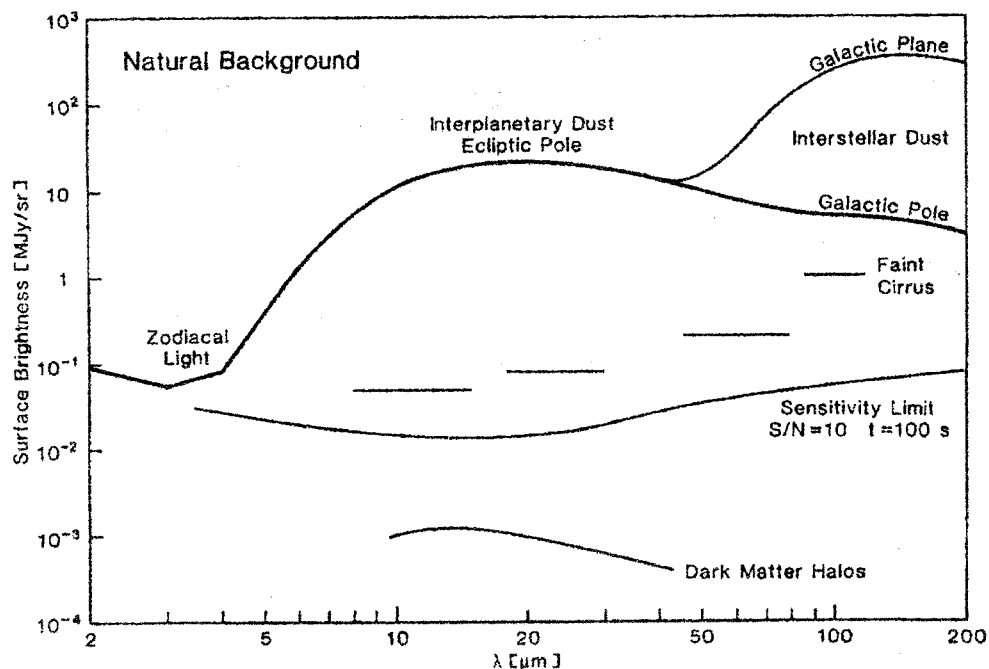
9. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

Am Montag, den 13. 4.1998 erhielten die ISO-Forscher ein e-mail vom ISO-Chefwissenschaftler Dr. Kessler, dessen Inhalt hier auszugsweise (unübersetzt) zitiert wird: „ESA's Infrared Space Observatory, ISO, has ended its observational phase, long after the expiry date of the end of May 1997 foreseen in the specifications for the mission. Instead of the required 18 months, the astronomers have been able to use ISO for more than 28 months, and as a result have gathered a wealth of additional information about the Universe. Altogether ISO has made over 26000 observations of cosmic objects. --- At 07:00 on 8 April 1998, engineers at ESA's ground station reported that ISO's telescope was beginning to warm up, above its nominal operating temperature close to absolute zero. This was the sign that ISO has exhausted the superfluid helium used to achieve the very low temperature necessary for infrared astronomy.--- Observations ceased at 23:07 when the temperature of the instruments had risen above -269 degrees C. At that time, ISO was observing the galaxy NGC 1808 with ISOCAM. The astronomers then handed ISO over to the engineering team for check-outs and decommissioning. --- Although ISO's observations are now completed, astronomers will be analysing them for years to come....“

4.2 Wissenschaftliche Ergebnisse – eine Kurzdarstellung

Das Limit für die ISO-Beobachtungen ergab sich durch die Hintergrundstrahlung: interplanetarer Staub, welcher im sichtbaren Licht das Zodiakallicht verursacht, und interstellarer kalter Staub beeinträchtigen bzw. limitieren eine Reihe von Beobachtungen.

Abb. 12: Der „natürliche“ Hintergrund für ISO; er ist aus einer Reihe von Komponenten zusammengesetzt und stellt einen die Beobachtungen limitierender Faktor dar



Eine Aufzählung selbst der Highlights der ISO-Ergebnisse würde den Rahmen dieser Darstellung sprengen. Exemplarisch sei die Entdeckung von Wasser in bzw. bei vielen Objekten (etwa bei Protosternen) genannt. Die eigentliche wissenschaftliche Potenz des ISO bestand jedoch in der Zurverfügungstellung von Daten, die im Endeffekt detaillierte Einblicke in die physikalischen Vorgänge in diverssten Himmelsobjekten erlaubten. Ein Anriß der ersten paar Dutzend Forschungsergebnisse wird im folgenden mittels der Titelwiedergabe auf einem den ISO-Resultaten gewidmeten Heft des Fachjournals „Astronomy & Astrophysics“ gegeben:

ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS

Vol. 315 No. 2

November (II) 1996

Letters to the Editor

The Infrared Space Observatory (ISO) mission Kessler M.F., Steinz J.A., Anderegg M.E. et al.	L27
ISOCAM in flight Cesarsky C.J., Abergel A., Agnèse P. et al.	L32
The ISO Long-Wavelength Spectrometer Clegg P.E., Ade P.A.R., Armand C. et al.	L38
Calibration and performance of the ISO Long-Wavelength Spectrometer Swinyard B.M., Clegg P.E., Ade P.A.R. et al.	L43
Observing with the ISO Short-Wavelength Spectrometer de Graauw T., Haser L.N., Beintema D.A. et al.	L49
The photometric calibration of the ISO Short-Wavelength Spectrometer Schaeidt S.G., Morris P.W., Salama A. et al.	L55
The wavelength calibration and resolution of the SWS Valentijn E.A., Feuchtgruber H., Kester D.J.M. et al.	L60
ISOPHOT – capabilities and performance Lemke D., Klaas U., Abolins J. et al.	L64
First data from the ISOPHOT FIR Serendipity survey Bogun S., Lemke D., Klaas U. et al.	L71
ISO observations of hot dust in the nucleus of the S0 galaxy NGC 3998 Knapp G.R., Rupen M.P., Fich M. et al.	L75
Far infrared mapping of the galaxies M 51 and M 101 with ISOPHOT Hippelein H., Lemke D., Tuffs R.J. et al.	L79
Analysis of the ISOPHOT FIR maps of M 51 and M 101 Hippelein H., Lemke D., Haas M. et al.	L82
NGC 5195 – a look into the hot dusty ISM of an interacting S80 galaxy with ISOCAM Boulade O., Sauvage M., Altieri B. et al.	L85
ISOCAM mapping of the Whirlpool galaxy M 51 Sauvage M., Blommaert J., Boulanger F. et al.	L89
ISOCAM observations of the Antennae Galaxies Vigroux L., Mirabel F., Altieri B. et al.	L93
LWS observations of the colliding galaxies NGC 4038/39 Fischer J., Shier L.M., Luhman M.L. et al.	L97
SWS spectroscopy of the colliding galaxies NGC 4038/39 Kunze D., Rigopoulou D., Lutz D. et al.	L101
ISO observations of Wolf-Rayet galaxy Haro 3 Metcalfe L., Steel S.J., Barr P. et al.	L105
2.5–45 μ m SWS spectroscopy of the Circinus Galaxy Moonwood A.F.M., Lutz D., Oliva E. et al.	L109
ISOCAM view of high energy sources Mirabel F., Claret A., Cesarsky C.J. et al.	L113
ISM parameters in the normal galaxy NGC 5713 Lord S.D., Malhotra S., Lim T. et al.	L117

The starburst galaxy NGC 6090: from 2.5 μ m to 200 μ m Acosta-Pulido J.A., Klaas U., Laureijs R.J. et al.	L121
SWS spectroscopy of the starburst galaxy NGC 3256 Rigopoulou D., Lutz D., Genzel R. et al.	L125
Bimodal dust emission in three classical Seyfert galaxies: NGC 3227, NGC 4051 and NGC 4151 Rodriguez-Espinoza J.M., Perez Garcia A.M., Lemke D. et al.	L129
ISO-SWS spectroscopy of Arp 220: a highly obscured starburst galaxy Sturm E., Lutz D., Genzel R. et al.	L133
What powers luminous infrared galaxies? Lutz D., Genzel R., Sternberg A. et al.	L137
ISOCAM 4 μ m imaging of the nuclear starburst in M83 Rouan D., Tiphène D., Lacombe F. et al.	L141
The SWS survey for rotational H α lines in late-type galaxies. Observations of the central regions of NGC 6946 Valentijn E.A., van der Werf P.P., de Graauw T. et al.	L145
ISOPHOT Maps of NGC 6946 in the range λ 60–200 μ m Tuffs R.J., Lemke D., Xu C. et al.	L149
An ISOPHOT study of the disk of galaxy NGC 6946: 60 μ m infrared and radio continuum correlation Lu N.Y., Helou G., Tuffs R.J. et al.	L153
The mid-infrared color of NGC 6946 Helou G., Malhotra S., Beichman C.A. et al.	L157
ISOCAM observations of NGC 6946: Mid-IR structure Malhotra S., Helou G., Van Buren D. et al.	L161
First ISOCAM images of the Milky Way Peraut M., Omont A., Simon G. et al.	L165
First results from the ISOCAM parallel mode Siebenmorgen R., Abergel A., Altieri B. et al.	L169
Detection of hot, abundant water toward AFGL 2591 Helmich F.P., van Dishoeck E.F., Black J.H. et al.	L173
Infrared absorption of H $_2$ O toward massive young stars van Dishoeck E.F., Helmich F.P.	L177
Thermal H $_2$ O emission from the Herbig-Haro flow HH 54 Liseeu R., Ceccarelli C., Larsson B. et al.	L181
ISOCAM observations of low-luminosity young stellar objects in the Chamaeleon dark clouds Nordh L., Olofsson G., Abergel A. et al.	L185
Detection of an absorption feature at the position of the 4.27- μ m band of solid CO Gürtler J., Hanning T., Kompe C. et al.	L189
ISO-SWS spectrophotometry of galactic Wolf-Rayet stars: preliminary results van der Hucht K.A., Morris P.W., Williams P.M. et al.	L193

Vol. 315 No. 2

November (II) 1996

SWS H α observations in the BD+40°4124 group Wesselius P.R., van den Ancker M.E., Young E.T. et al.	L197
The ISO LWS far infrared spectrum of IRC+10216 Cernicharo J., Barlow M.J., Gonzalez-Alfonso E. et al.	L201
ISOCAM CVF observations of the Quintuplet and Object π 17 clusters near the Galactic Center Nagata T., Kawara K., Onaka T. et al.	L205
ISO observations of the classical nova V1974 Cygni Salama A., Evans A., Eyres S.P.S. et al.	L209
ISOCAM imaging of AG Car and HR Car Trams N.R., Waters L.B.F.M., Voors R.H.M.	L213
The ISO-SWS spectrum of NML Cyg Justanont K., de Jong T., Helmich F.P. et al.	L217
A detached dust shell surrounding the J-type carbon star Y Canum Venaticorum Izumura H., Hashimoto O., Kawara K. et al.	L221
The ISO-SWS spectra of Luminous Blue Variables Lamers H.J.G.L.M., Morris P.W., Voors R.H.M. et al.	L225
The ISO-SWS spectrum of P Cygni Lamers H.J.G.L.M., Najaro F., Kudritzki R.P. et al.	L229
First results from a photometric infrared survey for Vega-like disks around nearby main-sequence stars Habing H.J., Bouchet P., Dominik C. et al.	L233
Detection of far-infrared rotational lines of water vapour toward W Hydrae Neufeld D.A., Chen W., Melnick G.J. et al.	L237
The rich far-infrared water vapour spectrum of W Hya Barlow M.J., Nguyen-Q-Rieu, Truong-Bach et al.	L241
SWS observations of young main-sequence stars with dusty circumstellar disks Waelkens C., Waters L.B.F.M., de Graauw M.S. et al.	L245
ISOPHOT observations of R CrB: a star caught smoking Walker H.J., Heinrichsen I., Richards P.J. et al.	L249
The central stars of the planetary nebulae NGC 7027 and NGC 6543 Beintema D.A., van Hoof P.A.M., Lahuis F. et al.	L253
The ISO LWS grating spectrum of NGC 7027 Liu X.-W., Barlow M.J., Nguyen-Q-Rieu et al.	L257
The central star of the planetary nebula NGC 6302 Pottasch S.R., Beintema D., Dominguez-Rodriguez F.J. et al.	L261
The ISO/LWS spectrum of the Egg nebula, AFGL 2688 Cox P., Gonzalez-Alfonso E., Barlow M.J. et al.	L265
SWS observations of the Galactic center Lutz D., Feuchtgruber H., Genzel R. et al.	L269

Dust formation in the Cassiopeia A supernova Lagage P.O., Claret A., Ballet J. et al.	L273
Shockingly bright [OII] 63 μ m lines from the supernova remnants W44 and 3C391 Reach W.T., Rho J.	L277
H α infrared line emission from S140: a warm PDR Timmermann R., Bertoldi F., Wright C.M. et al.	L281
Extended fine structure and continuum emission from S140/L1204 Emery R., Aannestad P., Minchin N. et al.	L285
SWS observations of IR emission features towards compact H α regions Roelofsma P.R., Cox P., Tielens A.G.G.M. et al.	L289
LWS observations of the bright rimmed globule IC1396N Saraceno P., Ceccarelli C., Clegg P. et al.	L293
A first glimpse into ISM/CM connections at z=0.2 with ISOCAM Pierre M., Aussel H., Altieri B. et al.	L297
Molecular hydrogen observations of Cepheus A West Wright C.M., Drapatz S., Timmermann R. et al.	L301
Infrared spectrophotometry of NGC 7023 with ISOCAM Cesarsky D., Lequeux J., Abergel A. et al.	L305
Infrared spectrophotometry of M 17 with ISOCAM Cesarsky D., Lequeux J., Abergel A. et al.	L309
Very small grain emission in NGC 7023 Laureijs R.J., Acosta-Pulido J., Abraham P. et al.	L313
Very cold dust associated with molecular gas Laureijs R.J., Haikala L., Burgdorf M. et al.	L317
LWS-spectroscopy of Herbig Haro objects and molecular outflows in the Chamaeleon dark cloud Nisini B., Lorenzetti D., Cohen M. et al.	L321
Mid-Infrared Imaging Spectroscopy in Ophiuchus Boulanger F., Reach W.T., Abergel A. et al.	L325
ISOCAM mapping of the ρ Ophiuchi main cloud Abergel A., Bernard J.P., Boulanger F. et al.	L329
The 6.0 and 6.8 μ m absorption features in the spectrum of NGC 7538: IRS9 Schutte W.A., Tielens A.G.G.M., Whittet D.C.B. et al.	L333
SWS spectroscopy of small grain features across the M17-Southwest photodissociation front Verstraete L., Puget J.L., Falgarone E. et al.	L337
A laboratory database of solid CO and CO $_2$ for ISO Ehrenfreund P., Boogert A.C.A., Gerakines P.A. et al.	L341
SWS observations of solid CO $_2$ in molecular clouds de Graauw T., Whittet D.C.B., Gerakines P.A. et al.	L345
A search for interstellar gas-phase CO $_2$. Gas: solid state abundance ratios van Dishoeck E.F., Helmich F.P., de Graauw T. et al.	L349

Abb. 13: Titelwiedergabe eines Sonderheftes des europäischen Fachjournals „Astronomy & Astrophysics“, das den ersten ISO-Ergebnissen gewidmet wurde

10. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

11. Fortsetzung Gastvortrag: Infrarot-Astronomie mit IRAS und ISO

Spectrophotometry of UIR bands in the diffuse emission of the galactic disk Mattila K., Lemke D., Haikala L.K. et al. L353	The rich spectrum of circumstellar PAHs Beintema D.A., van den Ancker M.E., Molster F.J. et al. L369	First detection of the 56- μ m rotational line of HD in Saturn's atmosphere Griffin M.J., Naylor D.A., Davis G.R. et al. L389
An ISO SWS view of interstellar ices: first results Whittet D.C.B., Schutte W.A., Tielens A.G.G.M. et al. L357	The shape and strength of circumstellar PAH emission bands Molster F.J., van den Ancker M.E., Tielens A.G.G.M. et al. L373	ISO LWS measurement of the far-infrared spectrum of Saturn Davis G.R., Griffin M.J., Naylor D.A. et al. L393
Mineralogy of oxygen-rich dust shells Waters L.B.F.M., Molster F.J., de Jong T. et al. L361	Mid-infrared spectrum of the zodiacal light Reach W.T., Abergel A., Boulanger F. et al. L381	First results of ISO-SWS observations of Jupiter Encrenaz T., de Graauw T., Schaeidt S. et al. L397
ISO-SWS observations of solid state features towards RAFGL 7009S d'Hendecourt L., Jourdain de Muizon M., Dartois E. et al. L365	The infrared spectrum of comet C/1995 O1 (Hale-Bopp) at 4.6 AU from the Sun Crovisier J., Brooke T.Y., Hanner M.S. et al. L385	

4.3 ISO-Projekte österreichischer Astronomen

Wie oben erwähnt, konnten sich österreichische Astronomen bei der Vergabe von Beobachtungszeit gegen internationale Konkurrenz erfolgreich behaupten.

So untersucht ein Team um Dr. J. Hron (Wien) die Endphase eines massearmen Sterns ähnlich unserer Sonne. Solche stark pulsierenden und zu „Roten Riesen“ aufgeblähten Sterne verlieren in dieser Phase einen großen Teil ihrer Masse. Die Masse wird in Form eines Sternwindes aus komplexen Molekülen und kosmischem Staub in den interstellaren Raum geblasen. Im Projekt untersucht man nun das zeitliche Wechselspiel zwischen den Sternschwingungen und der Entstehung des Staubes und der Moleküle.

In einem weiteren Wiener Projekt analysiert ein Gruppe um Dr. F. Kerschbaum einen anderen Aspekt der Struktur „Roter Riesen“. Hierbei will man Aufschluß über die Bedeutung der Sternschwingungen für den Aufbau des Sterns und die Stärke des Sternwindes gewinnen.

Beide Herren sind zudem noch gemeinsam mit ausländischen Kollegen an zwei weiteren Projekten beteiligt, in denen ebenfalls Spätstadien sonnenähnlicher Sterne im Mittelpunkt stehen.

In einem dritten Wiener Projekt um Prof. Dr. W. Weiss werden sogenannte „ λ -Bootis-Systeme“ erforscht - Objekte, die sich durch extreme Metallarmut auf ihrer Oberfläche auszeichnen. Diese Metallarmut gibt den Astronomen beträchtliche Rätsel auf. Denn je nachdem, ob sie sich durch Aufsammeln des bei der Sternentstehung übrig gebliebenen Gases bilden oder durch Freilegen tieferer Schichten des Sterns durch Abblasen eines Sternwindes, müßten diese Sterne entweder sehr jung oder sehr alt sein. Bei den ISO-Messungen stand die Wechselwirkung dieser Sterne mit Gas und Staub in ihrer Nachbarschaft im Mittelpunkt.

Drei ISO-Projekte Innsbrucker Astronomen (Dr. F. Kerber, Dr. S. Kimeswenger, Prof. Dr. R. Weinberger) beschäftigen sich mit Planetarischen Nebeln. Einen Schwerpunkt bilden „reanimierte“ Sterne: Sie schwellen nochmals auf Riesensterngröße an, erwachen sozusagen aus dem Sternenkoma, um dann den Sterbeprozess erneut zu beginnen. Mehrere altbekannte Kandidaten, die diesen Prozess hinter sich haben dürften, standen dafür auf der Beobachtungsliste: In einem später eingereichten Zusatzprojekt wurde ein vor wenigen Jahren neuentdeckter Stern dieser Kategorie („Sakurai's Objekt“), dessen „Reanimation“ eben jetzt zu beobachten ist, mit ISO vermessen. In dem dritten Projekt beschäftigt sich die Innsbrucker mit Sternen, bei denen die abgestoßenen Gas- und Staubschichten nicht kugelförmig, sondern scheiben- oder ringartig angeordnet sind. Mit Glück kann man derartige Nebel von der Seite, also „im Profil“ betrachten und damit genaue Einsichten in die Verteilung und die Eigenschaften des abgeschleuderten Materials gewinnen.

4.4 NÄHERES: <http://www.ipac.caltech.edu/ipac/iras/iras.html> sowie <http://www.iras.mission.html>
<http://isowww.estec.esa.nl>

Univ.-Prof. Dr. Ronald Weinberger, Institut für Astronomie der Universität Innsbruck, Technikerstraße 25, A-6020 Innsbruck

Referat: Der Satellit COBE - ein Überblick

Dieses Referat erläutert kurz die Satellitenmission Cosmic Background Explorer (COBE) und beschäftigt sich daher primär mit der kosmischen Hintergrundstrahlung im Infrarot- und Mikrowellenbereich.

1 Begriffe aus der Kosmologie

Olbers'sches Paradoxon und das Hubble Gesetz

Bei der Betrachtung eines unendlichen, statischen Universums, das gleichmäßig mit Sternen einer bestimmten Leuchtkraft L angefüllt ist, nimmt die auf der Erde gemessene scheinbare Intensität mit $1/r^2$ ab. Die daraus berechnete Gesamtintensität divergiert. Das heißt: Die Hintergrundstrahlung in dem betrachteten Universum ist unendlich groß. Die Annahmen eines gleichzeitig unendlichen, homogenen und statischen Universums widersprechen sich. Diese Überlegungen von Wilhelm Olbers wurden 1823 im *Astronomischen Jahrbuch* veröffentlicht und werden seither als Olbers'sches Paradoxon bezeichnet.⁸ 1929 konnte Hubble das Paradoxon lösen: Die Rotverschiebung in den Spektren weit entfernter Galaxien sind das Ergebnis des Doppler-Effekts. Hubble konnte aus dieser richtigen Deutung die Geschwindigkeit der Galaxien ermitteln. In seiner Arbeit *„Eine Beziehung zwischen Entfernung und Radialgeschwindigkeit bei extragalaktischen Nebeln“* erkannte er, daß die Fluchtgeschwindigkeiten umso größer sind, je weiter die Galaxien entfernt sind. Die Proportionalität zwischen Geschwindigkeit und Entfernung wird durch die Hubble-Konstante ausgedrückt. Das Universum ist nicht statisch, sondern es expandiert!

Isotropie des Universums

Betrachtet man die Verteilung der Galaxien in einem großen Maßstab, so kann man keine begünstigten, aber auch keine benachteiligten Gebiete erkennen. (Im kleinen Maßstab gibt es natürlich Feinstrukturen!) Die im Jahr 1965 von Penzias und Wilson entdeckte Hintergrundstrahlung im Mikrowellenbereich zeigt ähnliche Eigenschaften der Gleichförmigkeit: Sie ist extrem isotrop, d.h. sie kommt aus allen Richtungen mit der gleichen Intensität. Das entdeckte Rauschsignal lag in einem Bereich von 6,7 Kelvin (Rauschtemperatur). Nach Abzug des Beitrags der Erdatmosphäre (ca. 2,3 K) und der Antenne (ca. 0,9 K) blieben ungeklärte 3,5 K übrig.

Hintergrundstrahlung

Astronomische Beobachtungen der Hintergrundstrahlung zeigen wichtige Merkmale:

- ✗ Temperatur: ca. 2,73 K
Die Strahlung war in einem früheren Stadium im Gleichgewicht mit der Materie
- ✗ Die Strahlung entspricht einer hohen Massendichte: $4,7 \times 10^{-31} \text{ kgm}^{-3}$

2 Mission und Satellit

Orbitsuche

Der Cosmic Background Explorer ist ein Produkt des Goddard Space Flight Center (NASA) und wurde konstruiert, um kosmologische Ergebnisse der Hintergrundstrahlung zu liefern. Das Aufspüren potentieller Unregelmäßigkeiten verlangt eine Gesamthimmelsbeobachtung für mindestens ein halbes Jahr. Außerdem sind Sonne und Erde Primärquellen thermischer Strahlung, welche „reines Gift“ für die Experimente darstellt. Das Finden einer geeigneten Bahn ist von höchster Bedeutung: Die Umlaufbahn hat eine Neigung von 99° und befindet

⁸ Die Überlegungen zu diesem Paradoxon waren schon früheren Astronomen bekannt.

1. Fortsetzung Referat: Der Satellit COBE - ein Überblick

sich in einer Höhe von 900 km. Das ist jene Höhe über den störenden Atmosphäreinflüssen und gerade unterhalb der Van-Alen Gürtel, wo sich geladene Partikel sammeln. Die Bahn verläuft über den Polen der Erde entlang des Tag-Nacht-Terminators, und der Satellit ist stets von Sonne und Erde abgewandt. Die Umlaufzeit beträgt 103 Minuten (14 Umläufe pro Tag). Der Satellit wurde am 18. November 1989 in seine Umlaufbahn gebracht.

Kontrollsystem und Antennen

Erd- und Sonnensensoren sind dafür zuständig, daß die Rotationsachse von COBE mindestens 90° von der Sonne wegzeigt. Ein implementiertes Kontrollsystem wacht über die Orientierung des Satelliten. COBE verfügt über zwei Antennen die auf einem Mast am Grund des Satelliten angebracht sind. Eine ist zuständig für die Kommunikation mit dem „Tracking and Data Relay Satellite System“ (TDRSS), und die andere ist für die Datenübertragung zur Erde verantwortlich.

Daten zum Satellit

Masse:	2,270 kg
Länge:	5,49 m
Durchmesser:	2,44 m (zusammengefaltete Solarflügel)
	8,53 m (ausgebreitete Solarflügel)

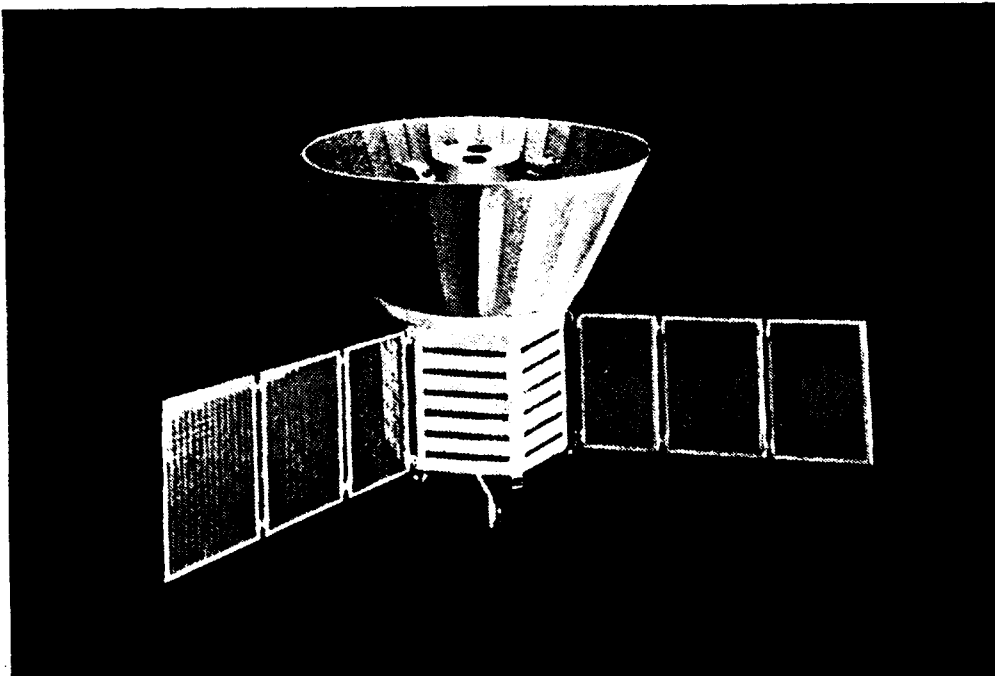


Abb.1: COBE [2]

3 Inhalt und Ziel von COBE: Drei Experimente

Die Messungen des Satelliten stützen sich auf diffuses Infrarot und den Mikrowellenbereich. COBE enthält drei Experimente, die verschiedene Aspekte der Hintergrundstrahlung beinhalten. Für die Instrumente ist die Temperaturstabilität von äußerster Wichtigkeit: Um saubere Meßdaten zu erhalten, sollte man einerseits den Offset zu den Messungen so genau wie nur möglich kennen, andererseits mußten die Instrumente selbst vor ihrer eigenen thermischen Strahlung geschützt werden, um die Meßwerte nicht zu verfälschen. Zwei der Experimente befinden sich deshalb auf 1,6 Kelvin in einem Dewargefäß (650 Liter

2. Fortsetzung Referat: Der Satellit COBE - ein Überblick

suprafluides Helium). Um auch noch systematische Fehler zu vermeiden, rotiert COBE und läßt so eine höchst gleichmäßige Abtastung des Himmels zu.

DIRBE: Diffuse InfraRed Background Experiment

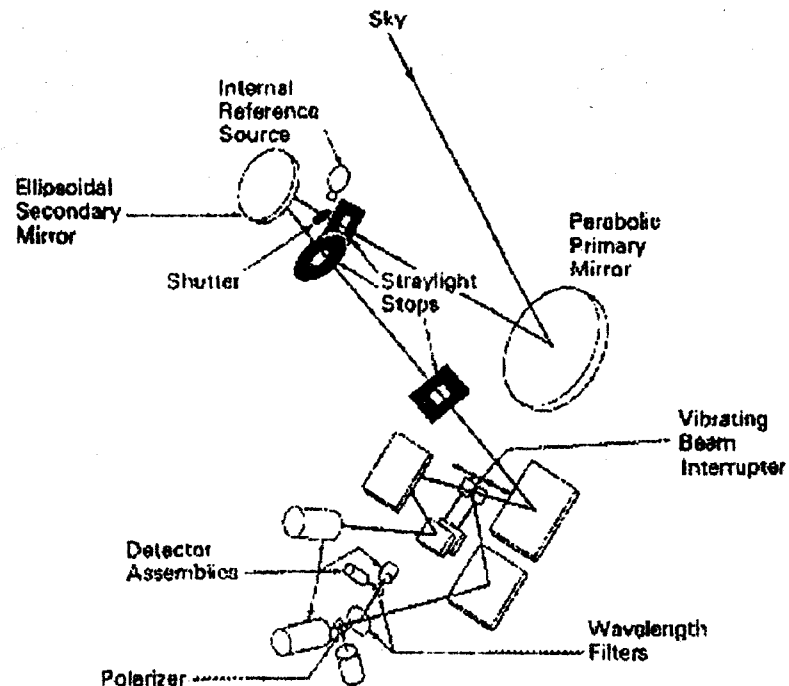


Abb.2: DIRBE Aufbau [4]

DIRBE sucht den Himmel in 10 Wellenlängenbändern in einem Spektralbereich von 1,2 bis 240 μm nach isotroper Infrarot Strahlung ab und mißt die Energieverteilung. Kartographiert wird auch linear polarisierte Strahlung bei 1,2 μm , 2,2 μm und 3,2 μm . Mit Hilfe dieses Experiments verspricht man sich Emissionen von primordialen Galaxien, Galaxien, die sich kurz nach dem Urknall gebildet haben, zu finden. Weiters untersucht man mit DIRBE auch gestreutes Sonnenlicht und die thermische Strahlung interplanetaren Staubs. Das Projekt DIRBE umfaßt vor allem die kartographische Erfassung der galaktischen Ebene. Zur Anfertigung der Karten werden die Daten wöchentlich oder jährlich gemittelt.

Tab.1: Wellenlängenbänder des DIRBE

Band	effektive Wellenlänge μm	effektive Bandweite (THz)	erfaßter Raumwinkel (10^{-4} sr)
1	1,25	57,0	1,198
2	2,2	22,5	1,420
3	3,5	22,0	1,285
4	4,9	8,21	1,463
5	12	13,5	1,427
6	25	4,10	1,456
7	60	2,32	1,512
8	100	0,974	1,425
9	140	0,617	1,385
10	240	0,496	1,323

3. Fortsetzung Referat: Der Satellit COBE - ein Überblick

Absolute photometrische Messungen werden durch einen Chopper (Frequenz = 32 Hz) zwischen einfallendem Himmels- und Offsetsignal realisiert. Für die Offsetmessung wird der einfallende Strahl durch eine Verschlusskappe abgedeckt. Alle spektralen Kanäle arbeiten simultan im gleichen 42' x 42' Fenster. So wie das nächste Instrument befindet sich auch DIRBE in einem Heliumbad.

FIRAS: Far InfraRed Absolute Spectrophotometer

Hauptaufgabe des FIRAS Experiments ist der Vergleich der kosmischen Hintergrundstrahlung mit einer exakten Schwarzkörperstrahlung. Das Instrument ist im wesentlichen ein Michelson Interferometer, das mit einer internen Schwarzkörperstrahlung als Kalibrierungsquelle von geschätztem Emissionsvermögen von 0,9999 geregelt ist. Als Empfänger fungieren vier Bolometer, und in zwei Kanälen wird die Strahlung im Bereich von 0,1 bis 10 mm gesammelt. Die empfindlichen Bolometer werden auf einer Temperatur von 1,5 K gehalten und sind daher im heliumgekühlten Kryostaten untergebracht.

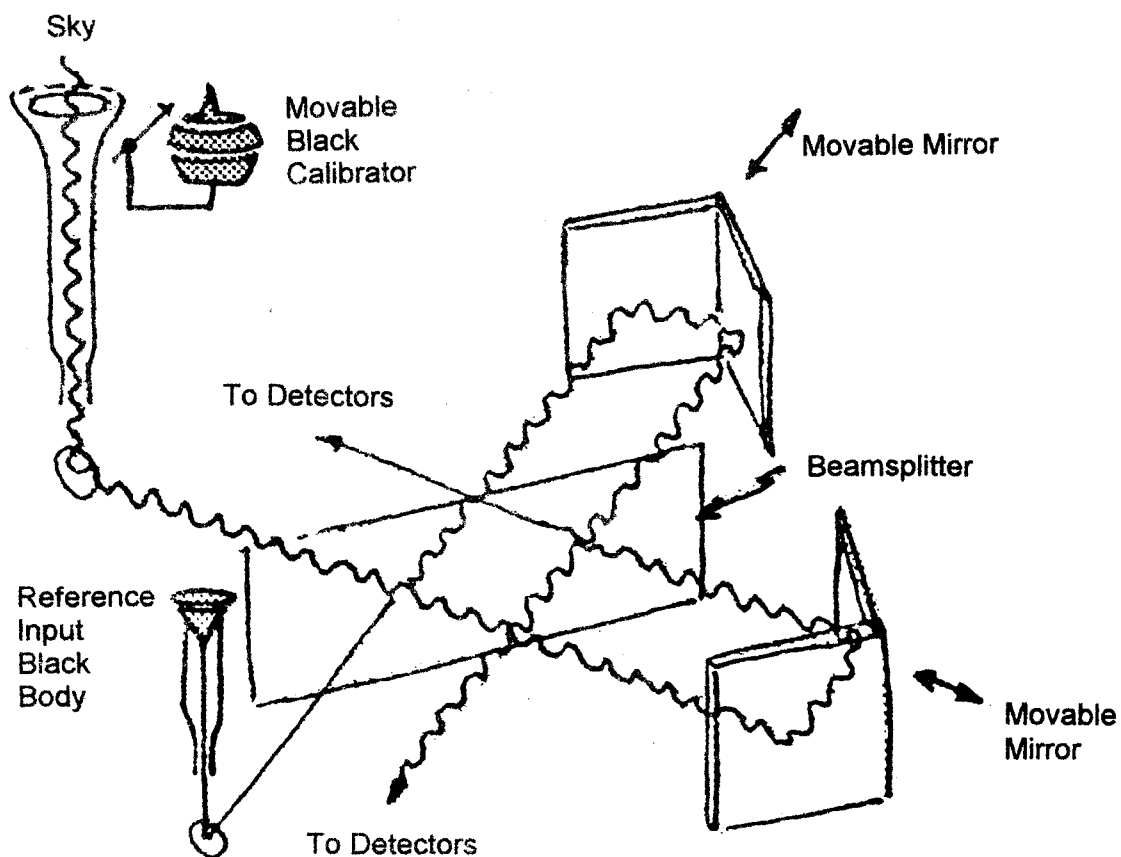


Abb.3: Aufbau des FIRAS Experiments [4]

DMR: Differential Microwave Radiometer

Das Experiment besteht aus drei differentiell messenden Mikrowellen-Radiometern. Sie sollen die Strahlung von zwei durch 60° getrennten Punkten am Himmel messen und so eventuelle Fluktuationen aufspüren. Diese Temperaturdifferenzen erhält man durch den Signalvergleich zweier Hornantennen. Die drei Mikrowellenteleskope arbeiten bei 3,3mm, 5,7mm und 9,6 mm.

Arbeitsdauer der Experimente

DIRBE, FIRAS: 24. November 1989 - 21. September 1990

DMR: 24. November 1989 - Dezember 1993

4 Ergebnisse

Bilder von Messungen des Mikrowellenhintergrundes zeigen eine Dipolanisotropie und die Strahlung der galaktischen Scheibe. Ursache für diese Dipolanisotropie ist die Eigenbewegung der Sonne relativ zur Expansion des Universums (Hubble Fluß). Zieht man die Dipolemission ab, dann erkennt man deutlich die Isotropie der Hintergrundstrahlung. Abweichungen stammen von Objekten der galaktischen Ebene.

CBR Cosmical Background Radiation = kosmische Untergrundstrahlung

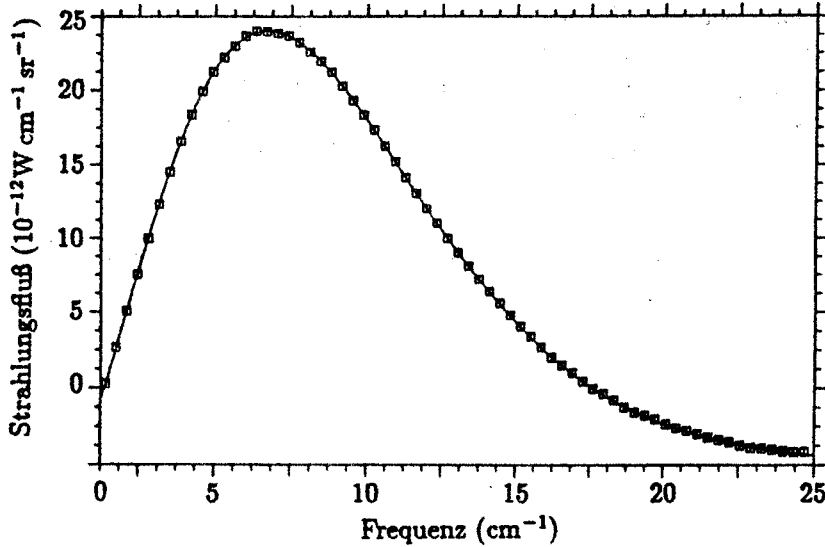


Abb.4: Spektrum der kosmischen Hintergrundstrahlung am galaktischen Nordpol (FIRAS). Die Kurve zeigt eine Energieverteilung eines Schwarzen Körpers von 2.735 K [4]

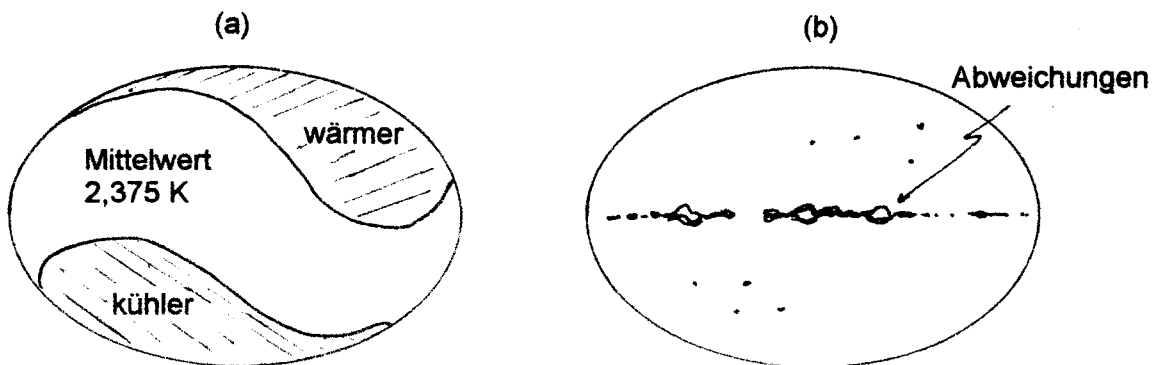


Abb.5: Mikrowellenhintergrund und Dipolanisotropie (a), nach Subtraktion des Dipolanteils (b)

Der Nachweis der Gleichförmigkeit der Hintergrundstrahlung ist durch COBE gelungen, was gleichzeitig auch eine Bestätigung für das Urknallmodell liefert. Annahme ist, daß Fluktuationen in dieser Hintergrundstrahlung nun jene Dichteschwankungen im frühen Universum kennzeichnen, aus denen schließlich Galaxien entstanden sind. Ein Ergebnis der Messungen ist, daß die Hintergrundstrahlung um $30\mu\text{K}$ in einem Bereich von 10° variiert. Diese Fluktuationen sind jedoch zu großräumig, als daß sie die Entstehung von Galaxien vermuten lassen würden. Die große Frage, die sich stellt: Wie kommt es nun zu den regelmäßigen Anordnungen der Sterne zu Galaxien und dieser wieder zu Galaxienhaufen? Und auch die Galaxienhaufen selbst scheinen nicht willkürlich im All verstreut zu

5. Fortsetzung Referat: Der Satellit COBE - ein Überblick

sein. Auf theoretischer Seite steht die „Dunkle Materie“ als Hauptkandidat für eine Erklärung zur Verfügung. Sie könnte für das Entstehen der Galaxien und der weitaus größeren Strukturen („Grosse Mauer“, eine über 500 Millionen Lichtjahre große Struktur) in der Frühphase des Universums verantwortlich sein.

Literatur

- [1] Bürke, Thomas: *COBE mißt kosmische Hintergrundstrahlung*. SuW 8-9/91, S.495
- [2] Davies, John K.: *Astronomy from Space. The Design and Operation of Orbiting Observatories*. John Wiley & Sons 1997
- [3] Duerbeck, Hilmar: *COBE und COBRA. Neue Ergebnisse über die kosmische Hintergrundstrahlung*. SuW 1/91, S.495
- [4] http://www.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/cobe_home.html
- [5] <http://www.geo.de/magazin/reportagen/galaxien/index.html>
- [6] <http://www.geo.de/wissen/92/06/KlumpenStrahlensuppe.html>

Silvia Haindl, Hofmannsthalgasse 10/5/3, A-1030 Wien

Anmerkung der Redaktion:

Zur Bedeutung der Beobachtungen von COBE für das himmelskundliche Weltbild siehe auch den zusammenfassenden Grundsatz-Beitrag von Univ.-Prof.Dr.Jürgen Ehlers, Direktor des MPI für Gravitationsphysik in Potsdam: „Der Kosmos als Objekt der Naturforschung“ in „Der Sternbote“, Heft 5/1998, p.90-101, Astronomisches Büro, Wien 1998.

Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Dieses Referat behandelt die Geschichte der Röntgenastronomie, beginnend mit „einfachsten“ Ballonmessungen bis hin zur Entwicklung von Röntgensatelliten, insbesondere dem am 1. Juni 1990 gestarteten ROSAT (ROentgenSATellit) und deren sensationelle Entdeckungen in einem Wellenlängenbereich, für den der menschliche Körper **KEINERLEI** Sinne oder Sensoren besitzt. Deshalb sollen zunächst kurz die physikalischen Grundlagen erläutert werden, die für ein Verständnis der röntgenastronomischen Untersuchungen und Ergebnisse wichtig sind.

Im Anschluß an dieses Referat wird eine kleine **Ausstellung** in der Vorhalle des Planetariums geboten, die Bilder zur Röntgenastronomie aus den Wandkalendern des Max-Planck-Instituts für Extraterrestrische Physik in Garching zeigt.

1 Physik der Röntgenstrahlen

Röntgenstrahlen stellen einen Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums dar, sie benötigen daher kein Transportmedium. Diese Strahlen entstehen immer dann, wenn hochbeschleunigte geladene Teilchen (vor allem Elektronen) stark abgebremst werden. Dies geschieht zunächst in Form der **kontinuierlichen Bremsstrahlung**. Dabei wird ein Elektron mit hoher kinetischer Energie vom positiv geladenen Atomkern eines chemischen Elementes abgebremst (Abb. 1). Die Höhe des Energiebetrages der dabei entstehenden Röntgenstrahlung ist abhängig von der Stärke der Abbremsung. Diese wiederum ist abhängig von der momentanen Distanz des Elektrons vom Atomkern. Es wird also eine kontinuierliche Röntgenstrahlung entstehen (Abb.2).

Diese wird jedoch von der **charakteristischen Röntgenstrahlung** überlagert. Diese wird dadurch verursacht, daß ein Elektron mit hoher kinetischer Energie ein Elektron aus einer inneren Schale eines Atomverbandes verdrängt. Die dadurch entstehende Elektronenlücke wird durch ein Elektron der nächst äußeren Schale wieder aufgefüllt, wobei Röntgenstrahlung frei wird, die der Bindungsenergie des ursprünglichen Elektrons entspricht und damit eine ganz charakteristische Wellenlänge aufweist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Röntgenastronomie Objekte untersucht, in denen höchste Temperaturen, extrem energetische Teilchen oder sehr starke Magnetfelder vorherrschen.

Die folgenden vier Abbildungen sollen diese physikalischen Erläuterungen besser verständlich machen.

1. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

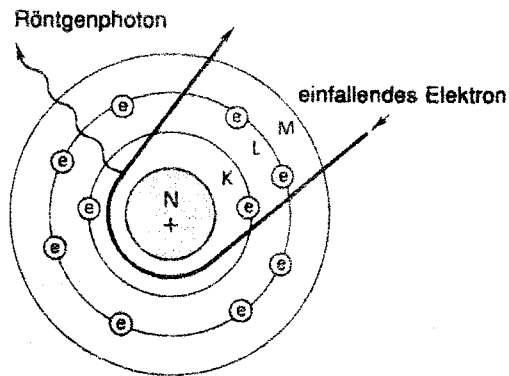


Abb. 1: Röntgenbremsstrahlung

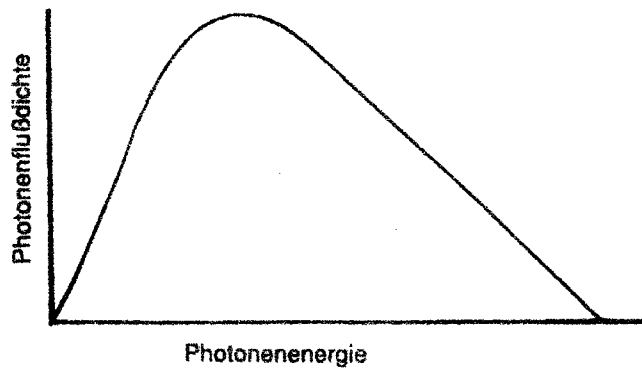


Abb. 2: Kontinuierliches Spektrum einer Röntgenbremsstrahlung

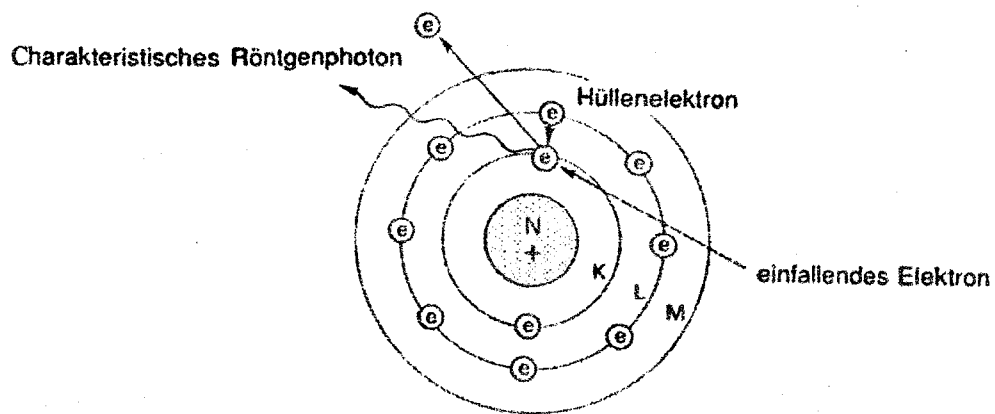


Abb. 3: Charakteristische Röntgenstrahlung

2. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

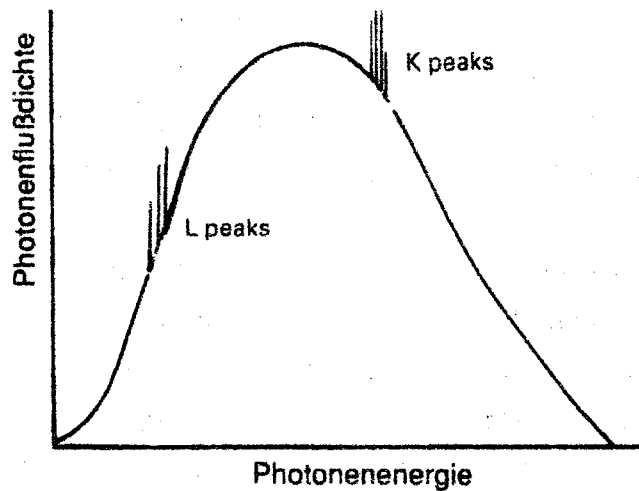


Abb. 4: Kontinuierliches Spektrum einer Röntgenbremsstrahlung, überlagert von den Peaks der charakteristischen Röntgenstrahlung

2 Geschichte der Röntgenastronomie

Im Jahre 1800 zeigte der deutsche **Friedrich Wilhelm Herschel** erstmals die Grenzen des Sehvermögens des menschlichen Auges auf. Er erzeugte mittels eines Glasprismas ein Spektrum des Sonnenlichtes und plazierte in den einzelnen Farbbereichen (entsprechend bestimmten Wellenlängenbereichen) Thermometer, um die Strahlungsintensitäten zu messen. Auch ein Thermometer außerhalb des roten Endes des Kontinuums zeigte einen deutlichen Temperaturanstieg. Die Infrarotstrahlung war entdeckt!

1895 entdeckte **Wilhelm Conrad Röntgen** in Würzburg Strahlen, die in der Lage waren dünne Metallplatten zu durchdringen und Einzelheiten im Inneren des menschlichen Körpers, insbesondere die Struktur von Knochen, darzustellen. Diese Erkenntnis war für die Physiker sehr bedeutsam, wurde doch die von dem Schotten **James Clerk Maxwell** erstellte Theorie der elektromagnetischen Strahlung bestätigt. Für die Astronomie hatte dieser Wissensfortschritt jedoch keine Auswirkung, da unsere Erdatmosphäre über das sichtbare Licht hinaus mit Ausnahme der Radiowellen (dieses „Radiofenster“ wurde erst Mitte des 20. Jhdts. entdeckt) kaum andere Strahlung aus dem Weltall auf den Erdboden durchdringen läßt. 1896 entdeckte **Henri Becquerel** in Paris eine noch energiereichere Strahlung, die nur noch durch dicke Bleiplatten abgeschirmt werden konnte, die Gammastrahlung. 1913 entwickelte **Hans Geiger** zum quantitativen Nachweis dieser radioaktiven Strahlung den „Geigerzähler“. Sein grundlegendes Prinzip wird auch noch gegenwärtig genutzt, weil es sich auch ausgezeichnet dazu eignet, um die kosmische

3. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Röntgenstrahlung zu messen. Anders als Röntgenfilme liefert dieses Gerät zwar keine Bilder, die durch schattengebende Hindernisse verursacht werden, doch man wollte damit lediglich die Strahlung selbst nachweisen. Bedingt durch den 1. und 2. Weltkrieg trat die Erforschung der Röntgenstrahlen in den Hintergrund und erlebte erst danach wieder neuen Auftrieb.

Mitte der vierziger Jahre unseres Jahrhunderts war man sehr daran interessiert die bislang nur theoretisch postulierte extrem hohe Temperatur der Sonnenkorona auch meßtechnisch zu verifizieren. Bei einer erwarteten Koronatemperatur in der Größenordnung von ca. einer Million Grad Kelvin, sollte verhältnismäßig langwellige (=„weiche“) Röntgenstrahlung entstehen. 1948 wurde zum ersten Mal versucht mittels einer aus dem Krieg erbeuteten deutschen V-2-Rakete die solare Röntgenstrahlung nachzuweisen. Nach Erreichen einer Höhe von 168 km, zeigten die an einem Fallschirm befestigten Photoplatten nach Entwicklung deutliche Schwärzungsspuren. Eine eindeutige Zuordnung zu einer Quelle war jedoch, bedingt durch den diffusen Einfall der Röntgenstrahlen, nicht möglich.

1949 wiederholte **Herbert Friedman** vom Naval Research Laboratory in Washington diesen Versuch, versah die Testrakete jedoch zusätzlich mit für das sichtbare Sonnenlicht empfindlichen Photometern. Durch Vergleich der Maximalwerte der eintreffenden Röntgenstrahlung im Moment des maximal einfallenden Sonnenlichtes war die Richtung der Röntgenstrahlung eindeutig der Sonne zuzuordnen.

Während der fünfziger Jahre trat die Röntgenastronomie in den Schatten der neuartigen Entdeckungen im Bereich der Radiowellen und dem Beginn der Radioastronomie.

Bruno Rossi (Mitarbeiter des Massachusetts Institute of Technology und Berater der American Science and Engineering Company) und **Riccardo Giacconi**, erkannten die Möglichkeiten, die sich durch die Nutzung der noch jungen Raumfahrttechnik für die Röntgenastronomie ergeben könnten. Im Oktober 1961 startete eine von der amerikanischen Luftwaffe unterstützte Mission zur Erforschung der vom Mond ausgehenden Röntgenstrahlung. Zwar war der Start der Rakete planmäßig, die Schutzfenster der Röntgendetektoren öffneten sich jedoch nicht. Am 18. Juni 1962 wurde das Experiment wiederholt, diesmal stand der Mond im Sternbild Schütze (unweit zum Zentrum der Milchstraße). Die Auswertung der Meßstreifen ergab überraschenderweise, daß das stärkste Röntgensignal jedoch aus dem Sternbild Skorpion kam, etwa 40° neben der momentanen Position des Mondes. Eine zweite deutlich schwächere Quelle wurde im Sternbild Schwan entdeckt. Da optische Äquivalente zu den Röntgenquellen nicht nachweisbar waren, wurden die Objekte einfach Sco X-1 und Cyg X-1 benannt.

Am 29. April 1963 gelang es einer Gruppe unter der Leitung von **Stuart Bowyer** eine Röntgenquelle im Sternbild Stier (Tau X-1) zu identifizieren. Diese war dem optisch

4. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

sichtbaren Crab-Nebel, dem Überrest einer Supernova im Jahre 1054, zuzuordnen. Damals schon wurde die Theorie von Fritz Zwicky und Walter Baade diskutiert, welche meinten, daß nur ein Neutronenstern mit einem Durchmesser von ca. 100 km Durchmesser eine Oberflächentemperatur von vielen Millionen Grad Kelvin besitzen müßte und damit als Röntgenquelle in Frage käme. Am 7. Juli 1964 hatten die Astronomen das Glück, daß der Mond den Crab-Nebel bedeckte. Die Röntgenstrahlung brach bei Bedeckungsbeginn jedoch nicht schlagartig ab (dies hätte für einen Neutronenstern gesprochen), sondern verminderte sich innerhalb von 2 Minuten allmählich. Dies entsprach einem Winkeldurchmesser der Röntgenquelle von ca. $1'$, bei der damals angenommenen Entfernung des Crab-Nebels von ca. 6.500 Lichtjahren also einem wahren Durchmesser von etwa 2 Lichtjahren.

Am 12. Dezember 1970 startete der SAS-A (Small Astronomy Satellite A) unter der Leitung von Giacconi vor der Küste Kenias. Da es der 7. Jahrestag der Unabhängigkeit Kenias war, wurde er mit dem Suaheli-Wort für Freiheit, nämlich UHURU getauft. Herzstück dieses Röntgenastronomiesatelliten waren zwei mit Argongas gefüllte Proportionalzähler. Durch Kollimatoren waren die Meßfelder auf $5^\circ \times 5^\circ$, bzw. $5^\circ \times 0,5^\circ$ beschränkt, was die Richtungsauflösung stark verbesserte. Während der ersten Monate wurde nahezu der gesamte Himmel nach neuen Röntgenquellen erforscht. Die überraschendste Entdeckung waren die extrem schnellen Veränderungen der Röntgenquelle Cyg X-1. Die Meßkurve zeigte innerhalb von Sekundenbruchteilen Veränderungen von 50 % und mehr! Den Schlüssel zum Verständnis bekam man, als ein blauer Riesenstern optisch identifiziert wurde, der mit der extrem kompakten Röntgenquelle ein Doppelsternsystem bildete. Aus den Bahnparametern, der Masse des Riesensterns und dem 3. Keplerschen Gesetz leitete man für die kompakte Röntgenquelle eine 6 mal höhere Masse, als die der Sonne ab. Dies war zuviel für einen Neutronenstern, das erste Schwarze Loch war gefunden. Während der 2-jährigen Betriebszeit von UHURU wurden rund 400 Röntgenquellen am Himmel identifiziert.

Bei einigen Objekten blieb jedoch die Röntgenstrahlung mit konstanter Regelmäßigkeit vorübergehend aus. Ein Beispiel war die Röntgenquelle Her X-1 in Verbindung mit dem schon von Cuno Hoffmeister 1936 entdeckten Veränderlichen HZ Her. Mittlerweile hatten die Radioastronomen die von Zwicky und Baade postulierten Neutronensterne bereits als Pulsare gefunden. Die Deutung war nun nicht mehr schwer, die Röntgenquelle mußte also ein schnell rotierender Neutronenstern sein, welcher seinen Begleiter umkreiste und von ihm regelmäßig bedeckt wurde. Das Maximum der optischen Helligkeitskurve erreichte immer dann ein Maximum, wenn die Röntgenquelle vor HZ Her stand und man auf die hellere, weil von der Röntgenquelle aufgeheizte Seite des Sterns sehen konnte.

5. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Ein weiterer Meilenstein in der Röntgenastronomie war der **Ballon-HEXE** (High Energy X-ray Experiment), der von Wissenschaftlern des Max-Planck Institutes für Extraterrestrische Physik in Garching bei München gemeinsam mit Kollegen der Universität Tübingen entwickelt wurde. Als Detektoren wurden durchsichtige Kristalle aus Natrium- und Cäsiumjodid verwendet, die Ballone stiegen in eine Höhe von 40 km auf. Eindringende energiereiche Röntgenphotonen erzeugten durch Anregung und Ionisation anderer Atome im Kristall Lichtblitze, die mittels Photomultiplier registriert wurden. Hauptziel der Mission war eine erwartete langsame Abnahme der Röntgenstrahlung des Crab-Nebels und seines Pulsars (Tau X-1) nachzuweisen. Durch die rasche Rotation des Neutronensterns und die ständige Energieabstrahlung mußte die Rotationsgeschwindigkeit abnehmen und die Pulsationsperiode zunehmen. Diese Tatsache war von den Radioastronomen bereits bestätigt worden. Aber auch die Röntgenhelligkeit mußte mit steigendem Alter der Röntgenquelle nachlassen, was im Mai 1976 durch diese Mission bewiesen wurde. Außerdem erkannte man, daß im Bereich der magnetischen Polkappen (Magnetfeld ca. 100 Millionen Tesla) extrem heiße Flecken von etwa 100 Millionen Grad Kelvin vorhanden sind. Eine dieser Polkappen ist zur Erde gerichtet, auf diese wird Materie gesaugt, die vom Begleiter HZ Her stammt und durch das Magnetfeld von Her X-1 kanalisiert wird. Wegen des extrem starken Gravitationsfeldes des Neutronensternes beträgt die Fallgeschwindigkeit etwa $1/3$ der Lichtgeschwindigkeit! Dieses extrem heiße Plasma wird also, so paradox dies klingen mag, durch starke Röntgenemission gekühlt! Die Energiedichte auf solchen Polkappen ist so hoch, daß der jährliche Primärenergiebedarf der Bundesrepublik Deutschland von einer Teilfläche mit nur $1/1.000$ mm Durchmesser abgedeckt werden könnte! Trotz aller Erfolge krankte das Ballon-HEXE-Programm an der zeitlichen Begrenzung der Messungen, die sich aus der beschränkten Flugdauer eines Stratosphärenballons ergab. Über eine äußerst schwierige deutsch-sowjetische Kooperation gelang es im März 1987 die Raumstation Mir mit einer angekoppelten HEXE in eine Umlaufbahn um die Erde zu bringen.

Trotz der Einzelerfolge dieser ballongetragenen Röntgenastronomie trugen die Satelliten mehr zum Wissensfortschritt bei. Insbesondere die beiden amerikanischen Röntgensatelliten **HEAO-I** (High Energy Astronomical Observatory) und **HEAO-II** (Einstein-Satellit) funkten erstmals Röntgenbilder zur Erde. Sie waren von einem Röntgenteleskop mit 58 cm Durchmesser (Verbesserung der Lichtstärke) aufgenommen worden, ihre Auflösung betrug ca. $10''$. Als HEAO-II im Sommer 1981 verglühte, hatte man Daten von über 5.000 kosmischen Röntgenquellen gesammelt.

Am 26. Mai 1983 brachten die Europäer **EXOSAT** (European X-ray Observatory Satellite) auf eine stark elliptische Laufbahn zwischen 350 und 192.000 km. Die Umlaufzeit betrug 4

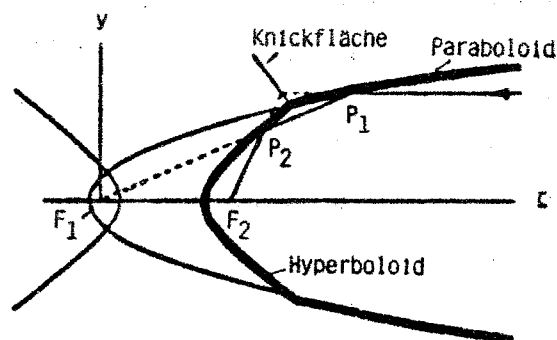
6. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Tage und der Satellit befand sich bis auf wenige Stunden außerhalb der störenden Van-Allen-Strahlungsgürtel. Die beiden Teleskope von je 27cm Durchmesser erlaubten vor allem die lange ununterbrochene Beobachtung von Röntgenquellen. Dies war vor allem für das Studium von Röntgendoppelsternen mit häufig zeitlich sehr komplexen Helligkeitsentwicklungen sehr wichtig.

3 Die Entstehungsgeschichte des Röntgensatelliten ROSAT

1975 unterbreitete Joachim Trümper, der Direktor am Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching bei München ist, dem Bundesforschungsminister einen Vorschlag für einen Satelliten mit Röntgenteleskop. Zweifel bestanden allerdings hinsichtlich der Kosten. Für ROSAT, mit ca. 1 Tonne Gewicht, wurde 1 Milliarde DM veranschlagt. Am Ende lag die Startmasse von ROSAT bei 2,5 t, die Gesamtkosten beliefen sich auf 560 Millionen DM. Wesentlich für die Kostenminimierung des Projektes war die internationale Beteiligung. Die NASA stellte mit dem HRI (High Resolution Imager) einen eigenen Röntgendetektor sowie eine Delta-II-Rakete für den Start zur Verfügung. Mit einer 54 cm „Wide Field Camera“ für den längerwelligen UV-Bereich hat sich ein britisches Forschungskonsortium an ROSAT beteiligt.

Die Grundidee für eine abbildende Röntgenoptik hatte Anfang der fünfziger Jahre der Physiker Hans Wolter entwickelt. Während sich sehr kurzwellige Röntgenstrahlen bei steilem Einfall auf eine Oberfläche zwischen den Atomen hindurchzwängen und damit absorbiert werden, erscheinen die Lücken zwischen den Atomen der Spiegeloberfläche unter extrem flachen Winkel so eng zusammengeschrumpft, daß auch Röntgenstrahlen reflektiert werden. Um eine brauchbare scharfe Abbildung zu erhalten, leitete Wolter die von einem Paraboloidring streifend reflektierten Röntgenstrahlen anschließend auf einen Hyperboloidring.



Um störende Streueffekte zu vermeiden, war es notwendig, die Mikrorauigkeit der

7. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Spiegelfläche fast auf atomare Dimensionen zurückzudrängen und sie sollte die Ausmaße einiger weniger Atomdurchmesser nicht überschreiten (= wenige zehnmillionstel Millimeter!). Horst Köhler von der Firma Carl Zeiss im schwäbischen Oberkochen erklärte sich bereit mit der Garching Gruppe eine neue Technologie zu schaffen. Nach mehreren Vorversuchen wurden als Ausgangspunkt für die Spiegelherstellung große Vollquader aus Zerodur (Glaskeramik, entwickelt von den Schott-Glaswerken in Mainz) gewählt. Aus ihnen wurden zunächst acht einzelne Zylinder gefräst. Das Feinpolieren jedes einzelnen Spiegels dauerte etwa 6 bis 8 Wochen, spezielle Meßeinrichtungen wurden eigens gebaut um die Poliergenauigkeit so fein als möglich zu halten. Dies war der Grundstein, daß das ROSAT-Teleskop mit einer Öffnung von 83 cm eine Winkelauflösung von nur 5" erreichte. Letztendlich wurde mittels eines Spezialverfahrens eine Goldschicht auf die Spiegeloberfläche aufgebracht, die deren Reflexionsvermögen steigern sollte. Vergleicht man die ROSAT-Spiegel mit dem Bodensee (Maßstab beachten!!), so würde ihre Mikrorauhigkeit einer Wellenhöhe von nur einem Hunderstel Millimeter entsprechen! Wie konnte man aber nun die 8 Spiegelröhren unverrückbar zu einem Teleskop zusammenkleben? Man wählte eine Eisen-Nickel-Stahl-Legierung, die eine sehr niedrige thermische Ausdehnung besitzt. Zusätzlich sollte dieses Gesamtteleskop nur über dünne, L-förmige Bleche mit der Trägerstruktur verbunden werden. Mehrere Vorversuche bestätigten die Festigkeit dieser Montage.

Als Bildwandler für die Röntgenstrahlung wurden zwei Proportionalzähler **PSPC (Position Sensitive Proportional Counter)** entwickelt. Es handelte sich um Gasproportionalzähler mit drei Drahtgitterebenen, die beiden äußeren waren Kathoden (negative Hochspannung), die mittlere war eine Anode mit der entsprechenden Positivspannung. Die vom Röntgenteleskop gebündelten Röntgenstrahlen wurden vom Füllgas (Mischung aus Argon, Xenon und Methan) absorbiert und lösten kleine Entladungen zwischen den Gitterebenen aus. Ein Mikrorechner ermittelte aus den gemessenen Impulsen den Ort des „Aufschlags“. Um die angestrebte hohe räumliche Auflösung zu erzielen, mußte der Abstand der Meßdrähte zwischen den Drahtgitterebenen auf ca. 1/1.000 mm genau sein. Der Proportionalzähler kann den Empfangsbereich zwischen 0,1 bis 2,4 Kiloelektronenvolt in vier Bänder zergliedern (vergleichbar mit Farben im optischen Bereich). Dabei geht es natürlich nicht darum „bunte Bilder“ zu erhalten, sondern den Helligkeitsunterschied zwischen den kurzwelligen (harten) und langwelligen (weichen) Röntgenstrahlen zu erfassen. Je geringer dieser Unterschied ist, desto heißer ist in der Regel die Röntgenquelle. Beide Proportionalzähler an Bord von ROSAT sind an jeweils fünf Seiten mit sogenannten „Vetozählern“ umgeben, wodurch die kosmische Reststrahlung zu mehr als 99 % unterdrückt wird. Das Eintrittsfenster wurde mit einer 1/1.000 mm dicken

8. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Polypropylenmembran verschlossen, die von einem Netz von dünnen Metalldrähten (zwischen 0,025 und 0,1 mm dick) unterlagert ist. Ein elektrisch leitender Graphitüberzug verhindert elektrostatische Aufladungen der Membran, eine außen angebrachte Lexanschicht verhindert ein Eindringen von UV-Licht in den Detektor.

Der die Nutzlast aufnehmende Satellit wurde von der Friedrichshafener Raumfahrtfirma Dornier-System gebaut. Das Münchener Unternehmen Messerschmidt-Bölkow-Blohm lieferte das Lagemeß- und -regelungssystem. Dieses besteht aus zwei elektronischen Sternkameras (CCD-Kameras), die direkt am Röntgentelekop angebracht sind und eine Richtungsauflösung von 1" erreichen. Einmal pro Sekunde erfolgt die Meßabfragung und der Istwert wird mit dem im Bordcomputer gespeicherten Sollpositionen der Sterne verglichen. Eventuelle Abweichungen werden an das Navigationskreiselssystem weitergegeben, bestehend aus einem X-, Y- und Z-Kreisel.

Eigentlich sollte der nun ca. 2,4 t schwere Satellit 1987 durch ein amerikanisches Space-Shuttle in seine Umlaufbahn getragen werden. Doch die Explosion der Raumfähre „Challenger“ am 28. Jänner 1986 brachte alle weiteren Startpläne der NASA durcheinander, wodurch auch der Einsatz von ROSAT in Frage gestellt wurde. Als neuen Termin konnte die NASA erst einen Shuttle-Start im Jahre 1993 anbieten, doch wurde ein Ausweg gefunden. Statt mit dem Shuttle sollte ROSAT nun mit einer vielfach bewährten Delta-II-Rakete gestartet werden.

Am 1. Juni 1990, 17⁴⁸ Uhr Ortszeit (23⁴⁸ Uhr MESZ) wurde in Cape Canaveral die Rakete mit ROSAT gestartet.

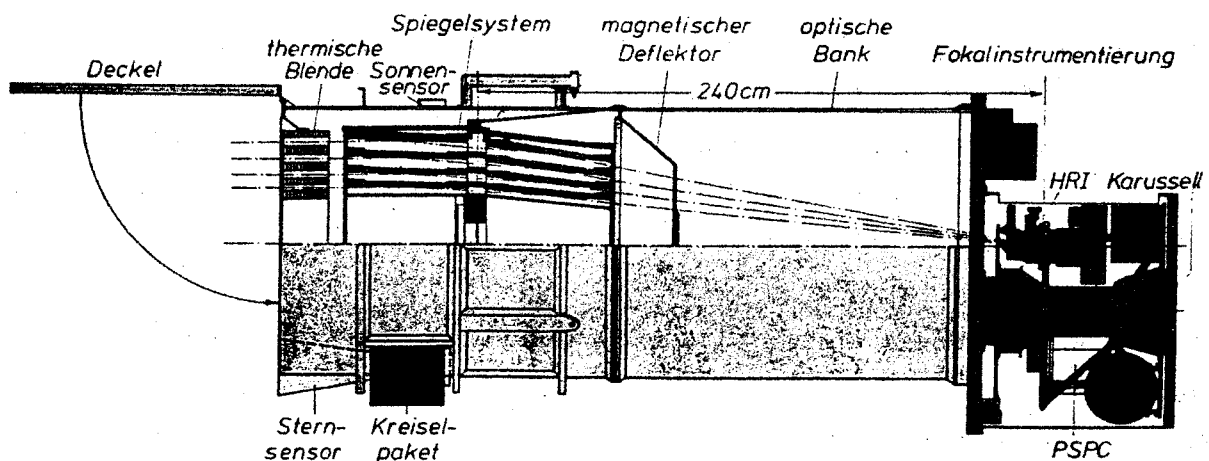


Abb.5: Die meßtechnische Einrichtung von ROSAT

9. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

18 Minuten nach dem Start hatte das GSOC (German Space Operation Center) der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen bei München zum ersten Mal Kontakt mit dem Satelliten. Die Bahn in 580 km Höhe war so gewählt, daß innerhalb von 8 Stunden fünf- bis sechsmal für jeweils 10 Minuten der Empfangsbereich der Bodenstation überflogen wurde. Danach bestand für 16 Stunden Funkstille. In den folgenden Tagen wurden über die 15 Meter Antenne in Weilheim rund 20.000 Kommandos an ROSAT gesendet. Zunächst wurden die 12 m² großen Solarzellenflächen entfaltet und der Antennenmast ausgefahren, dann konnte der Deckel des Röntgenteleskops geöffnet werden. Anschließend wurde die PSCP-Röntgenkamera in den Brennpunkt des Teleskops gebracht, die elektrische Hochspannung angeschlossen und die Empfindlichkeit mittels eingebauter schwach radioaktiver Präparate gemessen.

Nach 2 Wochen konnte die Testphase abgeschlossen, und eine sechswöchige wissenschaftliche Erprobungsphase vorgenommen werden.

Mit dem 1. August 1990 begann dann die erste vollständige Farbdurchmusterung des Röntgenhimmels mit einem Röntgenteleskop, sie sollte 6 Monate Zeit in Anspruch nehmen. Am 25. Jänner 1991 war ROSAT während einer Kontaktpause durch einen Totalausfall des Lageregelungsrechners ins Taumeln geraten. Nicht einmal der Überlebensmechanismus, der die Solarzellenflächen des Satelliten optimal ausrichten sollte, sprach an. Am 26. Jänner um 3³² Uhr MESZ war der erste Kontakt seit Eintritt der Störung. Die Angaben über den Zustand von ROSAT machten deutlich, daß sich der Satellit in „Lebensgefahr“ befand. Erst beim fünften Kontakt dieses Tages (10¹² Uhr MESZ) wurde ein Programm zur Reinitialisierung des Bordrechners gefunkt, wodurch ROSAT „gerettet“ wurde. Bei weiteren Kontakten stellte man fest, daß durch das Taumeln das Teleskop über die Sonne geschwenkt war und ein PSCP zerstört war. Der zweite Ersatzzähler erfüllte jedoch seine Funktion, bis im Sommer 1994 der Gasvorrat zur Neige ging.

Wegen dieses Unfalls kurz vor Ende der Durchmusterung konnte die Kartierung des Röntgenhimmels erst im Sommer 1991 abgeschlossen werden. Die neueste Version der ROSAT-Himmelskarte umfaßte ca. 80.000 kosmische Röntgenquellen.

Aber auch die Astronavigation für ROSAT verlief nicht komplikationslos. Schon im November 1990 fiel eine der beiden Sternkameras aus, die zweite konnte dies jedoch mit verbesserter Software ausgleichen. Am 12. Mai 1991 fiel der Y-Navigationskreisler aus. Fünf Monate brauchten die Wissenschaftler um eine Navigationsmethode zu entwickeln, die ohne den Y-Kreisler auskam. Diese „unliebsame Verzögerung“ nutzte man für Langzeitbeobachtungen, z.B. die erste Durchmusterung der Andromeda-Galaxie nach schwachen Röntgenquellen. Danach folgten zwei Jahre mit weitgehend normalem Meßbetrieb, bis am 17. November 1993 auch der Z-Navigationskreisler ausfiel. Mit einer neu

10. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

entwickelten Navigationsmethode mittels Bestimmung der Sonnenposition und der lokalen Magnetfeldrichtung gelang weiter die Navigation. Man bedenke aber, daß auf ROSAT der Sonnensensor und die „Förstersonden“ zur Messung des Erdmagnetfeldes eigentlich nur dafür vorgesehen waren, lebensnotwendige Funktionen des Satelliten zu erhalten!

4 Ergebnisse und Überraschungen durch Rosat

4.1 Röntgenstrahlung vom Mond

Auch im Röntgenlicht zeigt der seitlich von der Sonne beschienene Mond eine Phasengestalt. Die rechte Hälfte des Mondes wird in der Abb.6 von der Sonne beschienen. Die linke, unbeleuchtete Seite schattet die Röntgenhintergrundstrahlung aus den Tiefen des Weltalls ab. Trotzdem erkennt man auch in diesem Bereich einzelne Röntgenphotonen. Denkbar wäre, daß energiereiche Teilchen des Sonnenwindes um den Mond herumgelenkt werden, auf die Nachtseite prallen, und dort Atomkerne der Mondoberfläche zur Aussendung von Röntgenphotonen anregen.

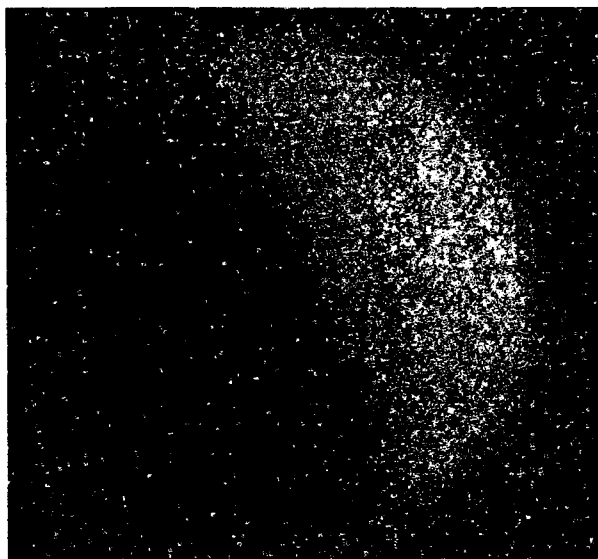


Abb.6: Röntgenaufnahme des Mondes kurz vor dem Ersten Viertel

4.2 Röntgenstrahlung von einem Kometen

Am 27. März 1996 registrierte ROSAT eine unerwartet starke Strahlung aus der Umgebung des Kometen Hyakutake (C/1996 B2). Das Röntgenbild zeigt eine halbmondförmige

11. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Strahlungsregion, etwa 30.000 km vom Kometenkern entfernt. Als wahrscheinlichste Erklärung gilt bis heute eine Umwandlung der kinetischen Energie des auftreffenden Sonnenwindes in thermische Energie zur Aufheizung der Koma. Rückblickend fand man noch drei weitere „röntgenaktive“ Kometen, die im Zeitraum zwischen Juli 1990 und Jänner 1991 zufällig durch das Gesichtsfeld des ROSAT-Teleskops gezogen waren.

4.3 Röntgenstrahlung von der Sonne

Bekanntlich besitzt die Sonne ein sehr starkes Magnetfeld. Insbesondere die Sonnenflecken gelten als „Wurzeln“ großer magnetischer Bögen, die durch die ungleichförmige Rotation der einzelnen Sonnenbereiche verdrillt werden. Heißes Sonnenplasma (vollständig ionisiertes Gas, welches elektrisch leitfähig ist und elektromagnetischen Einflüssen unterliegt) wird von diesen magnetischen Schläuchen aus der Sonne gerissen und schließlich so stark aufgeheizt, daß es Röntgenstrahlung aussendet.

Beim Vergleich der Oberflächentemperaturen von Sternen mit deren Röntgenhelligkeiten erkannte man bald, daß das Hertzsprung-Russell-Diagramm nicht gut anwendbar war. Bei sonnenähnlichen Sternen bestimmen vielmehr die magnetischen Aktivitäten, welche ihrerseits von der Rotationsgeschwindigkeit der Sterne abhängen, die Röntgenhelligkeit. Anders ist dies bei massereichen heißen Sternen der Spektralklassen O und B. Der viel stärkere Sternenwind im Vergleich zu unserem Sonnenwind wird in diesen Fällen zusätzlich durch Stoßwellen so stark aufgeheizt, daß er Röntgenstrahlung aussendet.

4.4 Röntgenstrahlung enger magnetischer Doppelsterne

Mit ROSAT wurde eine Reihe enger Doppelsterne mit starkem Magnetfeld (deutlicher Zeemann-Effekt im Spektrum erkennbar) untersucht. Als Beispiel sei das System AR Lacertae im Sternbild Eidechse genannt. Aufgrund der gegenseitigen Bedeckung geht hier die visuelle Helligkeit ca. alle zwei Tage um etwa eine Größenklasse zurück. Aus spektroskopischen Untersuchungen weiß man, daß zwei Sterne (1,5x und 3x Sonnengröße) in einem Abstand von nur 4,5 Sonnendurchmessern stehen. Die gegenseitigen Bedeckungen der beiden Komponenten machen sich bei der kurzwelligen Röntgenstrahlung kaum bemerkbar. Dies läßt vermuten, daß das als Quelle notwendige, rund 15 Millionen Kelvin heiße Gas womöglich beide Sterne einhüllt. Im Gegensatz dazu zeigt die langwellige Röntgenstrahlung die erwartete „Lichtkurve“, die immer dann ein

12. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Minimum zeigt, wenn der größere Stern die kleinere Komponente bedeckt. Offenbar stammt die starke Röntgenstrahlung bei diesem kleineren Stern aus riesigen magnetischen Bögen. Einen extremen Strahlungsausbruch konnte ROSAT im August 1992 bei Algol verfolgen. Im Zeitraum von sieben Tagen stieg die Zählrate auf das 100-fache des normalen Wertes an. Mit einem vereinfachten Modell für Flare-Ereignisse konnten sogar die Ausmaße des beteiligten magnetischen Schlauches abgeschätzt werden. Er war etwa 5 Millionen km lang und erreichte eine Höhe von ca. 1,6 Millionen km (ca. 1/3 des Sterndurchmessers!)

4.5 Röntgeneinblicke in Sterngeburtsstätten

Extrem junge Sterne rotieren mit ziemlicher Sicherheit sehr rasch, sodaß man bei ihnen schon eine vergleichsweise starke magnetische Aktivität erwarten kann. Sie werden also Röntgenstrahlung aussenden, die umso leichter beobachtbar ist, je dünner die verbleibende Resthülle aus der ursprünglichen Gas- und Staubwolke geworden ist.

In einer nahen Sternentstehungsregion im Sternbild Chamäleon z.B. waren vor ROSAT nur 32 sehr junge Sterne bekannt, die ROSAT-Beobachtungen förderten 25 weitere Mitglieder zutage!

4.6 Röntgenstrahlung von Doppelsternsystemen, die einen weißen Zwerg als Komponente haben

Umlaufzeit und Abstand zweier Komponenten stehen durch das dritte Kepler'sche Gesetz in einer festen Beziehung zueinander. Man kann sich nun vorstellen, daß Doppelsternpaare mit einer Umlaufzeit von nur wenigen Stunden einander fast berühren müssen. In diesen Fällen muß also der eine Partner ein Weißer Zwerg sein, welcher räumlich zwar sehr klein, aber extrem massereich ist. Ähnlich wie der Mond auf der Erde löst dieser massenreiche Weiße Zwerg auf seinem Begleiter ein Flut- und Ebbephänomen aus, allerdings um ein vielfaches stärker! Es ist also absolut vorstellbar, daß Materie von dem größeren, aber masseärmeren Stern auf den Weißen Zwerg hinüberströmt.

Schon um die Mitte des 19. Jhdt. beschäftigte sich der französische Mathematiker Edouard Roche mit der Überlagerung von Schwerkraftfeldern. Die daraus resultierende „Rochesche Grenzfläche“ ist jene gedachte Oberfläche eines Körpers, auf der sich die eigene Anziehungskraft mit der eines benachbarten Objekts die Waage hält. Dehnt sich ein Stern über die eigene Rochesche Grenze aus, so verliert er Materie an seinen Nachbarn.

13. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

Bereits in den siebziger Jahren konnten einige wenige Röntgenquellen mit solchen sog. „kataklysmischen Veränderlichen“ identifiziert werden, wobei die Entstehungsursache der Röntgenstrahlen zunächst unklar war.

Modelle zur Dynamik des Materiestromes zwischen den zwei Komponenten eines engen Systems ergaben, daß das überströmende Gas nicht auf direktem Weg auf den Weißen Zwerg herunterfällt, sondern eine „Akkretionsscheibe“ bildet, in der es sich auf immer enger werdenden Spiralen langsam dem Weißen Zwerg nähert.

Theoretisch gibt es nun drei Zonen, in denen die beobachtete Röntgenstrahlung eines kataklysmischen Veränderlichen entstehen könnte. Zunächst der heiße Fleck, dort wo die überschwappende Materie auf die Akkretionsscheibe trifft, weiters dort wo die Materie auf den Weißen Zwerg auftrifft. In beiden Fällen wird kinetische Energie in Wärme umgewandelt und das Gas in diesem Bereich entsprechend aufgeheizt. Schließlich gibt es auch die Möglichkeit von Ausbrüchen in der Sternatmosphäre des Begleitsterns.

Mehrere ROSAT-Beobachtungen an UX UMa, HT Cas, oder VW Hyi führten zu folgendem Schluß: Die Röntgenhelligkeiten, bzw. Helligkeitsausbrüche im Röntgenbereich lassen sich auf Prozesse im Bereich zwischen dem inneren Rand der Akkretionsscheibe und der Oberfläche des weißen Zwerges zurückführen. Vielleicht löst hier das auf den Weißen Zwerg auftreffende Gas kurzzeitig neue Kernfusionsprozesse unter der Oberfläche des eigentlich ausgebrannten Sternes aus.

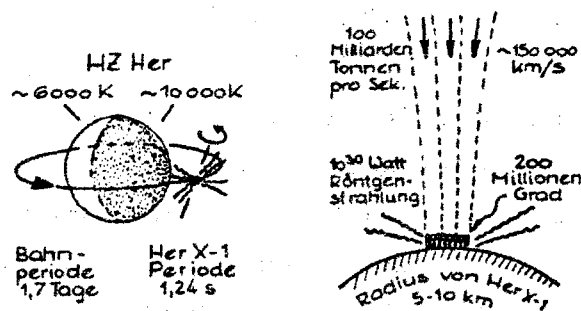
4.7 Röntgenstrahlung von Doppelsternsystemen, die einen magnetischen weißen Zwerg als Komponente haben

Diese Systeme enthalten magnetische weiße Zwerge mit Magnetfeldstärken von bis zu 10.000 Tesla. Dies führt dazu, daß sich der hochmagnetische Weiße Zwerg im Magnetfeld des Begleiters ausrichtet und die Rotationsperioden der beiden Komponenten synchronisiert werden. Sie erscheinen nach außen wie zwei starr miteinander verbundene Kugeln. Darüber hinaus verhindert ein solch starkes Magnetfeld die Bildung einer Akkretionsscheibe. Die Materie wird in diesem Fall in weitem Bogen entlang der Magnetfeldlinien auf den magnetischen Pol des Weißen Zwerges geleitet. Dabei werden die Elektronen auf Spiralbahnen um die Magnetfeldlinien gezwungen. Sie senden eine charakteristische Strahlung aus, deren Wellenlänge abhängig von der Geschwindigkeit der Teilchen und der Stärke Magnetfeldes ist. Es entsteht die sog. „Zyklotronstrahlung“, welche erstmals in irdischen Teilchenbeschleunigern beobachtet wurde. Dort, wo Materie auf den Magnetpol des Weißen Zwerges auftrifft entsteht eine „Stoßfront“ (ähnlich der Schaumzone am Fußpunkt eines Wasserfalls), in der die auftreffende Materie extrem erhitzt

14. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

wird und harte Röntgenstrahlung ausgesendet wird. Ein Teil der Strahlung trifft zusätzlich auf die umgebende Oberfläche des Weißen Zwerges und heizt diese auf, in dieser „Fleckenrandzone“ wird daher weitere Röntgenstrahlung freigesetzt.

Im Zuge der ROSAT-Durchmusterungen sind heute etwa 50 solcher „polarer“ Systeme bekannt. Sie weisen Umlaufzeiten zwischen 80 Minuten und 8 Stunden auf.



Schematische Darstellung eines magnetischen Röntgendoppelsterns

4.8 Röntgenstrahlung von Supernovae

Die Supernova 1987 A:

Im Februar 1987 brach in der Großen Magellanschen Wolke der ausgebrannte Kern eines gealterten Sternes von ursprünglich ca. 18 Sonnenmassen unter seiner eigenen Anziehungskraft zusammen. Die umgebende Sternhülle entfernte sich mit einer Geschwindigkeit von mehreren 1.000 km/s. Durch die ungemein vergrößerte Oberfläche kam es zu einem enormen Helligkeitsausbruch im visuellen Bereich. Dieses Ereignis hatte jedoch eine erwähnenswerte Besonderheit. Es handelte sich nicht um die Supernova eines roten Überriesen, wie sie bereits bekannt und erklärbar war, sondern um die eines blauen Überriesen. Diese Sterne galten bis zu diesem Ereignis als ziemlich stabil, sie haben normalerweise noch einige 100.000 Jahre vor sich, bis sie zu einem roten Überriesen, und schließlich einer Supernova werden.

Mit neuen Modellrechnungen erkannte man aber bald eine Überraschung. Es war nicht vorzeitig ein Stern im Sterben entdeckt worden, sondern vielmehr ein eher überaltertes Objekt. Der Stern hatte nämlich sehr wohl bereits das Rote Riesenstadium überlebt, dabei aber den sonst unumgänglichen Stermentod „überlebt“. Während die äußere Hülle über einen Zeitraum von ca. 600.000 Jahren verloren ging, liefen im Inneren des Sternes die Kernfusionen bis hin zum Element Eisen weiter. Durch extreme Druck- und Temperaturbedingungen wurden Schwefel- und Siliziumkerne gebildet, die sich zum Nickelisotop Ni-56 verbinden, welches radioaktiv zum Kobalt-56, und später zum stabilen Eisen-56 zerfällt. Dabei wird sehr kurzwellige Gammastrahlung freigesetzt, die in der

15. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

dichten Kernmaterie des Sternes zunächst absorbiert wurde. Nur die Helligkeitsentwicklung der Supernova im sichtbaren Licht spiegelte diesen raschen radioaktiven Zerfall wider. Erst ein halbes Jahr nach dem visuellen Ausbruch konnte durch die nun weniger dichte Sternumgebung erstmals gestreute, abgeschwächte Röntgenstrahlung festgestellt werden. Wenn Gammateilchen sich durch dichte Materie bewegen, verlieren sie nämlich bei jedem Zusammenstoß Energie, bis sie abgeschwächt als Röntgenphotonen entweichen können. Im August 1987 wurde wirklich von der Mir-HEXE diese Röntgenstrahlung festgestellt. Mit ROSAT wollte man nun die langwellige Röntgenstrahlung (thermische Strahlung heißer Gase, welche die Explosionswolke repräsentieren) feststellen. Am 16. Juni 1990 wurde ein Versuch unternommen, aber auch nach 8 Minuten Belichtungszeit war das Objekt nicht feststellbar! Erst im Sommer 1993 wurden die ersten weichen Röntgenphotonen registriert, zu diesem Zeitpunkt hatte sich die Explosionswolke bereits $1/3$ Lichtjahr vom Explosionsort entfernt!

Die Supernova 1993 J:

Sie war am 27. März 1993 in der Galaxie M 81 im Sternbild Großer Bär zu erkennen. Bereits 6 Tage später wies ROSAT eine starke Röntgenquelle nach. Der Grund für das sehr schnelle Auftreten von Röntgenstrahlung im Gegensatz zur Supernova 1987 A (blauer Überriese) war ein anderer Vorläuferstern, diesmal nämlich ein roter Überriese.

Ein roter Überriese verliert die Kontrolle über seine äußersten Schichten, die in Form eines stetigen Sternwindes mit ca. 10-50 km/s entweichen. Wenn ein solcher Sternwind von einer nachfolgenden überschallschnellen Explosionswolke einer Supernova durchdrungen wird, entstehen genügend hohe Temperaturen, um Röntgenstrahlung zu produzieren. Im Gegensatz dazu hat der wesentlich schnellere Sternwind des blauen Überriesen bei der Supernova 1987 A in den zuvor entwichenen Gasmassen förmlich eine Blase leergefegt, sodaß die Explosionswolke zunächst „ins Leere“ verlief, und keine Röntgenstrahlung entstehen konnte (siehe dazu auch: Seminarpapiere 1995)!

4.9 Pulsare im Röntgenlicht

So dramatisch eine Supernovaexplosion auch sein kann, wir wissen, daß sie nicht das absolute Ende eines Sternes darstellen muß. Neben der expandierenden Gaswolke bleibt auch noch ein Neutronenstern zurück (ca. 30 km Durchmesser, Sonnenmasse oder sogar mehr!). Radioastronomen entdeckten ja bereits 1967 die Pulsare, welche als rotierende Neutronensterne interpretiert wurden. Doch auch Pulsare unterliegen der Physik. Um den großen Verlust an Energie in Form von Strahlung auszugleichen, müssen sie diesen aus

16. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

ihrer Rotationsenergie rekrutieren. Die Rotationsdauer und die Pulsperiode müssen also zunehmen. Nimmt die Rotation eines Neutronensterns nun aber ab, so wird auch die Beschleunigung der von der Oberfläche austretenden Teilchen geringer, was sich unter anderem in einer Abnahme der Helligkeit im Röntgenbereich äußern kann. Und wirklich! Von den fast 700 bekannten Radiopulsaren, pulsiert nur ein geringer Prozentsatz auch im Röntgenlicht, nämlich jene, noch schnellen Pulsare, deren Alter auf nur einige wenige tausend Jahre geschätzt wird. Als Paradebeispiel dafür gilt der Crab-Pulsar (Neutronenstern aus der Supernova im Jahre 1054, der Gasnebel ist auch als Crab-Nebel bekannt). Seine Rotationsperiode beträgt 33 ms, die Abbremsrate 36,5 ns/Tag. Der Pulsar strahlt im Radio-, Röntgen- und auch Gammabereich! Solch extrem hochenergetische Elektronen können nur in einer Magnetosphäre mit einer Feldstärke von hundert Millionen Tesla entstehen!

Der europäische Gammaastronomiesatellit COS-B registrierte im Sternbild Zwillinge einen Bereich, aus dem Gammaphotonen nachweisbar waren. Das Objekt wurde Geminga (Gemini-Gammastrahlenquelle) genannt. Visuell konnte ein extrem heißes Objekt identifiziert werden. ROSAT stellte im März 1991 an Geminga erstmals eine gepulste Röntgenstrahlung fest, die alle 0,237 Sekunden wiederkehrte. Hinter Geminga verbarg sich also ein „stiller“ Pulsar, vermutlich verfehlt der schmale Radiostrahl die Erde. Messungen mit dem Hubble-Weltraumteleskop in den Jahren 1994 und 1995 ergaben eine Entfernung von nur 500 Lichtjahren, damit ist Geminga der nächstgelegene Pulsar!

4.10 Schwarze Löcher im Röntgenlicht

Auf den ersten Blick erscheint es paradox, nach Röntgenstrahlung von einem Objekt zu suchen, das auf Grund seiner extremen Gravitation keine Strahlung an die Umgebung abgibt. Ein Schwarzes Loch könnte sich aber als Röntgendoppelstern zu erkennen geben, wobei der kompakte Partner aber mindestens die dreifache Sonnenmasse besitzen muß. Anfang 1996 kannte man sieben solcher Quellen in unserer Milchstraße. Auch in diesen Systemen treten Akkretionsscheiben auf. Darüber vermuten die Astronomen eine dünne, durch ein Magnetfeld aufgeheizte Atmosphäre. Wenn nun weiche Röntgenphotonen diese Atmosphäre durchdringen, werden sie an den heißen Elektronen gestreut, wodurch sie auf höhere Energieniveaus gelangen. Zu den kürzeren (=härteren) Wellenlängen hin bricht die Strahlung charakteristischerweise abrupt ab, da die Energie der Röntgenphotonen dann jene der Elektronen der Atmosphäre erreicht und kein weiterer Energiegewinn mehr möglich ist.

4.11 Röntgenstrahlung aus unserer Milchstraße

Langwellige, also „weiche“ Röntgenstrahlung wird von der interstellaren Materie relativ stark absorbiert und dadurch abgeschwächt. Dies behindert einerseits zwar die Erforschung des „unsichtbaren Röntgenhimmels“, kann aber andererseits auch genutzt werden, um ein wichtiges Phänomen zu verifizieren. Die Astronomen kennen schon lange eine diffuse Röntgenstrahlung, die aufgrund der gemessenen Energieverteilung von einem etwa eine Million Kelvin heißen Gas stammen muß. Die Frage war nun, ob diese Strahlung nur aus unserer Galaxie oder gar aus dem gesamten Kosmos stammt. Mittels einer ROSAT-Himmelsdurchmusterung suchte man nun gezielt nach Schatten von interstellarer Materie. Solche Schatten müssen dann auftreten, wenn die Quelle der Strahlung nicht auf die nähere Umgebung der Sonne beschränkt ist. Tatsächlich wurden solche Schatten gefunden, von denen einige mit bekannten Dunkelwolken identifiziert werden konnten. Dadurch wissen wir heute, daß heißes Gas unsere Milchstraße in Form eines Halos umgibt, dessen Durchmesser auf ca. 130.000 Lichtjahre geschätzt wird. Zusätzlich gibt es „Hochgeschwindigkeitsgaswolken“, die sich mit bis zu 200 km/s senkrecht zur galaktischen Ebene bewegen.

Das Gas in diesem Halo muß natürlich permanent wieder aufgeheizt werden. Radioastronomen haben tatsächlich solche „Heizrohre“ gefunden, die wie Schornsteine aus der Milchstraße in das Halo ragen. Am Boden dieser Kamine befinden sich meist Haufen von jungen, massereichen und heißen Sternen.

Zusätzlich gibt es sog. heiße „Blasen“ in der Milchstraße. Auch hier sind Sternwinde von jungen, massereichen Sternen oder Stoßwellen von Supernovaexplosionen für die Aufheizung und damit Röntgenstrahlung verantwortlich.

4.12 Röntgenstrahlung von anderen Galaxien

Sowohl in der Kleinen als auch der Großen Magellanschen Wolke wurden Röntgenquellen entdeckt, wie man sie bereits aus unserer Milchstraße kannte. Dies gilt auch für unsere große Nachbargalaxie im Sternbild der Andromeda, M 31.

Im folgenden sollen einige besondere Formen von Galaxien beschrieben werden.

Starburst-Galaxien

Dieser Galaxientypus erscheint besonders im Infraroten besonders hell und radioastronomisch lassen sich Anzeichen für eine rasche, aus der Kernregion nach oben und

18. Fortsetzung Referat: Röntgenastronomie mit ROSAT

unten gerichtete Materieströmung nachweisen. Beide Tatsachen lassen die Vermutung zu, daß in der Kernregion der Galaxie vor nicht allzulanger Zeit eine Phase heftiger Sternentstehung („starburst“) abgelaufen ist. Dabei entstehen stets auch zahlreiche massereiche Sterne mit nur kurzer Lebensdauer, die bald als Supernovae explodieren. Dabei wird eine große Menge heißen, röntgenstrahlenden Gases produziert, das aus der Galaxie austritt.

Bei NGC 253 z.B. konnte ROSAT erstmals die diffuse Röntgenstrahlung eines ca. 2 Millionen Kelvin heißen Gases beobachten, welches im Halo der Sculptor-Galaxie auf beiden Seiten der Scheibe bis zu einer Entfernung von 30.000 Lichtjahren nachweisbar ist. Damit ein solches Halo dauerhaft durch Schwerkraft an diese Galaxie gebunden bleibt, müßte NGC 253 ca. 50 Milliarden Sonnenmassen umfassen. Doch ist diese theoretisch errechnete Masse wesentlich größer, als jene, die man in Form von Sternen in der Galaxie wirklich sieht. Es muß also eine Form von dunkler Materie geben, die keine elektromagnetische Strahlung aussendet, sondern sich lediglich durch ihre Gravitation bemerkbar macht!

Dieses Ausströmen von Materie und die damit verbundene Röntgenstrahlung läßt sich am besten bei Galaxien beobachten, auf deren galaktische Ebene wir von der Seite aus blicken (NGC 4565 im Sternbild Coma, NGC 4656 im Sternbild Jagdhunde).

Die Spiralgalaxie M 51 im Sternbild Jagdhunde wird von einem kleinen System (NGC 5195) umrundet. Zwischen diesen beiden Galaxien fließt ein Materiestrom, der im Röntgenlicht mittels ROSAT nachgewiesen werden konnte.

Aktive Galaxien

Die Galaxie NGC 5128 war bereits als Centaurus A als Radioquelle bekannt. Mit einem Durchmesser von 100.000 Lichtjahren fällt sie durch ihre enorme Leuchtkraft von ca. 20 Milliarden Sonnen auf. Man weiß heute, daß es sich bei diesem System um das Ergebnis einer Galaxienkollision handelt, bei der eine elliptische Galaxie eine kleinere Spiralgalaxie „verschluckt“ hat. Aus dem Zentrum solch aktiver Galaxien gehen dünne Materiejets nach außen, welche die riesigen Radio- und Röntgenstrahlungsbereiche weit außerhalb der Galaxie mit Energienachschub versorgen. Typischerweise zeigen diese Jets wiederum die sog. „Synchrotronstrahlung“, es bewegen sich hier also geladene Partikel in Spiralbahnen um Magnetfeldlinien.

Unter dem Oberbegriff AGN (Active Galactic Nucleus) werden mittlerweile alle Galaxien mit starker Kernaktivität zusammengefaßt: Radiogalaxien, Seyfert-Galaxien, BL Lacertae-Objekte, Quasare.

5 Ein Blick in die nähere Zukunft der Röntgenastronomie

Seit dem Start im Juni 1990 machte ROSAT Geschichte, aber eines Tages werden Teile des Betriebssystems oder der wissenschaftlichen Nutzlast ihre Funktion einstellen.

Parallel zu ROSAT arbeiten derzeit der russische Granat und unter starker amerikanischer Beteiligung der japanische ASCA (Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics). Beide Satelliten besitzen im Vergleich zu ROSAT jedoch ein sehr beschränktes räumliches Auflösungsvermögen.

Die amerikanische AXAF (Advanced X-ray Astrophysics Facility) soll Ende 1998 starten. Das Röntgenteleskop hat 120 cm Öffnung und 10 m Brennweite, mit einem Microchannel-detektor (ähnlich HRI bei ROSAT) soll das Auflösungsvermögen 0,5" erreichen (10x besser als ROSAT). Als zweiter Detektortyp ist ein Röntgen-CCD vorgesehen.

Das europäische Gegenstück ist der XMM (X-ray Multi-Mirror-Satellit), welcher 1999 starten soll. Er wird mit drei großen Wolter-Spiegelsystemen ausgestattet, von denen jedes bei einer Brennweite von 7,5 m aus 58 ineinandergefügten Spiegelschalen bestehen wird. Neuartige Röntgen-CCD werden als Detektoren Verwendung finden.

Ebenfalls 1999 wird es den zweiten deutschen Röntgensatelliten mit dem Namen ABRIXAS (A Broad-Band Imaging X-ray All-sky Survey) geben. Er wird den Himmel im Röntgenenergieband zwischen 0,5 und 15 keV durchmustern und damit die ROSAT-Durchmusterung zu den kürzeren Wellenlängen hin ergänzen. Sieben Wolter-Teleskope werden die gebündelte Strahlung ebenfalls auf einen Röntgen-CCD lenken. Damit wird ABRIXAS für XMM und AXAF die gleiche Rolle erfüllen wie ROSAT während der ersten sechs Monate für die eigene weitere Mission.

6 Literatur

- 1.) Aschenbach, B., Hahn, H.-M., Trümper, J. (1996): Der unsichtbare Himmel. Röntgenastronomie mit ROSAT. Birkhäuser, Basel.
- 2.) ROSAT. URL: <http://xalph3.ast.cam.ac.uk/oday/rosat.html>
- 3.) Main ROSAT Images Page. URL: <http://legacy.gsfc.nasa.gov/Images/rosat/>
- 4.) ROSAT Guest Observer Facility. URL: <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/rosat/rosgof.html>
- 5.) ROSAT User's Handbook. URL: <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/rosat/ruh/handbook/handbook.html>

Referat: **Astrometrie mit Hipparcos**

Dieses Referat behandelt die Astrometrie-Mission Hipparcos der ESA. Rektaszension und Deklination von über einer Million Sternen bis +12mag wurden mit einer Genauigkeit von rund 0,03" gemessen sowie scheinbare Helligkeiten in V und B größenklassenabhängig im Mittel auf etwa 0,03 Größenklassen genau bestimmt. Ferner wurden für über 118 000 Sterne Rektaszension, Deklination, Parallaxe und Eigenbewegung sogar auf 0,001" sowie scheinbare Helligkeiten breitbandig auf 0,03 Größenklassen genau gemessen - das sind alle Sterne bis $V = +7,3$ mag sowie ortsabhängig noch viele bedeutend schwächere.

Diese erste speziell der Astrometrie gewidmete Satellitenmission hat trotz großer Schwierigkeiten alle Erwartungen erfüllt und einige sogar übertroffen. Es soll versucht werden, die außerordentliche Bedeutung der Ergebnisse für die gesamte Himmelskunde zu erläutern.

1 Astrometrie und Astrophysik

Die Örter und Bewegungen der Gestirne im Raum und damit weiter ihre Natur folgen aus der Erfassung von Richtung und Art der Strahlung, die wir beobachten. Das sind, ganz allgemein ausgedrückt, die wissenschaftlichen Wege und Ziele der Astrometrie und Astrophysik.

Diese beiden großen Forschungsbereiche sind sehr unterschiedlich, nicht nur in der Art, in der jeweils gearbeitet wird, sondern auch in der Grundhaltung der Wissenschaftler, die in ihnen tätig sind. Dessenungeachtet bestehen vielfältige Verbindungen und Abhängigkeiten und sichere Schlüsse bedürfen natürlich eines Zusammenwirkens. Allzuleicht geraten selbst in anspruchsvollen Darstellungen oft trockene astrometrische Tatbestände gegenüber beeindruckenden astrophysikalischen Problemstellungen ins Hintertreffen. Das Bild der Himmelskunde konnte daher oft recht einseitig ausfallen. In der Bildungsarbeit der Urania Sternwarte und des Planetariums in Wien wurde schon seit der Mitte der Siebzigerjahre eine ganzheitliche Vermittlung der Himmelskunde angestrebt - nun wohl auch für einen größeren Kreis sichtbar gerechtfertigt angesichts der Anstrengungen und Erfolge, welche jetzt seitens der Wissenschaft und Technik mit Hipparcos deutlich werden.

Die Ergebnisse dieser Astrometrie-Mission werden wohl den einen oder anderen Wandel schaffen. Viele Vorstellungen wurden inzwischen bestätigt, manches muß aber neu gesehen werden. Treten wir nun dem Stand der Dinge näher und befassen wir uns zunächst mit ein wenig Vorgeschichte, dann mit Astrometrie an Planeten und Sternen, um schließlich die Folgen der Mission Hipparcos sowie erste Ergebnisse noch deutlicher zeigen zu können.

2 Sterne - Punkte himmlischen Feuers an der Himmelskugel

Die Beobachtung von Örtern und Bewegungen von Gestirnen, wie sie uns aus Mesopotamien keilinschriftlich überliefert sind und später vor allem in den zwei Jahrhunderten vor und nach Christi Geburt auf *einige Bogenminuten genau* von Hipparchos und Ptolemaios mit freisichtigen Meßgeräten ausgeführt wurden, lieferten die Grundlage für das geozentrische Weltbild. Sie ermöglichten auch den ersten messenden Schritt in den Weltraum mit der Bestimmung der Mondentfernung.

Die späteren Beobachtungen konnten nur eine geringfügige Erhöhung der Genauigkeit er-

1. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

bringen, die erst mit Tycho Brahe zur äußersten Grenze, bis zur Sehschärfe des freien Auges, durch so genau als möglich ausgeführte Visiergeräte gesteigert wurde. Nachprüfungsgemäß erreichten tychonische Beobachtungen *Genauigkeiten bis zu einer halben Bogenminute*. Das war die freisichtige Grundlage, auf welcher der von Kepler gefundene Bauplan des Sonnensystems das heliozentrische System des Copernicus mit der Sonne in der Weltmitte bekräftigte. Die Sterne blieben aber noch „an der Himmelskugel“.

Erst in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts konnte mit dem als Meßinstrument eingesetzten Fernrohr der nächste messende Schritt in den Weltraum mit der Bestimmung der ersten Planetenentfernung - am Mars - gesetzt werden, denn die größten Planetenparallaxen liegen unter $35''$: Erstmals erhielt der Bauplan des Sonnensystems einen Maßstab.

Genauere Mond- und Planetenbeobachtungen brachten die Bestätigung für die Vermutung Keplers, daß es Kräfte zwischen den Himmelskörpern wären, die ihre Bewegungen bestimmten: mit Newtons Gravitationstheorie entstand die klassische Mechanik.

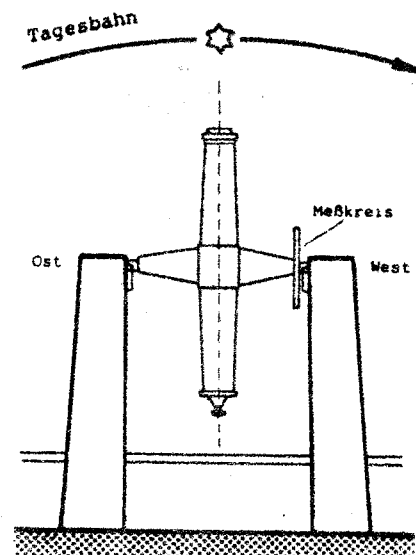
Erreichten die Meridianbeobachtungen Bradleys im frühen 18. Jahrhundert eine *Genauigkeit von einigen Bogensekunden*, so wurde sie mit Bessel rund hundert Jahre später *besser als eine Bogensekunde*.

3 Sterne - Sonnen im Raum

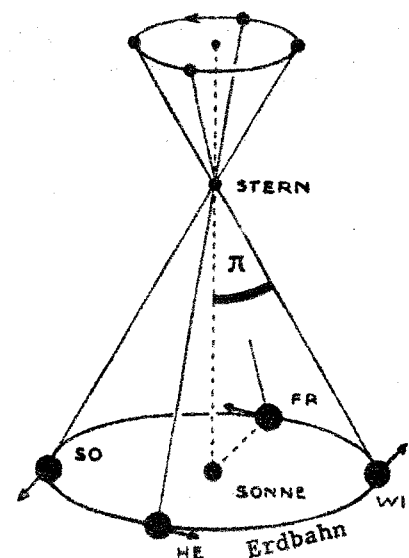
Mit Beobachtungen, die nicht fundamental - im Meridian - sondern im Anschluß an schwache, darum ferne und keine meßbare Parallaxe aufweisende Sterne ausgeführt wurden, konnte er eine *noch größere Genauigkeit* erreichen und die erste Sternentfernung aus der Jahresparallaxe messen. Das war der dritte großen Meßschritt in den Weltraum.

Eine weitere Steigerung der Genauigkeit von Fundamentalbeobachtungen brachte der Einsatz von unpersönlichen Registriermethoden an Meridiankreisen sowie Prismenastrolabien und schließlich die Radioteleskope mittels der Apertursynthese. Bei den Anschlußmessungen erreichten die Parallaxen - Scanner mit der *Genauigkeit von einer Hunderstel Bogensekunde* Bestwerte erdgebundener Beobachtung.

Schon bei der Ermittlung der Raumörter von Sternen in der Umgebung des Sonnensystems ist also selbst moderne astrometrische Meßtechnik in besonderem Maße gefordert. Neben der Richtungsbestimmung muß die Entfernung ja aus den winzigen Richtungsänderungen abgeleitet werden, die sich aus der Widerspiegelung des Erdumlaufs um die Sonne ergeben. Die Jahres-Parallaxe π beträgt für den nächsten Stern, Proxima im System α Centauri, nur $0,77''$ und sinkt für Sterne, die rund 100 Parsek (pc) ab-



Meridiankreis: Erdgebundene Fundamentalbeobachtung von Uhrzeit sowie Zenitdistanz beim Meridiandurchgang



Erdgebundene Messung der Jahresparallaxe π im Anschluß an fernste Sterne

2. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

stehen, in die eben genannte Größenordnung bester erdgebundener Messungen. Dazu nun einige Beispiele:

Vom Eiffelturm in Paris erscheint das Empire State Building in New York unter einem Winkel von $20''$, ein Golfball auf dessen Spitze oder ein Mensch auf dem Mond würde $0,001''$ groß erscheinen - das ist die in der modernen Astrometrie gängige „Millibogensekunde“ (mas).

4 Art und Grenzen erdgebundener Astrometrie an Sternen

Wir legen *Richtungen* zu Sternen durch Winkel fest, die zwischen den Richtungen zu ihnen und gewissen Fundamentalrichtungen gemessen werden. Diese Fundamentalrichtungen ergeben sich meßtechnisch aus physikalischen Eigenschaften der Erde:

Richtung zum Zenit - Schwerkraft; Lotlinie

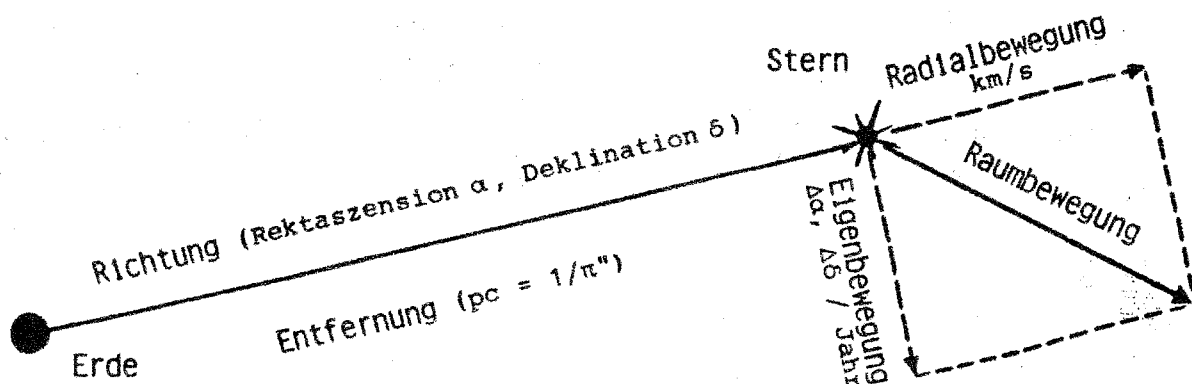
Richtung zum Himmelspol - Erddrehung; Drehachse der Erde

Richtung zum Frühlingspunkt - Erdumlauf; Schnittlinie von Äquatorebene / Erdbahnebene

Solche Fundamentalmessungen werden an Meridiankreisen und Prismenastrolabien oder mittels Großbasis-Radiointerferometrie ausgeführt. Weil aber von einem Beobachtungsort immer nur ein Teil der Himmelskugel beobachtbar ist, müssen Beobachtungen von mehreren Stationen herangezogen werden. Leider ergeben sich dadurch systematische Fehler, die durch lokale Umstände bedingt sind, z.B. durch instrumentelle oder atmosphärische Einflüsse. - Näheres zu den Koordinatensystemen in den Seminarpapieren 1992/1993.

Ein sich schließlich ergebender sogenannter Fundamentalkatalog enthält Rektaszensionen α und Deklinationen δ sowie deren Änderungen $\Delta\alpha$ und $\Delta\delta$ pro Zeiteinheit, welche die Eigenbewegungen und mit den Radialbewegungen die Raumbewegungen ergeben.

Die *Entfernungen* der Sterne werden weitestgehend voraussetzungsfrei trigonometrisch aus Parallaxen im Anschluß ermittelt. Die Anschlußbeobachtung ist rund doppelt so genau wie die fundamentale Einzelmessung. - Verlässliche Entfernungen liegen daher unter 300 Lichtjahren - aber sie ermöglichen bzw. sicherten weitere Erkenntnisschritte in den Raum.



Selbst im Jahre 1985 gab es *nur rund dreihundert Sterne*, deren Entfernungen trigonometrisch genauer als auf 20% ihres Wertes bestimmt worden waren. Wesentlich mehr solcher Sternentfernungen würden vor allem die Grundlage tiefer in den Raum reichender Entfernungsmethoden sichern oder - was vielseitige Folgen hätte - verbessern können! Dies geschah mit der astrometrischen Satellitenmission, die nun näher beschrieben werden soll.

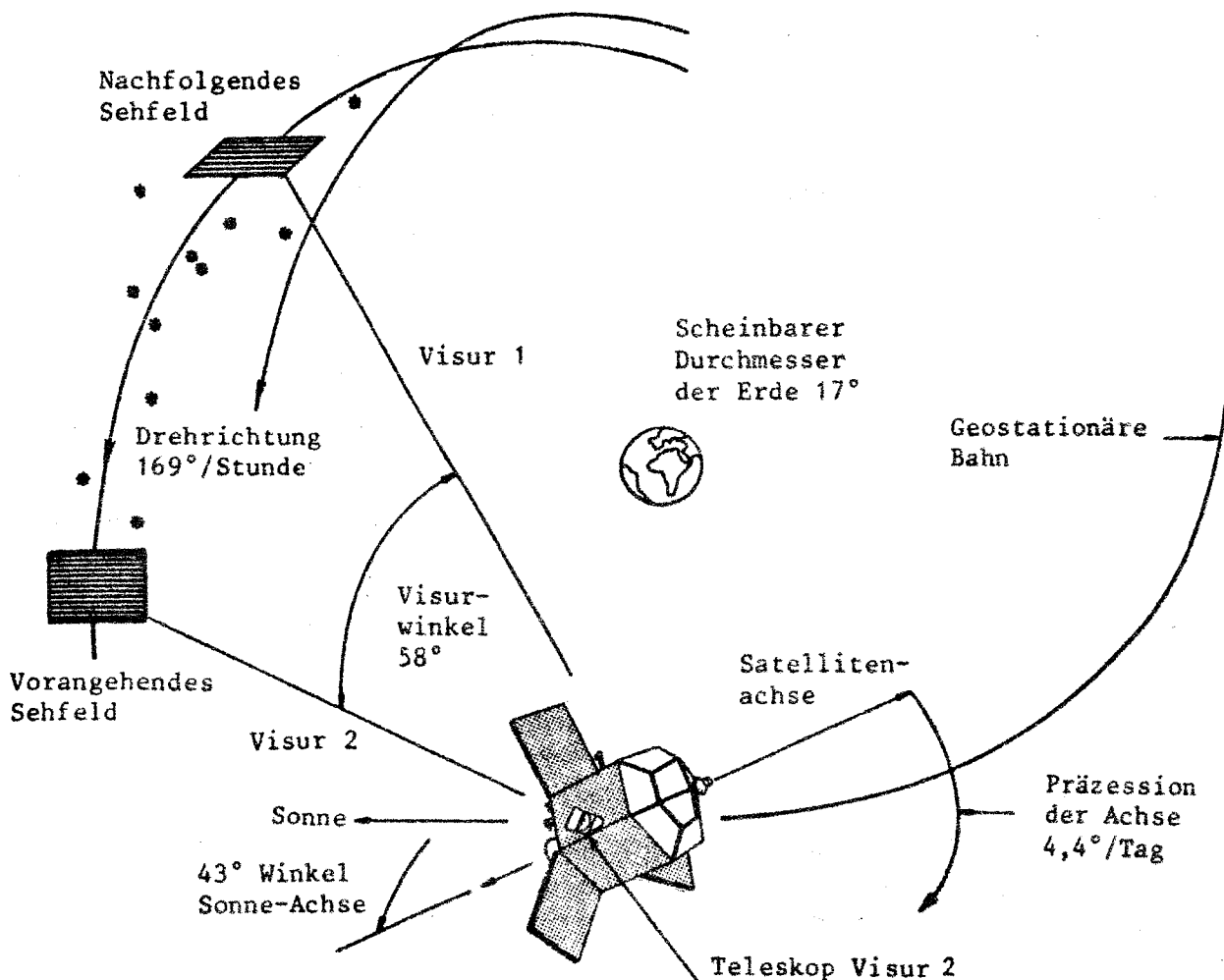
5 Die Mission Hipparcos

5.1 Geschichte und Prinzip

Den wohl ersten Vorschlag machte 1966 Prof. P. Lacroûte aus Strasbourg; erweiterte und verbesserte Pläne führten schließlich zur Mission HIPPARCOS. Dieser Name steht für High Precision Parallax Collecting Satellite und erinnert gleichzeitig an Hipparchos aus Nicaea in Bithynien (Kleinasien), der im 2. Jahrhundert v. Chr. lebte und uns als der bedeutendste Beobachter der hellenistischen Zeit bekannt ist. Die ESA nahm das Projekt 1980 an.

Zunächst ist nur schwer vorstellbar, wie von Bord eines Erdsatelliten aus Sternörter vermessen werden können - aber das wurde durch ein sinnreiches Meßverfahren mit außerordentlicher Computerunterstützung auf folgende Weise möglich:

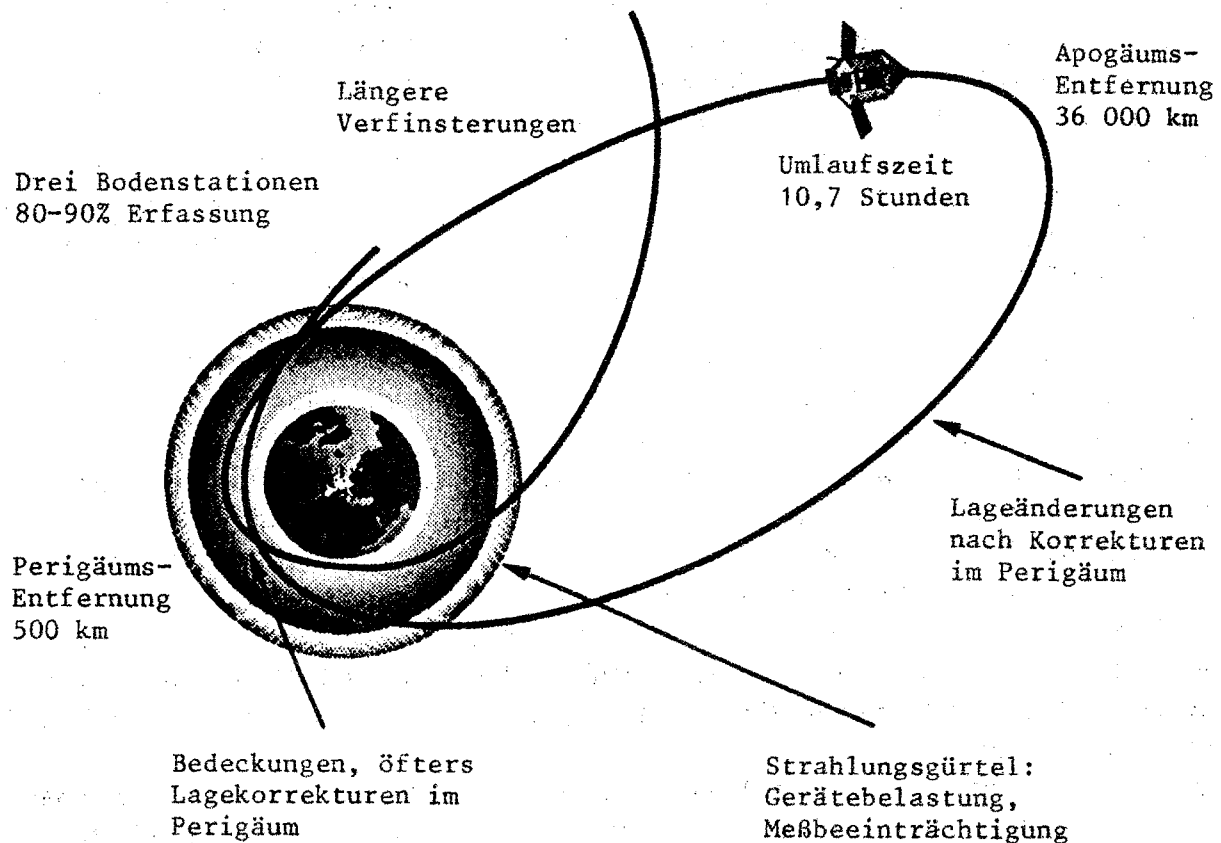
Die Sterne in zwei 58° entfernten Sehfeldern wurden übereinander auf ein Gitter abgebildet, über das sie durch die Drehung des Satelliten hinwegziehen. So konnte der Abstand von zwei Sternen längs des durch die Satellitendrehung vorgegebenen Großkreises bestimmt werden. Durch die langsame Verlagerung der Drehachse geschah dies auf sich langsam verlagernden Großkreisen über die ganze Himmelskugel an immer anderen Sternpaaren. Aus diesem „Fachwerk“ von Sternabständen und den bekannten Satellitenpositionen folgte zunächst die genaue Lage aller gemessenen Sterne zu einander und endlich ihre Örter. Über die mehrjährige Beobachtungsdauer ergaben sich auch ihre Ortsänderungen zufolge Parallaxe und Eigenbewegung und dazu noch ihre scheinbaren Helligkeiten.



5.2 Fehlstart, geänderte Bahn, Folgen und Lebensdauer

Der Satellit Hipparcos wurde von MATRA (Frankreich) und AERITALIA (Italien) als Hauptkontraktoren der ESA unter Beteiligung von 11 europäischen Gesellschaften - insgesamt 45 Firmen - gebaut. Seine Startmasse betrug 1 100 kg.

Am 9. August 1989 wurde er mit einer ARIANE 4 von Kourou, Französisch-Guyana, zunächst erfolgreich gestartet und erreichte eine hochexzentrische Transferbahn mit einem Erdbstand von 210 bis 36 000 km. Es gelang aber infolge des Versagens der Zündung des Apogäumsmotors nicht, den Satelliten auf die geostationäre Bahn zu bringen und die Mission schien gefährdet. Aber Anfang September wurde mit Hilfe der Grobsteuerröten das Perigäum auf 500 km angehoben und die Solarzellen und die Hauptantenne entfaltet. Nach Ablassen des nicht mehr benötigten Hydrazins wurde die Nutzlast in Betrieb genommen und erfolgreich getestet. Im November waren die Meßeinrichtungen geeicht. So sah die neue Bahn aus:



Wäre die geostationäre Bahn in 36 000 km Höhe erreicht worden, hätte eine einzige Bodenstation, nämlich Odenwald mit seiner 15m \varnothing - Antenne, für die Übertragung der sehr großen Datenmenge ausgereicht. Nun mußten Perth und Goldstone hinzutreten, um 80% bis 90% Erfassung in Dauerübertragung mit 24 kbit/s zu gewährleisten. Die Bahn verlief zudem längere Strecken als vorgesehen im Erdschatten, was zu einer größeren Belastung der Stromversorgung führte und es wurden auch die Strahlungsgürtel durchflogen, was ebenfalls zur Minderung der Lebensdauer und Verschlechterung der Messungen beitrug. Schließlich konnten die Programmsterne nicht so oft wie geplant gemessen werden.

Mit großem zusätzlichem Aufwand begegnete die ESA jedoch diesen Schwierigkeiten und der Satellit konnte voll und einwandfrei drei Jahre in der neuen Bahn arbeiten, sechs Mona-

5. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

te länger als geplant, wodurch alle vorgesehenen Aufgaben nicht nur erreicht, sondern sogar übererfüllt werden konnten.

Infolge des regelmäßigen Durchfliegens der Van-Allen-Gürtel versagte dann jedoch ein Untersystem des Satelliten nach dem anderen - schließlich waren diese ja nicht für das Ertragen derartiger Strahlenbelastung gebaut worden. Als einer der drei Stabilisationskreisel ausfiel, gelang es, mit den beiden restlichen weiter auszukommen. Schon waren die Pläne ausgearbeitet, durch umfangreiche Veränderungen an den Bord- und Bodensystemen ganz ohne Kreisel die Meßarbeit fortsetzen zu können, als die Verbindung zum Bordcomputer versagte. Am 15. August 1993 mußte der Satellit abgeschaltet werden.

5.3 Meßprogramm, Lagebestimmung und Drehung

Das gesamte wissenschaftliche Programm sowie die Lagebestimmung und Drehung des Satelliten beruhte auf den rund 118 000 Sternen des „Hipparcos Input Catalogue“ (HIC), der aus den besten erhältlichen und auf ein einheitliches System reduzierter Daten zusammengestellt worden war. Diese Sterne dienten gewissermaßen als vorläufige Anhaltsterne, mit denen die Schaffung eines satelliteneigenen Bezugssystems samt Lagebestimmung zunächst einmal anlaufen und mit Missionsdauer immer genauer werden konnte.

Der Katalog bietet Angaben zu jedem einzelnen Stern, der von Hipparcos beobachtet wurde und ist daher auch nach der Veröffentlichung des endgültigen Hipparcos-Kataloges eine wertvolle Hilfe bei allen wissenschaftlichen Arbeiten mit den Hipparcos-Ergebnissen. Er enthält zunächst rund 55 000 Sterne, die halbwegs gleichmäßig über die ganze Himmelskugel verteilt sind. Ihre scheinbaren Helligkeiten liegen, je nach galaktischer Breite und Farbenindex, zwischen $V = +7,3$ und $+9\text{mag}$; es sind im Wesentlichen alle Sterne innerhalb dieser Grenzgröße. Weitere rund 60 000 Sterne schwächerer Helligkeit bis herab zu der vom Satelliten erreichbaren Grenzgröße von $V = +12,4\text{mag}$ wurden hinzugefügt, wenn sie astrometrisch und/oder astrophysikalisch interessant waren. HIC enthält in einem eigenen Band Aufsuchkarten $15' \times 15'$ für ungefähr 10 000 schwächere Sterne (bis $+15\text{mag}$).

In sieben Bänden liegt dieses große Werk als ESA SP-1136 seit März 1992 vor und wurde als internationales Gemeinschaftsunternehmen geschaffen; von mehr als 50 Stellen kamen größere Beiträge. Bei Nachweis des Privatgebrauchs ist die gedruckte Ausgabe ermäßigt erhältlich bei: Finance Division (EFA/P), ESTEC, Postbus 299, NL 2200AG Noordwijk, Niederlande. Ein Ausschnitt findet sich auf der folgenden Seite; der untere Tabellenteil setzt den oberen rechts fort.

Der Satellit drehte sich mit einer Winkelgeschwindigkeit von $169^\circ/\text{Stunde}$, entsprechend einer Drehung in rund 2h08m. Die beiden Visuren seines Schmidt-Teleskops erfaßten die Programmsterne entlang eines Großkreises im Abstand von 58° . Das Sternfeld in einem Sehfeld wurde daher rund 20m36s später vom zweiten Sehfeld überstrichen.

Die Achse des Satelliten führte eine Präzessionsdrehung mit einer Winkelgeschwindigkeit von $4,4^\circ/\text{Tag}$ aus, der zufolge die Großkreise, längs deren die Sternabstände gemessen wurden, sich langsam änderten; für eine volle Präzessionsdrehung benötigte die Satellitenachse mithin knapp 81d20h. Nach und nach wurde die ganze Himmelskugel mehrfach überdeckt und die Positions- sowie Helligkeitsdaten jedes Sterns konnten schließlich während der ganzen Dauer der Mission zwischen 100 und 150mal für ganz unterschiedliche Zeitpunkte und aus ganz verschiedenen Orientierungen des Meßsystems, also abgeleitet unter Bezug auf immer andere Umfeldsterne, gewonnen werden.

Nun wollen wir zunächst das Meßsystem des Satelliten, also seine Instrumentierung, etwas genauer betrachten.

00h 00m 00s - 00h 01m 15s
1 - 100

Anfang des Hipparcos Input Catalogue

6. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

Number			Position (J 2000, epoch 2000)					Proper motion					Magnitude					Sp. Type		Variability					RV	
HIC	Comp	T	α	δ		μ_{α}^*	μ_{δ}	σ_{μ}	H	V	σ_V	B-V	σ_{B-V}	S	20	21	Name	Type	P	Max	Min	OS	28	29		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	27		
1			00 00 00.119	+01 05 20.32	0.38	P	-0.026	-0.006	06	P	8.71	8.54	03	+0.48	07	C										
2			00 00 01.113	-19 29 56.16	0.49	B	+0.217	-0.028	25	S	9.52	9.26	00	+0.99	00	E	K3V	M								
3	AB	A	00 00 01.206	+38 51 33.97	0.47	P	+0.007	+0.004	09	P	8.59	8.61	00	-0.01	00	E										
4			00 00 02.145	-51 53 36.41	0.17	C	+0.070	+0.005	06	C	8.16	8.06	00	+0.35	02	E	F0V	K								
5			00 00 02.394	-40 35 28.18	0.23	S	+0.001	+0.014	08	C	8.94	8.67	06	+0.94	15	C	G8III	K								
6			00 00 04.49	+03 56 46.7	1.02	G	+0.233	-0.063	35	L	12.62	12.31	03	+1.33	02	E										
7			00 00 05.240	+20 02 09.97	0.36	P	-0.216	-0.202	06	P	9.87	9.64	03	+0.74	02	E										
8			00 00 06.560	+25 53 11.44	87	0.25	B				11.09	11.60	51	+1.50	51	V	M6E - M8.5E	M	Z Peg	M	334.8	8.2	12.5	24		
9			00 00 08.482	+36 35 09.33	0.16	P	-0.007	+0.006	04	P	8.82	8.59	02	+0.73	12	C										
10			00 00 08.826	-50 52 00.98	0.18	C	+0.051	+0.039	05	C	8.77	8.60	35	+0.50	10	A	F6V	K								
11			00 00 09.018	+46 56 24.91	0.41	P	+0.016	+0.012	06	P	7.35	7.30	35	+0.13	14	A										
12			00 00 09.824	-35 57 37.00	0.17	S	-0.001	-0.001	07	C	8.87	8.56	10	+1.42	12	C	K4III	K								
13			00 00 10.011	-22 35 41.16	0.10	C	+0.009	-0.013	02	C	9.10	8.82	10	+1.04	12	C	K0III	K								
14			00 00 11.641	-00 21 37.41	0.17	P	+0.066	-0.007	03	P	7.55	7.25	03	+1.20	01	E										
15			00 00 12.090	+50 47 28.21	0.34	P	+0.014	+0.002	06	P	9.01	8.70	35	+1.27	21	A										
16			00 00 12.463	-54 54 51.79	0.62	B	+0.212	-0.092	35	L	11.84	11.70	03	+0.42	01	E										
17			00 00 12.315	-40 11 32.97	0.19	C	-0.022	-0.034	06	C	8.27	8.13	00	+0.42	00	E	F3V	K								

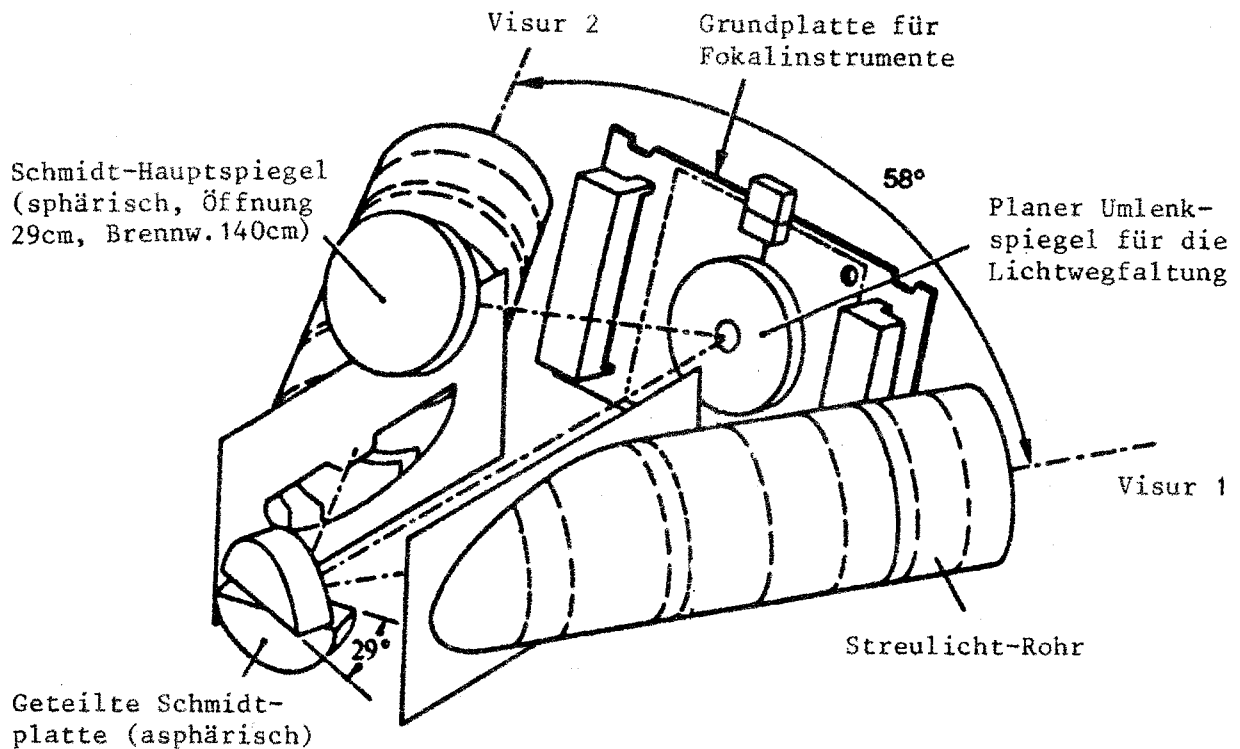
Number		DM	HD	B 1950, 1950		Parallax			Multiplicity					Cross-Identifications					50
HIC	Comp	30	31	α	δ	π	σ_{π}		CCDM	p	Δm	O	FK5/IRS	AGK3/...	SAO	GI/G/LHS/LTT/...	Other	49	
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
1		BD	+00 5077	224700	23 57 26.448	+00 48 38.42									+00 2953	128522			
2		BD	-20 8888	224690	23 57 26.448	-19 46 37.11									185988	G 273 - 197	LTT 9831		
3	AB	BD	+38 5108	224699	23 57 27.704	+38 34 51.71			00000 + 3852	AB	6.7	4.8			+38 2462	73664			
4		CPD	-52 12237	224707	23 57 27.535	-52 10 19.20									19 9207	248095			
5		CD	-41 15372	224706	23 57 28.308	-40 52 11.38							S 2865		0 20803	231883			
6					23 57 29.97	+03 40 07.7													
7		BD	+19 5185		23 57 32.366	+19 45 37.91									+19 2476	109952	G 129 - 52	LTT 17077	
8		BD	+25 5054	224709	23 57 32.962	+25 36 29.58	-004 14 T												
9		BD	+35 5149	224708	23 57 34.987	+36 18 28.99							A 21486		+36 2452	73886			
10		CD	-51 13738	224717	23 57 34.381	-51 08 45.46									0 20804	248096			
11		BD	+46 4231	224720	23 57 35.524	+46 39 42.31									+46 2227	53560			
12		CD	-36 16128	224715	23 57 35.823	-36 14 19.44									18 12099	214908			
13		CD	-23 18112	224728	23 57 36.080	-22 52 22.67							S 18425			192308			
14		BD	-01 4515	224726	23 57 37.852	-00 38 19.28									-00 3011	147023			
15		BD	+49 4303	236267	23 57 38.632	+50 30 48.12									+50 2012	35975			
16		CPD	-55 10131		23 57 37.014	-55 11 29.75													
17		CD	-40 15308	224732	23 57 38.375	-40 28 13.78									0 20806	231884			

5.4 Instrumentierung

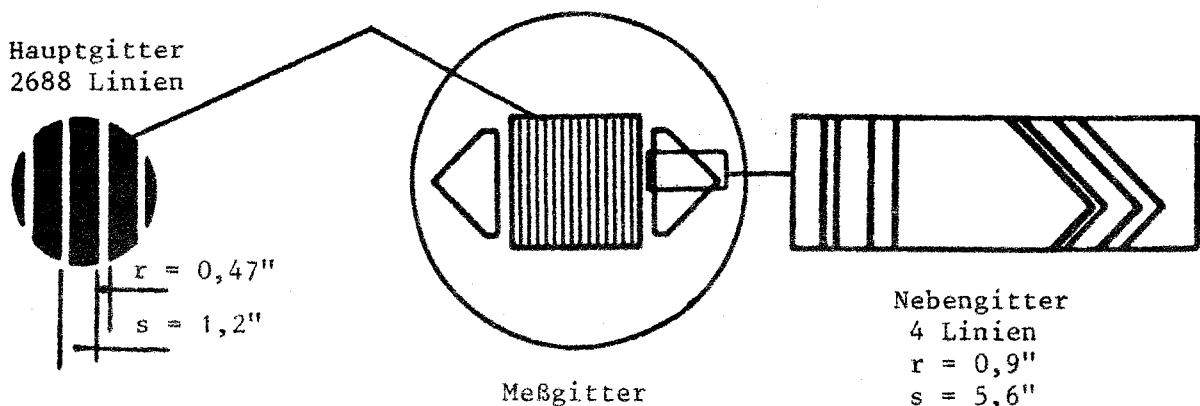
Abgesehen von den Lagesensoren bestanden die Meßinstrumente des Satelliten aus einem zweiäugigen Schmidtteleskop, einer Fokalplatte mit Meßgittern und computergesteuerter Meßmarke sowie einem lichtelektrischen Teil für die Positionsmessung und einem zweiten solchen für die Helligkeitsmessung.

5.4.1 Zweiäugiges Schmidtteleskop

Es besaß einen Kugelspiegel von 29cm Durchmesser und 140cm Brennweite. Die einfallende Strahlung traf auf die Schmidtplatte, die aus zwei um 29° zu einander verdrehten gleichgroßen Hälften bestand. Sie führte die beiden Strahlengänge gemeinsam über einen planen Umlenkspiegel zur Lichtwegfaltung dem Hauptspiegel zu, der die beiden 0,9° x 0,9° großen Sehfelder übereinander hinter dem durchbohrten Umlenkspiegel abbildete. Dort befanden sich im Fokus hinter der Grundplatte die Meßorgane, das Hauptgitter für „Position“ sowie das Nebengitter für die Lagebestimmung des Satelliten und für „Tycho“.



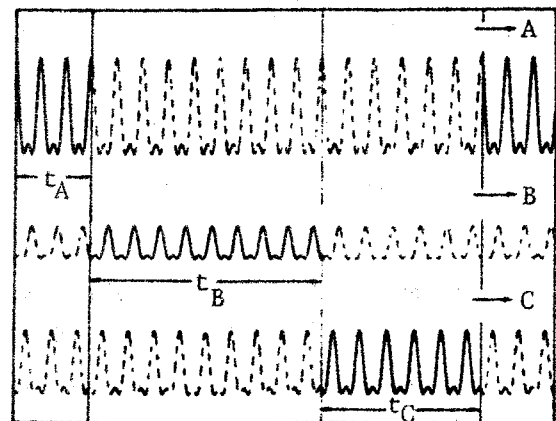
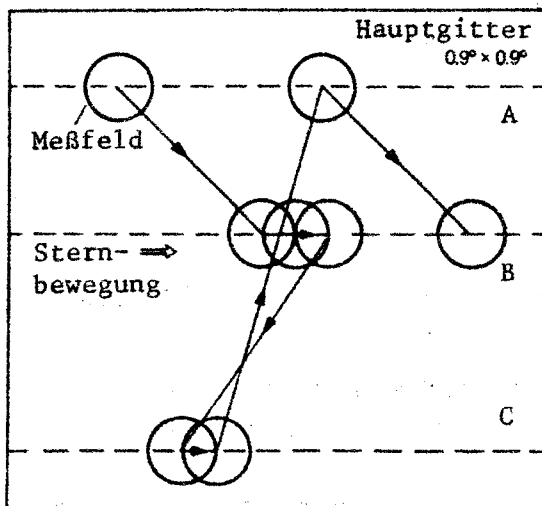
Hinter Grundplatte:



5.4.2 Meßgitter und Meßfeld

Infolge der Drehung des Satelliten zogen die Sterne in den Sehfeldern längs Großkreisen über das *Hauptgitter* von 25x25mm und die Gitterstriche unterbrachen die Sternspuren etwa 140mal pro Sekunde. Hinter dem Gitter wurden lichtelektrisch Helligkeitsschwankungen gemessen, die den Unterbrechungen des Sternlichtes entsprachen. Die Sterne in dem einen Feld waren um 58°, dem Winkel zwischen den beiden Teleskopvisuren, von jenen im anderen Feld entfernt. Sie wurden aber praktisch zugleich auf dem Gitter beobachtet, siehe Darstellung auf der Vorseite unten.

Zum Satelliten wurden ständig die Daten der gerade zu messenden Sterne hinaufübertragen und daher „kannte“ der Satellit im Meßmoment nicht nur das eben zu messenden Sternpaar, sondern auch den Winkelabstand der zwei Sterne entsprechend der Genauigkeit des Hipparcos Input Catalogue. Daher konnte ein Meßfeld - und nur in diesem wurde gemessen - computergesteuert zuerst den einen und dann den anderen Stern des Paares anspringen. Es blendete nur jeweils den Meßstern aus und in diesem Lichtstrom wurden die Photonen in Intervallen von 1/1200 Sekunden gezählt. Zeitlich gemessen wurde somit tatsächlich nur die winzige Phasenverschiebung der beiden Lichtkurven. Daraus ergab sich hochgenau der Abstand der beiden Sterne längs des überstrichenen Großkreises.-



Die voll gezeichneten Teile der Lichtkurven wurden beobachtet

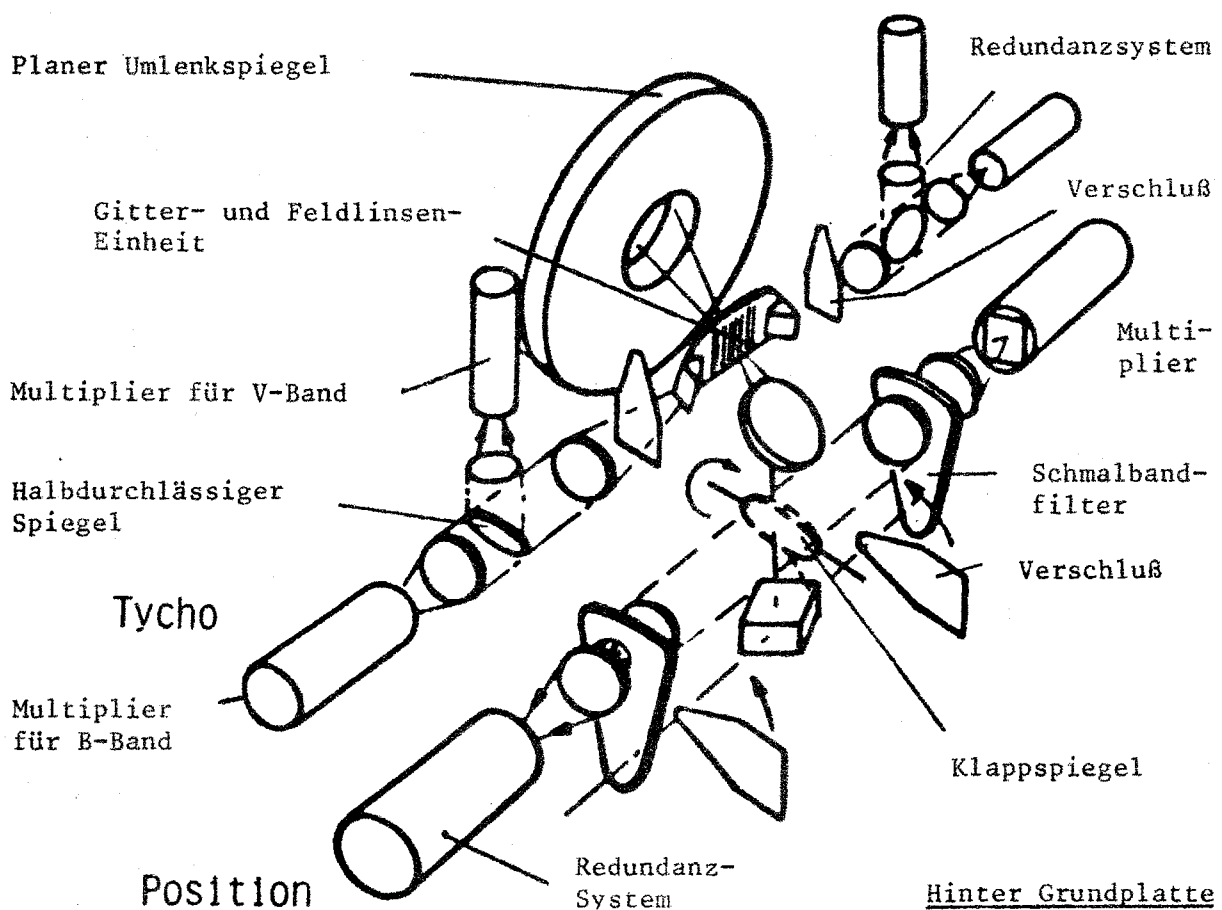
Das *Nebengitter* ermöglichte es zunächst, die Lage des Satelliten genähert zu ermitteln. Dazu wurden die Durchgänge der 118 000 Programmsterne verwendet, deren Orte aus dem Hipparcos Input Catalogue stammen. Ihre Genauigkeit reichte dazu und auch für die Steuerung des Meßfeldes aus. Für die Ableitung der hochgenauen Sternörter bestimmte der Satellit dann seine Lage aus seinen eigenen Messungen selbst.

Alle übrigen Sterndurchgänge wurden am Nebengitter beobachtet, um auch deren Orte zu bestimmen. Dies geschah im Programm „Tycho“, jedoch mit geringerer Genauigkeit als im Programm „Position“.

5.4.3 Lichtelektrische Meßeinrichtungen

Für die lichtelektrische Registrierung der durch das Hauptgitter erzeugten Lichtkurven standen zwei getrennte, gleichartige Systeme (375-750 nm, Photokathode S-20) aus Redundanzgründen zur Verfügung. Breitbandig wurden damit auch die scheinbaren Helligkeiten der rund 118 000 Sterne des Programms „Position“ lichtelektrisch gemessen.

9. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos



Ein sehr wichtiges weiteres Ergebnis war die Photometrie von mehr als 1 Million Sternen in zwei wichtigen Spektralbereichen des UBV-Systems, nämlich:

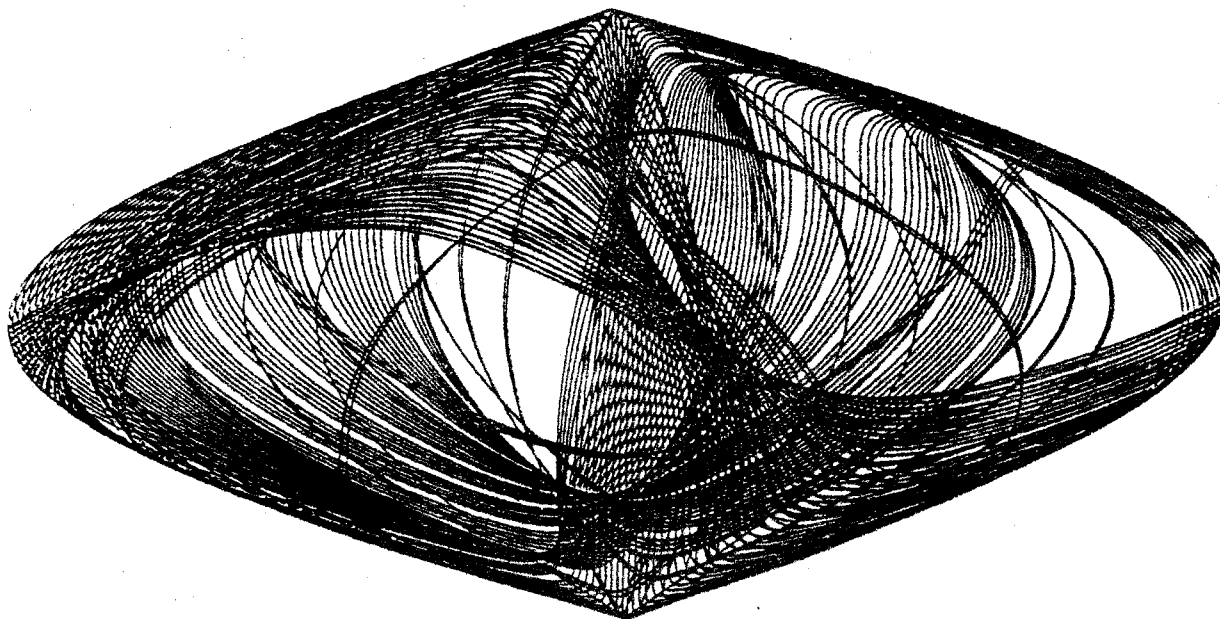
- B mit der effektiven Wellenlänge von 430 nm und Durchlaßbereichbreite 90 nm, sowie
- V mit der effektiven Wellenlänge von 530 nm und Durchlaßbereichbreite 100 nm, nicht zu verwechseln mit
- Vis Visuell; mit dem Auge beobachtete Helligkeit, die aus dem ganzen Spektralbereich folgt, für den das Auge empfindlich ist (bei Dunkeladaptation etwa ab 10% relativer Empfindlichkeit 420-600 nm, mit Maximum = 100% bei 515 nm).

Jeder Stern wurde dazu an zahlreichen Zeitpunkten im Programm „Tycho“ am Nebengitter nicht nur positionell, sondern auch photometrisch in diesen beiden engen Spektralbereichen beobachtet. Dazu waren die Multiplier (Bialkali-Photokathode) und die Filter sorgfältig an „Standardsternen“ geeicht worden. Deren Helligkeitsdaten stammten entweder aus erdgebundenen Beobachtungen oder waren im Zuge der Mission an einer sehr großen Zahl von Sternen als unveränderlich erkannt worden. Die Bedeutung dieser so außerordentlich umfangreichen Zweifarbenphotometrie zeigte sich auch besonders bei Sternen mit Lichtwechsel, also bei Veränderlichen oder photometrischen Doppelsternen.

Um die Betriebssicherheit während der Durchführung des Tycho-Programmes zu gewährleisten, wurden ähnlich wie für das Positionsprogramm zwei getrennte, gleichartige Meßsysteme aus Redundanzgründen vorgesehen. In unserer obigen schematischen Darstellung ist der Aufbau der gesamten lichtelektrischen Meßeinrichtung einschließlich der Redundanzsysteme ersichtlich.

5.5 Von Sterndistanzen am Großkreis zu Sternörter

Die Drehung des Satelliten ($169^\circ/\text{Stunde}$) legte einen und die Drehung seiner Achse ($4,4^\circ/\text{Tag}$) immer weitere neue Großkreise am Himmel fest, auf denen genaue Winkelabstände der Programmsterne gemessen werden konnten.



Schritt 1 - Satellitenlage

Zunächst wurde die Lage des Satelliten auf etwa $1''$ genau aus den Gittermessungen bestimmt.

Schritt 2 - Sternabstände auf Großkreisen:

Mit den bekannten Lagegrößen des Satelliten konnten die Abstände der Sterne auf 4 bis 6 Einzelgroßkreisen nacheinander auf etwa $0,02''$ genau ermittelt werden.

Schritt 3 - Referenzgroßkreis:

Die Sternabstände auf jedem dieser wenigen Einzelgroßkreise wurden auf je einen raumfesten Referenzgroßkreis projiziert. Diese Reduktion führte auf rund 70 000 Gleichungen mit etwa 1 500 unbekanntem Sternkoordinaten, 50 Instrumentalparametern und rund 600 Bewegungsparametern des Satelliten und ergibt eine Genauigkeit von etwa $0,005''$. Insgesamt umfaßte die ganze Mission mehr als 1 500 solcher Referenzgroßkreise.

Schritt 4 - Abstands-Fachwerk:

Die Sternabstände auf den größenordnungsmäßig mehr als 1 500 Referenzgroßkreisen wurden mit Hilfe von 20 000 bis 40 000 besonders gut beobachteten, helleren Anhaltsterne zu einem die ganze Himmelskugel umfassenden „Fachwerk“ zusammengefügt. In der Sprache der Hipparcos-Mission war das die „Sphere Reconstitution“. Dieser Vorgang führte auf größenordnungsmäßig 1 500 000 Gleichungen für die insgesamt 150 000 unbekanntem Sternkoordinaten (5 astrometrische Daten für jeden Stern), die 1 500 Lagegrößen der Referenzgroßkreise und eine Anzahl sonstiger unbekannter Größen. War dieses riesige Gleichungssystem gelöst, konnten damit die astrometrischen Größen der übrigen 80 000 bis 100 000 Sterne berechnet und alle bis zur Genauigkeit von $0,001''$ ausgeglichen werden.

Damit wird der ungeheure, nur mit Hochleistungscomputern zu bewältigende Rechenaufwand deutlich. Auch wird klar, daß die Genauigkeit recht langsam mit der Meßdauer steigt.

19^h 11^m 39^s - 19^h 12^m 46^s
94301 - 94400

1896

HIP identifier (same as HIC identifier); * implies that the entry is out of order with respect to its right ascension.

Proximity flag: derived from nearby HIP or TYC entries; indicates that caution is needed in using it as an astrometric reference.

Sexagesimal identifier: provided for information and derived from the definitive position. Epoch is J1991.25. Reference system is ICRS.

Johnson V magnitude, variability flag, and source of magnitude. These provide an indication of magnitude and possible variability, derived from information given in other fields.

The Hipparcos position, at epoch J1991.25, within the ICRS reference system. General considerations related to the astrometric parameters are given in Section 1.2. Derivation of positions at different epochs (within ICRS) is considered in Section 1.5. Positions, and the other astrometric parameters, were derived from a merging of the data from the two consortia. Intermediate data are described in Sections 2.8-2.9.

Number HIP	Descriptor: epoch J1991.25							Position: epoch J1991.25			Par. π mas	Proper Motion			Standard Errors					Astrometric Correlations (%)										Solar					
	RA		Dec		V			α deg	δ deg	10		μ _α mas/yr	μ _δ mas/yr	σ _α mas	σ _δ mas	σ _π mas/yr	σ _{μ_α} mas/yr	σ _{μ_δ} mas/yr	σ _α	σ _δ	σ _π	σ _{μ_α}	σ _{μ_δ}	σ _α	σ _δ	σ _π	σ _{μ_α}	σ _{μ_δ}	σ _α	σ _δ	σ _π	σ _{μ_α}	σ _{μ_δ}	F1 %	F2 %
	h	m	s	°	'	''	mag																												
94301	19 11 39.91		19 25 54.2	9.32	H	287.916 356 71	+19.431 710 10	4.36	10.76	12.29	0.88	1.03	1.47	1.11	1.55	+39 -15 -32 - 7 -16 +22 - 8 + 8 -24 +29	3	-0.08																	
94302	19 11 40.52		+56 51 32.7	5.13	H	287.918 837 62	+56.859 095 94	9.57	48.09	48.00	0.44	0.45	0.47	0.51	0.61	- 1 + 8 + 3 +17 + 2 - 5 + 1 +16 -11 + 3	1	0.76																	
94303	19 11 41.74		-33 42 31.2	10.70	G	287.923 923 90	-33.708 672 65	5.45	3.45	-18.20	2.44	1.16	2.39	4.06	1.96	+ 0 -16 -18 +26 +34 -17 + 2 -45 +30 -47	0	0.43																	
94304	19 11 41.95		-81 24 46.5	7.60	H	287.924 807 49	-81.412 923 39	9.72	19.40	35.91	0.54	0.59	0.70	0.64	0.76	- 6 -23 + 5 + 0 -10 - 1 - 8 +13 - 5 -12	0	0.32																	
94305	19 11 41.93		+09 57 06.2	8.44	H	287.924 721 08	+09.951 709 33	3.77	1.11	-6.82	1.12	0.77	1.28	1.25	0.86	-14 -12 -19 -26 +26 -16 -39 +37 -22	0	-0.29																	
94306	19 11 43.52		+17 53 01.0	8.20	G	287.931 328 93	+17.883 612 16	A	0.57	1.30	-7.00	1.31	1.17	1.58	1.83	1.60	+13 - 9 -15 +55 - 9 +15 -15 +20 -11 -10	2	0.37																
94307	19 11 44.21		-47 11 16.7	9.66	H	287.934 207 13	-47.187 963 08	A	7.43	-13.75	-8.22	1.96	1.51	1.91	2.54	1.94	+39 -14 -18 -11 -19 + 3 -23 -51 +12 +41	1	-0.02																
94308	19 11 45.03		+26 14 57.6	7.80	H	287.937 607 07	+26.249 326 14	A	8.34	2.81	-5.67	0.67	0.85	1.09	0.72	0.93	-13 -17 + 1 +23 + 6 - 5 + 8 + 6 - 3 -10	2	2.19																
94309	19 11 45.25		-19 11 21.6	8.15	2H	287.938 964 02	-19.189 330 69		5.84	7.06	11.43	0.89	0.55	0.99	1.05	0.67	+ 8 -14 - 3 - 6 -11 -20 -12 -43 -14 - 3	0	0.92																
94310	19 11 45.76		-53 29 22.0	6.90	H	287.940 663 10	-53.322 766 02	A	15.39	58.23	-37.78	2.31	2.49	2.32	2.74	1.81	+26 - 8 -14 + 3 -11 -24 -28 -44 - 8 + 5	1	0.68																
94311	19 11 46.01		+21 17 00.5	5.93	1H	287.941 712 76	+31.283 463 60		3.33	-3.17	-3.16	0.38	0.44	0.55	0.45	0.55	-11 - 8 -16 + 4 +11 - 2 +11 + 9 +13 -14	0	-1.63																
94312	19 11 46.35		-31 07 45.8	12.40	2H	287.943 111 87	-31.129 399 09		-3.74	20.08	-2.68	6.76	3.24	7.41	7.76	5.90	+16 -35 +12 + 2 -15 -10 -22 -55 +18 +16	7	1.13																
94313	19 11 46.62		+18 05 16.2	7.62	H	287.944 262 91	+18.087 820 96		7.12	-7.18	-6.68	0.61	0.59	0.86	0.93	0.86	+12 -11 -15 +43 -11 +20 -15 +20 + 1 -15	0	-1.57																
94314	19 11 47.24		+12 52 16.1	9.27	H	287.946 850 59	+12.871 136 27		3.33	0.47	3.99	1.06	0.99	1.44	1.07	0.98	+ 2 -28 -22 -26 + 2 +20 + 6 -31 + 5 + 3	3	-0.40																
94315	19 11 47.60		+13 54 33.3	8.78	H	287.948 314 45	+13.905 261 07		3.87	0.97	-9.12	0.71	0.76	1.12	0.81	0.87	+27 -11 -15 -10 -29 +15 -30 -14 + 4 +20	2	0.74																
94316	19 11 49.77		+05 22 38.3	7.92	H	287.957 367 84	+05.377 298 93		3.08	22.82	12.21	0.93	0.72	1.15	1.05	0.73	+12 -14 - 1 -30 -15 -23 -16 -41 + 7 -14	0	-1.10																
94317	19 11 50.06		+08 42 39.3	11.25		287.958 570 84	+08.710 903 69	B	1.33	0.85	-5.84	43.82	28.65	3.89	4.57	2.98	+ 3 - 9 - 1 - 1 + 0 - 4 - 2 - 3 +24 + 4	1	-0.07																
94318	19 11 50.30		-70 49 28.4	9.36	H	287.959 564 33	-70.806 778 51		0.28	7.80	-1.98	0.57	0.87	1.26	0.75	1.00	-20 -14 - 3 +18 -10 -13 -11 + 6 - 7 -20	2	-1.03																
94319	19 11 50.57		+04 42 18.7	9.97	H	287.960 712 17	+04.705 205 93	A	1.33	0.85	-5.84	4.62	3.06	3.89	4.57	2.98	+ 6 - 6 -16 -27 + 1 - 4 - 1 -30 +24 + 4	1	-0.07																
94320	19 11 52.19		-20 22 51.2	8.36	H	287.967 456 19	-20.380 887 80		2.72	-7.04	-2.58	0.98	0.56	1.08	1.29	0.75	- 8 - 3 - 3 +15 + 4 -34 - 7 -22 -17 -21	2	0.19																
94321	19 11 53.34		+14 34 56.1	8.05	H	287.972 257 05	+14.582 240 63		2.50	2.58	-10.03	0.60	0.60	0.95	0.66	0.69	+31 -17 - 4 +23 -22 +11 -26 - 8 + 4 +22	0	-0.22																
94322	19 11 53.36		-44 34 13.0	10.15	H	287.972 335 96	-44.570 291 03		8.48	-35.58	-113.22	1.59	1.01	1.82	1.79	1.29	+16 -41 -12 -26 +18 + 7 +17 -41 + 5 +13	0	0.70																
94323	19 11 54.36		-14 35 04.4	7.04	G	287.979 014 50	-14.584 562 45		2.94	51.08	6.06	0.79	0.50	0.94	0.88	0.58	+18 -32 -10 -11 - 5 +36 - 5 -33 + 2 + 6	0	-1.39																
94324	19 11 54.51		+43 53 25.9	8.01	H	287.985 457 13	+43.890 524 95		2.65	2.14	-0.79	0.58	0.61	0.66	0.59	0.79	- 3 + 8 - 3 +12 +23 - 1 +28 +18 +10 + 5	3	-0.57																
94325	19 11 55.86		-46 08 40.5	8.02	H	287.986 899 66	-46.144 583 06		3.79	-20.68	-11.91	1.12	0.85	1.43	1.62	1.17	+17 - 2 -37 -36 +21 -36 + 8 -54 +30 - 4	0	0.42																
94326	19 11 57.30		-39 30 00.9	8.80	H	287.988 748 43	-39.500 242 33		21.37	88.74	-102.48	1.29	0.79	1.45	2.11	1.07	+ 1 -12 -24 +15 +30 -42 + 5 -36 +35 -41	0	0.47																
94327	19 11 57.47		+22 07 22.7	9.06	H	287.989 449 37	+22.122 962 72		-0.44	1.77	1.33	0.74	0.89	1.24	1.01	1.06	+23 -13 + 0 +20 +12 +17 + 8 +11 +22 +29	0	0.79																
94328	19 12 00.32		+39 25 14.6	7.50	H	288.001 317 95	+39.420 736 01		5.17	9.15	11.53	0.52	0.51	0.63	0.61	0.68	- 2 + 4 - 3 +15 + 9 -12 +10 +16 - 4 + 2	0	0.63																
94329	19 12 00.48		-30 16 12.1	10.43	H	288.001 992 90	-30.270 310 50		2.51	7.08	-1.70	2.25	1.24	2.81	3.71	1.91	+19 -22 - 3 - 6 + 0 -54 -20 -61 +20 -20	4	0.09																
94330	19 12 02.95		+07 55 46.8	9.84	H	288.011 858 21	+07.929 663 91		0.48	-1.60	-4.90	1.33	0.98	1.61	1.46	1.14	+24 -36 -24 - 4 + 2 + 3 - 9 -24 +21 - 9	2	0.47																
94331	19 12 03.28		+02 37 21.4	6.94	H	288.013 660 99	+02.622 616 58		4.35	-3.30	-10.44	1.28	0.77	1.07	1.02	0.82	+ 6 -24 - 2 -19 + 4 - 2 + 3 -27 + 8 +13	1	0.22																
94332	19 12 03.94		-31 12 21.3	9.12	G	288.016 434 70	-31.205 927 04		5.42	0.89	-12.97	1.60	0.74	1.65	1.84	1.17	+10 -40 - 4 + 6 + 3 -15 -15 + 5 +11 +17 -14	0	0.16																
94333	19 12 04.19		-23 44 25.8	8.02	G	288.017 461 98	-23.740 509 91		-0.07	-1.82	-8.31	1.04	0.54	0.99	1.32	0.81	-31 - 4 -11 -30 +33 - 7 +30 -57 +18 -39	0	-0.43																
94334	19 12 04.87		-43 55 27.2	10.19	G	288.020 286 12	-43.924 228 35		4.36	5.06	-5.76	1.61	1.17	1.98	2.13	1.54	+ 9 -16 -20 -23 +29 -14 +21 -49 +19 - 5	0	-1.25																
94335	19 12 04.86		+46 19 26.5	9.35	2H	288.020 260 65	+46.324 018 65		7.69	-0.82	45.43	0.75	0.71	0.89	0.88	0.75	+ 5 -19 +18 + 5 + 8 -17 +16 -14 -19 +28	3	-0.97																
94336	19 12 05.22		+49 51 15.3	5.85	G	288.021 731 47	+49.854 238 07	A	40.16	-205.02	624.33	0.99	0.92	0.83	0.97	0.89	- 1 -24 +12 +12 + 3 - 3 + 5 + 1 + 3 +10	7	1.21																
94337	19 12 05.10		+69 42 28.5	9.00	H	288.021 240 72	+69.707 914 48	A	5.81	8.31	8.77	0.65	0.58	0.65	0.77	0.69	+10 -19 - 1 + 9 + 3 - 6 + 2 + 4 + 0 +12	0	-0.44																
94338	19 12 05.81		-21 55 41.7	7.83	H	288.024 221 48	-21.928 241 09	A	3.42	5.85	-5.95	1.98	1.09	1.87	1.80	1.31	+ 1 - 1 -10 - 4 - 7 + 4 + 1 -34 +25 +35	2	0.23																
94339	19 12 06.30		-50 14 38.2	8.02	H	288.026 262 65	-50.243 956 33		0.81	15.62	-34.94	0.84	0.60	0.94	1.13	0.66	- 2 -18 - 8 - 3 +20 + 7 +15 -33 - 6 -15	0	-0.03																
94340	19 12 06.47		-28 29 05.8	9.48	H	288.026 951 21	-28.484 941 29		12.86	-18.38	-87.28	1.98	0.76	2.02	1.95	1.09	+ 0 -63 - 4 + 7 +12 -15 - 8 -50 +14 -27	2	1.25																
94341	19 12 08.15		+24 07 48.2	11.22	G	288.033 953 64	+24.130 060 36		29.35	-119.82	-197.53	1.78	2.07	3.13	2.33	2.56	- 8 -12 - 3 -22 - 8 + 2 - 9 -23 +12 + 0	0																	
94342	19 12 08.38		+36 09 46.4	8.78	H	288.034 905 56	+36.162 886 37		3.01	1.84	-2.13	0.63	0.69	0.82	0.71	0.79	- 4 + 8 -11 +13 +17 -18 +16 +10 - 2 - 3	1	-0.02																
94343	19 12 09.52		+41 50 15.5	8.20	H	288.039 675 39	+41.837 647 01		5.79	17.57	-15.61	0.63	0.64	0.76	0.57	0.88	- 9 -28 + 4 - 6 + 2 + 6 + 3 +26 + 4 -13	0	-1.19																
94344	19 12 09.78		-37 34 59.1	6.55	G																														

Fortsetzung Seite 1896, untere Hälfte

12. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

If the entry is double, the flag indicates whether the astrometric data in these (and subsequent) fields refer to a component or photocentre, or (rarely) the centre of mass for an orbital system.

The Hipparcos parallax in milliarcsec (negative values arise from measurement errors).

The Hipparcos proper motion, at epoch J1991.25, in milliarcsec per year, both components expressed in great-circle measure.

The standard errors of the five primary astrometric parameters: position, parallax, and proper motion components, respectively.

The correlation coefficients between the five astrometric parameters.

Statistical indicators of the quality of the astrometric solution: percentage of data rejected from the final astrometric model, and resulting (gaussianised) goodness-of-fit, respectively.

Checksum. See Section 2.11.3.

94348	19 12 13.20	-52 14 33.0	9.96	G	288.054 985 34	-52.242 501 53	2.68	-2.29	-12.40	1.62	1.47	1.70	2.22	1.72	+53 + 1 +11 -45 -45 -17 -45 -73 -18 +48	2	-0.11
94349	19 12 13.55	-02 53 15.6	11.09	G	288.056 468 21	+02.887 668 13	98.56	1789.15	-520.07	2.06	1.88	2.66	2.72	2.00	-3 -26 +26 -7 +25 +18 +0 -5 +5 +21	2	2.14
94350 H	19 12 14.80	+32 15 09.9	7.27	G	288.061 662 66	+32.252 258 84	3.02	2.01	1.67	0.67	0.71	0.84	0.74	0.78	+0 +0 -1 +27 +6 +4 +5 +4 +25 +3	1	-0.06
94351	19 12 15.71	+47 22 30.0	6.54	H	288.065 844 51	+47.374 992 51	1.33	3.69	-1.21	0.52	0.46	0.57	0.62	0.51	+0 +3 -9 -16 +8 -10 +6 -11 +10 +21	4	-1.61
94352	19 12 15.99	-48 04 04.4	1.56	H	288.066 627 50	+48.133 493 55	4.26	-2.06	18.06	0.72	0.68	0.77	0.82	0.78	+10 -10 -15 -39 +1 +3 -3 -17 +16 +21	3	-0.63
94353	19 12 16.99	-51 48 43.6	8.42	G	288.070 803 02	-51.812 117 63	4.00	1.34	-27.03	0.99	0.82	1.17	1.30	0.92	+19 +2 +24 -22 -11 -22 -8 -59 -39 +27	0	-1.19
94354	19 12 17.40	+41 14 16.0	7.08	H	288.072 500 66	+41.237 772 32	3.35	1.13	-16.63	0.48	0.50	0.58	0.50	0.64	-12 +5 -9 +4 +4 -9 +4 +25 -1 -11	0	0.06
94355 H	19 12 18.64	+21 13 29.0	8.24	H	288.077 652 63	+21.224 732 22	0.77	0.48	-6.14	1.15	1.26	1.18	0.98	1.03	+39 -15 +0 -1 -3 -1 -3 +0 +2 +29	1	0.06
94356	19 12 19.25	-35 56 30.4	10.00	G	288.080 222 33	-35.941 771 55	2.03	-6.96	-7.04	1.49	0.85	1.59	2.08	1.15	+8 -28 -13 +23 +8 -21 -14 -39 +17 -28	0	-0.28
94357	19 12 19.47	+09 19 22.5	9.56	H	288.081 110 16	+09.322 929 29	1.46	5.19	-7.98	1.36	1.12	1.75	1.62	1.09	+1 -18 -17 -34 +15 -22 +4 -44 +24 -6	2	-0.11
94358	19 12 19.73	-08 56 09.5	9.19	H	288.082 227 00	-08.935 958 53	0.97	-2.34	-5.21	0.98	0.63	1.17	1.16	0.77	+15 -15 -7 -4 +8 +29 +9 -17 +13 +11	0	-2.30
94359	19 12 21.44	+53 56 52.2	9.32	H	288.089 345 57	+53.947 831 10	2.77	-26.40	-35.28	0.92	0.81	0.89	1.00	1.12	-9 -20 +12 -37 +8 -2 +7 -18 -2 +12	0	1.68
94360	19 12 22.49	-04 27 47.1	8.63	G	288.092 712 04	-04.463 089 92	0.06	5.69	-3.93	1.13	0.80	1.38	1.34	1.13	+40 -28 -20 +10 +26 +14 +23 +5 +28 +50	0	1.64
94361	19 12 22.61	+73 53 32.3	7.26	H	288.094 217 13	+73.892 314 23	2.79	-1.50	16.17	0.52	0.48	0.53	0.59	0.52	-4 -17 +15 -1 +13 -3 +13 -6 +1 +9	0	-0.29
94362	19 12 22.79	+20 30 44.7	9.19	H	288.094 939 81	+20.512 404 48	2.71	-5.15	-2.49	0.71	0.82	1.23	0.82	1.13	+24 -30 -3 -12 -7 +3 -2 +6 -16 +23	0	-0.32
94363 H	19 12 23.60	+30 20 51.9	7.65	G	288.098 342 26	+30.347 763 71	0.72	2.37	-5.26	0.97	1.09	1.28	1.01	1.22	-20 -12 -6 +9 +11 -7 +11 -12 -3 -26	7	2.02
94364 T	19 12 23.67	-04 27 28.9	11.77	H	288.098 618 54	-04.458 099 05	4.21	-25.71	-21.46	5.51	3.43	6.21	7.62	5.74	+36 -11 +10 +14 +11 +28 +8 +2 +20 +42	9	0.25
94365	19 12 24.12	-51 48 20.0	7.06	H	288.100 492 49	-51.805 553 37	2.80	0.85	-20.68	0.78	0.65	0.89	1.02	0.69	+30 +5 +11 -26 -18 -26 -20 -62 -33 +28	0	-0.47
94366	19 12 24.36	+36 10 55.9	6.35	H	288.101 491 96	+36.182 204 82	3.03	5.86	9.59	0.42	0.52	0.60	0.49	0.64	-9 +8 -12 -5 +13 -19 +13 +16 -1 -12	0	-0.82
94367 H	19 12 25.29	-33 03 43.8	8.00	G	288.104 996 81	-33.062 169 41	15.43	-44.84	33.68	2.11	1.58	1.92	2.34	1.44	+15 -4 -31 -2 +22 -26 +7 -38 +42 -28	2	-6.07
94368	19 12 25.55	-55 52 06.1	11.31	G	288.106 440 51	-55.868 371 87	50.04	-278.15	-169.46	2.03	1.69	2.72	2.32	2.25	+45 -26 -17 +10 -41 +1 -34 -44 +4 +60	2	3.20
94369	19 12 26.83	+19 12 20.7	8.99	H	288.111 806 31	+19.208 530 80	1.95	6.66	3.50	0.82	0.82	1.28	1.17	1.27	+29 +0 -23 +28 -2 +29 +2 +20 -7 +15	0	0.01
94370	19 12 27.42	-05 24 51.9	8.06	G	288.114 244 00	-05.414 414 46	19.04	-9.66	-52.48	0.87	0.61	1.07	0.95	0.73	+24 -25 -21 -23 +4 +22 +5 -25 +9 +12	0	0.18
94371	19 12 27.46	+16 51 02.2	7.94	H	288.114 402 11	+16.850 597 96	21.72	115.83	-175.06	0.76	0.99	1.04	0.98	1.06	+25 -10 -34 +0 +1 +19 +3 +3 +2 +14	4	0.42
94372	19 12 28.02	-21 39 30.0	6.39	H	288.116 746 70	-21.658 327 64	7.13	31.83	-22.34	0.74	0.37	0.77	0.73	0.49	-17 -33 +1 -6 +6 +18 +14 -37 +0 -1	0	-2.03
94373	19 12 28.47	+18 00 06.8	7.45	H	288.118 608 34	+18.001 900 61	6.00	4.16	-19.93	0.58	0.55	0.83	0.85	0.86	+21 -23 -15 +27 +5 +12 -10 +17 +6 +0	1	-0.72
94374	19 12 28.72	-26 35 04.7	8.77	H	288.119 657 17	-26.584 632 13	0.75	16.69	-12.42	1.20	0.71	1.30	1.52	0.89	+18 -31 -9 +21 +4 -15 -12 -35 +12 -10	0	1.26
94375	19 12 28.98	+23 27 33.6	8.07	H	288.120 799 74	+23.459 331 35	2.38	-1.38	-3.10	0.48	0.58	0.93	0.58	0.68	-27 -9 -7 -16 -7 +7 -8 -12 -13 -14	0	0.96
94376	19 12 33.15	+67 39 40.7	3.07	G	288.138 145 81	+67.661 316 95	32.54	94.49	92.30	0.47	0.41	0.46	0.47	0.45	-12 -20 +6 -18 +20 +5 +18 -4 +6 +6	3	2.22
94377 H	19 12 34.45	+16 50 47.2	6.73	G	288.143 556 04	+16.846 448 22	3.85	2.18	-11.64	1.08	1.00	1.29	1.31	1.31	+25 -1 -25 +17 -10 +20 -11 -2 -3 +6	0	1.07
94378	19 12 34.54	-37 31 26.4	7.15	H	288.143 924 90	-37.523 997 61	3.41	-0.68	-16.01	0.86	0.49	0.91	1.04	0.60	-4 -38 +14 +21 -1 +5 -3 -32 -14 -14	0	1.71
94379	19 12 34.74	-58 54 08.3	9.20	G	288.144 742 16	-58.902 302 60	6.76	37.92	-13.60	1.00	0.70	1.41	1.35	1.15	+7 -10 -13 +22 -13 +4 -7 -13 -21 +34	0	2.34
94380	19 12 35.87	+12 52 58.2	9.56	H	288.149 464 20	+12.882 829 64	2.15	-6.15	-0.52	1.14	1.02	1.54	1.18	1.07	+6 -15 -12 -12 +5 +32 +10 -11 -5 +2	0	-0.13
94381	19 12 36.18	+16 18 18.5	9.18	G	288.150 751 85	+16.305 138 12	4.39	-13.76	5.02	0.97	0.96	1.41	1.18	1.43	+33 +1 +0 -3 -14 +33 -17 -19 +5 +35	0	-0.13
94382	19 12 36.72	+21 33 16.4	6.02	H	288.153 018 33	+21.554 560 41	3.24	14.51	4.79	0.42	0.46	0.64	0.53	0.54	+24 -20 -19 +0 +2 +10 +1 -2 +12 +26	1	-0.54
94383	19 12 37.00	+06 02 22.3	7.46	G	288.154 177 08	+06.038 537 20	4.68	4.00	-16.29	0.83	0.68	0.92	0.99	0.89	+28 -23 -10 -17 -17 -14 -23 -32 -17 -1	0	-1.06
94384	19 12 40.25	-06 27 31.6	9.12	H	288.167 726 91	-06.458 791 64	1.20	0.05	-4.39	0.99	0.71	1.20	1.21	0.89	+6 -14 -10 -13 +9 +6 +7 -23 -3 -21	2	-1.36
94385	19 12 40.70	-07 56 22.2	5.35	H	288.169 598 61	-07.939 500 77	2.68	12.69	-7.06	0.73	0.45	0.80	0.72	0.47	-9 -15 -20 -36 +20 -2 +26 -39 +24 -11	0	-0.04
94386	19 12 42.17	+13 22 59.8	8.42	H	288.175 728 28	+13.383 287 96	2.86	2.94	-14.74	0.88	0.80	1.10	1.06	0.87	-9 -6 -11 -2 +3 +5 +4 -26 -10 -2	2	0.15
94387 H	19 12 42.40	+24 34 36.4	8.11	H	288.176 686 96	+24.576 782 06	13.40	68.25	-5.55	1.72	2.60	1.26	0.92	1.05	-22 +10 -20 -28 +2 -10 +2 -19 +17 -12	1	1.98
94388	19 12 42.82	+39 29 50.3	8.28	G	288.178 403 91	+39.497 310 83	2.68	2.09	-0.88	0.59	0.57	0.69	0.69	0.75	-3 -1 -2 +25 +5 -2 +6 -21 -11 +3	0	-1.57
94389	19 12 43.00	-25 40 09.7	8.57	H	288.179 156 87	-25.669 362 17	16.93	1.89	-13.72	1.25	0.65	1.12	1.34	0.86	-32 -12 -10 -21 +32 +4 +35 -42 +16 -33	0	0.48
94390	19 12 43.85	-11 33 01.3	7.61	H	288.182 728 38	-11.550 350 58	3.43	26.76	-9.18	0.79	0.85	0.99	1.00	0.72	+24 -33 -8 -15 +6 +36 +11 -19 -3 +7	0	1.81
94391	19 12 43.92	-33 51 12.8	7.79	H	288.183 007 37	-33.853 846 93	12.07	51.61	-149.66	1.38	0.64	1.42	2.37	1.04	+24 -16 -27 +37 +41 -29 -17 -58 +36 -53	0	2.55
94392	19 12 44.11	-42 04 52.5	10.50	G	288.183 778 24	-42.081 253 89	1.25	-11.50	-16.16	2.09	1.37	2.18	2.14	1.48	+47 -55 -26 +4 -14 -7 -28 -47 +6 +12	0	0.28
94393	19 12 44.13	-33 50 46.2	7.26	H	288.183 860 83	-33.846 168 20	2.19	-4.25	-8.00	1.28	0.60	1.28	2.28	0.99	+15 -17 -23 +30 +45 -26 -8 -58 +32 -50	0	0.87
94394	19 12 44.16	-19 14 06.9	8.14	H	288.184 019 56	-19.235 245 95	13.96	-119.59	-124.36	0.87	0.50	0.98	1.00	0.68	+4 -20 -5 -8 -11 +26 +5 -39 -8 +11	0	-1.49
94395	19 12 44.56	+06 36 37.9	7.76	H	288.185 658 11	+06.610 514 29	4.66	6.44	-0.33	0.84	0.57	1.04	0.83	0.60	-2 -40 -10 -20 +3 +5 -6 -27 -20 -23	0	-1.18
94396	19 12 44.97	+18 48 44.5	10.16	H	288.187 389 57	+18.812 349 74	17.22	113.91	166.28	1.25	1.38	1.85	1.71	2.03	+47 -13 -1 +29 +10 +19 +10 +36 +8 +21	0	-1.27
94397	19 12 45.52	-24 29 14.0	7.57	H	288.189 668 63	-24.487 218 52	6.11	30.36	-15.43	1.16	0.56	1.00	1.61	0.89	-46 +2 -11 -33 +48 +6 +44 +6 +11 -61	0	-1.76
94398 T	1																

Musterseite des Hipparcos und Tycho Catalogue (Seite 1897, obere Hälfte)

1897

287° 916 - 288° 194

94301 - 94400

13. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

No. HIP	Tycho Magnitudes					Colour Indices				Magnitude (Hp)				Variability (Hp)				Multiplicity Data						Misc Flags									
	B _T mag	α mag	V _T mag	δ mag	ε mag	B-V	α	V-I	α	H _p	α	s	N	Max mag	Min mag	P days	CCDM	Flags	AB	B	ρ	ν _p	ΔH _p mag		α	mag							
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42-3	44	45	46	47	48	49	50	51	52-4	55	56-7	58-61	62-63	64	65	66	67	68-70				
94301	9.612	0.015	9.360	0.018		0.240	0.022	T	0.27	0.02	L	9.2896	0.0019	0.021	145		9.35	9.34															
94302	6.422	0.004	5.246	0.002		1.008	0.003	T	0.98	0.00	L	9.2950	0.0007	0.005	100		5.29	5.30															
94303	11.176	0.075	10.652	0.084		0.510	0.020	G	0.76	0.02	H	10.8155	0.0029	0.031	84		10.76	10.86		C													
94304	8.029	0.008	7.629	0.008		0.391	0.009	T	0.46	0.01	L	7.6877	0.0011	0.013	128		7.66	7.71															
94305	9.070	0.014	8.530	0.013		0.506	0.017	T	0.58	0.02	L	8.5541	0.0025	0.019	86		8.52	8.59															
94306	8.420	0.012	8.159	0.013		0.108	0.140	G	0.22	0.03	L	8.1913	0.0018	0.015	112		8.17	8.22		C	19117+1753	1	2	C	B	AB	B4	1.949	0.039	3.51	0.15		
94307	10.216	0.032	9.665	0.031		0.522	0.033	T	0.59	0.04	L	9.7764	0.0142	0.022	85	A	9.75	9.81			19117+4711	1	1	2	C	D	AB	152	13.901	0.063	3.37	0.32	
94308	8.070	0.007	7.733	0.008		0.336	0.008	G	0.81	0.01	K	7.8045	0.0066	0.029	196	A	7.76	7.86		D	19118+2615	1	1	2	C	A	AB	23	15.112	0.013	2.48	0.06	
94309	9.187	0.014	8.246	0.011		0.817	0.014	T	0.84	0.01	L	8.2891	0.0026	0.023	107		8.25	8.33		U 2	19118-1911	1	1	1	1								
94310	9.749	0.024	9.027	0.020		0.649	0.023	T	0.71	0.02	L	9.0311	0.0033	0.024	76		8.99	9.07		D	19118-5319	1	1	2	C	A	AB	182	0.438	0.007	1.33	0.04	
94311	5.851	0.003	5.924	0.003		-0.062	0.004	T	-0.04	0.00	L	5.9180	0.0013	0.012	130		5.90	5.93		U 2													
94312												12.5469	0.0137	0.141	104		12.06	12.73		U													
94313	8.052	0.008	7.667	0.008		0.411	0.001	G	0.48	0.00	H	7.7107	0.0018	0.015	145		7.69	7.74															
94314	10.824	0.046	9.432	0.024		1.177	0.041	T	1.14	0.04	L	9.4339	0.0039	0.022	74		9.38	9.48															
94315	9.010	0.013	8.814	0.016		0.187	0.019	T	0.21	0.02	L	8.6400	0.0017	0.016	115		8.81	8.88		C													
94316	9.425	0.018	8.067	0.011		1.150	0.017	T	1.11	0.01	L	8.0831	0.0014	0.011	68		8.06	8.11		C													
94317	11.916	0.165	10.806	0.092		0.957	0.147	T	0.94	0.11	L	11.4548	0.1277		8					D	19118+0842	1	2	1	C	F	D						
94318	9.350	0.010	9.343	0.013		0.907	0.014	T	0.93	0.01	L	9.3715	0.0018	0.026	237		9.32	9.43															
94319	10.517	0.044	9.985	0.046		0.499	0.058	T	0.57	0.06	L	10.0790	0.0445	0.041	77	A	9.94	10.13		D	19118+0842	1	2	1	C	P	D						
94320	9.764	0.022	8.501	0.013		1.076	0.020	T	1.04	0.02	L	8.5268	0.0021	0.016	93		8.49	8.56															
94321	8.014	0.007	8.049	0.009		-0.027	0.010	T	-0.01	0.01	L	8.0475	0.0043	0.012	135		8.03	8.06		C													
94322	11.184	0.061	10.276	0.046		0.791	0.059	T	0.82	0.04	L	10.2922	0.0038	0.027	99		10.23	10.36		C													
94323	8.890	0.015	7.176	0.007		1.431	0.013	T	1.40	0.02	A	7.1618	0.0012	0.008	62		7.15	7.17															
94324	8.021	0.007	8.006	0.004		0.019	0.010	T	0.04	0.01	L	8.0282	0.0015	0.011	121		8.01	8.05		C													
94325	9.607	0.019	8.160	0.011		1.220	0.017	T	1.18	0.02	L	8.1787	0.0024	0.016	87		8.16	8.21															
94326	9.631	0.036	8.896	0.030		0.667	0.036	T	0.73	0.03	L	8.9326	0.0022	0.016	72		8.91	8.96		C													
94327	9.328	0.015	9.138	0.011		0.182	0.022	T	0.20	0.03	L	9.1415	0.0023	0.026	134		9.10	9.19		C													
94328	7.578	0.007	7.510	0.007		0.068	0.009	T	0.08	0.01	L	7.5329	0.0011	0.011	120		7.51	7.55															
94329	11.618	0.094	10.512	0.063		1.050	0.020	G	1.02	0.02	H	10.5970	0.0040	0.029	109		10.53	10.63															
94330	10.129	0.028	9.816	0.032		0.297	0.040	T	0.34	0.05	L	9.9123	0.0022	0.018	76		9.88	9.95		C													
94331	7.064	0.005	6.955	0.006		0.102	0.003	G	0.12	0.00	R	6.9845	0.0015	0.010	76		6.97	7.01		D	19421+0237	1	1	2	C	A	BA	184	0.248	0.003	0.40	0.06	
94332	9.791	0.022	9.178	0.020		0.574	0.020	G	0.65	0.02	H	9.2481	0.0016	0.020	115		9.20	9.20															
94333	7.987	0.007	8.033	0.009		-0.018	0.015	G	0.00	0.01	H	8.0220	0.0010	0.010	118		8.01	8.05		C													
94334	10.707	0.037	10.165	0.035		0.481	0.005	G	0.55	0.01	H	10.3138	0.0026	0.031	105		10.28	10.38															
94335	10.016	0.025	9.395	0.022		0.574	0.025	T	0.65	0.02	L	9.4722	0.0034	0.045	101		9.43	9.67		A													
94336	7.294	0.007	6.569	0.006		0.666	0.006	G	0.73	0.01	R	5.9819	0.0008	0.009	109		5.97	6.00		D	19121+4951	1	1	2	C	A	AB	208	7.648	0.003	0.15	0.01	
94337	9.348	0.016	9.038	0.017		0.327	0.015	G	0.39	0.02	H	9.0852	0.0010	0.015	116		9.06	9.12		D													
94338	9.375	0.014	7.994	0.008		1.000	0.495	G	1.09	0.05	L	7.9990	0.0012	0.012	128		7.98	8.02		D	19121+4951	1	1	2	C	B	AB	340	7.565	0.049	3.71	0.32	
94339	9.899	0.027	8.183	0.012		1.440	0.001	G	1.44	0.00	H	8.1295	0.0013	0.012	90		8.11	8.15															
94340	10.424	0.031	9.576	0.024		0.760	0.020	G	0.80	0.02	H	9.6322	0.0022	0.021	104		9.60	9.67		C													
94341						1.410	0.020	G	1.70	0.05	I	11.3476	0.0041	0.054	193		11.25	11.43															
94342	8.764	0.011	8.785	0.014		-0.015	0.016	T	0.01	0.01	L	8.7802	0.0015	0.016	131		8.75	8.82															
94343	8.541	0.010	8.232	0.011		0.296																											

Fortsetzung Seite 1897, untere Hälfte

94346	8.037 0.008	7.118 0.007	0.804 0.009	G	0.84 0.01	H	7.1762	0.0020	0.018	100	7.15	7.21	U 2 C	1	1	X						S	S	
94347	7.767 0.006	7.310 0.006	0.444 0.007	T	0.51 0.01	L	7.3587	0.0010	0.013	133	7.34	7.38		1	1	O						G	D	
94348	11.973 0.139	10.101 0.042	1.490 0.015	G	1.49 0.02	A	10.1047	0.0027	0.021	71	10.07	10.14	C									S	S	
94349			1.542 0.051	G	2.58 0.02	A	11.1029	0.0033	0.038	75	11.04	11.16	D									G	D	
94350	7.458 0.006	7.433 0.008	0.050 0.015	G	0.03 0.01	L	7.4321	0.0009	0.011	133	7.42	7.45	D	19122+0253	1 1	1	O					S	S	
														19122+3215	1 1	2	C	A	AB 147	1.083	0.016	3.25	0.08	S
94351	7.839 0.007	6.643 0.005	1.024 0.007	T	1.00 0.01	L	6.7040	0.0012	0.008	104	6.69	6.72		19123+4723	1 1	1	1					S	S	
94352	9.958 0.025	8.663 0.014	1.101 0.022	T	1.06 0.02	L	8.7285	0.0012	0.015	113	8.70	8.76	C									S	S	
94353	9.016 0.016	8.440 0.015	0.480 0.015	G	0.55 0.02	H	8.5508	0.0024	0.016	79	8.52	8.58	C	19124-5148	1 2	1	1					S	S	
94354	9.160 0.013	7.307 0.006	1.573 0.012	T	2.41 0.03	O	7.1127	0.0042	0.043	124	7.05	7.18	U 2									S	S	
94355	8.400 0.009	8.252 0.010	0.142 0.012	T	0.16 0.01	L	8.2949	0.0018	0.017	133	8.26	8.32	D	19123+2113	1 1	2	C	A	AB 113	0.208	0.003	0.27	0.10	S
94356	9.810 0.026	9.968 0.044	-0.130 0.015	G	-0.12 0.02	H	9.9743	0.0035	0.027	100	9.92	10.03	C									G	G	
94357	9.943 0.027	9.540 0.029	0.381 0.037	T	0.45 0.04	L	9.6543	0.0030	0.024	78	9.62	9.69										G	G	
94358	9.361 0.014	9.211 0.017	0.144 0.021	T	0.16 0.02	L	9.2413	0.0022	0.015	109	9.21	9.27										S	S	
94359	10.720 0.045	9.432 0.024	1.096 0.040	T	1.06 0.04	L	9.4890	0.0018	0.021	102	9.46	9.53	C									S	S	
94360	10.143 0.033	8.695 0.018	1.160 0.218	H	1.52 0.11	S	8.6798	0.0019	0.017	80	8.64	8.71	R	19124-0428	1 2	1	1					S	S	
94361	9.438 0.017	7.495 0.007	1.647 0.015	T	2.44 0.04	O	7.2945	0.0044	0.042	115	7.24	7.37	U 2									S	S	
94362	9.663 0.014	9.225 0.014	0.413 0.018	T	0.48 0.02	L	9.2841	0.0021	0.026	157	9.23	9.32										S	S	
94363	7.603 0.007	7.591 0.011	0.010 0.015	G	0.03 0.01	H	7.6636	0.0014	0.013	140	7.64	7.70	D	19124+3021	1 1	2	C	A	AB 317	9.953	0.005	1.18	0.02	S
94364														19124-0428	1 2	1	1					S	S	
94365	9.023 0.018	7.231 0.009	1.480 0.015	G	1.44 0.03	L	7.1933	0.0026	0.014	78	7.17	7.22	D	19124-5148	1 2	1	1					S	S	
94366	6.912 0.005	6.947 0.006	-0.027 0.007	T	-0.01 0.01	L	6.9487	0.0007	0.008	127	6.94	6.97	C									S	S	
94367	8.729 0.011	8.080 0.010	0.588 0.015	G	0.66 0.01	H	8.1128	0.0015	0.014	116	8.09	8.13	D	19124-3304	1 1	2	C	B	AB 23	0.387	0.002	0.10	0.02	S
94368			1.450 0.020	G	1.95 0.02	A	11.3845	0.0056	0.044	107	11.29	11.45	C									G	G	
94369	9.121 0.012	9.027 0.014	0.092 0.017	T	0.10 0.02	L	9.0312	0.0020	0.022	145	9.00	9.08										S	S	
94370	8.714 0.011	8.128 0.010	0.561 0.015	G	0.63 0.01	H	8.1716	0.0012	0.011	91	8.16	8.20	C									S	S	
94371	8.866 0.014	8.023 0.011	0.760 0.000	G	0.80 0.00	H	8.0810	0.0020	0.013	84	8.06	8.10		19126+1651	1 2	1	G					D	D	
94372	7.844 0.006	6.519 0.004	1.129 0.001	T	1.09 0.00	H	6.5564	0.0007	0.007	124	6.55	6.57	C									S	S	
94373	7.926 0.008	7.500 0.006	0.402 0.009	T	0.47 0.01	L	7.5454	0.0011	0.010	146	7.53	7.56	C									S	S	
94374	10.953 0.054	9.046 0.019	1.583 0.045	T	1.60 0.05	L	8.8884	0.0035	0.025	97	8.85	8.94	U 2									S	S	
94375	8.379 0.006	8.092 0.006	0.273 0.008	T	0.31 0.01	L	8.1399	0.0013	0.016	241	8.11	8.17										S	S	
94376	4.362 0.002	3.188 0.002	0.990 0.018	G	0.94 0.03	C	3.2296	0.0005	0.004	110	3.22	3.24		19126+6740	1 1	1	1					S	S	
94377	6.707 0.006	6.729 0.007	-0.010 0.000	G	0.01 0.00	H	6.7103	0.0024	0.017	89	6.69	6.75	U 2	19126+1651	1 2	2	C	A	AB 137	0.664	0.002	0.83	0.04	S
94378	7.246 0.006	7.149 0.007	0.087 0.008	T	0.10 0.01	L	7.1818	0.0009	0.007	89	7.17	7.19										S	P	
94379	9.745 0.019	9.237 0.018	0.493 0.015	G	0.57 0.02	H	9.3006	0.0026	0.020	115	9.26	9.34										S	S	
94380	9.888 0.027	9.567 0.030	0.305 0.038	T	0.35 0.05	L	9.6386	0.0036	0.027	72	9.58	9.69										G	G	
94381	9.677 0.023	9.185 0.022	0.420 0.013	G	0.49 0.01	H	9.2760	0.0030	0.015	72	9.25	9.31	C									S	S	
94382	6.102 0.003	6.025 0.003	0.069 0.004	T	0.08 0.00	L	6.0510	0.0006	0.006	138	6.04	6.06	C									S	S	
94383	8.231 0.012	7.537 0.010	0.640 0.013	T	0.70 0.01	L	7.5784	0.0014	0.012	74	7.56	7.60	C									S	S	
94384	9.476 0.018	9.149 0.019	0.391 0.007	G	0.46 0.01	H	9.2115	0.0041	0.041	93	9.16	9.28	U 2									S	S	
94385	5.475 0.002	5.371 0.002	0.094 0.003	T	0.11 0.00	L	5.3864	0.0009	0.011	101	5.36	5.40	U 2									S	S	
94386	9.799 0.026	8.523 0.016	1.086 0.024	T	1.05 0.02	L	8.5866	0.0018	0.017	77	8.56	8.62	C									S	S	
94387	8.784 0.009	8.217 0.008	0.530 0.011	T	0.60 0.01	L	8.2268	0.0014	0.018	185	8.20	8.27	D	19127+2435	1 1	2	C	A	AF 100	0.203	0.009	1.07	0.26	S
94388	8.195 0.009	8.296 0.012	-0.070 0.010	G	-0.05 0.01	H	8.2753	0.0012	0.013	127	8.26	8.30										S	S	
94389	9.276 0.014	8.648 0.013	0.629 0.014	T	0.65 0.01	L	8.6930	0.0022	0.019	105	8.66	8.73										S	S	
94390	9.026 0.011	7.739 0.007	1.095 0.010	T	1.06 0.01	L	7.7785	0.0009	0.010	140	7.76	7.81										S	S	
94391	8.232 0.012	7.801 0.013					7.8394	0.0013	0.015	107	7.81	7.87	D	19127-3351	1 2	1	1	S				S	S	
94392	11.141 0.066	10.553 0.060	0.516 0.020	G	0.59 0.02	H	10.6713	0.0054	0.037	73	10.62	10.72										S	G	
94393	7.249 0.011	7.353 0.015	0.362 0.021	G	0.42 0.08	R	7.3481	0.0013	0.012	106	7.33	7.36	D	19127-3351	1 2	1	1	S				S	S	
94394	8.780 0.010	8.221 0.010	0.528 0.010	T	0.60 0.01	L	8.2596	0.0014	0.014	114	8.24	8.29	C									S	S	
94395	7.944 0.007	7.788 0.010	0.150 0.011	T	0.17 0.01	L	7.8187	0.0014	0.011	79	7.80	7.84	C									S	S	
94396	11.242 0.048	10.243 0.033	0.873 0.043	T	0.88 0.03	L	10.3145	0.0032	0.038	173	10.23	10.38	C									G	G	
94397	7.631 0.006	7.578 0.008	0.048 0.009	T	0.06 0.01	L	7.5913	0.0010	0.009	115	7.58	7.61	C									S	S	
94398	7.349 0.006	6.224 0.003	0.954 0.006	G	0.94 0.00	H	6.2771	0.0009	0.008	94	6.27	6.29	C	19128-5029	1 1	1	1					S	S	
94399	9.259 0.016	8.907 0.017	0.342 0.021	T	0.40 0.03	L	8.9556	0.0017	0.013	100	8.93	8.98	C									S	S	
94400	8.965 0.011	7.911 0.008	0.915 0.010	T	0.91 0.01	L	7.9591	0.0012	0.012	130	7.94	7.98	C									S	S	

1-2 in Field H53 points to tabular data for periodic and unsolved variables (see Section 2.4 and Volume 11) giving further details of the variability, variable star name, period and epoch, references to literature, etc. A-C in Field H54 points to the light curves (Volume 12).

CCDM number assigned to double or multiple systems (either previously, or from Hipparcos). Also given are the origin of the CCDM identifier, and the number of catalogue entries with the same CCDM number.

Classification of the double or multiple star solution, and pointers to relevant sections of the Double and Multiple Systems Annex.

Summary of the astrometric and photometric parameters of a double system, when the Hipparcos observations resolve the system into precisely two components.

Flags indicating 'survey' star, identification chart, or note on the entry: the note flag may point to notes at the end of Volumes 5-9, or for double and multiple systems (Volume 10) or for variables (Volume 11).

04540 41532

Checksum. See Section 2.11.3.

15. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

Der Katalog enthält die 1 058 332 Sterne des Tycho-Programms, sowie die 118 218 Sterne des Positions-Programms. Für Letztere beträgt die mittlere Genauigkeit der astrometrischen Katalogdaten bei Sternen +9mag und Epoche 1991,25 in Tausendstel Bogensekunden (mas) für

Örter: 0,77 / 0,64mas (2 Koordinaten).

Parallaxen: 0,97mas. Selbst in 100pc Abstand sind Entfernungen auf 10% genau!

Eigenbewegungen: 0,88 / 0,74mas (2 Koordinaten). Wegen der Kürze der Zwischenzeit sind diese Eigenbewegungen nicht so gut wie die im PPM-Katalog.

Unter diesen Sternen sind rund ein Fünftel, also mehr als 20 000, Doppel- und Mehrfachsterne, für die im Katalog zusätzlich nähere Angaben, wie Umlaufzeit und Bahndaten, zu finden sind. Zusätzlich sind für rund 12 000 davon Karten enthalten, welche die in der Meßperiode erfolgten Veränderungen zeigten; rund 3 000 darunter sind Neuentdeckungen.

Weiters enthält der Katalog 11597 Sterne aus dem Positionsprogramm, die möglicherweise Veränderliche sind. Rund 8 000 davon sind Neuentdeckungen. Der Katalog enthält auch rund 4 000 Lichtkurven im Bereich des Meßintervalls. Unter den ihre Helligkeit wechselnden Sternen sind 2 693 Veränderliche mit periodischem Lichtwechsel.

Sogar 48 Kleinplaneten wurden von Hipparcos nach Ort und Helligkeit „wie üblich“ 100 bis 150 Male beobachtet. Ihre Orts- und Helligkeitsänderungen in der Meßperiode sind mithin enthalten und darstellbar.

Ein die ganze Himmelskugel umfassender Atlas („Millenium Star Atlas“) enthält die Örter von rund 1 Million Sternen des Tycho-Programmes bis +11mag herab sowie rund 10 000 nichtstellare Objekte, dargestellt in 1 548 Sternkarten; dazu eine Fülle von Zahlenangaben.

Das epochale, gesamte Katalogwerk ist in folgenden Teilen erschienen:

Gedruckte Ausgabe, 16 Bände und ein Zusatzband mit 6 ASCII CD-ROMS:

Bd.1	Introduction and Guide to the Data
Bd.2	The Hipparcos Satellite Operations
Bd.3	Construction of the Hipparcos Catalogue
Bd.4	Construction of the Tycho Catalogue
Bd.5-9	The Hipparcos Catalogue
Bd.10	Double and Multiple Systems Annex + Solar System Objects
Bd.11	Hipparcos Variability Annex
Bd.12	Hipparcos Light Curves
Bd.13	Identification Charts
Bd.14-16	Millenium Star Atlas. Auch von Sky Publishing Corporation zu beziehen.
Bd.17	6 ASCII CD-ROMS

Maschinenlesbare Ausgabe: 2 CD-ROM-Sätze:

Satz 1	Hipparcos and Tycho Catalogue + Annexes einschließlich Epoch Photometry (ASCII Tabellenformat). Als Bd.17 angeboten.
Satz 2	Hipparcos and Tycho Catalog + Annexes (komprimiert, internes Binärformat) Dazu Software zu gezieltem Suchen, Erstellen von Auszügen etc. auf den CD-ROMS (Dec Alpha, Sun; Windows 95/NT).

Preisauskunft und Bestellungen:

Hipparcos Catalogue Subscriptions, Astrophysics Division (SA)

ESTEC, P.O.Box 299, NL 2200-AG Noordwijk, Niederlande.- Fax: 0031 71 5654690.

7 Hipparcos - Kleine Rangliste der Sterne

HIP ist die Nummer des Sterns im Hipparcos-Katalog. Erdgebunden gemessen sind Rekt und Dekl im FK5 System, J2000 und scheinbare V-Helligkeit in Größenklassen (letztere aus phänomenologischen Gründen erdgebunden angeführt). Von Hipparcos stammen die scheinbaren, breitbandig gemessenen mittleren Helligkeiten Hp in Größenklassen aus dem Positionsprogramm (der Mittelwert ist gegeben, weil in dieser Genauigkeit alle angegebenen Sterne veränderlich sind. Für die Ursache findet sich ein Zusatz: D wenn Doppelstern / M wenn Mikroveränderlicher mit Amplituden unter 0,03mag / P wenn periodischer Veränderlicher / U wenn Veränderlichkeit, aber keine Periode ermittelt werden konnte / C unveränderlich / kein Zusatz, wenn nicht entscheidbar, ob der Stern unveränderlich oder veränderlich ist), sowie die Parallaxen in Millibogensekunden (mas). Die absoluten Helligkeiten $M_v = V + 5 \times \log(\text{Parallaxe in mas}) - 10$ sowie die Entfernungen in Lichtjahren = $3260 / \text{Parallaxe in mas}$, sind daraus abgeleitet.

7.1 Sterne größter scheinbarer Helligkeit

Name	HIP	Rekt	Dekl	V	Hp	Parallaxe	Entfernung
Bayer	Nr.	h m s	° ' "	mag	mag	mas	Lichtjahre
α Eri	7588	01 37 42,85	-57 14 12,3	+0,45	+0,4233U	22,68	144
α Tau	21421	04 35 55,24	+16 30 33,5	+0,87	+1,0024M	50,09	65,1
β Ori	24436	05 14 32,27	-08 12 05,9	+0,18	+0,1930P	4,22	773
α Aur	24608	05 16 41,36	+45 59 52,8	+0,08	+0,2385U	77,29	42,2
α Ori	27989	05 55 10,31	+07 24 25,4	+0,45	+0,4997U	7,63	427
α Car	30438	06 23 57,11	-52 41 44,4	-0,62	-0,5536U	10,43	313
α CMa	32349	06 45 08,92	-16 42 58,0	-1,44	-1,0876U	379,21	8,60
α CMi	37279	07 39 18,12	+05 13 30,0	+0,40	+0,4607	285,93	11,4
β Gem	37826	07 45 18,95	+28 01 34,3	+1,16	+1,2947M	96,74	33,7
α Leo	49669	10 08 22,31	+11 58 01,9	+1,36	+1,3232	42,09	77,5
α^1 Cru	60718	12 26 35,90	-63 05 56,7	+0,77	+0,6739D	10,17	321
β Cru	62434	12 47 43,26	-59 41 19,5	+1,25	+1,1537P	9,25	353
α Vir	65474	13 25 11,58	-11 09 40,8	+0,98	+0,8891P	12,44	262
β Cen	68702	14 03 49,40	-60 22 22,9	+0,61	+0,5366U	6,21	525
α Boo	69673	14 15 39,67	+19 10 56,7	-0,05	+0,1114U	88,85	36,7
α^1 Cen	71683	14 39 36,50	-60 50 02,3	-0,01	+0,1373D	742,12	4,40
α^2 Cen	71681	14 39 35,08	-60 50 13,8	+1,35	+1,2429D	742,12	4,40
α Sco	80763	16 29 24,46	-26 25 55,2	+1,06	+0,9757U	5,40	604
α Lyr	91262	18 36 56,34	+38 47 01,3	+0,03	+0,0868U	128,93	25,3
α Aql	97649	19 50 47,00	+08 52 06,0	+0,76	+0,8273P	194,44	16,8
α Cyg	102098	20 41 25,91	+45 16 49,2	+1,25	+1,2966U	1,01	3228
α PsA	113368	22 57 39,05	-29 37 20,1	+1,17	+1,1808	130,08	25,1

7.2 Mira, Algol, Delta Cephei

\circ Cet	10826	02 19 20,79	-02 58 39,5	+4,9898P		7,79	419
β Per	14576	03 08 10,13	+40 57 20,3	+2,0970P		35,14	93
δ Cep	110991	22 29 10,27	+58 24 54,7	+4,2767P		3,32	982

17. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

7.3 Nächste Sterne

Name	HIP	Rekt	Dekl	V	Hp	Parallaxe	Entfernung
	Nr.	h m s	° ' "	mag	mag	mas	Lichtjahre
Proxima C.	70890	14 29 42,95	-62 40 46,1	+11,01	+10,7613U	772,33	4,22
α^2 Cen	71681	14 39 35,08	-60 50 13,8	+1,35	+1,2429D	742,12	4,39
α^1 Cen	71683	14 39 36,50	-60 50 02,3	-0,01	+0,1373D	742,12	4,39
Barnard-St.	87937	17 57 48,50	+04 41 36,2	+9,54	+9,4901	549,01	5,94
HD 95735	54035	11 03 20,19	+35 58 11,6	+7,49	+7,5062	392,40	8,31
α CMa	32349	06 45 08,92	-16 42 58,0	-1,44	-1,0876U	379,21	8,60
	92403	18 49 49,36	-23 50 10,4	+10,37	+10,4124	336,48	9,69
ε Eri	16537	03 32 55,84	-09 27 29,7	+3,72	+3,8652M	310,75	10,5
HD 217987	114046	23 05 52,04	-35 51 11,1	+7,35	+7,4182	303,90	10,7
	57548	11 47 44,40	+00 48 16,4	+11,12	+11,0693C	299,58	10,9
61 Cyg A	104214	21 06 53,94	+38 44 57,9	+5,20	+5,3685U	287,13	11,4
α CMi	37279	07 39 18,12	+05 13 30,0	+0,40	+0,4607	285,93	11,4
61 Cyg B	104217	21 06 55,26	+38 44 31,4	+6,05	+6,1467U	285,42	11,4

7.4 Leuchtkräftigste Sterne

Name	HIP	Rekt	Dekl	V	Mv	Parallaxe	Entfernung
Bayer	Nr.	h m s	° ' "	mag	mag	mas	Lichtjahre
β Ori	24436	05 14 32,27	-08 12 05,9	+0,18	-6,69	4,22	773
γ Cyg	100453	20 22 13,70	+40 15 24,0	+2,23	-6,12	2,14	1523
ζ Pup	39429	08 03 35,05	-40 00 11,3	+2,21	-5,95	2,33	1399
ν Car	48002	09 47 06,12	-65 04 19,2	+2,92	-5,56	2,01	1622
α Car	30438	06 23 57,11	-52 41 44,4	-0,62	-5,53	10,43	313
β Cen	68702	14 03 49,40	-60 22 22,9	+0,61	-5,42	6,21	525
α Lep	25985	05 32 43,82	-17 49 20,2	+2,58	-5,40	2,54	1283
ϕ Vel	48774	09 56 51,74	-54 34 04,0	+3,52	-5,34	1,69	1929
γ Vel	39953	08 09 31,95	-47 20 11,7	+1,75	-5,31	3,88	840
ζ Ori	26727	05 40 45,53	-01 56 33,3	+1,74	-5,26	3,99	817
α Ori	27989	05 55 10,31	+07 24 25,4	+0,45	-5,14	7,63	427
λ Sco	85927	17 33 36,52	-37 06 13,8	+1,62	-5,05	4,64	703
δ Ori	25930	05 32 00,40	-00 17 56,7	+2,25	-4,99	3,56	916

7.5 Weitere Daten

Nähere Angaben zu einzelnen Objekten aus dem Hipparcos and Tycho Catalogue (ESA 1997), aus dem Hipparcos Input Catalogue, aus der Preliminary list from Tycho observations und aus dem Tycho Input Catalogue, Revised version, können aus dem Internet unter

<http://vizier.u-strasbg.fr/cgi-bin/VizieR>

einschließlich Erläuterung erhalten werden. Beispielsweise sieht der dortige Datensatz zu α Ori (Beteigeuze), der Angaben aus dem Hipparcos Main Catalogue (118 218 Zeilen) zu diesem Stern zusammenstellt, folgendermaßen aus:



VizieR Detailed Page



[CDS](#) · [Simbad](#) · [VizieR](#) · [Astronomer's Bazaar](#) · [Nomenclature](#) · [Biblio](#) · [VizieR-FAQ](#) · [VizieR-Help](#)

Warning: Problems were experienced with pre-HTML-3 browsers...

This page provides detailed rows of VizieR Search

I/239/hip_main (The Hipparcos Main Catalogue) (recno=27969)

α Ori (Beteigeuze)

Column	Value	Explain
<u>RAJ2000</u>	05 55 10.31 <h>"m:s"</h>	Right ascension (FK5) Equinox=J2000.0
<u>DEJ2000</u>	+07 24 25.4 <h>"d:m:s"</h>	Declination (FK5) Equinox=J2000.0 Epoch=J2000
recno	27969	Record number within the original table (star
HIP	27989	Identifier (HIP number) (H1)
Proxy		[HT] Proximity flag (H2)
RAhms	05 55 10.29	Right ascension in h m s, ICRS (J1991.25) (H3)
DEdms	+07 24 25.3	Declination in deg ' ", ICRS (J1991.25) (H4)
Vmag	0.45mag	? Magnitude in Johnson V (H5)
VarFlag	2	*[1,3]? Coarse variability flag (H6) <u>(Note)</u>
r_Vmag	H	*[GHT] Source of magnitude (H7) <u>(Note)</u>
RA(ICRS)	89.79287161deg	*? alpha, degrees (ICRS, Epoch=J1991.25) (H8)
DE(ICRS)	7.40703634deg	*? delta, degrees (ICRS, Epoch=J1991.25) (H9)
AstroRef		*[+A-2] Reference flag for astrometry (H10)
Plx	7.63mas	? Trigonometric parallax (H11)
pmRA	27.33mas/yr	? Proper motion mu_alpha.cos(delta), ICRS (H12)
pmDE	10.86mas/yr	? Proper motion mu_delta, ICRS (H13)
e_RAdeg	1.51mas	? Standard error in RA*cos(DEdeg) (H14)
e_DEdeg	1.13mas	? Standard error in DE (H15)
e_Plx	1.64mas	? Standard error in Plx (H16)
e_pmRA	2.30mas/yr	? Standard error in pmRA (H17)
e_pmDE	1.46mas/yr	? Standard error in pmDE (H18)
DE:RA	0.08	[-1/1]? Correlation, DE/RA*cos(delta) (H19)
Plx:RA	0.19	[-1/1]? Correlation, Plx/RA*cos(delta) (H20)
Plx:DE	-0.26	[-1/1]? Correlation, Plx/DE (H21)
pmRA:RA	-0.21	[-1/1]? Correlation, pmRA/RA*cos(delta) (H22)
pmRA:DE	-0.27	[-1/1]? Correlation, pmRA/DE (H23)
pmRA:Plx	0.11	[-1/1]? Correlation, pmRA/Plx (H24)
pmDE:RA	-0.15	[-1/1]? Correlation, pmDE/RA*cos(delta) (H25)
pmDE:DE	-0.50	[-1/1]? Correlation, pmDE/DE (H26)
pmDE:Plx	0.21	[-1/1]? Correlation, pmDE/Plx (H27)
pmDE:pmRA	0.28	[-1/1]? Correlation, pmDE/pmRA (H28)
F1	0	? Percentage of rejected data (H29)
F2		*? Goodness-of-fit parameter (H30) <u>(Note)</u>
BTmag	2.849mag	? Mean BT magnitude (H32)
e_BTmag	0.009mag	? Standard error on BTmag (H33)
VTmag	0.769mag	? Mean VT magnitude (H34)
e_VTmag	0.019mag	? Standard error on VTmag (H35)
m_BTmag		*[A-2*-] Reference flag for BT and VTmag (H36)
B-V	1.500mag	? Johnson B-V colour (H37)
e_B-V	0.510mag	? Standard error on B-V (H38)
r_B-V	G	[GT] Source of B-V from Ground or Tycho (H39)
V-I	2.32mag	? Colour index in Cousins' system (H40)
e_V-I	0.02mag	? Standard error on V-I (H41)
r_V-I	A	*[A-T] Source of V-I (H42) <u>(Note)</u>
CombMag		[*] Flag for combined Vmag, B-V, V-I (H43)
Hpmag	0.4997mag	*? Median magnitude in Hipparcos system (H44)
e_Hpmag	0.0234mag	*? Standard error on Hpmag (H45) <u>(Note)</u>
Hpscat	0.109mag	? Scatter on Hpmag (H46)

19. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

o_Hpmag	57	? Number of observations for Hpmag (H47)
m_Hpmag		*[A-Z*] Reference flag for Hpmag (H48) <i>(Note)</i>
Hpmag	0.33mag	? Hpmag at maximum (5th percentile) (H49)
HPmin	0.62mag	? Hpmag at minimum (95th percentile) (H50)
Period	<u>d</u>	? Variability period (days) (H51)
HvarType	<u>V</u>	*[CDMPRU]? variability type (H52) <i>(Note)</i>
moreVar	<u>2</u>	*[12] Additional data about variability (H53)
morePhoto	<u>C</u>	[ABC] Light curve Annex (H54)
CCDM	<u>05552+0724</u>	CCDM identifier (H55)
n_CCDM	<u>I</u>	*[HIM] Historical status flag (H56) <i>(Note)</i>
Nsys	<u>1</u>	? Number of entries with same CCDM (H57)
Ncomp	<u>1</u>	? Number of components in this entry (H58)
MultFlag	<u>X</u>	*[CGOVX] Double/Multiple Systems flag (H59)
Source		*[PFILS] Astrometric source flag (H60) <i>(Note)</i>
Qual	<u>S</u>	*[ABCDS] Solution quality (H61) <i>(Note)</i>
m_HIP		Component identifiers (H62)
theta	<u>deg</u>	? Position angle between components (H63)
rho	<u>arcsec</u>	? Angular separation between components (H64)
e_rho	<u>arcsec</u>	? Standard error on rho (H65)
dHp	<u>mag</u>	? Magnitude difference of components (H66)
e_dHp	<u>mag</u>	? Standard error on dHp (H67)
Survey	<u>S</u>	[S] Flag indicating a Survey Star (H68)
Chart		*[DG] Identification Chart (H69) <i>(Note)</i>
Notes	<u>F</u>	*[DGPWXYZ] Existence of notes (H70) <i>(Note)</i>
HD	39801	[1/359083]? HD number <u>III/135</u> (H71)
BD	B+07 1055	Bonner DM <u>I/119, I/122</u> (H72)
CoD		Cordoba Durchmusterung (DM) <u>I/114</u> (H73)
CPD		Cape Photographic DM <u>I/108</u> (H74)
(V-I) red	2.32mag	V-I used for reductions (H75)
SpType	M2Ib	Spectral type (H76)
r_SpType	X	*[1234GKSX]? Source of spectral type (H77)

8 Erste wissenschaftliche Ergebnisse

Wie wir aus der in großen Zügen beschriebenen Mission Hipparcos sehen, ist es eine in ihrer astrometrischen Natur begründete Eigenheit, daß

- * die Ergebnisse erst nach vieljährigen, gründlichen Vorbereitungsarbeiten in unspektakulärer, internationaler Zusammenarbeit und schließlich erst über einen mehrjährigen Meßverlauf ihre großartige Aussagekraft erreichten und
- * die Ergebnisse erst langsam auf nahezu alle Teilgebiete der Himmelskunde bestätigenden, verbessernden und erweiternden Einfluß nehmen können. Denn eine derart riesige Flut von Beobachtungsdaten will erst in ihrem Wert richtig eingeschätzt und dann in verantwortungsbewußten Veröffentlichungen in unser himmelskundliches Weltbild eingebracht werden.

Die einzelnen Abhandlungen können hier nicht genügend eingehend erläutert werden; wohl soll aber versucht werden, einige herauszugreifen, um in kurzen Streiflichtern die Vielseitigkeit und Bedeutung dieser Mission zu beleuchten. Die meisten stammen aus Daten, die den an der Mission beteiligten Wissenschaftlern vorab zugänglich gemacht worden waren. Auf dem Hipparcos-Symposium im Mai 1997 in Venedig und auf der 23. Generalversammlung der Internationalen Astronomischen Union im August 1997 in Kyoto wurden viele von ihnen vorgestellt. Jetzt, da der Katalog veröffentlicht ist, steigt ihre Zahl stark an.

Offene Sternhaufen:

Für die Theorien der Sternphysik und Sternentwicklung sind die so zahlreichen Beobachtungen aus der Erdumlaufbahn mit den verlässlichen Entfernungen und damit Leuchtkräften besonders interessant. Schließlich bietet jeder offene Sternhaufen gleichaltrige und nahezu gleichweit entfernte Sterne verschiedenster Masse. Wie bekannt, verläuft die Sternentwicklung für Sterne verschiedener Masse unterschiedlich und deshalb geben die offenen Sternhaufen dafür besonders wertvolle Studien- und Prüfobjekte ab.

Bei den so wichtigen Hyaden bestätigte Hipparcos die Entfernung mit 151 gegenüber bisher 150 Lichtjahren vorzüglich, wie M.A.C.Perryman, der wissenschaftliche Projektleiter der Hipparcos-Mission, fand. Auch wurde ein 3D-Bild dieses offenen Haufens gewonnen.

Aber J.-C.Mermilliod verglich zusammen mit Kollegen von der Sternwarte Paris-Meudon die Hipparcos-Daten von einem Halbdutzend offener Sternhaufen, darunter die Plejaden, Krippe und das Haar der Berenike; die Ergebnisse sind verwirrend. Alle Eichungen mittels offener Sternhaufen sind mit einem Schlag ungewiß geworden! Es stellt sich zwar heraus, daß die chemische Zusammensetzung bemerkenswert wenig Einfluß auf die Leuchtkräfte von Sternen verschiedener Masse hat, aber andererseits findet sich z.B. für die Plejaden eine deutlich kleinere Entfernung (380 gegenüber bisher 430 Lichtjahre) und deren Sterne sind mithin nicht so leuchtkräftig wie angenommen. Die Plejaden sind offenbar kein „normaler“ offener Sternhaufen.

Die Leiterin des Hipparcos Input Consortiums, C.Turon, bietet etwa zwei Erklärungen für das „Plejadenproblem“: Entweder stimmt etwas mit den Sternentstehungstheorien nicht oder die Plejaden und andere offene Sternhaufen sind in einem Bereich der Milchstraße entstanden, der chemisch anders geartet ist als der Rest der Scheibe, und entwicklungsmäßig jünger ist.

Pulsierende Veränderliche:

Sowohl für Entfernungsmessungen in der Milchstraße als auch weithin außerhalb ist die Beziehung zwischen der Lichtwechselperiode und Leuchtkraft der δ -Cepheisterne äußerst wichtig. Die leicht auch über große Entfernungen weg meßbare Lichtwechselperiode kann deshalb bekanntlich ihre Leuchtkraft und in Verbindung mit der beobachteten scheinbaren Helligkeit ihre Entfernung liefern. Trotzdem die Entfernungen selbst der nächsten groß sind, konnten dank Hipparcos viele auf 5% genau gemessen werden und neue „Spezialitäten“ dieser wichtigen Sterne und entsprechend sicherere Leuchtkräfte liefern. Die Folge davon ist eine Vergrößerung der so bestimmten Entfernungen um 10%, wie M.W.Feast und R.M.Catchpole fanden. Ähnliches zeigte sich bei den RR-Lyrae Sternen, was auf ein geringeres durch sie bestimmtes Alter der kugelförmigen Sternhaufen führt, nämlich nur rund 11 Milliarden Jahre. Auch bei den Mira-Sternen ergaben sich Folgen. Die neuen Entfernungen zeigen zusammen mit interferometrisch bestimmten Durchmessern, daß Mira-Sterne unter 400 Tagen Lichtwechselperiode anders pulsieren als solche mit über 400 Tagen.

Die Folge all dieser neuen Erkenntnisse ist, daß das Weltalter offenbar zwischen 10 und 13 Milliarden Jahren liegt, was ganz gut zu dem dank dem kürzlich mit dem Hubble-Teleskop ermittelten Wert von 9 bis 12 Milliarden Jahren paßt. (Übrigens „gab“ es schon in den 50er-Jahren so ein Weltalter, siehe O.Thomas „Astronomie, Tatsachen und Probleme“, 7.Aufl.).

Planeten um nahe Sterne:

M.A.C.Perryman zog zusammen mit Kollegen interessante Schlüsse aus den Hipparcos-Entfernungen für die jüngst um 47 Uma, 70 Vir und 51 Peg vermuteten „Planetensysteme“.

21. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

In diesen Fällen sind die neuen Entfernungen auf 1% genau; für 70 Vir beispielsweise beträgt die neue Entfernung nur etwa ein Drittel der bisher ermittelten und auch bei den anderen beiden Sternen gibt es jetzt sicherere Grundlagen. Zusammen mit Radialgeschwindigkeitsmessungen liefert die Astrometrie von Hipparcos jetzt den sicheren Nachweis, daß der vermutete „Planet“ oder besser gesagt, der unsichtbare Begleiter, bei 47 UMa eine Masse zwischen 7 und 22 und bei 70 Vir eine solche zwischen 38 und 65 Jupitermassen haben muß. Bei 51 Peg sind die Grenzen weniger eng.

Es konnten somit dunkle Massen um Sterne sicher nachgewiesen werden, die deutlich unter 0,08 Sonnenmassen, den Massen der Braunen Zwerge, liegen.

Sonne und Begegnungssterne:

Die Raumbewegung von Sternen setzt sich aus dem normal zur Sehlinie gerichteten Eigenbewegungs- und dem in der Sehlinie liegenden Radialbewegungs-Anteil zusammen. Bei Sternen, die eine sehr kleine Eigenbewegung zeigen, besteht deren Raumbewegung praktisch nur aus der Radialbewegung. Sie kamen oder kommen daher einmal in die Nachbarschaft der Sonne.

Solche „Begegnungssterne“ konnten großräumig erst aus den Eigenbewegungsmessungen an den zahlreichen Sternen gefunden werden, die Hipparcos in seinem Positionsprogramm hatte. Die Genauigkeit der Hipparcos-Eigenbewegungsmessungen reicht wegen der dafür zu kurzen Dauer der Meßperiode nur für eine - allerdings entscheidende - Vorauswahl. Die Verbindung von Orten dieser Begegnungssterne, die von Hipparcos hochgenau und die weniger genau, dafür aber zeitlich weitab erdgebunden gemessen wurden, liefert zusammen mit erdgebundenen Radialgeschwindigkeitsmessungen die näheren Umstände etwaiger Begegnungen dieser Sterne mit der Sonne.

Ein solcher ist z.B. Gliese 710 im Schlangenträger. Er ist derzeit etwa 63 Lichtjahre von der Sonne entfernt und nähert sich ihr mit 14km/s. Seine Begegnung mit der Sonne wird in rund einer Million Jahren im Abstand 1 Lichtjahr stattfinden. Offensichtlich hat er einen dunklen Begleiter, der seine Raumbewegung beeinflusst; er könnte die Sonne daher in einem etwas größeren oder kleineren Abstand passieren. Noch weitere Sterne werden in den nächsten 8,5 Millionen Jahren einen Sonnenabstand von innerhalb 3 Lichtjahren erreichen und uns dann näher sein als die heute nächsten des α Centauri-Systems. Andere hatten ihre Sonnennähe schon durchlaufen und entfernen sich schon wieder von uns.

Solche Begegnungen werden vor allem die Oort'sche Kometenwolke beeinflussen, meint R.Preston, der Leiter der mit diesen Untersuchungen befaßten Arbeitsgruppe.

Geminga:

Dieser Neutronenstern steht in den Zwillingen, woher auch sein Name kommt. Er ist eine der starken, pulsierenden Gamma- und Röntgenstrahlungsquellen. Den Pulsaren verwandt, unterscheidet sich Geminga aber von ihnen dadurch, daß er keine Radiostrahlung aussendet. Systematische Beobachtungen begannen mit dem Satelliten COS-B in den 70er-Jahren; am Mauna Kea Observatorium erstmals optisch identifiziert und dann mit dem NTT auf La Silla beobachtet, konnte Geminga schließlich samt Umfeldsternen von der Planetenkamera des Hubble Teleskops erfaßt werden. Hipparcos sah das schwache Objekt zwar nicht, vermaß aber die Umfeldsterne und so war eine hochgenaue Ortsbestimmung erstmals möglich. Damit wurde aus den vom Erdumlauf beeinflussten Pulsraten eine Abnahme der Pulsrate von rund einer Mikrozeitsekunde pro Jahr nachweisbar. So konnten dank Hipparcos weitere Schritte zur Erhellung dieses interessanten Objektes gesetzt werden.

Lichtablenkung im Schwerefeld:

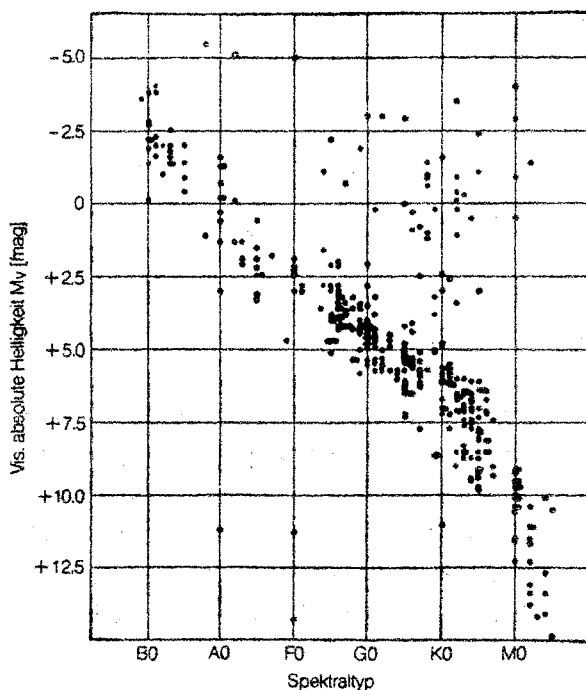
Die Lichtablenkung in einem Schwerefeld ist einer der beobachtbaren Effekte, welche die Relativitätstheorie forderte. Am Sonnenrand beträgt sie 1,7" und konnte schon in den 20er-Jahren bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtet werden und mit dem Hubble-Teleskop wurde auch der darauf beruhende Gravitationslinsen-Effekt nachgewiesen.

Für Hipparcos ist diese Lichtablenkung nicht nur auf einige Sonnenradien Abstand von der Sonne beschränkt, sondern erstreckt sich auf die ganze Himmelskugel. Sie ist auch rechtwinklig zur Sonne mit 4 mas sehr deutlich. Die Kenngrößen der Lichtablenkung im Schwerefeld konnten durch Hipparcos-Messungen hochgenau ermittelt werden.

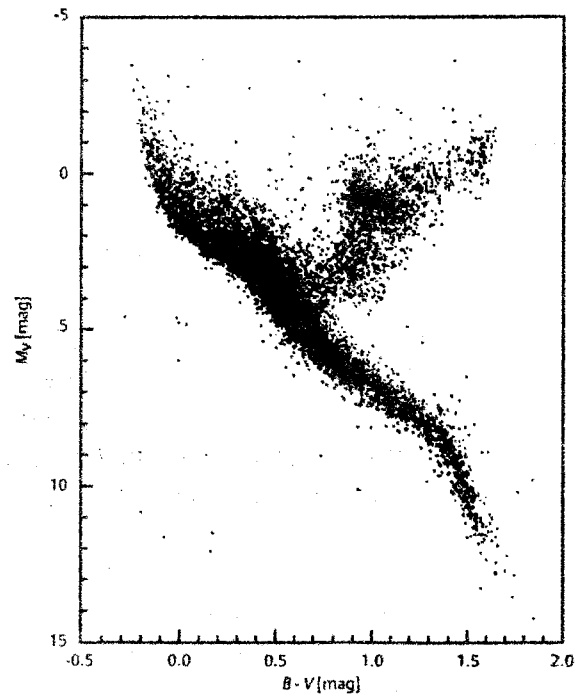
Hertzsprung-Russell Diagramm erweitert und verbessert:

Die Entfernungen von zehntausenden Sternen innerhalb von rund 300 Lichtjahren sind nun besser als auf 10% bekannt. Die sich daraus ergebenden verlässlichen Leuchtkräfte reichen nun deutlich über die absolute Größe $M_v = 0 \text{ mag}$ in den Bereich der Riesenleuchtkräfte hinaus. Besonders bemerkenswert ist der auf dem Riesenast der Sonnenumgebung von Hipparcos nachgewiesene „Sternklumpen“.

Außerordentlich deutlich zeigen die beiden hier wiedergegebenen Hertzsprung-Russell-Diagramme den dramatischen Fortschritt dank Hipparcos. Aber noch 1985 waren die Entfernungen von nur rund 300 Sternen trigonometrisch besser als auf 20% genau bekannt.



HRD aus Sternen innerhalb von 65 Lichtjahren Entfernung, aus Sternen verlässlicher Parallaxe. Für Sterne größerer absoluter Helligkeit als 0 sind die M_v außer aus trigonometrischen auch aus spektroskopischen und Haufenparallaxen abgeleitet. - Nach H.N.Russell, 1927, in Unsöld und Baschek, Der neue Kosmos, Seite 136, 5. Auflage, Springer Verlag, 1991.



HRD aus 16631 Sternen mit trigonometrischen Parallaxen aus dem Positionsprogramm von Hipparcos, die auf besser als 10% genau sind. Siehe oben beschriebene Einzelheiten.

Nach H.Schrijver von U.Bastian in SuW, 11/1997, Seite 939, Verlag Vehrenberg, München 1997.

23. Fortsetzung Referat: Astrometrie mit Hipparcos

Die sich aus dem erweiterten und verbesserten Hertzsprung-Russell Diagramm ergebenden Erkenntnisse werden wohl zu den weitreichendsten Folgen der Hipparcos-Mission zählen.

Erdgebundene Erfolge:

Y.Requiere und Kollegen berichten von der Neuauswertung von Meridiankreisbeobachtungen (Bordeaux und Carlsberg) mit Hipparcos-Daten. Im Vergleich mit den Auswertungen, die mit Daten aus dem FK5 durchgeführt wurden, zeigten sich jetzt erheblich geringere Fehler; sie gingen bisher in der Unsicherheit der Referenzpositionen unter. Auch könnte die Refraktion mit besseren Sternpositionen genauer erfaßt werden..

Ausblick:

Bei ESA besteht ein vorläufiges Konzept einer Nachfolgemission für Hipparcos, GAIA (Global Astrometric Interferometric for Astrophysics). Örter, Eigenbewegungen und Parallaxen von rund 50 Millionen Objekten, vollständig bis $V = +15$ mag, sollen genauer als auf 10 Mikrobogensekunden und in Vielfarbenphotometrie gemessen werden.

9 Nacherleben

Wie klein selbst eine Bogenminute und erst recht eine Bogensekunde ist, kann in Sonderabenden am Passageninstrument oder Universalinstrument nacherlebt werden, welche die Wiener Urania Sternwarte bietet. Zur Vorbereitung kann die Literatur 5, 6 und 7 unserer Liste dienen. Interessenten werden gebeten, sich zunächst beim Autor anzumelden.

10 Literatur

- 1 Perryman, M.A.C.: Ad Astra Hipparcos. The European Space Agency's Astrometry Mission. ESA BR-24, Juni 1985.
Van der Ha, J., Heger, D., Turon, C., Høg, E., Kovalevsky, J. sowie Lindegren, L.: ESA's Hipparcos Astrometry Mission - A First in Space Science. Hipparcos Mission Feature. ESA Bulletin 69, February 1992.
- 3 Lindegren, L., Kovalevsky, J., Høg, E., Turon, C., Perryman, M.A.C.: Some Insights into the Hipparcos Results. First Accurate 3-Dimensional Mapping of the Celestial Sphere by Hipparcos (UMa, Cyg+Lyr, Cas, Sco). ESA Bulletin 77, February 1994.
- 4 The Hipparcos Space Astrometry Mission. Homepage mit außerordentlich vielseitiger und aktueller Information: <http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos/hipparcos.htm>
- 5 Mucke, H.: Maß und Zahl am Sternenhimmel. Der Sternbote 12/1994, p.234-243., Astronomisches Büro, Wien.
- 6 Mucke, H., Pietschnig, M., Vollmann, W., Weber, R.: Sphärische Koordinatensysteme, Zeitsysteme, Parallaxe, Refraktion und Extinktion, Wandelgestirn- und Sternörter. Seminarpapiere „Moderne Astronomische Phänomenologie“, Für Österreichischen Astronomischen Verein Astronomisches Büro, Wien 1993.
- 7 Weber, R: Astrometrie an Sternen. Seminarpapiere „Himmelskunde und Kleinrechner“. Für Österreichischen Astronomischen Verein Astronomisches Büro, Wien 1985

Für Privatmitteilungen danke ich sehr Dr.U.Bastian; W.Vollmann und Dipl.Ing.Dr.R.Weber haben mir mit Datenseiten aus Internet und Katalogen dankenswert recht viel Zeit erspart.

Prof.Hermann Mucke, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien

Referat: Astronomie mit dem Hubble Space Telescope

1 Allgemeines

1.1 Die Beobachtung mit Teleskopen

Zu den ersten Beobachtern des gestirnten Himmels, die sich eines Teleskops bedienten, ist ohne Zweifel Galileo Galilei (1564-1642) zu zählen. So entdeckte er mit seinem Linsenteleskop im Jahre 1609, daß die Mondoberfläche aus zerklüfteten Bergen und Tälern besteht. Kurze Zeit danach fand er die vier großen Jupitermonde, die später auch nach ihm benannt wurden. Damit war die moderne Astronomie geboren und Forscher arbeiteten seither daran, die Leistungsfähigkeit der Teleskope laufend zu verbessern.

Mit der Erfindung des Spiegelteleskops von Isaac Newton (1643-1727) kam der große Durchbruch, da Spiegel mit größeren Durchmessern und genauer als Linsen hergestellt werden können.

Dennoch dauerte es bis in unser Jahrhundert, bis die tatsächliche Größenordnung des Weltalls deutlich wurde. Die Forschung hat uns die Nebenrolle unserer Erde und des Sonnensystems in der Milchstraße, in der die Sonne nur ein Stern unter hundert Milliarden ist, ins Bewußtsein gerufen. Sie hat uns zudem gelehrt, daß auch die Milchstraße nur eine von Milliarden Galaxien im Universum darstellt.

1.2 Edwin Hubble

Einer der Wegbereiter des Wandels im astronomischen Weltbild war der amerikanische Astronom Edwin Hubble (1889-1953), der nachwies, daß das Universum nicht nur wesentlich größer ist, als die früheren Generationen glaubten, sondern sich auch weiter ausdehnt. Hubble studierte Physik und Astronomie an der Universität in Chicago, promovierte in Oxford in Rechtswissenschaften und erwarb nach dem Ersten Weltkrieg den Dokortitel in Astronomie. Er arbeitete meistens im Observatorium auf dem Mount Wilson in Kalifornien.

Der Begriff des „expandierenden Universums“ ist untrennbar mit ihm verbunden und so war es naheliegend, 1983 das bislang größte Observatorium im Weltraum nach ihm zu benennen.

1.3 Die Planung eines Teleskops außerhalb der Atmosphäre

Die Idee, ein Teleskop in einer bemannten Raumstation zu installieren, hatte erstmals der Weltraumpionier Hermann Oberth im Jahre 1923. Der Betrieb eines Teleskops außerhalb der Erdatmosphäre würde viele Probleme lösen, denn diese wirkt wie ein Filter, der den Großteil des elektromagnetischen Spektrums von der Erdoberfläche abhält und die Qualität der restlichen Strahlung beeinträchtigt. Das Projekt, aus dem HST werden sollte, wurde jedoch erst 1977 vorgelegt und sah vor, das Teleskop mit geschätzten Kosten in Höhe von 450 Millionen Dollar zu entwickeln und 1983 zu starten. Die NASA wurde aufgefordert, einen Partner zu suchen, um die Kosten auf mehrere Einrichtungen zu verteilen. Die Europäische Weltraumagentur (ESA) erklärte sich bereit, sich im Ausmaß von 15 Prozent an dem Projekt zu beteiligen. Die Beteiligung wurde in Form von Entwicklung und Fertigung verschiedener Komponenten des Teleskops sowie durch die Bereitstellung von Personal erbracht. Im Gegenzug erhielt die ESA Anspruch auf 15 Prozent der Beobachtungszeit.

Es traten jedoch unerwartete Schwierigkeiten beim Bau des Satelliten dieser Größe auf, die immer wieder zu Verzögerungen führten. Der endgültige Start war am 25. April 1990 in

1. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

Cape Canaveral/USA. Die veranschlagten Kosten für die Planung und den Bau wurden weit überschritten. Dies war allerdings kein Nachteil, da die Ingenieure die Zeit dazu nützten, verschiedene Systeme des Teleskops weiter zu verbessern. Das Space Telescope Science Institute (STScI) wurde an der Johns Hopkins Universität in Baltimore als Verwaltungs- und Wissenschaftszentrum gegründet.

2 Die Ziele des HST

Das HST wurde mit dem Ziel entwickelt, eine große Zahl von sehr verschiedenen Beobachtungen über die gesamte Spannweite astronomischer Objekte von Asteroiden und Kometen im Sonnensystem bis zu supermassereichen Galaxienhaufen am Rande des sichtbaren Universums durchzuführen. Die Größenunterschiede sind überwältigend und reichen von einigen 100 Kilometern eines großen Asteroiden bis zu Galaxienhaufen. Obwohl das HST nicht die detaillierten Aufnahmen von den Planeten im Sonnensystem liefern kann wie z.B. die Raumsonden *Voyager* oder *Mariner*, ist es in der Lage, häufiger und beständiger Bilder zu liefern auf der Suche nach Veränderungen in Planetenatmosphären und Temperaturen oder bei der Suche nach kleinen Asteroiden und Kometen, die sonst von der Erde aus unentdeckt bleiben würden.

Das HST erforscht aber auch unsere eigene Milchstraße. Sein hervorragendes Auflösungsvermögen erlaubt es, die Bildung von Sternen in riesigen Gas- und Staubwolken zu beobachten. Die Strukturen und der Aufbau anderer Galaxien können in allen Einzelheiten studiert werden.

Das HST hilft den Astronomen auch bei der Ermittlung der entscheidenden „Meßlatte“. Die Entfernungen zu astronomischen Objekten außerhalb des Sonnensystems können nicht direkt gemessen werden, daher kommen indirekte und oft unsichere Meßmethoden zur Anwendung. Mit der verbesserten Auflösung des HST können auch Sterne in viel größeren Distanzen als früher genau vermessen werden.

In Hubble's expandierendem Universum wird das HST eingesetzt, um mehr über die Ausdehnung zu erfahren. Unter der Vorgabe von Hubble's Gesetz, daß sich Galaxien um so schneller von uns wegbewegen, je weiter sie entfernt sind, versuchen die Astronomen nun, die Ausdehnungsgeschwindigkeit festzulegen, das heißt, die sogenannte „Hubble-Konstante“ zu messen. Derzeit schwankt der Wert diese Konstanten zwischen 45 und 70 km/ s Mpc, also um einen Faktor 1.5. Es ist ein Hauptanliegen der Wissenschaft, diesen Wert mit Hilfe von HST genauer zu erfassen.

Die wichtigste und zugleich spannendste Aufgabe des HST ist somit der Versuch, die Größe und Natur des gesamten Universums herauszufinden. Kosmologen nehmen an, daß das Universum aus einem superheißen und superdichten Punkt vor etwa 12 bis 18 Milliarden Jahren in einer gewaltigen Explosion, dem Urknall, entstand. Aus diesem Punkt hat sich das Universum bis auf seine heutige Größe ausgedehnt. Wir kennen allerdings noch keine Antwort auf die Frage nach der kritischen Dichte und können heute weder die immerwährende Ausdehnung des Universums noch sein Zusammenfallen postulieren. Das HST soll einen wesentlichen Beitrag zur Lösung dieser und ähnlich gelagerter Fragen liefern.

3 Aufbau, Instrumente und Servicemissionen

Das HST ist ein Satellit in Form eines Zylinders von 13,1 Meter Länge und 4,3 Meter Durchmesser an seiner breitesten Stelle bei einem Gewicht von 11,6 Tonnen. Sein Hauptspiegel ist mit einer dünnen Schicht Aluminium belegt über der eine Magnesium-Flurid als Schutzschicht aufgetragen wurde. Das HST ist extrem sensitiv bezüglich der Wellenlängen zwischen 115 und 1000 Nanometer. Es wurde mit der Vorgabe entwickelt,

2. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

eine sehr große Vielfalt von astronomischen Aufgaben im Vakuum des Alls ohne menschliche Hilfe zu erledigen und enthält einige der technologisch komplexesten Geräte, die je gebaut wurden (Abbildung 1).

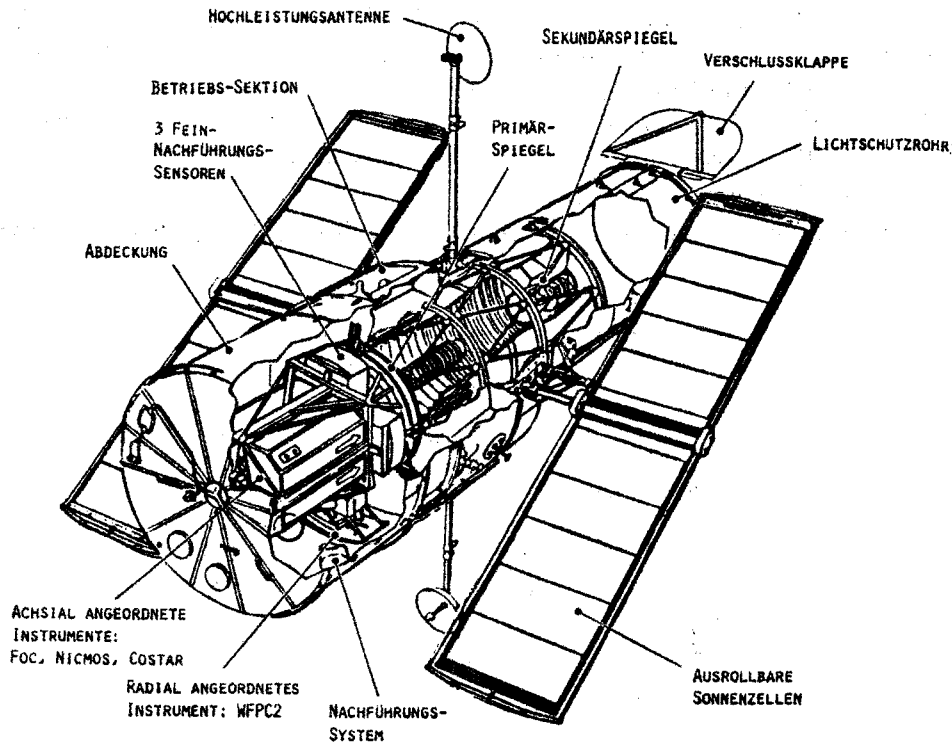


Abbildung 1: Aufbau des HST.

Durch den modularen Aufbau des HST ist es möglich, defekte Einheiten einfach austauschen oder wissenschaftliche Geräte gegen neuere, leistungsfähigere austauschen zu können. Bei der Entwicklung des Satelliten wurden eine Anzahl von Fangösen angebracht, mit denen das Shuttle das Teleskop einfangen und in die Ladebucht manövrieren kann. Für die Astronauten befinden sich 76 Handgriffe an der Außenseite des Teleskops. Als das HST gestartet wurde, ging man von drei Servicemissionen während der angenommenen 15 Jahre Betriebsfähigkeit aus. Die erste Reparaturmission wurde im Dezember 1993 durchgeführt, die zweite im Februar 1997. Die nächsten sollen in den Jahren 1999 und 2002 stattfinden.

In seiner Umlaufbahn um die Erde kann das HST ungestört von der Atmosphäre alle Wellenlängen vom Infraroten über das sichtbare Licht bis ins Ultraviolette beobachten. Das Licht tritt in den Tubus des nach dem Cassegrain-Prinzip gebauten Teleskops ein, trifft auf den Hauptspiegel (2,4 Meter Durchmesser; $f/24$) und wird sodann auf den kleineren Sekundärspiegel (0,3 m Durchmesser) zurückgeworfen. Von diesem Spiegel fällt das Licht durch eine kleine Bohrung im Hauptspiegel auf die Meßinstrumente. Das Weltraumteleskop könnte einen Groschen auf eine Entfernung von 20 Kilometern erkennen. Sein Lichtsammelvermögen ist so hoch, daß es ein Glühwürmchen in 16000 km Abstand noch abbilden kann.

Im Herzstück des Teleskops sind parallel zur Hauptachse die wissenschaftlichen Instrumente angeordnet. Über ihnen sind in Ladebuchten die Feinnachführung und die *Wide Field and Planetary Camera* (WF/PC) zu finden. Die WF/PC ist die am häufigsten verwendete Kamera und kann Bilder sowohl im infraroten als auch im ultravioletten Licht aufnehmen. Sie deckt damit einen größeren Wellenlängenbereich als das menschliche Auge ab. Die WF/PC registriert das Licht mit Hilfe von „charge coupled devices“ (CCDs),

3. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

welche, als das elektronische Gegenstück zur Photoplatte, den Informationsgehalt der auftreffenden Photonen digital speichern (je 4 CCD-chips a 800x800 Pixel).

In den anderen drei Ladebuchten befinden sich die *Fine Guidance Sensors* (FGSs). Diese Geräte spielen bei der Ausrichtung und der Positionskorrektur des Teleskops eine wichtige Rolle. Sie suchen dazu „Leitsterne“, deren Positionen sehr genau bekannt sind, und halten diese Sterne auf einer bestimmten Position ihres Blickfeldes fest. Für die Ausrichtung werden zwar prinzipiell nur zwei FGS benötigt, jedoch wurde ein Ersatzinstrument für unerlässlich gehalten wurde.

Zur Zeit bestehen die wissenschaftlichen Instrumente des HST aus drei Kameras und zwei Spektrographen (Abbildung 2).

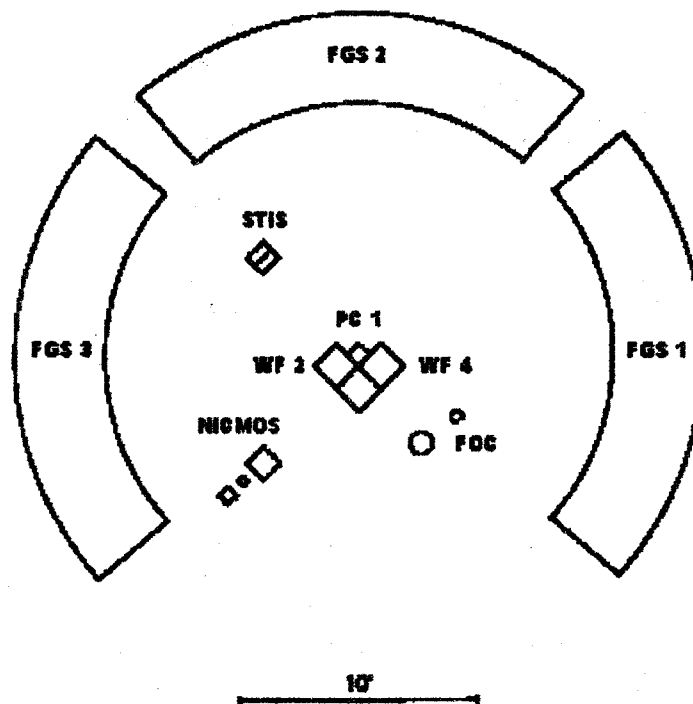


Abbildung 2: Instrumente.

3.1 Derzeit an Bord befindliche Instrumente

3.1.1 Wide Field/Planetary Camera 2

Die Originalkamera WF/PC1 wurde bei der ersten Servicemission im Dezember 1993 ausgetauscht. Der 'Wide Field' Modus dient der ersten Erkundung ausgewählter 2.7' x 2.7' Bereiche, während das Gesichtsfeld im 'Planetary Camera' Mode rund 1.2' x 1.2' beträgt. Die CCD-Detektoren werden bei einer Temperatur 177 Grad Kelvin betrieben um die Effizienz zu steigern.

3.1.2 Space Telescope Imaging Spectrograph (STIS)

Der Spektrograph nützt das vom Teleskop eingefangene Licht, um die detektierten Himmelsobjekte unter anderem auf ihre chemische Zusammensetzung, ihre Temperatur und ihre Radialgeschwindigkeit zu untersuchen. Die spektrale Empfindlichkeit des STIS reicht vom Ultraviolett (115 Nanometer) bis zum sichtbaren Licht und nahem Infrarot (1000 Nanometer).

4. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

3.1.3 Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer (NICMOS)

NICMOS erlaubt Infrarot- und spektrographische Beobachtungen von astronomischen Objekten. Die Kamera detektiert Licht mit einer Wellenlänge zwischen 0,8 und 2,5 Mikrometern und reicht somit weit über die Empfindlichkeit des menschlichen Auges. Die Detektoren müssen bei sehr kalten Temperaturen arbeiten und werden daher, wie in einer Thermoskanne, mit gefrorenem Nitrogen gekühlt.

3.1.4 Faint Object Camera (FOC)

Diese wurde von der Europäischen Raumfahrtbehörde (ESA) entwickelt.

Die FOC nützt die optischen Möglichkeiten des Teleskopes zum Studium sehr lichtschwacher Objekte bei einer möglichst hohen Auflösung voll aus. Die FOC besteht eigentlich aus zwei getrennten Kamerasystemen, welche Bildfeldgrößen von 11x11 bzw 22x22 Bogensekunden zulassen. Theoretisch ergibt sich ein Auflösungsvermögen von 0.022 Bogensekunden. Die eingesetzten Bildverstärkungstechniken können noch Objekte abbilden, die 50mal lichtschwächer sind, als jene, die Teleskope auf der Erdoberfläche wahrnehmen könnten. So soll es bei längeren Integrationszeiten (mehrere Stunden) möglich sein Objekte bis zur Größenklasse 28 zu erfassen.

3.1.5 Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement (COSTAR)

COSTAR ist kein wissenschaftliches Instrument sondern eine Korrekturoptik, die während der ersten Servicemission 1993 eingebaut wurde. Sie wurde entwickelt, um die Fehler des Hauptspiegels optisch zu korrigieren und somit die Aberrationseffekte der Faint Object Camera zu eliminieren. Um Platz für COSTAR zu schaffen, wurde das *High Speed Photometer* (HSP) aufgegeben. Alle weiteren Instrumente, die seither im HST installiert wurden, besitzen eine eigene Korrekturoptik. Sollte das FOC durch ein anderes Instrument ersetzt werden, wird COSTAR nicht mehr benötigt werden.

3.2 Vorherige Instrumente

Bei der Servicemission im Februar 1997 wurden der *Faint Object Spectrograph* (FOS) und der *Goddard High Resolution Spectrograph* (GHRS) ausgewechselt.

4 Beobachtungen

Das HST wurde mit dem Space Shuttle Discovery in eine Umlaufbahn von 600 km über der Erdoberfläche gebracht, die es in 97 Minuten mit einer Geschwindigkeit von 29000 Kilometern pro Sekunde einmal um die Erde führt. Wegen des tiefen Orbits gestaltet sich die Bahnvorhersage äußerst schwierig. Neben den gravitativen Kräften des Erdschwerefeldes ist vor allem der aufgrund der Teleskopausrichtung und der Sonnenaktivität variierende Atmosphärendruck signifikant. Ein Prädiktionsfehler der Position von rund 30 km in 2 Tagen ist deshalb keine Seltenheit.

Im Laufe eines Jahres kann das HST den gesamten Himmel beobachten. Jedoch sind Objekte, die sich in einem Winkel von weniger als 50° von der Sonne befinden, wegen der Gefahr der Beschädigung der Instrumente durch das einfallende Sonnenlicht ausgeschlossen. Aus demselben Grund kann das HST Objekte, die zu nahe an der Erde oder am Mond liegen, nicht beobachten. Eine weitere Einschränkung wird durch die

5. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

„Südatlantische Anomalie“ hervorgerufen: Über einem Gebiet im Südatlantik werden energiereiche geladene Partikel durch das Magnetfeld der Erde eingefangen. Diese Teilchen stören die elektronische Ausrüstung des HST, sodaß zuverlässige Beobachtungen in dieser Gegend unmöglich sind. Viele Beobachtungsprogramme tragen diesem Umstand Rechnung und nützen das Durchfliegen der Anomalie zur Ausrichtung des Teleskopes auf ein neues Ziel.

Das STScI plant die Beobachtungsprogramme und trifft die wissenschaftlichen Entscheidungen über die bestmögliche Anwendung des Teleskops. Wenn diese Planungen abgeschlossen sind, werden sie an das NASA Goddard Space Flight Center Space Telescope Operations Control Center (STOCC) weitergeleitet, welches das HST steuert. Das STOCC ist auch für den technischen Betrieb des HST verantwortlich, der die Kommunikation, die Übertragung der Daten zur Erde und die Neuausrichtung auf die Beobachtungsziele umfaßt. Das HST kann Objekte in der Richtung der Himmelspole über lange Zeit hinweg beobachten, alle anderen Zonen werden immer wieder durch die Erde oder den Mond verdeckt. Muß man die Beobachtung eines Objekts wegen einer Bedeckung durch die Erde unterbrechen, könnte ein anderes Objekt ausgewählt werden. Meist ist es jedoch effizienter, die Pause für die Durchführung von Wartungsarbeiten zu verwenden.

Das HST ist mit sechs Kreiselstabilisatoren ausgestattet, von denen nur vier für die Lagesteuerung benötigt werden. Diese können den Satelliten in etwa einer Stunde vollständig um die eigene Achse drehen, doch normalerweise werden die Beobachtungen so geplant, daß die Zeiten für Neuausrichtungen so kurz wie möglich gehalten werden. Vom Beginn einer Schwenkbewegung an dauert es bis zu 75 Minuten, bis die FGS die Leitsterne finden. Sobald die Sterne erfaßt sind, zeigt der Hauptspiegel auf das gewünschte Objekt und die astronomische Beobachtung kann beginnen.

Während das HST beobachtet, sendet es seine Informationen über die Verbindungssatelliten der TDRS-Kette (ein erdumspannendes Netz von Kommunikations-Satelliten) nach White Sands, New Mexico, dem Kommunikationszentrum der NASA. Von dort gehen die Daten an das STOCC und an das STScI. Wenn keine Verbindung möglich ist, speichert das Teleskop die Daten auf zwei Bandspeicher an Bord. Sobald die Verbindung wieder hergestellt ist, werden die gespeicherten Daten zur Erde übertragen.

Die Astronomen, die Beobachtungen mit dem HST durchführen lassen, sind nur sehr selten im STScI anwesend. Normalerweise werden die Daten vom STScI gesammelt und den Astronomen über Internet oder auf Magnetband übermittelt.

5 Missionen

5.1 Sonnensystem

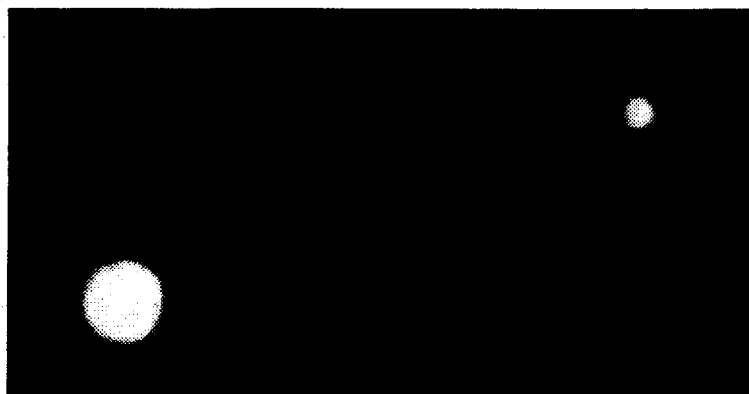


Abbildung 3: Pluto und Charon.

6. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

Das gesamte Sonnensystem wird vom HST beobachtet. So sendete es erstmals eine Aufnahme, die den Planeten Pluto und seinen Mond Charon eindeutig voneinander trennt und gleichzeitig Planetenscheiben erkennen lässt (Abbildung 3).

Pluto und Charon befinden sich in einer Distanz von nur rund 20000km. Die Aufnahme erfolgte im Februar 1995 als sich Pluto der Erde auf 4.4 Milliarden km genähert hatte.

Weiters besitzt das HST die Fähigkeit, Bilder im ultravioletten Licht von Saturns Polarlichtern (Abbildung 4) aufzunehmen. Dies ist für erdgebundene Instrumente nicht möglich, da der größte Teil der ultravioletten Strahlung die Erdatmosphäre nicht passieren kann.

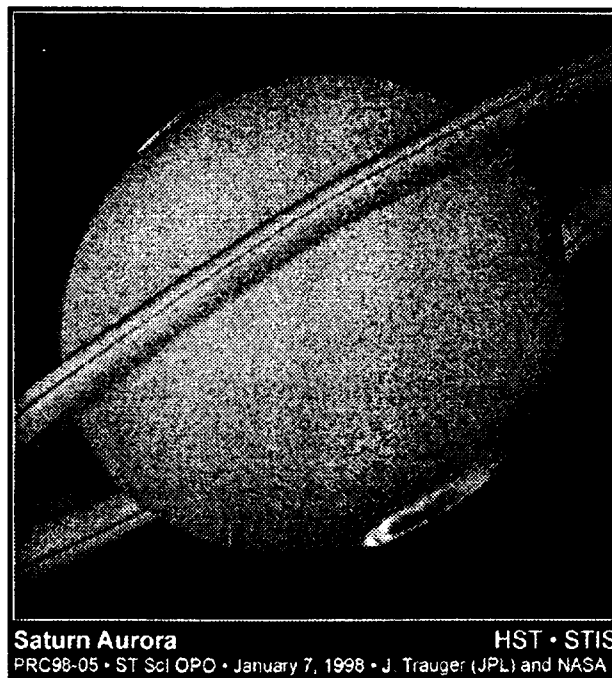


Abbildung 4: Saturns Polarlichter.

Das HST war in der Lage die Atmosphäre des Saturnmondes Titan zu durchdringen. So konnte seine Oberfläche zum erstenmal im infraroten Bereich des Spektrums fotografiert werden. Das Ergebnis ist jedenfalls gut genug, um Details bis zu einer Größe von 570 km zu erkennen (Abbildung 5). Der helle Fleck auf dem rechten Bild oben besitzt ungefähr dieselben Ausmaße wie Australien und könnte ein Ozean oder Kontinent sein.

Aus den HST-Bildern wurden wichtige Daten gewonnen, die bei der Planung der Cassini-Sonde von Nutzen waren. Diese Raumsonde wird Anfang des nächsten Jahrhunderts die Landeeinheit „Huygens“ auf der Oberfläche Titans absetzen.

7.Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

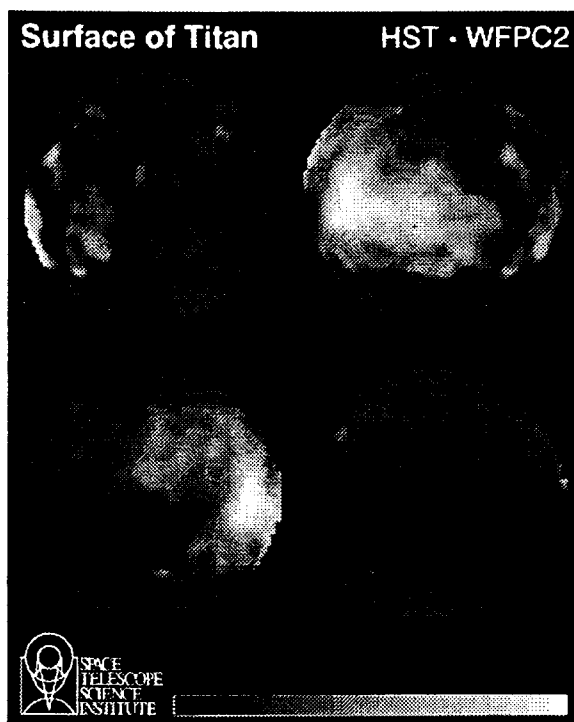


Abbildung 5: Titan.

Der Komet P/Shoemaker-Levy 9 wurde durch die ungeheuren Anziehungskräfte des Planeten Jupiter angezogen und die gewaltigen Gezeitenkräfte waren die Ursache dafür, daß der Komet in einzelne Stücke zerrissen wurde. Die 21 Bruchstücke (mit einer Größe von bis zu mehreren Kilometern Durchmesser) traten am 18. Juli 1994 in die Jupiteratmosphäre ein und begannen zu verglühen. Unglücklicherweise befand sich die Absturzstelle in einer Region Jupiters, die außerhalb des Blickwinkels der Erde lag. Man mußte vier Minuten warten, bis Jupiter durch seine Rotation die Einschlaggebiete für das HST freigab (Abbildung 6).



Abbildung 6: Einschlag des Kometen P/Shoemaker-Levy 9 auf Jupiter.

8. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

Im Laufe der fünf Tage, in denen die Bruchstücke niedergingen, wurde der Planet der gewaltigen Energie von 100 Millionen Megatonnen TNT ausgesetzt (dies entspricht mehr als dem Zehntausendfachen an Sprengkraft aller Atomwaffen der Erde, die während des 'Kalten Krieges' einsatzbereit waren). Schon Wochen vor dem Einschlag wurde das Ereignis medial 'aufbereitet'. Zu diesem Zeitpunkt war sich die Fachwelt noch völlig im unklaren, ob Shoemaker-Levy überhaupt Spuren auf Jupiter hinterlassen würde. Die letztendlich sichtbare Einschlagkette übertraf die kühnsten Erwartungen. Somit beschäftigten sich astronomische Kongresse noch 2 Jahre später mit den Ereignissen des Juli 1994 und nicht zuletzt konnten sich die Entdecker (das Ehepaar Shoemaker und David Levy) hoher Popularität und einiger Ehrungen erfreuen. Umso tragischer erscheint in diesem Licht, daß Eugene Shoemaker erst kürzlich bei einem Autounfall ums Leben kam.

Die vier größten Monde des Jupiter, die **Galilei'schen Monde**, sind schon mit einem kleinen Teleskop von der Erde aus beobachtbar. Das HST hat bei Europa, dem kleinsten der vier Monde, eine dünne Atmosphäre aus Sauerstoff gefunden. Bei Ganymed, dem größten Mond in unserem Sonnensystem, war das HST im Stande, Ozon auf der Oberfläche nachzuweisen.

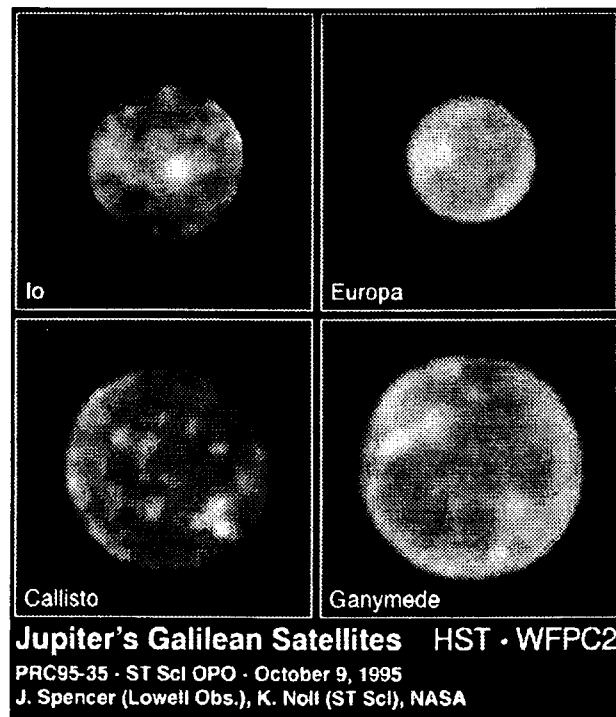


Abbildung 7: Die vier Galileischen Monde.

5.2 Sterngeburtstätten

Eine der sicher spektakulärsten Hubble-Aufnahmen betrifft den Adler-Nebel (M16). Die mit der WF/PC2 Kamera aufgenommenen Bilder (Abbildung 8) zeigen hochaufragende Säulen molekularen Wasserstoffs der mit kleinsten Kohlenstoffpartikeln durchmischt ist. Das Licht der jungen Sterne bricht die Wasserstoffmoleküle auf und heizt das Gas in der Wolke auf. An den Spitzen der Säulen verbleiben sogenannte EGGs (Evaporating Gaseous Globules; Gasblasen von ca. Sonnensystemdurchmesser), welche allgemein als typische Sterngeburtstätten angesehen werden. Sie sind deutlich dichter als das umgebende Gas

9. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

und können somit nicht durch den Sonnenwind der umgebenden massereichen Sterne 'verblasen' werden. Auch auf diesem Gebiet konnte Hubble mit 'epochalen' Aufnahmen den Astronomen zu neuen Erkenntnissen verhelfen und das gewonnene Beobachtungsmaterial dient heute der Verifikation neu entwickelter Sternentstehungstheorien.

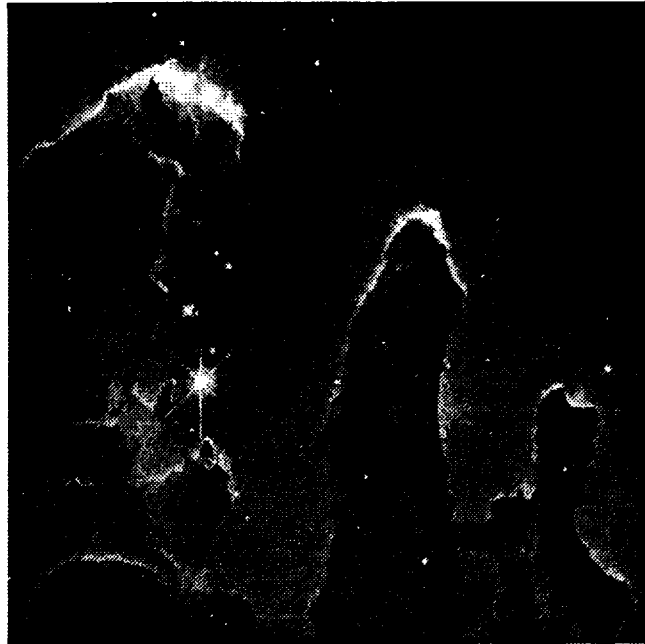


Abbildung 8: Adlembel.

5.3 Hubble Deep Field Survey

Mit 'deep' bezeichnen Astronomen Objekte, die weit entfernt im Raum stehen und deswegen nur sehr lichtschwach erscheinen. Der Begriff 'deep sky' oder wie hier 'deep field' zum Beispiel bezeichnet Beobachtungen an lichtschwachen Galaxien und ähnlichen Objekten.

Diese Aufnahme (Abbildung 9) wurde hergestellt, um Galaxien in einer größeren Entfernung zu studieren, als es jemals zuvor möglich war. Die einzelnen Bilder wurden über einen Zeitraum von 150 Umläufen des HST um die Erde gesammelt. Dabei zeigte das Teleskop in Richtung auf den nördlichen galaktischen Pol. Diese Himmelsgegend wurde ausgewählt, da sie senkrecht aus der galaktischen Ebene hinausführt und deshalb die Gas- und Staubmengen, die Licht absorbieren, so gering wie möglich sind. Jede der 342 Aufnahmen dauerte 15 bis 40 Minuten und wurde in vier Wellenlängen von Infrarot bis Blau ausgeführt. Mit diesen vier Farbausätzen ist es nun möglich, weitreichende Aussagen über die Natur der Galaxien im Bild zu treffen. Die extrem lange Belichtungszeit erlaubte den Nachweis von Objekten, die sicher noch nie zuvor gesehen wurden und damit zugleich einen Blick auf das frühe Universum selbst.

Der Ausschnitt, den Abbildung 8 wiedergibt, ist äußerst klein: nur ein Dreißigstel des Monddurchmessers. Man nimmt an, daß das 'deep field' dennoch einen repräsentativen Anblick des Universums, wie es sich in allen Richtungen bietet, darstellt. Es konnten mindestens 1500 Galaxien aller Typen identifiziert werden. Die Auswertung dauert noch immer an und es dürften sich noch viele neue Erkenntnisse daraus ergeben.

10.Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

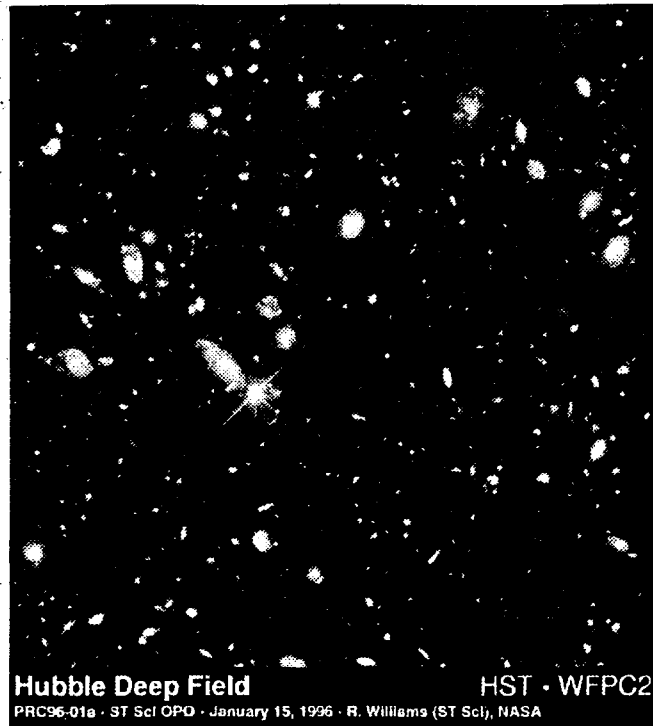


Abbildung 9: Hubble Deep Field.

5.4 Neueste Erkenntnisse

Das HST hat Astronomen einen ersten direkten Blick auf einen möglichen Planeten außerhalb unseres Sonnensystems gegeben. Die Entdeckung wurde kürzlich von der Extrasolar Research Corporation in Pasadena, USA, veröffentlicht. Die von NICMOS im nahen Infrarot gemachte Aufnahme (Abbildung 10) zeigt einen neuentstandenen Stern (Bildmitte) und ein schwaches ihn begleitendes Objekt (unten links), welches der erste extrasolare Planet sein könnte, der direkt abgeleuchtet worden ist.

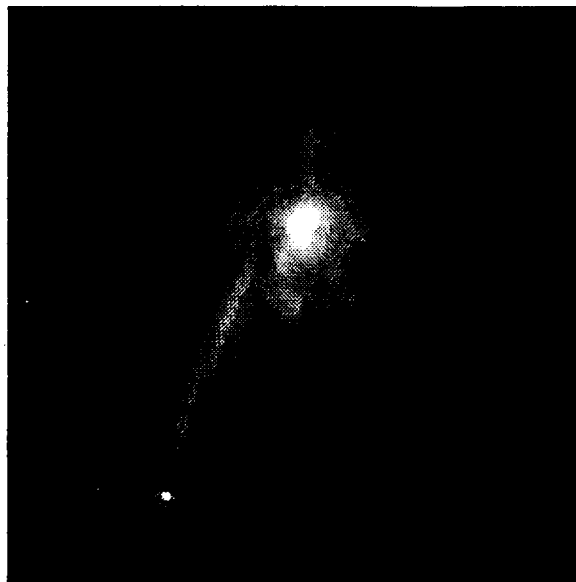


Abbildung 10: Möglicher Planet um einen anderen Stern.

11. Fortsetzung Referat: Das Hubble Space Telescope

Die hellen Objekte sind binäre Protosterne im einem Sternentstehungsgebiet im Sternbild Stier, das 450 Lichtjahre von der Erde entfernt ist. Durch den Staub, der die Protosterne umgibt, sind diese im optischen Wellenlängenbereich nicht sichtbar. Theoretische Untersuchungen zeigen, daß der Lichtpunkt unten links zu schwach ist, um ein ordentlicher Stern zu sein. Statt dessen wird angenommen, daß dies ein junger Protoplanet mit einer vielfachen Masse von Jupiter ist. Durch die gravitative Kontraktion und den Entstehungsprozess sind junge Planeten sehr heiß und dadurch im Infrarot beobachtbar. Das Alter dieses Objekts wird auf 10 Millionen Jahre geschätzt. Die Existenz eines terrestrischen Planeten wie der Erde ist jedoch damit noch nicht gegeben.

Weitere Beobachtungen werden zeigen, ob dieses Objekt wirklich ein junger Gasplanet ist oder nicht vielleicht doch ein brauner Zwerg - ein kleiner Stern, in dem keine nukleare Reaktion stattfinden konnte.

6 Ausblick ins 21. Jahrhundert

Bei den geplanten zwei Servicemissionen in den Jahren 1999 und 2002 wird die Technik des Satelliten auf den neuesten Stand gebracht; der Satellit altert somit nur äußerlich.

Für das Jahr 2005 (dem vorläufigen Ende der Mission) gibt es drei Optionen: man könnte das HST mit einem weiteren Shuttle-Flug einsammeln und ins Museum stellen, man könnte den Satelliten gezielt zum Absturz bringen und verglühen lassen – oder man läßt das HST solange im Orbit, wie es sich noch lohnt. Durch den Wegfall der Entwicklung neuer Instrumente und der Vorbereitung neuer 'Servicing Missions' würden die jährlichen Kosten um 70% sinken.

Die Entscheidung wird auch davon abhängen, wie weit bereits die Entwicklung des *Next Generation Space Telescope* (NGST) gekommen ist, dessen Start um 2007 geplant ist. Die Kosten sollen mit maximal 500 Mio \$ um einen Faktor 4 unter den reinen Baukosten des HST bleiben. Es unterscheidet sich vom HST in wesentlichen Punkten: Statt auf den Wellenlängenbereich vom UV bis zum nahen IR konzentriert man sich auf den IR-Bereich von 1-5 Mikrometer Wellenlänge. Der Teleskopspiegel soll einen zwei- bis dreimal größeren Durchmesser als der des HST haben, um trotz der größeren Wellenlänge dessen famose Winkelauflösung zu erreichen. Vor allem aber soll das gesamte Instrument, höchstens 2,7 Tonnen schwer, kompakt gebaut und teilweise zusammengeklappt, mit einer kleinen Rakete wie der Atlas (statt auf einem Space Shuttle) starten und fern von der Erde stationiert werden, um deren IR-Strahlung weitgehend zu meiden.

Ausstellung

Zu diesem Referat kann die Ausstellung „Sternwarte im All - Hubble Space Telescope“ im Oswald Thomas Saal des Planetariums zu Führungszeiten unentgeltlich besucht werden:

- * Startkomplex mit Space Shuttle, Modell 1:72, mit HST im gleichen Maßstab.
- * Hubble Space Telescope, Modell 1:10.
- * Experiment zur Wirkung der Erdatmosphäre (Extinktion und Seeing), interaktiv.
- * Diaschau, selbsterklärend, sowie Videoschau.
- * Poster-Galerie: Mit HST beobachtete Objekte sowie Ablauf der 1. Service-Mission.

Die außerordentlich naturtreuen Modelle hat Josef Fahrleitner, Graz, gebaut.

Näheres siehe URL: <http://www.stsci.edu/>

Dipl.Ing.Gudrun Weinwurm
Seitenberggasse 69/12
A-1160 Wien

Dipl.Ing.Dr.Robert Weber
Höchstmannweg 22
A-1220 Wien

Referat: Sonnenforschung mit SOHO

Dieses Referat behandelt die Mission, die Instrumente und die bisherigen Ergebnisse der Raumsonde SOHO.

1. Einleitung

SOHO steht für SOLar and Heliospheric Observatory und wurde für folgende Aufgabenstellungen entwickelt:

- Untersuchung der internen Struktur der Sonne (mit Hilfe der Helioseismologie)
- Untersuchung der äußeren Atmosphärenschichten, insbesondere der Korona und deren Aufheizmechanismus
- Erforschung von Struktur und Beschleunigung des Sonnenwindes (hoch ionisiertes Gas, welches kontinuierlich von der Sonne weg durch den Raum strömt)
- Verständnis der Wechselspiele zwischen Sonne und Erde

Die Mission ist ein Gemeinschaftsprojekt von ESA beziehungsweise NASA und eines der ehrgeizigsten Weltraumvorhaben unseres Jahrzehnts.

Die Raumsonde wurde in Europa, von einem Industriekonsortium angeführt, von Matra gebaut. Die 12 eingesetzten Instrumente stammen von europäischen und amerikanischen Wissenschaftlergruppen. Dabei stehen 9 unter europäischer und 3 unter amerikanischer Leitung ("Principal Investigators"). Weiters arbeiten über 200 "Co-Investigators" diverser Institutionen am Projekt mit.

Darüber hinaus besteht auch eine enge Zusammenarbeit mit erdgebundenen Beobachtungsprogrammen, weil auch derartige Satellitenmissionen verschiedene Informationen benötigen. Eines dieser Programme ist z.B. GONG (Global Oscillation Network), welches Sonnenschwingungen beobachtet. Auch das astronomische Institut der Grazer Universität mit der Außenstelle Kanzelhöhe nimmt unter der Leitung von Prof. Hanslmeier an diesen Projekten teil.

Das Forschungsprojekt SOHO war anfänglich für zumindest 2 Jahre Laufzeit ausgelegt. Vor kurzem wurde nun von NASA beziehungsweise ESA beschlossen, die Mission bis zum Jahr 2003 zu verlängern. Dies ist ganz besonders wichtig, weil um das Jahr 2000 das nächste Sonnenmaximum eintritt.

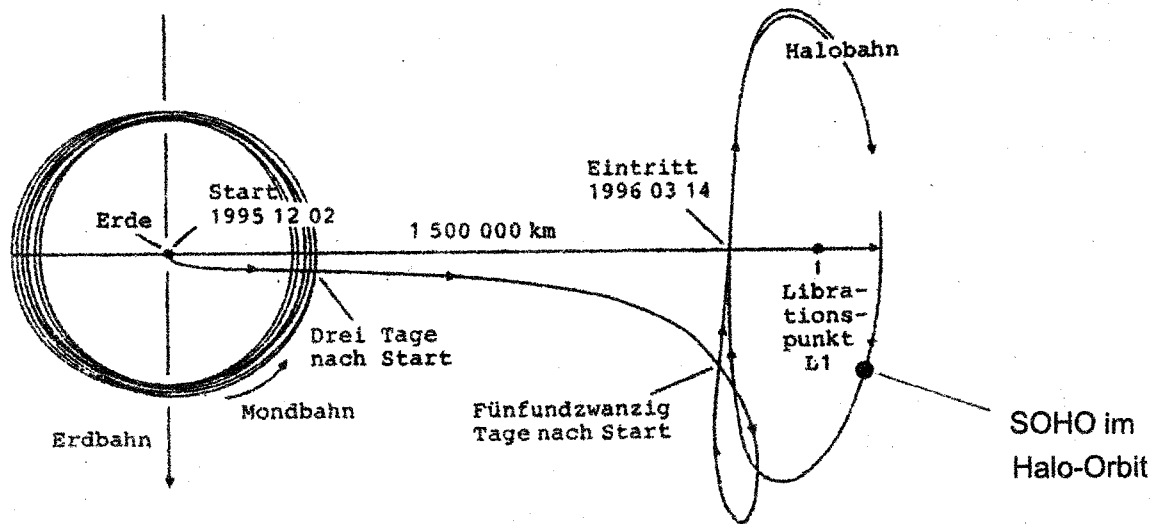
2. Konzept von SOHO

SOHO wurde am Samstag, den 2. Dez. 1995, mit einer ATLAS/IIAS Rakete erfolgreich in den Raum gestartet.

Die Position der Raumsonde befindet sich in 1,5 Mio.km Entfernung von der Erde zur Sonne beim sogenannten Lagrange'schen Librationspunkt L1, wobei SOHO in einem Halo-Orbit um ebendiesen kreist. Im Unterschied zu allen bisherigen Solarobservatorien (sie waren alle im

1. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

Erdorbit), ist es nun möglich, die Sonne kontinuierlich zu beobachten, weil keine periodischen Unterbrechungen mehr stattfinden, wenn die Erde die Sonne verdeckt.



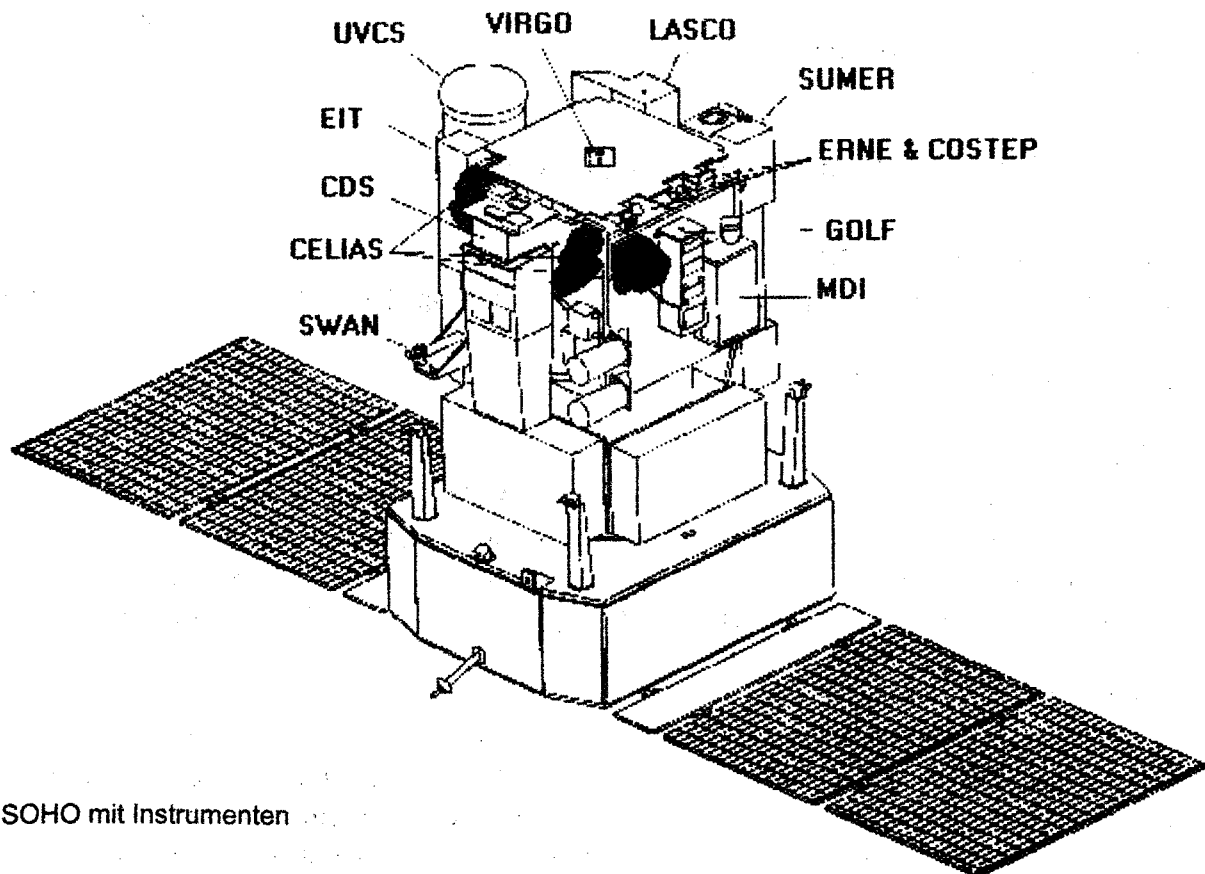
Die Sonde ist aus zwei Modulen aufgebaut. Das Service-Modul bildet den unteren Teil des Raumfahrzeugs. Es stellt Energie, thermische Kontrolle und Telekommunikation für das ganze Raumfahrzeug zur Verfügung und steuert auch die Solarsegel. Das Nutzlast-Modul sitzt darüber und enthält alle Meßinstrumente.

DIMENSIONEN	
Größe	3.65 x 3.65 m
Solarsegel entfaltet	9.5 m
Gewicht	1850 kg
Nutzlast	610 kg
Datenübertragung	200Kbits/s

Hier eine Zusammenstellung der Instrumente:

INSTRUMENT	BEZEICHNUNG	FORSCHUNG
CDS	Coronal Diagnostics Spectrometer	Korona
CELIAS	Charge, Element, and Isotope Analysis System	Sonnenwind
COSTEP	Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle Analyzer	Sonnenwind
EIT	Extreme ultraviolet Imaging Telescope	Korona
ERNE	Energetic and Relativistic Nuclei and Electron experiment	Sonnenwind
GOLF	Global Oscillations at Low Frequencies	Helioseismik
LASCO	Large Angle and Spectrometric Coronagraph	Korona
MDI	Michelson Doppler Imager	Helioseismik
SUMER	Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation	Korona
SWAN	Solar Wind Anisotropies	Sonnenwind
UVCS	Ultraviolet Coronagraph Spectrometer	Korona
VIRGO	Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations	Helioseismik

2. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO



SOHO mit Instrumenten

2.1. Instrumente für das Sonneninnere

GOLF und VIRGO ermöglichen lange, kontinuierliche Serien von Schwingungsmessungen der kompletten Sonnenscheibe. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf den internen Aufbau des Sonnenkerns. MDI mißt Schwingungen auf der Sonnenoberfläche mit hoher Bogenauflösung. Dabei können wertvolle Erkenntnisse über die Konvektionszone, der Schicht knapp unter der Oberfläche, gewonnen werden.

2.2. Instrumente für die Korona

SUMER, CDS, EIT, UVCS, und LASCO bilden eine Kombination von Teleskopen, Spektrometern und Koronographen, welche die heiße Atmosphäre der Sonne, die weit in den Raum reichende Korona, beobachten.

Während SUMER, CDS und EIT nur für die innere Korona zuständig sind, vermessen UVCS und LASCO sowohl die inneren als auch die äußeren Koronaschichten. Sie ermöglichen Messungen von Temperatur, Dichte, Zusammensetzung und Beschleunigungsvorgänge mit hoher Auflösung.

2.3. Instrumente für den Sonnenwind

CELIAS, COSTEP und ERNE analysieren Ladungsstatus und isotopische Zusammensetzung der Ionen im Sonnenwind. Auch werden andere von der Sonne erzeugte energetische Partikel in diesen Kenngrößen untersucht. SWAN erzeugt Karten der

3. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

Wasserstoffdichte in der Heliosphäre, welche die großflächige Erforschung des Solarwindstromes erlauben.

Betrachten wir die einzelnen Geräte nun genauer.

3. CDS (Coronal Diagnostics Spectrometer)

3.1. Leitung / Herstellung

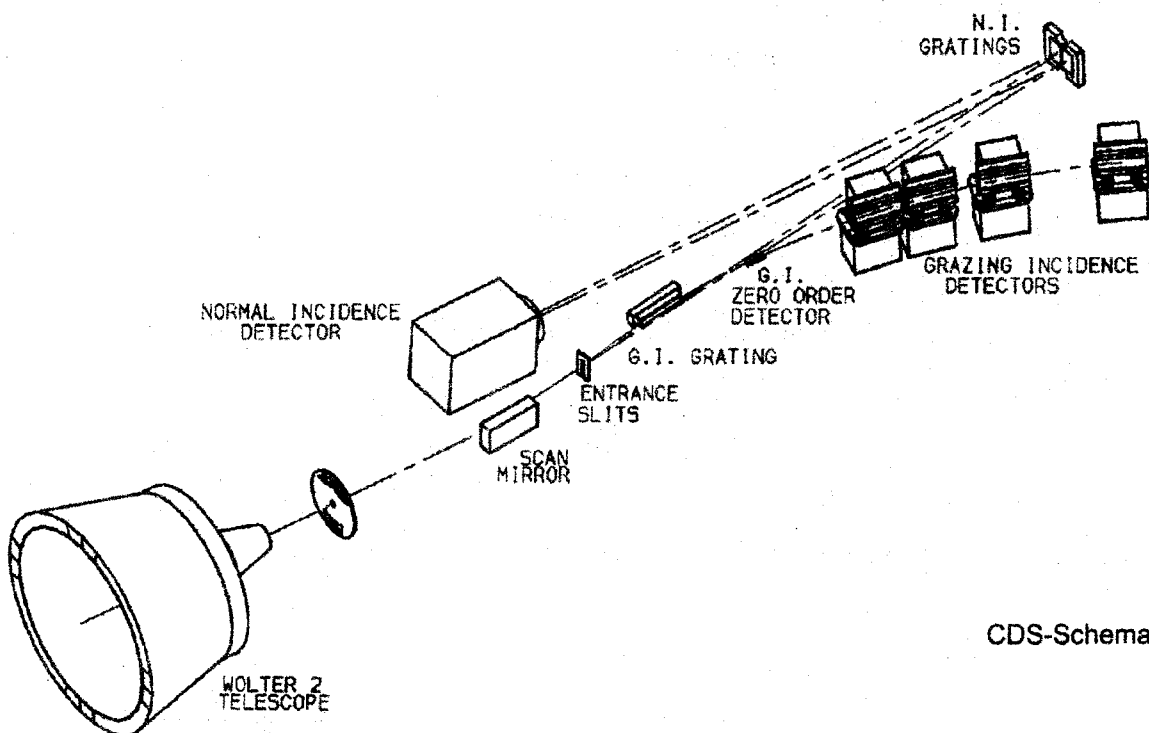
Das Instrument wird von einem Konsortium geführt, dem Rutherford Appleton Laboratory (GB) sowie dem Max Planck-Institut (GER), der Osloer Universität (NOR) und dem Goodard Space Flight Center (USA).

3.2. Aufgabe

Das CDS wurde gebaut, um die Emissionslinien im EUV (Extreme Ultraviolet), besonders die des heißen Plasmas in der Atmosphäre, zu beobachten. Das EUV ist wichtig, weil hier die Strahlung der bewegten Gase in der Sonnenatmosphäre analysiert werden kann (Dichte, Temperatur, und Flußgeschwindigkeit). CDS ergänzt die anderen Koronainstrumente.

3.3. Aufbau:

Das Instrument besteht aus einem WOLTER 2 Teleskop hinter dem das Licht durch diverse Apparaturen geführt, in 2 Teile gespalten und schließlich bei 2 verschiedenen Spektrometern anlangt. Eines davon heißt GIS (Grazing Incidence Specrometer), bei welchem das erhaltene Spektrum auf vier 1-D Detektoren verteilt wird. Der andere wird NIS (Normal Incidence Spectrometer) genannt und das Spektrum wird auf einen 2-D Detektor abgebildet. Die Wellenlänge des beobachtbaren Spektrum liegt zwischen 150 und 800Å.



CDS-Schema

4. CELIAS (Charge, Element, and Isotope Analysis System)

4.1. Leitung / Herstellung

Das CELIAS Experiment wird von folgenden Organisationen unterstützt: Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (GER), Physikalisches Institut der Universität Bern (SUI), Max-Planck-Institut für Aeronomie (GER), University of Maryland (USA).

4.2. Aufgabe

Das CELIAS Instrument wurde gebaut, um die Zusammensetzung des Sonnenwindes, sowie der anderen solaren und interplanetaren Partikeln zu messen. Es werden die Masse, die Ionenladung und die Energie der langsamen und superschnellen Sonnenwindpartikel, der suprathemalen Ionen und der niederenergetischen Flare-Teilchen gemessen. Weiters mißt ein spezielles Gerät (SEM) ununterbrochen den gesamten Strahlungsfluß der Sonnenscheibe zwischen 17 bis 70nm und bei He II (30,4nm). Auch ein Protonenmonitor steht zur Verfügung. Die energetischen Meßbereiche der SOHO Partikelinstrumente (CELIAS/COSTEP/ERNE) decken einen sehr weiten Bereich ab.

Beobachtungen von Partikelhäufigkeiten des Solarwindes und der "solar energetic particles" (SEP) stehen in einer engen Wechselbeziehung mit optisch sichtbaren Phänomenen auf der Sonne und erlauben das Studium der grundlegenden solarphysikalischen Fragen wie:

- Koronaaufheizung
- Sonnenwindbeschleunigung
- Dynamische Aufheizphänomene die durch Magnetfelder gesteuert sind
- SEP Beschleunigungsprozesse
- Prozesse, die zu unterschiedlichen elementaren, Ionenladungs - und isotopischen Häufigkeiten führen
- Beziehungen zwischen Zusammensetzung und Ereignissen in der Sonnenatmosphäre

Um all diese Phänomene zu verstehen, braucht es auch eine enge Zusammenarbeit mit vielen anderen astrophysikalischen Disziplinen (auch erdgebundene radioastronomische Daten).

4.3. Aufbau

Das CELIAS Instrument besteht aus drei unterschiedlichen Sensoreinheiten (CTOF, MTOF und STOF), die Masse beziehungsweise Ladung messen können und mit einer auf Ionenzusammensetzung optimierten Digital Processing Unit (DPU) gekoppelt sind. Zusätzlich wurde der Solar EUV Monitor (SEM) eingebaut, um den absoluten EUV Fluß der Sonne zu messen.

- CTOF(Charge Time Of Flight) widmet sich dem Solarwind und den energiearmen suprathemalen Ionen
- STOF(Suprathermal Time Of Flight) ist für die energiereicheren Suprathemalen und energiearmen "solar energetic particles" (SEP) vorgesehen
- MTOF(Mass Time Of Flight) ist ein hochauflösender Potential/Massen "Analyzer", welcher nicht nur die Zusammensetzung von den weniger häufigen Elementen im Solarwind,

5. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

sondern auch die isotopische Zusammensetzung der weit häufigeren schweren Ionen messen kann

- Der Solar EUV Monitor ist mit STOF gekoppelt. SEM besteht hauptsächlich aus einem Dispersionsgitter und 3 absolut kalibrierten Leuchtdioden (Photodiodenspektrometer)
- Der Protonenmonitor (PM) hat eine dreifache Aufgabe:
 - 1) Die Messung der unmittelbaren Sonnenwind-Protonen-Geschwindigkeit und die Zurverfügungstellung dieser Information an den Massenanalyser von MTOF
 - 2) Die Verwendung als redundanter Sonnenwind-Protonen und Alpha-Partikel Sensor auf SOHO
 - 3) Bildet einen Kalibrierungsstand für die absoluten Dichtemessungen der Sonnenwindionen mit MTOF und CTOF

5. COSTEP (Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle Analyzer)

5.1. Leitung / Herstellung

Das Projekt COSTEP stammt von der Universität Kiel (GER).

5.2. Aufgabe

Das Electron Proton Helium Instrument (EPHIN) an Bord der ESA/NASA Raumsonde SOHO, ist Teil des COSTEP-Experimentes, einer internationalen Zusammenarbeit zur Untersuchung energiereicher geladener Teilchen von solaren, planetaren, interplanetaren oder galaktischen Ursprungs im inneren Sonnensystem. Um den Energieausstoß und die Teilchen-Beschleunigungsprozesse in der Sonnenatmosphäre und im interplanetaren Medium zu studieren, wird die Energieverteilung der Elektronen, sowie die der Protonen (H-Kerne) und der Heliumkerne gemessen.

Forschungsgegenstände des EPHIN-Experiments sind:

- Stationäre Vorgänge in der Sonnenatmosphäre
- Energiefreisetzung und Teilchenbeschleunigung in der Sonnenatmosphäre
- Zusammensetzung der Sonnenatmosphäre
- Vorgänge im interplanetaren Medium

Das COSTEP und ERNE-Experiment arbeiten zusammen und ergeben das CEPAC-Experiment (COSTEP-ERNE Particle Analyzer Collaboration) an Bord von SOHO.

Das EPHIN-Instrument bildet außerdem die Grundlage für ein Echtzeitdosimeter, das auf bemannten Raumflügen eingesetzt wird.

5.3. Aufbau

EPHIN ist ein neu entwickeltes Gerät zur Messung von Energiespektren für Elektronen im Energiebereich 250 keV bis > 8.7 MeV und von Wasserstoff- und Helium-Isotopen im Bereich 4 MeV/Nukleon bis > 53 MeV/Nukleon. Der Nachweis geladener Teilchen im Sensor basiert auf ihrer ionisierenden Wirkung. Der Sensor besteht aus einer Anordnung von

6. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

Halbleiter-Detektoren (A bis E) in 5 Lagen, die von einem sechsten Halbleiterdetektor (F)-und einem Szintillationsdetektor (G) abgeschlossen sind. Ein gleiches Instrument ist außerdem für den Einsatz in der AXAF-Mission (Advanced Astrophysical Facility - Imaging; voraussichtlicher Start: September 1998), vorgesehen.

6. EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope)

6.1. Leitung / Herstellung

Institut d'Astrophysique Spatiale (FRA), Institut d'Optique Théorique et Appliquée (FRA), Naval Research Laboratory (USA), Observatoire Royale de Belgique (BEL), Laboratoire d'Astronomie Spatiale (BEL) und Andere.

6.2. Aufgabe

EIT arbeitet ähnlich wie ein Wettersatellit auf der Erde. Das primäre wissenschaftliche Ziel ist das Studium der Dynamik und der Entwicklung von Koronastrukturen über ein langes zeitliches und räumliches Ausmaß, um der koronalen Aufheizung und der Beschleunigung des Sonnenwindes auf die Spur zu kommen. EIT kann den Übergang zur Korona, sowie die inneren Koronaschichten in 4 ausgewählten Wellenlängen des EUV-Bereiches abbilden. Das Instrument zeigt aktive Regionen, Filamente, Protuberanzen, koronale Löcher, koronale "bright points", "polar plumes", und eine Vielzahl anderer solarer Strukturen.

Die 4 Wellenlängen sind:

Wellenlänge	Ion	Temp.	Forschungsziel
30,4nm	He II	80000°	chromosphärisches Netzwerk, koronale Löcher
17,1nm	Fe IX-X	1,3 Mio°	Koronagrenzen, Strukturen in den koronalen Löchern
19,5nm	Fe XII	1,6 Mio°	ruhige Koronagebiete außerhalb der koronalen Löcher
28,4nm	Fe XV	2 Mio°	aktive Regionen

6.3. Aufbau:

Das EIT Instrument ist ein Richey-Chréien Teleskop, das hochauflösende Bilder der ganzen Sonne in 4 bestimmten Wellenbereichen macht. Die Auflösung der 1024x1024 Pixel CCD-Kamera beträgt 2,6". Die Trennung der vier Spektralbereiche wird durch vier Seinfeldquadranten, die durch eine rotierende Blende nacheinander freigegeben werden und in denen sich verschiedenschichtige Filter befinden, erreicht. Die CCD ist auf -80° gekühlt. Weiters wurde EIT auch so konstruiert, daß es mit LASCO, SUMER, CDS und auch erdgebundenen Instrumenten zusammenarbeiten kann.

7. ERNE (Energetic and Relativistic Nuclei and Electron experiment)

7.1. Leitung / Herstellung

Das ERNE Instrument stammt von der Universität Turku (FIN).

7. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

7.2. Aufgabe

ERNE hat prinzipiell die gleichen Ziele wie COSTEP, mißt aber bis 500 MeV/nuc, die Häufigkeitsverteilung der Isotope und die Ungleichförmigkeit des Teilchenflusses.

Die eigentlichen Forschungsziele sind:

- Energie-Spektren von Ionen und Elektronen über 1 MeV/nucl
- Elementare und isotopische Häufigkeiten von H bis Fe
- Partikelbeschleunigung in der solaren Atmosphäre und interplanetare Schockwellen
- Partikelfortpflanzung in der Korona und im interplanetaren Raum
- Kurzperiodische, zeitliche Veränderungen im Partikelfluß
- Fluß-Ungleichheiten
- Fluß von Protonen, die das Instrument durchdringen

Energetische Ausbrüche in der solaren Atmosphäre können dazu führen, daß lokale Gaspartikel auf hohe Energieniveaus beschleunigt und in den Raum geschleudert werden. Diese schnellen Partikelströmungen werden von ERNE aufgezeichnet. In Zeiten keiner oder schwacher energetischer Partikelproduktion der Sonne, beobachtet ERNE den energetischen Partikelfluß der Milchstraße (galaktische kosmische Strahlung) und auch ebendiese Partikel, wenn sie von der Grenze der Heliosphäre durch den Aufprallschock beschleunigt werden (anomale kosmische Strahlung).

ERNE gibt einen systematischen Überblick über SEP (isotopische Häufigkeiten) mit hoher Sensitivität und hoch auflösenden Sensoren, die ein breites Energiespektrum abdecken. Weiters werden nicht nur die Isotopenhäufigkeiten stark verteilter Elemente wie Kohlenstoff und Sauerstoff, sondern auch jene vieler anderer gemessen.

Die Instrumente ERNE und COSTEP arbeiteten auch im Project CEPAC (COSTEP-ERNE Particle Analyzer Collaboration) zusammen.

7.3. Aufbau

ERNE spürt geladene Partikel auf, die von diversen solaren Energieprozessen produziert werden. Dazu besteht das Instrument aus 2 Detektoren, "Low Energy Detector" (LED) und "High Energy Detector" (HED). Beiden messen energetische Partikel der Ordnungszahlen 1-30. Zusammen decken sie einen Energiebereich von ~ 1.5 - 500 MeV/n. ab.

8. GOLF (Global Oscillations at Low Frequencies)

8.1. Leitung / Herstellung

Das GOLF Projekt stammt vom Institut d'Astrophysique Spatiale (FRA), Service d'Astrophysique (FRA), Instituto de Astrofísica de Canarias (SPA) und Andere.

8.2. Aufgabe

Das GOLF Experiment auf SOHO hat zum Ziel, die internen Strukturen der Sonne durch Messung der globalen Schwingungen im Frequenzbereich von 0,1 μ Hz bis 6 MHz zu erkunden. Hier gibt es Perioden von 3min bis zu 100 Tagen. Beide, g (Schwerewellen) und p

8. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

(akustische Wellen) werden erforscht, wobei das Hauptgewicht auf den langperiodischen Wellen der unteren Ordnung liegt.

Mit einem Natrium-Resonanz-Spektrometer kann man p und g-Moden sehr geringer Frequenz messen und damit das Sonneninnere erkunden. Man mißt dabei die Dopplerwellenverschiebung der solaren Fraunhoferlinien D (Natrium) durch Vergleich mit einem absoluten Standard. Dieser ist durch eine Zelle mit Natriumdampf gegeben und die Linie wird in der Zelle durch ein longitudinales Magnetfeld symmetrisch in zwei Zeemannkomponenten aufgespalten. Nun werden zwei Punkte an den beiden Flügeln der solaren Absorptionslinie gemessen; das Verhältnis der beiden Flügelintensitäten ist sehr empfindlich auf kleinste Dopplerverschiebungen.

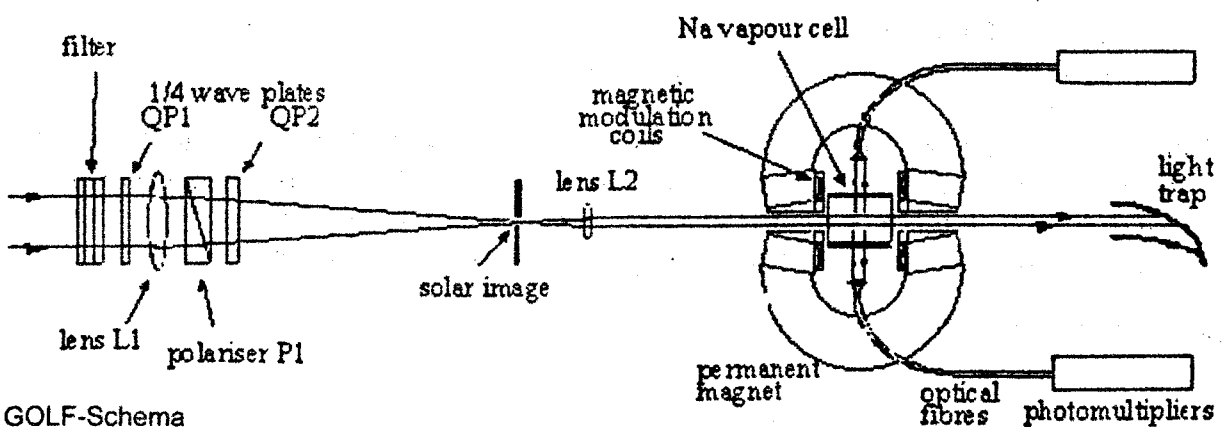
Weiters können auch langfristige Veränderungen des durchschnittlichen globalen Magnetfeldes in der Sehlinie mit einer Genauigkeit von 1mG gemessen werden.

8.3. Aufbau

Licht von der Sonne dringt durch einen Filter, welcher ein Band von 17Å rund um die Natrium-D-Linie isoliert. Das Licht wird durch Linse L1 gebündelt und Linse L2 produziert dann einen Parallelstrahl, der durch die Natriumdampfzelle dringt. Nach dem Durchqueren der Zelle wird das Licht von einer Lichtfalle absorbiert. Das von der Zelle bei 90 Grad gestreute Licht wird von 2 Photomultipliern aufgenommen, um die Photonen zu zählen. Die Zelle befindet sich zwischen den Polen von Permanentmagneten, die ein 5000 Gauß starkes Magnetfeld in der Natriumzelle erzeugen.

Das einfallende Licht wird durch eine Kombination der 2 optischen Elemente P1 und QP2 polarisiert, welche um 90 Grad gegeneinander verdreht werden können. Diese Änderung ermöglicht die Messung von Intensitäts-Verhältnissen.

Das optische Teil QP1 ermöglicht die Messung der longitudinalen Komponente des durchschnittlichen Sonnenmagnetfeldes.



9. LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph)

9.1. Leitung / Herstellung

An LASCO sind folgende Institutionen beteiligt: Naval Research Laboratory (USA), Max Planck-Institut für Aeronomie (GER), The Laboratoire d'Astronomie Spatiale (FRA) und the University of Birmingham (UK).

9.2. Aufgabe

Die Forschungsziele von LASCO sind folgende:

- Wie wird die Korona aufgeheizt ?
- Wie gehen die Beschleunigungsvorgänge des Sonnenwindes vor sich ?
- Was bewirkt die "coronal mass ejections" (CME) und welche Rolle spielen sie in der evolutionären Entwicklung des Magnetfeldes ?
- Wie steht es um die Verteilung und die Eigenschaften der zodiakalen Materiewolke und wie wirken sich sonnennahe Kometen darauf aus ?

Dazu studiert das LASCO Experiment den Transport von Masse und Energie durch die Korona und in den Sonnenwind durch Messungen von:

- globalen Verteilungen von Plasma-Schlüsselwerten wie: Temperatur, Dichte, Masse und Magnetfeldrichtungen
- Zeitsequenzen von dynamischen Koronaereignissen, besonders "coronal mass ejections"
- die räumliche Verteilung und die Eigenschaften von zirkumsolaren Staubpartikeln, einschließlich denen, die von sonnennahen Kometen zurückbleiben

Zusätzlich dazu arbeitet LASCO mit den Spektrometern (CDS,SUMER), UVCS und EIT zusammen. Hier gab es schon ein mehrmonatiges Gemeinschaftsprogramm.

9.3. Aufbau

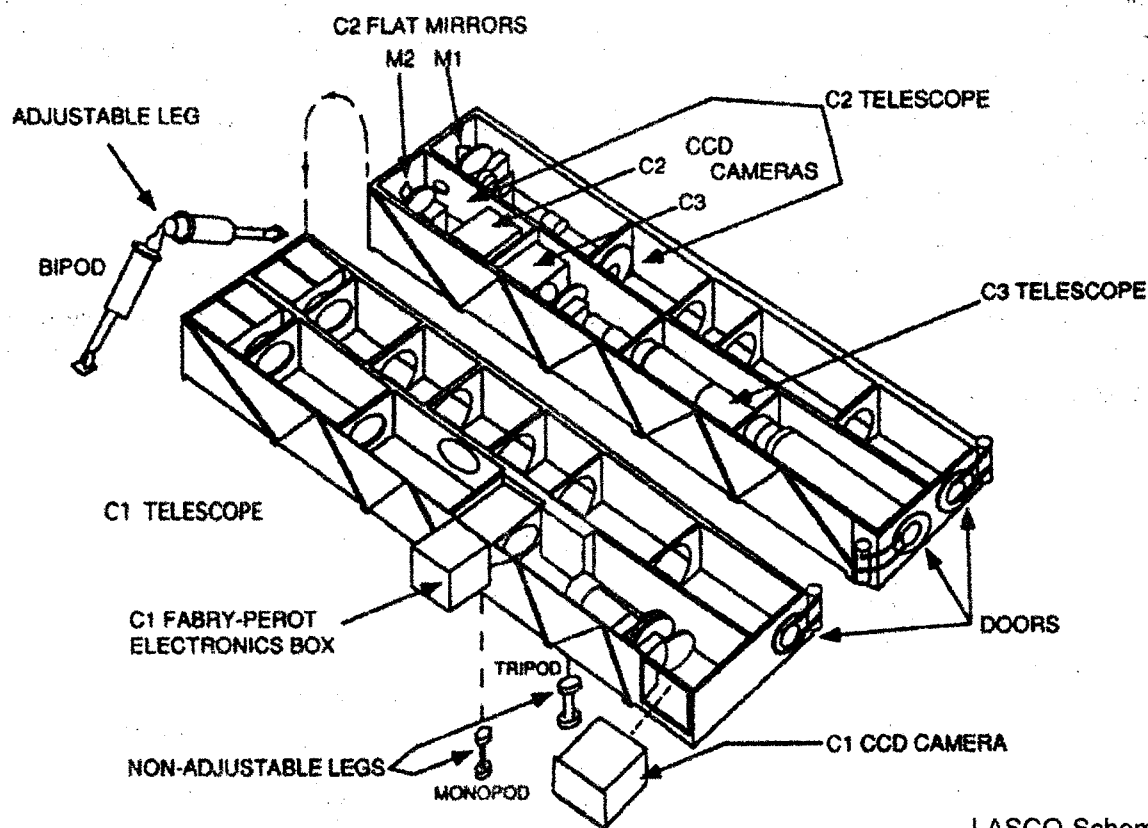
LASCO ist ein Weitwinkel-Koronagraph, der im Weißlicht, sowie in fünf Spektralbereichen arbeitet und aus drei optischen Systemen besteht, die die Sonne von 1,1 Sonnenradien bis weit in den Raum hinaus beobachten.

- C1 mit einer Reichweite von 1.1 bis 3.0 Sonnenradien
- C2 überlappt C1 und C3 mit einer Reichweite von 2.0 bis 6.0 Sonnenradien
- C3 mit einer Reichweite von 3.7 bis 32 Sonnenradien

Das Instrument für die innere Korona C1 ist ein neu entwickelte Version des klassischen Lyot-intern abgeschatteten Koronagraphen, während C2 und C3 extern abgeschattet sind. Zusätzlich ist C1 mit einem Fabry-Perot Interferometer ausgestattet, welches hochauflösende Koronaspektroskopie in folgenden Wellenlängen ermöglicht:

Fe XIV	bei 530,3nm
Fe X	bei 637,4nm
Ca XV	bei 596,4nm
Na D2	bei 589,0nm
H-Alpha	bei 656,3nm

Empfindliche CCD Kameras in jedem Teleskop (1024x1024) ergeben detaillierte Bilder und die Elektronik ermöglicht das Senden von bis zu 10 Koronavollbildern in der Stunde.



LASCO-Schema

10. MDI / SOI (Michelson Doppler Imager / Solar Oscillations Investigation)

10.1. Leitung / Herstellung

Dieses Projekt steht unter der Leitung von Stanford University (USA), Universität Aarhus (DEN), University of Cambridge (GBR) und hat viele weitere Projektmitglieder.

10.2. Aufgabe

Das Forschungsprogramm für solare Schwankungen SOI (Solar Oscillations Investigation) benutzt das MDI-Instrument und untersucht das Innerste der Sonne durch Messung der solaren Schwingungen, die sich in der Photosphäre zeigen. Die Charakteristika offenbaren die statischen und dynamischen Eigenschaften der Konvektionszone und des Sonneninneren. Das Wissen um diese Eigenschaften hilft uns, den Sonnenzyklus und die Evolution der Sterne besser zu verstehen. Andere Beobachtungen der Photosphäre tragen auch zur Verbesserung des Wissens um das solare Magnetfeld bei. Die helioseismischen Geräte auf SOHO ergänzen einander in mehrfacher Hinsicht.

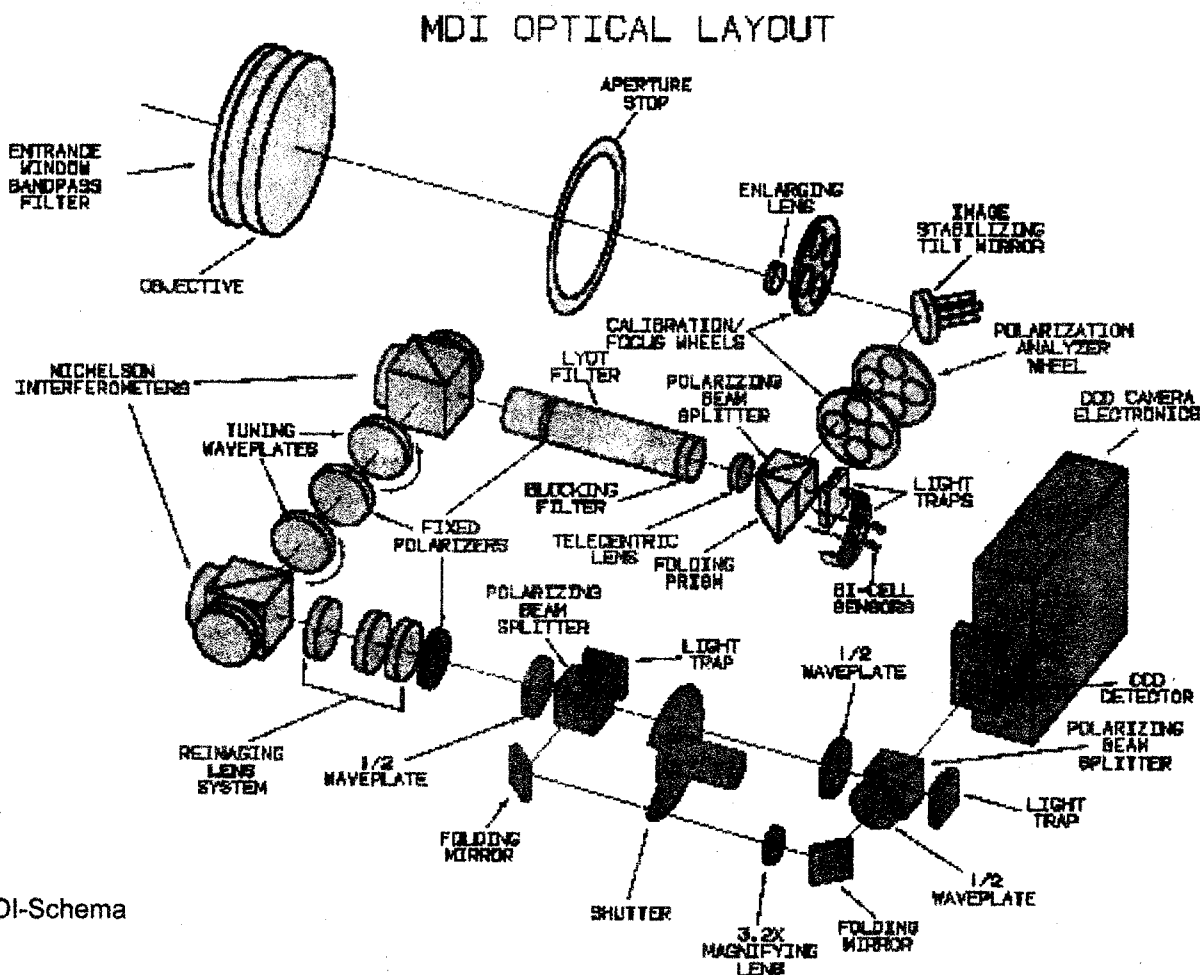
10.3. Aufbau

In der Sehlinie werden mit hoher Auflösung im Licht der Ni-Linie bei 676,8nm Geschwindigkeit, Linienintensität sowie auch die Kontinuumintensität und die Longitudinal-Komponenten des Magnetfeldes gemessen. Dazu bildet das Instrument die Sonne durch eine Serie von engen Filtern auf einer 1024*1024 CCD Kamera ab. Das wichtigste Element ist ein Paar von einstellbaren Michelson Interferometern, die es MDI ermöglichen,

11. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

Messungen mit einer Bandbreite von 100mÅ zu machen. Normalerweise werden 20 Filtergramme in 5 ausgesuchten Wellenlängen nahe Ni I 6768Å pro Minute gemacht und dazu benutzt, um Geschwindigkeit und Kontinuumintensität mit einer Auflösung von 4" über die ganze Sonnenscheibe zu messen. Alternativ dazu können 10 dieser Filtergramme dazu verwendet werden, um eine kleine Region, rund 160" nördlich des Äquators, mit einer Genauigkeit von 1.25" zu vermessen. Einige Male am Tag werden Polarisatoren eingeschoben, um das Magnetfeld in der Sehlinie zu messen.

Komplette Geschwindigkeits - und Intensitätsbilder können jede Minute an die Erde gesendet werden, wobei MDI im Jahr durchschnittlich nur die Hälfte der gesamten Telemetriezeit zur Verfügung steht. Um nun die zeitlich besonders langen Schwingungen kontinuierlich aufzeichnen zu können, steht pro Jahr allerdings ein volles 60 Tage Intervall zur Verfügung.



MDI-Schema

11. SUMER (SOLAR ULTRAVIOLET MEASUREMENTS OF EMITTED RADIATION)

11.1. Leitung / Herstellung

Am SUMER Projekt sind vorrangig das Max-Planck-Institut für Aeronomie(GER) und das Institut d'Astrophysique Spatiale (FRA) beteiligt.

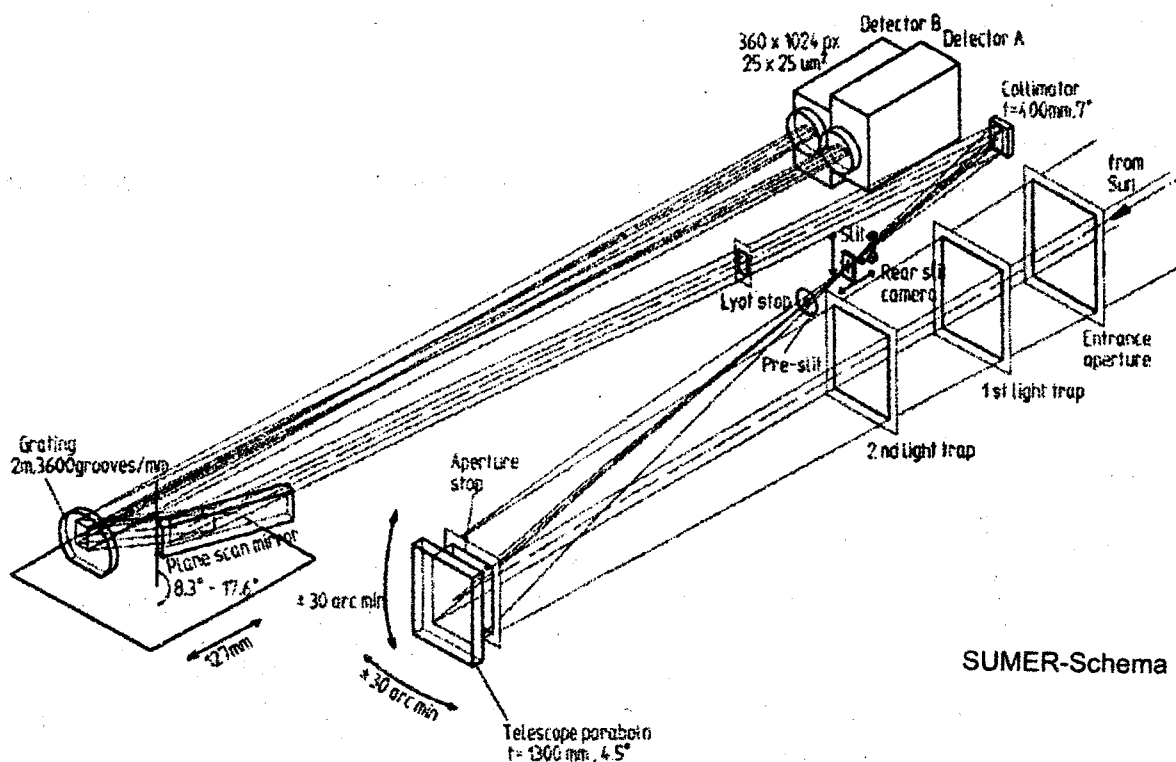
11.2. Aufgabe

SUMER wurde entwickelt, um Spektren zu erhalten, mit denen Temperaturen, Dichten und Beschleunigungsvorgänge in der solaren Atmosphäre (obere Chromosphäre, Übergangszone und untere Korona) bestimmt werden können. Die räumliche Auflösung beträgt 1,5" und die zeitliche 10s, während die Linienprofile und Linienintensitäten zwischen 50 und 160nm beobachtet werden. Das SUMER Projekt ist auch imstande, anspruchsvolle Bilder von Strukturen oder Ereignissen aus den Spektren zu erzeugen. Weiters ist auch eine Photonen-zählung möglich, was allerdings wie die Erzeugung von Bildern ein mühsamer Prozeß ist. Auch Geschwindigkeitsfelder in der Korona und Übergangsregion können bis zu 1km/s gemessen werden.

Die Basisform der gelieferten Daten ist ein 2-dimensionales Detektorbild, welches in der einen Richtung aufgrund der Schlitzapertur räumlich (Nord/Süd) und in der anderen Richtung spektral aufgelöst ist.

11.3. Aufbau

Ein Ultraviolett-Teleskop mit Spektrometer. Es besteht aus einem Off-Axis Parabolspiegel, welcher in 2 Richtungen jeweils um +/- 30" gedreht werden kann. Das Licht fällt dann durch einen Vorschlitz auf die eigentliche Schlitzapertur, welche nach oben/unten bzw vorwärts/rückwärts bewegt werden kann, um den besten Fokus zu erzielen. Nach dem Kollimator wird dann durch ein Spektrometergitter das Spektrum erzeugt, das auf zwei Detektoren abgebildet wird. Diese tasten das Bild ab und setzen es in eine 1024x360 Pixelmatrix um. Hinter der Schlitzapertur gibt es noch eine weitere Kamera ("rear slit camera").



SUMER-Schema

12. SWAN (Solar Wind Anisotropies)

12.1. Leitung / Herstellung

SWAN ist ein Gemeinschaftsprojekt zwischen dem finnischen und französischen meteorologischen Institut.

12.2. Aufgabe

Die solare Lyman-Alpha-Strahlung wird durch neutrale Wasserstoffatome, die ins Sonnensystem fließen, gestreut. Die gestreute Strahlung wird "interplanetare Lyman-Alpha-Strahlung" genannt. SWAN beobachtet die interplanetare Lyman-Alpha-Strahlung aus allen Richtungen des Himmels. Das wissenschaftliche Hauptziel ist die Bestimmung der weiträumigen Ausmaße der Protonenflußverteilung des Sonnenwindes. Die weiteren Ziele sind Heliopausekennzeichen, die solare Korona, die Geokorona, und die Überwachung und Entdeckung von Kometen.

Physik hinter den Anisotropien:

Wasserstoffatome kollidieren mit Solarwindprotonen und werden ionisiert.

Eine Ionisations-Höhlung um die Sonne wird gebildet, und deren Ausformung hängt von der breitenmäßigen Verteilung des Sonnewindes ab.

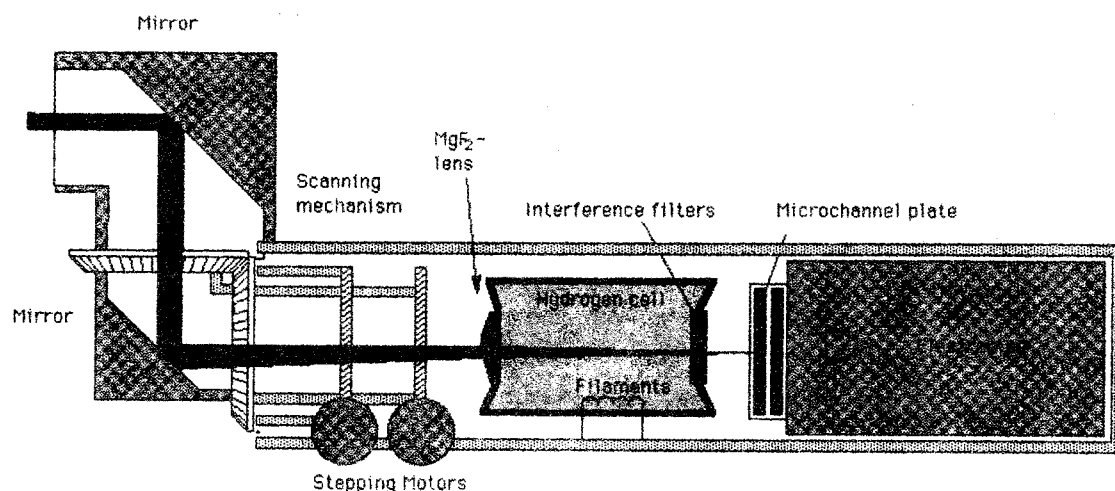
Die Ausformung und darüber hinaus die Solarwind-Breitenverteilung kann nun vom Lyman-Alpha-Resonanz-Schein abgeleitet werden

Wenn der Solarwind isotropisch wäre, müßten die Wasserstoffverteilung und das Lyman-Alpha-Muster achsensymmetrisch um die Richtung, aus der der interplanetare Wasserstoff in das Solarsystem einfließt, liegen. Dem ist aber nicht so. Die Lyman-Alpha-Muster sind nicht achsensymmetrisch und die Abweichung von der Achsensymmetrie werden von der Variation in der ekliptikalen Breite des Sonnenwindes verursacht.

12.3. Aufbau

Das SWAN Instrument ist ein Scanner-Teleskop mit eingebauter beheizter Wasserstoffzelle und angeschlossener Elektronik.

SWAN INSTRUMENT



SWAN-Schema

13. UVCS (Ultraviolet Coronagraph Spectrometer)

13.1. Leitung / Herstellung

Am UVCS Projekt sind Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (USA), Università di Firenze (ITA), Space Science Dept (NET) und viele Andere beteiligt.

13.2. Aufgabe

UVCS soll detaillierte Daten über die ausgedehnte Sonnenkorona liefern, die uns helfen, die koronalen Quellen des Sonnenwindes, dessen Beschleunigungsmechanismen, sowie die Aufheizvorgänge des Koronaplasmas zu studieren. UVCS macht Messungen der Sonnenkorona zwischen 2 und 10 Sonnenradien von der Sonnenmitte weg mit hoher räumlicher (15") und spektraler Auflösung.

Durch die spektroskopische Messungen bei UV-Wellenlängen können u.A. Aussagen über

- Geschwindigkeits-Verteilungen von Protonen
- Partikeldichten
- Temperatur der Elektronen

Weiters kann das koronale Loch bis zu 4 und Strahlen ("Streamers") bis zu 8 Sonnenradien, beobachtet werden. Auch bildet das Instrument Sterne, Kometen, interplanetaren neutralen Wasserstoff und Planeten ab. Es kann zusätzlich von der Sonnenmitte bis 1,3 Sonnenradien arbeiten, was aber nicht oft (wegen vorzeitiger Detektoralterung und Verunreinigung) der Optik gemacht wird.

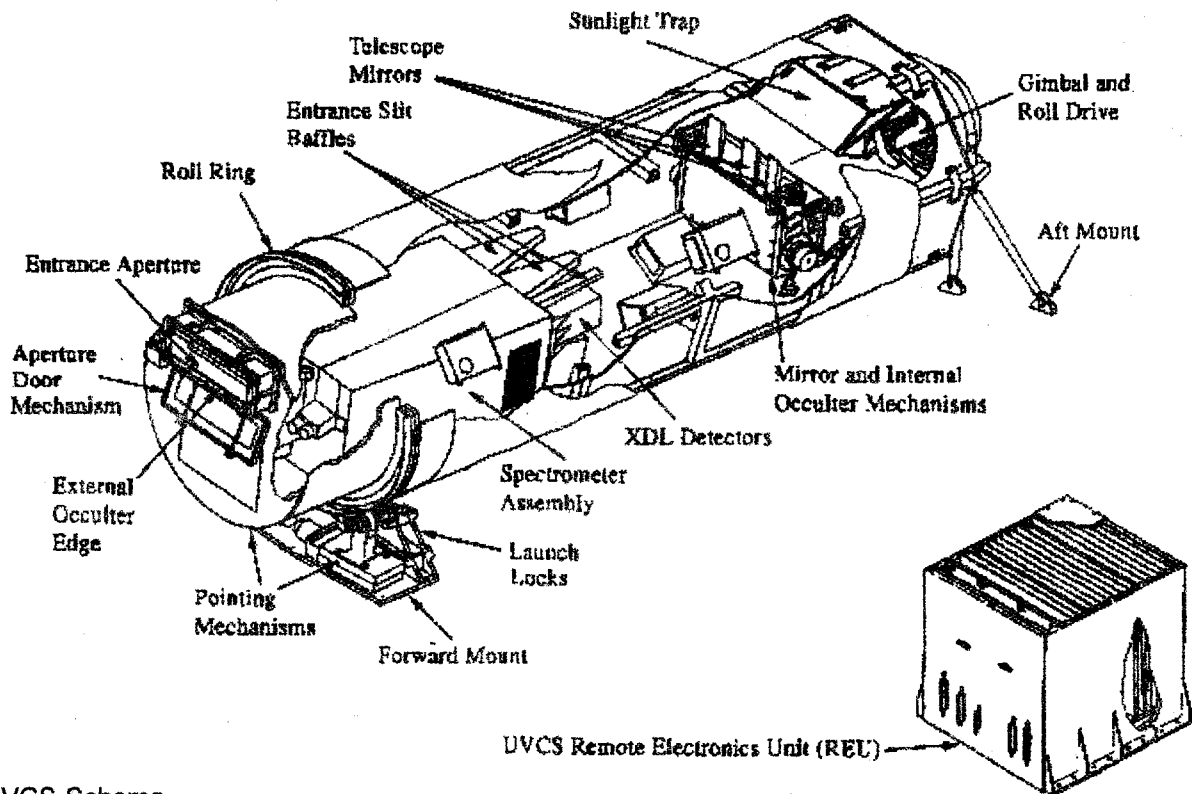
13.3. Aufbau

Das UVCS-Instrument ist ein Teleskop mit Fokalblende, welche die Sonnenscheibe abdeckt und die Beobachtung der Korona auf spektroskopischem Wege bis zu 10 Sonnenradien hinaus ermöglicht. Drei sphärische Spiegel reflektieren Bilder der Korona in die drei Eintrittsschlitze der Spektrometereinheit.

Dieses ist dreikanalig aufgebaut:

- Der Lyman-Kanal ist ein torisches Gitter-Spektrometer optimiert für das Linienprofil H I 1216Å. Es kann auch die Spektrallinien zwischen 1145-1287Å messen und ein erweiterter Bereich 1100-1361Å kann durch Drehung des Gitters erreicht werden.
- Der O VI Kanal ist ein torisches Gitter-Spektrometer, das für das Linienprofil der O VI Linie zwischen 1032-1037Å optimiert ist. Allerdings kann es auch für andere Spektrallinien zwischen 984-1080Å ("first order") beziehungsweise 492-540Å ("second order") verwendet werden. Ein erweiterter Wellenlängenbereich in erster und zweiter Ordnung (937-1126Å und 469-563Å) kann durch Spiegeldrehung erzielt werden. Zusätzlich gibt es einen konvexen Spiegel um die Spektrallinien H I 1216Å ("first order") sowie Mg X 610Å und 625Å ("second order") am O VI Detektor zu erhalten. Diese Einrichtung wird redundanter Lyman-Pfad genannt
- Das WLC (Weißlicht-Kanal) ist ein Polarimeter für das sichtbare Licht und mißt die polarisierte Strahlung zwischen 4500-6000Å.

ULTRAVIOLET CORONAGRAPH SPECTROMETER (UVCS)



UVCS-Schema

14. VIRGO (Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations)

14.1. Leitung / Herstellung

Dieses Projekt steht unter der Patronanz folgender Organisationen: World Radiation Center of Davos (CH), Space Sciences Department of the European Space Agency, Royal Meteorological Institute of Belgium (BEL).

14.2. Aufgabe

Die wissenschaftliche Hauptaufgaben von Virgo lassen sich in 2 Themenbereichen zusammenfassen, nämlich Helioseismologie und Strahlungsmessung.

Dafür stehen auf VIRGO 4 Geräte zur Verfügung (SPM, PMO6-V, LOI, DIARAD).

Sie ermöglichen kontinuierliche hochgenaue Messungen folgender Werte:

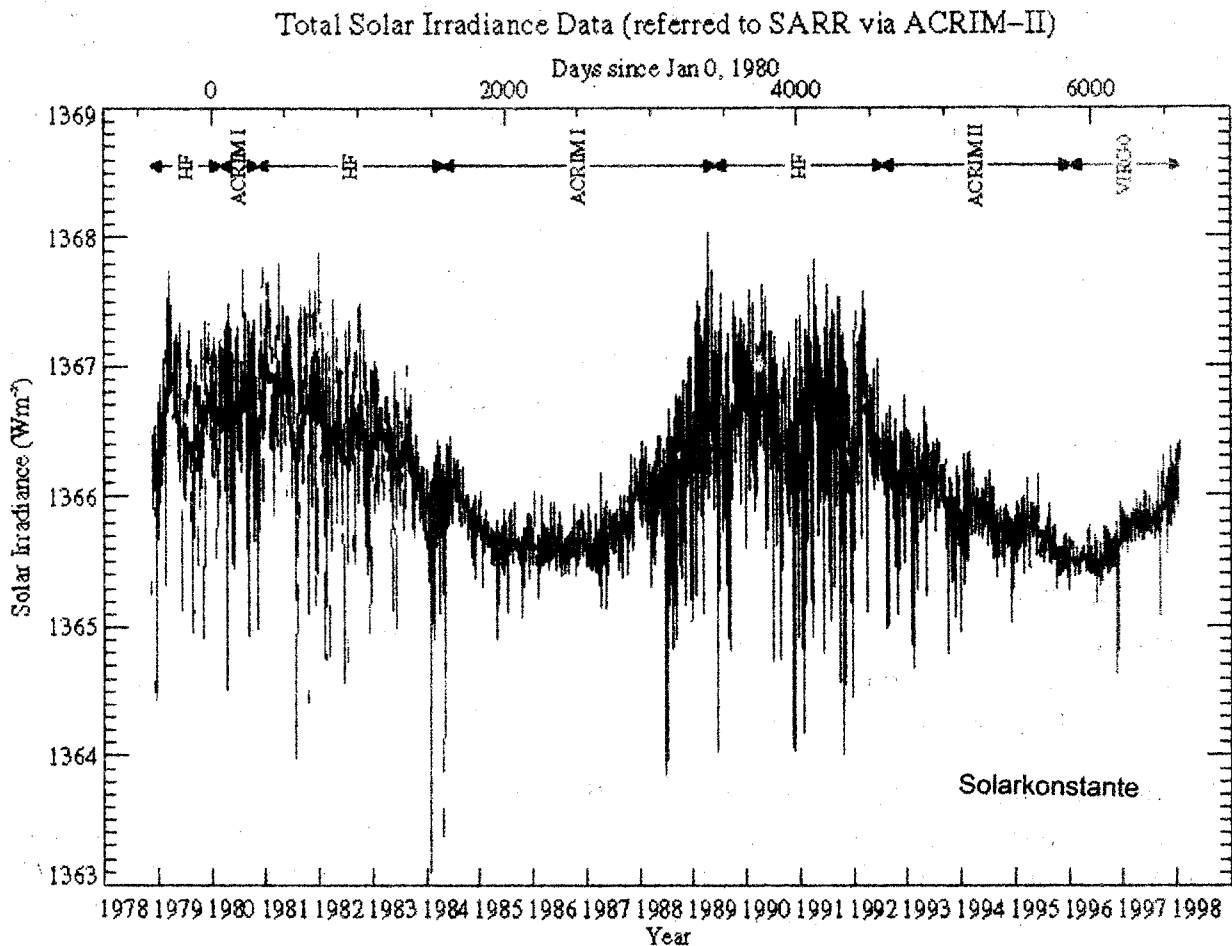
- Totale Strahlung (Solarkonstante),
- Spektrale Strahlung und deren Variation
- Pol - und Äquatordurchmesser der Sonne
- Frequenz, Amplituden und Phasen der Schwingungen im Bereich von 1mHz - 8 mHz
- Solares Energiebudget

Die Solarkonstante wird mit 2 Radiometern gleichzeitig gemessen, wobei dies

16. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

eine Fortsetzung der bisherigen Messungen durch die Instrumente HF auf dem Satelliten NIMBUS-7, sowie ACRIM-I (Solar Maximum Mission Satellite) und ACRIM-II (Upper Atmospheric Research Satellite) darstellt.

Alle erhaltenen Daten werden unter anderem auch zur Klimamodell-Erstellung auf der Erde genutzt.



14.3. Aufbau

SPM (Sun PhotoMeter) ist ein Dreikanal-Sonnenphotometer mit dem die Sonnenstrahlung bei 402, 500 und 862nm gemessen wird.

LOI (Luminosity Oscillations Imager) mißt die Strahlungsvariation im 500nm Bereich von SPM mit einer Bandbreite von 5nm. Das Gerät ist ein Ritchey-Chrétien Teleskop mit 1300mm Brennweite und 55 mm Durchmesser. Mit diesen Eckdaten ist es LOI möglich die Durchmesseränderungen der Sonne auf 0.3" genau zu messen.

Die Radiometer:

	Genauigkeit	Sampling rate
PM06-V	0.17%	2 min
DIARAD (Dual Irradiance Absolute Radiometer)	0.15%	3 min

15. Beobachtungen, Entdeckungen und Forschungsergebnisse

15.1. CDS

15.1.1. Blinkers (kurzlebige Explosionen)

Die CDS Wissenschaftler haben kleine plötzliche Explosionen von Erdgröße entdeckt, die sporadisch in der Sonnenatmosphäre erscheinen. Es können bis zu 3000 zeitgleich überall auf der Sonne verstreut auftreten. Bei diesen Erscheinungen werden wir Zeuge von ultravioletten Blitzen mit Temperaturen von einigen 100000 Grad und mit einer Dauer zwischen einigen Minuten und einer halben Stunde. Eine Explosion entspricht 100 Megatonnen (7 große H-Bomben). Diese sind wahrscheinlich für die Koronaaufheizung verantwortlich.

15.1.2. Hot loops and cold loops (heiße und kalte Bögen)

Die Sonne ist ein flüssiger Magnet mit großen magnetischen Bögen, die heiße Gase (Plasma) in der Atmosphäre halten. Sie hat in ihrer Atmosphäre Temperaturen bis über 1 Mio. Grad; in den niederen Schichten fallen sie unter 10000 °. Wie auch immer - CDS Bilder zeigen, daß große magnetische Bögen Plasma mit jeglicher Temperatur beinhalten und daß jeder Bogen effektiv von seinen nächsten heißeren oder kälteren Nachbarbogen abgeschirmt ist.

15.1.3. Solarwindbeschleunigung

Unbekannte Prozesse in der Atmosphäre beschleunigen die heißen solaren Gase und stoßen diese in den Raum ab (Sonnenwind). Die CDS Beobachtungen zeigen diese Beschleunigung mit Hilfe der doppler-verschobenen Emissionslinien.

15.1.4. Hoch beschleunigte Jets (Gasstrahlen)

Vor einigen Jahren hat man schmale Gasstrahlen im Ultraviolet innerhalb der Atmosphäre entdeckt, welche von der Sonne weg oder zu ihr hin strömen (im Umfang circa 1500 km). CDS hat nun Jets höherer Temperaturen beobachtet, die man in die höhere Atmosphäre zurückverfolgen kann. Die besten dieser Beispiele sind dramatisch: man sieht dort wie einzelne Jets um große Magnetfeldbögen herumschießen.

15.1.5. Sonnentornados

Auf der Sonne gibt es rotierende Stürme, die deutlich größer und schneller als auf der Erde sind. Die Windgeschwindigkeiten liegen bei 15km/s, können aber auch das 10-fache erreichen, was bis zu 500,000 km/h bedeutet! CDS zeigte auch dies mit Hilfe der doppler-verschobenen Emissionslinien. Diese könnten in Zusammenhang mit dem schnellen Sonnenwind, der von den koronalen Löchern ausgeht, stehen.

15.2. CELIAS / COSTEP

CELIAS hat viele schwere Elemente unter den geladenen Ionen des Solarwindes entdeckt, was vorher unbekannt war. Man untersucht nun die Unterschiede zwischen dem langsamen und schnellen Solarwind.

CELIAS entdeckte auch interstellare Atome, die beim Zusammentreffen mit dem Sonnenwind aufgeladen und beschleunigt werden. Diese "PICK-UP Ionen" werden an die Grenzen der

18. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

Heliosphäre zurückgestossen. Dort werden sie durch permanente Schockwellen energetisch ausgeglichen und einige wieder zurückgeschickt. Dieses "heliosphärische Tennis" produziert Partikel die als anomale kosmische Strahlung mit COSTEP und ERNE gesehen werden kann.

15.3. EIT

Auf den UV-Aufnahmen von EIT lassen sich federförmige Gebilde - Plumes - erkennen, die sich vom N und S-Pol der Sonne weit in den Raum erstrecken. Spiculae zeigen energetische Veränderungen an, die vermutliche Ursache für die Aufheizung der äußeren Sonnenatmosphäre auf bis zu 2 Millionen °C sind. Weiters sind die in der Beschreibung genannten anderen Strukturen gut zu erkennen.

15.4. ERNE

Die Leistung von ERNE erfüllt die Erwartungen. Viele Entdeckungen, die mit den vorigen Instrumenten nicht möglich gewesen wären, wurden gemacht. Die Beobachtungen der anomalen kosmischen Strahlen haben den vorausgesagten 22-Jahr Modulationszyklus bestätigt. ERNE zeigte auch die vorausgesagte Existenz von mehrfach geladenen Sauerstoff in der anomalen kosmischen Strahlung.

Im Mai 1996 beobachtete ERNE eine Gruppe von He-3 reichen Ereignissen, während der das He-3 / Protonen-Verhältnis sehr hoch war.

Eine andere neue Entdeckung war die Existenz eines sehr dünnen magnetischen Schildes im interplanetaren Raum mit total anderen magnetischen Bedingungen innerhalb als außerhalb (die Protonen bewegen sich ganz anders).

ERNE-Beobachtungen zeigten auch energetische Partikelereignisse mit einer speziellen zeitlichen Entwicklung, welche am 13. August 1996 durch eine "coronal mass ejection" (CME) auf der Sonnerückseite hervorgerufen wurden. Bei Beobachtungen über die folgende Woche zeigte sich, daß möglicherweise die > 20 MeV/n Partikel zwischen der Sonne und höheren Regionen gefangen werden.

Während der solaren Ereignisse vom 13. August 1996, 7. April, 12. Mai und 24. September 1997, observiert durch ERNE und EIT (Extreme Ultraviolet Imaging Telescope) ergab sich zum ersten Mal ein Anhaltspunkt, daß der energetische Partikelaustrich der Sonne in Zusammenhang mit dem Auftreten einer koronalen Moreton Welle steht.

Das intensivste solare Partikelereignis geschah im November 1997. Während dieser Ereignisse konnte ERNE verschiedenste Teilchen identifizieren, die Anlaß für weitreichendere Schlüsse geben.

Das erste Halbjahr 1997 war dominiert von großen erdgerichteten "coronal mass ejections". Diese Bursts treffen das Magnetfeld (Magnetstürme) und stören Energie und Telekommunikation. Die Voraussage von Magnetstürmen ist sehr wichtig und ein Ziel von SOHO.

15.5. GOLF / VIRGO

GOLF beobachtet vertikale Bewegungen und VIRGO rhythmische Variationen in der Sonnenhelligkeit (ähnlich Tonwellen).

Durch die Kombination der helioseismischen Geräte haben die Wissenschaftler kleine, aber wichtige Divergenzen in den Theorien über das Innere der Sonne festgestellt. Es wird jetzt nämlich vermutet, daß der Kern der Sonne unsymmetrisch ist. Um dies untermauern zu können müssen aber noch weitere Daten (bis 2003) gesammelt werden.

15.6. LASCO

LASCO demonstrierte im April 1997 seine speziellen Fähigkeiten mit der Anzeige eines Massenauswurfs in Richtung Erde, auf der er einen mittleren Sturm verursachte. CELIAS bestätigte den Massenauswurf 30-60 Minuten bevor er die Erde erreichte. Durch Messung von Geschwindigkeit und Dichte des Materials kann eine klare Vorhersage über die anzunehmende Stärke des Sturms gegeben werden.

Das Instrument beobachtet außerdem kleinere und größere Massenauswürfe, die von Explosionen angetrieben sind. Mehrere dieser können gleichzeitig verstreut in der Äquatorzone auftreten. Die Wissenschaftler glauben, daß diese Massenauswürfe ein wichtiger Teil des langsamen Sonnenwindes sind.

15.7. MDI

15.7.1. Plasmaströme in der Sonne

Die Forscher haben Ströme (Flüsse) aus Plasma im Sonneninneren entdeckt. Sie fanden auch wind-ähnliche Bewegungen, die Gas unter der heißen Sonnenoberfläche transportieren. Weiters wurden Bewegungen, vergleichbar den Wettermustern in der Erdatmosphäre, erkannt. Diese Entdeckungen helfen den Sonnenfleckenzyklus und damit auch die Sonnenaktivität besser zu verstehen, die große Auswirkungen auf die Erde hat (Energie und Kommunikationsstörungen).

15.7.2. Der magnetische Teppich

Es ist physikalisch unmöglich, thermische Energie von der kälteren Oberfläche in die viel heißere Korona zu transferieren. Daher muß der Energietransfer in Form von Wellen oder magnetischer Energie vor sich gehen. Aber Messungen konnten das bisher nicht bestätigen. Die solare Korona ist eine Region von heißem elektrisch geladenem Gas, das von der Sonnenoberfläche strömt. Es gibt nun auf der Sonnenoberfläche viele Magnetfeldkonzentrationen mit entgegengesetzter Polarität. Jeder Punkt hat einen Durchmesser von 8000km. Diese Konzentrationen bauen nun den magnetischen Teppich auf, in dem zwischen 2 Punkten von entgegengesetzter Polarität Magnetfeldverbindungen existieren (Loops).

Diese hufeisenförmigen Loops gehen von der Sonnenoberfläche bis in die Korona. Obgleich klein im Vergleich zur Sonne, würde jeder dieser Bögen die Erde umschließen können. Weiters beinhaltet ein solcher Loop soviel Energie, wie ein großes Kraftwerk in einer Million Jahre erzeugen würde.

20. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

Die Magnetfeldlinien "verknäueln" sich in der Atmosphäre, brechen zusammen und verbinden sich wieder von Neuem. Man hat herausgefunden, daß das Muster des magnetischen Teppichs alle 40 Minuten wechselt.

Dieser Vorgang steht nun im Verdacht, für die Aufheizung der Korona verantwortlich zu sein (siehe BLINKERS und CDS).

15.7.3. Die verzernte Sonne

SOHO mißt kleine Veränderungen in der Form der Sonne. Diese Änderungen der Größe werden durch Schwingungen ähnlich Erdbebenwellen hervorgerufen. Erdgebundene Messungen haben diese Schwingungen auch gemessen, aber es konnte nicht erkannt werden, daß die Form der Sonne deswegen fluktuiert. Die Genauigkeit ist 3m!!!

Die Beobachtung der rotierenden Sonne hat auch gezeigt, daß die Sonnenoberfläche gewellt ist. Hügel und Täler mit einem Durchmesser von ungefähr 5 Erden und einer Höhe von nur 1/2km sind auf der ganzen Sonne zu finden. Sie rotieren mit der durchschnittlich 27 Tage dauernden Oberflächenrotation. Sie sind möglicherweise durch ein komplexes Magnetfeldnetzwerk verursacht.

15.7.4. Das Rotationsloch

Die Rotation nimmt gleichbleibend vom Äquator in Richtung zu den Polen ab. In der Nähe der Pole gibt es allerdings einen kleinen aber merklichen Abfall. Dies könnte durch Bremsung des Magnetfeldes hervorgerufen werden.

15.7.5. Der solare Dynamo

Seit längerem wird versucht die Position des solaren Dynamos zu bestimmen, weil dieser viele Erscheinungen auf der Sonne bedingt z.B. variierende Sonnenwindichte, 11-jähriger Sonnenzyklus, großflächige Ereignisse auf der Oberfläche, die von starken Magnetfeldern im Inneren der Sonne abhängen. Für das Verhalten der Sonne ist das Verständnis des solaren Dynamos extrem wichtig.

MDI Wissenschaftler konnten nun die Suche auf eine Schicht, die 60,000km dick ist und 216,000km unter der Oberfläche liegt, einschränken. In dieser Region haben sie Anhaltspunkte für zwei Zustände, die für einen solaren Dynamo bezeichnend sind, gefunden.

15.8. SUMER

15.8.1. Protuberanzen, streamers, Koronale Löcher und plumes

Zwei Kennzeichen charakterisieren die (äußere) Korona während des solaren Minimums. Die äquatorialen Strahlen und die polaren koronalen Löcher. In Koordination mit den anderen SOHO-Instrumenten erkundet man die Entwicklung dieser Strukturen. Plumes sind eine Teilmenge der koronalen Löcher und scheinen ihre Wurzeln in einigen hellen Punkten auf der polaren Sonnenoberfläche zu haben. Die polaren Plumes zeigen eine langsame Entwicklung mit der solaren Rotation.

15.8.2. Bi-Direktionale Plasma Jets

Diese werden anscheinend auch durch den Vorgang des Zusammenbruchs und der Wiedervereinigung von magnetischen Feldlinien hervorgerufen. Dies wird als fundamentaler Ablauf betrachtet, wie magnetische Energie in kinetische Plasmaenergie umgewandelt wird.

21. Fortsetzung Referat: Sonnenforschung mit SOHO

Dieses könnte die Flares, den koronalen Massenausstoß und kleinere Phänomene, wie die chromosphärischen und koronalen Mikroflares, erklären.

15.9. SWAN

Bei der Beobachtung der Verteilung der interplanetaren Wasserstoffatome mit den Allsky-Scannern ist deutlich zu sehen, wie der Sonnenwind in 300 Millionen km anströmende H-Atome aufhält; über den Polen allerdings, wo der Sonnenwind schwächer strömt, kommen sie näher heran. Die Wissenschaftler stellten über die zwei Jahre dauernden Messung auch fest, daß der interstellare Wasserstoff vom Schlangenträger in Richtung Skorpion bläst.

15.10. UVCS

Ein frühes Ergebnis war die Entdeckung einer bemerkenswerten Beschleunigung von Sauerstoffatomen aus den relativ kühlen koronalen Löchern in den Raum hinaus (die Quelle des schnellen Sonnenwindes). Man glaubt, daß sich verdrehende magnetische Wellen der Antrieb dazu sind. Diese stehen vielleicht auch in Bezug zu den Tornados.

Weiters wurden auch koronale Emissionslinien von H, N, O, Mg, Al, Si, S, Ar, Ca, Fe, und Ni, entdeckt, besonders in Koronastrahlen.

16. Ausblick

Die Raummission SOHO mit ihren 12 Instrumenten produziert täglich eine Unzahl an Daten, die teilweise erst durch komplexe Aufbereitungen oder längere Beobachtungszeit Aussagekraft erlangen. Es gibt enorm viele Detailergebnisse, wissenschaftliche Publikationen (manchmal pro Instrument weit über 100) und jährlich viele Kongresse. Bis alle Daten gesichtet und ausgewertet sind, werden wohl noch einige Jahre vergehen und wir dürfen uns daher noch auf eine Vielzahl weiterer Erkenntnisse über unseren nächsten Stern - die Sonne - gefaßt machen.

17. Literatur

1. NASA: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>
2. ESA: <http://www.esrin.esa.it>
3. Der Sternbote 8/1996, 6/1997
4. ESA Bulletin 84, 86

Karl Glaser, Denisgasse 30-34/3/2, 1200 Wien

Referat: Die Mission ULYSSES

Dieses Referates handelt über die Sonde ULYSSES und ihre Beobachtungen. Die Mission sticht insofern hervor, da sie erstmals die Sonne außerhalb der Ekliptik erforscht und Daten über die Polregionen der Sonne lieferte.

1 Einleitung und Motivation

Wozu Sonden?

Astronomische Beobachtungen der Sonne von der Erde aus werden durch die Erdatmosphäre eingeschränkt: Untersuchungen beschränken sich hauptsächlich auf den sichtbaren und den Radiowellen-Bereich. Infrarotes bzw. ultraviolettes Licht, sowie Röntgenstrahlung und Gammastrahlung können die Atmosphäre nur zum Teil bzw. nicht durchdringen. Um nun auch jene Strahlung studieren zu können, die nicht bis an die Erdoberfläche herabkommt, lautet die Strategie: sich der Sonne nähern! Zunächst wurden Meßinstrumente mit Hilfe von Ballonen in Höhen von 40km befördert. Mit der Weiterentwicklung der Weltraumstronomie konnte man ab den 60er Jahren Satelliten zur Beobachtung nutzen. Dabei wurden ganze „Experimentierlaboratorien“ in eine Umlaufbahn um die Erde gebracht. Der nächste Schritt Richtung Sonne führt zur Sondentechnik. Die Sonden tragen die Nutzlast (Detektoren, Analysatoren, etc.) in den Weltraum hinaus, wobei die Stromversorgung entweder über Solarzellen oder einen Radioisotopengenerator.

Motivation: Sonne - Heliosphäre - Jupiter

Ein Ziel der ULYSSES Mission war mit der Erforschung der Polregionen der Sonne eine Charakterisierung der Heliosphäre in Abhängigkeit der heliographischen Breite. NASA sowie ESO versprachen sich ein besseres Verständnis des Sonnenbildes mit den erstmals in höherer Breite (30° - 90°) gewonnenen Daten der ULYSSES-Sonde. Von besonderem Interesse sind die Erforschung des Sonnenwinds und Magnetfeldmessungen. Ein weiteres Forschungsgebiet liegt in der Untersuchung der kosmischen Strahlung und einer Partikelverteilung im interplanetaren Raum, d.h. die Erschließung der äußeren Heliosphäre. Schließlich nützt man auch noch das Flugmanöver bei Jupiter um vom Riesenplaneten Daten zu sammeln: Im Feld der Neugier stehen Magnetosphäre und los Plasmatorus.

Tabelle 1: Einige Daten zur Sonnenbeobachtung mittels Weltraumstationen und Sonden

1959	NASA	Planung einer Mission außerhalb der Ekliptik
1973 - 1979	SKYLAB (NASA)	bemannte Station in Umlaufbahn (orbit 435km über der Erde); Sonnenbeobachtung in allen Wellenlängen
1974	NASA, ESO: OOE Out of Ecliptic Mission	Wiederaufnahme des Projekts vom 1959 Geplant sind zwei Sonden
1974/76	HELIOS I und II (NASA/MPI Radioastro.)	Sonden; sonnennächster Punkt der Bahnen bei 46 bzw. bei 43,4 Millionen km.
1979	NASA, ESO: ISPM International Solar Polar Mission	Umbenennung von „OOE“: Möglicher Start 1985
1980 - 1989	SMM Solar Maximum Mission (NASA)	unbemannte Station in Umlaufbahn; Beobachtung von Flares, Untersuchung der Sonne im γ -Bereich, Schwankungen der Strahlungsstärke
1983	SPACELAB (NASA)	Experimente zur Stärke der Sonnenstrahlung und Messungen im UV-Bereich.
1984	„ULYSSES“	Die NASA mußte 1981 aus Kostengründen auf ihre Sonde verzichten. Das Projekt ISPM fällt.

1. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

		Nur eine Sonde wird 1983/84 fertiggestellt.
1991	YOKO	Untersuchung von Flares (Röntgenbereich)
1990 - 1995	ULYSSES (NASA/ESA)	Mission zur Erforschung der Polregionen der Sonne
	Sonnen Minimum	
1995	SOHO SOLar and Helio-spheric Observation (ESA)	Sonnenoberfläche: Oszillationen, Partikeldetektoren
In Zukunft:	CLUSTER WIND	Sonnenwind Sonnenwind (Profil in 3 Dimensionen)

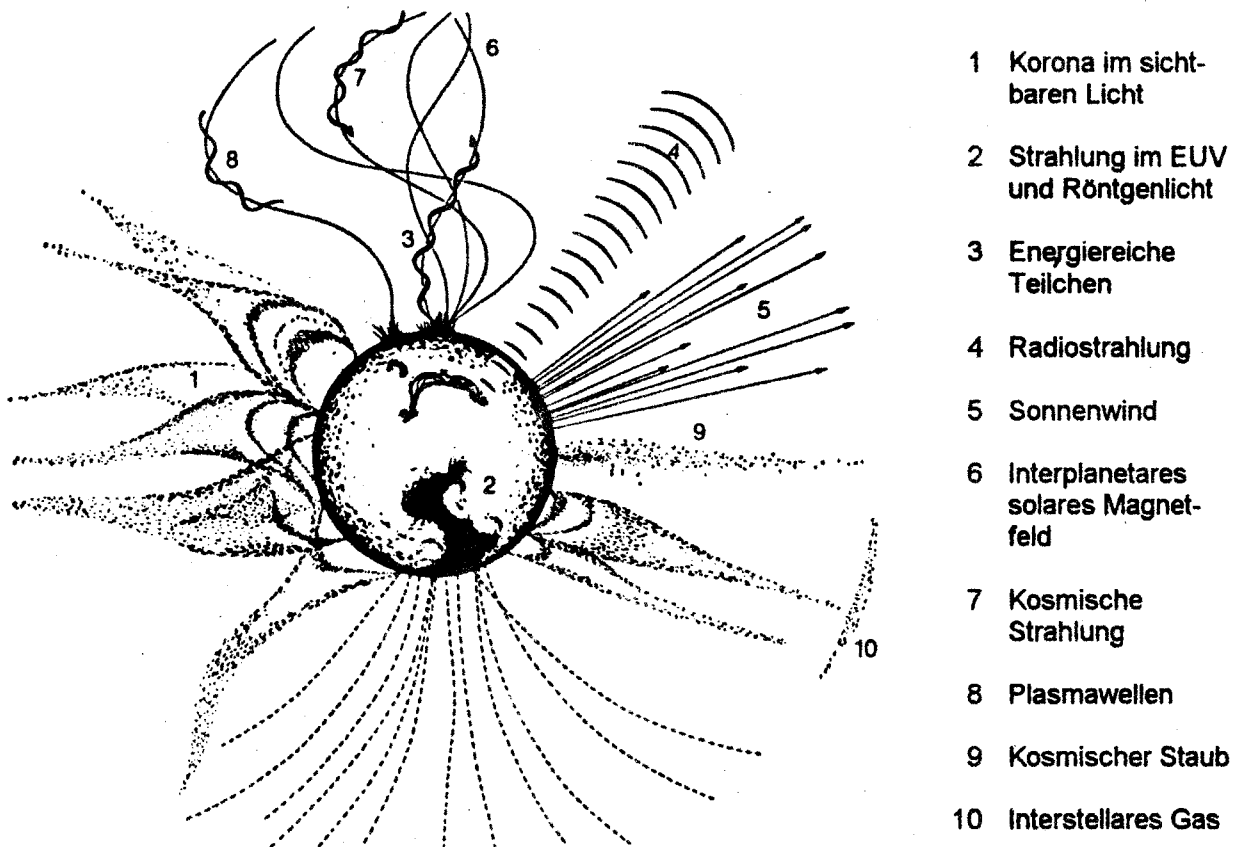


Abb.1: Phänomene in der Heliosphäre [10]

Primäre Mission: Sonnenpole

Die auf terrestrischen Beobachtungen basierende Theorie sagt signifikante Differenzen zwischen Äquatorregion und Polregion voraus. Mit Hilfe von ULYSSES sollte hier Licht ins Dunkel gebracht werden. Die primären Fragestellungen in Bezug auf die Sonne sind im folgenden aufgelistet:

- X Erforschung der *Polarregionen*, im speziellen der Sonnenkorona, über dem Süd- und Nordpol (*Koronale Löcher*).
- X Die *magnetischen Feldlinien* über den Polen reichen weit in den interplanetaren Raum hinein. Die Struktur des Magnetfeldes ist noch unzureichend aufgeklärt.
- X Die Vorgänge des *Aufheizens der Korona* und der *Sonnenwindbeschleunigung* sind noch keineswegs zufriedenstellend erklärt. Man erwartet eine kontinuierliche Zunahme der Sonnenwindgeschwindigkeit in Richtung der Pole.
- X Beobachtungen zeigten, daß die *Teilchenflußdichte* in polaren Breiten niedriger ist als in Äquatornähe. Die Unsicherheiten in den vorhandenen Daten über den

2. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

polaren Massenfluß führten zu zwei gegenteiligen Hypothesen (Munro, Jackson [1977]¹, Lallement et al [1986]²):

- a) eine nicht zu vernachlässigende Energieversorgung zuzüglich der Wärmeleitung erforderlich oder
 - b) die Wärmeleitung reicht für Antrieb und Fluß aus
- X Die Beobachtung von *Sonnenflecken* beschränkte sich auf niedrige heliographische Breiten.

2 Flugbahn der ULYSSES Sonde und der „Gravity assist“

Am 6. Oktober 1990 startete das Space Shuttle Discovery um 12:47:16 MEZ und brachte den Orbiter in eine Umlaufbahn 296 km über der Erde. Von dort wurde ULYSSES mit den Raketentufen IUS (inertial upper stage) und PAM (payload assist module) in den Weltraum entsandt. Die erste Raketentstufe IUS brannte für 2 Minuten und erhöhte die Geschwindigkeit von 7,7 auf 10,1 kms^{-1} . Nach Abtrennung der ersten zündete die zweite Raketentstufe und erhöhte die Geschwindigkeit auf 11,4 kms^{-1} . Die zweite Raketentstufe wurde ebenfalls abgeworfen und vier kleine Raketen, die am PAM befestigt waren, brachten ULYSSES auf 70 Umdrehungen pro Minute, was eine höhere Stabilität während des Brennens von PAM versprach. ULYSSES erreichte eine Geschwindigkeit von 15,25 kms^{-1} relativ zur Erde - die bisher höchste Startgeschwindigkeit einer Sonde, die bei Verlassen des inneren Erdgravitationsfeldes wieder auf 11,4 kms^{-1} zurückging.

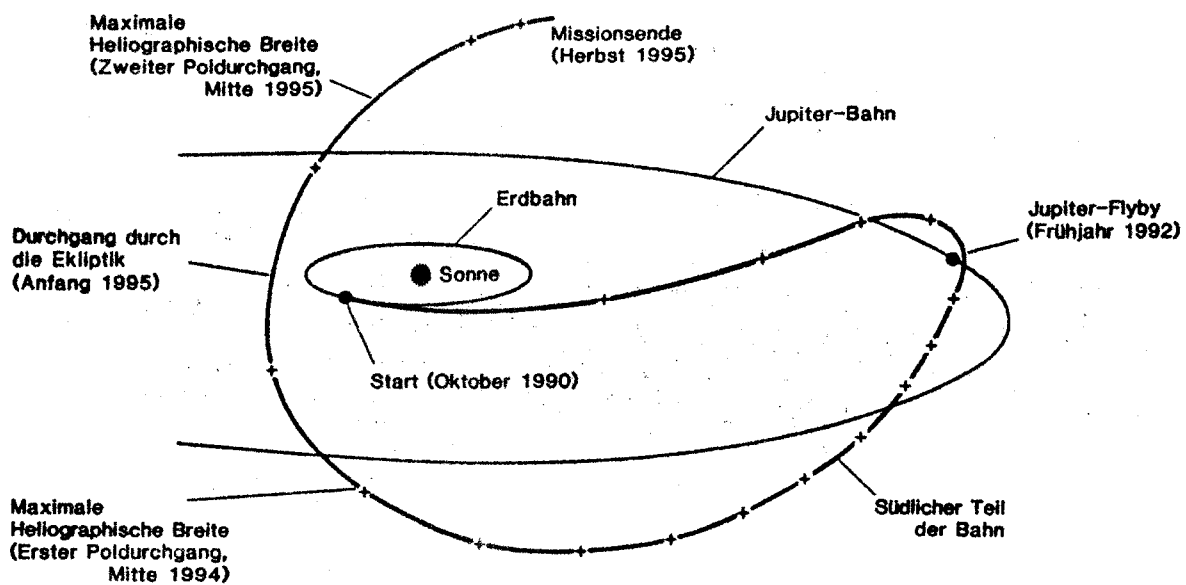


Abb.2: Flugbahn der ULYSSES Sonde [8]

Möchte man eine Sonde in einen polaren Orbit um die Sonne bekommen, benötigt man sehr viel Energie (d.h eine sehr hohe Geschwindigkeit der Sonde). Da man diese enorme Energiemenge nicht aufbringen kann, um die Sonde direkt von der Erde in eine solche Umlaufbahn zu katapultieren, bedient man sich der Gravitationsschleuder Jupiter. ULYSSES' Reise in der Ekliptikebene zu Jupiter dauerte ca. 16 Monate. Am 8. Februar 1992 um 12:02 UT stand die Sonde dem Riesenplaneten am nächsten.

¹ 1977 publizierten Munro und Jackson ein wichtiges Paper über die Beschleunigung des Sonnenwindes in koronalen Löchern. Munro, R.H., Jackson, B.V: *Physical properties of a polar coronal hole from 2 to 5 Rs*, *Astrophys. J.*, 213, 874-886, 1977.

² vgl. Lallement, R., Holzer, T.E. and Munro, R.H.: *Solar wind expansion in a polar coronal hole: inferences from coronal white light and interplanetary Lyman alpha observations*, *J. Geophys. Res.*, 91, 6751-6759, 1986

3. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

Mit Hilfe des „Gravity assist“ sollte ULYSSES nun aus der Ekliptik hinausgeschleudert werden. Um gleich zwei Fliegen mit einem Schlag zu fangen, sammelte ULYSSES gleich auch von Jupiter Daten. Untersucht wurde vor allem die Magnetosphäre und der Plasmatorus um die Umlaufbahn des Jupitermond Io (IPT = Io Plasma Torus), durch den die Sonde durchgetreten ist.

Juni 1994 erreichte ULYSSES den Südpol der Sonne, der Durchgang durch die Ekliptik erfolgte im Februar 1995 und im September 1995 befand sich ULYSSES über dem Nordpol der Sonne. Die kleinste Entfernung von der Sonne beträgt ca. 200 Millionen km, der Abstand von der Ekliptik ist maximal 350 Millionen km. Die 5-jährige Mission ist damit beendet. Kehrt ULYSSES im Jahr 2002 wieder zu den Polregionen der Sonne zurück, ist die Energieversorgung wahrscheinlich schon sehr schwach.

Die Energieversorgung erfolgt bei ULYSSES wie bei GALILEO durch einen thermoelektrischen Radioisotopengenerator. Die bei Zerfall von Plutonium-238 gebildeten α -Teilchen bleiben im Plutonium stecken und erzeugen dadurch Wärme. Diese Wärme wird thermoelektrisch in Strom umgewandelt.

3 Die Mission: Ausrüstung und Experimente

3.1 Daten und Aufbau der Sonde

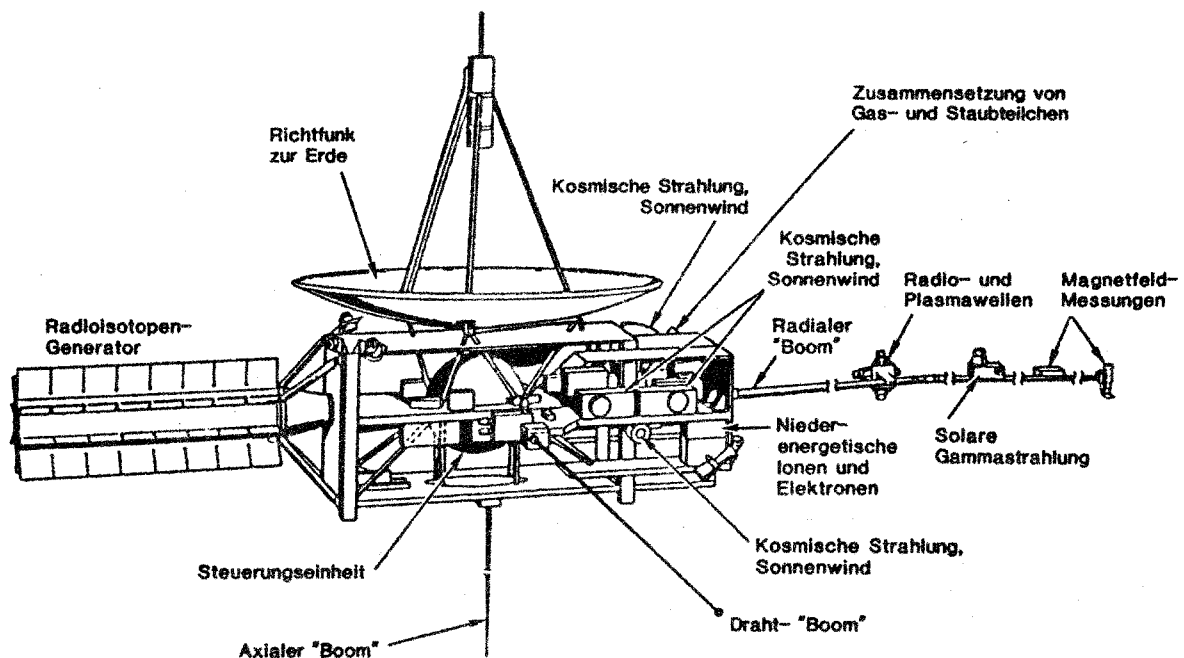


Abb. 3: Schematischer Aufbau von ULYSSES [8]

Wichtige Daten zur Sonde

Gesamtgewicht:	370 kg
Nutzlast:	55 kg
in der GPHS ³ :	10,75 kg Plutonium Dioxid
Größe:	3,2 × 3,3 × 2,1 m ³
Richtfunkantenne Ø:	1,5 m
Radialer Boom:	5 m

³ GPHS = General Purpose Heat Source

4. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

3.2 Instrumente und Experimente

Durch die Kooperation von NASA und ESA sind rund 47 Institute aus 12 Ländern an der Auswertung der Experimente beteiligt.

Sonnenwind-Plasma-Experiment (SWOOPS)

Dieses Experiment ist ausgerüstet mit elektrostatischen Analysatoren, die eine Messung der Energieverteilung (bzw. Geschwindigkeitsverteilung) geladener Teilchen zulassen. Detektiert werden die Teilchen mit Hilfe von Kanalelektronenvervielfachern (CEMs = channel electron multipliers). Der detektierte Energiebereich der Elektronen reicht von 0,86 - 814 eV, jener der Ionen reicht von 255 eV - 34,4 keV pro Ladung. Die Messungen der Eigenschaften des interplanetaren Plasmas lassen Schlüsse auf Dichte und Geschwindigkeitsprofil des Sonnenwindes zu. Leiter dieses Projekts ist S. J. Bame von den National Laboratories Los Alamos.

Sonnenwind-Ionenzusammensetzungsspektrometer (SWICS)

Hiermit soll eine chemische - und eine Ladungszusammensetzung, damit auch die Temperaturen und Geschwindigkeiten der im Sonnenwind vorhandenen Ionen (von H bis Fe) gemessen werden. Im wesentlichen wird in diesem Experiment die Flugzeit-spektroskopie (TOF = time of flight) eingesetzt. Mit Hilfe dieses Instrumentes verspricht man sich einige Informationen über den Prozeß der Beschleunigung des Sonnenwindes, das Aufheizen der Korona, die Schwankungen in der Ionenzusammensetzung und Plasmaeigenschaften in der Jupitermagnetosphäre. Dieses Projekt ist eine Kooperation von USA und Schweiz. Die „Principal Investigators“ sind G. Gloeckler von der University of Maryland und J. Geiss von der Universität Bern.

Magnetometer

Die ULYSSES Magnetfeldmessungen verwenden zwei voneinander unabhängige Detektorsysteme: ein Fluxgate-Magnetometer und ein Vektor-Helium-Magnetometer. Fluxgate-Sensoren werden vor allem für eine Messung sehr kleiner Feldstärken von $0,1 - 10^6$ nT eingesetzt. Das Prinzip der Messung beruht auf der Umwandlung eines Magnetfeldes in ein elektrisches Feld, wobei der Sensor jedoch immer ein Referenzfeld (Eichung) verwendet. Beim Vektor-Helium-Magnetometer beruht der Nachweis des Magnetfeldes auf seinem Einfluß auf das optische Pumpen von Helium. Die Empfindlichkeit beider Systeme zusammen reicht in den Pikotesla (pT) Bereich. Mit dem Experiment beauftragt wurde A. Balogh vom Imperial College London.

Radio- und Plasmawellen

Dieses Experiment besteht aus einer elektrischen Feldantenne (Spannweite 72,5 m) sowie einer senkrecht dazu stehenden 7,5 m Antenne und detektiert Wellen bis zu einer Frequenz von 1MHz. Detektiert werden einerseits Richtung und Polarisation von Radioquellen in der Heliosphäre aber auch in der Magnetosphäre von Jupiter. Andererseits liefert es Daten zur Untersuchung von Plasmawellenphänomenen. Geleitet wird das Experiment von R. G. Stone vom Goddard SFC.

Röntgenflares und Gammabursts

Das Sensorsystem besteht aus zwei CsI-Szintillatoren mit zwei Si-Dioden-Detektoren. Der Cäsiumiodid-Kristall beginnt nach der Absorption von Röntgenphotonen die aufgenommene Energie in Form von optischen Photonen zu emittieren, welche durch die Si-Dioden detektiert werden. Bei der Datenauswertung können im Vergleich mit Ergebnissen anderer Satelliten auch Gammabursts von fernen Neutronensternen nachgewiesen werden. Die Principal Investigators für dieses Experiment sind K. Hurley (UCB, USA / CESR, Toulouse) und M. Sommer (MPI für extraterrestrische Physik, Garching).

Experiment für energetische Partikel (EPAC)

Das Experiment ist ausgestattet mit einem Sensor, der über Energiefluß, Winkelverteilung, Energiespektrum und Ionenzusammensetzung Auskunft geben soll.

5. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

Diese Einrichtung erfaßt Partikel in einem Energiebereich von 300 keV - 25 MeV. Man erwartet sich eine Analyse des lokalen interstellaren Mediums. Geleitet wird das Experiment von E. Keppler vom MPI für Aeronomie in Lindau.

Untersuchung der kosmischen Strahlung und solarer Partikel (COSPIN)

Mit Hilfe von 6 gruppierten Teleskopen soll Energie, Intensität und Zusammensetzung der kosmischen Strahlung gemessen werden. Erfasst wird für Protonen, α -Teilchen und schwere Ionen bis Ni ein Energiebereich von 0,5 - 600 MeV. Elektronenmessungen werden in einem Bereich von 2,5 - 6000 MeV durchgeführt. Die Ziele dieser Untersuchung betreffen einerseits solare Partikel, die in interplanetaren Schocks nachbeschleunigt wurden, andererseits eine Elementanalyse der kosmischen Strahlung. Den Vorsitz für dieses Projekt führt J. Simpson (University of Chicago).

Untersuchung der Heliosphäre niedriger Energien (HISCALE)

In diesem Experiment werden die Messungen für niederenergetische Ionen und Elektronen zusammengefaßt. Mit Hilfe von 5 einzelnen Detektorteleskopen wird Spektrum und Zusammensetzung von Partikelströmen im Bereich einiger keV gemessen. Geleitet wird die Untersuchung von L. Lanzerotti (Bell Laboratories).

Staubzähler

Das Instrument mit einem Durchmesser von 44 cm beobachtet Staubkörner (Massen: 10^{-16} bis 10^{-6} g). Physikalische und dynamische Eigenschaften können als Funktion des Sonnenabstands gemessen werden. Von besonderem Interesse sind Änderungen in der „Staubdichte“ in Abhängigkeit von Kometen und Asteroiden. E. Grün vom MPI für Kernphysik in Heidelberg leitet das Experiment.

Gravitationswellen-Experiment

Bei diesem Experiment dient die Sonde als Probekörper im Raum. Die sehr kleinen Schwankungen, die ULYSSES durch Gravitationswellen erfährt, machen sich im SONDENSIGNAL als Dopplereffekt bemerkbar. Das Experiment wird in Jupiter- und Sonnennähe durchgeführt. Zuständig für das Experiment ist B. Bertotti von der Universität Padua.

Sonnenkorona-Experiment

Hiermit soll die Elektronenverteilung der Sonnenkorona gemessen werden. Das geschieht mit Hilfe der sogenannten „coronal-sounding“ Technik, d.h. am Funksignal werden Dopplermessungen vorgenommen, die durch den Einfluß der Elektronen zustande kommen. Das Flugmanöver bei Jupiter kann dazu genutzt werden, die Elektronenverteilung im Plasmatorus von Io zu bestimmen. Principal Investigator ist H. Volland von der Universität Bonn.

4 Ergebnisse

4.1 Sonne

Wesentliches Ziel der ULYSSES Mission war die *Erforschung der Sonnenkorona im Aktivitätsminimum* - darunter eine *Messung der Sonnenwindgeschwindigkeit* und der *Zusammensetzung* des Sonnenwindes.

Sonnenwindgeschwindigkeit

Als entscheidendes Ergebnis der Messungen erhält man zwei Typen von Sonnenwinden: einerseits einen Hochgeschwindigkeitsteilchenstrom ($750 - 800 \text{ kms}^{-1}$) von niedriger Dichte aus den polaren Regionen, andererseits einen etwas gemächlicheren Sonnenwind ($400 - 450 \text{ kms}^{-1}$) dafür von hoher Dichte aus der Äquatorregion.

6. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

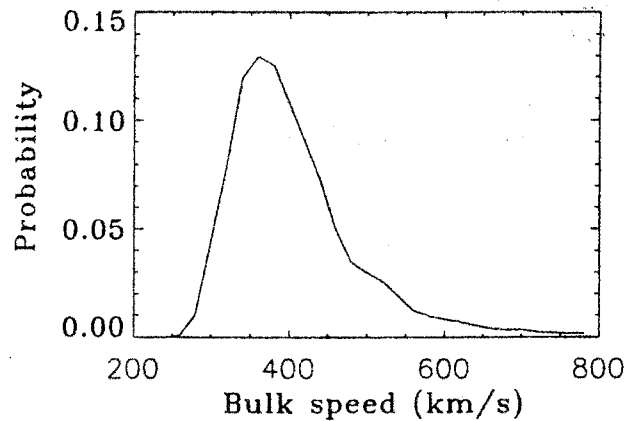


Abb.4: Geschwindigkeitsverteilung aus dem SWOOPS Experiment in 1,1 - 3,3 AE Entfernung von der Sonne in der Ekliptik. [7]

Die Hochgeschwindigkeitsteilchenströme in den höheren Breiten zeichnen sich durch eine 'einheitliche' Geschwindigkeit über 750 km s^{-1} ohne stärkere Fluktuationen aus, was ca. um 200 km s^{-1} höher ist als vorausgesagt wurde. Es konnte übrigens auch keine kontinuierliche Geschwindigkeitszunahme zu den Polen hin festgestellt werden, wie man ursprünglich vermutete. Als Quelle des Hochgeschwindigkeitswindes konnten koronale Löcher ausgemacht werden. Von dort stößt der Sonnenwind 'ungebremst' in den interplanetaren Raum vor und dominiert im interplanetaren Raum während eines Sonnenzyklusminimums. Der Sonnenwind wurde Ende der 40er - Anfang der 50er Jahre von Ludwig Biermann anhand der von der Sonne abgewandten Kometenschweife postuliert. Ein erster theoretischer Ansatz mit jedoch sehr vereinfachten Annahmen folgte von Sidney Chapman. 1958-65 entwickelte schließlich E.N. Parker⁴ ein Modell, das den Sonnenwind als Konsequenz der hohen Koronatemperaturen erklärte. Die Druckkraft des heißen Koronagases kann nicht von der Gravitation im Gleichgewicht gehalten werden.

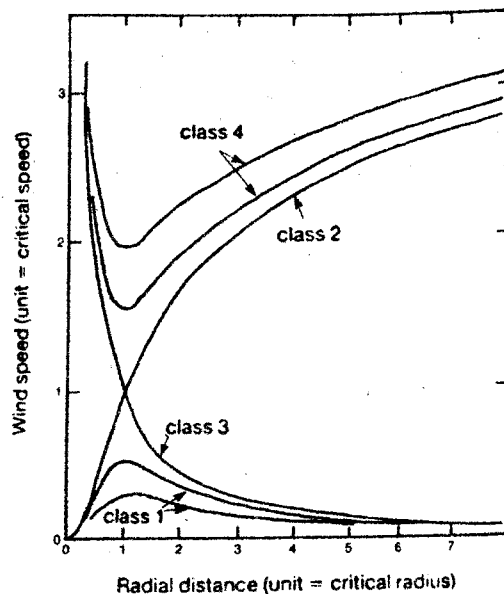


Abb.5: Die vier mathematischen Lösungen für die Sonnenwindgeschwindigkeit aus dem Modell von Parker. Nur die zweite Lösung ist eine korrekte Beschreibung der realen Verhältnisse für alle Entfernungen. [3]

⁴ Parker, E.N.: *Dynamical theory of the solar wind*, Space Sci. Rev., 4, 666-708, 1965

7. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

ULYSSES-Messungen zeigen die Geschwindigkeit des aus den Polregionen stammenden Sonnenwindes in Abhängigkeit der Entfernung (Einheit in Sonnenradii R_S). Zu bemerken ist für den Hochgeschwindigkeitswind:

- ✗ rasche Beschleunigung: d.h. Endgeschwindigkeit ist ab $10 R_S$ erreicht
- ✗ Für die hohe Geschwindigkeit von 800 km s^{-1} ergibt sich für Protonen eine hohe Temperatur von 10^7 K .

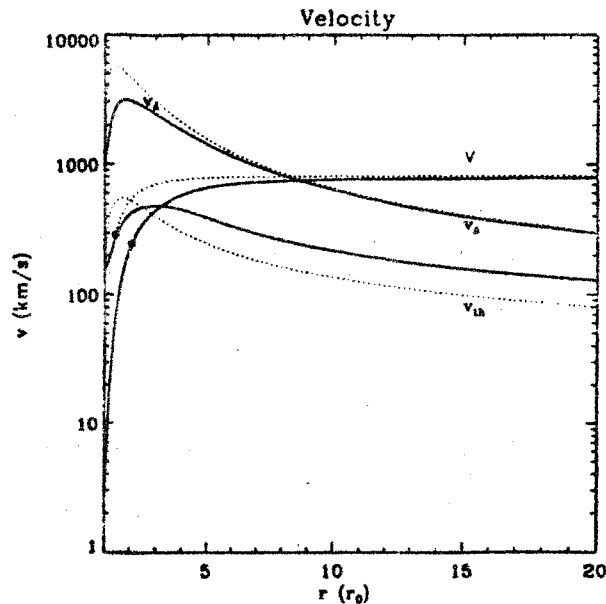


Abb.6: Sonnenwindgeschwindigkeitsmodell aus ULYSSES Daten [7]

Teilchenflußdichten - Beschleunigung des Sonnenwinds

Messungen des Sonnenwindplasma-Experiments von ULYSSES ab Ende 1993 konnten das Problem der Beschleunigung des Sonnenwinds klären (Problem von Munro, Jackson). Die hohen gemessenen Teilchenflußdichten sind ein Indiz dafür, daß die Sonnenwindbeschleunigung nicht allein durch die klassische Wärmeleitung erklärt werden kann: Zur Erklärung wird ein nicht-thermaler, sich über mehrere Sonnenradii streckender Energiefluß vorgeschlagen.⁵ Ein Merkmal der Hochgeschwindigkeitsströme in hohen heliographischen Breiten ist ihre niedrige Teilchenflußdichte im Vergleich zum äquatorialen Sonnenwind. Sie beträgt im Mittel $2 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (normiert auf eine Entfernung von 1 AE).

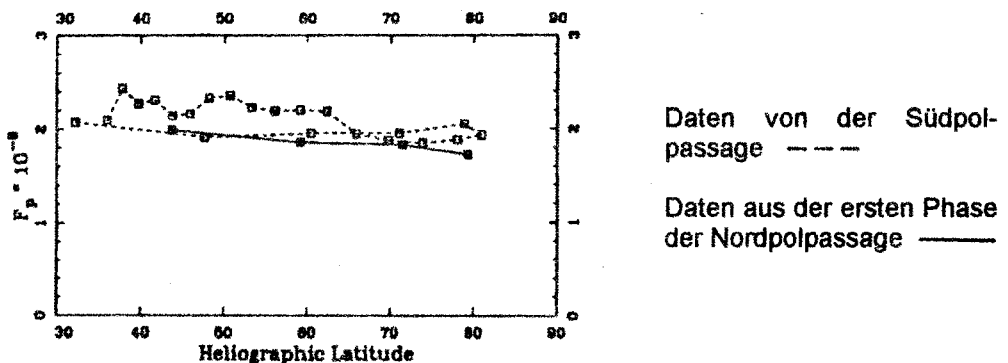


Abb.7: Protonenflußdichte Ende 1993 bis Mitte 1995 als Funktion der heliographischen Breite [7]

⁵ Barnes, A., Gazis, P. R., Phillips, J. L.: *Constraints on Solar Wind Acceleration Mechanisms from Ulysses Plasma Observations: The First Polar Pass*, Geophys. Res. Lett., 22, 3309-3311, 1995

8. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

Die in dieser Abbildung leicht zu erkennenden Hochgeschwindigkeitsspitzen innerhalb einer Breite von $\pm 20^\circ$ korrespondieren mit der magnetischen Polarität von koronalen Löchern. Überdies konnte ULYSSES keine Asymmetrie feststellen: südliche sowie nördliche Breiten weisen bezüglich der Teilchenflußdichten übereinstimmende Ergebnisse auf.

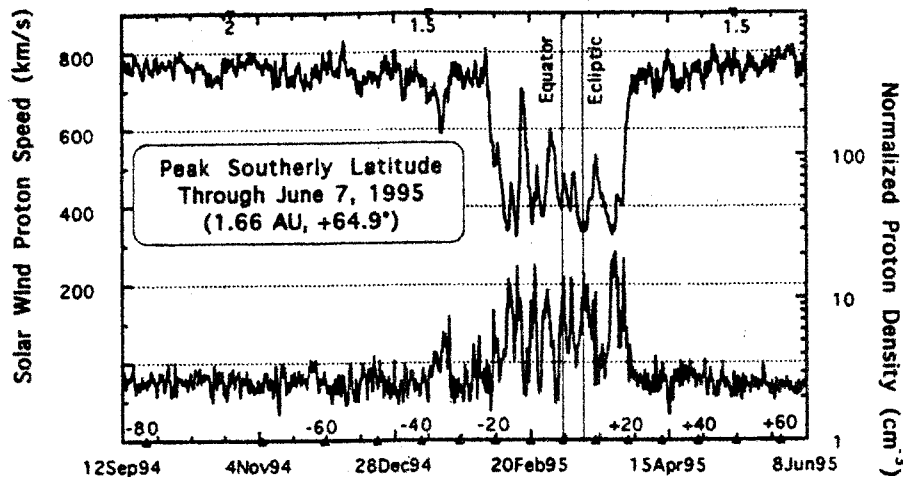


Abb.8: Protonengeschwindigkeit und -dichte (renormiert auf 1AE) [7]

Ursprung des Sonnenwinds - Koronale Löcher

Die Daten über den Sonnenwind aus der ULYSSES Mission wurden mit Beobachtungen von YOHKOH aus dem Röntgenbereich verglichen. Betrachtet man eine Röntgenaufnahme der Sonne, so erkennt man Regionen maximaler (helle Bereiche) und minimaler (dunkle Bereiche) Röntgenemission, welche *koronalen Löcher* genannt werden. In diesen Bereichen ist die Dichte des Koronagases niedriger; Die strahlende Materie ist in den Weltraum entwichen. Das hängt eng mit der Struktur der magnetischen Feldlinien zusammen. Die Feldlinien im Bereich koronaler Löcher reichen weit in den Raum hinein.

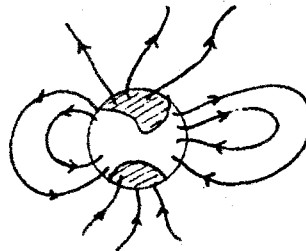


Abb.9: Koronale Löcher und Magnetfeldlinien

Ende der 70er Jahre versuchte man erstmals eine Klassifikation der koronalen Löcher aus Röntgenbeobachtungen zu geben. Grob gesprochen unterscheidet man zwischen polaren und isolierten koronalen Löchern. Weiters gibt es sehr flüchtige, kleine - sogenannte „Eintags-“ koronale Löcher. Die polaren koronalen Löcher haben eine Lebensdauer von 9 bis 10 Jahren und erreichen ihre größte Ausdehnung (bis zu $\pm 60^\circ$ Breite) während des Minimums eines Sonnenzyklus. Steigt die Sonnenfleckenaktivität wieder an, schrumpft das Gebiet niedriger Plasmadichte - d.h. die Grenze des koronalen Loches wandert Richtung Pol. Das Ergebnis der ULYSSES Mission zeigt:

- ✗ Der Ursprung des Hochgeschwindigkeitswind wird nun direkt mit polaren koronalen Löchern assoziiert.
- ✗ Für den Ursprung des etwas langsameren Sonnenwindes sind zeitliche Schwankungen in der Magnetfeldstruktur verantwortlich.
- ✗ Das interplanetarische Magnetfeld ist weniger dipolähnlich als das Magnetfeld auf der Sonnenoberfläche.

9. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

Magnetische Löcher

Magnetische Löcher sind kurze Schwächen (einige Sekunden) in der Magnetfeldstruktur des Sonnenwindes und werden von Plasmawellenausbrüchen (Langmuir) begleitet, wie ULYSSES zeigen konnte.

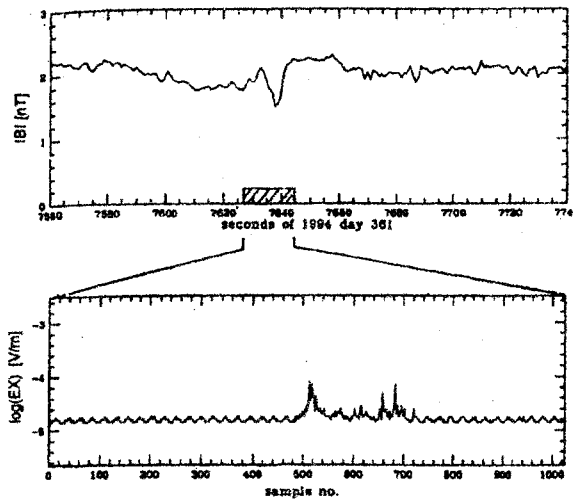


Abb.10: Magnetfeldstärke im Sonnenwind und ein kurzer Ausbruch von Langmuirwellen in einem magnetischen Loch [7]

Neue magnetische Schleifen in CMEs ⁶

In der Nähe koronaler Massenausbrüche (CMEs) werden die Magnetfeldlinien zu Schleifen geformt. Diese Tatsache ist ein Hinweis auf die Wiederverbindung von Feldlinien. Die Magnetfeldstruktur eines CMEs wirkt verschnürt und ist daher nur im 3-Dimensionalen wirklich anschaulich. Die ULYSSES Mission konnte hierfür Daten liefern: Mit Hilfe von Messungen von suprathemalen Elektronen (> 60 eV), die entlang den Feldlinien aus der Korona strömen, erhält man einen Einblick in die Topologie des Magnetfeldes in CMEs.

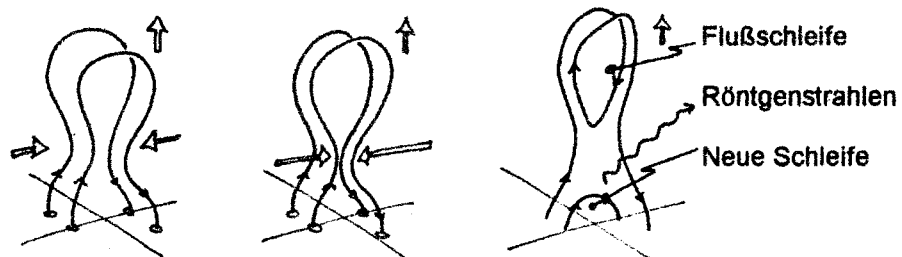


Abb.11: Skizze zur Topologie der Wiederverbindung eine Magnetfeldlinie

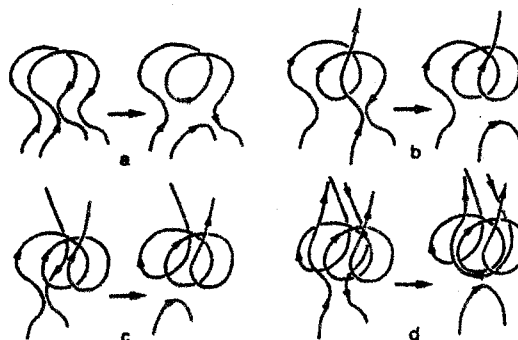


Abb.12: Sukzessive Änderung des Magnetfelds durch Wiederverbindung [7]

⁶ Vgl dazu: Gosling, J.T.: *Magnetic topologies of coronal mass ejections events: Effects of 3-dimensional reconnection*. In: Solar Wind 8

Struktur und Dynamik - CIRs, CMEs

Im quasistationären Sonnenwind in der Nähe der Ekliptik formen sich mitrotierende Wechselwirkungsregionen (CIRs = co-rotating interaction regions), wo der Hochgeschwindigkeitssonnenwind von den koronalen Löchern die langsameren Teilchenströme überholt. An den Enden dieser Zonen konnte ULYSSES Schockwellen feststellen.

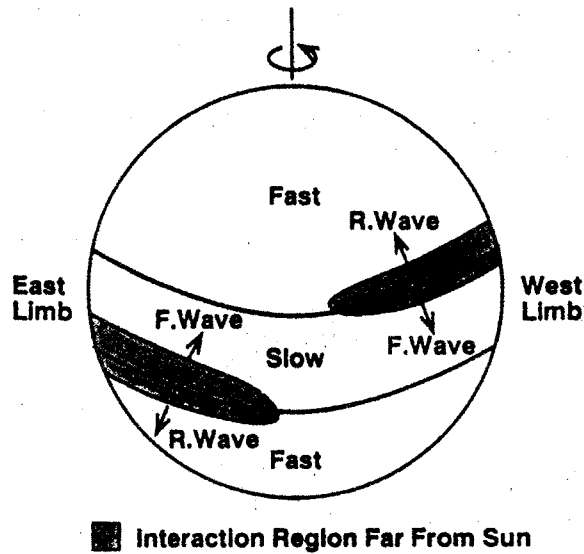


Abb.13: CIRs - Wechselwirkungsregionen zwischen dem schnellen polaren und dem langsamen äquatorialen Sonnenwind und Fortpflanzungsrichtungen der resultierenden Schockwellen. [7]

Ab einer heliographischen Breite von 60° konnten keine CIRs mehr festgestellt werden, jedoch detektierte das Low-Energy Telescope (LET) des COSPIN Experiments bis in Breiten von 70° weiterhin niederenergetische Ionen (< 19 MeV), die in den CIRs beschleunigt wurden. Auch die galaktische kosmische Strahlung wurde bis zu den höchsten Breiten (80°) bei der Sonnenrotationsfrequenz moduliert. Eine Erklärung der Daten wäre, daß sich die Schockwellen mit zunehmender Entfernung von der Sonne in höhere Breiten propagieren.

Teilchen von nicht mitrotierender Natur in den höheren Breiten wurden ebenfalls mit Ereignissen und Beobachtungen in der Ekliptik verglichen. Messungen von Protonen (1,2 - 3 MeV) durch das LET zeigen, daß die Teilchenintensität über den Gebieten der coronal mass ejections (CMEs) ansteigt, ganz im Gegensatz zu der Intensität in der Ekliptik.

Korona

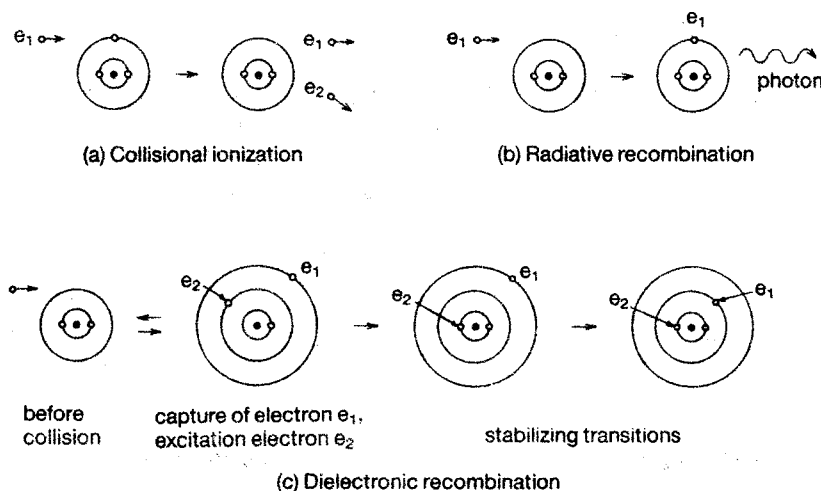


Abb.14: Ionisationsprozesse in der Korona [3]

11. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

Aus Spektralanalysen ist seit den 40er Jahren bekannt, daß die Elemente in der Korona in einem hochionisierten Zustand vorliegen (Fe X, Fe XIV, Ca XV beispielsweise zeigen Linien im sichtbaren Licht). Im Vergleich mit Chromosphärenspektren erkennt man, daß die Koronatemperatur weit höher sein muß als Temperaturen, die in der Chromosphäre herrschen.⁷ Durch die extremen Temperaturen und den hohen Ionisierungsgrad strahlt die Korona größtenteils außerhalb des sichtbaren, im UV- und Röntgenbereich.

Die von ULYSSES erfaßten Element-Zusammensetzungen zeigen Unterschiede zwischen dem polaren Sonnenwind und jenem aus den äquatorialen Gebieten. Ein Ergebnis des SWICS Experiments zeigt die Geschwindigkeit der α -Teilchen und das Mg/O-Verhältnis, das als Näherung für die Stärke der ersten Ionisierungsenergie gilt. Beide Parameter zeigen Abhängigkeit von der heliographischen Breite.

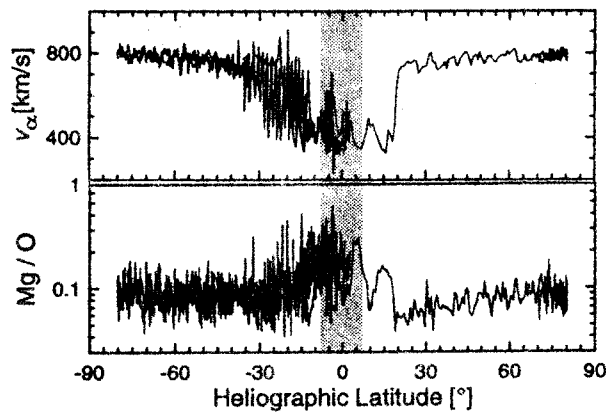


Abb.15: Ergebnis aus dem SWICS Experiment [7]

Ionisation bzw. Rekombination, also die Anzahl der gebildeten Ionen in der Korona, ändert sich mit der Temperatur. Bei Anstieg der Temperaturen wird der Anteil an hochionisierten Teilchen eines Elements größer. Die Zusammensetzung des Sonnenwindes hängt also sehr stark von der Temperatur der Sonnenatmosphärenschichten zusammen.

Aufheizen der Korona

Hierfür gibt es zwei vorgeschlagene Modelle, die die hohen Temperaturen in der Korona erklären. Sie unterscheiden sich in den Prozessen, die für die Energiedissipation verantwortlich gemacht werden:

- X MHD = magnetohydrodynamischen Wellen (Alfvén Wellen)
- X elektrische Ströme, die bei der Wiederverbindung von magnetischen Feldlinien entstehen

Magnetfeldlinien in einem heißen Plasma neigen zu Wellenbewegungen (MHD). Ein Sonderfall dieser magnetohydrodynamischen Wellen sind die Alfvén Wellen. Wird eine Magnetfeldlinie im Plasma seitlich verschoben, so resultiert daraus ein Spannungszustand, der dazu tendiert, die ursprünglichen Zustand wiederherzustellen.

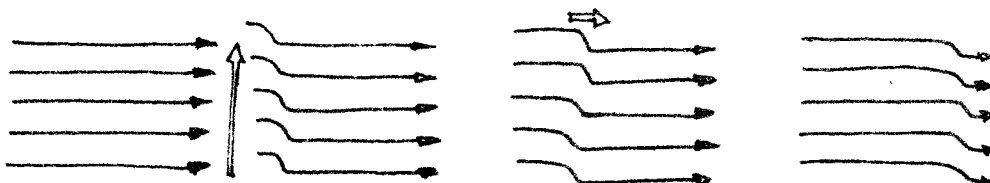


Abb.16: Ausbreitung einer „Verschiebung“ der Magnetfeldlinien im Plasma

⁷ Zum Beispiel sieht man anhand Fe XIV, daß dieser Ionisierungsgrad dann erst möglich ist, wenn eine bestimmte Energie vorhanden ist - also eine Temperatur im Bereich von 1 Million Kelvin.

12. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

Dabei propagiert diese „Verschiebung“ mit einer bestimmten Geschwindigkeit (Alfvén-Geschwindigkeit). Ist die Verschiebung eine periodische Bewegung der Magnetfeldlinie, dann resultiert daraus eine Welle.

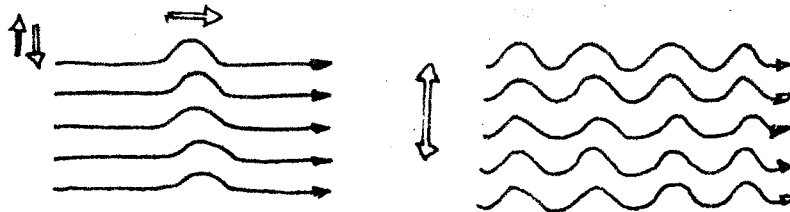


Abb.17: Entstehung von Alfvén-Wellen im Plasma

Das Plasma ist zwar durch den hohen Ionisierungsgrad ein ausgezeichneter elektrischer Leiter, doch bei Vorhandensein eines Widerstandes geben sowohl Wellen als auch elektrische Ströme Energie ab, was wiederum zu einer Erwärmung führt.

Alfvén-Wellen

Die ULYSSES-Daten aus den Magnetfeldmessungen und dem SWOOPS-Experiment zeigen, daß die Alfvén-Wellen in den Polregionen der Sonne unerwartet starke Auswirkungen auf die kosmische Strahlung haben. Bis vor kurzem dachte man noch an einen einfachen Eintritt der galaktischen kosmischen Strahlung in die innere Heliosphäre: Diffusion, adiabatische Kühlung und Drift in das interplanetarische Magnetfeld. ULYSSES' Daten zeigen hier Gegenteiliges! Mit neuen Modellen des Magnetfelds hofft man nun die Eintrittsgeschwindigkeit der kosmischen Strahlen zu erniedrigen. ULYSSES beobachtete außerdem Alfvén-Wellen mit hohen Amplituden und Wellenlängen in der Größenordnung jener der kosmischen Strahlung. Eine Resonanzwechselwirkung würde Teilchen daran hindern, in die innere Heliosphäre zu gelangen.

4.2 Jupiter und Io: Wechselwirkungen mit dem Sonnenwind

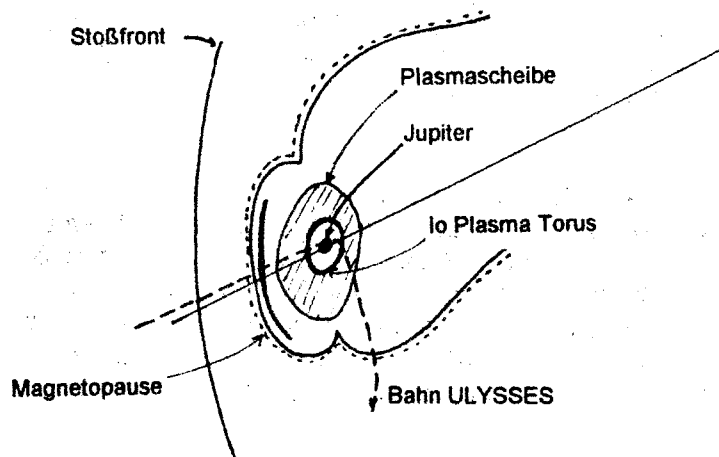


Abb.18: ULYSSES bei Jupiter

Elektronen und Ionen von Io, Jupiter und Sonnenwind werden durch die Magnetosphäre transportiert und dabei beschleunigt, was zu einer Ausbildung eines Strahlungsgürtels führt. Weiter außerhalb bildet sich eine Schockfront (bow shock), die den ankommenden Sonnenwind bremst und ihn teilweise um die Magnetosphäre ablenkt.

Magnetfeld

Magnetfeldmessungen und das SWOOPS Experiment von ULYSSES zeigen das dipolare Feld in Abhängigkeit der Entfernung von Jupiter. Zwei Bereiche sind zu erkennen: eine innere Magnetosphäre mit einem Feld von bis zu 10^3 nT und eine äußere Magnetosphäre,

13. Fortsetzung Referat: Die Mission ULYSSES

in der das Feld Werte bis zu 10 nT annimmt. Die Schockfront (bow shock) befindet sich ca. bei $113 R_{\text{Jupiter}}$. Sie bildet sich aus der Tatsache, daß sich Jupiter mit seiner Magnetosphäre relativ zum Sonnenwind schneller als die Schall- oder die Alfvéngeschwindigkeit bewegt. Die äußere Grenze der Magnetosphäre liegt bei ca. $110 R_{\text{Jupiter}}$, wie die steile Abnahme der Magnetfeldstärke in der Skizze zeigt.

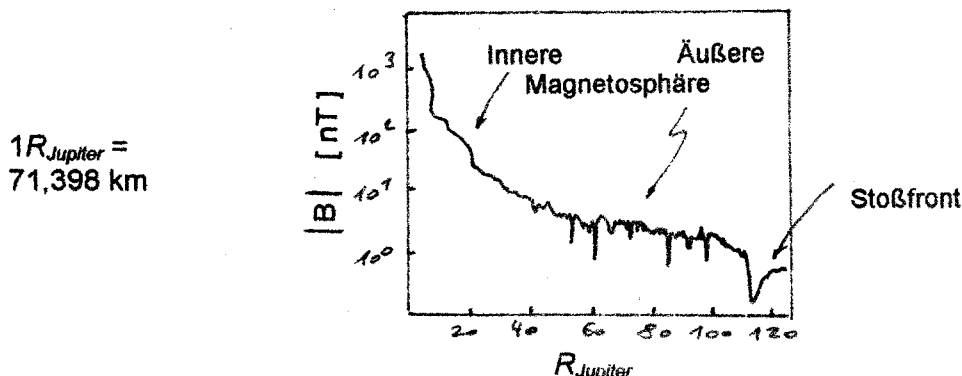


Abb.19: Skizzierter Feldverlauf in Abständen R_{Jupiter} vom Jupiter.

ULYSSES Beobachtungen zeigen, daß diese signifikanten Grenzen (bow shock und magnetopause) von den Sonnenwindeigenschaften abhängig sind. Dies war vorherzusehen und ist ein Hinweis auf die Elastizität der Jupiter-Magnetosphäre. In höheren Breiten wird die Wechselwirkung des Sonnenwindes mit dem Magnetfeld Jupiters immer stärker.

Plasmatorus von Io (IPT)

Der Plasmatorus um die Io-Umlaufbahn war Zentrum des Interesses während des Jupiter-vorbeiflugs. Der IPT enthält größtenteils Schwefel- und Sauerstoffionen, die ihren Ursprung in der Vulkanaktivität des Jupitermondes haben. Emissionen aus diesem Torus (die allerdings schon vor VOYAGER beobachtet wurden) sind wahrscheinlich der Hauptlieferant für das Plasma in der Magnetosphäre. Messungen der Elektronendichte im IPT stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der VOYAGER Mission überein. In jenen Regionen allerdings, in die VOYAGER nicht, dafür aber ULYSSES vorgedrungen ist, konnten Asymmetrien in der longitudinalen Plasmaverteilung festgestellt werden.

Plasma

Das Plasma in Jupiters Magnetosphäre wurde vom SWICS und vom URAP Experiment untersucht. Ladungszustand und Zusammensetzung des Plasmas besitzen drei Quellen: Jupiter selbst, seinen Mond Io und den Sonnenwind. In den äußeren Regionen des IPT konnten diskrete Quellen der Narrow-band-kilometric Strahlung (nKOM) ausgemacht werden. Die von VOYAGER detektierten Jupiter III-Typ Ereignisse (radio bursts) konnten von ULYSSES nachgewiesen werden - in den Radiospektren von Jupiter prominent. Auch konnten periodische Ausbrüche im Spektrum der MeV-Elektronen beobachtet werden.

Literatur

- [1] Kippenhahn, Rudolf: *Der Stern, von dem wir leben*. dtv 1993
- [2] Mitton, Simon, ed.: *Cambridge Enzyklopädie der Astronomie*. Orbis Verlag 1989
- [3] Phillips, Kenneth J.H.: *Guide to the Sun*. Cambridge University Press, reprinted 1995
- [4] Simnett, G.M., Alissandrakis, C.E., Vlahos, L., eds.: *Solar and Heliospheric Plasma Physics*. Proceedings, Halkidiki, Greece, Springer 1996
- [5] Tayler, Roger J.: *The Sun as a Star*. Cambridge University Press, 1997
- [6] Trotter, G., ed.: *Coronal Physics from Radio and Space Observations*. Proceedings Nonan Le Fuzelier, France, Springer 1996
- [7] Winterhalter, D., Gosling, J.T., Habbal, S.R., Kurth, W., Neugebauer, M., eds: *Solar Wind 8*. Proceedings of the Eight International Solar Wind Conference, Dana Point, CA, June 1995
- [8] Fischer, Daniel: *Ulysses unterwegs. Die Mission zu den Polen der Sonne*. SuW 2/91, S.96-100
- [9] Johnson, T.V., Soderblum, L.A.: *Io*. In: Planeten und ihre Monde, Spektrum der Wissenschaft 1988
- [10] <http://ulysses.jpl.nasa.gov>

Referat: Mit Galileo zum Jupiter

Dieses Referat behandelt unsere Kenntnisse Jupiters, des Jupitersystems und die Mission der Raumsonde Galileo zum Jupiter.

1 Jupiter und das Jupitersystem vor Beginn der Raumfahrtforschungen

1.1 Tabelle: Die Bahn von Erde und Jupiter um die Sonne:

	Erde	Jupiter
Mittlerer Abstand von der Sonne	1,000 AE = 149,6 Mio. Kilometer	5,203 AE = 778 Mio. Km
Abstand in Sonnennähe (Perihel)	0,983 AE = 147,1 Mio. Km	4,951 AE = 741 Mio. Km
Abstand in Sonnenferne (Aphel)	1,017 AE = 152,1 Mio. Km	5,455 AE = 816 Mio Km
Bahnexzentrizität	0,016	0,048
Umlaufzeit um die Sonne	1 Jahr = 365,24 Tage	11,86 Jahre
Bahnneigung gegen die Erdbahnebene	---	1,30°
Mittlere synodische Umlaufzeit (Zeit zwischen den Oppositionen)	---	398,9 Tage

AE = Astronomische Einheit (1 AE = 149,6 Millionen Kilometer ist nahezu gleich der mittleren Entfernung Erde-Sonne)

1.2 Tabelle: Physische Kenngrößen von Erde und Jupiter im Vergleich

	Erde	Jupiter
Äquatordurchmesser	12.756 Kilometer	142.984 Kilometer = 11,2mal Erde
Poldurchmesser	12.714 Kilometer	133.792 Kilometer
Umdrehungszeit	23h56m04s	System I: 9h50m30s System II: 9h55m40s System III: 9h55m30s (*)
Neigung des Äquators zur Bahnebene	23,44 Grad	3,12 Grad
Masse	$5,974 \times 10^{24}$ kg	$1,899 \times 10^{27}$ kg = 318mal Erde
Dichte	$5,52 \text{ g/cm}^3$	$1,32 \text{ g/cm}^3$
Oberflächenschwerkraft	1,00 g	2,69 g
Mittlere geometrische Albedo	0,37	0,70

(*) System III ist die Umdrehungszeit des tiefen Jupiterinneren. Die Rotationszeit der äußeren Wolken in Äquatornähe wird als System I, in höheren Breiten als System II bezeichnet.

1.3 Kurze Geschichte der Beobachtung des Jupitersystems

Galileo Galilei beobachtete als erster Jupiter mit einem Fernrohr im Januar 1610. Sein Fernrohr war zu klein, um Einzelheiten auf dem Planeten zu sehen. Er entdeckte aber die vier großen Jupitermonde Io, Europa, Ganymed und Kallisto, die ihm zu Ehren die Galilei'schen Jupitermonde genannt werden. Seine Beobachtung kann heute mit einem guten Fernglas (z.B. 10x50) nachvollzogen werden. Nach ihm ist die Raumsondenmission, die Thema dieses Referats ist, benannt.

Mit der Verbesserung der Fernrohre im 17. Jahrhundert wurden immer mehr Einzelheiten des Jupitersystems erkannt:

- 1630 beschrieb Niccolo Zucchi erstmals die dunklen Streifen auf der Jupiterscheibe
- 1643 beobachtete G. Riccioli den Durchgang eines Jupitermondschattens auf der Jupiterscheibe
- 1664/65 beobachteten Robert Hooke in England und Guiseppe Campani in Rom erstmals Einzelflecken auf Jupiter
- 1665-1694 beobachtete G.D.Cassini in Paris Jupiter. Er sah über viele Jahre einen markanten dunklen Fleck. Das könnte der 1879 erstmals beobachtete berühmte Große Rote Fleck Jupiters gewesen sein (es kann aber auch ein Vorläufer oder gar ein anderer Fleck gewesen ein).

Cassini entdeckte auch die Abplattung Jupiters und seine Randverdunkelung. Er beobachtete Veränderungen in der Breite der Streifen und das Entstehen und Verschwinden von Flecken. Daraus schloß er auf eine dichte Atmosphäre, die den Planeten umgibt.

Erst Ende des 18. Jahrhunderts wandten sich die Astronomen wieder intensiver der Oberfläche des Jupiter zu:

- 1777-78 versuchte *Wilhelm Herschel* die Umdrehungszeit des Jupiter durch Zeichnungen und Durchgangsbestimmungen durch den Zentralmeridian zu bestimmen. Er fand sie für verschiedene Flecken unterschiedlich und veränderlich.
- 1785-1797 beobachtete *Johann H. Schröter* in Deutschland Jupiter genau und oft und erkannte unterschiedliche Strömungszonen

In den folgenden Jahren wurde Jupiter immer intensiver beobachtet. Besondere Erkenntnisse über Jupiter waren zum Beispiel:

- 1878-1881 das Erscheinen des *Großen Roten Flecks* als intensiv rote Markierung
- in den 1890er Jahren das Erkennen von mehreren *Strömungssystemen unterschiedlicher Rotationsdauer* und ihre immer bessere Vermessung. Sie erfolgte durch visuelle Beobachtung am Fernrohr, wobei die Durchgangszeiten von Flecken durch den Zentralmeridian gemessen wurden. Daraus kann die Länge und bei wiederholter Beobachtung auch die Längenänderung ziemlich genau ermittelt werden.

1.4 Beobachtung des Jupiter

Ein sehr empfehlenswertes Buch zur *Beobachtung des Jupiter* und den bis 1994 gesammelten Erkenntnissen ist von John H. Rogers von der British Astronomical Association (BAA) erschienen: Lit. 1. Es ist die Fortführung und Erweiterung des "klassischen" Werks von Bertrand M. Peek (Lit. 2).

2. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

Empfehlenswert ist dazu auch das "Taschenbuch für Planetenbeobachter" (Lit. 3) in deutscher Sprache.

Für die *Beobachtung der Jupitermonde* (Konjunktionen und weitere Erscheinungen) verweise ich auf das Amateurprogramm des Österreichischen Astronomischen Vereins (Lit. 4) und die Vorausdaten im Himmelskalender (Lit. 5).

2 Erkundung des Jupitersystems mit Raumfahrzeugen

2.1 Die Pioneer-Vorbeiflüge 1973 und 1974

Die erste Jupitererkundung aus der Nähe gelang den beiden Pioneer-Sonden:

	Pioneer 10	Pioneer 11
Start der Sonde	1972 Mar. 3	1973 Apr. 5
Vorbeiflug am Jupiter Entfernung	1973 Dez. 4 130.000 Kilometer	1974 Dez. 3 42.000 Kilometer
Nächste Annäherung an Jupitermonde	Europa, Ganymed und Kallisto (300.000 Kilometer)	---
Weiterflug	---	Saturn (1979 Sep. 1)

Die beiden Sonden gewannen gute Bilder für mehrere Tage vor und nach der Jupiternähe. Besondere Ergebnisse waren u.a.: erste hochaufgelöste Bilder von Jupiter; Erkundung der Magnetosphäre und der Strahlungsgürtel und Entdeckung eines inneren Strahlungsgürtels; erste genaue Beobachtung der Polregion des Jupiter.

2.2 Die Voyager-Sonden bei Jupiter: 1979

Durch stabilisierten Flug, verbesserte Kameras und bessere Computer lieferten die beiden Voyager-Sonden außerordentliche Bilder und Ergebnisse beim Vorbeiflug an Jupiter, die weit über die der Pioneer-Sonden hinausgingen. Für vier Monate um die Jupiternähe herum waren die Bilder besser aufgelöst als mit Fernrohren von der Erde aus.

	Voyager 1	Voyager 2
Start	1977 Sep. 5	1977 Aug. 20
Vorbeiflug an Jupiter	1979 Mar. 4 (277.400 km)	1979 Jul. 9 (650.180 km)
Vorbeiflug an Io	1979 Mar. 4 (20.570 km)	---
Vorbeiflug an Europa	---	1979 Jul. 9 (205.720 km)
Vorbeiflug an Ganymed	1979 Mar. 5 (114.710 km)	1979 Jul. 8 (62.130 km)
Vorbeiflug an Kallisto	1979 Mar. 6 (126.400 km)	1979 Jul. 8 (214.930 km)
Weiterflug	Saturn (1980 Nov. 11)	Saturn (1981 Aug. 25) Uranus (1986 Jan. 24) Neptun (1989 Aug. 24)

Besondere Ergebnisse waren u.a.: Entdeckung der Jupiterringe; Nordlichter, Blitze und Meteore auf der Nachtseite Jupiters; Entdeckung der Io-Vulkane; Einzelheiten auf den Galilei'schen Monden, z.B. auf der Eisoberfläche der Europa.

3 Die Galileo-Mission

Dieser Abschnitt basiert in großen Teilen auf den vorbildlichen Internet-Webseiten der NASA (Lit. 6 und 7).

3.1 Projekt Galileo

So spektakulär die Vorbeiflüge der Voyager-Sonden auch waren, so kann doch eine eingehendere Beobachtung über längere Zeit nur aus einer Umlaufbahn und durch Landeunternehmen erfolgen. Daher wurde bereits 1976 das Projekt Galileo der NASA begonnen.

Die Galileo-Mission sollte als erste:

- direkte Messungen in der Wolkenhülle des Jupiter machen (die Atmosphären-"Lande"-Sonde, *Galileo Probe*)
- Langzeitbeobachtungen des Jupiter (Atmosphäre und Magnetosphäre) machen (erste Sonde in der Jupiterumlaufbahn, *Galileo Orbiter*)
- Beobachtungen der Jupitermonde aus größter Nähe mit höchster Bildauflösung machen

Galileo sollte erstmals durch das Space Shuttle gestartet werden. Das brachte dem Projekt erhebliche Verzögerungen (durch verzögerte Fertigstellung und die Explosion der Raumfähre Challenger im Jan. 1986, die zur Einstellung der Flüge führte). Infolge der Verzögerungen stiegen die Kosten stark an.

Da möglichst geringe Gefährdung der Astronauten das Ziel war, konnte Galileo nicht mehr direkt zum Jupiter fliegen: die nötige Centaur-Raketenoberstufe durfte aus Sicherheitsgründen nicht im Space Shuttle transportiert werden.

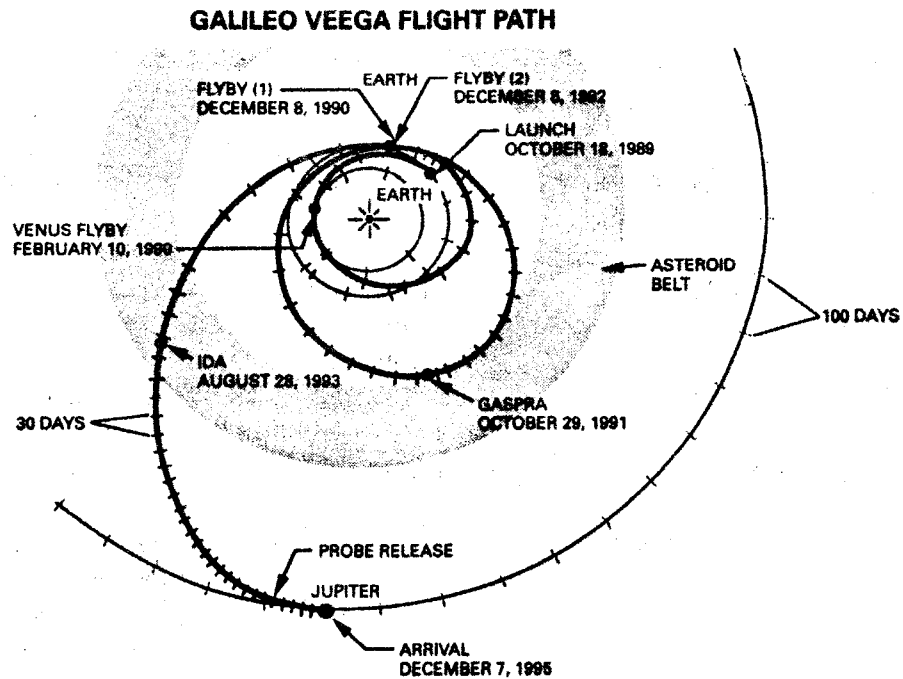
Für den Start Galileo's aus der Erdumlaufbahn wurde daher ein Booster *Inertial Upper Stage* (IUS) verwendet, die aber nur die nötige Geschwindigkeit zum Erreichen der Venus liefern konnte. Daher wurde eine besondere Bahn mit Vorbeischwüngen an Venus, der Erde und nochmals der Erde eingeschlagen, die der Sonde die nötige Geschwindigkeit für den Flug zum Jupiter erteilte (*VEEGA: Venus-Earth-Earth Gravity Assist*).

Der *Galileo Orbiter* wurde vom Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA entwickelt und betrieben. Die *Probe* entstand am NASA Ames Research Center (ARC). Deutschland ist durch das Haupttriebwerk des *Orbiter* und zwei Experimente beteiligt. Insgesamt arbeiten Wissenschaftler aus sechs Ländern an der Galileo-Mission.

3.2 Galileos Reiseweg

Aus einer niedrigen Erdumlaufbahn muß eine Raumsonde etwa 9 km/s schneller werden, um Jupiter zu erreichen. Davon wurden 4 km/s vom IUS-Booster geliefert. Weitere Geschwindigkeitsänderungen wurden von Venus (2,0 km/s), der Erde (5,2 km/s) und nochmals der Erde (3,7 km/s) geliefert. Diese Geschwindigkeitsänderungen haben verschiedene Richtungen und ergeben deshalb in Summe mehr als 9 km/s.

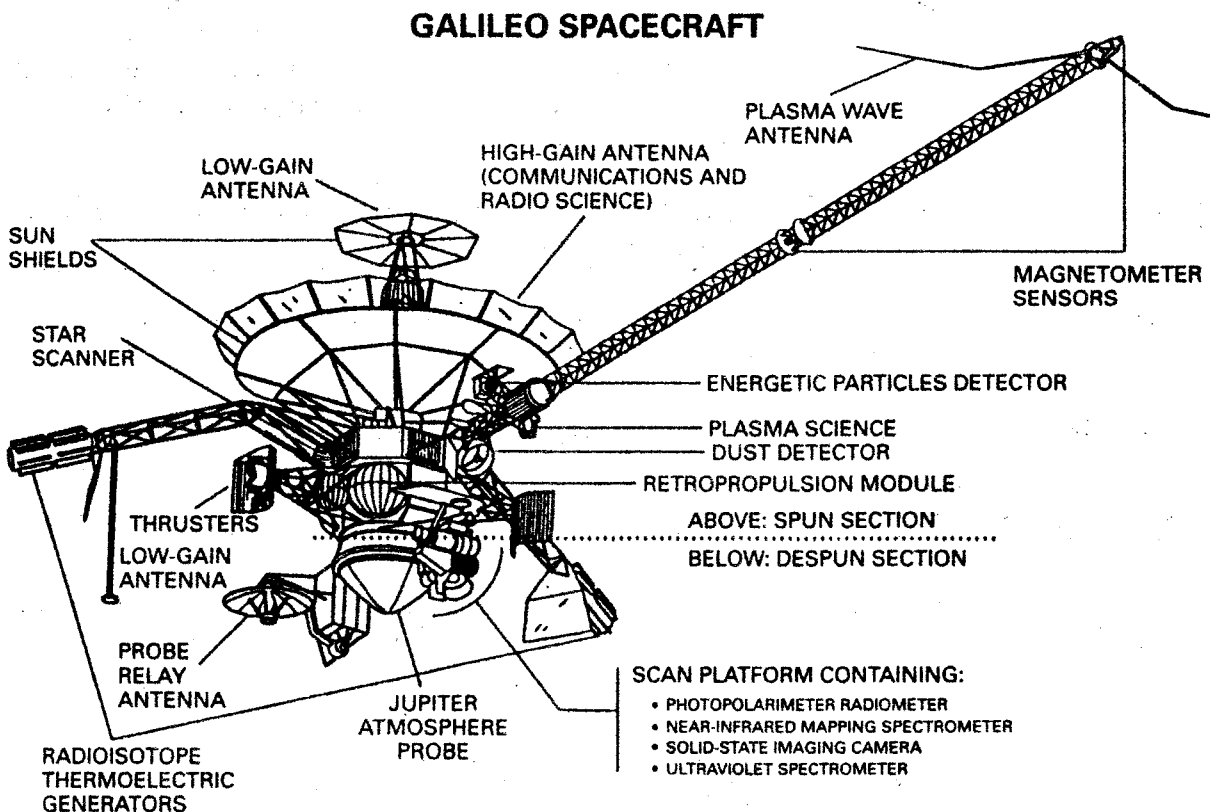
4. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter



3.3 Die Galileosonde

Die Galileo-Sonde besteht aus einem *Orbiter*-Teil für die Umlaufbahn um den Jupiter und dem Landeteil *Galileo Probe*.

Der 2.223 kg schwere *Orbiter* führt zehn wissenschaftliche Instrumente mit. Die 339 kg schwere *Probe* hat weitere sechs. Zusätzlich dient die Radioverbindung *Orbiter-Erde* bzw. *Probe-Orbiter* für wissenschaftliche Untersuchungen (Doppler-Messungen).



3.4 Wissenschaftliche Instrumente am Galileo Orbiter

DDS: Dust Detector Subsystem	Mißt Geschwindigkeit, Masse, Ladung und Flugrichtung von Staubteilchen im interplanetaren Raum und im Jupitersystem
EPD: Energetic Particles Detector	Mißt in der unmittelbaren Umgebung der Raumsonde die Energie, Zusammensetzung, Intensität und räumliche Verteilung geladener Teilchen
EUV: Extreme Ultraviolet Spectrometer	Bestimmt den Verlust flüchtiger Gase von den Galilei'schen Jupitermonden und die Zusammensetzung und Aufbau der oberen Jupiteratmosphäre
HIC: Heavy Ion Counter	Liefert Daten über Zusammenstöße mit ionisierten Schwefel- und Sauerstoff-Atomen im Jupitermagnetfeld
MAG: Magnetometer	Mißt magnetische Felder in der unmittelbaren Umgebung der Raumsonde
NIMS: Near-Infrared Mapping Spectrometer (*)	Liefert Meßdaten über Temperatur, Zusammensetzung und Aufbau der Galilei'schen Jupitermonde
PLS: Plasma Subsystem	Mißt Zusammensetzung, Energie, Temperaturdichte und Verteilung von Plasma (Ionen) niedriger Energie in der unmittelbaren Umgebung der Raumsonde
PPR: Photopolarimeter-Radiometer (*)	Beobachtet reflektiertes sichtbares und infrarotes Licht von Wolken und Oberflächen und liefert Daten zur Atmosphärenzusammensetzung und Wärmeverteilung
PWS: Plasma Wave Subsystem	Mißt elektrostatische und elektromagnetische Komponenten von Plasmawellen (räumlich)
Radio Science	Die Raumsonde sendet unmodulierte Mikrowellen genau eingehaltener Frequenz für Experimente, die direkt Informationen über Ringe und Atmosphäre, Massenverteilung und Himmelsmechanik liefern
SSI: Solid-State Imaging (*)	Ein Objektiv Brennweite $f=1.500\text{mm}$, 1:8.5 liefert hochaufgelöste Bilder im sichtbaren Licht und nahen Infrarot. Das ist übrigens dieselbe Optik wie bei den Voyager-Sonden! Als Sensor verwendet Galileo allerdings eine CCD Kamera mit 800x800 Pixel. Weitere Daten: 8 Filter, Blickfeld der Kamera: $0,47^\circ$
UVS: Ultraviolet Spectrometer (*)	Mißt Gase und Aerosole in der Jupiteratmosphäre und sucht nach komplexen Molekülen

(*) Diese Instrumente befinden sich am nicht rotierenden Teil der Sonde; die anderen Instrumente sind am sich drehenden Teil angebracht.

3.5 Wissenschaftliche Instrumente der Galileo Probe (Atmosphärensonde)

ASI: Atmospheric Structure Instrument	Bestimmt Temperatur, Druck, Dichte und Molekulargewicht als eine Funktion der Höhe
NMS: Neutral Mass Spectrometer	Bestimmt die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre
HAD: Helium Abundance Detector	Bestimmt die relative Häufigkeit von Helium zu Wasserstoff
NEP: Nephelometer	Beobachtet Wolken und erlaubt die Unterscheidung des Teilchenaggregatzustands (fest/flüssig)
NFR: Net-Flux Radiometer	Bestimmt Temperaturprofil und Wärmefluß
LRD/EPI: Lightning and Energetic Particles	Stellt Blitze fest und mißt energiereiche Teilchen in der inneren Magnetosphäre

3.6 Datenübermittlung von Galileo zur Erde

Die Daten und Bilder von Galileo sollten nach ursprünglichem Plan über die Hochleistungsantenne (*High-Gain-Antenna*) mit maximal 134.000 Bits/Sekunde zur Erde gefunkt werden. Diese Antenne war beim Start zusammengelegt und sollte danach - ähnlich einem Regenschirm mit fünf Metern Durchmesser - aufgefaltet werden. Durch die lange Lagerung und den oftmaligen Transport der Sonde auf der Erde (durch die Startverzögerungen) ließ sich diese Antenne allerdings trotz tausender Versuche während der langen Reise Galileos zum Jupiter nicht öffnen.

Daher wird stattdessen die etwa 10.000mal ineffektivere Niedrigleistungsantenne (*Low-Gain-Antenna*) Galileo's mit stark reduzierter Datensenderate verwendet (maximal 160 Bit/s). Diese Antenne sendet nicht stark gerichtet, sondern über einen Kegel von etwa 120 Grad Radius.

Während des Flugs zum Jupiter wurden auf der Sonde stark verbesserte Software (bessere Datenverarbeitung und Datenkomprimierung) und auf den Bodenstationen verbesserte Empfangsgeräte eingesetzt. Daher konnte die Datenübertragungsrate so gesteigert werden (auf durchschnittlich 80 Bit/Sekunde), daß trotz des Ausfalls der High-Gain-Antenne etwa 70% der ursprünglichen wissenschaftlichen Ziele erreicht werden konnten.

Der größte Verlust entsteht bei der Anzahl der zur Erde übertragenen Bilder, die sehr viele Daten liefern. Selbst mit Kompression dauert die Übertragung eines Bildes etwa ein bis zwei Stunden. Daher werden während der Vorbeiflugphasen die Bildinformationen auf einen in der Sonde eingebauten Bandrekorder geschrieben und gespeichert. Während der langen Zeiten fern vom inneren Jupitersystem werden die Daten dann zur Erde gefunkt.

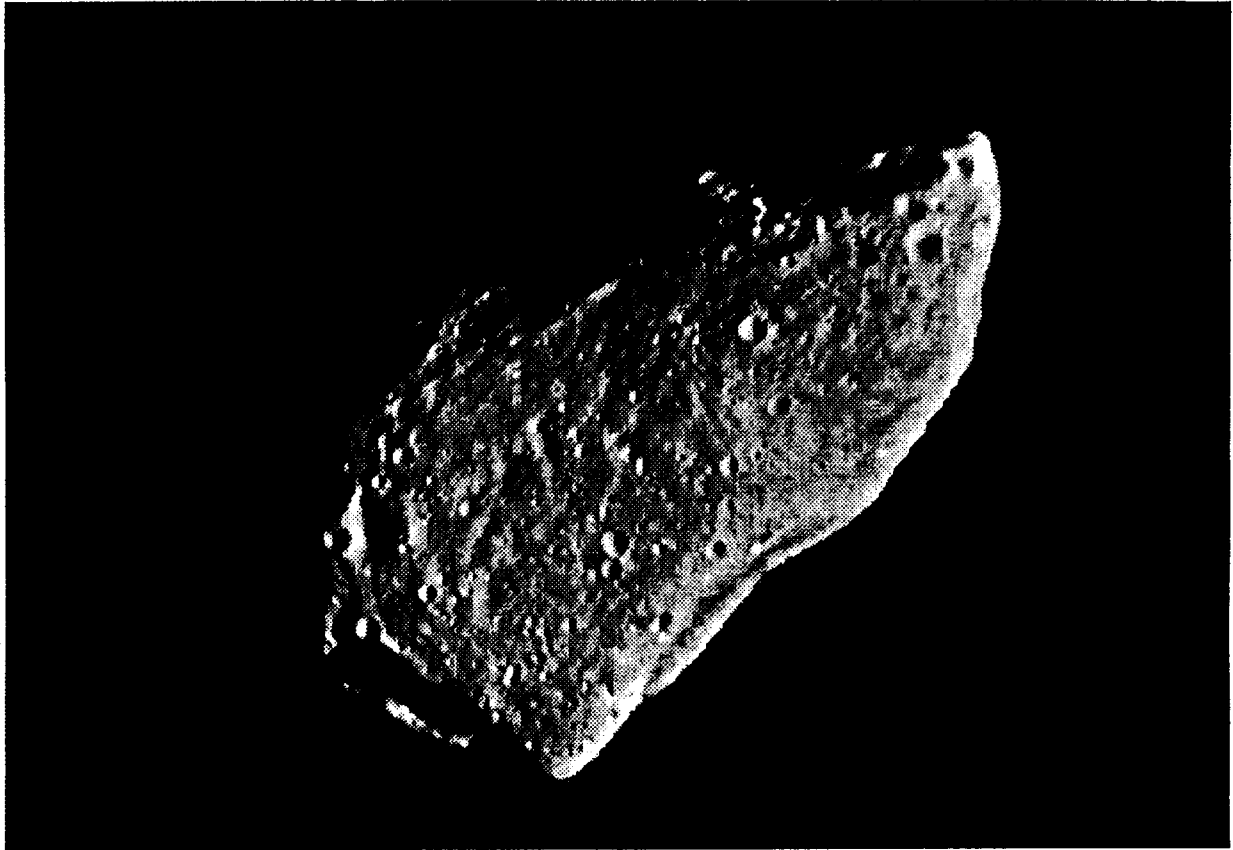
3.7 Galileos Flug zum Jupiter

Ereignis	Datum (nächste Annäherung)
Start	1989 Okt. 18
Vorbeiflug an Venus	1990 Feb. 10 (16.120 km)
Vorbeiflug an der Erde	1990 Dez. 8 (960 km)
Vorbeiflug an (951) Gaspra: erste Nahaufnahmen eines Kleinplaneten	1991 Okt. 29 (1.600 km)
Vorbeiflug an Erde und Mond	1992 Dez. 8 (300 bzw. 110.000 km)
Vorbeiflug am Kleinplaneten (243) Ida: Entdeckung des Kleinplanetenbegleiters Dactyl	1993 Aug. 28 (2.480 km)
Beobachtung des Einsturzes des Kometen Shoemaker-Levy 9 auf Jupiter	1994 Jul. 16-22
Trennung der Landesonde vom <i>Orbiter</i> und eigenständiger Flug	1995 Jul. 13
Ankunft bei Jupiter und Abbremsung des <i>Orbiter</i> in die Umlaufbahn (JOI Jupiter Orbit Insertion)	1995 Dez. 7
Eintritt der Atmosphärensonde <i>Galileo Probe</i>	1995 Dez. 7
Primärmission mit Annäherungen etwa alle ein bis zwei Monate (Dauer 23 Monate; 11 Umlasuren Jupiters)	1995 Dez. 7 - 1997 Dez. 7
Galileo Europa Mission GEM mit Annäherungen an Europa und Kallisto	1997 Dez. 8 bis (voraussichtlich) 1999 Dez.

3.8 Galileo besucht Gaspra

Die erste Begegnung einer Raumsonde mit einem Kleinplaneten fand am 28. Okt. 1991 statt: Galileo flog an Gaspra vorbei. Die Bilder des Kleinplaneten zeigten einen sehr unregelmäßigen Körper etwa 19x12x11 Kilometer mit großen Dellen und vielen Kratern. Gaspra dreht sich in 7 Stunden um ihre Achse.

Dieses Bild entstand kurz vor der nächsten Annäherung aus 5.300 Kilometer Entfernung:



3.9 Galileo entdeckt intelligentes Leben auf der Erde!

Beim zweiten Erdvorbeiflug am 8. Dez. 1992 fing das Radio- und Plasmawellenexperiment ein eindeutig künstliches Funksignal auf, das vermutlich von einer Navigationsstation stammt. Damit wurde intelligentes Leben auf der Erde eindeutig nachgewiesen!

Dieser Erd-Schwereschwung erteilte der Raumsonde endlich die nötige heliozentrische Geschwindigkeit (39 km/s), die für den Flug zum Jupiter nötig ist.

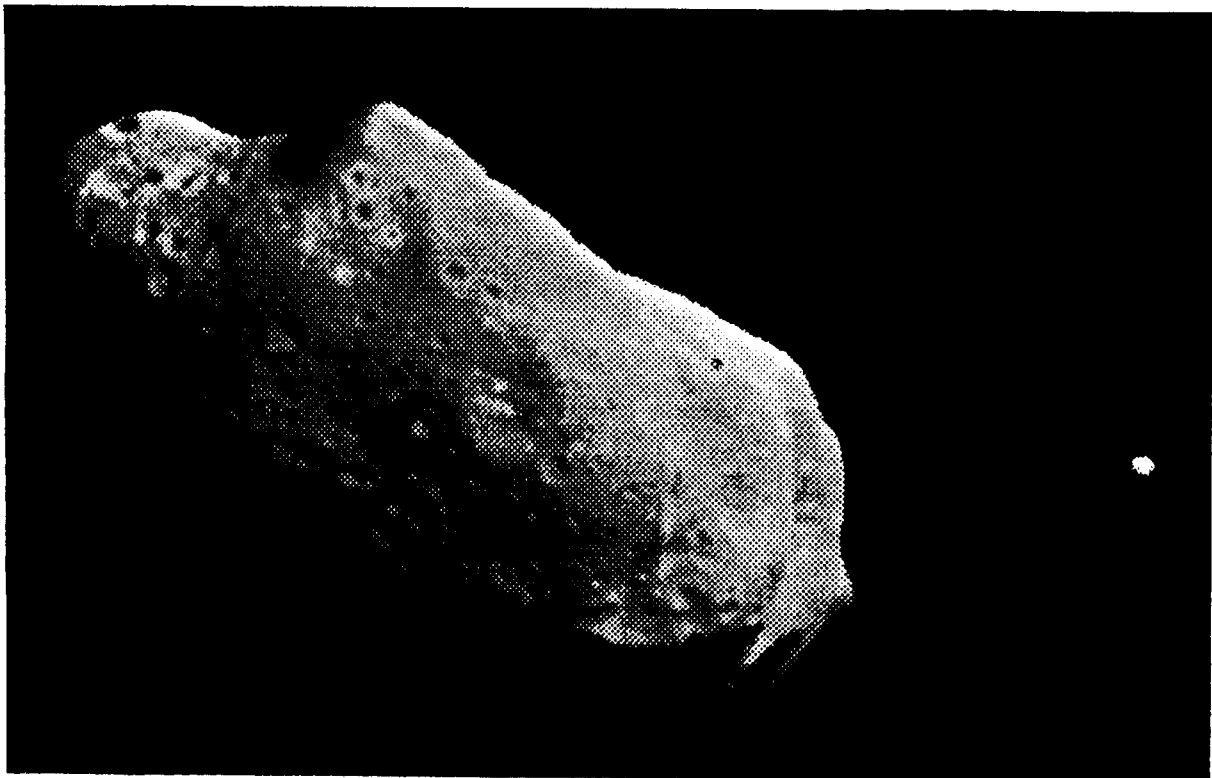
Mit Hilfe der Kamera Galileo's (der SSI) und den Farbfiltern wurden auch Falschfarbenaufnahmen des Mondes gemacht, die genaue Aufschlüsse über die mineralogische Zusammensetzung gaben.

3.10 Vorbeiflug am Kleinplaneten Ida - Entdeckung eines Begleiters!

Eine Überraschung gab es bei der zweiten Gelegenheit für einen Vorbeiflug an einem Kleinplaneten: Ida hatte einen Begleiter, der Dactyl genannt wurde! Dieser Körper ist nur 1,2x1,4x1,6 Kilometer groß. Wenn eine für Ida plausible Dichte von 2,8 g/cm³ angenommen wird, ergibt sich die Bahn des Begleiters als fast kreisförmig, Abstand von Ida etwa 80 bis 100 km, Umlaufzeit etwa 27 Stunden.

Ida selbst ist sehr unregelmäßig und etwa 58x23 Kilometer groß. Das schärfste Bild entstand in nur 2.480 km Abstand und zeigt bis zu 25 Meter kleine Einzelheiten auf der von Kratern bedeckten Oberfläche.

Das folgende Bild entstand 14 Minuten vor der nächsten Annäherung aus 10.500 Kilometer Abstand und zeigt Ida und Dactyl:



3.11 Einschlag des Kometen Shoemaker-Levy 9 auf Jupiter

Dieser Komet wurde 1993 entdeckt. Kurz danach wurde erkannt, daß er sich auf Kollisionskurs mit Jupiter befand. Bei einem durch Rückrechnung festgestellten nahen Vorübergang an Jupiter zerbrach der Komet in mindestens 21 größere Teile von bis zu mehreren Kilometern Durchmesser.

Zwischen 16. und 22. Juli 1994 schlugen diese Teile in der Atmosphäre Jupiters ein. Galileo war noch 238 Millionen Kilometer von Jupiter entfernt, konnte aber direkt die entstandenen

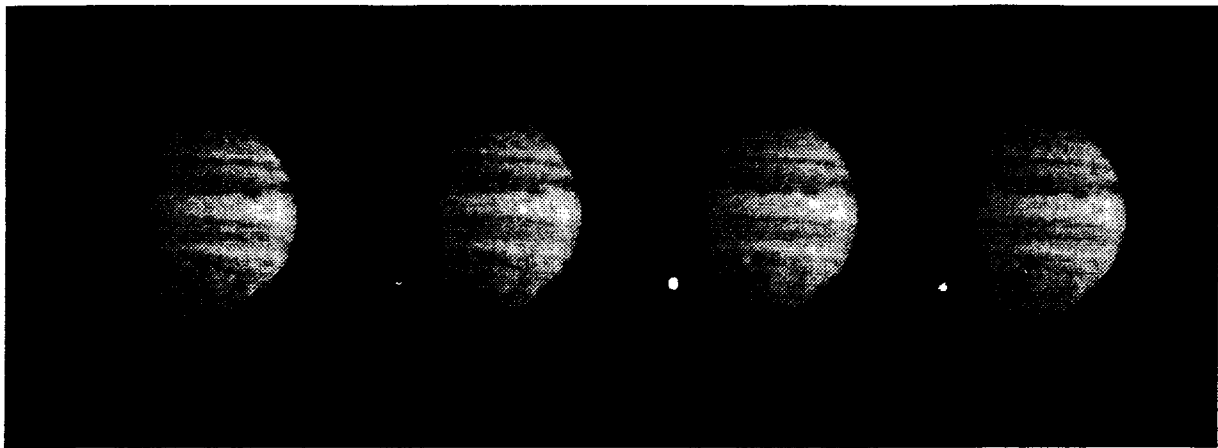
9. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

Meteorerscheinungen auf der dunklen, von der Erde nicht sichtbaren Seite Jupiters beobachten und Bilder zur Erde zurücksenden.

Die durch die Einschläge entstandenen dunklen Flecke in der Wolkenhülle Jupiters waren selbst in kleinsten Fernrohren noch für viele Wochen deutlich zu sehen. Das wohl größte Bruchstück G hinterließ nach der Explosion ein dunkles Ringmuster, das auf etwa Erdgröße anwuchs.

Es wird vermutet, daß von Voyager und Galileo auf Ganymed und Kallisto beobachtete Kraterketten durch ähnliche Kometeneinstürze entstanden sind.

Die folgenden Bildreihe - im Abstand von $2 \frac{1}{3}$ Sekunden von Galileo aufgenommen - zeigt das Aufleuchten des Bruchstücks W beim Einschlag:



3.12 Galileo's Ankunft bei Jupiter

Am 13. Jul. 1995, fünf Monate vor der Ankunft beim Jupiter und noch 81 Millionen Kilometer entfernt, wurde planmäßig die *Probe* vom *Orbiter* getrennt. Die beiden Sonden flogen danach getrennt weiter. Die Atmosphärensonde wurde in einen stromsparenden Wartezustand versetzt und sollte erst wieder am Tag des Eintritts in die Jupiteratmosphäre aktiviert werden. Der Flug der *Probe* wurde nach der Trennung nur von der Schwereanziehung des Jupiter geleitet; sie besaß kein eigenes Raketentriebwerk für Kurskorrekturen.

Am 7. Dez. 1995 begann der *Galileo Orbiter* das Bremsmanöver für den Eintritt in die Jupiterumlaufbahn mit einem Vorbeiflug in nur 890 Kilometer Abstand am Jupitermond Io. Leider konnte währenddessen der Bandrekorder der Sonde wegen eines zuvor aufgetretenen Schadens nicht verwendet werden und daher konnten auch keine Bilder von Io aus der Nähe zurückgesendet werden.

Danach zündete das Haupttriebwerk Galileo's für eine knappe Stunde und bremste die Sonde auf die richtige Umlaufbahngeschwindigkeit ab. Dieses Manöver gelang perfekt und war der Auftakt für die Primärmission.

3.13 Das Eintauchen der Atmosphärensonde (Galileo Probe)

Die seit 13. Juli 1995 vom *Orbiter* getrennt fliegende Sonde wurde pünktlich am 7. Dez. 1995 durch einen eingebauten "Wecker" aktiviert.

Der Eintritt der Sonde in die obere Atmosphäre Jupiters erfolgte um 22:04 UT in der Höhe von 450 Kilometer über dem "Nullniveau" Jupiters (Druck 1 bar = Erdluftdruck in Meereshöhe) mit der Relativgeschwindigkeit von 47 km/s (170.000 km/h)! Zum Vergleich: der Einschlag der Bruchstücke des Kometen Shoemaker-Levy erfolgte nur wenig schneller, mit ca. 60 km/s.

Die Sonde trat im genau berechnetem flachem Winkel von 8,5 Grad ein. Wäre der Eintritt ein wenig flacher (1,5° flacher) erfolgt, wäre sie wie ein flach geworfener Stein am Wasser abgeprallt; ein wenig steiler (1,5° steiler), und die Sonde wäre verglüht.

Die Abbremsung von kosmischer Geschwindigkeit auf "nur" 1.600 km/h erfolgte binnen 2 1/2 Minuten und wurde durch zwei Hitzeschilder überstanden. Dabei trat eine Verzögerung von bis zu 230facher Erdschwerebeschleunigung auf. Am Hitzeschild entstanden dabei Temperaturen heißer als auf der Sonnenoberfläche; die *Probe* wäre einem auf Jupiter befindlichen Beobachter wohl als Meteor sichtbar geworden. Es war der bei weitem schwierigste Eintritt einer Raumsonde in eine Planetenatmosphäre, der glänzend gelang.

Tabelle: der Eintritt der Galileo-*Probe* in die Jupiteratmosphäre

Ereignis beim Eintritt der Galileo <i>Probe</i> in Jupiter	Zeit Minuten nach Eintritt	Druck bar	Höhe über Nullniveau Kilometer	Temperatur Grad Celsius
Eintritt in die obere Atmosphäre	0	10 ⁻⁷	450	+352°
Auswurf des ersten Fallschirms	2,86	0,4	23	-145
Auswurf des Hauptfallschirms	2,88	0,4	23	-145
Abwurf des Hitzeschildes; direkte Messungen begannen	3,03	0,45	21	-145
Messung der dünnen Ammoniakewolken durch das NFR (Net Flux Radiometer)		0,5	18	
Radioverbindung der <i>Probe</i> mit dem <i>Orbiter</i> wurde aufgenommen	3,8	0,56	16	-135
Nullniveau: Erdluftdruck in Meereshöhe	6,4	1,0	0	-107
Untergrenze der Wolkenhülle erreicht Durch das NEP (Nephelometer) gemessen	9,6	1,6	-18	-80
Erwartete Höhe der Wasserwolken-schicht Wurde von keinem Instrument gemessen	22,5	5,0	-56	0
Ende der Radioübertragung der <i>Probe</i>	61,4	22	-146	+153

Nach der Abbremsung wurde erst ein kleiner und dann der große Fallschirm (2,5 Meter Durchmesser) ausgeworfen und die Geschwindigkeit verminderte sich auf 430 km/h. Dann wurde der Hitzeschild abgesprengt und die Sonde begann mit den Messungen (Kamera wurde ja keine mitgeführt). Sie wurden zum 200.000 Kilometer darüber ziehenden *Orbiter* gefunkt, dort gespeichert und später zur Erde gesandt.

Der Eintrittspunkt der *Probe* lag in 6,5° nördlicher Breite an der Grenze zwischen der hellen Äquatorzone (EZ) und dem dunklen Nördlichen Äquatorband (NEB) Jupiters.

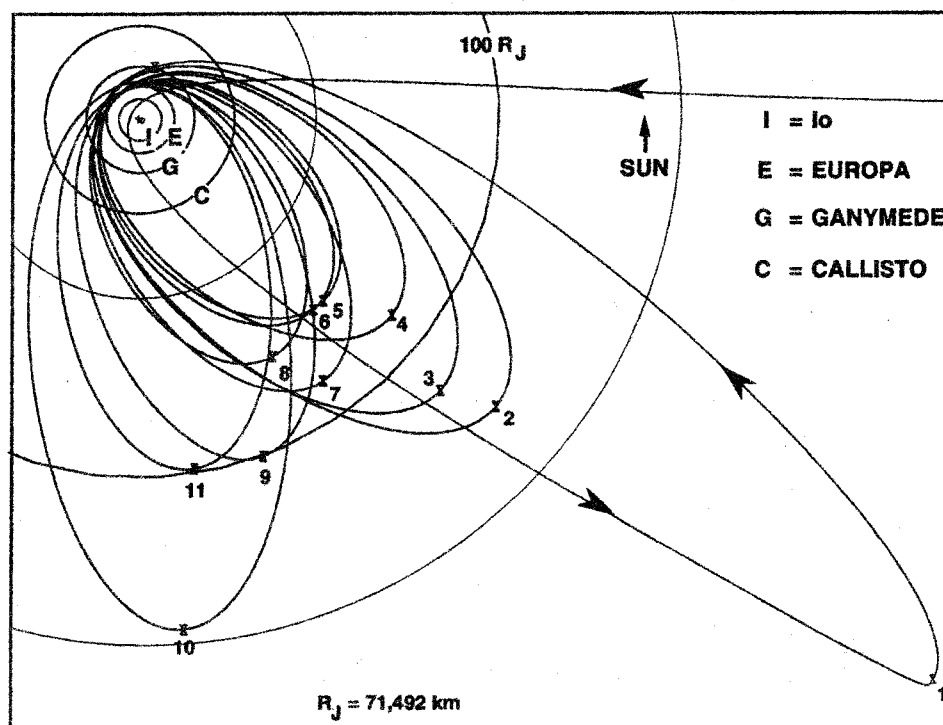
11. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

Die Messungen begannen etwa 20 Kilometer über der obersten Wolkenschicht Jupiters und endeten 165 Kilometer tiefer unter den Jupiterwolken. Die *Probe* sendete 61 Minuten lang Radiosignale. Die Kapsel verstummte danach durch Ausfall der Batterie (die für nur 75 Minuten reichen sollte) und der zunehmenden Belastung durch Hitze (+153°C) und Druck (22 bar = 22facher Luftdruck auf Erd-Meereshöhe!) in der Jupiteratmosphäre.

Die Schlußfolgerungen der Messungen sind im Abschnitt 4 über Jupiter beschrieben.

3.14 Die Primärmission des Galileo Orbiters (Dez.1995 bis Dez.1997)

Die Mission besteht aus 11 Umläufen um Jupiter. Alle Umläufe außer einem erlauben einen nahen Vorüberflug und Schwerkraftschwung (Gravity Assist) an Ganymed, Kallisto oder Europa nahe der Jupiternähe der Bahn. Die Jupiterferne der Bahn schwankt zwischen 5 und fast 20 Millionen Kilometer.



Io konnte in jedem Umlauf aus mittlerer Entfernung beobachtet werden. Die äußeren drei Galilei'schen Monde wurden aus durchschnittlich 100 bis 300mal größerer Nähe beobachtet als das bei den Voyager-Vorbeiflügen möglich war.

Die Mission war ein großer Erfolg und lieferte neue Entdeckungen über:

- Das Magnetfeld des Mondes Ganymed
- Vulkanische Eisflüsse und Packeis-Felder auf Europa, die möglicherweise auf flüssige Wasserozeane darunter hindeuten
- Die Entdeckung einer dünnen Atmosphäre aus Wasserstoff und Kohlendioxid auf Kallisto
- Der Nachweis metallischer Kerne in Io, Europa und Ganymed und das Fehlen eines solchen Kerns in Kallisto.
- Große vulkanische Aktivität auf Io mit Änderungen seit den Voyager-Vorbeiflügen.

3.15 Tabelle: Galileo's Orbital Tour während der Primärmission

Vorbeiflug	Datum (UTC)	Mond	Höhe (Kilometer)	Anmerkung
G1	1996 Jun. 27	Ganymed	844	
G2	1996 Sep. 6	Ganymed	262	
C3	1996 Nov. 4	Kallisto	1.100	
	1996 Nov. 6	Europa	31.947	
E4	1996 Dez. 19	Europa	695	
J5	1997 Jan. 20	Europa	27.419	Während der Konjunktion Jupiters mit der Sonne
E6	1997 Feb. 20	Europa	588	
G7	1997 Apr. 5	Ganymed	3.065	
	1997 Apr. 4	Europa	23.244	
G8	1997 Mai 7	Ganymed	1.584	
	1997 Mai 6	Kallisto	33.499	
C9	1997 Jun. 25	Kallisto	416	
	1997 Jun. 26	Ganymed	79.961	
C10	1997 Sep. 17	Kallisto	524	
E11	1997 Nov. 6	Europa	1.119	

3.16 Die Galileo Europa Mission (GEM) seit Dez.1997

Diese Missionsphase wird fast zwei weitere Jahre dauern und es hoffentlich ermöglichen, auch Io näher zu studieren. Der starken Strahlung nahe Jupiter wird Galileo erst am Ende der Mission ausgesetzt. Die Sonde dürfte nicht mehr als zwei oder drei Vorbeiflüge an Io heil überstehen, wobei der erste Vorbeiflug beim Eintritt in die Umlaufbahn am 7. Dez. 1995 erfolgte.

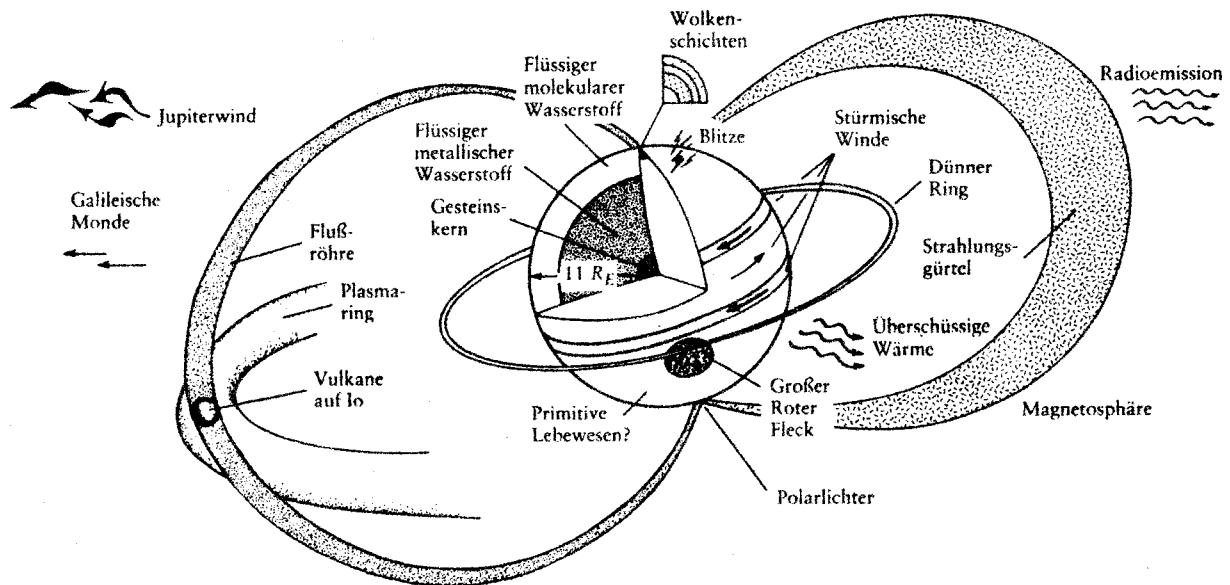
Ziele der GEM sind:

- Europa: Untersuchung von Kruste, Atmosphäre und möglichem Ozean
- Io Plasma Torus: Untersuchung bei der Annäherung an Io
- Io: Intensive Untersuchung der Vulkane und Atmosphäre

Die GEM hat drei Phasen:

- 8 Vorbeiflüge an Europa, die zur intensiven Untersuchung genutzt werden
- Verminderung der Jupiternähe der Sonde durch 4 Vorbeischwünge an Kallisto
- Vorbeiflug an Io im Okt. 1999; möglicherweise ein zweiter Vorbeiflug sechs Wochen später, falls die Raumsonde noch funktioniert

4 Jupiter



4.1 Der Riesenplanet

Jupiter enthält zwei Drittel der Planetenmasse in unserem Sonnensystem. Seine chemische Zusammensetzung ähnelt einem Stern wie unserer Sonne. Er besitzt allerdings nur 1/80 der Masse, die für die Zündung der Kernfusion wie bei Sternen nötig wäre.

Jupiter ist ein Gasplanet und hat daher keine feste Oberfläche; das gasförmige Material wird mit zunehmender Tiefe immer dichter. Er besteht aus etwa 90% Wasserstoff und 10% Helium (nach Atomanzahl; 75% zu 25% nach Massenanteil) mit Spuren von Methan, Wasser, Ammoniak und Gestein. Das entspricht recht genau der Zusammensetzung des ursprünglichen solaren Nebels, aus dem das Sonnensystem entstand.

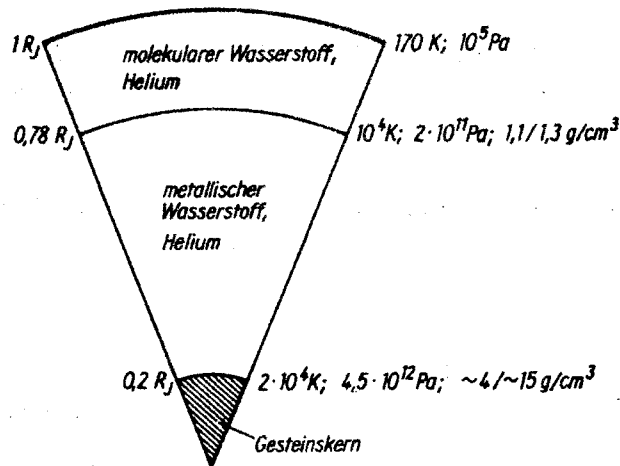
Spekulationen, daß es in der Wolkenhülle Jupiters schwebendes Leben geben könnte (da Wärme und verschiedene chemische Grundmaterialien vorhanden sind), wurden durch die Meßergebnisse der Galileo Probe noch unwahrscheinlicher.

4.2 Das Innere Jupiters

Unsere Kenntnis des Jupiterinneren ist nur indirekt und noch spekulativ. Er hat wahrscheinlich einen kleinen Kern aus Gestein mit etwa 10 bis 15 Erdmassen. Über dem Kern liegt die Hauptmasse des Planeten in Form von flüssigem metallischem Wasserstoff. Diese exotische Form existiert nur bei einem Druck über 4 Millionen bar; Protonen und Elektronen sind getrennt und die Elektronen frei beweglich. Metallischer Wasserstoff leitet Strom und ist die Quelle für Jupiters riesiges Magnetfeld. Die äußere Schicht Jupiters besteht aus

14. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

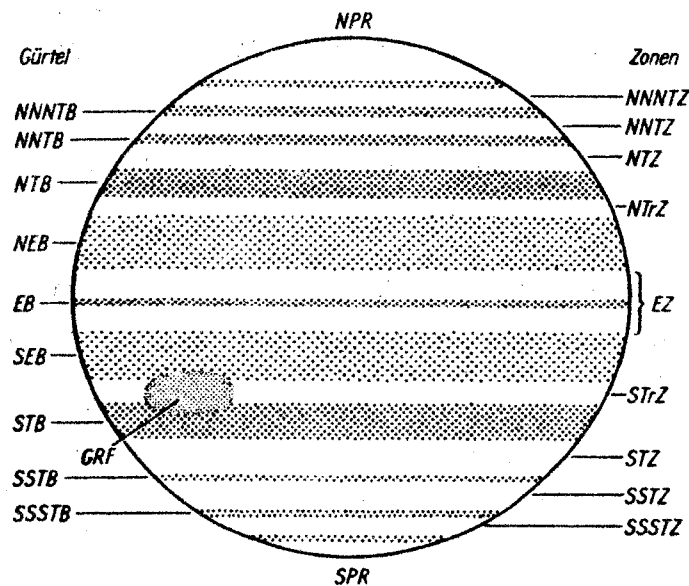
gewöhnlichem molekularem Wasserstoff und Helium, flüssig im Inneren und gasförmig weiter draußen. Darüber spannt sich die sichtbare Wolkenhülle.



Jupiter strahlt mehr Energie in den Weltraum als er von der Sonne erhält: das Innere Jupiters ist heiß, vermutlich um die 20.000 K. Diese Wärme wird durch das langsame Zusammenziehen Jupiters infolge seiner eigenen Schwerkraft erzeugt. Wahrscheinlich erzeugt diese innere Wärme Konvektion in den flüssigen äußeren Schichten und treibt auch das komplexe Wetter der äußeren Wolkenschichten an.

4.3 Die Wolkenhülle Jupiters

Es gibt anscheinend drei unterschiedliche Wolkendecken auf Jupiter: zuoberst Wolken aus Ammoniak- bzw. Ammoniumeis, darunter Wolken aus Ammoniakhydrosulfid und zuunterst Wasser- bzw. Eiswolken.



Die Meßergebnisse der Galileo Probe konnten nur die obersten beiden Wolkenschichten nachweisen, die noch dazu unerwartet dünn waren. Beobachtungen von der Erde und vom HST (Hubble Space Telescope) stützten die Vermutung, daß der Eintrittspunkt der Sonde einer der wärmsten und wolkenfreiesten Flecke auf Jupiter war. Die Probe trat demnach am Rand eines sogenannten "Heißen Flecks" ein, der auf Infrarot-Aufnahmen deutlich sichtbar

15. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

ist. Er liegt in $6,5^\circ$ nördlicher Breite an der Grenze der hellen Äquatorzone (EZ) und des dunklen Nördlichen Äquatorbands (NEB). An der Eintrittsstelle wurden Windgeschwindigkeiten von 400 bis 550 km/h gemessen.

Die *Galileo Probe* fand auch viel weniger Wasser als erwartet. Auch das könnte durch den besonderen Eintrittspunkt begründet sein, der demnach auch besonders trocken wäre, also eine "Jupiterwüste".

Während des Eintritts der *Probe* wurden auch unerwartet wenige Blitze gemessen. Sie waren allerdings deutlich stärker als Blitze auf der Erde.

4.4 Jupiters Wetter

Es unterscheidet sich vom Erdwetter, da Jupiter keine feste Oberfläche und daher eine sehr dicke Lufthülle hat. Auch die Wärmequelle ist nicht wie bei der Erde die Sonne, sondern die Eigenwärme des Planeten von tief unten.

Derzeit bieten die Jupiter-Meteorologen folgendes Bild an: Aufsteigende erwärmte "Jupiterluft" (größtenteils ein Wasserstoff/Helium-Gemisch) dehnt sich aus und kühlt ab. Dabei bilden sich Wolken aus Wassertröpfchen und dann Eiswolken. Noch höher entstehen die von der *Galileo-Probe* gemessenen Ammoniumhydrosulfid-Wolken und noch höher kondensieren die weißen Ammoniakwolken. Über den Wolken ist die Luft sehr klar, kalt und trocken (da alle leichtflüchtigen Bestandteile bereits kondensierten). Diese höchsten Wolken bilden die hellen "Zonen" Jupiters.

Die aufgestiegene Kaltluft sinkt seitlich wieder hinunter, wird dichter und wärmer. Dabei kondensieren keine Wolken, da sie trocken ist. Diese Gebiete sind im sichtbaren Licht dunkel, aber leuchten im Infraroten: wir sehen wärmere und tiefere Gebiete Jupiters. So entstehen die dunklen "Bänder" Jupiters, die wie die Zonen schon im kleinen Fernrohr sichtbar sind.

Die *Galileo-Sonde* kann durch geeignete Farbfilter und Falschfarbenaufnahmen die unterschiedlichen Höhen der Wolken schichten sichtbar machen.

4.5 Die Hochgeschwindigkeitswinde (Jetstreams) Jupiters

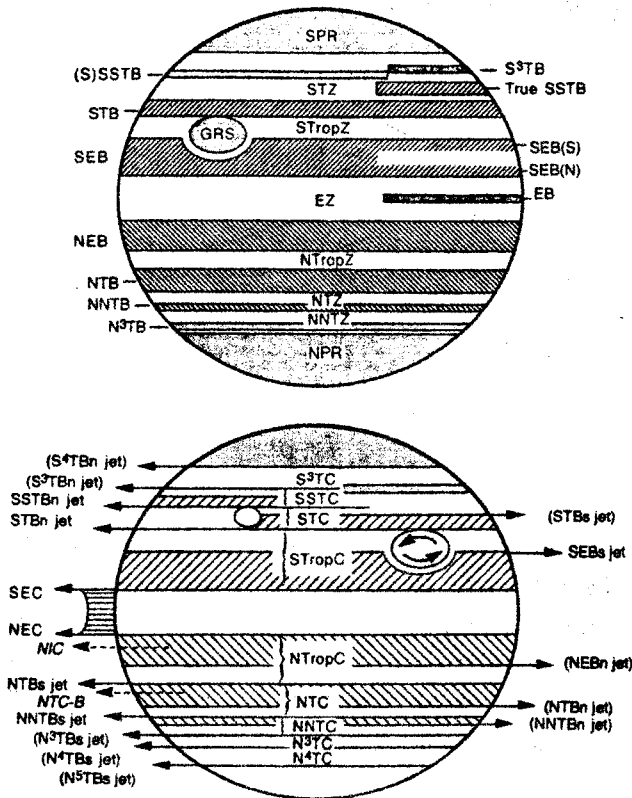
Jupiter hat wie die anderen Gasplaneten Hochgeschwindigkeitswinde, die in Breitengürteln um den Planeten wehen. Diese Jetstreams blasen in nebeneinander liegenden Bändern in entgegengesetzter Richtung. Geringe chemische Unterschiede und Temperaturdifferenzen dieser Windbänder sind für die farbigen Bänder verantwortlich, die dem Planeten das charakteristische Aussehen geben. Die hellen Strömungen werden Zonen, die dunklen Bänder genannt. Welche Spurenelemente für die Färbung verantwortlich sind, ist übrigens noch immer strittig.

Die Winde blasen größtenteils an den Grenzgebieten der hellen Zonen und dunklen Bänder, die also sehr turbulent sind, wie Detailaufnahmen von *Voyager* und *Galileo* deutlich zeigen.

Meßergebnisse der *Galileo Probe* zeigen, daß die Windgeschwindigkeiten sogar höher als erwartet waren: am Beginn der Messungen in 23 Kilometer Höhe 540 Stundenkilometer!

16. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

Die Winde konnten bis in große Tiefe - soweit die Sonde messen konnte (145 Kilometer tief) - festgestellt werden und nahmen an Geschwindigkeit sogar zu: bis 720 km/h. Das bestätigt die Ansicht, daß die Windsysteme Jupiters durch die innere Wärme und nicht durch die Sonne (wie bei der Erde) angetrieben werden.



4.6 Der Große Rote Fleck (GRF)

Seit mindestens 1878 besteht dieses große Oval, mit etwa 12.000x25.000 Kilometer zweimal so groß wie die Erde. Ähnliche kleinere Flecke sind auf Jupiter ebenfalls bekannt (z.B. die "White Oval Spots" WOS, die seit den 1930er Jahren beobachtet werden). Die Umdrehungsrichtung des Wolkenwirbels gegen den Uhrzeigersinn (in 6 Tagen) und Infrarot-beobachtungen zeigen an, daß der Große Rote Fleck ein Hochdruckgebiet ist, das deutlich höher und kälter als die Umgebung ist.

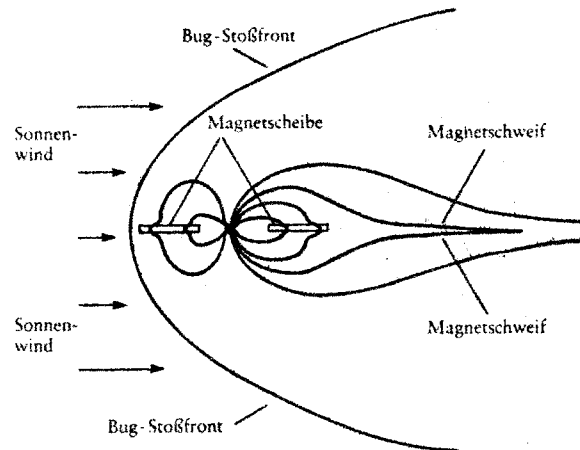
Vermutlich hat die Langlebigkeit dieser Struktur mit dem Fehlen einer festen Oberfläche auf Jupiter zu tun; sie ist aber noch nicht vollständig verstanden.

Falschfarbenaufnahmen durch den Galileo-Orbiter im nahen Infrarot (bei 732, 757 und 886 Nanometer Wellenlänge) zeigen die Höhenstruktur des GRF deutlich.

Galileo konnte auch hohe weiße Gewitterwolkentürme nahe dem GRF abbilden. Solche Gewitter könnten eine wichtige Energiequelle für die Jupiterstürme sein.

4.7 Magnetfeld des Jupiter

Jupiter hat ein riesiges Magnetfeld, viel größer als das der Erde. Der von der Sonne abgewandte Schweif der Magnetosphäre reicht bis über die Saturnbahn. Auf der Sonnenseite reicht die Magnetosphäre aber nur wenige Millionen Kilometer weit. Die Jupitermonde laufen also innerhalb des Magnetfelds Jupiters.



Die nähere Umgebung des Planeten enthält viele im Magnetfeld gefangene energiereiche geladene Teilchen, viel stärker noch als in den Van-Allen-Gürteln der Erde. Beim Hinflug zu Jupiter entdeckte die *Galileo Probe* noch einen neuen sehr starken Strahlungsgürtel zwischen dem Jupiterringsystem und den oberen Atmosphärenschichten. Die Umgebung Jupiters ist für Raumsonden und ihre Elektronik also nur gewisse Zeit ohne Defekte zu überstehen. Für Menschen wäre ein Aufenthalt nach kurzer Zeit tödlich.

4.8 Die Jupiterringe

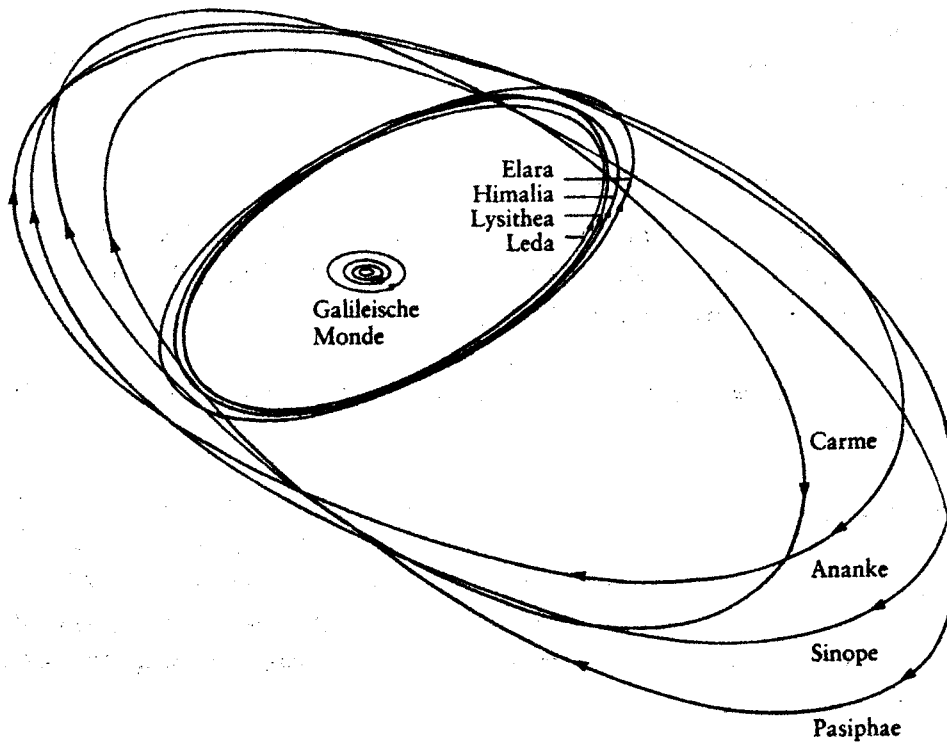
Sie sind schwächer, dunkler und viel kleiner als die Ringe des Saturn. Sie waren unerwartet und wurden von Voyager-Wissenschaftlern entdeckt. Seither konnten sie auch von der Erde aus mit Fernrohren im Infrarot-Licht beobachtet werden.

Ihre Dicke beträgt kaum 30 Kilometer. Sie bestehen aus einem Hauptband in der Äquatorialebene zwischen 1,72 und 1,81 Jupiterradien Abstand vom Mittelpunkt Jupiters (122.000 bis 129.200 Kilometer) und einem zerstreuteren schwachen "Halo" nach innen bzw. außen.

Die geringe Albedo (Rückstrahlvermögen; mit 0,05 geringer als der Erdmond) deutet darauf hin, daß die Jupiterringe aus kleinen Gesteinsteilchen bestehen. Durch Reibung in der Hochatmosphäre und durch das Jupitermagnetfeld werden die Ringe ständig entleert. Ihr Material wird vermutlich von den nahen Monden Metis und Adrastea, die innerhalb der Ringe um Jupiter laufen, nachgeliefert.

5 Das Jupitersystem

Bis heute sind 16 Jupitermonde bekannt: die vier großen Galilei'schen Monde und 12 kleine.



5.1 Tabelle: Die Jupitermonde in der Übersicht

Name	Abstand Kilometer	Umlaufzeit Tage	Durch- messer Kilometer	Masse 10^{20} kg	Dichte	Entdecker
Metis	127.900	0,295	ca. 40	?	?	Voyager 1979
Adrastea	128.980	0,298	25x20	?	?	Voyager 1979
Amalthea	181.300	0,490	270x150	?	?	Barnard 1892
Thebe	221.900	0,675	110x90	?	?	Voyager 1979
Io	421.600	1,769	3.630	892	3,60	Galilei 1610
Europa	670.900	3,551	3.138	487	3,04	Galilei 1610
Ganymed	1.070.000	7,155	5.268	1.480	1,94	Galilei 1610
Kallisto	1.883.000	16,689	4.806	1.077	1,86	Galilei 1610
Leda	11.094.000	238	16	?	?	Kowal 1974
Himalia	11.480.000	251	186	?	?	Perrine 1904
Lysithea	11.720.000	259	36	?	?	Nicholson 1938
Elara	11.737.000	260	76	?	?	Perrine 1905
Ananke	21.200.000	631	30	?	?	Nicholson 1951
Carme	22.600.000	692	40	?	?	Nicholson 1938
Pasiphae	23.500.000	735	50	?	?	Melotte 1908
Sinope	23.700.000	758	36	?	?	Nicholson 1914

19. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

Die Jupitermonde teilen sich in vier Gruppen:

- die inneren kleinen Monde (Metis, Adrastea, Amalthea, Thebe) innerhalb der Galilei'schen Monde
- Die großen Galilei'schen Monde (Io, Europa, Ganymed, Kallisto)
- Die kleinen äußeren Monde in etwa 11 Millionen Kilometer Abstand (Leda, Himalia, Lysithea, Elara)
- Die kleinen äußeren Monde in etwa 23 Millionen Kilometer Abstand auf einer rückläufigen Bahn (Ananke, Carme, Pasiphae, Sinope)

5.2 Die Galilei'schen Monde

Sie umrunden Jupiter nahezu in seiner Äquatorebene auf fast kreisförmigen Bahnen. Wie unser Mond der Erde kehren sie Jupiter immer dieselbe Seite zu. Ihr Tag ist also genau einen Umlauf um den Planeten (ein "Monat") lang.

Io, Europa und Ganymed sind durch Gezeitenkräfte in einer 1:2:4 Resonanz ihrer Umlaufzeiten verbunden.

Die nahen Vorbeiflüge Galileo's an den Monden erlaubte (durch genaue Geschwindigkeitsmessungen durch Dopplerverschiebung der genauen Frequenz des Radiosenders) eine Vermessung des Schwerefeldes der Monde und damit auch der Massenverteilung im Inneren. Bei Io, Europa und Ganymed wurden Metallkerne (vermutlich Eisen/Nickel) und Gesteinsmäntel festgestellt. Kallisto scheint dagegen ein ziemlich gleichmäßiges Gemisch aus Eis und Gestein zu sein.

5.2.1 Io

Die Bilder Voyagers zeigten erstmals Ringe mit Rändern und Poren und sogar die Fontänen aktiver Vulkane. Insgesamt neun, vorwiegend Schwefeldioxid speiende Vulkane mit Austrittsgeschwindigkeiten bis zu 1 km/s, lassen Fontänen bis 300 km Höhe aufsteigen. Io scheint der vulkanisch aktivste Körper im gesamten Sonnensystem zu sein. Man glaubt heute, daß die Substanz der Io-Lava schwefelreichen Basalten ähneln dürfte und nicht mehr, wie anfangs vermutet, daß es sich um reine Schwefelförderungen handeln könnte.

Die Ursache des Vulkanismus der Io ist die Gezeitenreibung durch Jupiter und Europa, die zur Aufschmelzung des Kerns führte. Würde Io den Jupiter auf einer Kreisbahn umrunden und ihm immer dieselbe Seite zukehren, so wären die Flutberge unverändert gleich hoch. Aber die äußeren Galilei'schen Monde, vor allem Europa, verformen ständig die Bahn und so wird die Io von Jupiter hin- und hergezerrt, so daß sich ihre Oberfläche bei jedem Umlauf um 100 Meter verformt. Dadurch erwärmt sich das Innere des Mondes, das Gestein schmilzt und es kommt zum Vulkanismus.

Die Oberfläche der Io wird in der Größenordnung von Millimetern pro Jahr neu beschichtet: die Vulkane kehren das Innere des Mondes nach außen. Die Oberfläche ist bedeckt von Flutbasalten, vulkanischen Kesseln (Calderen) mit 50 Kilometer Durchmesser und mehr und bietet einen bizarren Anblick. Überraschend sind nach wie vor die vereinzelt stehenden hohen und steilen Berge, die die mittlere Io-Kruste um bis zu 13 Kilometer überragen können; möglicherweise handelt es sich bei ihnen um restliche Erhebungen einer alten Io-Kruste.

Galileo gelang am 29. Jun. 1996 während einer Verfinsterung der Io durch den Jupiter-schatten am die Aufnahme von sechs heißen Stellen. Es handelt sich um über 700 K (430°C) heiße Austrittsstellen schwefelreicher silikatischer Lava.

Galileo fand eine sehr dünne und in der Dichte schwankende Atmosphäre der Io aus Schwefeldioxid. Sie stammt wahrscheinlich zum Teil von den Vulkanausbrüchen und zum Teil aus der Sublimation von Schwefeldioxid-Frost von Io's Oberfläche.

Die Aktivität der Io füllt auch den "Io-Plasma-Torus" in der Magnetosphäre Jupiters immer wieder neu mit Schwefel, Sauerstoff und anderen Ionen auf.

5.2.2 Europa

Europa ist der kleinste Galilei'sche Jupitermond, ein wenig kleiner als unser Erdmond. Seine stark das Sonnenlicht reflektierende Oberfläche besteht aus Eis. Auffallend sind die von Voyager abgebildeten, den Mond überziehenden Bruchlinien ("Sprünge"). Es gibt auch keine Erhebungen, die höher als wenige hundert Meter sind. Europa ist also sehr flach, der flachste Körper im Sonnensystem. Auffallend ist die Seltenheit von Einschlagkratern, was auf eine sehr junge Oberfläche hinweist, die noch in geologisch sehr naher Vergangenheit (30 Millionen Jahre?) umgeformt wurde. Bisher sind nur drei Krater mit mehr als fünf Kilometern Durchmesser bekannt.

Durch Messungen des Schwerfeldes stellte die Galileo-Sonde einen metallischen Kern und einen geschichteten inneren Aufbau ähnlich der Erde bzw. der Io fest. Es gibt auch Hinweise auf ein sehr schwaches Magnetfeld.

Europa hat eine sehr dünne Sauerstoffatmosphäre, deren Moleküle wahrscheinlich durch geladene Teilchen aus dem Oberflächeneis herausgeschlagen wurden. Sie entstand also durch nichtbiologische Prozesse, ganz anders als auf der Erde. Die Oberfläche der Europa ist mit -145°C viel zu kalt für Leben wie auf der Erde.

Schon nach den Voyager-Vorbeiflügen gab es Spekulationen über einen möglicherweise flüssigen Wasserozean unter der Eiskruste der Europa, der vielleicht bis zu 50 Kilometer tief sein könnte. Die Wärme für das flüssige Wasser könnte durch Gezeitenreibung durch Jupiter und die anderen Galilei'schen Monde geliefert werden. Ein ähnlicher Prozeß bewirkt auch die Erwärmung und damit den Vulkanismus der Io.

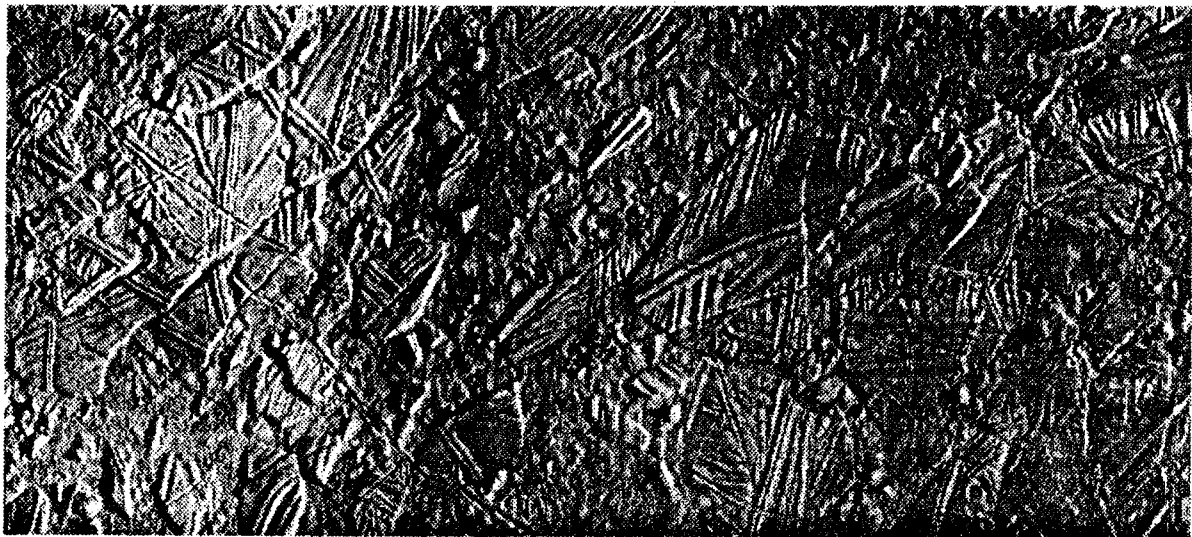
Bilder von Galileo erhärteten die Ansicht, daß die Europa einen flüssigen Ozean oder zumindest Eismatsch unter der Kruste hat oder gehabt haben könnte. Sie zeigen Formen ähnlich Eisbergen, Eisschollen und Packeisfeldern, die auf einem weichen oder flüssigen Untergrund geglitten sind - ähnlich wie in den Polarregionen der Erde. Es gibt auch Bilder von Eisflüssen, bei denen das Eis anscheinend durch eine Wärmequelle gleitfähig wurde. Die Eiskruste müßte relativ dünn sein (ein bis zwei Kilometer), damit Eisberge sich drehen können.

Die dunklen Streifen der Europa, die bis zu 20 Kilometer breit sind, könnten durch Wassergeysire entstanden sein, die aber bisher nicht beobachtet wurden.

21. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

Wenn es tatsächlich einen warmen Ozean flüssigen Wassers unter der Eiskruste der Europa geben sollte, besteht immerhin die entfernte Möglichkeit für Leben, ähnlich wie in manchen Tiefseegebieten der Erde, die durch Vulkane am Meeresboden Wärme erhalten. Diese Spekulation führt bereits zu Vorschlägen für Raumsondenmissionen zur Untersuchung und eventuell Durchdringung der Eiskruste und nachfolgender Erkundung des vermuteten darunterliegenden Meeres.

Eisschollen und Eisberge auf Europa:



Ein Eisfluß:



5.2.3 Ganymed

Ganymed ist der größte Mond des Sonnensystems, größer als Merkur und Pluto und etwa $\frac{3}{4}$ der Größe des Mars. Da Ganymed eine geringe Dichte von $1,94 \text{ g/cm}^3$ (Wasser = 1) hat, besteht er zu großen Teilen aus Eis und Gestein. Galileo hat ein Magnetfeld gemessen, was auf einen kleinen geschmolzenen metallischen Kern hindeutet. Der Kern wurde auch durch Messungen des Schwerefeldes beim Vorbeiflug bestätigt. Der Mantel besteht aus Eis und Silikaten (Gestein), die Kruste wahrscheinlich aus einer sehr dicken Eisschichte.

Ganymed hatte eine abwechslungsreiche geologische Geschichte: seine Oberfläche besteht aus zwei unterschiedlichen Formen:

- etwa die Hälfte der Oberfläche sind stark verkraterte dunkle Gebiete
 - die andere Hälfte besteht aus hellerem, von Furchensystemen durchzogenem Terrain
- Die Eishülle scheint in mehrere dunkle Blöcke ("Kontinente") zerbrochen zu sein, die offenbar weit über die Oberfläche geschoben wurden. Die helleren Gebiete sind möglicherweise auch durch den Austritt von Wasser aus dem Inneren eingeebnet worden und zeigen nur wenige Krater, sind daher jünger. Sie entstanden durch eine Art "Eisvulkanismus", also den Austritt von Warmeis bzw. Eismatsch, und überlagern so die alten verkraterten Gebiete.

Die großen Krater Ganymeds zeigen kaum große Erhebungen und sind recht flach. Das ist anscheinend auf langsames Absinken der Eisoberfläche zurückzuführen. Daher stammt der Name "Palimpsest" für diese Strukturen.

Das HST (Hubble Space Telescope) und Galileo stellten eine äußerst dünne Sauerstofflufthülle auf Ganymed fest. Sie entsteht vermutlich durch Auftrennung von Wassermolekülen der Eisoberfläche durch schnelle geladene Teilchen. Der Wasserstoff kann leichter entweichen als der Sauerstoff. Die Schwerkraftanziehung auf Ganymeds Oberfläche beträgt nur $\frac{1}{7}$ des Wertes auf der Erde.

Der Ganymedboden am Äquator dürfte etwa 117 K (-156°C) "warm" sein.

Das von Galileo festgestellte Magnetfeld Ganymeds bildet eine eigene Magnetosphäre innerhalb der viel größeren Magnetsphäre Jupiters. Es ist die erste bei einem Mond festgestellte Magnetosphäre überhaupt.

5.2.4 Kallisto

Kallisto ist der drittgrößte Mond im Sonnensystem (nach Ganymed und Titan) und fast so groß wie Merkur. Ihre Masse ist aber kaum eineinhalb mal größer als die unseres Erdmondes. Daher ist die Dichte sehr gering, selbst für einen Eismond bzw. Eisplaneten. Ihre Oberfläche ist die dunkelste unter den Galilei'schen Monden (aber noch heller als die unseres Erdmondes).

Kallisto erscheint auf den Raumsondenaufnahmen als das Objekt im Sonnensystem mit den meisten Einschlagkratern. Die größte Einschlagstruktur, Valhalla, hat 600 Kilometer Durchmesser mit Ringen, die bis in 2.000 Kilometer Entfernung von der Mitte feststellbar sind.

23. Fortsetzung Referat: Mit Galileo zum Jupiter

Seit der Entstehung gab es kaum geologische Aktivität bzw. Veränderungen der Oberfläche, die etwa 4 Milliarden Jahre alt sein dürfte. Sie ist im Alter daher mit den Hochländern des Erdmondes vergleichbar.

Es wurden mehrere Kraterketten festgestellt. Sie entstanden vermutlich beim Einfang und Aufbrechen eines Kometen durch Jupiter (ähnlich dem Kometen Shoemaker-Levy 9) und nachfolgendem Einsturz auf Kallisto.

Es gibt keine größeren Berge auf Kallisto, was auf die Eisnatur der Oberfläche zurückzuführen sein dürfte: größere Krater und Berge dürften zusammengesunken sein.

Die Bodentemperatur der Kallisto nahe dem Äquator beträgt etwa 126 K (-147°C). Bei dieser Temperatur ist das schmutzige Eis, aus dem die Oberfläche besteht, hart wie Fels.

Trotzdem wurde von Galileo eine sehr dünne Lufthülle aus Sauerstoff gemessen, ähnlich wie bei Ganymed. Die ultraviolette Strahlung der Sonne scheint Sauerstoff und Wasserstoff aus dem Oberflächeneis herauszuholen.

Messungen des Schwerefeldes beim Vorbeiflug von Galileo ergaben ein wenig differenziertes Inneres: Kallisto ist daher ein ziemlich gleichförmiges Gemisch aus Gestein und Eis.

6 Literatur

1. John H. Rogers: The Giant Planet Jupiter. Cambridge University Press, Cambridge 1995.
2. Bertrand M. Peek: The Planet Jupiter. Faber & Faber, London 1958.
3. G. D. Roth (Hrsg): Taschenbuch für Planetenbeobachter. Verlag Sterne und Weltraum, München 1997.
4. Amateurprogramm "Jupitermonde" des Österreichischen Astronomischen Vereins. Astronomisches Büro, Hasenwartgasse 32, 1238 Wien.
5. Himmelskalender für das Jahr 1998. Astronomisches Büro, Wien.
6. Galileo-Homepage des JPL: URL: <http://www.jpl.nasa.gov/galileo/>
7. Galileo-Probe Homepage: URL: http://ccf.arc.nasa.gov/galileo_probe/
8. Manfred Reichstein: Das Jupitersystem nach 25 Jahren Raumfahrtforschungen (Teil I und II). In: *Astronomie+Raumfahrt* 34 (1997) 5 und 6.
9. Kenneth R. Lang und Charles A. Whitney: Planeten. Wanderer im All. Springer Verlag Berlin Heidelberg 1993.
10. Bill Arnett: The Nine Planets. URL: <http://www.seds.org/billa/tnp/>
11. Daniel Fischer: Mission Jupiter. Die spektakuläre Reise der Raumsonde Galileo. Birkhäuser, Basel 1998.
12. Helmut Zimmermann und Alfred Weigert: ABC Lexikon Astronomie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin 1995.

Abbildungen aus: 1; 9; 12; The Tour; Slide 1\slide10.,18.,20.gif; pia01125.,01127.jpg

Subject: Re: Bibliographie und Kurzzusammenfassungen der Station "MIR"

Date: Tue, 5 May 1998 10:18:57 +0400 (????)

From: "Victor K. Abalakin" <vicabal@gao.spb.su>

To: astbuero@astronomisches-buero-wien.or.at

1984-1986

JOHN, MICHAEL. Preparation of a satellite experiment for x ray astronomy. Development of computation programs for the control, and data collection using MC 6800 Motorola microprocessor. // Thesis Tuebingen Univ. (Germany, F.R.). Astronomisches Inst. 1984.

For the Salyut HEXE experiment, a computation system was built in cooperation with the experimental computer of the German X-ray satellite ROSAT. The principles and the construction of the measuring instruments used are described. A short description of the X-ray observatory for the Salyut Space Station is given. In order to favor a better understanding of the data transmission of the phoswich detector, data transmission of the X-ray observatory using the detectors developed by West European institutes is presented. The telemetry of the HEXE experiment is explained. The described software was developed and tested for the HEXE experiment. An accurate representation of utilized processors is given.

PETRIK, J. Preparation of X-ray astronomy satellite experiment Development of computer programs for the Salyut-HEXE X-ray experiment ground station. // Tuebingen, Universitaet, Astronomisches Institut, Diplomarbeit, 1984, 122 p. In German.

The engineering model of the Salyut-HEXE experiment is described. The detector system, electronics box, and ground station are addressed. The microprocessor system is considered, discussing the cards and presenting block diagrams of their functions. The telemetry is examined, including the various modes and the direct and indirect transmission modes. The ground station programs are discussed, including the tasks, program development, input and output programs, status, power supply, count rates, telemetry dump, hard copy, and checksum.

Brinkman A.C., Dam J., Mels W.A. et al. Non-thermal and very high temperature phenomena in x-ray astronomy. // Roma: Univers. "La Sapienza", Istituto Astronomico, 1985, edited by Perola, G.C.; Salvati, M. P.263.

BREUS, TAMARA. X-ray astronomy instruments to operate on Mir station. // In its USSR Report: Space p 50-51 (SEE N88-10050 01-12) Transl. into ENGLISH from APN: Advances of Science and Technology (Moscow, USSR), no. 21, 5 Nov. 1986 p 1-3

The Soviet Salyut orbital stations were the first to carry X-ray telescopes into space. The Mir station offers still greater opportunities for astronomical observations by ensuring high guidance accuracy in the automatic regime. Even more important, it extends the period of observations

without impairing other research programs. The X-ray telescopes will operate within a wide band of energies, making it possible to solve in principle astrophysical tasks unattainable for the available space-based telescopes. Equipment and instruments for the Mir X-ray observatory were developed and manufactured through the collective efforts of the Soviet Union, the Netherlands, West Germany, and the European Space Agency. The design and advantages of the telescope are discussed.

1987

'HEXE' - X-ray observatory in space // Astronautik (ISSN 0004-6221), vol. 24, Apr.-June 1987, p. 41, 42. In German.

An overview is given of the design concept and scientific goals of the High-Energy X-ray Experiment (HEXE), developed in the FRG (by the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics and the Astronomical Institute of Tuebingen University) for operation on the Soviet space station Mir. HEXE was launched to LEO using a Kvant vehicle on March 31, 1987; after initial docking problems, it was joined to Mir by two cosmonauts in a 3-hour EVA on April 12. HEXE has dimensions 45 x 45 x 75 cm and weight 180 kg; it employs an 800-sq-cm Tl-doped NaI/CsI phoswich detector for 15-250-keV X-rays, complementing the other Mir instruments: the ESTEC high-pressure gas-scintillation proportional counter (3-100 keV), the Soviet high-energy detector (20-800 keV), and the Dutch-British X-ray camera (2-30 keV). The Mir observations are intended to explore the energy spectra and time evolution of compact galactic and extragalactic objects.

SKINNER, G. K.; PONMAN, T. J. Coded mask telescopes for X-ray astronomy. // British Interplanetary Society, Journal (Space Science) (ISSN 0007-084X), vol. 40, April 1987, p. 169-172.

The principle of the coded mask techniques are discussed together with the methods of image reconstruction. The coded mask telescopes built at the University of Birmingham, including the SL 1501 coded mask X-ray telescope flown on the Skylark rocket and the Coded Mask Imaging Spectrometer (COMIS) projected for the Soviet space station Mir, are described. A diagram of a coded mask telescope and some designs for coded masks are included.

SUNIAEV, R.; KANIOVSKII, A.; EFREMOV, V.; GILFANOV, M.; CHURAZOV, E. Discovery of hard X-ray emission from supernova 1987A // Nature (ISSN 0028-0836), vol. 330, Nov. 19, 1987, p. 227-229.

The discovery of hard X-rays from the region of the SN1987A in the LMC is reported. The observations were made from the Mir-Kvant observatory Roentgen. Hard X-rays were first observed on August 10, 1987; a total of 115 pointings on 21 days were made up to September 15, 1987. The flux showed little variation during the observation period. The measured spectrum extends from 20 keV to 300 keV and is extremely hard, having a photon power-law index of about 1.4. At low energies, the spectrum becomes even flatter, and there is indication of a cutoff between 10 and 25 keV. The luminosity over the energy range 20-300 keV is about 2×10^{42} to the 38th erg/s, assuming a distance of 55 kpc. The error box for the hard source has a 2-sigma radius of 10 arcmin and contains SN1987A.

BEATTY, J. KELLY. The high-flying Kvant module. // Sky and Telescope (ISSN 0037-6604), vol. 74, Dec. 1987, p. 599-601.

The detection of X-rays from Supernova 1987A by instruments aboard the

Soviet Kvant spacecraft is discussed. The Kvant module is 19 feet long and 13.6 feet across at its widest. On board are four telescopes for X-ray detection (TTM, gas-scintillation proportional counter, high-energy X-ray experiment, and Pulsar X-1) collectively weighing about 1,800 lbs. It is noted that observations are usually limited to the 20-min periods when Mir is over the equatorial region.

 SUNYAEV, R.; KANIOVSKIY, A.; EFREMOV, V.; GILFANOV, M.; CHURAZOV, E.; GREBENEV, S.; KUZNETSOV, A.; MELIORANSKIY, A.; YAMBURENKO, N.; YUNIN, S.; STEPANOV, D.; CHULKOV, I.; PAPPE, N.; BOYARSKIY, M.; GAVRILOVA, E.; LOZNIKOV, V.; PRUDKOGLYAD, A.; DKOGLYAD, A.; RODIN, V.; REPPIN, C.; PIETSCH, W.; EUGELHAUSER, J.; TRUMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; BEZLER, M.; STAUBERT, R.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; MELS, W. A.; JAGER, R.; SKINNER, G. K.; AL-EMAM, O.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. The detection of hard X-ray emission from SN 1987A - Preliminary results from the Kvant module. // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 13, Dec. 1987, p. 1027-1041. In Russian.

On August 10, 1987, instruments in the Kvant module of the Mir space station detected hard X-ray emission from SN 1987A in the LMC. Upper limits to the radiation flux in the 3-20 and 300-1000 keV regions were obtained. Upper limits were also established for the emission measure of gas heated by a shock wave, the density of the gas in front of the shock-wave front, and the mass loss rate of the presupernova several years before the star explosion. Models in which the decay of radioactive cobalt or of a young pulsar is the photon source are in the best agreement with observational data.

 1988

 SUNYAEV, R. A.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKY, A. S.; STEPANOV, D. K.; YUNIN, S. N.; KUZNETSOV, A. V.; LOZNIKOV, V. M.; MELIORANSKY, A. S.; RODIN, V. G.; PRUDKOGLYAD, A. V.; GREBENEV, S. A.; REPPIN, C.; PIETCH, W.; ENGELHAUSER, J.; TRUMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; BEZLER, M.; STAUBERT, R.. The increase in the hard X-ray flux from SN 1987A detected with the Hexe and Pulsar X-1 telescopes aboard the Kvant module's Roentgen observatory // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 14, July 1988, p. 579-590. In Russian.

Observations of SN 1987A carried out during August 1987-February 1988 using the Hexe and Pulsar X-1 telescopes aboard the Mir station's Kvant module revealed a significant increase in the hard X-ray flux from the supernova in the 20-400 keV range. The radiation spectrum and its rate of increase can only be explained by models associated with gamma-line Comptonization, which arises during radioactive Co-57 decay. The early appearance of Co-57 line emission and the relatively slow increase in intensity suggests either substantial Co mixing over a significant part of the ejected envelope, or significant nonspherical geometry of the supernova envelope.

 IAU Circ. N 4606. 1988. ASM 2000+25

R. Sunyaev and the Kvant Team, Space Research Institute, U.S.S.R. Academy of Sciences, report: "The MIR-Kvant Rontgen Observatory detected this x-ray nova on May 15 and 17 in the spectral band 4-250 keV. The Pulsar X1 Phoswich device discovered a hard power-law x-ray tail in the spectral band 20-250 keV with flux $0.5 E^{*-1.7}$ photons $cm^{*-2} s^{*-1} keV^{*-1}$, where E is the photon energy measured in keV. The Hexe device discovered the same tail in the band 15-150 KeV. On May 17 the GSPC device detected the soft component of the spectrum in the band 4-15 keV. For a thermal bremsstrahlung model the best fit gives a plasma temperature of 1.86 ± 0.05 keV. The soft component, which was reported earlier by the Ginga Team, corresponds to a

luminosity of 3×10^{36} erg/s for a distance of 1 kpc; the luminosity of the hard component is three times smaller. These values refer only to the spectral bands mentioned above."

SKINNER, G. K.; AL-EMAM, O.; BRINKMAN, A. C.; CHURAZOV, E.; GILFANOV, M. Coded mask X-ray observations of SN 1987A from Mir // Supernova 1987A in the Large Magellanic Cloud; Proceedings of the Fourth George Mason Astrophysics Workshop, Fairfax, VA, Oct. 12-14, 1987 (A89-28851 11-90). Cambridge and New York, Cambridge University Press, 1988, p. 361-365.

Observations made of the supernova SN 1987A with the TTM coded mask imaging X-ray telescope on the Mir-Kvant observatory 'Rontgen' are reported. Upper limits for the flux below 20 keV from SN 1987A are below the extrapolation of the higher energy emission observed from the region by other instruments, implying a cutoff or change of slope. Useful limits can be placed on the density of the region into which the supernova is expanding.

TRUEMPER, J.; REPPIN, C.; PIETSCH, W.; ENGLHAUSER, J.; VOGES, W. The hard X-ray spectrum of SN 1987A // Supernova 1987A in the Large Magellanic Cloud; Proceedings of the Fourth George Mason Astrophysics Workshop, Fairfax, VA, Oct. 12-14, 1987 (A89-28851 11-90). Cambridge and New York, Cambridge University Press, 1988, p. 355-360.

The discovery of hard X-rays in the energy range from 20 to 350 keV by the Hexe and Pulsar X-1 instruments on the Mir-Kvant Rontgen observatory is reported. The hard X-rays were first observed on August 10, 1987, and thereafter SN 1987A became the main target of the observatory. The measured spectrum is extremely hard. At high energies the photon spectrum has a power law index of about 1.4. At lower energies the spectrum becomes flatter and there is indication of a cut-off below 25 keV. The luminosity in the above energy band is about 2×10^{38} erg/s. The flux shows little variation between August 10 and beginning of October.

SUNYAEV, R.; GILFANOV, M.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; EFREMOV, V.; KANIOVSKIV, A.; KUZNETSOV, A.; MELIORANSKIY, A.; VOGES, W.; PIETSCH, W.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; OEGELMAN, H.; KENDZIORRA, E.; MONY, B.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; SMITH, A.; PARMAR, A. N. The acceleration of the rotation of the X-ray pulsar Hercules X-1 - Results of Kvant module observations in August 1987-July 1988 // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 14, Nov. 1988, p. 979 - 991. In Russian.

Using observations of the Hercules X-1 pulsation period made with the Roentgen X-ray observatory on the Kvant module between August 1987 and July 1988, the average period derivative is estimated at $(-4.9 \pm 1.5) \times 10^{-6}$ s/year. The comparison of Kvant data with previous observations shows that, between 1984 and 1988, Hercules X-1 underwent quasi-stationary acceleration similar to that observed in 1972-1978.

SIUNIAEV, R. A.; GIL'FANOV, M. R.; CHURAZOV, E. M.; IAMBURENKO, N. S.; BRINKMAN, A. C. Stabilization of the Mir-Kvant complex using data of the TTM X-ray telescope // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN, 0320-0108), vol. 14, Aug. 1988, p. 695-705. In, Russian.

The international X-ray observatory on the Kvant module of the Mir space station has been operating since June 1987. The observation of bright X-ray sources by the TTM instrument on the Kvant module indicates that the direction to sources is held with an accuracy of about 2 arcmin in the course of about 20 min.

IAU Circ. N 4691. 1988. Supernova 1987A in the Large Magellanic Cloud

R. Sunyaev and the Kvant Team (Space Research Institute of the U.S.S.R. Academy of Sciences, Max-Planck-Institut fur Extraterrestrische Physik and Astronomisches Institut of the University of Tubingen) report: "The hard x-ray experiment HEXE on board the Kvant module of the MIR space station detected a continuous decrease of the x-ray flux from SN 1987A in the energy range 20-120 MeV from April to November. The flux in September and October was three times weaker than that observed in January, when it was at maximum. In November and December HEXE detected a further decrease of the hard x-ray flux, which is now approximately six times weaker than in January."

MONY, BRUNO. Examination of the background by High Energy X ray Experiment (HEXE) on the space station MIR // Thesis Tuebingen Univ. (Germany).
Astronomisches Inst. Publication Date: 08/1988

The last results of the HEXE mission showed considerable declinations between the known x ray source positions and the view direction of the HEXE, which reduces the photon flux from the source, significantly in some cases. For this experiment many programs were written and tested for the reduction of data. Quick-look programs are presented that allow the data acquisition. A program was developed that can give the measurement results of the housekeeping counter by way of the catalog system and gathering in plot files. An orbit program is proposed to carry out the center correction for the arrival time of the photons and to study the influences of the geomagnetic field on the background observed by HEXE.

SYUNYAEV, R. A.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKII, A. S.; STEPANOV, D. K.; YUNIN, S. N.; KUZNETSOV, A. V.; LOZNIKOV, V. M.; MELIORANSKII, A. S.; RODIN, V. G.; PRUDKOGLYAD, A. V.; GREBENEV, S. A.; REPPIN, C.; PIETSCH, W.; ENGELHAUSER, J.; TRUMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; BEZLER, M.; STAUBERT, R. HARD X-RAY BRIGHTENING OF SUPERNOVA 1987A - THE MIR-KVANT DATA // SOVIET ASTR.LETT.(TR:PISMA) V.14, NO. 4, P. 247, 1988

SUNYAEV, R. A.; GILFANOV, M. R.; CHURAZOV, E. M.; LOZNIKOV, V. M.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKII, A. S.; KUZNETSOV, A. V.; MELIORANSKII, A. S.; VOGES, W.; PIETSCH, W.; DOBEREINER, S.; ENGELHAUSER, J.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; OGELMAN, H.; KENDZIORRA, E.; MONY, B.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; SMITH, A.; PARMAR, A. N. HERCULES-X-1 SPIN-UP - THE KVANT DATA 1987-1988 // SOVIET ASTR.LETT.(TR:PISMA) V.14, NO.6/NOV/DEC, P. 416, 1988.

SUNYAEV, R. A.; LAPSHOV, I. YU.; GREBENEV, S. A.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKY, A. S.; STEPANOV, D. K.; YUNIN, S. N.; GAVRILOVA, E. A.; LOZNIKOV, V. M.; PRUDKOGLYAD, A. V.; RODIN, V. G.; BABUSHKINA, O. P.; KISELEV, S. V.; KUZNETSOV, A. V.; MELIORANSKY, A. S.; MELIORANSKY, A. S.; SMITH, A.; PARMAR, A.; PIETSCH, W.; DOBEREINER, S.; ENGELHAUSER, J.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R. The detection of the hard component in the radiation spectrum of the X-ray nova in Vulpecula - Preliminary results from the Kvant module // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 14, Sept. 1988, p. 771-786. In Russian.

Two components were detected in the spectrum of the X-ray nova in Vulpecula. A soft component is found to be dominant in the 4-15 keV band. A hard power law component accounts for 10 percent of the source luminosity and dominates the spectrum in the 15-200 keV band. An energy drop is observed above 200 keV.

 1989

IAU Circ. N 4769. 1989. A0535+26

R. Sunyaev and the Kvant Team (Space Research Institute, U.S.S.R. Academy of Sciences; Birmingham University; Netherlands Space Research Organization, Utrecht; Max-Planck-Institut fur Extraterrestrische Physik; and Astronomisches Institut, University of Tubingen) communicate: "On Apr. 8 and 9, the transient source A0535+26 was observed by the Mir-Kvant-Rontgen Observatory. The Coded Mask Imaging Spectrometer TTM has the Crab nebula in the same field-of-view. Direct comparison gives the following intensities of the transient in various bands: 2-6 keV, 0.6 Crab; 6-10 keV, 1.5 Crab; 10-16 keV, 2.5 +/- 0.2 Crab; 16-26 keV, 4.3 +/- 1 Crab. The observed energy spectrum is approximately flat in the 2- to 26-keV band. The pulsation period was 103.267 +/- 0.003 s. The average flux in six sessions over 10 hr on Apr. 9 (700 s each) did not reveal long-term flux variations > 10 in the 2- to 26-keV energy band. The hard x-ray detectors HEXE and Pulsar X-1 detected significant x-ray flux up to 100 keV. The source was 3.9 times brighter than the Crab in the 30- to 40-keV band. Figures for the range 70-100 keV were obtained using a Bremsstrahlung approximation for the observed spectrum in the band 2-100 keV."

 IAU Circ. N 4800. 1989. V404 Cygni

R. Sunyaev and the Kvant Team (Space Research Institute, U.S.S.R. Academy of Sciences; Birmingham University; Netherlands Space Research Organization, Utrecht; Max-Planck-Institut fur Extraterrestrische Physik; and Astronomisches Institut, University of Tubingen) telex: "V404 Cyg = GS 2023+338 was observed several times during June 9-10 by the instruments of the Kvant module of the Mir space station. The source was localized at R.A. = 20h22m06s, Decl. = +33 42.2 (equinox 1950.0) with approximately 0'.4 error using the positions of Cygnus X-1 and Cygnus X-3 in the field-of-view of the Coded Mask Imaging Spectrometer (TTM). The star V404 Cyg is inside this error box. The source is significantly detected up to 300 keV by the HEXE and Pulsar X-1 instruments. It has a flat spectrum with a strong absorption and high energy exponential cut-off at energies > 100 keV. The source is strongly variable. Maximal detected fluxes are 0.1 Crab at 5 keV, 1.5 Crab at 20 keV, and 3.5 Crab at 100 keV."

 IUNIN, S. N.; STEPANOV, D. K.; CHULKOV, I. V. Physical calibration of the Pulsar X-1/Spektr-3/IRA X-ray spectrometer of the international orbital observatory Rentgen on the Kvant module. // Instrumentation and methods for space exploration (A91-23962 08-19). Moscow, Izdatel'stvo Nauka, 1989, p. 200-212. In Russian.

 MELIORANSKII, A. S.; SIUNIAEV, R. A.; SINAIKO, E. I.; GOLUBEV, S. I.; EFENDIEV, K. E. Detectors of the X-ray spectrometer Pulsar X-1 which is part of the Rentgen complex of the Kvant module. // Instrumentation and methods for space exploration (A91-23962 08-19). Moscow, Izdatel'stvo Nauka, 1989, p. 192-200. In Russian.

 GILFANOV, M.; SUNYAEV, R.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; EFREMOV, V.; KANIOVSKJII, A.; KUZNETSOV, A.; YAMBURENKO, N.; MELIORANSKII, A.; SKINNER, G. K.; AL-EMAM, O.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; INTZAND, J. J. M.; JAGER, R.; VOGES, W.; PIETSCH, W.;

DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; TRUEMPER, J.; REPPIN, C.; OEGELMAN, H.; KENDIZORRA, E.; MONY, B.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; PARMAR, A. N.; SMITH, A. OBSERVATIONS OF X-RAY PULSARS WITH THE RONTGEN OBSERVATORY ON THE KVANT MODULE // SOVIET ASTR.LETT.(TR:PISMA) V.15, NO. 4/JUL, P. 291, 1989.

INTZAND, J. J. M.; PATTERSON, T. G.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; JAGER, R.; SKINNER, G. K.; WILLMORE, A. P.; AL-EMAM, O.; SUNYAEV, RASHID A.; CHURAZOV, E. TTM-Kvant observations of the galactic plane // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 693-695 (SEE N90-25711 19-89).

A preliminary analysis of observations obtained on the galactic plane with the TTM X ray widefield camera (coded mask imaging spectrometer) in Kvant revealed in addition to 29 known sources the probable existence of four unknown sources, KS1731-261, KS1724-356, KS1632-477 and KS1739-304. The accuracy of the position of two known X ray sources could be improved: 4U1708-40 and GS1826-24.

SUNYAEV, RASHID A.; CHURAZOV, E.; GILFANOV, M. R.; LOZNIKOV, V.; YAMBURENKO, N.; SKINNER, G. K.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; EMAM, O.; BRINKMAN, A. C. X ray observations of the LMC field by the TTM instrument onboard the Kvant module: November 1988 to June 1989 // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 633-640 (SEE N90-25711 19-89).

The results of the Large Magellanic Cloud (LMC) observations in the 2 to 30 keV band by the coded mask imaging spectrometer instrument of the Mir-Kvant X ray observatory are presented. The observations were performed during the period Nov. 1988 to Jun. 1989. An upper limit on the flux from supernova SN1987A is found to be 0.6 mCrab in this band. The results of monitoring and spectral observations of LMC X-1, LMC X-2, LMC X-3, LMC X-4 and PSR0540-693 are given.

IAU Circ. N 4839. 1989. Transient X-Ray Burster KS 1731-260.

R. Sunyaev and the Kvant Team report: "During observations of the GX 1+4 field on Aug. 16 the TTM instrument of the Mir-Kvant X-ray Observatory discovered a new transient x-ray burster at R.A. = 17h31m.1, Decl. = -26d03' (equinox 1950.0; uncertainty 1'). The persistent flux from this source in the 2-27-keV band varies from 50 to 90 mCrab, and a bremsstrahlung fit to the spectrum corresponds to temperature kT = 5 keV. During subsequent observations on Aug. 20-21 the source was also bright. Several outbursts of duration less than 15 s and averaged peak flux up to 0.6 Crab were detected during Aug. 16-21. Further analysis has revealed this source in a lower state during observations of the galactic center region on 1988 Oct. 21, the 2-27-keV flux then being 25 mCrab."

IAU Circ. N 4850. 1989. KS 1947+300.

G. K. Skinner, University of Birmingham, on behalf of the TTM/Kvant Team (Space Research Institute, USSR Academy of Sciences; University of Birmingham; Space Research Laboratory, Utrecht), writes: "A transient x-ray source, KS 1947+300, has been observed in data obtained with the TTM Coded Mask Imaging Spectrometer on Mir during the period June 8-15. The source position is R.A. = 19h47m35s.2, Decl. = +30 04'47" (equinox 1950.0), with an error circle radius of 30". A thermal bremsstrahlung fit to the spectrum gives a temperature of 9 keV with strong, low-energy absorption, consistent with obscuration by dust clouds apparent on survey plates in this direction. The mean 2- to 10-keV flux over the period of the observations was 50 mJy."

IAU Circ. N 4879. 1989. GX 1+4

G. K. Skinner, University of Birmingham, on behalf of the TTM/Kvant team (IKI, U.S.S.R. Academy of Sciences; University of Birmingham; Space Research Laboratory, Utrecht) writes: "In view of the report of radio emission from near GX 1+4 (IAUC 4871), we have obtained a new independent position for the x-ray source using data obtained with the TTM Coded Mask Imaging Spectrometer on Mir during 1989 August. The centroid of the 30"-radius error circle is R.A. = 17h28m58s.3, Decl. = -24 42'28" (equinox 1950.0). This is consistent with the Copernicus and SAS-3 positions and with the optical candidate. It lies between the two radio source positions and excludes both, so that neither can be the direct counterpart of the x-ray source. We place upper limits of 5 mJy on the 2- to 10-keV x-ray flux from the positions on IAUC 4871."

MAISACK, M.; KENDZIORRA, E.; MONY, B.; STAUBERT, R.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; EFREMOV, V. V. Hard X ray observations of AGN // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 2: AGN and the X Ray Background p 975-979 (SEE N90-25841 19-89).

Preliminary spectral results of hard X-ray observations (20 to 200 keV) of Active Galactic Nuclei (AGN) are presented. The observations were performed with the High Energy X-ray Experiment (HEXE) instrument of the Kvant module docked to the Soviet Space Station Mir. Three AGNs were observed: 3C 273, Cen A and NGC4151. Power law fits to the data gave the following results: for 3C 273, the photon index was 1.49 ± 0.11 , the intensity was $(6.93 \pm 0.29) \times 0.00001$ photons/sq cm sec keV. For Cen A, the best fit photon index was about 1.6 for two observations about a year apart. The intensity increased by a factor of at least 1.7 between the two observations. For NGC4151, no change in spectral shape was found between November 1987 and January 1989. A common fit gave the photon index of 1.54 ± 0.11 . The intensity can only be determined for the November 87 data. The 50 keV intensity was found to be $(5.72 \pm 0.29) \times 0.00001$ photons/sq cm sec keV.

MONY, B.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; EFREMOV, V. V. High energy X ray observations of GX 1+4 with HEXE // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 541-544 (SEE N90-25711 19-89)

Two observations with the High Energy X ray Experiment (HEXE) on board the Soviet Kvant module and performed on the X ray pulsar GX 1+4(4U1728-24) are reported. During the first observation on Oct. 31, 1987 the luminosity in the energy range 20 to 60 keV was 2×10^{37} erg/sec. For the second observation, lasting from 23 to 27 Sep. 1988 there is no reliable aspect information available. The phase averaged spectra of both observations are well fitted by a thermal bremsstrahlung. A comparison to spectra, gained during the high state of GX 1+4, shows that the spectrum is now significantly harder. The timing analysis using an epoch folding method allowed obtaining of pulsational periods. The pulse periods fit well together with periods determined by Ginga, defining a long term spin down of GX 1+4.

ENGLHAUSER, J.; DOEBEREINER, S.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; EFREMOV, V. V. Mir-Kvant-HEXE hard X ray light curve of SN 1987A // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 397-400 (SEE N90-25711 19-89).

The observations of the supernova 1987A by the High Energy X-ray Experiment (HEXE) on board the Mir-Kvant module are discussed. A total observation time of 530000s was spent on that target, and data are available from day 144 to 843 after the outburst. Four detectors and an improved background subtraction method were used and a final energy calibration was established. A hard X-ray flux from SN 1987A already on day 144 was discovered. X-ray light curves are presented in three energy bands, extending the time coverage to June 1989. The new results confirm the results published earlier.

DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; EFREMOV, V. V. Observations of black hole candidates with the Mir-Kvant HEXE // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 387-392 (SEE N90-25711 19-89).

The three black hole candidates Cygnus X-1, GX339-4, and the X-ray transient source GS2000+25 were observed with the High Energy X-ray Experiment (HEXE) aboard the Soviet Space Station Mir. The spectra and light curves obtained with improved data processing techniques are presented. The spectra of Cygnus X-1 and GS2000+25 in the energy range from 30 to 180 keV deviate from simple power laws and are compatible with either thermal bremsstrahlung from a hot and optically thin plasma or low energy photons comptonized to high X-ray energies in a hot plasma cloud.

SUNYAEV, RASHID A.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKY, A. S.; GREBENEV, S. A.; REPPIN, C.; PIETSCH, W.; ENGLHAUSER, J.; TRUEMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E. Upper limits on Co-57 abundance in SN1987A according to the Kvant data // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 171-172 (SEE N90-25711 19-89).

Seven hard X-ray spectra of SN1987A obtained at different times by instruments onboard Kvant module are presented. During June observations the flux from the supernova was not detected. Only three sigma limits are presented. The 50-millisecond pulsar PSR 0540-693 and LMC X-1 were also in the field of view of HEXE instrument during the June observations.

DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; EFREMOV, V. V. Observations of black hole candidates with the Mir-Kvant HEXE // Contributions of the X Ray Astronomy Group of the Max-Planck-Institut fuer Extraterrestrische Physik p 5-10 (SEE N90-24196 17-89)

The spectra and light curves, obtained with improved data processing techniques, of black hole candidates are presented. The three black hole candidates Cygnus X-1, GX339-4, and the x ray transient source GS2000+25 were observed with the High Energy X ray Experiment (HEXE) aboard the Soviet space station MIR. The spectra of Cygnus X-1 and GS2000+25 in the energy range from 30 to 180 keV deviate significantly from simple power laws and are compatible with either thermal bremsstrahlung from a hot and optically thin plasma or low energy photons comptonized to high x ray energies in a hot plasma cloud.

ENGLHAUSER, J.; DOEBEREINER, S.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; EFREMOV, V. V. Mir-Kvant-Hexe hard x ray light curve of SN 1987A // Contributions of the X Ray Astronomy Group of the Max-Planck-Institut fuer Extraterrestrische Physik p 1-4 (SEE N90-24196 17-89).

The observations of supernova 1987A, performed by High Energy X ray Experiment (HEXE) on board of the Mir-Kvant module, are reported. A total observation time of 530,000 s was spent on that target, and data are available from day 144 to 843 after the outburst. Comparison with published results, data from four detectors, and improved background subtraction method are considered. A final energy calibration is established. Hard x ray flux from SN 1987A are discovered. X ray light curves are presented in three energy bands, extending the time coverage to June 1989. The new results confirm the results published.

ENGLHAUSER, J.; DOBEREINER, S.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; EFREMOV, V.; KANIOVSKY, A.; KUZNETSOV, A.; SUNYAEV, R. MIR-KVANT HEXE HARD X-RAY LIGHTCURVE OF SUPERNOVA 1987A // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P.397, 1989.

DOBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKY, A. S.; KUZNETSOV, A. V.; SUNYAEV, R. A. OBSERVATIONS OF BLACK-HOLE CANDIDATES WITH THE MIR-KVANT HEXE // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P.387, 1989.

INT-ZAND, J. J. M.; PATTERSON, T. G.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; JAGER, R.; SKINNER, G. K.; WILLMORE, A. P.; AL-EMAM, O.; SUNYAEV, R.; CHURAZOV, E.; GILFANOV, M. R.; YAMBURENKO, N. TTM / KVANT OBSERVATIONS OF THE GALACTIC PLANE // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P.693, 1989

SUNYAEV, R.; CHURAZOV, E.; GILFANOV, M. R.; YAMBURENKO, V. LOZNIKOV N.; SKINNER, G. K.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; EMAM, O.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; INT-ZAND, J. J. M.; JAGER, R. X-RAY OBSERVATIONS OF THE LARGE MAGELLANIC CLOUD FIELD BY THE TTM INSTRUMENT ON BOARD THE KVANT MODULE - 1988NOV - 1989JUN // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P.633, 1989

SUNYAEV, R. A.; KANIOVSKY, A. S.; EFREMOV, V. V.; GREBENEV, S. A.; KUZNETSOV, A. V.; LOZNIKOV, V. M.; WELIORANSKY, A. S.; ENGLHAUSER, J.; DOEBEREINER, S.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R. Decrease of the hard X-ray flux of SN 1987A - Kvant module data // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 15, April 1989, p. 291-300. In Russian.

The HEXE telescope on the Kvant module detected a 6-fold decrease of the hard X-ray flux of SN 1987A in the 15-200 keV energy range during observations from April to December 1988. A slight hardening of the spectrum was also detected. The X-ray light curve can be explained by a model that assumes a homogeneous mixing of radioactive Co-56 over the envelope.

SUNYAEV, RASHID A.; CHURAZOV, E.; GILFANOV, M. R.; LOZNIKOV, V.; YAMBURENKO, N.; SKINNER, G. K.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; EMAM, O.; BRINKMAN, A. C. A new transient X ray burst source near GX 1+4 // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 641-646 (SEE N90-25711 19-89).

The observations of the GX1+4 field on Aug. 16 1989 are reported. During these observations, the cooled mask imaging spectrometer instrument of the Mir-Kvant observatory discovered a new transient X ray burster. The persistent flux in the 2 to 27 keV band from this source varied from 50 to 100 millicrabs. Several bursts with durations of 10 to 20 s and peak flux up to 0.6 Crab were detected in the period from 16 to 31 Aug.

KENDZIORRA, E.; MONY, B.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; EFREMOV, V. V. Hard X ray pulses from Vela X-1 // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 467-471 (SEE N90-25711 19-89).

The high mass X-ray binary Vela X-1 (4U 0900-40) was observed with the high energy X-ray experiment on board the Kvant module in Nov. 1988 and Feb. 1989 for a total of 8 hours. Individual pulses during an active state were observed up to 70 KeV. The time averaged spectra for four binary phases were fitted with a power law plus exponential cutoff. During the flare state at binary phase 0.16 the spectrum is slightly softer. In all but the flare observation a significant excess flux between 70 and 96 KeV is observed. The spectral feature can be fitted with an emission line around 85 KeV, possibly a cyclotron line. The observed width is consistent with the energy resolution of the detector.

BORISOV, N. V.; BOCHKAREV, N. G.; GLADYSHEV, S. A.; GREBENEV, S. A.; DOLGUSHIN, A. I.; ZHEKOV, S. A.; KARITSKAYA, E. A.; KUROCHKIN, N. E.; NEIZVESTNY, S. I.; PAVLENKO, E. P. X ray nova GS 2000+25 = Nova Vul 1988: X ray and optical light curves, spectra, and model // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 305-309 (SEE N90-25711 19-89).

The results of optical and X-ray observations of X-ray Nova Vul 1988 are presented. The observations, performed on the module Kvant, revealed a soft and a hard component of the X-ray spectrum. The discussion is carried out in the framework of the model of nonstationary disc accretion. The assumption on the disk accretion taking place onto a black hole of stellar mass is made.

AREFEV, V.; BOROZDIN, K.; CHURAZOV, E.; AFREMOV, V. V.; GILFANOV, M. R.; KANIOVSKIY, A.; KUZNETSOV, A. V.; MELIORANSKIY, A.; SUNYAEV, RASHID A.; YAMBURENKO, N. X ray observations of GS2023+338 by the Kvant module // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 255-261 (SEE N90-25711 19-89).

Following the discovery of GS2023+338 by Ginga, the source was detected in the 2 to 300 keV energy band by the experiments onboard the Kvant module. The source position was localized using data from the coded mask imaging spectrometer. Between Jun. 8 to Aug. 1989 a continuous decrease of X-ray luminosity and strong short time variability were detected. Timing analysis

showed strong low frequency noise in the power spectrum of the source.

 GILFANOV, M. R.; SUNYAEV, RASHID A.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKIY, A.; KUZNETSOV, A. V.; YAMBURENKO, N.; MELIORANSKIY, A.; SKINNER, G. K. Observations of the X ray pulsars from the Kvant module // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 71-79 (SEE N90-25711 19-89).

The results of observations of the following X-ray pulsars are discussed: Cen X-3, SMCX-1, Her X-1, Vela X-1, A0535+26, 4U 1626-67 and GX 1+4. The observations were performed by the instruments onboard Kvant module from 1987 to 1989. The pulsation period measurements are presented and the values of the periods are reduced to the solar system baricenter and (except in the case of A0535+26 and 4U 1626-67) to the binary system baricenter.

 EFREMOV, V. V.; GREBENEV, S. A.; KANIOVSKY, A. S.; KUZNETSOV, A. V.; LAPSHOV, I. Y.; SUNYAEV, RASHID A.; SMITH, A.; PARMAR, ARVIND N.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J. The X ray spectrum of Nova Vul 1988. Mir-Kvant data // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 15-17 (SEE N90-25711 19-89).

The X-ray spectrum of the two components, detected in Vulpeca GS 2000+25, are presented. Two components of X-ray spectrum were detected: a soft component with a temperature of 20 million Kelvin and a hard component up to the energy 200 to 300 keV. Soft component dominates in the 4 to 15 keV band and contains 90 percent of the source luminosity.

 SYUNYAEV, R. A.; KANIOVSKII, A. S.; EFREMOV, V. V.; GREBENEV, S. A.; KUZNETSOV, A. V.; LOZNIKOV, V. M.; MELIORANSKII, A. S.; ENGELHAUSER, J.; DOBEREINER, S.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R. HARD X-RAY DECLINE OF SUPERNOVA 1987A IN 1988 - THE MIR / KVANT DATA // SOVIET ASTR.LETT.(TR:PISMA) V.15, NO.2/MAR,APR, P. 125, 1989.

 EFREMOV, V. V.; GREBENEV, S. A.; KANIOVSKY, A. S.; KUZNETSOV, A. V.; LAPSHOV, I. Y.; SUNYAEV, R. A.; SMITH, A.; PARMAR, A.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; REPPIN, C.; PIETCH, W.; TRUEMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R. THE X-RAY SPECTRUM OF NOVA VULPECULAE 1988 - MIR-KVANT DATA // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P. 15, 1989.

 MONY, B.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; DOBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; KANIOVSKY, V. EFREMOV S.; KUZNETSOV, A.; SUNYAEV, R. HIGH ENERGY X-RAY OBSERVATIONS OF GX:1+4 WITH HEXE // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P.541, 1989

 AREFEV, V.; BOROZDIN, K.; CHURAZOV, E.; EFREMOV, V.; GILFANOV, M.;

KANIOVSKIY, A.; KUZNETSOV, A.; MELIORANSKIY, A.; SUNYAEV, R.; YAMBURENKO, N.; PIETSCH, W.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; SKINNER, G. K.; AL-EMAM, O.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; INT-ZAND, J. J. M.; JAGER, R. X-RAY OBSERVATIONS OF GS:2023+338 BY THE KVANT MODULE // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P.255, 1989

SUNYAEV, R.; EFREMOV, V.; KANIOVSKY, A.; GREBENEV, S.; REPPIN, C.; PIETSCH, W.; ENGLHAUSER, J.; TRUMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; STAUBERT, R. UPPER LIMITS ON 57/CO ABUNDANCE IN SUPERNOVA 1987A ACCORDING TO KVANT DATA // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P.171, 1989

GILFANOV, M.; SUNYAEV, R.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; EFREMOV, V.; KANIOVSKIY, A.; KUZNETSOV, A.; YAMBURENKO, N.; MELIORANSKIY, A.; SKINNER, G. K.; AL-EMAM, O.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; INT-ZAND, J. J. M.; JAGER, R.; PIETSCH, W.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; PARMAR, A. N.; SMITH, A. OBSERVATIONS OF THE X-RAY PULSARS FROM THE KVANT MODULE // Proceedings of the 23rd. ESLAB Symposium on Two Topics in X-Ray Astronomy, held in Bologna, Italy, September 13-20, 1989. Vol. 1: X-Ray Binaries. Vol. 2: AGN and the X-Ray Background. Editors, J. Hunt, B. Battrick; Publisher, European Space Agency, ESA Publications Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1989. ISBN # 92-9092-026-2. LC # QB472.A1 E84 1989 v.1 and v.2. P. 71, 1989

GILFANOV, M.; SUNYAEV, R.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; EFREMOV, V.; KANIOVSKIY, A.; KUSNETSOV, A.; YAMBURENKO, N.; MELIORANSKIY, A.; SKINNER, G. K.; AL-EMAM, O.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; ZAND, J. J. I.; JAGER, R.; VOGES, W.; PIETSCH, W.; DOEBEREINER, S.; ENGELSAUSER, J.; TRUEMPER, J.; REPPIN, C.; OEGELMAN, H.; KENDZIORRA, E.; MONY, B.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; PARMAR, A. N.; SMITH, A. OBSERVATIONS OF THE X-RAY PULSARS FROM THE KVANT MODULE // PISMA V. ASTRONOMICHESKII ZHURNAL V. 15:8, P. 675, 1989

PATTERSON, T. G.; SKINNER, G. K.; WILLMORE, A. P.; EMAM, O.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; INTZAND, J. J. M.; JAGER, R.; SUNYAEV, RASHID A.; CHURAZOV, E. Identification of galactic bulge X ray bursts with persistent X ray counterparts // The 23rd ESLAB Symposium on Two Topics in X Ray Astronomy. Volume 1: X Ray Binaries p 567-572 (SEE N90-25711 19-89).

Details of five X ray bursts seen during a survey of the galactic bulge are presented. They were made with the coded-mask imaging X ray spectrometer between Oct. 1988 and Apr. 1989. The bursts are shown to originate from the previously known burst sources 1702-429, 1728-337 and from close to SLX1744-299. The results which showed that there are in fact two adjacent sources, SLX1744-299 and SLX1744-300, and that it is the latter which is a burst source, are confirmed.

CARLI, RAFFAELLO. High energy x ray observations on the Crab nebula and the double star source GX 1+4 // Ph.D. Thesis Tuebingen Univ. (Germany, F.R.). Fakultät fuer Physik.

With help of the data from the HIBAU 86 experiment and the High Energy X-ray Experiment onboard the Soviet space station MIR, an experiment of the period development of the galactic double star source GX 1+4 was carried out. This source is characterized by its spin-up time scale of 50 years instead of the usual 1,000 years for an x ray pulsar. Because of the long period, it was considered as a sample example for a slow rotator, that was a long way from a theoretically predicted equilibrium state (between accelerating and braking-torques). These new measurements and those that were made with the Japanese x ray satellite GINGA, give the assumption that GX 1+4 is much nearer to an equilibrium state than it was previously believed. By taking the Ghosh and Lamb theory into account, it can be established that the magnetic field of the neutron stars is 100 Teragauss strong.

BALEBANOV, V. M. Instrumentation and methods for space exploration. // Moscow, Izdatel'stvo Nauka, 1989, 240 p. In Russian. For individual items see A91-23963 to A91-23989.

Instrumentation for investigations in the areas of space plasma physics, high-energy astrophysics, and the physics of planets and planetary atmospheres is described. Particular attention is given to the development and ground testing of such systems as the Phobos probe, the Rentgen astrophysical module on the Mir station, and the Granat astrophysical observatory.

1990

SIUNIAEV, R. A.; EFREMOV, V.; KANIOVSKII, A.; STEPANOV, D.; UNIN, S. Hard X-rays from supernova 1987A // (COSPAR, International Academy of Astronautics, and IAU, Plenary Meeting, 27th, Symposium on X-ray and Gamma-ray Astronomy, 14th, Espoo, Finland, July 18-29, 1988) Advances in Space Research (ISSN 0273-1177), vol. 10, no. 2, 1990, p. 47-53.

On August 10, 1987 the HEXE instrument on the Mir-Kvant observatory Roentgen detected hard X-ray emission from the region of SN 1987A in the 20-100-keV spectral band at a 10-standard-deviation level. From then on SN 1987A became the main observation target. During the August observations, the Pulsar X-1 instrument detected a significant X-ray flux from the region of the SN in the 50-300-keV energy band. The HEXE data allowed an accurate localization of the hard X-ray source, and the calculated position coincides well with that of SN 1987A.

SIUNIAEV, R. A.; CHURAZOV, E.; EFREMOV, V.; GIL'FANOV, M.; GREBENEV, S. Highlights from the Kvant mission // (COSPAR, International Academy of Astronautics, and IAU, Plenary Meeting, 27th, Symposium on X-ray and Gamma-ray Astronomy, 14th, Espoo, Finland, July 18-29, 1988) Advances in Space Research (ISSN 0273-1177), vol. 10, no. 2, 1990, p. 41-46.

The Roentgen international X-ray observatory aboard the Kvant module was launched by the Proton rocket and docked to the Mir space station in order to perform X-ray observations. The instruments involved in the Roentgen are listed and a cyclogram of the observations is given. Findings that have been made concerning the LMC field, the discovery of a hard component in the X-ray spectrum of the ASM 2000+25 transient, the Crab Nebula, extragalactic sources, pulse-timing observations of Her X-1, and gamma bursts are reviewed.

SUNYAEV, R.; GILFANOV, M.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; YAMBURENKO, N.; SKINNER, G. K.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; EMAM, O.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; IN'T ZAND, J. J. M.; JAGER, R. A new transient X-ray burster KS 1731-260. Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 16, Feb. 1990, p. 136-143. In Russian.

A new transient X-ray burster, KS (Kvant Source) 1731-260, was discovered by the TTM instrument on the Kvant X-ray observatory during observations of the GX 1 + 4 field on August 16, 1989. The persistent flux in the 2-27 keV band from this source varied from 50 to 100 mCrab. Several bursts with durations of 10-20 sec and a peak flux up to 0.6 Crab were detected in the period from August 16 to 31.

□. 'i-iyç, Ç.f"«iâ -@ç, ...-ââ \$@ç " mà. □@çé@ àÿ-âfÿ-@çá"© ââ -S"ÿ-â-è@ ; àââÿâ KS 1731-260. // □"âi- ç áââ@-. |ââ- «, 1990, '. 16, 2, '. 136.

,@ çâÿ-i - ;«iÿÿ-"© "«@é ð" -ÿ; , á@ÿÿâ| éÿ© "Sçÿáâ-è@ àÿ-âfÿ-@çá"© "â«iâ à GX 1+4, 16 çfääâ 1989 £. âÿ«ÿá"â@-@- "Ç - -@ÿâ«ÿ "Sç -â" "âá-çÿÿá"â@ áâ -æ" "Ç"â" ;è« @â"âèâ -@çé@ àÿ-âfÿ-@çá"© ââ -S"ÿ-â-è@ ; àââÿâ Kvant Source (KS) 1731-260. □@â@â @â "ââ@ç-"â ç á"â@ç@-@- á@ââ@i-" ç ð" -S@-ÿ 2-27 "i, "S-ÿ-i«âi @â 50 ð@ 100 -ÿâ ; . ,@ çâÿ-i - ;«iÿÿ-"© á 16 @ 31 çfääâ 1989 £. ;è«@ S àÿÿ"âââ"â@ç -@ -ÿá"â«i"â çá"ÿá"â@ç àÿ-âfÿ-@çá"â@f@ "S«âçÿ-"i @â iâ@f@ "ââ@ç-"â -à@ÿ«| "âÿ«i-@ââi 10 - 20 á " @â@â@- ç -"ÿ ð@ 0.6 ÿâ ;.

SUNYAEV, R. A.; KANIOVSKY, A. S.; EFREMOV, V. V.; GREBENEV, S. A.; KUZNETSOV, A. V.; ENGLHAUSER, J.; DOEBEREINER, S.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R. Hard X-rays from supernova 1987A - Results of observations performed with the Roentgen observatory onboard the Kvant module during 1987-1989. // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 16, May 1990, p. 403-415. In Russian.

Observations performed with the Hexe instrument onboard the Kvant module indicate that, by May-June 1989, the hard X-ray flux from SN1987 had declined by more than a factor of 8 compared with the maximum of the X-ray light curve. The upper limits to the Co-57/Co-56 abundance ratio at the level of three standard deviations was obtained. The value of this ratio exceeds that of the Fe-57/Fe-56 ratio on earth by a factor of 1.5.

□.□. 'i-iyç, □. '. S -"çá"©, , ,ââÿ-@ç " mà. †ÿáâ"âÿ àÿ-âfÿ-@çá"â@ÿ "S«âçÿ-"ÿ @â áçÿââ-@ç@ç 1987□. □ÿSâ«iâ âè - ;«iÿÿ-"© @;áÿâç â@â" "□ÿ-âfÿ-" - -@ÿâ«ÿ "Sç -â" ç 1987-1989 ££. // □"âi- ç áââ@-. |ââ- «, 1990, '. 16, 5, '. 403.

□@ÿç@ÿiââi "â@f" ðçââ«ÿâ-"â - ;«iÿÿ-"© ;ÿáâ"â@f@ àÿ-âfÿ-@çá"â@f@ "S«âçÿ-"i áçÿââ-@ç@ç 1987□ -à";@â@- f...S'... @;áÿâç â@â" "□ÿ-âfÿ-" - -@ÿâ«ÿ "Sç -â". S - i - "i-i 1989 £. "â@â" ;ÿáâ"â@f@ "S«âçÿ-"i â" « ;@«ÿÿ çÿ- ç 8 à S @ ââ ç-ÿ-"i á "â@â@-@- ç - "á"â-ÿ "â"ç@ç àÿ-âfÿ-@çá"â@f@ ;«ÿá"â . □ @ÿÿ- çÿââ-"@ -âÿÿ« á@â@-èÿÿ-"i @; "© '\@-57/'@-56 - àâ@ç-ÿ àâÿâ áâ - ð àâ-èâ @â"â@-ÿ-"@. □- ç 1.5 à S -âÿçèè ÿâ @â-èèÿ-ÿÿ @; "© Fe-57/Fe-56 - †ÿ-«ÿÿ.

SUNYAEV, R.; GILFANOV, M.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; YAMBURENKO, N.; SKINNER, G. K.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; EMAM, O.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; IN'T ZAND, J. J. M.; JAGER, R. X-ray observations of the Large Magellanic Cloud by the TTM telescope on the Quant module during November 1988 - June 1989 // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 16, Feb. 1990, p. 124-135. In Russian.

Results of LMC observations in the 2-27 keV band on the Kvant X-ray observatory are presented. The flux from SN 1987A is found to be 0.6 mCrab in this band. Spectral observations of LMC X-1, LMC X-2, LMC X-3, and PSR

0540-693 are reported.

IAU Circ. N 5104. 1990. GX 1+4, KS 1731-260, GRS 1741.9-2853, A1524-62

R. Sunyaev, on the behalf of the Granat team (Space Research Institute, Moscow; Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, Toulouse; Service d'Astrophysique, Centre d'Etudes Nucleaires de Saclay, Gif sur Yvette), reports: "The field of the well-known pulsar GX 1+4 was observed with the Granat observatory on Aug. 23. The pulsations with period 114.60 +/- 0.05 s (at solar barycenter) were detected both by ART-P (2-60 keV) and SIGMA (> 35 keV) instruments. Comparison with the Mir-Kvant measurements in 1988 yields the following value of the average spindown rate during the elapsed period: $P\dot{-}/P = 1.0 \times 10E-2 \text{ yrE-1}$. This value is remarkably lower than that observed with Ginga and Kvant in 1987- 1988 ($P\dot{-}/P = 1.3 \times 10E-2 \text{ yrE-1}$). The source luminosity (3-20 keV) was found to be $(2.3 \pm 0.2) \times 10E36 \text{ erg/s}$ (for distance 8.5 kpc).

In the same field, ART-P detected the transient x-ray burster KS 1731-260 (IAUC 4839), with the 3- to 20-keV luminosity being $1.2 \times 10E37 \text{ erg/s}$ (for distance 8.5 kpc). During these observations, the source was two times weaker than during Apr. 4 Granat observations (the 3- to 20-keV luminosity being $2.1 \times 10E37 \text{ erg/s}$) and similar to that observed in 1989 Aug.-Sept. by Mir-Kvant (the 3- to 20-keV luminosity being $1.5 \times 10E37 \text{ erg/s}$).

Further analysis of 1990 Mar. 24 and Apr. 8 observations of the Galactic Center by ART-P (IAUC 5032) improves the error box of x-ray source to within 10' of Sgr A. Previously this source was tentatively identified with 1E 1741.7-2850. Now the 99-percent- confidence error circle (1'.6 radius) does not overlap with error boxes of 1E 1741.7-2850 and GS 1741.2-2859/GS 1741.6-289. The coordinates of the new transient x-ray source GRS 1741.9-2853 (GRanat Source) are: R.A. = 17h41m52s, Decl. = -28 52'55" (equinox 1950.0). The 4- to 20-keV averaged luminosity of this source was $1.3 \times 10E36 \text{ erg/s}$ (for distance 8.5 kpc). A bremsstrahlung fit to the spectrum gives a temperature of 8 keV.

MONY, B. ET AL. Hard X-ray observations of Vela X-1 with HEXE. // Astron. Gesellschaft Abstract Ser., 4, 51 (1990)

MONY, B.; KENDZIORRA, E.; MAISAK, M. ET AL. High energy X-ray observations of GX 1+4 HEXE.// Astron. Gesellschaft Abstract Ser., 4, 50 (1990)

BORORDIN, K.; GILFANOV, M.; SUNYAEV, R.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; YAMBURENKO, N.; SKINNER, G. K.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; EMAM, O.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; IN'TZAND, J. J. M.; JAGER, R. A new transient X-ray source KS 1947 + 300 in the Cygnus constellation // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 16, Sept. 1990, p. 804-807. In Russian.

It is reported that a new transient X-ray source, KS 1947 + 300, was discovered through observations of the GS 2023 + 338 field. The observations took place on June 8, 1989. The average flux in the 2 - 27 keV band was equal to $70 \pm 10 \text{ mCrab}$ at that time. Thereafter the flux from the source decreased and, by August 19, the upper limit (3 sigma) of the flux measured 10 mCrab .

SUNYAEV, R.; BOROZDIN, K.; GILFANOV, M. ET AL. Anomalous hard spectrum of 1E1740.7-294 according to data from the Roentgen observatory on the Kvant module // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 17, Feb. 1991, p. 126-134. In Russian.

Observations with the Granat X-ray observatory have demonstrated that hard X-ray emission from the Galactic Center region is dominated by 1E1740.7-294. Results of observations of this source with the TTM and HEXE instruments on the Kvant module in 1989 are presented here.

SKINNER, G. K.; PAN, H. C.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; BOROZDIN, K. N.; BRINKMAN, A. C.; ENGLHAUSER, J.; GILFANOV, M. R.; KANIOVSKY, A. C.; PIETSCH, W.; SUNYAEV, R. A.; IN'T ZAND, J. J. M. The spectrum and position of the hard Galactic center source 1E1740.7 - 2942 // Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 252, no. 1, Dec. 1991, p. 172-178.

Observations of the remarkable hard Galactic center X-ray and gamma-ray source 1E1740.7 - 2942 made with the TTM and HEXE experiments of the Roentgen observatory on the Kvant module are presented. The spectrum can be well described by a hard power-law with a high-energy cutoff and absorption at low energies. Similarities to the spectra of Cyg X-1 and other black hole candidates suggest that 1E1740.7 - 2942 may also be a black hole binary. The position of this source has been determined with an uncertainty of 12 arcsec, a significant improvement on the precision of earlier measurements.

GILFANOV, M.; SUNYAEV, RASHID A.; CHURAZOV, E.; LOZNIKOV, V.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKIY, A.; KUZNETSOV, A. V.; YAMBURENKO, N.; MELIORANSKIY, A.; SKINNER, G. K. Observations of x ray pulsars from the Kvant module // In NAS-NRC, High-Energy Astrophysics. American and Soviet Perspectives p 134-143 (SEE N92-12933 03-90).

The Roentgen international x ray observatory on the Kvant module of the Mir space station has been successfully operating since the beginning of June 1987. Many x ray sources were observed and among them were several x ray pulsars. Four telescopes mounted on board the Kvant module cover a wide energy range with good timing resolution. Timing analysis of the Kvant module data suffers from the presence of only short continuous intervals of source observations, separated by 90 min gaps (90 min is the orbital period of the Mir space station around the Earth). The presence of 90 min gaps leads to the appearance of beat frequencies $\nu = \nu_{\text{sub } 0} + \text{or} - n/90 \text{ min}$ ($n = 1, 2, 3$). Special analysis was applied to avoid this difficulty. Results are presented of the pulsation period measurements of the x ray pulsars Her X-1, Cen X-3, SMC X-1, Vela X-1, A0535 + 26 by the instruments on board the Kvant module in 1987 to 1989. The values of the periods are reduced to the solar system barycenter and to the binary system barycenter (excluding A0535 + 26).

SUNYAEV, R.; KANIOVSKIY, A.; EFREMOV, V.; AREFEV, V.; BOROZDIN, K.; GILFANOV M. Observations of the X-ray nova GS2023 + 338 by the Roentgen observatory on board the Kvant module // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 17, April 1991, p. 291-309. In Russian.

During observations made by the Roentgen observatory on board the Kvant module from June to August 1989, an X-ray spectrum of the X-ray nova GS2023 + 338 was detected in the energy band 2-300 keV. The source position was localized with an accuracy of 25 arcsec. The continuous decrease of X-ray luminosity, common to all X-ray novae, and strong chaotic variability were detected during the observations. The hard X-ray spectrum and low frequency noise detected permit this source to be classified as a black hole candidate. The spectra measured are the hardest X-ray spectra ever in the history of X-ray astronomy. The source luminosity in the 2-300 keV energy

band was found, on June 10, to be 8×10 to the 36th (D/kpc)-squared erg/s where D is the distance to the source in kpc.

SYUNYAEV, R.; BOROZDIN, K.; GILFANOV, M.; EFREMOV, V.; KANIOVSKII, A.; CHURAZOV, E.; SKINNER, G. K.; AL-EMAM, O.; PATTERSON, T. G.; WILLMORE, A. P.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; INT-ZAND, J. J. M.; JAGER, R.; VOGES, W.; PIETSCH, W.; DOEBEREINER, S.; ENGELHAUSER, J.; TRUMPER, J.; REPPIN, C.; KENDZIORRA, E.; MONY, B.; MAISACK, M.; STAUBERT, R. ANOMALOUSLY HARD SPECTRUM FROM THE SOURCE 1E:1740.7-294 - DATA FROM THE RONTGEN OBSERVATORY ON THE KVANT MODULE // SOVIET ASTR.LETT.(TR:PISMA) V.17, NO. 1/JAN, P. 54, 1991

LEISING, MARK D. Supernova 1987A from 1 keV to 10MeV - The status as of 1990 // (Recent results and perspective instrumental developments in X- and gamma-ray astronomy; Proceedings of the Topical Meeting of the Interdisciplinary Scientific Commission E /Meetings E4 and E8/ of the COSPAR 28th Plenary Meeting, The Hague, Netherlands, June 25-July 6, 1990. A91-53451 23-89) Advances in Space Research (ISSN 0273-1177), vol. 11, no. 8, 1991, p. 207-216.

Observations of the emission from the supernova 1987A are reviewed within a framework that is set forth for interpreting the results. Observational data are presented from the Ginga X-ray satellite, the Kvant Roentgen Observatory, NASA's Solar Maximum Mission, the CsI scintillation detector on the satellite Cosmos, the Grip X-ray/gamma-ray system, and the Grad Ge spectrometer. The physics of hard photon emission are then reviewed, and radioactive and nonradioactive sources are considered for both X- and gamma-ray emission detected from the supernova 1987A. The detection of freshly synthesized radioactive Co-56 represents an important discovery with respect to the development of supernova and nucleosynthesis theories. The Sigma, Rosat, and Gro observations are expected to provide confirmation of a compact object or interaction between ejecta and circumstellar material at supernova 1987A.

SUNYAEV, R.; AREFEV, V.; BOROZDIN, K.; GILFANOV, M.; EFREMOV, V.; KANIOVSKY, A.; CHURAZOV, E.; KENDZIORRA, E. ET AL. Broadband X-ray spectra of black hole candidates, X-ray pulsars, and low-mass X-ray binaries - Results from the Kvant module // Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal (ISSN 0320-0108), vol. 17, Nov. 1991, p. 975-984. In Russian.

The broadband spectra of the brightest X-ray sources observed by the TTM, Hexe, and Pulsar X-1 devices of the Kvant module are discussed. They demonstrate the differences in the hardness of the spectra of neutron stars with a weak magnetic field, namely, Sco X-1, X-ray pulsars A0535 + 26, Vela X - 1, LMC X - 4, and the black hole candidates Cyg X - 1, GS2023 + 338, GS2000 + 25, and 3C273.

SYUNYAEV, R. A.; KANIOVSKII, A. S.; EFREMOV, V. V.; AREFEV, V. A.; BOROZDIN, K. N.; GILFANOV, M. R.; CHURAZOV, E. M.; KUZNETSOV, A. V.; MELIORANSKII, A. S.; YAMBURENKO, N. S.; PIETSCH, W.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, Y.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; VOGES, W.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; SKINNER, G. K.; NOTTINGHAM, M. R.; PAN, H.; WILLMORE, A. P.; BRINKMAN, A. C.; HEISE, J.; INT-ZAND, J. M.; JAGER, R. ROENTGEN OBSERVATIONS OF THE X-RAY NOVA GS:2023+338 // SOVIET ASTR.LETT.(TR:PISMA) V.17, NO. 2/MAR, P. 123, 1991

SKINNER, G. K. The position of GRS1758 - 258 // Gamma-ray line astrophysics; Proceedings of the International Symposium, Paris, France, Dec. 10-13, 1990

(A92-43619 18-90). New York, American Institute of Physics, 1991, p. 358-360.

Data on the hard source GRS1758 - 258 from the Spacelab-2 coded mask telescope and from TTM, a similar but smaller telescope on the Mir Kvant module, are briefly examined. GRS1758 - 258 appears to be a weak, persistent and somewhat variable source with a well-defined position.

IN'T ZAND, J. J. M.; HEISE, J.; BRINKMAN, A. C.; JAGER, R.; SKINNER, G. K.; PATTERSON, T. G.; PAN, H. -C.; NOTTINGHAM, M. R.; WILLMORE, A. P.; AL-EMAM, O. Two new X-ray transients near the Galactic center // (Recent results and perspective instrumental developments in X- and gamma-ray astronomy; Proceedings of the Topical Meeting of the Interdisciplinary Scientific Commission E /Meetings E4 and E8/ of the COSPAR 28th Plenary Meeting, The Hague, Netherlands, June 25-July 6, 1990. A91-53451 23-89) Advances in Space Research (ISSN 0273-1177), vol. 11, no. 8, 1991, p. 187-190.

The discovery of two transient X-ray sources near the Galactic center, KS1732-273 and KS1741-293, is reported, and some of their characteristics are discussed. The observations were carried out with the X-ray widefield camera TTM of the Kvant module of the Soviet manned space station Mir. KS1732-273 was detected on two days, March 20 and September 4, 1989, with the flux on both dates comparable at 22 mCrabs (3-10 keV). KS1741-293 was detected on three consecutive days, August 20-22, 1989, at a comparable flux level of about 26 mCrabs, and exhibited two bursts during the 3-day period (on August 20th and 22nd).

SIUNIAEV, R. A.; AREF'EV, V.; BOROZDIN, K.; CHURAZOV, E. M.; EFREMOV, V.; GIL'FANOV, M. R.; GREBENEV, S.; KANIOVSKII, A.; KUZNETSOV, A. V.; LAPSHOV, I. The results of the Mir-Kvant in 1987-1989 // (Recent results and perspective instrumental developments in X- and gamma-ray astronomy; Proceedings of the Topical Meeting of the Interdisciplinary Scientific Commission E /Meetings E4 and E8/ of the COSPAR 28th Plenary Meeting, The Hague, Netherlands, June 25-July 6, 1990. A91-53451 23-89) Advances in Space Research (ISSN 0273-1177), vol. 11, no. 8, 1991, p. 5-16.

The results of the Mir-Kvant X-ray observatory obtained in 1987-1989 are presented. These include the discovery and study of hard X-ray radiation from SN 1989A, long-term observations of the LMC field by TTM telescope, observations of X-ray pulsars (including Her X-1, 4U 1626 - 67, and GX 1 + 4), observations of bright X-ray transients GS 2000 + 25 and GS 2023 + 338, and observations of the Galactic plane. New X-ray transients were discovered and described, which included KS1731 - 260, KS1741 - 293, and KS1947 + 300. In 1989, two additional modules were attached, and the Mir station is now in the 'T' shape instead of the simple 'I' shape. The first observations of the Crab nebulae carried out on October 23 and November 4, 1990 did not reveal any degradation in the performance of the main instruments and proved excellent stabilization of the spacecraft, with accuracy better than 1 arcmin.

SUNYAEV, RASHID A.; KANIOVSKY, A. S.; EFREMOV, V. V.; GREBENEV, S. A.; KUZNETSOV, A. V.; CHURASOV, E.; GILFANOV, M.; YAMBURENKO, N.; ENGLHAUSER, J.; DOEBEREINER, S. X ray radiation from Supernova 1987A. The results of the Kvant module in 1987-1989 // n NAS-NRC, High-Energy Astrophysics. American and Soviet Perspectives p 368-384 (SEE N92-12933 03-90).

The results of two years of SN1987A hard X-ray observations by the HEXE instrument aboard the Kvant module are summarized. By May to June 1989, the hard x-ray flux had declined more than 8.5 times in comparison with the maximum of the x-ray light curve. The upper limit of the ratio of Co-57/Co-56 abundances at the level of ratio of Fe-57/Fe-56 abundances at the Earth is a factor of 1.5.

KUNZ, MATHIAS. Analysis of Mir-HEXE observations: Pulsation and energy spectra of the x ray double star SMC X-1 in 20 to 80 keV energy field // Thesis Tuebingen Univ. (Germany). Inst. fuer Astronomie.

Hardware and software of the x-ray astronomy experiment, and the observations of the x-ray pulsar SMC X1 with HEXE (High Energy X Ray Experiment) are presented. The results of HEXE observations of SMC X1 are discussed with regard to already published observations and theoretical models of the physics of x-ray double stars. Statistical methods for detecting periodical signals, in particular Epoch Folding (EF) and Rayleigh Test (RT) are considered for the pulse period determination of SMC X1. Both methods give the same results. The pulse period of the x-ray signal is determined for three observation groups. It is found that hydrogen absorption by the material compassing the neutron stars is low.

MONY, BRUNO. Analysis of high energy x ray observations of long periodic pulsars // Ph.D. Thesis Tuebingen Univ. (Germany). Fakultat fuer Physik.

The high energy x-ray observations of the three long periodic x-ray pulsars, GX 1+4, Vela X-1, and A0535 +26, carried out on the Space Station Mir with the High Energy X-ray Experiment (HEXE) were analyzed. Phenomena, which were unknown up to now, were identified for each pulsar. From the measured spectra, GX 1+4 is deduced to have a relatively strong magnetic field. A common characteristic of Vela X-1 and A0535 +26 is the variability of the spectral hardness over the pulse phase. Using theories describing the spin up and spin down behavior of pulsars, a value was deduced for the magnetic field hardness.

GRUBER, D.; KUNZ, M.; KENDZIORRA, E.; KRETSCHMAR, P.; MAISACK, M.; BONY, B.; STAUBERT, R.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J. ET AL. Observations of the X-ray pulsar SMC X-1 with MIR/HEXE. // Bull. American Astron. Soc., 23, 1348 (1991)

SIUNIAEV, R.; GREBENEV, S.; KANIOVSKII, A.; EFREMOV, V.; KUZNETSOV, A.; PAVLINSKII, M.; IAMBURENKO, N.; ENGLHAUSER, J.; DOEBEREINER, S.; PIETSCH, W. Hard X-rays from supernova 1987A - Results of Mir-Kvant and Granat in 1987-1990 and expectations // Gamma-ray line astrophysics; Proceedings of the International Symposium, Paris, France, Dec. 10-13, 1990 (A92-43619 18-90). New York, American Institute of Physics, 1991, p. 211-217.

Results of the supernova 1987A hard X-ray observations in 1987-1990 with Mir-Kvant and Granat are presented. They make it possible to estimate the degree of Co-56 mixing over the envelope and set hard restrictions on abundances of radioactive Co-57, Ti-44, and Na-22 produced during the outburst. The upper limit at three standard deviation level on the Co-57/Co-56 ratio inside the envelope is equal to 1.5 of the earth's Fe-57/Fe-56 ratio. Future evolution of the SN1987A hard X-ray luminosity connected mainly with central source is discussed.

SIUNIAEV, R. A.; CHURAZOV, E. M.; GIL'FANOV, M. R.; PAVLINSKII, M.; GREBENEV, S.; DEKHANOV, I.; KUZNETSOV, A. V.; IYAMBURENKO, N. S.; SKINNER, G. K.; PATTERSON, T. G. Imaging of the Galactic center field by Kvant and Granat // (Recent results and perspective instrumental developments in X- and gamma-ray astronomy; Proceedings of the Topical Meeting of the Interdisciplinary Scientific Commission E /Meetings E4 and E8/ of the COSPAR 28th Plenary Meeting, The Hague, Netherlands, June 25-July 6, 1990. A91-53451 23-89) Advances in Space Research (ISSN 0273-1177), vol. 11, no.

8, 1991, p. 177-185.

Two currently operating international X-ray observatories Mir-Kvant and Granat are carrying a number of coded mask telescopes with imaging capabilities in wide energy range from 2 up to 1300 keV. The Galactic center region is the highest priority target for these instruments. Their results in 1988-1990 demonstrate the efficiency of coded mask telescopes observations in hard X-rays.

MAISACK, M.; YAQOUB, T. A search for reflection features in the X-ray spectrum of NGC4151 // Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 249, no. 1, Sept. 1991, p. 25-30.

Observations of the AGN NGC4151 are discussed as taken from the Ginga and the HEXE instrument at 4-120 keV with high sensitivity and energy resolution. The observational data demonstrate that the source is in a low state of emission in the X-ray range, and a single power law is developed to describe the spectrum. A second model is also considered to describe the spectrum in which a layer of reflecting cold matter is introduced, but the reflection is considered to be marginal due to the edge-on geometry of the observations. The present data are examined in terms of constraints on the parameters of possible pair models where the X-ray emission is produced by inverse Compton scattering. Pairs are thought to play a minor role in the X-ray/gamma-ray emission of NGC 4151. The source is concluded to be moderately compact and potentially starved of photons, and it is recommended that a broadband observation of the high state of NGC4151 be undertaken.

KRETSCHMAR, PETER. Calibration of high energy x ray detectors at the spectrum of the Crab nebula, and x ray pulsar A0535+26 examinations // Thesis Tuebingen Univ. (Germany). Inst. fuer Astronomie.

A series of observations for the transient pulsar A0535+26 were analyzed with regard to the x ray spectrum and the pulse behavior of the source. The first spectral Crab examinations gave an extremely hard Crab spectrum, far from other published results, and great deviations between the theoretical law and measuring data, in particular at the lower edge of the High Energy X-ray Experiment (HEXE) energy field. The proper calibration parameters were tentatively determined, using existing data and Crab nebula measurement. The pulse period of the source was determined as P equal to 103.244 ± 0.008 seconds.

MAISACK, MICHAEL. Search of signatures for pair production and reflection in high energy x ray spectra of active galaxies // Ph.D. Thesis Tuebingen Univ. (Germany, F.R.). Fakultat fuer Physik.

The observations of active galaxies, using the X-ray detector HEXE were evaluated, and the measured spectra were compared with the predictions of astrophysical plasma models. Particular attention was given to the effects of electron positron pair production by photon collision and reflection of a primary continuum on a colder matter, in particular an accretion disk. The objects considered were the quasar 3C 273, the Seifert galaxy NGC4151 and the radiogalaxy CEN A. A joint evaluation, using data of the Japanese X-ray satellite GINGA showed that the share of a reflective component in the spectra of 3C 273 and NGC4151 was very low. It was shown that only NGC4151 could be described, using a pair cascade model.

SYUNYAEV, R. A.; AREFEV, V. A.; BOROZDIN, K. N.; GILFANOV, M. R.; EFREMOV, V. V.; KANIOVSKII, A. S.; CHURAZOV, E. M.; KENDZIORRA, E.; MONY, B.; KRETSCHMAR, P.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; DOBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; SKINNER, G. K.; NOTTINGHAM, M. R.;

PAN, H.; WILLMORE, A. P. BROADBAND X-RAY SPECTRA OF BLACK-HOLE CANDIDATES
X-RAY PULSARS AND LOW-MASS BINARY X-RAY SYSTEMS - KVANT MODULE RESULTS. //
SOVIET ASTR.LETT.(TR:PISMA) V.17, NO. 6/NOV, P. 409, 1991

SIUNIAEV, R. A.; AREF'EV, V. A.; BOROZDIN, K. N.; CHURAZOV, E. M.; EFREMOV,
V. V.; GIL'FANOV, M. R.; KANIOVSKII, A. S.; KUZNETSOV, A. V.; MELIORANSKII,
A. S.; IAMBURENKO, N. S. Galactic X-ray sources with extremely hard spectra
- 'Kvant' module observations // Gamma-ray line astrophysics; Proceedings of
the International Symposium, Paris, France, Dec. 10-13, 1990 (A92-43619
18-90). New York, American Institute of Physics, 1991, p. 373-379.

Extremely hard spectra of a number of Galactic X-ray sources observed by
Kvant X-ray detectors, including Crab nebula, Cyg X-1, and X-ray transients
GS2000+25 and BS2023+338 detected by the Ginga satellite, are shown. The
X-ray characteristics and optical measurements show that the novae are
accreting objects with low-mass companions and are obvious black hole
candidates of the type of A0620-00.

1992

MAISACK, M.; KENDZIORRA, E.; MONY, B.; STAUBERT, R.; DOEBEREINER, S.;
ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; EFREMOV, V.;
KANIOVSKY, S.; KUSNETZOV, A.; SUNYAEV, R. HEXE observations of active
galactic nuclei - Constraints on pairs and Compton reflection // Astronomy
and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 262, no. 2, p. 433-440.

We present results of X-ray observations of the three brightest Active
Galaxies in hard X-rays, the quasar 3C 273 (1226+02), the Seyfert galaxy
NGC4151, and the radio galaxy Cen A (NGC5128). The observations were made
with the HEXE instrument (20-200 keV) on board the Mir space station. We
discuss the spectra of the sources in the context of models including pair
production, reflection and spatially separated emission regions. We find
that pairs play a minor role in 3C 273 and Cen A. The relative contribution
of a reflected component cannot be constrained from our data, but the
'canonical' model with simple pair cascades and Compton reflection can be
ruled out for 3C 273 and Cen A. For NGC4151, the importance of reflection
can be constrained by the combined analysis of data from HEXE and Ginga
taken simultaneously.

KENDZIORRA, E.; MONY, B.; KRETSCHMAR, P.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.;
DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J. Hard
x ray observations of Vela X-1 and A0535+26 with HEXE: Discovery of
cyclotron lines. // Goddard Space Flight Center, The Compton Observatory
Science Workshop p 217 (SEE N92-21874 12-90).

The X ray pulsars Vela X-1 (4U 0900-40) and A0535+26) were observed with the
High Energy X ray Experiment (HEXE) onboard the Mir space station at
energies above 20 keV. The pulse profiles of Vela X-1 (P = 283.22 s for JD
244 7486) and A0535+26 (P = 103.27 s for JD 244 7626) were measured up to at
least 100 keV. The time averaged pulse profiles of the two sources both show
a clear double peak structure with an asymmetric main pulse and a more
symmetric secondary pulse. The spectrum of the main pulse is significantly
harder than that of the secondary. Pulse phase resolved spectra show
absorption features at 54 keV and possibly 27 keV for Vela X-1 and around
100 keV for A0535+26. If these features are interpreted as second and first
harmonic (fundamental) cyclotron absorption lines, lower limits are derived
of 2.6×10^{12} and 4.3×10^{12} Gauss for the magnetic fields of
the neutron stars in Vela X-1 and A0535+26, respectively.

STAUBERT, R. Recent results on 3C 273. // In MPI fuer Extraterrestrische Physik, X Ray Emission from Active Galactic Nuclei and the Cosmic X Ray Background p 42-49 (SEE N93-17094 05-90).

Recent results on 3C 273, one of the nearest and brightest quasars at high photon energies from observations with Rosat, Ginga, (Japanese X-ray satellite), High Energy X-ray Experiment (HEXE), Gamma Ray Observatory (GRO) and ground based instruments are discussed. Two Rosat observations clearly establish a time variable 'soft excess' spectral component, the second observation being simultaneous with Ginga allows construction of a combined spectrum from 0.1 keV to 20 keV; a combined HEXE/Ginga spectrum (1.5 to 150 keV) constrains 'pairs and reflection'; multifrequency observations in Jun./Jul. 1991, including data from GRO, will provide a 'snapshot' spectrum from radio frequencies to high energy gamma rays.

MAISACK, M.; YAQOUB, T.; STAUBERT, R.; KENDZIORRA, E. Constraints on pairs and reflection in active galaxies. // Testing the AGN paradigm; Proceedings of the 2nd Annual Topical Astrophysics Conference, Univ. of Maryland, College Park, Oct. 14-16, 1991 (A93-29801 11-90), p. 362-365.

Models including photon-photon pair production and reprocessing by cold material by Compton scattering and absorption have recently received wide attention, especially since Ginga spectra of many Seyfert galaxies have shown a hard X-ray tail, expected from the latter process. We discuss hard X-ray observations of three AGN (NGC4151, 3C 273 and Cen A) by the HEXE instrument in the light of these models.

1993

IAU Circ. N 5878. 1993. X-RAY NOVAE

A. Kaniovsky, K. Borozdin, and R. Sunyaev, on behalf of the Mir-Kvant team, report: "The soft x-ray transient GRS 1009-45, discovered by Granat/WATCH and more precisely localized by BATSE (IAUC 5864), was observed by the TTM and HEXE instruments of Mir-Kvant on Sept. 30. Preliminary analysis shows that the source spectrum in the band 2-200 keV is similar to the spectra of the x-ray novae QZ Vul = GS 2000+25 and GU Mus (= Nova Mus 1991) = GRS 1124-684. A bright, soft component can be approximated by a black-body spectrum with a temperature of 0.52 +/- 0.03 keV. The source spectrum at the higher energies 10-100 keV is well approximated by a power law with spectral index -2.53 +/- 0.05. The flux from the source at 3 and 20 keV was equal to 1 and 0.1 Crab unit, respectively." K. Borozdin, V. Arefiev, and R. Sunyaev, on behalf of the Mir-Kvant-TTM team, report: "Mir-Kvant observed the hard x-ray transient GRS 1716-249 = GRO J1719-24 and found that the source spectrum in the band 2-27 keV is approximated by a single power law with spectral index -1.57 +/- 0.13. No trails of the soft component were detected in the spectrum; it is reminiscent of the spectra of V1357 Cyg = Cygnus X-1, 1E 1740.7-2942, and the x-ray novae V404 Cyg = GS 2023+338 and GRO J0422+32. The flux was continuously growing, from 200 mCrab on Sept. 26 and 550 mCrab on Sept. 27 up to 750 mCrab on Oct. 3 in the band 12-17 keV."

IAU Circ. 5886. 1993. X-RAY NOVA IN VELA

K. Borozdin, R. Sunyaev and N. Alexandrovich, on behalf of the Mir-Kvant-TTM team, report: "The x-ray nova GRS 1009-45 (IAUC 5864, 5878) continues to be bright. The flux on Oct. 27 within the 2-6 keV spectral band was 530 mCrab (a 25 percent decrease in four weeks). The spectrum is soft and might be approximated by a power law with photon spectral index -5.0 or black body spectrum with $kT = 0.56$ keV. Owing to the presence of Vela X-1 in the same

field TTM was able to localize the source to within a narrow strip 1.2 arcmin wide and 1.3 degree long with corners at R.A. = 10h10m.8, Decl. = -45d43'.2; 10h10m.8, -45d42'.7; 10h12m.4, -44d26'.0 and 10h12m.5, -44d26'.1 (equinox 1950.0). By combining the Granat/WATCH and BATSE data it is possible to reduce the strip's length by up to 0.5 deg."

SUNYAEV, R. A.; KANIOVSKY, A. S.; BOROZDIN, K. N.; EFREMOV, V. V.; AREF'EV, V. A.; MELIORANSKY, A. S.; SKINNER, G. K.; PAN, H. C.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; DOEBEREINER, S.; PIETSCH, W. Broad-band X-ray observations of the GRO J0422+32 X-ray nova by the 'Mir-Kvant' observatory // Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 280, no. 1, p. L1-L4.

Observations of GRO J0422+32 X-Ray Nova with the instruments of the 'Mir-Kvant' observatory show that the X-ray spectrum is similar to that of the well-known black-hole candidate Cyg X-1 in its 'low' state. In the standard 2-20 keV X-ray range both have power law spectra with no strong soft component while at energies higher than 100 keV an exponential cutoff is clearly seen in the spectrum in both cases. Such cutoffs are typical of thermal comptonization of low-frequency photons in the high-temperature plasma of accretion disks.

KUNZ, M.; GRUBER, D. E.; KENDZIORRA, E.; KRETSCHMAR, P.; MAISACK, M.; MONY, B.; STAUBERT, R.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUMPER, J.; EFREMOV, V.; KANIOVSKY, S.; KUSNETZOV, A.; SUNYAEV, R. Spectral and temporal properties of the X-ray pulsar SMC X-1 at hard X-rays. // Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 268, no. 1, p. 116-122.

The binary X-ray pulsar SMC X-1 has been observed at hard X-rays with the High Energy X-Ray Experiment (HEXE) on nine occasions between Nov. 1987 and March 1989. A thin thermal bremsstrahlung fit to the phase averaged spectrum yields a plasma temperature (14.4 +/- 1.3) keV and a luminosity above (1.1 +/- 0.1) x 10 exp 38 erg/s in the 20-80 keV band. Pulse period values have been established for three observations, confirming the remarkably stable spin-up trend of SMC X-1. In one of the three observations the pulse profile was seen to deviate from a dominant double pulsation, while at the same time the pulsed fraction was unusually large. For one observation we determined for the first time the pulsed fraction in narrow energy bands. It increases with photon energy from about 20 percent up to over 60 percent in the energy range from 20 to 80 keV.

PAN, H. C.; IN'T ZAND, J. J. M.; SKINNER, G. K.; BOROZDIN, K. N.; GIL'FANOV, M. R.; SIUNIAEV, R. A. Observations of X-ray transient source GS2023+338 with the TTM coded mask telescope. // Astronomy and Astrophysics Supplement Series (ISSN 0365-0138), vol. 97, no. 1, p. 273-275.

TTM observations in which the bright X-ray transient source GS2023+338 (=V404 Cyg) in the period June-August 1989 are reported. The observed spectral structure can be modeled using a model of a power-law source with a photon index of about 1.5, surrounded by partially ionized material. The observed X-rays consist of a component from the power-law source and those reflected (down-scattered) by the partially ionized material. Varying the clumpy structure or changing the ionization state of the circumstellar matter will cause the low-energy absorption to fluctuate.

NOTTINGHAM, M. R.; SKINNER, G. K.; WILLMORE, A. P.; BOROZDIN, K. N.; CHURAZOV, E.; SIUNIAEV, R. A. Observations of the Galactic centre with the TTM instrument. // Astronomy and Astrophysics Supplement Series (ISSN 0365-0138), vol. 97, no. 1, p. 165-167.

A new technique has been developed for the analysis of data from the TTM

instrument coded mask telescope. Preliminary spectral results are presented for diffuse emission and point sources in the Galactic center.

1994

KANIOVSKII, A. S.; AREFEV, V. A.; BOROZDIN, K. N.; EFREMOV, V. V.; SUNYAEV, R. A.; MAISACK, M.; PIETSCH, W.; REPPIN, C. OBSERVATIONS OF THE TRANSIENT X-RAY PULSAR GRS:0834-43 IN ITS LOW STATE WITH THE INSTRUMENTS OF THE ROENTGEN OBSERVATORY ONBOARD THE MIR / KVANT MODULE IN 1992NOV. // PISMA V. ASTRON. ZHURNAL V. 20, NO. 4, P. 253, 1994

KENDZIORRA, E.; KRETSCHMAR, P.; PAN, H. C.; KUNZ, M.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; PIETSCH, W.; TRUEMPER, J.; EFREMOV, V.; SUNYAEV, R. Evidence for cyclotron line features in high energy spectra of A 0535+26 during the March/April 1989 outburst. // Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 291, no. 2, p. L31-L34.

The X-ray pulsar A 0535+26 has been observed during its March/April 1989 outburst with the Coded Mask Telescope TTM and the High Energy X-ray Experiment HEXE on board the Mir space station at energies between 4 and 156 keV. Pulsed emission ($P = 103.26$ s for JD 244 7626) has been detected up to at least 100 keV. Above 20 deV the time averaged pulse profiles show a clear double peak structure with an asymmetric main pulse and a more symmetric secondary pulse. The spectrum of the main pulse is significantly harder than that of the secondary pulse. The phase resolved spectra can only be fitted by a power law with exponential cutoff modified by two absorption lines around 50 and 100 keV. We interpret these features as the fundamental and first harmonic cyclotron resonances. The corresponding strength of the magnetic field of the neutron star is 4.3×10^{12} Gauss.

PAN, H. C.; KRETSCHMAR, P.; SKINNER, G. K.; KENDZIORRA, E.; SUNYAEV, R. A.; BOROZDIN, K. N. Variable soft X-ray absorption and excess of Vela X-1. // The Astrophysical Journal Supplement Series, vol. 92, no. 2, p. 448-450

We present preliminary results from a study of the stellar wind modulation of the X-ray spectrum of Vela X-1 using the broad-band (2-200 keV) data obtained in period 1988-1991 with the TTM and HEXE instruments on-board the MIR space station. We find that the hydrogen column density of the absorbing material varies from a negligible value up to 7×10^{23} atoms cm^{-2} . A soft X-ray flux excess, when compared with the extrapolation of the spectrum measured at higher energies with absorption due to cold matter, is detectable at all binary phases. It is variable and exhibits two different patterns of behavior. The soft excess is strong in the phase range when the column density is low and is then approximately correlated with the source flux. When the column density is high no such correlation is seen.

IAU Circ. 6080. 1994. GRS 1915+105

N. Alexandrovich, K. Borozdin, and R. Sunyaev, on behalf of the MIR-KVANT-TTM team, report: "Strong x-ray flux from GRS 1915+105 was registered by the TTM coded-mask instrument onboard the MIR space station during observations on Sept. 8 (500 mCrab at 5 keV), 10 (460 mCrab), and 11 (840 mCrab). The spectrum of the source is very soft (black-body fit gives the radiation temperature as 1.25 ± 0.05 keV with absorption column $N_H = 2 \times 10^{22}$ cm^{-2}). The observation of Sept. 11 showed the appearance of the hard tail with flux 140 ± 30 mCrab in the spectral band 17-25 keV, in addition to the soft component."

~@«ãç¥--ë~" à -¥¥ ¢ --ë~" mããf"á ~à";@ã@ç. □ à¥¥¥«¥-ë ä \$`ã@ç --ë¥
í-¥ãf¥ã`ç¥á"¥ á~¥ããè "ãã@ç-"ã ¢«í í-¥ãf"© @ã 2 ¢@ 27 ¢í, " @ããã@¥-ë
~ã@ã"« " ~ã«íá ~ã«íá à ¢«í à \$«`ç-ëã í-¥ãf¥ã`ç¥á"ã ¢ " \$@-@ç.

DOEBEREINER, S.; MAISACK, M.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.;
TRUEMPER, J.; KENDZIORRA, E.; KRETSCHMAR, P.; KUNZ, M.; STAUBERT, R.;
EFREMOV, V.; KANIOVSKY, A.; KUSNETZOV, A.; SUNYAEV, R. HEXE observations of
black hole X-ray transients. // Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361),
vol. 287, no. 1, p. 105-112.

We present results of Mir-Kvant-HEXE observations in the energy range 20-200
KeV of the three X-ray transients and black hole candidates GS 200+25, GRO
J0422+32, and GS 2023+338, observed between 1988 and 1992. The spectra of GS
2023+338 GRO J0422+32 can be interpreted as due to thermal
Compton-upscattering low-energy photons to hard X-ray energies in a hot
plasma with electron temperatures of typically 35 to 40 keV, or as due to
Compton reflection of hard photons off cool matter with covering factors
f(sub c) ranging from 0.4 to 0.8. A combination of Compton-upscattering and
Compton reflection is also possible. The spectrum of GX 200-25 is softer and
can be described by a power law with a photon index alpha approximately =
2.0 (E greater than 20 keV).

MAISACK, MICHAEL; KENDZIORRA, ECKHARD; PAN, HONGCHAO; SKINNER, GERRY;
ENGLHAUSER, JAKOB; REPPIN, CLAUDIUS; EFREMOV, VALERI; SUNYAEV, RASHID. Compton
reflection in Scorpius X-1 and Cygnus X-3? // The Astrophysical Journal
Supplement Series, vol. 92, no. 2, p. 473-475.

The Compton reflection of X-ray photons by an accretion disk has been
proposed to play a role in active galactic nuclei and galactic black hole
candidates as well as in binary systems that contain a neutron star as a
compact accreting object. We present HEXE (20-200 keV) and TTM (2-30 keV)
data of the low-mass X-ray binary (LMXB) system Sco X-1 and of Cyg X-3 and
discuss the results of Compton reflection fits. We find that a reflected
component from an incident bremsstrahlung spectrum can describe the spectra
of Sco X-1, while a Compton-reflected component (assuming an incident
power-law spectrum) is not required for Cyg X-3.

SYUNYAEV, R. A.; BOROZDIN, K. N.; ALEKSANDROVICH, N. L.; AREFEV, V. A.;
KANIOVSKII, A. S.; EFREMOV, V. V.; MAISACK, M.; REPPIN, K.; SKINNER, J. K.
OBSERVATIONS OF X-RAY NOVAE IN VELA 1993 OPHIUCHUS 1993 AND PERSEUS 1992
WITH DETECTORS OF THE MIR / KVANT MODULE // PISMA V. ASTRON. ZHURNAL V. 20,
NO. 12, P. 890, 1994.

□.□. `í-í¥ç, Š.□. □ã@ç¥"~, □.ç. □«¥"á -må@ç"ç " mã. □ ;«í¥~"í
à¥-ãf¥-@çá"ã □@çéã ç á@çç¥¥¥"íã □ áãã@ç (1993), †-¥¥-@ãæ (1993) " □¥ãã¥í
(1992) ~à";@ã ~" ~@¥ã«í "«"à-Šç -á". // □"áí~ ç áãã@-. ¡ãã- «, 1994, T.
20, 12 , ç. 890-900.

□à";@ãè "'« " f...Š'... @ã;ã «í-@ç à¥-ãf¥-@çá"ã@ç @;á¥ãç á@ã" "«"à-Šç -á"
~à@ç¥«" ç á¥-ãí;à¥ - -@í;à¥ 1993 £. á¥ã"í - ;«í¥~"© ¢çãã à¥-ãf¥-@çá"ã
-@çéã: ç †-¥¥-@ãæ¥ GRS 1716-249 = GRO J1719-24 " ç □ áãã á GRS 1009-45.
□ -¥¥, ç çfããã¥ - á¥-ãí;à¥ 1992 £., - ;«í¥~"í ~@¥ã«í "«"à-Šç -á" ~@çç@«"«"
~@ããã@"áí è"à@"~@«@ã-èç á~¥"ãà à¥-ãf¥-@çá"ã@ç -@ç@ç □¥ãã¥¥ GRO J0422+32.
~¥"ããè GRO J0422+32 " GRS 1716-249 ~@¥@;~è á~¥"ããã "ç¥ãã-@f@ "ã"ã á ç
ç¥ã-ë¥ mãèè «¥;¥¥í •-1 ç -"S"~ããã@í-~" , á " " " " -¥ ~-¥íã ~-ã¥-á"ç-@ç
~í¥"ã@ç "ã~@-¥-ãè " íç«ííãáí áã¥~¥--ë~" ç ¢ " \$@-¥ ¢@ 100 ¢í, . □ í-¥ãf"íã
áçèè¥ 100 ¢í, á íã"á "ãã@ç-"ã@ç - ;«í¥ããí í"á~@-¥-æ" «í-èç \$ ç « ç
á~¥"ãã¥, á à "ã¥ã-èç ¢«í ~ã@ç¥ãá "ã~@-¥-æ" ~"S"~@ç áããã-ëã á@ã@-@ç ç
çéãã@ã¥~¥ã áãã-@ç "« \$-¥. , á@ ;¥ çã¥-í á~¥"ãã "ãã@ç-"ã GRS 1009-45 ~-¥¥ã
íã"ã çéã ;¥-~ãí ~í¥"ãí "ã~@-¥-ãã " ;¥ãã"áí ~¥ã¥-¥--ãí ç@ çã¥~¥-~
"ã~@-¥-ãã, á " ;¥ - ;«í¥ çéãíáí ç~@ãí ¢@ í-¥ãf"© ~@ãí"ã á@ã-~" ¢í, . ,
áã áí¥ ~ã"ç@¥"ããí áã ç-¥-~¥ á~¥"ãã@ç ~íã" à¥-ãf¥-@çá"ã -@çéã, - ;«í¥ çè"ããí

©;áÿàç à@à"ÿ© "Œ"à-Šç -â" ç 1987 - 1993 ££.

PAN, H. C.; SKINNER, G. K.; SUNYAEV, R. A.; BOROZDIN, K. N. TTM observations of X 1755-338. // Proc. IAU Colloq. 151 1994Dec 05-09, ed. Greiner J., Duerbeck H.W. & Gershberg R.E., Springer, "Flares and Flashes", 334-335 (1994).

1995

MAISACK, M.; STAUBERT, R.; BALUCINSKA-CHURCH, M.; SKINNER, G.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; AREF'EV, V. A.; EFREMOV, V. V.; SUNYAEV, R. A. Broad-band X-ray observations of Cir X-1. // Advances in Space Research (ISSN 0273-1177), vol. 16, no. 3, p. 91-94.

We present broad-band (2-88 keV) X-ray observations of the X-ray binary Cir X-1 with the TTM and HEXE instruments on board of the Mir space station. The observations were made in January/February 1989. The spectrum is best described by a model with 3 components: a blackbody at low energies, an iron line and a Comptonized hard continuum. The spectrum is variable during our observations; when the Comptonized component becomes harder, the spectrum becomes softer below 15 keV. The high-energy spectrum resembles that of X-ray binary pulsars.

K.N.Borozdin, N.L.Aleksandrovich, V.A.Arefiev, R.A.Sunyaev, and G.K.Skinner. The Bright X-Ray Transient KS1730-312 in Scorpius. // PISMA V. ASTRONOMICHESKII ZHURNAL V.21:4/APR, P. 243, 1995.

Š.□. □@à@Šm"- , □.◁. □«ÿ"á -mà@ç"ç, ,.□. □àÿàìÿç, □.□. 'i-ÿÿç " mà. ÿà"© àà -S"ÿ-â-é© àÿ-âfÿ-@çá"© "áâ@ç-"á KS 1730-312 ç á@ŠçÿŠm" "á@à"©- . //□"ái- ç áââ@-. |âà- «, 1995, '. 21, 4, '. 243-247.

N.L.Aleksandrovich, V.A.Arefiev, K.N.Borozdin, R.A.Sunyaev, and G.K.Skinner. Detection of the X-ray Sources KS J1748-248 and KS J1716-389 Near the Galactic Center. // PISMA V. ASTRONOMICHESKII ZHURNAL V.21:7/JUL, P. 486, 1995.

□.◁. □«ÿ"á -mà@ç"ç, ,.□. □àÿàìÿç, Š.□. □@à@Šm"- " mà. □á"àéâ"ÿ àÿ-âfÿ-@çá"á "áâ@ç-"á@ç KS J1748-248 " KS J1716-389 ç @;« áâ" -ÿ-âà f « áâ"á". //□"ái- ç áââ@-. |âà- «, 1995 '. 21, 7, '. 486-490.

□à" @;à ;@á"ÿ m --eà àÿ-âfÿ-@çá"á@f@ àÿ«ÿá"á@- "'Œ, -@«âçÿ--eà ç@ çàÿ-i - ;«iÿÿ-"© @;« áâ" -ÿ-âà f « áâ"á" ç 1994 £., ;è«" @;- àâ;ÿ-é àâ" -@çéâ àÿ-âfÿ-@çá"á "áâ@ç-"á . , m --@© áâ àìÿ @-"áéç íááí "áâ@ç-"á" KS J1748-248 " KS J1716-389.

K. Borozdin, N. Alexandrovich, V. Arefiev, M. Gilfanov et. all. KVANT-TTM observations of the Galactic center region in 1988-1994. // 30th COSPAR Scientific Assembly Hamburg, Germany, 11-21 July 1994. II.Abstacts. 1994, 2, 242. Elsevier Science Ltd, Oxford, England.

R. Sunyaev, V. Arefiev, K. Borozdin, N.Aleksandrovich et. all. Observation of X-ray novae for 1992-1993 by TTM telescope. // 30th COSPAR Scientific Assembly Hamburg, Germany, 11-21 July 1994. II.Abstacts. 1994, 2, 236. Elsevier Science Ltd, Oxford, England

IAU Circ. 6141. 1995. X-RAY NOVA 1993 IN OPHIUCHUS

K. Borozdin, N. Alexandrovich, and R. Sunyaev, Space Research Institute, Moscow, on behalf of the MIR-Kvant team, report: "This object (GRS 1716-249 = GRO J1719-24) continues to be bright according to observations made on Feb. 16 with the TTM instrument onboard MIR-Kvant. The flux from the source in the energy band 2-27 keV was equal to 275 +/- 20 mCrab, which is the highest value detected by the TTM from this source since the main outburst in Sept. 1993 (IAUC 5878). The spectrum can be approximated by a power law with index 2.1 +/- 0.3."

IAU Circ. 6143. 1995. X-RAY NOVA 1994 IN SCORPIUS

N. Alexandrovich, K. Borozdin, and R. Sunyaev, on behalf of the MIR-Kvant team, report: "The superluminal radio source GRO J1655-40 (cf. IAUC 6046, 6051, 6056, 6078, 6087, etc.) was found to be very bright during a TTM observation on Feb. 22. The flux in the energy band 3-5 keV was close to 1.7 Crab. The source spectrum was soft and could be approximated by a blackbody fit, with temperature kT = 1.04 +/- 0.02 keV in the energy band 2-12 keV."

K. Borozdin, N. Alexandrovich, R. Sunyaev, J. Skinner. "17th TEXAS Symposium on Relativistic Astrophysics, Munchen, Germany, 12-17 December 1994"

IAU Circ. 6216. 1995. GRO J1735-27

S. Grebenev, K. Borozdin, and R. Sunyaev, Space Research Institute, Moscow, on behalf of the Mir-Kvant/TTM and Granat/ART-P teams, communicate: "The ROSAT position of a new x-ray pulsar GRO J1735-27 (= RX J1735.9-2726; cf. IAUC 6207, 6212) is within the 1' error circle for KS 1732-273, the source discovered by Mir-Kvant/ TTM on 1989 Mar. 20 and Sept. 4 (in't Zand et al. 1991, Adv. Space Res. 11, (8)187); the mean flux from the source was about 22 mCrab in the band 3-10 keV during both 1989 observations. The source was marginally detected with Granat/ART-P on 1990 Apr. 4, when its flux at 3-10 keV was 13.4 +/- 2.2 mCrab, but it was not found (at the flux level of 26 mCrab, 3-sigma upper limit) on 1990 Oct. 11. Thus, the 1989 and 1990 observations noted above, together with those on 1990 Sept. 5-7 by ROSAT and on 1995 Aug. 14 by GRO, are likely due to episodic accretion during the periastron passage (by an accreting neutron star in the binary system) and provide us with an estimate of the binary period (5-6 months)."

BORKUS, V. V.; KANIOVSKY, A. S.; EFREMOV, V. V.; BOROZDIN, K. N.; SUNYAEV, R. A.; ALEKSANDROVICH, N. L.; AREFEV, V. A.; KRETSCHMAR, P.; KUNZ, M.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.; SKINNER, G. K. OBSERVATIONS OF THE X-RAY SOURCE CYGNUS-X-1 FROM THE ROENTGEN OBSERVATORY ABOARD THE ORBITING MIR / KVANT MODULE // PISMA V. ASTRONOMICHEskII ZhURNAL V.21:12/DEC, P. 883, 1995.

... 1995, 21, 12, 883-893.

1988 - 1994 ff. "1995-1994" ...

ç áâí çàÿ-ÿ- "áâç-á - áâ"«áí ç |ÿáá®- á-ÿáâ «i-®- áâáâí-"" á
 á à áÿà-è- ì «i ®-á®- \$ æ" áÿáâ®. \áÿ-© - ®- ì- ÿ-í - ;íÿÿ-©
 -ââ® "S«ãçÿ-í ®á "áâç-"" ç ÿ- S®-ÿ í-ÿàí"© 45 - 140 áí, "S-ÿ-í«áí
 -à-ÿà-® çÿç®ÿ - ®á ~0.07 ® ~0.15 áââ- /á/áç. á- . □ ;íÿ «"áí á áÿ á«i-èÿ
 á ®á"çÿá""ÿ ®«ÿÿ; -"i ®á® ç áÿçÿ-ÿ áââ®, á -"«"áâ®® ®á«®-ÿ-í ®á
 áâÿÿ-ÿÿ® ®® 15%. □à íá®- á ®®-«"í;® á"áâÿ- á"çÿá®® \$ ç"á"-®áá" |ÿáá®áá"
 áÿáâ "áâç-"" ®á ÿÿ® áçÿá"-®áá" ®; -ááÿ®-ÿ ;è®. , áÿçà «ÿ 1994 £.
 |ÿáá®ááí ç® çáÿ- àÿ-áíÿ-®çá®- ÿ- S®-ÿ S- ç"áÿ«i-® á-"S"« áí, ç áÿáâÿ
 -®íç"« áí -íÿ á í ®-®-ÿ-á á áÿ-ÿà áââ® çÿá-®áÿ«i-®í® "S«ãçÿ-í ~ 0.5
 áí, . □à";®à- f...š'... ;è® ®; - ááÿ- -"S®ç áââ-è© èã- ç áÿáâÿ -®é-®áá"
 "áâç-"" . , ÿ- S®-ÿ ç áââ 0.01- 10 ÿá áÿáâ -®é-®áá" èã- áââ®è®
 ®-áèç ÿááí -à";«"íÿ-ÿ- ç áâá-ÿ "« á® ç -"S®ç áââ-®ç ®;« áá" "áâÿ-®í®
 á- ÿ ç çéá®®ç áââ-®ç. , áâÿ- ;íÿÿ-© ç áââ , áââçÿááâçáíé í "S«®-á ç
 áÿáâÿ, -"«"áâ "®á®í® áç áá" S- ç-® "S-ÿ-í«"áí. , ®-®- "S
 áÿáâ-®ç -®é-®áá" ;è® ®; - ááÿ- è"á® í (FWHM ®áíÿ æÿ-áá «i-®ç ç áââé)
 ®áâ;ÿ-®ááí, ®áá® í -®;ÿá ;éáí -áÿá-áÿá"à®ç - "á"á"á ç S"ÿà"®"çÿá"á
 ®áæ"«"íæ"©. □à®çÿÿÿ-èÿ ç à S«"ç-éá í-ÿáíÿá"çÿá"á ÿ- S®- á "S-ÿàÿ-í
 çÿ"ç"-è rms "áâç-"" á" Sèç íá - á®, çá® áÿáâ ç æÿ«®- "áÿáâ
 -ÿáÿ-ÿ-®ç ®-®-ÿ-áè "ÿÿ-á"ç-è. □è® ®; - ááÿ- á áÿ S- ç-í (3.5 á"í-)
 ®áâÿ«íæ"í -ÿ;íá áçÿá"-®ááí "áâç-"" "ÿÿ® rms.

DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W.; REPPIN, C.; TRUEMPER, J.;
 KENDZIORRA, E.; KRETSCHMAR, P.; KUNZ, M.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.;
 EFREMOV, V.; SUNYAEV, R. HEXE observations of Cygnus X-1. // Astronomy and
 Astrophysics, v.302, p.115.

The High Energy X-ray Experiment (HEXE) observed the black hole candidate
 Cyg X-1 on several occasions during the years 1987 to 1991. Together, these
 observations comprise the most sensitive measurements in the hard X-ray
 range of 20-200keV of this source to date. We present results of the
 spectroscopy and the timing analysis. During all observation periods in 1987
 to 1991 Cyg X-1 was in the low, hard state. The variability of the hard
 X-ray intensity on long time scales was less than 20%. The flux was
 comparable to the {gamma}_2_ level as observed by HEAO 3. There were no
 significant spectral changes during all this time. Comptonisation models do
 not give a good description for the time-averaged spectrum. A much better
 fit can be obtained using a Compton reflection model, assuming a primary
 hard power law spectrum with photon index {alpha}=1.64+/-0.01, which is
 partially reflected by cool matter with a covering factor of 0.59+/-0.04.
 The timing analysis shows the pattern of a low-frequency plateau followed by
 a 1/f decrease in the power spectrum, which is well known from observations
 at lower energies. No QPO peaks were detected.

PAN, H. C.; SKINNER, G. K.; SUNYAEV, R. A.; BOROZDIN, K. N. X-ray spectrum
 of the black hole candidate X1755-338. // Monthly Notices of the Royal
 Astronomical Society, Volume 274, Issue 1, pp. L15-L18.

We report the first detection of a hard power-law tail in the X-ray spectrum
 of the black hole candidate (BHC) binary X1755-338, which was observed in
 1989 March-September during the TTM Galactic Centre Survey. In addition, an
 ultrasoft thermal component with a temperature of ~1.1-1.4 keV was also
 detected. We demonstrate that the soft and hard X-ray components of
 X1755-338 vary independently, as in the spectra of the well-known BHCs LMC
 X-1, LMC X-3 and GX339-4 in their high (intensity) state. If the hard tail
 observed from X1755-338 is generated near the black hole by energetic
 electrons upscattering low-energy photons, the uncorrelated variations imply
 that the soft X-rays from the accretion disc may not be the main photon
 seeds needed for inverse Comptonization. The TTM observations strongly
 suggest that X1755-338 does indeed belong to the family of BHCs.

KRETSCHMAR, P.; PAN, H. C.; KENDZIORRA, E.; KUNZ, M.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; PIETSCH, W.; TRUEMPER, J.; EFREMOV, V.; SUNYAEV, R. Absorption features in the hard X-ray spectra of PSR A 0535+26 and Vela X-1. // Astronomy and Astrophysics Supplement, v.120, p.175-178.

We present the results of broad band (2-200keV), pulse-phase-resolved spectral analysis of A0535+26 and Vela X-1, observed by the instruments HEXE and TTM on Mir-KVANT. Both sources show a double peaked pulse profile at energies >10keV with pulses distinctly different in shape. Convincing evidence for cyclotron absorption features has been found for A0535+26, similar features - though less significant - are also found in the Vela X-1 spectra. For both sources these features are pulse phase dependent and occur especially strong in the pulse getting more prominent with increasing energy.

IAU Circ. 6350. 1996. GRS 1739-278 AND GRO J1744-28

K. Borozdin, N. Alexandrovich, and R. Sunyaev, Space Research Institute, Moscow, report on behalf of MIR-KVANT-TTM team: "The TTM experiment onboard the Mir-Kvant Space Station has detected GRS 1739-278 (IAUC 6348) as a very bright and soft x-ray source. The 2- to 27-keV flux was equal to 200 +/- 50 mCrab on Feb. 28, rising to 500 +/- 50 mCrab on Mar. 1. The TTM position (R.A. = 17h42m40s, Decl. = -27o45'.8, equinox 2000.0; uncertainty +/- 1'), is inside the SIGMA/Granat error box. The source was weaker than 100 mCrab during previous TTM sessions of GC observation (Feb. 6-7). The spectrum in the band 2-27 keV can be roughly fitted by a power law with spectral index 2.7 +/- 0.1 and hydrogen absorption column density (4.1 +/- 0.7) x 10E22 cmE-2. However, the two-component (soft component plus hard power law) model with smaller absorption provides better agreement with data obtained on Mar. 1. Such x-ray spectra are typical for accreting blackhole candidates. GRO J1744-28 was observed simultaneously during galactic field observations. The 2- to 27-keV flux was 1650 +/- 70 mCrab on Feb. 7, 515 +/- 30 mCrab on Feb. 28, and 1220 +/- 50 mCrab on Mar. 1. The TTM localized the source at R.A. = 17h44m34s, Decl. = -28o45'.2 (uncertainty +/- 1'); this source has a much harder spectrum in the band 2-27 KeV than does GRS 1739-278."

BALUCINSKA-CHURCH, M.; CHURCH, M. J.; MAISACK, M.; BELLONI, T.; SKINNER, G. K.; STAUBERT, R.; DOEBEREINER, S.; ENGLHAUSER, J. Spectral behaviour of Cygnus X-1 in a broad band 0.1 - 200 keV based on ROSAT, TTM and HEXE observations. // Mem. Soc. Astron. Ital., 67, 389-394 (1996).

□.□. □«¥á -há@ç"ç, □.,. □à¥áì¥ç, Š.□. □à@S¤"-, □.,. □àã¤@f«i¤. Ç¥á@¤é @-à¥¤¥«¥-''i - à -¥áà@ç - ç¥¤¥-''i -à'';@à@ç -@¤ã«i "Šç -â". □« -''à@ç -''¥ - ;«i¤¥-''@. // □à¥-à''-â ^Š^ □□□. □à - 1959. 1996.

„ -- i à ;@â á@áâ@''â "S ¤çää @á-@ç-èâ ç áâ¥@. , -¥àç@ç ç áâ'' @''áèç iááì á-@á@;è @-à¥¤¥«¥-''i - à -¥áà@ç - ç¥¤¥-''i (ãf«@ç alf, del '' fi) -à'';@à@ç -@¤ã«i "Šç -â". 'ç-@¥ @-à¥¤¥«¥-''¥ - à -¥áà@ç - ç¥¤¥-''i @ ¤ --è- à¥«¥á@'' 'Ç ç@S-@|-@ á@«i@'' -à'' - «''ç'' ç ¥f@ -@«¥ Sà¥-''i -¥ -¥-¥¥ ¤çää ''áâç-''@ç á "Šç¥áâ-è-'' i^ç á@à'' «i-è-'' @@ã¤''- á -''. „ããf@ç á-@á@; - á@!¤¥-''i - à -¥áà@ç - ç¥¤¥-''i ''á-@«iSà¥â ¤ --è¥ à¥«¥-¥áà'' @-à''ç¥á''á Sç¥S¤-èâ ¤ áç''@ç á''áâ¥-è @à''¥-â æ'' áâ -æ''. □@ S -@, çâ@ iá@â -¥â@¤ -¥ -@Sç@«i¥á çèç''á''áì alf, del '' fi á -¥@;@¤''-@ç ¤«i áâà@â''S''ç¥á''á -à'';@à@ç á@ç-@ááì. □à-¥ç¥-@ áãçè¥-''¥ áâ ;''«''S æ'' áâ -æ'' @ áâ ç-¥-''i á 1987-1989 f.f. ,@ çâ@à@ç ç áâ'' S«@!¥-è - ç «i-è¥ ¤ --è¥ '' @á«¥¤@ç à¥«i-@ááì çèç''á«¥-''@ ¤«i «'' -''à@ç -''i - ;«i¤¥-''@. □à¥-'' ç@S-@|-@áâ'' à Sç@à@â áâ -æ'' ç S ¤ --áì @à''¥-â æ''i @á-@ç -è - ¥á¥á@¤¥'' -¥âæ'' «i-@ç á''áâ¥-¥'' @@ã¤''- á, @-à¥¤¥«i¥-@ç -«@á''@ááì @à;''áè áâ -æ'' '' -à ç«¥-''¥- - '«-æ¥.

1997

BORKUS, V. V.; KANIOVSKY, A. S.; SUNYAEV, R. A.; EFREMOV, V. V.; KRETSCHMAR, P.; STAUBERT, R.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W. HEXE/Mir-Kvant observations of the bursting X-ray pulsar GRO J1744-28. // Pis'ma Astron. Zh., 23, 483-495 (1997).

We present the results of a timing and spectral analysis of the bursting X-ray pulsar GRO J1744-28 performed by the HEXE instrument of the Mir-Kvant Observatory. In early 1996, we carried out two series of observations separated by a month and detected no significant prolonged luminosity variations. The mean luminosity in the energy range 20-100 keV was $\sim 2 \cdot 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ and $\sim 1.5 \cdot 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$ during the first and second series of observations, respectively (assuming that a point source is located at distance d kpc). The period of the pulsar, $\sim 0.46706 \text{ s}$, and the rate of its evolution match the BATSE values. The constructed pulse profile is nearly sinusoidal in shape, and the pulse fraction changes from $\sim 20\%$ (rms 13.8 0.6% at energies up to 30 keV to $\sim 25\%$ (rms 17.5 1.2%) in harder energy channels. During the observations, four strong bursts of duration 8-10 s were detected. The burst luminosity at maximum was a factor of 5-10 higher than the mean value for the source. After each of the bursts, the flux from the source rapidly decreased to $\sim 80\%$ of the normal level and then began to slowly rise. However, the temporal properties of these processes differ for different bursts. Within the limits of the available statistics, the 20-80-keV burst spectra are similar to the spectrum of the primary component. The averaged spectrum of the source turned out to be harder than the spectrum predicted by the "canonical" model and exhibits a considerable excess of photons in the band 60-120-keV, which can be offset either by introducing an additional power-law component or (in part) by introducing an absorption gyroline at energy $E_1 \sim 45 \text{ keV}$. However, because of the high density of sources in the region of the Galactic center, the additional component cannot be uniquely attributed to GRO J1744-28.

S.V.Lavrov, K.N.Borozdin, N.L.Aleksandrovich, V.A.Aref'ev, R.A.Sunyaev, and G.K.Skinner. Two Spectral States of the Black Hole Candidate GX339-4. // Pis'ma Astron. Zh., V. 23, 7, 496 - 502 (1997).

We performed two series of observations of the X-ray source GX 339-4, a black-hole candidate, between 1989 and 1994 using the TTM instrument of the Roentgen Observatory. In March 1989, the source was in a soft state with a spectrum described by a multicolor accretion disk model (Shakura and Sunyaev 1973). In March 1994, a hard state with a power-law spectrum and a transition from the hard to the soft state was observed. The spectral states of the source show similarities to the spectra of other black-hole candidates. The presence of two states is considered as evidence that GX 339-4 belongs to this class of objects.

В. В. Боркус, А. С. Каниовский, Р. А. Суняев, В. В. Ефремов, П. Крецшмар, Р. Штауберт, Р. Энгльхаузер, Ж. Пьетсх, В. Гекс. Наблюдения пульсирующей рентгеновской звезды GRO J1744-28. // Письма в журнал по астрономии, 23, 483-495 (1997).

KRETSCHMAR, P.; PAN, H. C.; KENDZIORRA, E.; MAISACK, M.; STAUBERT, R.; SKINNER, G. K.; PIETSCH, W.; TRUEMPER, J.; EFREMOV, V.; SUNYAEV, R. Phase resolved X-ray spectra of Vela X-1. // Astronomy and Astrophysics, v.325, p.623-630.

Combining simultaneous observations of Vela X-1 by the instruments HEXE and TTM on Mir-Kvant, we have analyzed pulse profiles and pulse phase resolved spectra over a broad energy band (2-120keV). The pulse profiles show the well known transition from a complex shape at low energies to a double peak structure at energies $>20\text{keV}$. The high-energy lightcurves exhibit strong

pulse-to-pulse variations. We find indications for spectral features at ~23 and ~45keV in the phase averaged spectra, which can be interpreted as the fundamental and first harmonic cyclotron resonances, but we caution that the first feature coincides with the spectral cutoff of the continuum spectra used. Pulse phase resolved spectroscopy shows that the shape of the continuum spectrum varies significantly with pulse phase and that the cyclotron features are mainly visible in one of the two pulses seen at high energies.

BOROZDIN, KONSTANTIN N.; ALEXANDROVICH, N. L.; AREFEIV, V. A.; GILFANOV, M. R.; REVNIVTSEV, M.; SUNYAEV, R. A.; TRUDOLYUBOV, S. P. Observations of bright X-ray transients by MIR-KVANT module in 1988-1996. // "All-Sky X-Ray Observations in the Next Decade", 1997, RIKEN, Japan, eds. M. Matsuoka and N. Kawai, p. 49.

MIR-KVANT module being on the orbit during ten years since 1987 was able to observe a set of bright X-ray transients from Vul X-Nova in 1988 to GRS1739-278 in 1996. Broad-band X-ray spectra and temporal variability of them are discussed.

The most of studied transients belong to X-ray Novae - group of X-ray transients with common observational features. The transients appear at X-ray sky with a frequency about 1-1.5 per year and are available for observations by experiments with ~ 10 mCrab sensitivity during few monthes after the outburst. Measured mass function several of those objects exceeds 3 solar masses and considered to be a solid prove of black-hole presense in the system. Other exotic objects observed were Galactic 'microquasars' GRS1915+105 and GRO J1655-40, also pulsar-burster GRO J1744-28.

Almost all of the objects discussed were discovered by X-ray all-sky monitors ``Ginga'', WATCH/GRANAT, BATSE/GRO, so they are sources of primary interest for future all-sky monitors. From the other hand most of these objects are located in densely populated Galactic Center region which requires quite good angular resolution for fine studies.

KANIOVSKY, A. S.; AREFIEV, V. A.; ALEKSANDROVICH, N. L.; BORKOUS, V. V.; BOROZDIN, K. N.; EFREMOV, V. V.; SUNYAEV, R. A.; KENDZIORRA, E.; Three hard X-ray transients: GRO J0422+32, GRS 1716-24, GRS 1009-45. Broad band observations by Roentgen-MIR-KVANT observatory. // Advances in Space Research, v. 19, Issue 1, p. 29-34.

1998

N.L.Aleksandrovich, K.N.Borozdin, V.A.Aref'ev, R.A.Sunyaev, and G.K.Skinner. TTM/MIR-KVANT Observations of the X-ray Transient Bursting Pulsar GRO J1744-28. // Pis'ma Astron. Zh., V. 24, 1, 10 - 18 (1998).

□.□. □«Yá -mà@ç`ç, Š.□. □à@Sµ"- , ,□. □àYàiyç, □.□. `i-iyç, „|.Š. `a"--Yà. □ ;«imY-"i àY-áfY-@çá@f@ àà -S`Y-á-@f@ -ã«lá à - ; àááYà GRO J1744-28 àY«Yá@- "E @à;`á «i-@ç @;áYàç à@à` "E`à-Šç -á". // □`ái- ç ááá@-. |áà- «, 1998, ' . 24, 1, ` . 10 - 18.

□ã«lá à-; àááYà GRO J1744-28, çá`eá-ãç`© ç µYá ;àY 1995 f., áá « @µ-`- "S --áYàYá-Y@è`á @;éY`á@ç µ«i àY-áfY-@çá@ç ááá@à`S`a". , áá àiy @;áá;µ iáái àYŠã«iá äë - ;«imY-"© iá@f@ "áá@ç-`a -à";@à@- 'E -@µã«i "Šç -á" à@áá`Cá@ç` @áá-`çYá@ç áá -æ` "E`à". □àYµáá ç«Y-é `a`çéY ;«Yá` ç@ çàY-i -iá` S àYf`ááà`à@ç --eá çá`eéY` "áá@ç-`a . □à`ç@µ`áái «@` «`S æ`i "áá@ç-`a àY-áfY-@çá@ç`S«ãçY-"i àY«Yá@- "E á à@ç-@áái µ@ l áf«.-. □` S -@, çá@ -@«@;Y-"Y "áá@ç-`a çá`«Yá@ç á@ç` µ Yá á -@«@;Y-"Y- GRO J1744-28. □@ááá@Y-é á`Y`ááë @;éY`á ç µ - S@-Y 2-27 `i, ç@ çàY-i çá`eéY`a " ç

~à@~Ÿ|ãã^Ÿ ~Ÿ|ãã -"".

BORKUS, V. V.; KANIOVSKY, A. S.; SUNYAEV, R. A.; EFREMOV, V. V.; KRETSCHMAR, P.; STAUBERT, R.; ENGLHAUSER, J.; PIETSCH, W. Properties of the Pulsar GX 301-2 in the Hard X-ray Range. // Astronomy Letters, volume 24, page 60 (1998).

In 1993-1994, we performed a series of observations of the X-ray pulsar GX 301-2 with the HEXE instrument of the Mir-Kvant Observatory. We measured the period of the source (it varied between 675 and 678 s) and constructed the pulse profiles in various bands of the energy range 20-75 keV. The measured 20-100-keV luminosity varied between 8×10^{34} and $7 \times 10^{35} \text{ d}^2 \text{ erg s}^{-1}$ (for a point source at distance d kpc). The observed spectrum can be described quite satisfactorily by the 'canonical' model for X-ray pulsars with $\gamma = 1.3$, $E_c \sim 23 \text{ keV}$, and $E_f \sim 9 \text{ keV}$. The spectrum changed little from measurement to measurement, but at maximum light, it was slightly softer than that in all the other states. We detected significant variations of the hardness with pulse phase, but the accumulated data were not enough to study the related variations in the spectral parameters. The spectrum exhibited no statistically significant traces of cyclotron lines. The interpretation of the pulse profiles in terms of the model of a rotating neutron star with two emitting polar caps that includes gravitational effects indicates that the most probable inclination of the pulsar's magnetic axis with respect to its spin axis is 40 deg - 70 deg, and that the angle between the observer's direction and the spin axis is ~75 deg - 85 deg.

□@á«ŸŸ-ii àŸŸ ^æ"i: 25.03.1998 £. □;éŸŸ ^@«"çŸáãç@ ~ã;«" ^ æ"©: 134.



VOLKSBILDUNGSHAUS
WIENER URANIA
1011 WIEN, URANIASTRASSE 1

Frühjahrssemester 1998

Donnerstag, 19.00-21.00 Uhr

Kurs Nr. 204a

25. ÖSTERREICHISCHES STERNFREUNDE-SEMINAR

Gemeinsam mit dem Österreichischen Astronomischen Verein

Leitung: Prof. Hermann MUCKE

(Wissenschaftlicher Leiter des Planetariums)

Himmelskundliche Beobachtungen und himmelskundliches Weltbild

In sich abgeschlossene Fortsetzung der gleichnamigen Seminare 1995, 1996 und 1997, deren Papiere noch erhältlich sind.

Es werden Beobachtungen und Beobachtungsmethoden beschrieben, deren Ergebnisse für das himmelskundliche Weltbild bedeutend sind. Den Beobachtungen, die mit freiem Auge zu machen und nacherlebbar sind, werden solche gegenübergestellt, die nur mit Technik oder Hochtechnik ausgeführt werden können. Dieses Seminar setzt einschlägiges himmelskundliches Grundwissen voraus und ist durch "Seminarpapiere" dokumentiert. Diese sind unentgeltlich, aber nur bei persönlicher Teilnahme und Vorweis der Kurskarte am Beginn der Abende erhältlich und sind als Unterlage bei Beobachtungsführungen (z. B. im Sterngarten Georgenberg oder auf der Wiener Urania Sternwarte) gedacht.

Kursort: Planetarium der Stadt Wien, 2., Oswald-Thomas-Platz (beim Riesenrad).

Beim Vorweis der Kurskarte des Österreichischen Astronomischen Vereins oder der Mitgliedskarte der Wiener Urania kein abendlicher Regiebeitrag"

5 Abende: 12. März, 16. April, 7. Mai, 4., 18. Juni

Geförderter Kurs

S 80,-

Einschreibungen an der URANIA-Kurskassa,
Montag bis Freitag, 14.30-20.00 Uhr

