

# Extraterrestrische Forschung

Von R. LÜST

Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, München

## 1. Einleitung

Die Weltraumforschung eröffnet einer ganzen Reihe von wissenschaftlichen Fachrichtungen wie Astronomie, Geophysik, Meteorologie, Physik neue und bedeutende Möglichkeiten. Bisher waren es vor allem die Wissenschaftler in den USA und Rußland, die aktiv daran teilnehmen konnten. Jetzt zeichnen sich aber in Deutschland und Europa Entwicklungen ab, die uns hoffen lassen, daß auch wir uns hier mit selbst entwickelten Experimenten und mit eigenen Beobachtungen einschalten könnten, wenn wir nur daran interessiert sind und mit Energie an diese Aufgabe herangehen wollen.

Diesen zusammenfassenden Bericht möchte ich in zwei verschiedene Teile unterteilen. Im ersten Teil möchte ich die wissenschaftlich-astronomische Seite der extraterrestrischen Forschung an Hand von einigen Beispielen erörtern, die andeuten mögen, daß sich damit eine wesentliche Ergänzung, Erweiterung und Verbesserung unserer bisherigen Informationsmöglichkeiten bietet. Im zweiten Teil sollen dann die praktischen Voraussetzungen geschildert werden, die gerade jetzt in Europa für die extraterrestrische Forschung vorbereitet werden. Allgemeine Gesichtspunkte werde ich dabei höchstens streifen, da diese vor allem heute abend bei dem öffentlichen Vortrag zur Sprache kommen sollen.

## 2. Astronomische Probleme der extraterrestrischen Forschung

### a) Vorteile extraterrestrischer Beobachtungen

Es ist hier wohl unnötig, noch einmal im Detail auf die vielen Vorzüge einzugehen, die sich astronomischen Beobachtungen in größerem Abstand vom Erdboden bzw. außerhalb der Erdatmosphäre bieten.

1. Die Ausdehnung des Spektralbereiches. Der wohl wesentlichste Vorteil extraterrestrischer Astronomie ist die große Erweiterung des Spektralbereichs der einfallenden elektromagnetischen Strahlung. Vom Erdboden aus können wir die kosmischen Objekte nur durch die beiden bekannten Fenster im optischen und Radiobereich beobachten, da im UV die Absorption durch das Ozon, im Ultraroten zwischen optischem und Radiobereich die molekulare Bandenabsorption durch Wasserdampf, Kohlendioxyd, Sauerstoff usw. und im Langwellenbereich die Refraktion der Elektronen in der Ionosphäre die elektromagnetische Strahlung am Durchdringen hindern. Vor allem die Ausdehnung an den beiden Enden des Spektrums ist von Bedeutung, während die Lücke im Ultraroten zwischen den beiden Fenstern vielleicht nicht so wichtig für den Einsatz von Satelliten ist, da die

Absorption dieses Spektralbereichs schon in der unteren Atmosphäre verursacht wird. Hier bieten daher schon die Beobachtungen von höheren Bergen und insbesondere mit Hilfe von Ballonen wirklichen Gewinn. Im UV wird es auf extraterrestrischem Wege möglich sein, bis hinunter zu Bruchteilen von Angström zu beobachten. Die einzige Begrenzung in stellarer Spektroskopie (mit Ausnahme der nächsten Sterne) wird die kontinuierliche Absorption durch interstellaren Wasserstoff und Helium sein, die die Sternstrahlung von der Lyman-Grenze bei  $912 \text{ \AA}$  herunter bis zu etwa  $20 \text{ \AA}$  auslöscht. Im langwelligen Radiowellenbereich wird die durch interplanetare Elektronen verursachte Begrenzung bei einigen Kilometern Wellenlänge liegen.

2. Die Unterdrückung des hellen Vordergrundes des Himmels. Das Himmelsleuchten der oberen Atmosphäre und die Streuung von Sonnen- und Sternlicht in der unteren Atmosphäre beeinträchtigen die Beobachtungen von ausgedehnten flächenhaften kosmischen Objekten wie Sonnenkorona, Zodiaklicht, galaktische Nebel und entfernte außergalaktische Nebel. Die Streukomponente nimmt rasch mit der Höhe ab, während das Nachthimmelsleuchten (airglow) in sehr großer Höhe seinen Ursprung hat.

3. Die Verbesserung der Auflösung. Schließlich können die Sichtverhältnisse beträchtlich verbessert werden, und damit lassen sich höhere Auflösungsvermögen der Fernrohre erzielen. Z. B. wird das theoretische Auflösungsvermögen für Fernrohre mit Öffnungen größer als 30 cm bei Beobachtungen vom Erdboden aus praktisch niemals erreicht. Da die schlechten Sichtbedingungen durch die untere Atmosphäre verursacht werden, genügen schon Ballonhöhen, um einwandfreie Verhältnisse zu bekommen.

Neben Ballonen stehen der extraterrestrischen Beobachtung von kosmischen Objekten heute folgende Hilfsmittel zur Verfügung: Vertikale Raketen, Satelliten und Raumsonden. Ballone und vertikale Raketen haben den Vorteil, daß man bei ihrer Benutzung die Beobachtungsgeräte ohne allzu große Schwierigkeiten zur Erde zurückbekommen kann, außerdem sind sie relativ billig. Dagegen kann eine Wiedergewinnung der Beobachtungsgeräte von Satelliten zur Zeit noch nicht praktisch wirklich ausgenutzt werden, von den Kosten für die Bergung der Instrumente ganz zu schweigen. Ein Nachteil bei der Benutzung von Ballonen und vertikalen Raketen ist es allerdings, daß die Beobachtungszeit nicht allzu lang ist. Insbesondere bei den letzteren ist die zeitliche Begrenzung so einschneidend, daß nur die hellsten kosmischen Objekte mit Instrumenten, die in vertikale Raketen eingebaut sind, untersucht werden können. So weit es die Satelliten betrifft, so liegt es durchaus schon im Bereich der technischen Möglichkeiten, Teleskope mit etwa 1 m Öffnung in Umlaufbahnen mit einem Perigäum von einigen 100 km Entfernung von der Erdoberfläche zu bringen. Ein solches Projekt befindet sich in den USA schon im Stadium der praktischen Entwicklung. Schließlich sei noch gesagt, daß man in nicht zu ferner Zukunft auf dem Mond und den nächsten Planeten Instrumente und später auch bemannte Raumschiffe landen können. Dann dürfte wohl der Fall eintreten, daß diese Objekte in gewisser Weise aus der eigentlichen astronomischen Forschung ausscheiden werden, da man andere Beobachtungsmethoden bzw. direkte Experimente anwenden wird. Zum nächsten kosmischen Objekt außerhalb der Erdatmosphäre vorzudringen, nämlich in das interplanetare Medium, sind wir bereits jetzt in der Lage. Dort können wir schon auf direktem Wege den Zustand dieses Mediums beobachten und Experimente darin ausführen, die uns weitere Aufschlüsse über die dort herrschenden Bedingungen geben.

Welches sind nun die hervorstechenden astronomischen Aufgaben, die wir bei der Verwendung extraterrestrischer Hilfsmittel angreifen können? Ich möchte vor allem einiges über die Möglichkeiten und die ersten Ergebnisse berichten, die sich aus der Ausdehnung des spektralen Beobachtungsbereiches ergeben. Im Anschluß daran seien erste Resultate über Messungen des interplanetaren Mediums wiedergegeben, während andererseits nur einige kurze Bemerkungen in Bezug auf die Ausnutzung besserer Sichtverhältnisse gemacht werden sollen.

### b) Gamma-Strahlen-Astronomie

Lassen Sie mich beginnen mit dem kurzwelligsten Ende des elektromagnetischen Spektrums, der  $\gamma$ -Strahlung. In diesem Wellenlängenbereich — hier ist es praktischer, von Energiebereich zu sprechen, wobei ja  $1 \text{ \AA}$  etwa  $10 \text{ keV}$  entsprechen — sind zwei Intervalle von Strahlung kosmischer Herkunft von besonderem Interesse.  $\gamma$ -Strahlen in dem Bereich von  $0.2$  bis  $5 \text{ MeV}$  entstehen beim radioaktiven Zerfall von angeregten Kernen, bei der Fusion von leichten Elementen und möglicherweise bei der Zerstrahlung von einem Elektronen-Positron-Paar.  $\gamma$ -Strahlen mit Energien von  $50$  bis  $200 \text{ MeV}$  entstehen beim Zerfall von neutralen  $\pi$ -Mesonen, welche beim Zusammenstoß von energiereichen Nukleonen erzeugt werden, sowie bei der Vernichtung von Proton und Antiproton. Schließlich kann auch direkt die Bremsstrahlung von energiereichen Elektronen Anlaß zur  $\gamma$ -Strahlung sein.

Insbesondere der letztgenannte Energiebereich von  $50$  bis  $200 \text{ MeV}$  ( $5 \times 10^{-5}$  bis  $2 \times 10^{-4} \text{ \AA}$ ) ist von großem Interesse, da der Zusammenstoß eines Protons der Kosmischen Strahlung mit einem Teilchen des interstellaren Mediums unter anderem zur Entstehung von neutralen  $\pi$ -Mesonen führt, während die auch dabei entstehenden geladenen  $\pi$ -Mesonen über  $\mu$ -Mesonen zu Elektronen zerfallen. Diese letzteren führen dann zur Aussendung von magnetischer Bremsstrahlung in den kosmischen Magnetfeldern im Radiowellenlängenbereich. Während die Teilchen der Kosmischen Strahlung in Magnetfeldern abgelenkt werden, kommen die  $\gamma$ -Quanten in gerader Richtung von der Quelle, wo sie entstehen, wobei sie praktisch kaum im interstellaren Medium absorbiert werden. Wir sollten also mit Hilfe der  $\gamma$ -Strahlung Quellen der Kosmischen Strahlung nachweisen können, ebenso solare Flares, Überreste von Supernovae wie zum Beispiel den Crab-Nebel, ferner unsere Milchstraße als Ganzes oder auch andere Sternsysteme. Nur müssen diese  $\gamma$ -Strahlen oberhalb der Erdatmosphäre beobachtet werden, um zusätzliche Absorption in der Erdatmosphäre zu vermeiden und insbesondere die Albedo der Kosmischen Strahlung hinabzudrücken, bzw. die durch die in der Atmosphäre verursachte Produktion neuer  $\gamma$ -Strahlen.

Ein erstes  $\gamma$ -Strahlen-Teleskop, das für Energien oberhalb  $50 \text{ MeV}$  konstruiert ist, wurde von Clark und Kraushaar gebaut und im Explorer XI geflogen, der 5 Monate lang Daten zur Erde sandte. Wie schwierig aber solche Messungen sind, wird klar, wenn man die Intensität der Kosmischen Strahlung, die am Gipfel der Atmosphäre  $5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ sterad}^{-1}$  beträgt, mit der theoretisch vorausgesagten Intensität der  $\gamma$ -Strahlung von  $10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ sterad}^{-1}$  vergleicht, die wir aus unserer Milchstraße erwarten sollten. Das ist also ein Unterschied von fast 3 Größenordnungen. Eine obere Grenze ergibt sich auch aus der totalen Intensität der Radiostrahlung. Diese ergibt sich zu  $3 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ sterad}^{-1}$ . Diese beiden letzten Werte liegen verhältnismäßig nahe beisammen, was die Tatsache widerspiegelt, daß man die Radio-Emission fast ganz durch neutrale  $\pi$ -Mesonen erklären kann.

Das  $\gamma$ -Strahlen-Teleskop tastete praktisch den ganzen Himmel ab, da der Satellit während der späteren Phase seiner Operation nicht raumstabilisiert war. Die mittlere Intensität, die beobachtet wurde, war etwas höher als erwartet, nämlich zwischen 3 und  $10 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ sterad}^{-1}$ . Aber der Unterschied ist nicht wirklich sehr groß oder zu überraschend, wenn man an all die Unsicherheiten denkt, die zur theoretischen Abschätzung führen. Auf alle Fälle ist das Resultat konsistent mit der Möglichkeit, daß ein großer Teil der Energie der relativistischen Elektronen im Kosmos aus nuklearen Wechselwirkungen stammt. Biermann hat darauf hingewiesen, daß die beobachtete höhere Intensität durch Beiträge aus den Atmosphären von aktiven Sternen und Supernovae verursacht sein könne. Bisher ist die Statistik und die Winkelauflösung nicht gut genug, um die Beobachtung einer wirklichen Anisotropie zu ermöglichen. Für einzelne Objekte konnten obere Grenzen für die Intensität erhalten werden, die in der folgenden Tabelle angegeben sind:

Berechneter Beitrag der Milchstraße von Zusammenstößen zwischen Teilchen der Kosmischen Strahlung und Kernen des interstellaren Mediums

$$J = 10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ st}^{-1}$$

Gemessene obere Grenze der scheinbaren isotropen Komponente

$$J < 3 - 10 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ st}^{-1}$$

Obere Grenzen für den Fluß von verschiedenen möglichen Quellen

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Cassiopeia A            | $< 4.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ |
| Andromeda               | $< 5.5$   |
| Cygnus A                | $< 3.6$   |
| Taurus A (Crab)         | $< 18.4$  |
| Zentrum der Milchstraße | $< 6.2$   |
| Sonne                   | $< 13.6$  |

In dem ersten Satelliten zur Beobachtung der Sonne (OSO I = Orbiting Solar Observatory), der am 7. 3. 62 in seine Umlaufbahn gebracht wurde und der über mehrere Monate Meßdaten zur Erde funkte, waren sowohl eine Meßapparatur zur Messung von energiereichen  $\gamma$ -Strahlen als auch drei andere Meßapparaturen zur Messung von  $\gamma$ -Strahlen im Bereich zwischen 50 MeV und 3 MeV untergebracht. Über diese Versuche sind aber bisher noch keine Resultate veröffentlicht worden. Jedoch sind  $\gamma$ -Strahlen von etwa 0.5 MeV schon früher im Zusammenhang mit Flares mit Hilfe von Ballons beobachtet worden. Schließlich sind auch  $\gamma$ -Strahlen-Instrumente in Verbindung mit den Untersuchungen des Mondes und der Planeten, die uns Aufschlüsse über die Radioaktivität dort geben können, in Vorbereitung.

### c) Röntgen-Strahlen-Astronomie

Man kann erwarten, daß die Quellen für  $\gamma$ -Strahlung gleichzeitig Quellen für Röntgenstrahlung sind, da die dort entstehenden energiereichen Elektronen auch Bremsstrahlung in Form von Röntgenstrahlung abgeben. Weiterhin wird man kontinuierliche Röntgenstrahlungsspektren von Sternen und dem interstellaren Medium bekommen. Insbesondere die Röntgen-Emission der Sonnenkorona ist von

besonderem Interesse, ebenso wie diejenige von aktiven solaren Gebieten und Flares. Die Beobachtung der Röntgen-Strahlung von anderen Sternen sollte es uns z. B. ermöglichen, zu entscheiden, ob auch die unteren Hauptreihensterne eine Korona besitzen.

Schon eine ganze Reihe von Messungen der Sonne sind in diesem Spektralbereich unternommen worden. Hier seien insbesondere Friedman und seine Mitarbeiter genannt. Durch Messungen unter Verwendung von vertikalen Raketen konnte schon ein voller Sonnenfleckenzyklus überdeckt werden, da ja bereits seit 1946 vertikale Raketen abgeschossen werden. Während des Sonnenfleckenminimums endet das Spektrum bei etwa 10—20 Å und dehnt sich während des Maximums bis nach 6 Å aus. Während Ausbrüchen von Flares sind erhebliche Anstiege beobachtet worden. Schließlich ist auch mit einer Lochkamera die ganze Sonnenscheibe im Spektralbereich von 50 Å photographiert worden. Aber auch hier befinden wir uns erst in den Anfängen, und viel Entwicklungsarbeit liegt noch vor uns, um z. B. wirkliche Spektren in diesem Spektralbereich zu gewinnen.

#### *d) Ultraviolett-Strahlung*

Nicht ganz so groß sind die technischen Schwierigkeiten bei Beobachtungen im ultravioletten Spektralbereich. Hervorragende Resultate sind gerade hier schon bei der Registrierung des Sonnenspektrums erzielt. Wir nehmen die Kenntnis dieses Spektrums schon fast mit einer Selbstverständlichkeit hin, während noch 1947, also vor nur 15 Jahren, RUSSELL schrieb, als er das erste UV-Spektrum der Sonne sah: „My first look at one gives me a sense that I was seeing something that no astronomer could expect to see unless he was good and went to heaven“. Vor allem haben FRIEDMAN, TONSEY und Mitarbeiter, RENSEN, HINTEREGGER sowie verschiedene russische Gruppen wichtige Beiträge zu diesen Beobachtungen geliefert. Aber auch hier sind noch viele Fragen offen, und bestimmte Probleme erfordern die Klärung von Details. Einige Beispiele: a) Eine Reihe von Emissionen sind bisher nicht identifiziert. b) Die Struktur des Spektrums unterhalb 80 Å ist noch unbekannt. c) Linienprofile hoher Auflösung zusätzlich zu  $Ly_\alpha$  sind wünschenswert. d) Spektroheliogramme in verschiedenen Linien des UV stehen noch aus. e) Kontinuierliche Beobachtungen über lange Zeiten, um Aktivitätserscheinungen zu ergründen, sind natürlich erforderlich.

Von besonderer Bedeutung ist die UV-Spektroskopie heißer Sterne, da deren Intensitätsmaximum im Ultravioletten liegt, so daß die bolometrischen Korrekturen groß sind. Erste Beobachtungen von nahen Sternen im UV sind bereits mit Hilfe von vertikalen Raketen unternommen worden. Die Resultate, die in Amerika in den Gruppen um FRIEDMAN und KUPPERIAN sowie in England erhalten wurden, waren höchst überraschend und bemerkenswert. Sterne des Spektraltyps F0 I bis zu O5 und WC7 sind im Bereich von 1600 bis 4000 Å beobachtet worden. Bei den kühlen Sternen stimmen für das ganze Spektrum die Beobachtungen und theoretischen Modelle der Sternatmosphäre überein, während bei den Sternen frühen Spektraltyps die Übereinstimmung nur bis zu etwa 2600 Å reicht. Unterhalb 2400 Å unterscheiden sich Beobachtungen und die bisherigen theoretischen Voraussetzungen beträchtlich in dem Sinne, daß die Beobachtungen um Faktoren 3 bis 5 oder sogar 10 zu geringe Intensitäten zeigen. Bisher ist nicht klar, ob die Ursache für diese Diskrepanz auf bisher übersehene Prozesse in der Atmosphäre dieser heißen Sterne zurückzuführen ist, oder ob eine interstellare Absorption z. B. durch  $H_2$  für diese

geringen Intensitäten in diesem Spektralbereich verantwortlich sind. SEATON und Mitarbeiter in London sowie Frau TREFFTZ in unserem Institut haben sich unter anderem mit diesem Problem beschäftigt. Ihre bisherigen Rechnungen deuten mehr darauf hin, daß man diesen Tatbestand nicht durch Prozesse in der Atmosphäre klären kann. Diese Ergebnisse zeigen, welche Überraschungen wir durch Beobachtungen in neuen Spektralbereichen noch erleben können. Die Lösung dieses Rätsels wird wohl erst durch weitere genaue Beobachtungen auch entfernterer Sterne von Satelliten aus möglich sein.

Das UV-Spektrum von Sternen, von planetarischen und diffusen Nebeln wird uns ferner wertvolle Informationen über die Elektronendichte, die Temperaturen und die Elementenhäufigkeiten geben. Speziell die Häufigkeit der leichten Elemente wird sich mit größerer Genauigkeit bestimmen lassen, da die Linien dieser Elemente im UV liegen.

Von besonderem Wert werden die Untersuchungen des interstellaren Mediums durch die Beobachtungen der Absorptionslinien im UV sein. Dies ist besonders von SPITZER betont worden, und in Princeton wird ein Satellitenfernrohr von 60 cm Öffnung für diesen Zweck mit einer Richtungsgenauigkeit von nur 0.1 Bogensekunden in Verbindung mit einem Spektrographen von 0.1 Å Auflösung im Bereich von 800—3200 Å gebaut. Bisher ist unsere Kenntnis des interstellaren Gases sehr beschränkt, da nur wenige Linien von neutralen und ionisierten Atomen (Na I und Ca II) sowie von einigen Molekülen im Sichtbaren liegen. Hinzu kommen dann noch die Informationen aus den Radiobeobachtungen. Die anderen bisher beobachteten interstellaren Atome oder Radikale Ca, K, Fe, Ti<sup>+</sup> CH, CH<sup>+</sup> und CN geben nur sehr schwache Linien. Aber die Situation wird sehr viel besser im UV sein, wo wir Resonanz-Absorptionslinien von C, N, O, Mg und Fe in verschiedenen Ionisationszuständen finden können. Vielleicht wird man auch die Linien des Grundzustandes von H<sub>2</sub> bei 1108 Å und 1008 Å finden, was von großer Bedeutung wäre.

#### e) *Infrarot-Strahlung.*

Wenn wir uns jetzt noch kurz dem infraroten Spektralbereich zuwenden, so ist zunächst zu sagen, daß gerade hier bisher sehr wenige astronomische Beobachtungen unternommen worden sind. Die erlaubten und verbotenen Vibrations-Rotations-Übergänge der Moleküle liegen im nahen Infrarot, während die erlaubten und verbotenen reinen Rotationsübergänge im fernen Ultraroten und im Millimeter-Bereich liegen. Vor allem die sehr kühlen kosmischen Objekte sollten mit Erfolg in diesem Wellenlängenbereich studiert werden, aber man kann auch Linien in Gasnebeln und speziellen hellen Sternen erwarten. Schließlich seien noch die Gebiete genannt, die durch die interstellare Absorption stark gerötet sind, wie z. B. das galaktische Zentrum. Aber auch die Sonne und speziell die Sonnenflecken sowie die Planeten sind gute Untersuchungsobjekte im Infraroten. Der Vorteil dieser Beobachtungen ist, wie bereits vorhin gesagt wurde, daß sie zum Teil schon von hohen Bergen oder jedenfalls von Ballonen ausgeführt werden können. Ich möchte hier nur an das Schwarzschild'sche Projekt Stratoscope II erinnern, bei dem unter anderem der Planet Mars im Infraroten mit Hilfe eines Fernrohres mit 90 cm Öffnung, das von einem Ballon getragen wird, untersucht werden soll.

#### f) *Andere Probleme.*

Zeitgründe erlauben es leider nicht, auf eine ganze Reihe von weiteren Problemen einzugehen, wie z. B. Beobachtungen im Radiowellenbereich. Ich sollte aber doch

erwähnen, daß mit zunehmender technischer Vervollkommnung der astronomischen Satelliten auch astrometrische Probleme, die eine hohe Auflösung erfordern, mit in die extraterrestrische Forschung einbezogen werden können, wie z. B. die Bestimmung von Sternparallaxen und Eigenbewegungen sowie Untersuchungen von Doppelsternen.

g) *Interplanetarisches Medium.*

Zum Schluß dieses astronomischen Abschnittes seien noch einige Bemerkungen über das uns schon jetzt zugängliche kosmische Objekt gemacht, das interplanetarische Medium. Hier sind es eine ganze Reihe von Problemen, die wir hoffen, in nicht zu ferner Zukunft mit Hilfe von Raumsonden lösen zu können. Dieses Medium kann ja vom Erdboden aus auf verschiedene Weise beobachtet werden. Ich denke an die Zodiakallichtbeobachtungen, d. h. Beobachtungen des durch die dort befindliche Materie gestreuten Sonnenlichtes, an die Ausnutzung von Bedeckungen von Radioquellen durch dieses Medium, d. h. die Messung der Streuung und Refraktion von Radiowellen, an die Beobachtung der ionisierten Kometenschweife, sowie an die Registrierung der solaren und galaktischen kosmischen Strahlung, schließlich auch an geophysikalische Effekte und ihre Korrelation mit Erscheinungen auf der Sonne.

So nützlich und wertvoll all diese Beobachtungen sind, so haben sie bisher aber noch keine hinreichende Klärung aller physikalischen Parameter des interplanetarischen Mediums wie Dichte, Temperatur, Zusammensetzung, vorhandene Magnetfelder bringen können. Zum Teil haben sich sogar Widersprüche zu unseren bisherigen Annahmen ergeben. Auch die Frage, wo sozusagen der interplanetarische Raum von der Erde aus gesehen anfängt, d. h. wo die Grenze der Magnetosphäre der Erde liegt, ist von Interesse. Erste Resultate konnte man inzwischen mit Raumsonden und insbesondere mit Hilfe der beiden Satelliten Explorer X und XII erzielen. Explorer X hatte eine hochexzentrische Bahn, die in fast entgegengesetzter Richtung zur Sonne verlief, und konnte Magnetfelder sowie das Plasma in seiner Umgebung messen. In einem Abstand von etwa 22 Erdradien konnte zum ersten Mal die solare Korpuskularstrahlung mit einer Intensität von etwa  $3 \times 10^8$  Protonen/cm<sup>2</sup>sec nachgewiesen werden. Ihre Geschwindigkeit ergab sich aus den Messungen zu etwa 300 km/sec und damit die Teilchendichte von 10 pro cm<sup>3</sup>. Mit Hilfe von Explorer XII waren Messungen des Magnetfeldes und energiereicher Teilchen bis zu etwa 12 Erdradien Abstand in Richtung zur Sonne möglich. In dieser Richtung scheint die Grenze der Magnetosphäre bei etwa 10 Erdradien zu liegen, was mit der Intensität des beobachteten solaren Windes in Übereinstimmung ist. Wir sind jetzt in München dabei, weitere Experimente zur Untersuchung des interplanetarischen Mediums vorzubereiten, die dann in europäische und evtl. auch amerikanische Satelliten und Raumsonden eingebaut werden sollen.

### 3. Europäische und deutsche Pläne

Welche Möglichkeiten ergeben sich nun für uns hier in Deutschland, wenn wir die Absicht haben, uns an der extraterrestrischen Forschung zu beteiligen? Eine notwendige Voraussetzung hierfür ist es ja, daß man entweder Ballone oder Raketen haben muß, um die Beobachtungsgeräte in entsprechende Höhen bringen zu lassen. Dazu benötigt man Startplätze und Tracking- und Telemetry-Stationen, um die Beobachtungsgeräte auf ihrer Bahn zu verfolgen und um die Beobachtungsdaten zur Erde zu bekommen. Für all dies und auch für die Entwicklung eines Satelliten

als ganzen mit all seinen Steuer- und Stromversorgungsgeräten sind die Kosten beträchtlich. Aber nicht nur wegen dieser finanziellen Probleme sowie wegen der im Vergleich zu den großen Gebieten Amerikas und der Sowjetunion ungünstigen geographischen Lage dürfte es auch für ein großes europäisches Land allein nicht möglich sein, ohne Hilfe ein völlig auf sich gestelltes größeres Programm in der Weltraumforschung durchzuführen. Deshalb ist man jetzt dabei, eine europäische Organisation für Weltraumforschung (ESRO) aufzubauen, wobei die europäische Organisation für Kernphysik (CERN) in Genf in gewisser Hinsicht als Vorbild dient. Europäische Organisationen sind ja auch den Astronomen durch die ESO nicht mehr unbekannt.

Die Vorbereitungen für die europäische Organisation sind inzwischen durch die Vorbereitende Kommission (COPERS) so weit gediehen, daß Mitte Juni 10 Staaten (Schweden, Dänemark, Holland, Belgien, Großbritannien, Frankreich, Schweiz, Italien, Spanien und West-Deutschland) die Konvention und ein Finanzprotokoll unterzeichnet haben (Österreich wird wohl in Kürze folgen, während in Norwegen anscheinend noch verschiedene Fragen geklärt werden müssen). Dieses Abkommen muß nun noch von den Parlamenten der Mitgliedsstaaten ratifiziert werden, und man hofft, daß die Verträge vielleicht im Frühjahr nächsten Jahres in Kraft treten können. Aber inzwischen sind schon eine ganze Reihe von Arbeiten durch die Vorbereitende Kommission angelaufen, und es werden schon die ersten personellen Besetzungen vorgenommen, damit keine unnötige Verzögerungen mehr eintreten. Z. B. ist Prof. AUGER (Frankreich) zum Generaldirektor bestimmt worden; er ist bisher Generalsekretär der Vorbereitenden Kommission. Der Präsident dieser Kommission ist Prof. SIR HARRY MASSEY (England), die beiden Vizepräsidenten sind Prof. L. BROGLIO (Italien) und Prof. H. L. VAN DE HULST (Holland). Diese Kommission (in der endgültigen Organisation das Council) setzt sich aus Regierungsvertretern zusammen, und ihre Arbeiten werden durch eine Arbeitsgruppe für wissenschaftliche und technische Fragen mit dem Vorsitzenden Prof. L. HULTHÉN (Schweden) und durch eine Arbeitsgruppe für administrative, rechtliche und Finanzfragen unter dem Vorsitz von Dr. HOCKER (Deutschland) unterstützt. Das ausführende Organ ist das Sekretariat in Paris, wo später auch der Sitz des Hauptquartiers von ESRO sein wird.

Welches ist nun der Zweck dieser geplanten Organisation? Ganz allgemein gesagt, soll ESRO die Zusammenarbeit zwischen europäischen Staaten auf dem Gebiet der Weltraumforschung und Technologie fördern und vorantreiben. Um dies zu ermöglichen, soll die Organisation technische Einrichtungen zur Entwicklung und zum Bau von Raketenköpfen für vertikale Raketen sowie von Satelliten und von Raumsonden haben. Weiterhin soll die Organisation die Vehikel zur Verfügung stellen sowie auch ihren Abschluß besorgen. Schließlich soll sie auch die notwendige Vorsorge für den Empfang der Meßergebnisse, ihre Reduktion und ihre Analyse treffen.

Der Umfang der Einrichtungen, die für die oben genannten Aufgaben benötigt werden, wird sich im wesentlichen nach der Art und der Größe des wissenschaftlichen Programms richten. Dieses ist aber ganz entscheidend in seinem Umfang durch die finanziellen Beiträge bestimmt, die die Mitgliedsstaaten zu geben bereit sind.

Nach langen Verhandlungen ist nun folgender Rahmen für das wissenschaftliche Programm festgelegt worden, innerhalb dessen die wissenschaftliche Arbeit in den ersten 8 Jahren durchgeführt werden kann. Es sollen jährlich 65 vertikale Raketen

abgeschossen werden, die Nutzlasten bis zu einigen 100 kg in Höhen von einigen hundert km bringen können. Hiermit sollen Untersuchungen der oberen Atmosphäre von geophysikalischen Problemen (insbesondere in der Nordlichtzone) sowie Beobachtungen von astrophysikalischem Interesse durchgeführt werden. Vom 4. Jahr an sollen dann jährlich 2 erfolgreiche Satelliten oder Raumsonden abgeschossen werden, die Nutzlasten von ungefähr 200 kg in erdnahe Umlaufbahnen tragen. Auch hierfür sind schon eine ganze Reihe von Vorschlägen für wissenschaftliche Untersuchungen aus dem Bereich der Geophysik und Astrophysik gemacht worden. Schließlich sollen vom 6. Jahr an jährlich 2 große Satelliten oder Raumsonden erfolgreich gestartet werden, die Nutzlasten von einigen Tonnen tragen können. Hier ist z. B. als erstes an einen astronomischen Satelliten mit einem Spiegelteleskop von 50—60 cm Öffnung gedacht.

Diese Europäische Organisation ist so gedacht, daß sie im wesentlichen eine Hilfsorganisation sein soll, die es den beteiligten Ländern ermöglichen soll, ihre verschiedenen wissenschaftlichen Vorhaben auf dem Gebiet der Weltraumforschung durchzuführen. Das bedeutet, daß insbesondere für die kleinen vertikalen Raketen und für die Satelliten und Raumproben die wissenschaftlichen Instrumente durch die Forschungsinstitute bzw. die Universitäten in den einzelnen Ländern entwickelt und gebaut werden. Man möchte vermeiden, daß die eigentliche wissenschaftliche Forschung überwiegend zentral innerhalb der geplanten europäischen Organisation durchgeführt wird, um zu verhindern, daß auf diese Weise die besten Leute aus den verschiedenen Ländern abgezogen werden. Ich sollte aber nicht verschweigen, daß es bisher noch Meinungsverschiedenheiten zwischen den beteiligten Ländern gibt, wie dezentralisiert die wissenschaftliche Forschung durchgeführt werden soll. Die europäische Organisation soll im wesentlichen die Aufgabe haben, die Satelliten als Ganzes zu entwickeln, zu testen und die wissenschaftlichen Instrumente einzubauen. Außerdem soll sie die benötigten Vehikel bereitstellen, abschießen, sowie die Verantwortung haben, die Satelliten zu verfolgen und die Meßdaten von ihnen herunter zu bekommen.

Zur Durchführung dieser Aufgaben werden aber in jedem Fall einige zentrale Institute bzw. Einrichtungen notwendig sein. Das größte wird das sog. European Space Technology Center (ESTEC) in Delft (Holland) sein, in dem die Satelliten gebaut sowie die gesamte technologische Entwicklung betrieben werden soll, die dafür nötig ist. Es wird in seiner personellen Größe fast mit der Einrichtung von CERN in Genf vergleichbar sein und etwa 250 Wissenschaftler und Ingenieure und alles in allem etwa 800—1000 Leute haben. Ebenso wird in Delft ein kleines wissenschaftliches Forschungsinstitut (ESLAB) aufgebaut werden, in dem auf Stipendienbasis Wissenschaftler für eine begrenzte Zeit an solchen Projekten arbeiten können, die sich nicht in ihren Ländern durchführen lassen oder bei denen z. B. die räumliche Nähe zu ESTEC mit seinen vielen Testeinrichtungen notwendig ist. Weiterhin wird ein Datenverarbeitungs-Zentrum (ESDAC) in Darmstadt errichtet werden, dem eine Reihe von Tracking-Stationen angeschlossen sind, die die Satelliten verfolgen und die Meßdaten aufnehmen sollen. Diese Tracking-Stationen sollen in das schon existierende Netzwerk von Stationen der Amerikaner und Russen eingebaut werden.

In Kiruna (Nordschweden) wird ein Startplatz für vertikale Raketen errichtet werden. Außerdem werden verschiedene nationale Startplätze für vertikale Raketen z. B. in Sardinien zur Verfügung stehen. Schließlich wird in Italien noch ein Laboratorium errichtet werden müssen, dessen Größe und Aufgaben noch nicht festliegen.

Unglücklicherweise ist aus politischen Gründen das Hauptquartier an einen von den anderen Instituten getrennten Ort, nämlich nach Paris verlegt worden.

Bisher habe ich noch nichts über die benötigten Raketen und die Startplätze für die Satelliten und Raumsonden gesagt. In den Anfangsjahren von ESRO wird man auf amerikanische Vehikel zurückgreifen. Der Abschub dieser Raketen wird entweder von Amerika oder von Australien erfolgen. Im späteren Stadium wird es dann vielleicht auch in Europa entwickelte und gebaute Großraketen geben, die von Australien abgeschossen werden sollen. Der Bau dieser Großraketen, die Fertigstellung der englischen Blue Streak, erfolgt ebenfalls durch eine europäische Organisation ELDO (European Launcher Development Organization), bei der die erste Stufe (Blue Streak) in England, die zweite Stufe in Frankreich und die dritte Stufe in Deutschland entwickelt und gebaut werden soll. Im Prinzip ist aber ESRO frei, sich die benötigten Raketen zu besorgen, wo immer es am günstigsten ist.

Von besonderem Interesse wird für Sie natürlich auch sein, wie Sie ein eigenes Experiment bei ESRO unterbringen, damit es in einer der vertikalen Raketen, Satelliten bzw. Raumsonden aufgenommen wird. Das Verfahren hierfür sieht so aus, daß die Vorschläge für bestimmte Experimente oder Apparaturen, die z. B. von einer Sternwarte entwickelt und gebaut werden sollen, über die zuständigen nationalen Organisationen, in unserem Fall das Bundesatomministerium, an das sog. Program Launching Committee weitergeleitet werden. Dieses Komitee setzt sich aus 3—4 von ESRO unabhängigen Wissenschaftlern und 2—3 Vertretern von ESRO zusammen. Dieses gibt die Vorschläge zunächst zur technisch-wissenschaftlichen Begutachtung an die für diese wissenschaftliche Disziplin entsprechende Untergruppe. Diese Untergruppen sind aus Wissenschaftlern zusammengesetzt, die nicht zu ESRO gehören; im astronomischen Bereich gibt es z. B. 3 Untergruppen: eine für stellare und solare Astronomie, eine für Planeten, Kometen und den Mond und eine für das interplanetare Medium. Auf Grund der Gutachten stellt dann das Program Committee das endgültige Programm zusammen und nimmt eine Verteilung auf die verschiedenen Raketen bzw. Satelliten und Raumproben vor.

Die Kosten für die ESRO werden Sie natürlich auch interessieren. Insgesamt sind für die ersten 8 Jahre vertraglich 1224 Mill. DM als obere Grenze vorgesehen. In den ersten 3 Jahren sind etwa 300 Mill. DM erforderlich, in den nächsten 3 Jahren etwa 500 Mill. DM und dann schließlich für jedes weitere Jahr 200 Mill. DM. Hier von müßte die Bundesrepublik etwa 20 % aufbringen, das wäre also schließlich, wenn das ESRO-Programm von 6 Jahren auf vollen Touren läuft, 40 Mill. DM pro Jahr.

In diese Beiträge sind aber nicht die reinen Kosten für die wissenschaftlichen Instrumente eingeschlossen, die in die vertikalen Raketen, Satelliten und Raumproben eingebaut werden und die an Universitäten bzw. Forschungsinstituten der einzelnen Mitgliedstaaten entwickelt werden müssen. Diese Kosten müssen von jedem Land selbst aufgebracht werden. Deshalb ist eine deutsche Beteiligung an der europäischen Organisation nur dann sinnvoll, wenn auch innerhalb Deutschlands Mittel mindestens in gleicher Höhe wie die Beiträge zu den europäischen Organisationen zur Verfügung stehen. In den Anfangsjahren müßten wegen der notwendigen Investitionen die innerdeutschen Mittel mindestens das Doppelte der entsprechenden Beiträge zu den europäischen Organisationen betragen.

Innerhalb West-Deutschlands ist jetzt das Atomministerium federführend. Der Atomminister hat gerade in den letzten Tagen die Kommission für Weltraumforschung ins Leben gerufen, und Prof. HECKMANN ist Mitglied dieser Kommission.

Ich werde darauf auch heute Abend noch einmal eingehen. Zum Schluß darf ich vielleicht sagen, daß ich keinen Grund sehe, weswegen die Astronomie Befürchtungen wegen der extraterrestrischen Forschung haben sollte, insbesondere daß ihr auf diesem Wege Mittel entzogen würden. Denn wenn wir von der astronomischen Seite mit guten Projekten uns wirklich ernsthaft beteiligen, wird das auch auf alle anderen Gebiete der Astronomie nur befruchtend und fördernd wirken. Ich glaube, auf lange Sicht gesehen werden sich die der allgemeinen Astronomie zufließenden Mittel durch eine wirklich echte Aktivität bei der Weltraumforschung nur erhöhen. Insbesondere wird dann die Astronomie eine noch verstärkte Anziehungskraft auf den Nachwuchs ausüben, und wir können hoffen, daß wir damit noch bessere Studenten an uns heranziehen werden.