# Astronomische Modelle

Autor(en): **Schürer, Max**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **28 (1970)**

Heft 117

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899847

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

ORION

Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

28. Jahrgang, Seiten 29–64, Nr. 117, April 1970 28e année, pages 29–64, No. 117, avril 1970

# Astronomische Modelle

von Prof. Dr. Max Schürer, Bern

Vortrag, gehalten am 5. Oktober 1969 an der Ausserordentlichen Generalversammlung der SAG in Luzern, überarbeitet und gekürzt nach einer Tonbandaufnahme.

Meine Damen und Herren,

Unser Tagungsort hat mich angeregt, über astronomische Modelle zu sprechen, gehört doch dazu auch das Planetarium. Der Begriff des Modells hat die verschiedensten Bedeutungen und umfasst so verschiedene Dinge wie zum Beispiel die Einfälle eines Pariser Couturiers und die Vorstellungen vom Universum. Das Modell als Muster und Vorbild spielt in der Astronomie kaum eine Rolle, ausser etwa wenn kosmische Gebilde zu künstlerischen Darstellungen in Wort und Bild anregen. Oft brauchen wir dagegen Modelle als Anschauungs- und Vorstellungshilfen. Ein gutes Beispiel ist gerade das Planetarium. Es gibt uns die Möglichkeit, einerseits die Zeit zu raffen und damit den Tages- und Jahreslauf der Gestirne in kurzer Zeit zu überblicken, und andererseits uns den Anblick des Himmels aus den verschiedensten Breitengraden vorzuführen. Bei aller Bewunderung für die technische Vollkommenheit des Zeiss'schen Planetariums möchte ich nicht unterlassen, auch auf Gefahren dieser Vorführungen hinzuweisen. Erkenntnisse, die ohne Anstrengung gewonnen werden, gehen meist ebenso leicht wieder verloren; und ich möchte behaupten, dass jemand, der den Auf- und Untergang der Sterne oder den langsamen Lauf des Mondes und der Sonne geduldig unter freiem Himmel verfolgt, mehr lernt und weniger leicht vergisst als der, der all diese Bewegungen in einem Planetarium in zwanzig Minuten vorgeführt erhält. Wohl wird aber ein Planetariumsbesuch den einen oder andern zu eigenen Beobachtungen anregen und damit zu unserer Wissenschaft führen. In einem Inserat wird behauptet, die Astronomen hätten erst mit dem Planetarium die Wiederkehr des Sterns von Bethlehem genau bestimmen können. Das stimmt natürlich nicht, denn das Planetarium kann grundsätzlich nichts beweisen, was nicht sein Konstrukteur auch rechnen könnte. Wertvoll bleibt es aber als Anschauungs- und Vorstellungsstütze. Der Aufwand ist allerdings gross, und manchmal genügen viel einfachere Hilfsmittel.

Ich möchte das am System von Neptun und Pluto erläutern, deren Umlaufszeiten sich wie 2:3 verhalten. Neptun umkreist in 165 Jahren einmal die Sonne und Pluto in 248 Jahren. Pluto kann auf seiner stark exzentrischen Bahn im Perihel der Sonne auf 29.7 Astronomische Einheiten nahe kommen, während die fast kreisförmige Neptunbahn einen Radius von 30 AE hat. Es scheint also, dass die beiden Bahnen sich kreuzen und dass die Planeten zusammenstossen könnten. (Wir vernachlässigen die grosse Neigung der Plutobahn.) Wenn die Konjunktion zwischen Pluto und Neptun um die Zeit des Apheldurchganges von Pluto stattfindet, so ist ein Zusammenstoss unmöglich. (Am besten konnte ich das mit einem einfachen Modell, gebaut mit Hilfe eines Kinderbaukastens, demonstrieren.) Geht der Pluto gegenüber dieser nichtkritischen Situation voraus, so erfährt er von Neptun eine Beschleunigung, welche eine grössere Bahnhalbachse und damit auch eine längere Umlaufszeit zur Folge hat, und Pluto nähert sich deshalb wieder der Gleichgewichtsanlage. Analoges gilt, wenn er in seiner Bahn etwas zurückbleibt. Eine Störungsrechnung über 120000 Jahre hat gezeigt, dass Pluto in etwa 20000 Jahren einmal um die am wenigsten kritische Lage hin- und herpendelt und ein Zusammenstoss mit Neptun verhindert wird, ja, die beiden können sich überhaupt nie näher als 18 Astronomische Einheiten kommen.

Eine dritte Art von Modellen dient dem Experiment. So versuchte man zum Beispiel, an kleinen, beleuchteten Kugeln verschiedener Oberflächenbeschaffenheit die systematischen Fehler der Messung von Planetendurchmessern experimentell zu studieren. (Anlass dazu bot die ursprüngliche Diskrepanz zwischen scheinbarem Durchmesser und Masse des Pluto.) Dass auch die Beweiskraft solcher Experimente mit Vorsicht bewertet werden muss, zeigt der Versuch von Plateau aus dem Jahre 1873. Plateau goss Öl in eine Mischung von Wasser und Alkohol vom selben spezifischen Gewicht. Infolge der Oberflächenspannung formte sich das Öl zu einer Kugel. Mittels eines eingetauchten Stabes mit Scheibe versetzte er diese Ölkugel in Rotation. Sie flachte sich ab, und am Äquator löste sich ein Ölring, der sich wiederum in lauter kleine Kugeln teilte. Die einzelnen Kügelchen rotierten im selben Sinn wie die Zentralkugel um ihre Achsen, und

das Ganze schien eine frappante Erklärung für die LAPLACEsche Theorie der Entstehung des Planetensystems zu liefern. Das Experiment ist aber keineswegs schlüssig, da die Kräfte im Planetensystem und beim Ölkugelexperiment ganz verschieden sind, und die Gesetze auch mathematisch keinerlei Analogie aufweisen. Zu diesem und zahlreichen andern Modellversuchen nimmt JOSEPH MEURERS in seinem anregenden Buch «Astronomische Experimente» ausführlich und kritisch Stellung.

Die wichtigsten astronomischen Modelle sind die vielen Hypothesen, die an der Wirklichkeit geprüft werden müssen. Betrachten wir zuerst die Sternmodelle. Im letzten Jahrhundert lagen noch nicht alle physikalischen Grundlagen für den theoretischen Aufbau eines Sterns bereit. Man musste Unbekanntes durch plausible Annahmen ersetzen. Gegeben sind zum Beispiel der Durchmesser und die Masse der Sonne, und bekannt sind die Gesetze der Hydrostatik und der Gravitation. Nehmen wir an, dass die Sonne bis ins Innerste gasförmig sei, so wirken auf ein Volumenelement einerseits die Anziehungskraft der gesamten übrigen Masse, die das Element nach innen zu treiben versucht, und andererseits der Gasdruck als Gegenkraft. Die beiden halten sich das Gleichgewicht. Der Gasdruck kann aus Dichte und Temperatur berechnet werden, die Anziehungskraft aus der Masse, die näher dem Schwerpunkt ist als das Volumenelement. Es lassen sich aber beliebig viele Dichte- und Temperaturverteilungen denken, für die Gleichgewicht besteht. Die richtigen kann man erst bestimmen, wenn man weiss, wo die Energie erzeugt und wie sie transportiert wird. Ursprünglich dachte man sich den Energiefluss als Konvektion (Wärmemitführung) und wurde damit auf die sogenannten polytropen Gaskugeln als Sternmodelle geführt. Später fand man, dass die Wärmestrahlung ebenso wirksam sein kann wie die Konvektion. Und schliesslich trug die Entdeckung der Energiequellen der Sterne (Atomkernenergie durch Fusion) das ihre dazu bei, dass die Sternmodelle sich immer mehr der Wirklichkeit näherten. Alle Energie der Sonne entsteht nahe dem Zentrum, und es muss überall ein bestimmter Temperaturgradient (Abnahme der Temperatur pro cm) herrschen, damit der Energiefluss ohne Stauung aufrecht erhalten werden kann.

Es gibt auch nicht-stationäre, pulsierende Sterne. Man kann die Perioden der Schwingungen relativ einfach berechnen und findet gute Übereinstimmung mit der Wirklichkeit. Trotzdem dauerte es recht lange, bis ein einigermassen brauchbares Modell für diese veränderlichen Sterne aufgestellt werden konnte. Die genannten Schwingungen sind nämlich stark gedämpft und müssten bald zum Stillstand kommen, wenn sie nicht auf irgendeine Weise dauernd angeregt würden. Ein erster Versuch, den Mechanismus als eine Art Dieselmotor aufzufassen, schlug fehl. Man hätte sich denken können, dass bei der Kontraktionsphase im Innern die Temperatur sehr stark ansteigt und damit auch die Energieproduktion, was dann wieder zu einer Expansion führen müsste. Da diese Prozesse sich aber nur im innersten Kern abspielen können und die Dämpfung der Schwingungen weiter aussen zu gross ist, muss das Dieselmotor-Modell fallen gelassen werden.

In den letzten Jahren ist ein anderes Modell erdacht worden, gegen welches keine schwerwiegenden Einwände erhoben werden können. Die einzelnen Schichten eines Sterns setzen dem Energietransport durch Strahlung einen gewissen Widerstand entgegen, den man die Opazität («Undurchlässigkeit») nennt. Sie hängt vom Ionisationszustand der Materie und damit von der Temperatur ab. Wenn eine Temperaturerhöhung eine Vergrösserung der Opazität zur Folge hat – im allgemeinen ist das Gegenteil der Fall –, dann kann ein ähnlicher Effekt wie beim Dieselmotor erreicht werden: die Energie wird bei der Kompression zurückgestaut und zum Aufschaukeln der Pulsationen verwendet.

An einem Symposium über die Struktur von Galaxien wurden im Sommer 1969 in Basel Modelle von Sternsystemen im Film vorgeführt. Man hatte die Bewegung von bis zu 100000 Sternen unter dem Einfluss all ihrer gegenseitigen Anziehungen durchgerechnet und dabei gehofft, die Spiralstruktur erklären zu können. Bis zu einem gewissen Grade gelang dies auch, doch zeigte sich wiederholt, dass in diesen Modellen die Streuung der Geschwindigkeiten der Einzelsterne bis zur Grössenordnung der systematischen Rotationsgeschwindigkeiten anwächst. Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass das Modell mit nur 100000 Sternen bei weitem nicht der wirklichen Milchstrasse mit 100 Milliarden Sternen entspricht.

Betrachten wir zum Schluss noch Modelle von der Welt als Ganzem. NICOLAUS VON CUES und GIORDANO BRUNO, die berühmten Vorkämpfer für unser heutiges Weltbild, dachten an einen unendlich ausgedehnten Raum, überall angefüllt mit Sternen. Gegen dieses Modell wurde ein wichtiger Einwand erhoben von JEAN-PHILIPPE LOYS DE CHESEAUX, einem Waadtländer, und später von OLBERS, einem Arzt aus Bremen. Wenn die Vorstellung von der Welt mit den unendlich vielen im unendlichen Raum ausgestreuten Sternen richtig wäre, dann müssten unsere Blicke in jeder Richtung immer irgendeinmal auf einen Stern stossen, und der ganze Himmel müsste glänzen wie die Sonnenscheibe. Das ist das OLBERSsche Paradoxon. Einen ähnlichen Widerspruch fänden wir in der Gravitation, da die Anziehungskraft wohl mit dem Quadrat der Entfernung abnähme, die Massen aber mit der dritten Potenz anstiegen. Das OLBERSsche Paradoxon könnte mit Hilfe von Lichtabsorption im interstellaren Raum umgangen werden, und das Gravitations-Paradoxon durch die spezielle Annahme einer mittleren Dichte, die gegen Null strebt, je grösser das betrachtete Volumen ist. Der Raum kann dabei euklidisch und unendlich sein. Vor etwa hundert Jahren haben die Mathematiker nichteuklidische Räume entdeckt, unter anderen solche, die bei endlichen Volumen paradoxerweise keine Grenzen haben. Das Volumen eines solchen Raumes

braucht nicht konstant zu bleiben; der Raum kann sich ausdehnen, und die darin mitschwimmenden Galaxien können sich voneinander entfernen, mit um so grösserer Geschwindigkeit, je weiter getrennt sie voneinander stehen. Und das ist, was wir tatsächlich beobachten. Welches der damit kurz umschriebenen Weltmodelle der Wirklichkeit am nächsten kommt, muss durch Beobachtungen geklärt werden, die ausserordentlich schwierig sind.

Es ist übrigens zu bemerken, dass das Aufstellen von Modellen im allgemeinen viel leichter ist als ihre Prüfung an der Wirklichkeit. Das müsste allen ins Stammbuch geschrieben werden, die «geniale» Ideen in die Diskussion zu werfen meinen, aber die Mühe der Verifikation den Wissenschaftlern überlassen wollen.

*Adresse des Verfassers:* Prof. Dr. Max Schürer, Direktor des Astronomischen Institutes der Universität Bern, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern.

# Modèles astronomiques

par le Professeur Max Schürer, Berne

Conférence donnée le 5 octobre 1969 devant l'Assemblée générale extraordinaire de la SAS à Lucerne, revue et résumée d'après une bande magnétique; traduction par Emile Antonini.

Mesdames et Messieurs,

C'est le lieu même de notre réunion qui m'a incité à vous parler des modèles astronomiques, dont le planétarium fait lui aussi partie.

Le terme de «modèle» a les significations les plus diverses, et comprend des objets aussi variés que les créations d'un grand couturier parisien et les représentations de l'Univers.

En tant qu'échantillon ou exemple, le modèle ne joue guère de rôle en astronomie, sauf lorsqu'il s'agit de descriptions ou de représentations artistiques d'objets cosmiques. Par contre, nous utilisons souvent des modèles pour nous aider à nous former une opinion, ou à nous représenter un phénomène.

Le planétarium en est précisément un bon exemple. Il nous permet d'une part de faire abstraction du temps et d'embrasser ainsi en un court instant la course journalière ou annuelle des astres, d'autre part de nous représenter l'aspect du ciel aux différentes latitudes.

Toutefois, en dépit de toutes les louanges sur la perfection technique du planétarium Zeiss, je ne voudrais pas manquer de mentionner aussi les dangers de ces sortes de représentations: les connaissances qui ont été acquises sans effort sont, pour la plupart, facilement oubliées. Et je prétends que celui qui observe patiemment sur le ciel lui-même les levers et les couchers des étoiles ou le lent mouvement de la Lune et du Soleil, apprend mieux et oublie moins que celui qui les voit en vingt minutes dans un planétarium.

Par contre, une séance de planétarium pourra engager parfois l'un ou l'autre des spectateurs à effectuer ses propres observations, ce qui le conduira vers notre science.

On prétendait un jour dans une annonce que des astronomes avaient pu, pour la première fois, grâce au planétarium, déterminer exactement le retour de l'étoile de Bethlehem. Il va de soi que c'est parfaitement inexact, car le planétarium ne peut rien démontrer qui n'ait pu être calculé d'abord par son constructeur.

Il n'en demeure pas moins fort utile comme moyen de représentation ou de contemplation de certains phénomènes. La dépense toutefois est importante, et souvent des moyens plus simples peuvent se révéler suffisants.

Je vais tenter de le démontrer par l'étude du système de Neptune et de Pluton, dont les temps de révolution sont dans le rapport 2:3. Neptune tourne autour du Soleil en 165 ans et Pluton en 248 ans. Sur son orbite fortement excentrique, Pluton peut s'approcher du Soleil jusqu'à 29.7 unités astronomiques, alors que l'orbite presque circulaire de Neptune a un rayon de 30 unité astronomiques. Il semble ainsi que les deux orbites se croisent et que les planètes pourraient entrer en collision (nous négligeons la forte inclinaison de l'orbite de Pluton). Lorsque la conjonction de Pluton et de Neptune se produit à l'époque de l'aphélie de Pluton, une rencontre est impossible. (J'ai pu le démontrer aisément au moyen d'un modèle simple monté à l'aide d'une boîte de constructions pour enfant.) Par contre, lorsque le phénomène a lieu après l'aphélie de Pluton, Pluton reçoit de Neptune une accélération qui a pour conséquence d'agrandir le demi-grand axe et d'allonger le temps de révolution, de sorte que Pluton se rapproche de nouveau de la situation d'équilibre. Il en est de même lorsque le mouvement de Pluton se ralentit quelque peu sur son orbite.

Un calcul des pertubations effectué sur une durée de 120000 ans a montré qu'en 20000 ans Pluton oscille autour de la position la moins critique, une fois d'un côté une fois de l'autre, et qu'une rencontre avec Neptune est impossible: les deux planètes ne peuvent en effet s'approcher l'une de l'autre à moins de 18 unités astronomiques.

Une troisième catégorie de modèle servira encore à ma démonstration: on a essayé par exemple d'étudier expérimentalement les erreurs systématiques de mesure des diamètres des planètes au moyen de petites sphères éclairées et d'albédos différents (le prétexte en était la contradiction fondamentale entre le diamètre apparent et la masse de Pluton). L'expérience de Plateau, en 1873, montre que la valeur démonstrative de tels essais doit être considérée avec circonspection.

PLATEAU versa de l'huile dans un mélange d'eau et d'alcool de même poids spécifique. En raison de la tension superficielle, l'huile se forma en une petite sphère. Au moyen d'une baguette, il mit cette dernière en rotation: elle s'aplatit, un anneau d'huile se détacha à l'équateur et se partagea en de nouvelles petites sphères. Ces dernières se mirent à tourner sur leurs axes dans le même sens que la sphère centrale, et le tout apparut comme une démonstration éclatante de la théorie de LAPLACE sur la formation d'un système planétaire.

Cette expérience n'est toutefois pas probante du tout, car les forces en action dans le système planétaire et lors de l'essai des sphères d'huile sont très différentes, et les lois qui les régissent ne présentent, mathématiquement non plus, aucune analogie.

JOSEPH MEURERS, dans son livre «Expériences astronomiques» discute en détail de ces diverses tentatives, et les critique.

Les modèles astronomiques les plus importants sont les hypothèses, qu'il faut ensuite confronter avec la réalité. Considérons d'abord les modèles d'étoiles. Au siècle dernier, les données physiques nécessaires à l'édification d'une théorie de la formation des étoiles n'étaient pas encore au point. On devait remplacer les inconnues par des suppositions plausibles. Par exemple, le diamètre et la masse du Soleil étaient donnés, et les lois de l'hydrostatique et de la gravitation étaient connues. En admettant que le Soleil est entièrement gazeux jusqu'en son centre, on peut dire que les forces qui agissent sur un élément de son volume sont, d'une part la force d'attraction de la masse totale restante, qui tente d'attirer cet élément vers l'intérieur, et d'autre part la poussée des gaz qui agit en sens contraire. L'équilibre est ainsi maintenu. La poussée du gaz peut être calculée d'après la densité et la température, et la force d'attraction d'après la masse qui se trouve plus près du centre de gravité que l'élément de volume envisagé.

Il peut cependant y avoir beaucoup de combinaisons de densité et de température qui permet d'obtenir l'équilibre. On ne peut déterminer celle qui est exacte que si l'on sait où l'énergie est produite et comment elle est transportée. On croyait au début que le flux énergétique était un courant de convection, et l'on fut ainsi conduit à considérer comme modèles d'étoiles les sphères gazeuses polytropes.

On trouva plus tard que le rayonnement pouvait être aussi efficace que la convection. Et finalement la découverte de la source d'énergie des étoiles (énergie du noyau de l'atome obtenue par fusion) permit d'établir un modèle stellaire toujours plus proche de la réalité.

Toute l'énergie du Soleil se trouve près de son centre, et il faut qu'il y règne un gradient de température bien déterminé (diminution de température par cm) pour que le flux d'énergie passe sans être refoulé.

Il y a aussi des étoiles qui ne sont pas stables, mais pulsantes. On peut calculer assez facilement la période de leurs oscillations, et l'on obtient un bon accord avec la réalité. Mais il a fallu attendre très longtemps jusqu'à ce qu'on ait réussi à établir un modèle valable pour ces étoiles variables.

En effet, si elles ne sont pas stimulées d'une façon ou d'une autre, ces variations diminuent progressivement pour, assez rapidement, se calmer tout à fait.

Une première tentative, qui assimilait leur mécanisme à celui d'un moteur Diesel, a fait faillite. On pouvait penser en effet que lors de la phase de contraction, la température à l'intérieur s'élève fortement, et par conséquent aussi la production d'énergie. Cela doit donc conduire à nouveau vers une expansion. Mais comme le processus ne peut se produire que dans le noyau intérieur, et que la diminution des variations à l'extérieur est trop importante, le modèle du moteur Diesel a dû être abandonné.

Ces dernières années, un autre modèle a été proposé, à l'encontre duquel aucune objection importante n'a pu être élevée. Les différentes couches d'une étoile opposent une certaine résistance au transport d'énergie par rayonnement; c'est ce qu'on nomme l'opacité, qui dépend de l'état d'ionisation de la matière, donc de la température. Si une élévation de la température a pour conséquence une augmentation de l'opacité – c'est en général le contraire qui se produit – alors un effet semblable à celui qui se produit dans le moteur Diesel peut survenir: par la compression, l'énergie est retenue et sert à maintenir la pulsation.

Lors d'un symposium sur la structure des Galaxies tenu en été 1969 à Bâle, des modèles de systèmes stellaires ont été présentés au moyen d'un film. On avait calculé les mouvements de 100000 étoiles sous l'influence de leurs attractions réciproques, et l'on espérait pouvoir expliquer ainsi la structure en spirale. On y réussit jusqu'à un certain point, mais dans ces modèles la dispersion des vitesses des étoiles individuelles croît jusqu'à atteindre l'ordre de grandeur des vitesses de rotation systématiques. Cela tient vraisemblablement à ce que le modèle de 100000 étoiles ne représente pas, et de loin, la voie lactée et ses 100 milliards d'étoiles.

Considérons pour terminer les modèles de l'Univers pris dans son entier. NICOLAUS VON CUES et GIORDANO BRUNO, les célèbres précurseurs de nos idées actuelles sur l'Univers, pensaient à un espace étendu à l'infini et entièrement peuplé d'étoiles. A l'encontre de ce modèle, le vaudois JEAN PHILIPPE LOYS DE CHESEAUX, et plus tard OLBERS, médecin à Brême, opposèrent une objection importante: si la représentation d'un Univers infini et rempli d'étoiles est exacte, nos regards, dans quelque direction qu'ils se dirigent, devraient rencontrer une étoile, et tout le ciel devrait être aussi lumineux que le disque solaire. C'est ce qu'on nomme la paradoxe d'OLBERS.

Nous trouvons une contradiction semblable dans le phénomène de la gravitation, car l'attraction décroît comme le carré de la distance, tandis que les masses croissent à la puissance 3.

Le paradoxe d'OLBERS peut être évité à l'aide de l'absorption de la lumière dans l'espace interstellaire, et celui de la gravitation en admettant une densité moyenne qui tend d'autant plus vers zéro que le volume considéré est plus grand.

L'espace peut ainsi être considéré comme euclidien et infini.

Il y a une centaine d'années, les mathématiciens ont découvert des espaces non-euclidiens, parmi lesquels ceux qui, bien que de volume fini, n'ont paradoxalement aucune limite. Il n'est pas nécessaire que le volume d'un tel espace demeure constant. L'espace peut se dilater, et les galaxies qui s'y trouvent peuvent s'éloigner les unes des autres avec une vitesse d'autant plus grande qu'elles sont plus distantes l'une de l'autre. C'est précisément ce que nous observons.

Lequel de ces modèles d'univers se rapproche le plus de la réalité, doit être éclairé par les observations, qui sont extrêmement difficiles.

Remarquons d'ailleurs qu'en général il est beaucoup plus aisé d'édifier un modèle que d'en fournir la preuve par la comparaison avec la réalité. Cela devait être dit pour ceux qui pensent verser dans la discussion des idées géniales, tout en laissant aux savants toute la peine de les vérifier.

*Adresse de l'auteur:* Prof. MAX SCHÜRER, Directeur de l'In titut astronomique de l'Université de Berne, Sidlerstrasse 5 3012 Berne.

# Marsaufnahmen von Mariner 6 und 7

von HELMUT MÜLLER, Zürich

Das Jahr 1969 war derart erfüllt von dem überwältigenden und wahrhaft historischen Geschehen, dass erstmals Bewohner der Erde ihren Fuss auf einen andern Himmelskörper im Weltraum, auf unseren Erdtrabanten, den Mond, gesetzt haben, dass man eine andere Leistung der Raumfahrt, die sowohl hinsichtlich ihrer Schwierigkeit als auch in Anbetracht ihrer Ergebnisse einzig nicht im Hinblick auf den persönlichen menschlichen Wagemut mit der Mondlandung durchaus vergleichbar war, viel weniger beachtet hat, als sie es verdiente und als man es sonst getan hätte. Am 24. Februar und am 27. März 1969 wurden die unbemannten Raumsonden Mariner 6 und 7 von Cape Kennedy aus auf ihre Reise zum Mars geschickt, und nach Zurücklegen einer Strecke, die rund 1000mal länger war als die Entfernung des Mondes von der Erde, – die Sonden mussten ja den Weg einschlagen, auf dem sie am wenigsten Treibstoff verbrauchten, wenn er auch länger ist als die kürzeste Distanz Erde–Mars –, kamen sie am 30. Juli bzw. am 4. August im geringen Abstand von etwa 3500 km, das ist nur wenig mehr als der halbe Erdradius, an unserm Nachbarplaneten vorbei. Zur Zeit dieses nahen Vorbeifluges vor allem machten sie Messungen und Aufnahmen, die dann über die Entfernungen von 100 Millionen Kilometer per Funk der Erde übermittelt wurden. All dies verlief mit einer derartigen Präzision genau nach dem vorgeschriebenen Plan, dass man diesem Erfolg der Raumfahrt gewiss die allerhöchste Bewunderung zollen muss. Vor zwei Jahrzehnten, als die Raumfahrt begann, haben manche vielleicht so etwas schon erträumt, aber kaum einer von ihnen hätte damals ernsthaft geglaubt, dass sein Wunschtraum so bald in Erfüllung gehen würde.

Die Raumsonden haben die uns schon ganz vertraute Gestalt *(Abb. 1)* mit den vier grossen Flügeln, auf denen neben Steuerdüsen an ihren Enden in der Hauptsache 17472 Sonnenzellen angebracht sind, welche die notwendige elektrische Energie für den ganzen Betrieb erzeugen. Nach oben ragt die nach allen Richtungen gleichmässig wirksame Radio-Antenne heraus und daneben erkennt man die paraboloidförmige Richtantenne. Der eigentliche Hauptkörper der Sonde hat den Querschnitt eines regelmässigen Achtecks, und in diesem Oktagon sind all die für die Bewegung und die Steuerung der Sonde, für den Empfang der Befehle und das Rückmelden, für das Richten und Inbetriebsetzen der Messinstrumente, für das Speichern und Übermitteln der Daten und für alle sonstigen Handlungen notwendigen Apparaturen in zweckmässiger Weise eingebaut. Unter diesem Hauptkörper sind auf einem Ansatzstück, das man drehen und richten kann, die eigentlichen Beobachtungsinstrumente montiert. Von diesen sind im Augenblick von besonderem Interesse die beiden Televisions-Kameras, die eine mit einer Weitwinkeloptik, die andere mit einem Tele-Objektiv von 10 Zoll Öffnung. Wichtig für ihre Anwendung ist ferner, dass sie auf Funkbefehl von der Erde aus im weiten Bereich von 215° gedreht und zudem in der dazu senkrechten Richtung um einen Winkel von maximal 64° geschwenkt werden können. Als weitere Instrumente wären noch ein Ultraviolett- und ein Infrarot-Spektrometer für die Untersuchung der Zusammensetzung der Marsatmo-

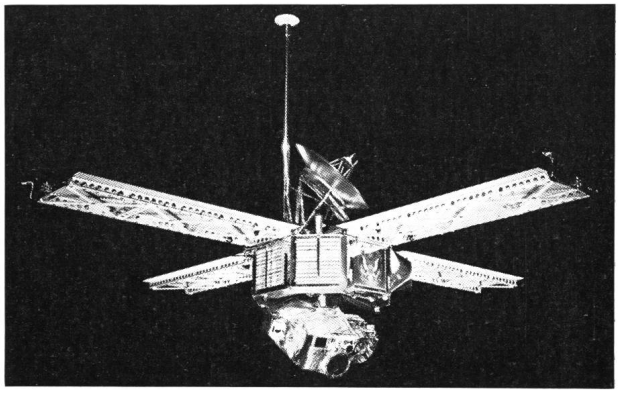

*Abb. 1:* Die Mariner-Raumsonde.