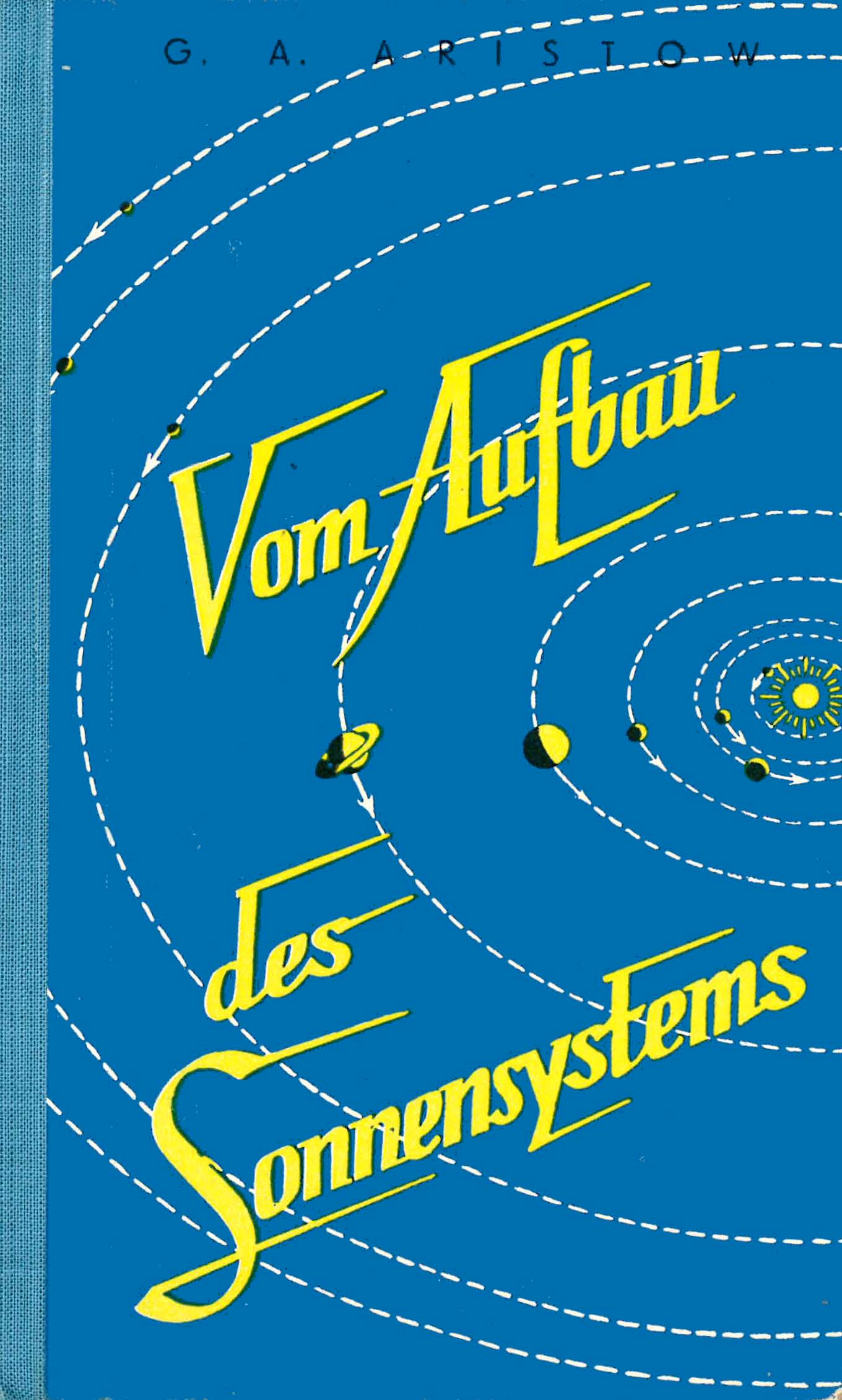


G. A. A R I S T O W

Vom Aufbau des Sonnensystems





G. A. ARISTOW
VOM AUFBAU DES SONNENSYSYEMS

JUGENDBUCHREIHE „ERLEBTE WELT“ Band 34

G. A. A R I S T O W

*Vom Aufbau
des Sonnensystems*

Aus dem Russischen übertragen
von Edgar Scheitz

*Mit 4 Tafeln und Federzeichnungen
von Lieselotte Finke-Poser*

JUGENDBUCHVERLAG ERNST WUNDERLICH

Der Titel der russischen Originalausgabe lautet:

Строение Солнечной Системы

Lizenz Nummer 359-425/5/54

Lizenzausgabe des Verlages

Издательство Академии Наук СССР, Москва

1.—10. Tausend

Alle Rechte vorbehalten

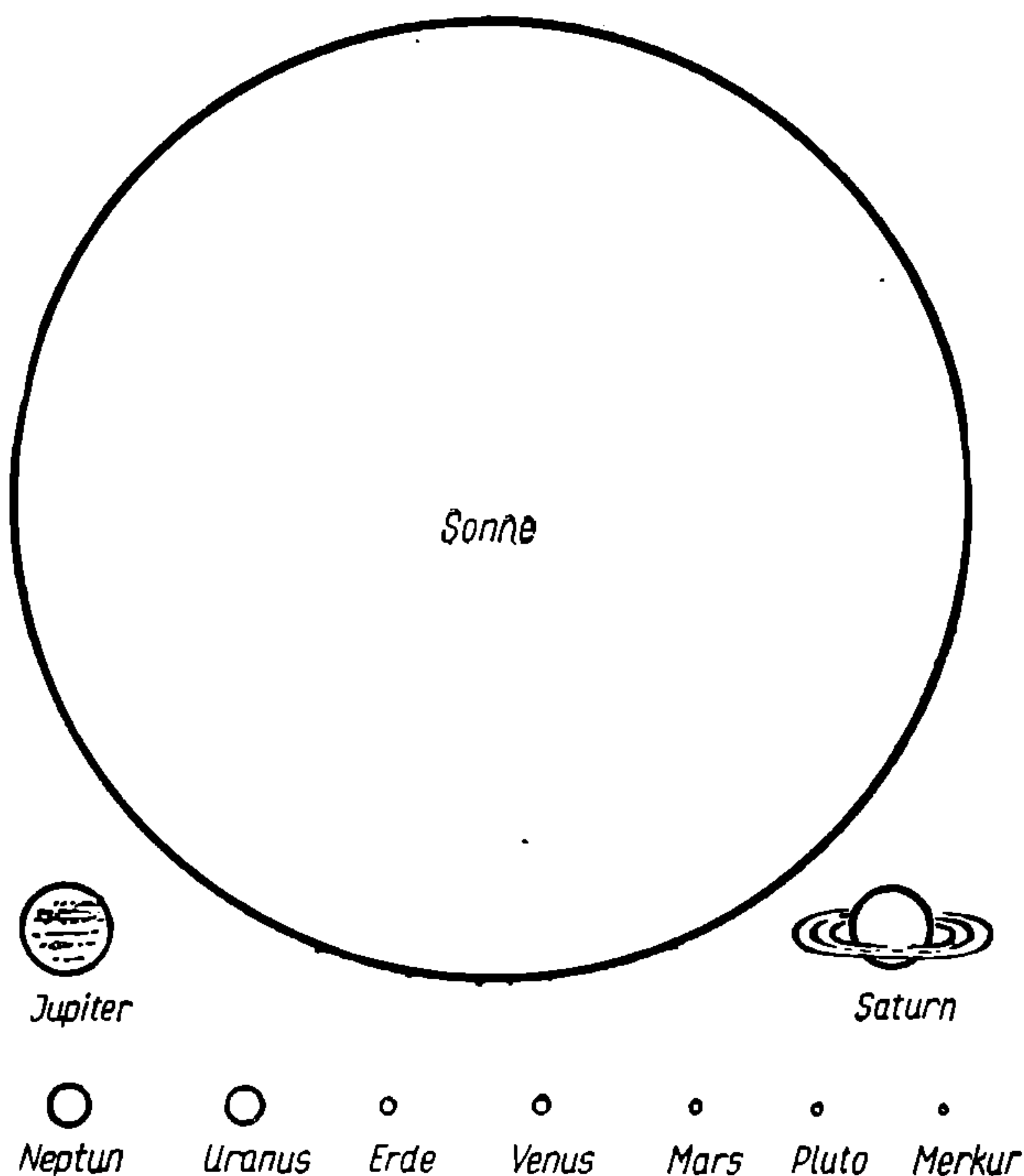
Satz und Druck in Borgis Exzelsior

bei dem VEB Graphische Werkstätten Leipzig. III 18/97

I N H A L T

Merkur, der sonnennächste Planet	8
Venus	11
Die Erde, ein gewöhnlicher Planet	17
Der Mars und seine Bewohnbarkeit	53
Jupiter, ein Riesenplanet	72
Saturn und seine Ringe	79
Uranus und die Besonderheiten seiner Bahn	84
Der Neptun und seine Entdeckung	87
Pluto, der sonnenfernste Planet	91
Die Asteroiden	94
Kometen, Meteore und Meteoriten	102
Das Zodiakallicht	119
Die Sonne und ihre Energie	121
Das Sonnensystem im Weltraum	135
Das Sonnensystem in Zahlen	142

Wie uns heute bekannt ist, stellen alle Planeten wie die Erde große, dunkle, kugelförmige Körper dar. Einige sind größer als die Erde, andere kleiner; einige sind von einer Lufthülle umgeben, andere weisen keine Atmosphäre auf. Die meisten haben Be-



Vergleich der Sonne und der Planeten nach ihrer Größe

gleiter, also kleine Planeten, die um sie kreisen. Der Begleiter der Erde ist der uns allen bekannte Mond. Der größte Planet, Jupiter, hat eine ganze Familie von Begleitern, die aus elf kleinen Monden von verschiedener Größe besteht. Die großen Planeten erscheinen uns als helleuchtende Sterne, doch ist ihr Licht nur der Widerschein unserer Tagesleuchte, der Sonne.

Wir wollen eine kurze Beschreibung der neun uns bekannten großen Planeten geben, von den Größenverhältnissen und Besonderheiten der Planeten und der Asteroiden berichten, erzählen, was Kometen, Meteore, Meteoriten und das Tierkreislicht darstellen und das Wichtigste von der Sonne und der Stellung des Sonnensystems im Weltenraum erfahren.

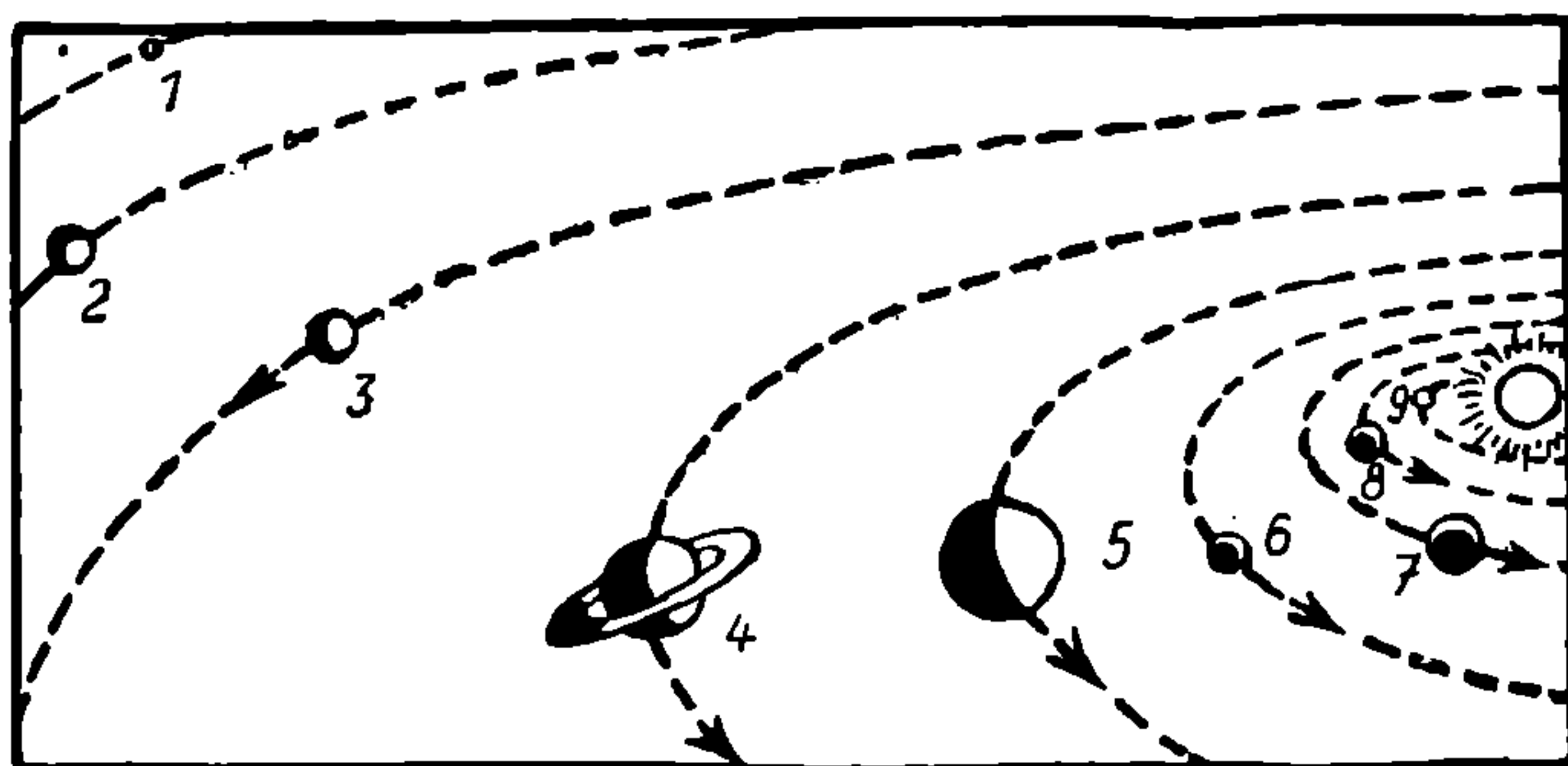
MERKUR DER SONNENNÄCHSTE PLANET

Von den uns bekannten großen Planeten des Sonnensystems befindet sich der Planet Merkur der Sonne am nächsten. Sein mittlerer Abstand von der Sonne beträgt nur 58 Millionen Kilometer oder 0,4 astronomische Einheiten (AE).

Merkur bewegt sich auf seiner Bahn mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 49 Kilometern in der Sekunde und vollbringt einen vollen Umlauf um die Sonne in 88 Tagen. In etwa der gleichen Zeit dreht er sich einmal um seine Achse¹⁾. Hieraus folgt, daß Merkur dem zentralen Himmelskörper, der Sonne, dauernd die gleiche Seite zuwen-

¹⁾ Die Periode der Achsenrotation ist beim Merkur bisher noch nicht genau festgestellt worden.

det. Für eine Halbkugel dieses Planeten geht die Sonne niemals unter, für die andere geht sie niemals auf. Die zur Sonne gerichtete Seite ist ununterbrochen der gnadenlos aufprallenden Sonnenglut ausgesetzt, dort herrscht dauernd eine außerordentliche Hitze von etwa 400 Grad; auf der anderen Seite herrschen Dunkel und Kälte, hier liegt die Temperatur bei minus 250 Grad.



Schema der Planetenbewegung um die Sonne

- | | | |
|----------|-----------|----------|
| 1 Pluto | 4 Saturn | 7 Erde |
| 2 Neptun | 5 Jupiter | 8 Venus |
| 3 Uranus | 6 Mars | 9 Merkur |

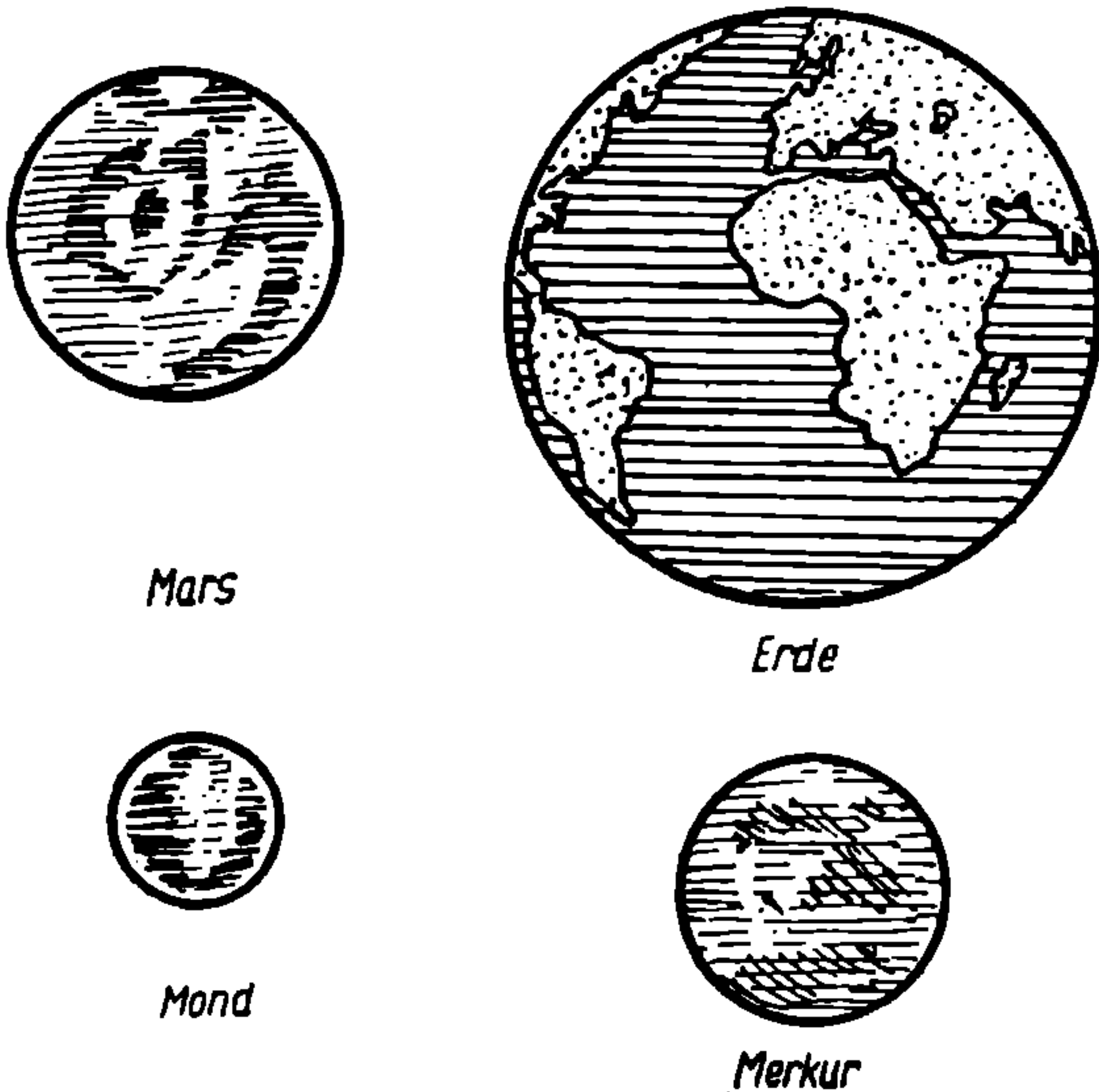
Eine Atmosphäre hat der Planet Merkur praktisch überhaupt nicht. Deshalb fehlen die meteorologischen Erscheinungen, wie Wind, Sturm, Donner, Blitz. Auch Schnee oder Regen, Hagel oder Reif kann es niemals geben. Der Planet hat keinen Wasserkreislauf. Ebenso herrscht ewige Stille.

Vom Merkur aus gesehen, erscheint der Himmel immer pechschwarz, völlig anders als über unsrer Erde. Und an diesem schwarzen Himmel glüht für eine Halbkugel des Merkur ewig die heiße Sonne. Man nimmt an, daß die Oberfläche des Planeten scharf aus-

geprägte Gebirge aufweist, weil er schon früh seine Lufthülle und sein Wasser verloren hat, so daß diese keine verwitternd ausgleichende Wirkung auf die Geländeformen ausüben konnten und wie auf unserm Mond hohe Berge erhalten geblieben sind. Der Rauminhalt des Merkur ist nur etwas größer als der des Mondes; sein Durchmesser mißt das Anderthalbfache des Monddurchmessers.

Die volle Scheibe des Merkur kann der Beobachter auf der Erde nur zu bestimmten Zeiten sehen, nämlich während der Sonnenfinsternisse und während des Merkurdurchgangs vor der Sonne. Bei diesen Gelegenheiten läßt sich durch ein Fernrohr vor der Sonnenscheibe eine kleine schwarze Kreisfläche beobachten.

Im allgemeinen aber sehen wir den Merkur immer



Vergleich der Größe von Erde, Mars, Merkur und Mond

nur in seinen Phasen, abends nach Sonnenuntergang im Westen oder morgens kurz vor Sonnenaufgang im Osten. Zu anderen Tageszeiten ist er infolge seiner Sonnennähe nicht sichtbar, da er in den Sonnenstrahlen „untertaucht“.

VENUS

Der nächste Planet von der Sonne her ist die Venus. Sie hat einen mittleren Sonnenabstand von 109 Millionen Kilometern oder 0,7 astronomischen Einheiten. Nach ihrem Volumen und ihrer Schwerkraft unterscheidet sie sich wenig oder fast überhaupt nicht von der Erde. Man bezeichnet sie nicht selten als Doppelgänger oder Zwillingschwester des von uns bewohnten Planeten. Die Umlaufzeit der Venus um die Sonne ist 255 Tage. Wie lange eine Drehung um die eigene Achse dauert, konnte bisher nicht festgestellt werden. Auf ihrer Bahn um die Sonne bewegt sich die Venus mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 35 Kilometern in der Sekunde.

Wir alle haben die Venus schon als Morgen- oder Abendstern gesehen. Sie ist für uns der hellste Stern. Ihre Leuchtkraft entspricht der minus vierten Sterngröße¹⁾; manchmal kann man sie sogar am Tage mit unbewaffnetem Auge sehen.

¹⁾ Nach ihrer scheinbaren, das heißt für uns sichtbaren Helligkeit werden Sterne und andere kosmische Körper in Sterngrößen eingeteilt. Zu den Dimensionen der Sterne überhaupt steht der Begriff Sterngröße oder Größenklasse in keiner Beziehung. Er wurde vor mehr als zweitausend Jahren in der Wissenschaft eingeführt. Die hellsten am Himmel sichtbaren Sterne gehören zur ersten Größenklasse. Sterne zweiter Größe sind um das 2,5fache schwächer als Sterne der ersten

Die Venus ist von allen Planeten der Erde am nächsten; manchmal kommt sie auf 40 Millionen Kilometer an die Erde heran, dann erscheint sie uns besonders groß. Ist sie weiter von der Erde entfernt, sieht sie entsprechend kleiner aus.

Wie Merkur weist auch Venus einen Phasenwechsel auf. Das hat zum ersten Male Galilei im Jahre 1610 festgestellt. Es beweist, daß Venus nicht um den von uns bewohnten Planeten kreist, wie es nach dem Ptolemäischen Weltsystem sein müßte, sondern sich um die Sonne bewegt, wie es Kopernikus gelehrt hat.

Die Atmosphäre der Venus

Obgleich die Venus der uns nächste Planet ist, wissen wir nur sehr wenig von ihr. Der Grund ist, daß auch mit Hilfe der größten modernen Teleskope ihre Oberfläche für Beobachter nicht sichtbar wird. Die Venus besitzt eine mächtige Lufthülle, in der immer weiße Wolken unbekannter Herkunft schwimmen, die die Oberfläche des Planeten verdecken. Über eine Atmosphäre auf der Venus schrieb M. W. Lomonossow, der ihren Durchgang vor der Sonne schon im Jahre 1761 beobachtet hatte: „Der Planet Venus ist von

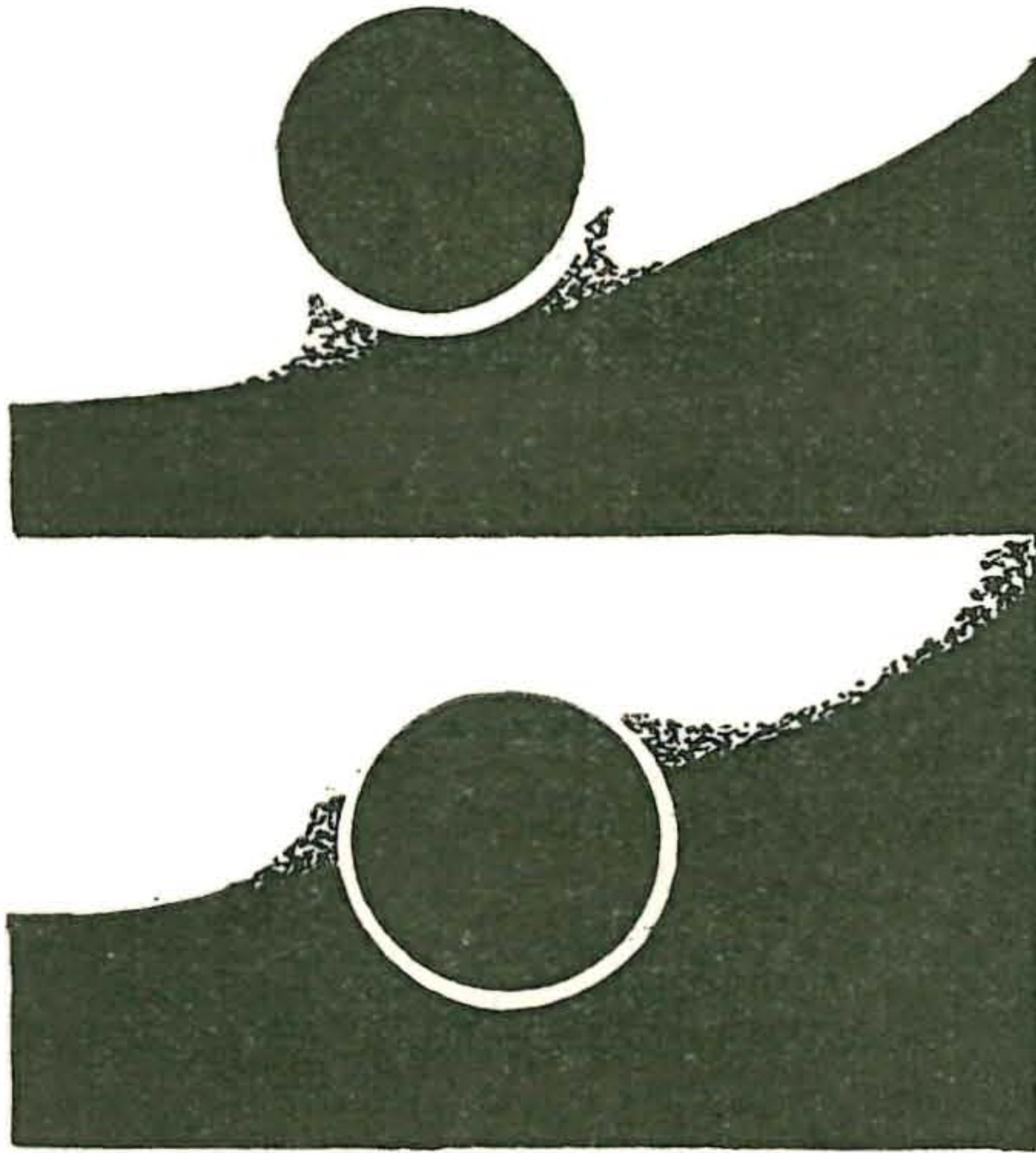
Größenklasse, Sterne dritter Größe um daß 2,5fache schwächer als Sterne zweiter Größe usw.

In klaren Nächten sehen wir mit unbewaffnetem Auge Sterne bis zur sechsten, mit einem Feldstecher bis zur achten und in starken astronomischen Fernrohren bis zur sechzehnten Größenklasse. Photographische Aufnahmen mit Hilfe großer Fernrohre zeigen auf der Platte Sterne bis zur einundzwanzigsten Größenklasse.

Planeten mit erheblich größerer Helligkeit als die Fixsterne werden in Größenklassen mit negativem Vorzeichen angegeben. Die Helligkeit zum Beispiel der minus ersten Sterngröße ist um das 2,5fache größer als die Helligkeit von Sternen der Größenklasse Null usw.

einer mächtigen Lufthülle umgeben, einer gleichen, vielleicht sogar stärkeren, wie sie auch unsere Erdkugel umgibt.“

Auf eine Atmosphäre kann bei Beobachtung dieses Planeten geschlossen werden, wenn er sich fast in gerader Linie zwischen Sonne und Erde befindet.



Durchgang der Venus vor der Sonnenscheibe. Der helle Saum um den schwarzen Planetenrand, der schon von Lomonossow im Jahre 1761 entdeckt wurde, ergibt sich durch die Brechung der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre der Venus

Dann zeigt uns das Fernrohr eine schmale Sichel, die mehr als die Hälfte der Planetenscheibe umgibt, oder sogar einen dünnen, glänzenden Ring, der die Scheibe umfaßt. Dieser Ring ist nichts anderes als die obere, von der Sonne beleuchtete Schicht der Venusatmosphäre. Etwas Ähnliches finden wir weder beim Mond noch beim Merkur, da diese Himmelskörper praktisch keine Lufthülle aufweisen.

Infolge der dichten Wolkendecke können die Astronomen auch mit Hilfe der stärksten Fernrohre die tieferen Schichten der Lufthülle nicht beobachten. Doch läßt sich aus der Untersuchung der oberen Schichten so viel ersehen, daß darin große Mengen gasförmiger Kohlensäure enthalten sind. Auf der Venus ist es sehr warm, sogar heiß. Die mittlere Temperatur auf der Oberfläche dieses Planeten beträgt etwa 30 Grad Celsius.

Da auf der Erde eine der wichtigsten Quellen der Kohlensäure die Vulkane darstellen, vertreten einige Wissenschaftler die Ansicht, daß die Venus, in deren Lufthülle so große Mengen an Kohlensäure festgestellt worden sind, gegenwärtig eine Periode stürmischer vulkanischer Tätigkeit durchmache.

Vor etwa dreißig Jahren nahmen Gelehrte an, die Venusatmosphäre sei mit Wasserdämpfen gesättigt (irrtümlich, wie man jetzt durch spektroskopische und radiometrische Untersuchungen festgestellt hat) und der Planet weise wie die Erde eine reiche Pflanzenwelt auf. Wir wollen sehen, ob sich diese Ansicht auch mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen der Gegenwart verträgt.

Wir wissen, daß die Pflanzen den Überschuß der ununterbrochen und in riesigen Mengen in die Erdatmosphäre gelangenden Kohlensäure aufnehmen und in Sauerstoff und Kohlenstoff zerlegen. Dadurch wird der Kohlensäuregehalt in der Atmosphäre unserer Erde ständig auf etwa 0,2 Prozent gehalten, und im Laufe vieler Jahrmillionen ihrer Tätigkeit haben die Pflanzen den Kohlenstoff aufgespeichert. Allein an Steinkohle betragen die Vorräte auf der Erde nach ungefähren Schätzungen 10^{13} Tonnen; außer-

dem ist der gleiche Kohlenstoff in riesigen Mengen im Torf, Erdöl usw. enthalten. Die unermesslichen Kohlensäuremengen in der Atmosphäre der Venus dagegen kann man als Beweis dafür ansprechen, daß es auf der Venus keine Pflanzendecke gibt, da die Pflanzen den während vieler Hunderte von Jahrmillionen angesammelten riesigen Überschuß an Kohlensäure in der Atmosphäre dieses Planeten aufgenommen und in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt haben würden. Die Pflanzen speichern durch Aufnahme und Zerlegung der Kohlensäure nicht nur Kohlenstoff an, sondern machen in riesigen Mengen Sauerstoff frei. Sein Vorhandensein in unserer Atmosphäre ist das Ergebnis der Lebenstätigkeit der Pflanzen. Wenn die Venus eine Pflanzenwelt hätte, könnte die Kohlensäure nicht in so großer Menge vorhanden sein; der Sauerstoff müßte überwiegen, der für hochentwickelte organische Lebensformen unbedingt erforderlich ist. Eingehende spektroskopische Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß auf der Venus keine merklichen Anzeichen für das Vorhandensein von Wasser und ähnlichen Stoffen festzustellen sind. Die Menge an Sauerstoff, die möglicherweise doch vorhanden ist, beträgt weniger als ein Hundertstel der Sauerstoffmenge in der Atmosphäre unserer Erde.

In bezug auf Wasserdämpfe in der Atmosphäre des Planeten muß auf die Tatsache hingewiesen werden, daß die oben erwähnten Ergebnisse der Spektralanalyse sich nur auf die oberen, das Licht zurückstrahlenden Schichten der Atmosphäre beziehen und deshalb nicht als endgültige Entscheidung über das Auftreten von Wasserdämpfen angesehen werden dürfen und daß man daraus noch nicht folgern kann, auf diesem Planeten gäbe es Wasser.

Ist die Venus bewohnbar?

Von der Venus können wir noch nicht bestimmt sagen, ob sie bewohnbar ist. Wir können diesen Planeten nicht zu den Trägern des Lebens zählen, haben aber andererseits auch keine ausreichenden Unterlagen, um zu behaupten, das Leben auf der Venus fehle überhaupt.

Über die Möglichkeiten eines organischen Lebens auf der Venus gibt es keine einheitliche Meinung. Der Planet bleibt darin noch ein Rätsel, obgleich die mächtige Luftschicht scheinbar erlaubt, ihn für bewohnbar zu halten, wie schon der große Gelehrte M. W. Lomonossow und später Svante Arrhenius annahmen. Einige der heutigen Astrophysiker aber, zum Beispiel Akademiemitglied W. G. Fessenkow, sind überzeugt, daß die Venus kein organisches Leben aufweisen könne.

Im Gegensatz dazu hat Akademiemitglied B. A. Keller in einem Artikel der „Komsomolskaja Prawda“ vom 13. 4. 1946 den Gedanken ausgesprochen, daß die Venus gegenwärtig ein riesiges, natürliches chemisches Laboratorium darstelle, in dem die erforderlichen Anfangsstufen vor der Bildung des Lebens ablaufen. Er führte aus, daß auf der Venus gegenwärtig möglicherweise ähnliche Bedingungen vorliegen, wie sie irgendwann vor sehr langer Zeit auf der Erde anzutreffen waren, als die ersten Anzeichen der Entstehung organischer Materie, der Entstehung der ersten, einfachsten Lebewesen, sichtbar wurden.

Wenn wir bedenken, daß es auf der Venus sehr heiß ist und in ihrer Atmosphäre kein Sauerstoff nachgewiesen wurde, haben wir keinen Grund, anzunehmen,

daß hier Leben zu finden sein müßte; anderseits haben wir keine ausreichenden Unterlagen über die tatsächlichen Verhältnisse. Die Venus ist in der Frage der Bewohnbarkeit und der Bedingungen für organisches Leben noch immer ein ungelöstes Rätsel.

DIE ERDE EIN GEWÖHNLICHER PLANET

Der von uns bewohnte Planet steht nach seiner Entfernung von der Sonne an dritter Stelle. Natürlich ist er für uns wichtiger als jeder andere Planet, natürlich sind die Kenntnisse von ihm unvergleichlich reichhaltiger als von den übrigen Planeten. Deshalb wollen wir bei ihm besonders ausführlich verweilen.

Die Erde ist ein verhältnismäßig großer kosmischer Körper; der Poldurchmesser der Erdkugel beträgt 12714 Kilometer und der Durchmesser durch den Äquator 12757 Kilometer. Die Erde hat ein Volumen von einer Trillion dreiundachtzig Milliarden Kubikkilometern. Ihre Oberfläche beträgt etwa 510 Millionen Quadratkilometer. Die mittlere Dichte der Erde ist das 5,5fache der Wasserdichte, ihr Gewicht beträgt etwa sechs Milliarden Trillionen Tonnen.

Die Erde dreht sich um eine gedachte Achse. Den Zeitraum, in dem sie eine volle Umdrehung vollbringt, bezeichnet man als einen Tag. Er umfaßt 24 Stunden oder genauer 23 Stunden 56 Minuten 4 Sekunden, wird als Grundmaß der Zeit genommen und als konstante, unveränderliche Größe angesehen. Infolge der täglichen Drehung der Erde werden im Wechsel von Tag und Nacht alle Teile ihrer Oberfläche von der Sonne bestrahlt.

Die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne beträgt etwa 150 Millionen Kilometer¹⁾). Zusammen mit den anderen Planeten kreist die Erde um die Sonne.

Die Drehung der Erde um ihre Achse kann mit Hilfe eines Pendels nachgewiesen werden, da ein Pendel seine Bewegungsrichtung unverändert beibehält. Stellen wir uns ein Pendel vor, das aus einer schweren Kugel mit einer Spitze auf der Unterseite besteht; diese Kugel ist an einem langen, dünnen Draht aufgehängt. Wir bringen dies Pendel aus seiner Gleichgewichtslage und lassen es dann los. Dann beginnt die Kugel ihre Pendelbewegung, die immer die gleiche Schwingungsebene beibehält.

Wenn wir unter dem Pendel einen kleinen Sandhügel aufschütten, könnten wir annehmen, daß die Spitze des Pendels einen Strich in den Sand eingrube und sich immer wieder in gleicher Richtung durch diese Rille bewegte. Mit der Erddrehung aber dreht sich das Gebäude, in dem das Pendel aufgehängt ist, und zugleich die Sandfläche unter dem Pendel, und das Pendel, das sich weiterhin in der ursprünglichen Ebene bewegt, hinterläßt mit seiner Spitze bei jeder Pendelbewegung eine neue Spur im Sande.

Bei der Beobachtung des Versuches können sich Zuschauer leicht davon überzeugen, daß sich die Erde tatsächlich um ihre Achse dreht. Nach einer bestimmten Zeit hat die unter dem Pendel befindliche Sandfläche zusammen mit der Erdkugel eine um einen gewissen Winkel verschobene Stellung zur Schwingungsebene des Pendels, da diese, wie wir

¹⁾ Diese Größe wird als Astronomische Einheit (AE) bezeichnet und als Grundmaß für die Entfernungen im Bereich des Planetensystems benutzt (d. Übers.).

/

schon erwähnt haben, ihre Richtung im Raum unverändert beibehält.

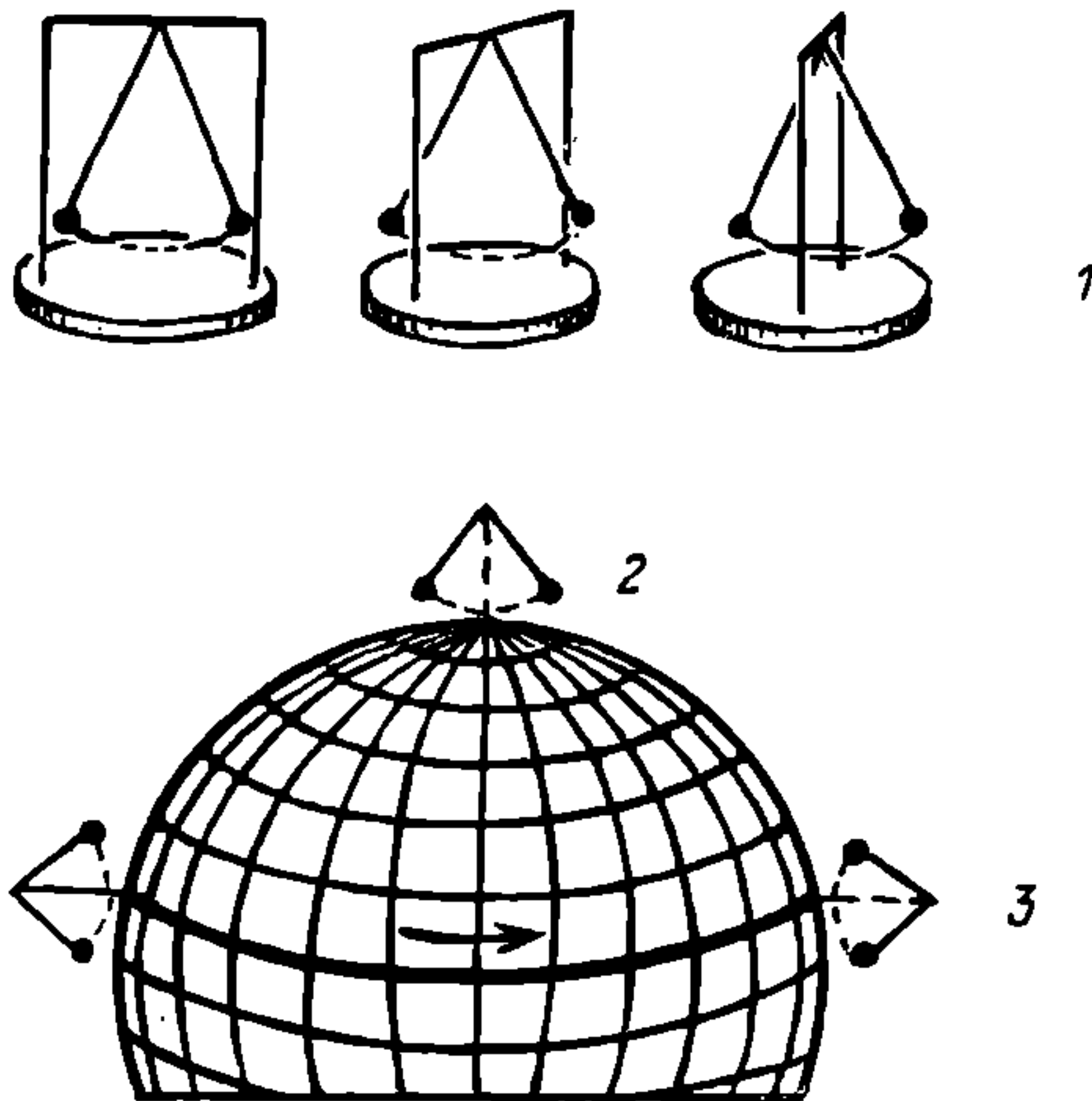
Der Drehungswinkel der Erde ist in Beziehung auf die Schwingungsebene des Pendels je nach der geographischen Breite des Ortes, an dem der Versuch durchgeführt wird, verschieden. An den Polen ist er für jede Stunde 15 Grad, am Äquator gleich Null und an anderen Orten abhängig von der geographischen Breite der Orte. In der Sowjetunion zum Beispiel beträgt dieser Winkel je nach der geographischen Breite 9 bis 14 Grad.

Die Erde bewegt sich auf ihrer Bahn um die Sonne mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 30 Kilometern in der Sekunde und legt einen vollen Umlauf um die Sonne in $365\frac{1}{4}$ Tagen zurück. In vier Jahren kommt also ein ganzer Tag hinzu. Deshalb ist jedes vierte Jahr ein Schaltjahr mit 366 Tagen. Während dieses jährlichen Umlaufs behält die Erdachse die gleiche Richtung bei und bildet mit der Bahnebene einen Winkel von $66^{\circ}33'$. Der jährliche Weg unseres Planeten erreicht eine Länge von etwa 900 Millionen Kilometern.

Trotz der erheblichen Geschwindigkeit der Erdbewegung scheint es, wie wenn die Erde stillstehe und die Sonne sich um die Erde bewege. Man darf sich deshalb nicht darüber wundern, daß gegen die heliozentrische Lehre des Kopernikus viele Einwände vorgebracht wurden. Sehr ernsthaft zu behandeln war zum Beispiel der folgende Einwand: Wenn die Erde in jedem Jahr einmal um die Sonne läuft, so kommt sie nach einem halben Jahre auf den Teil der Bahn, der sich von der Sonne aus in entgegengesetzter Richtung befindet, und die Anordnung der Sterne müßte sich perspektivisch verschieben. Die

Fixsterne könnten uns nicht als unbeweglich erscheinen, denn die Erde bewegt sich in einem Kreis von etwa 300 Millionen Kilometern Durchmesser um die Sonne.

Die Versuche Kopernikus', eine daraus folgende scheinbare Verschiebung der Sterne festzustellen,

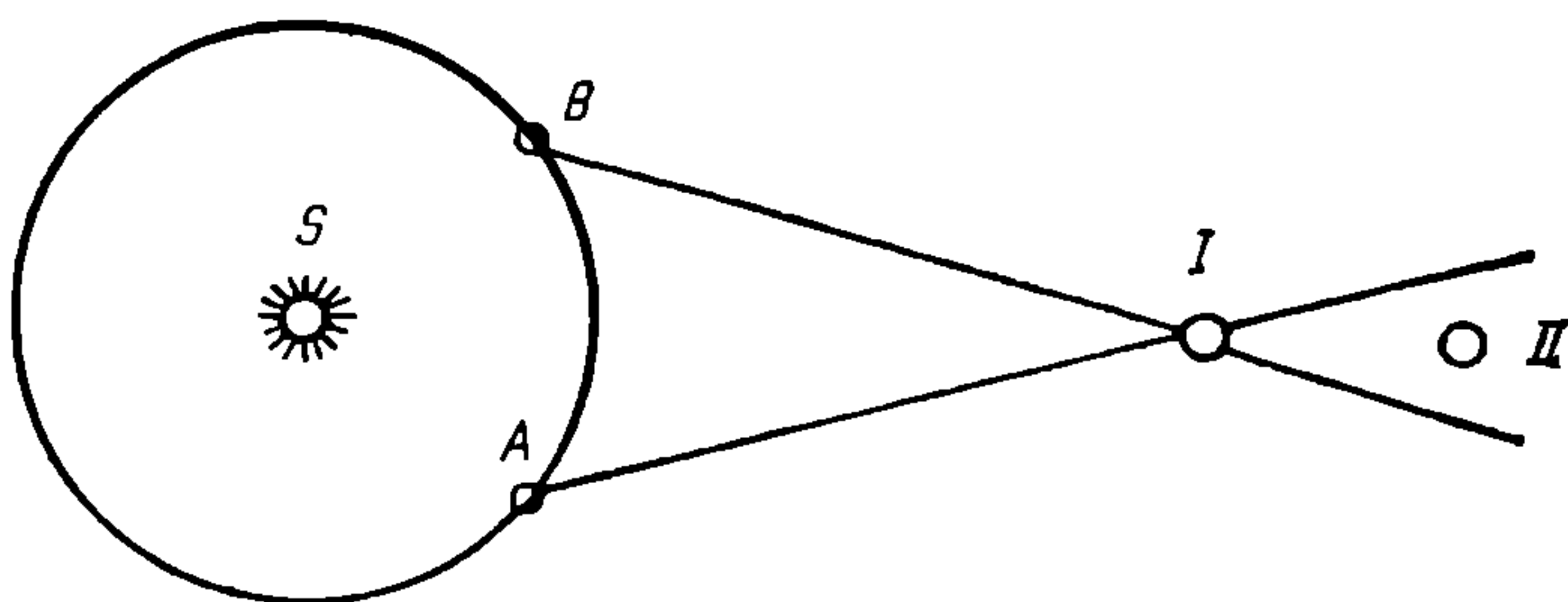


Anschaulicher Nachweis für die Drehung der Erde um ihre Achse
mit Hilfe des Pendels

- 1 Die Richtung der Pendelschwingungen ändert sich bei Drehung des Untersatzes nicht
- 2 Am Pol scheint die Schwingungsebene eines Pendels in einem Tage von 24 Stunden eine Umdrehung zu vollführen
- 3 Am Äquator wird keine Änderung bemerkbar

hatten keinen Erfolg. Aber er konnte das negative Ergebnis durchaus richtig erklären, nicht etwa aus einem Fehler seiner Theorie, sondern daraus, daß der jährliche Weg der Erde im Vergleich zu den Entfernungen der Sterne zu klein ist.

Wir wissen, daß sogar der uns nächste Stern sich 260 000mal weiter von uns ab befindet als die Sonne. Und da war Kopernikus nicht imstande, die für uns winzig erscheinenden Verschiebungen der Sterne infolge der jährlichen Bewegung der Erde zu erkennen. Wir dürfen nicht vergessen, daß die astronomischen Instrumente und die Beobachtungsverfahren jener Zeit noch recht primitiv waren.



Scheinbare Verschiebung eines verhältnismäßig nahen Sterns im Vergleich zu weiter entfernten Sternen, hervorgerufen durch die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne

Erst 1838, also fast drei Jahrhunderte nach Kopernikus' Tode, gelang es mit Hilfe von Spezialfernrohren und durch Anwendung vervollkommneter Methoden, diese sehr geringen Verschiebungen der Sterne festzustellen und damit die Richtigkeit der kopernikanischen Theorie von der Bewegung der Erde um die Sonne endgültig zu beweisen, wie man auch die Entfernungen der Sterne erst zu dieser Zeit genau messen konnte. Als einem der ersten gelang es dem bekannten russischen Astronomen und ersten Direktor der Pulkowoer Sternwarte, Akademiestglied W. J. Struve, die Verschiebungen der Fixsterne festzustellen.

Die Lufthülle der Erde

Die zur Überwindung des Schwerefeldes der Erde erforderliche Geschwindigkeit

Die Erde hat eine verhältnismäßig dichte Lufthülle mit einer Dicke von etwa tausend Kilometern. Wir leben also auf der Oberfläche der Erde wie auf dem Boden eines riesigen Ozeans aus Luft. Die Lufthülle wird, wie auch die der andern Planeten, durch die Anziehungskraft der Erde gehalten. Je größer also die Masse des Planeten und je stärker dadurch seine Anziehungskraft ist, um so mächtiger wird seine Lufthülle sein.

Damit irgendein Teilchen, ein Luftmolekül, die Atmosphäre endgültig verlassen kann, muß es eine Geschwindigkeit erhalten, die über einer bestimmten kritischen Grenze liegt, der unteren Grenze der parabolischen Geschwindigkeit.

Mit diesem Ausdruck bezeichnet man die Geschwindigkeit, bei der ein von der Oberfläche des Planeten nach oben geworfener Stein die Anziehungskraft dieses Planeten überwinden und unendlich weit fortfliegen kann. Sie ist bei verschiedenen Planeten, abhängig von ihrer Masse, verschieden. Für die Erde beträgt sie 11,3 Kilometer in der Sekunde¹⁾. Diese erheblich große Geschwindigkeit müßte ein Luftmolekül haben, um die Lufthülle der Erde verlassen zu können. Deshalb hat die Erde eine verhältnismäßig mächtige Atmosphäre, der auch eine gewisse geringe Menge leichter Gase untermischt ist.

1) Nach den Gesetzen der Physik kann sich die Lufthülle eines Planeten unbegrenzt lange Zeit halten, wenn die mittlere Geschwindigkeit der Gasmoleküle nicht mehr als ein Fünftel der unteren Grenze der parabolischen, das heißt der zur Überwindung des Schwerefeldes benötigten Geschwindigkeit für diesen Planeten beträgt.

Infolge der hohen Grenze dieser Geschwindigkeit für die Erde können sich fast alle wichtigsten Gase, aus denen unsere Atmosphäre besteht, wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure, Argon, Wasserdämpfe usw., unbegrenzt lange darin halten.

In ihren oberen Schichten ist die Luft dünner als in den unteren. Ein Kubikmeter Luft wiegt in der Höhe des Meeresspiegels 1,3 Kilogramm und in einer Höhe von vierzig Kilometern nur vier Gramm. Das Gewicht der gesamten Atmosphäre der Erde beträgt fünftausenddreihundert Trillionen Tonnen (5 300 000 000 000 000). Auf jedes Quadratmeter der Erdoberfläche drückt die Luft mit der gleichen Kraft, mit der eine Wasserschicht von zehn Metern Höhe drücken würde. Je höher wir uns über den Meeresspiegel erheben, um so geringer wird dieser Druck. Im ganzen ist das Gewicht der Lufthülle riesig groß, und doch beträgt es nur ein Milliontel vom Gewicht des festen Erdkörpers.

In zwanzig bis dreißig Kilometern Höhe wurde in der Erdatmosphäre eine Ozonschicht festgestellt, die die kurzwelligen ultravioletten Sonnenstrahlen verschluckt, sie nicht zur Erdoberfläche hindurchläßt und dadurch alles Lebende vor der schädlichen Wirkung dieses aktivsten Teiles der Sonnenstrahlung schützt. Versuche haben gezeigt, daß diesen Strahlen ausgesetzte Bakterien buchstäblich in einigen Minuten absterben.

Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre und die Vorgänge, die in ihr ablaufen, werden sorgfältig erforscht. Das ist außerordentlich wichtig für verschiedene Zwecke, etwa für die Landwirtschaft, die Luftfahrt u. a.

Der Wechsel der Jahreszeiten

Da die Planetenbahnen die Form von Ellipsen und nicht von Kreisen haben, ändert sich bei ihrem Umlauf fortwährend die Entfernung der Planeten von der Sonne. Die Erde befindet sich zum Beispiel im Dezember um fünf Millionen Kilometer näher zur Sonne als im Juli. Und doch wissen wir, daß auf unserer nördlichen Halbkugel im Dezember strenger Winter herrscht. Also folgt der Sommer dem Winter und der Winter dem Sommer nicht deshalb, weil sich die Erde näher zur Sonne oder weiter ab befindet, sondern aus einem anderen Grunde, von dem wir nun erzählen wollen.

Da die Erde Kugelform hat und ihre Rotationsachse stets den gleichen Neigungswinkel zur Ebene der Erdbahn aufweist, werden die verschiedenen Zonen der Erdoberfläche im Ablauf der Jahreszeiten verschieden stark von den Sonnenstrahlen beleuchtet und erwärmt, weil diese auf die einzelnen Gebiete der Oberfläche unserer Erdkugel zu verschiedenen Jahreszeiten unter verschiedenen Neigungswinkeln auftreten.

Wenn sich die Sonne nahe am Horizont befindet, zum Beispiel am Abend, und ihre Strahlen sehr schräg auf die Erdoberfläche fallen, gehen die Strahlen bis zu uns, das wissen wir, durch eine dickere Luftschicht, und außerdem trifft auf eine bestimmte Fläche eine geringere Strahlenmenge. Deshalb tritt nur eine geringe Erwärmung ein. Wenn sich jedoch die Sonne hoch über dem Horizont befindet, zum Beispiel um die Mittagszeit, treffen ihre Strahlen fast senkrecht auf die Erde. Hierbei durchdringen sie eine weniger dicke Luftschicht, und auf die gleich große

Fläche fällt eine größere Strahlenmenge. Deshalb erwärmen diese Strahlen die Erdoberfläche und die Luft stärker als die des Abends oder Morgens.

Der Unterschied in der Temperatur an gleichen Stellen der Erde zu verschiedenen Jahreszeiten wird natürlich auch beeinflusst durch die Dauer des Tages, während der die Stelle von den Sonnenstrahlen erwärmt wird. Im Sommer, Ende Juni, befindet sich die Sonne in Moskau 17,5 Stunden über dem Horizont und bestrahlt diese Stelle der Erdoberfläche, während sie im Winter, Ende Dezember, nur für 6,5 Stunden aufgeht. Zudem steht die Sonne im Sommer mittags viel höher über dem Horizont als im Winter, und zwar um mehr als das Fünffache. Infolgedessen ist natürlich die Sonnenstrahlung im Sommer am wirksamsten, im Winter am geringsten.

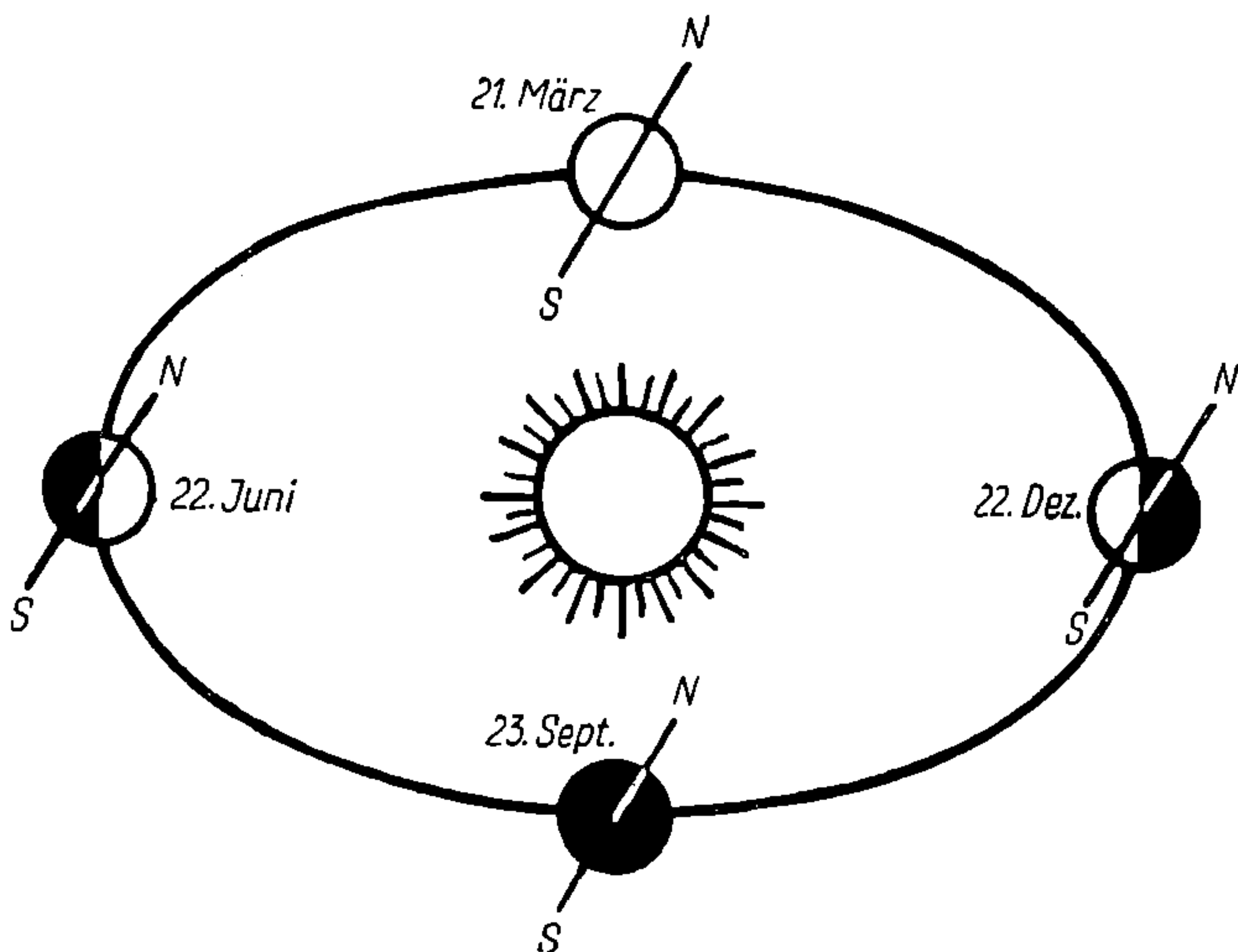
Da nun die Dauer des Tages und die Höhe der Sonne über dem Horizont von der Neigung der Erdachse zur Ebene der Erdbahn abhängig sind, bestimmt diese Neigung auch den Wechsel der Jahreszeiten.

Wenn die Erdachse keine Neigung aufwiese, sondern rechtwinklig auf der Ebene der Erdbahn stünde, würden die Sonnenstrahlen im Verlauf des ganzen Jahres an jeder Stelle der Erdoberfläche unter gleichbleibendem Winkel auftreffen und die Erde im Laufe des ganzen Jahres gleichmäßig erwärmen; dann gäbe es keinen Wechsel der Jahreszeiten. Nur würde es, wie auch jetzt, an den Polen kälter und am Äquator wärmer sein.

Der Wechsel der Jahreszeiten entsteht also durch die Neigung der Erdachse zur Ebene der Erdbahn um die Sonne und zugleich, weil die Erdachse bei der Bewegung der Erde um die Sonne ihre Stellung un-

verändert beibehält, das heißt sich parallel zu sich selbst bewegt.

Wir sprachen eben von der unveränderlichen Lage der Erdachse im Raum. Wir müssen dies dahin ergänzen, daß im Laufe vieler Jahrhunderte eine Än-



Verschiedene Neigung der Erdachse zu den Strahlen der Sonne
im Laufe des Jahres

derung der Exzentrizität der Erdbahn und der Neigung der Erdachse zur Bahnebene sich vollzieht, doch sehr langsam.

Mit diesen Veränderungen in der Bewegung der Erde erklärt Professor M. Milankowitsch die Eiszeiten, die sich im Laufe der letzten Hunderttausende von Jahren über unsern Planeten ausgebreitet hatten. Die letzte große Vereisung erfolgte seiner Meinung nach in Feuerland vor vielen Jahrtausenden.

den. Professor M. Milankowitsch nimmt außerdem an, daß der Nordpol in einer komplizierten Kurve auf der Erdoberfläche gewandert ist. Irgendwann begann der Pol seine Bewegung bei Hawaii, überquerte Alaska, nahm seine gegenwärtige Lage ein und wird sich weiterhin zur Mündung des Flusses Petschora bewegen. Es muß jedoch gesagt werden, daß diese Meinung durchaus nicht von allen Gelehrten geteilt wird und daß die Ursachen der Eiszeit auch heute noch nicht geklärt sind.

Präzession, Nutation und Wanderung der Erdpole

Schauen wir doch einmal genauer zu, wie weit die Richtung der Erdachse im Raume eingehalten wird! Unsere Erde stellt so etwas wie einen riesigen, sich ständig drehenden Kreisel dar, ähnlich dem gewöhnlichen Kreisel, mit dem Kinder so gern spielen. Wenn wir diesen Kinderkreisel auch noch so schnell in Gang setzen, so läßt seine Geschwindigkeit nach einer oder zwei Minuten, wahrscheinlich sogar schon früher, nach, und das obere Ende der Kreiselachse beschreibt immer größere Kreise, bis der Kreisel umfällt.

Die Erde jedoch dreht sich wie ein Riesenkreisel schon einige Milliarden Jahre um ihre Achse. Die Rotationsachse der Erddrehung hat die ganze Zeit hindurch fast dieselbe Richtung im Raume. Sie bewegt sich parallel zu sich selbst und vollbringt, wie man es in der Mechanik bezeichnet, eine fortschreitende Bewegung auf ihrer Bahn um die Sonne. Genau betrachtet, weist jedoch die Erdachse bestimmte, sehr langsame Abweichungen von ihrer ständigen Richtung auf. Sie sind aber so gering, richtiger gesagt,

so langsam, daß man sie erst nach sehr langen Zeiträumen feststellen kann.

Die allmähliche Präzession der Erde zum Beispiel hat schon vor Jahrtausenden der altgriechische Astronom Hipparch entdeckt. Freilich vermochte er noch keine richtige Erklärung dafür zu geben; sie wurde erst im 18. Jahrhundert durch Isaak Newton gefunden.

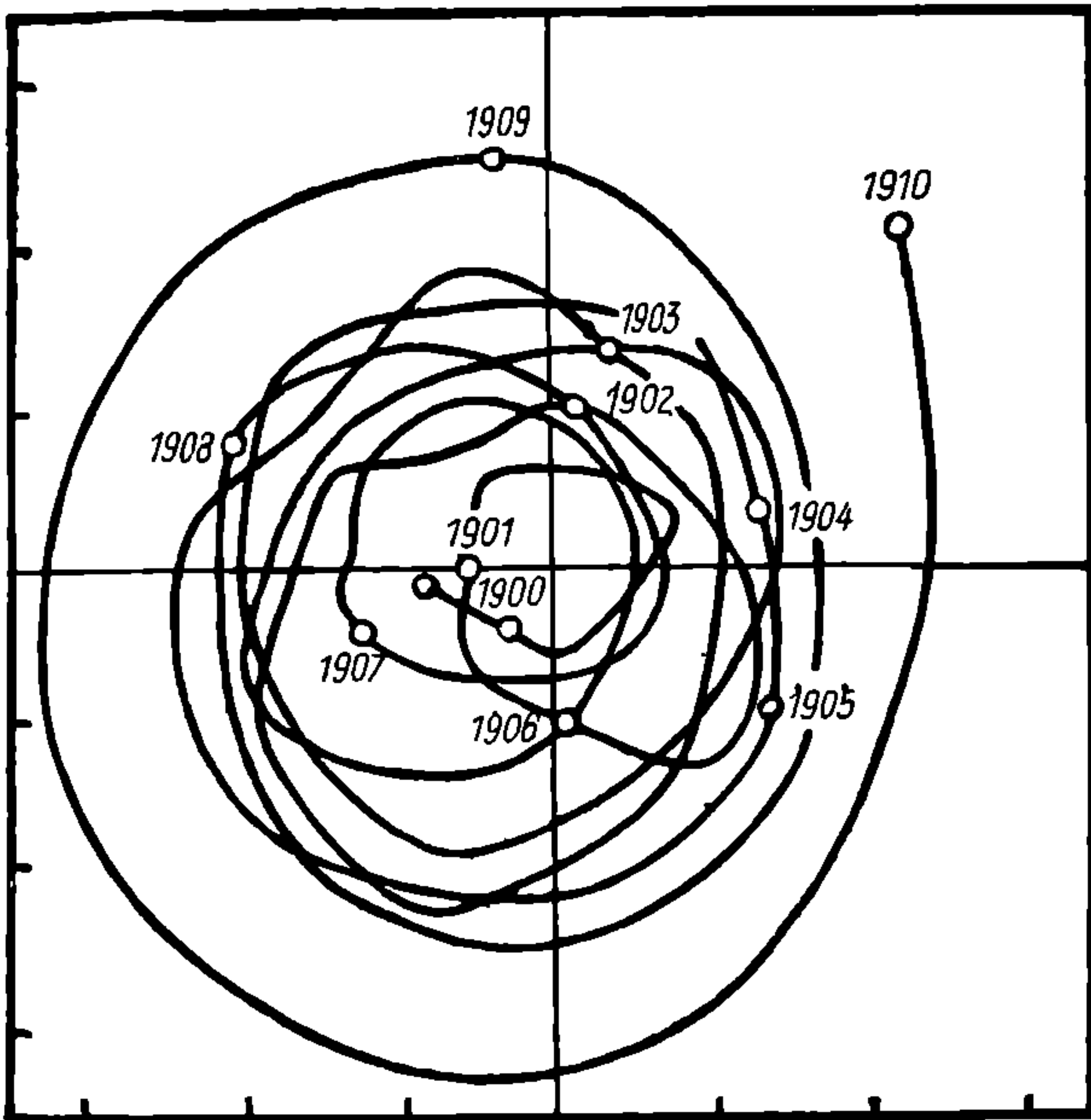
Die Präzession besteht darin, daß die Erdachse infolge der gemeinsamen Einwirkung der Anziehungskraft des Mondes und der Sonne auf die äquatoriale Ausbauchung der Erde (siehe weiter unten „Genaue Bestimmung der Kugelgestalt unserer Erde“!) sehr langsam, jedoch ununterbrochen ihre Stellung im Raum verändert und in einer Zeitperiode von etwa 26 000 Jahren im Raum einen Kegelmantel umschreibt.

Also ändert sich fortwährend auch die durch die Richtung der Erdachse bestimmte Lage der Erdpole. Gegenwärtig befindet sich der dem Nordpol entsprechende Punkt am Himmel im Sternbilde des Kleinen Bären, in der Nähe des Polarsternes. Nach 5000 Jahren wird er im Kepheus liegen, und nach 12 000 Jahren wird der helle Stern Wega für die Erde der Polarstern sein.

Es wurde festgestellt, daß die Erdachse außer der langsamen Präzession auch kleine Schwankungen mit einer Periode von 18,6 Jahren vollführt. Diese Schwankungen der Erdachse bezeichnet man als Nutation.

Und im Jahre 1884 fand man, daß sich die geographische Breite verschiedener Punkte auf der Oberfläche unserer Erde periodisch ändert.

Das alles sind Folgen davon, daß die Rotationsachse der Erde nicht unverändert ihre Lage behält und die Erdpole nicht auf einer Stelle verbleiben. Schon M. W. Lomonossow hat seinerzeit die Wanderung der



Wanderung des Nordpols auf der Erdoberfläche in der Zeit von 1900 bis 1910

Erdpole erwähnt. Astronomische Beobachtungen haben gezeigt, daß tatsächlich beide Erdpole ununterbrochen wandern¹⁾ und in Perioden von etwa

¹⁾ Der Astronom S. K. Kostinski von der Sternwarte Pulkowo hat Ende des vergangenen Jahrhunderts nachgewiesen, daß von der Verlagerung der Pole auch Änderungen der geographischen Breiten abhängig sind und daß diese Änderungen mit Änderungen der geographischen Länge des betreffenden Ortes verbunden sind.

433 Tagen unregelmäßige Kreise mit größeren oder kleineren Radien beschreiben.

Der große Mathematiker Leonhard Euler hat in seinen Untersuchungen nachgewiesen, daß die verhältnismäßige Kürze der Periode, in der sich die Erdpole verlagern, ein Beweis für den festen Zustand des Erdinnern ist. Je geringer die Elastizität der Erde ist, um so größer, das heißt länger müßte die Periode für die Verlagerung der Erdpole sein.

Wir wissen aus Beobachtungen, daß die Verlagerung des Nordpols so gering ist, daß er innerhalb eines Quadrats mit einer Seitenlänge von 20 Metern verbleibt.

Wir dürfen also dabei bleiben, daß die Erdachse die Stabilität ihrer Richtung im gesamten Weltraum ziemlich genau einhält und daß sie sich im allgemeinen parallel zu sich selbst bewegt. Diese Stabilität hat außerordentlich große Bedeutung für die Einhaltung stabiler klimatischer Verhältnisse auf unserem Planeten und für den Wechsel der Jahreszeiten.

D i e S c h w e r k r a f t

Jeder Körper hat die Fähigkeit, andere Körper anzuziehen. Auch unsere Erde ist das Zentrum einer Anziehungskraft oder Gravitation, die an fast allen Stellen der Erdoberfläche genau zum Mittelpunkt unseres Planeten gerichtet ist.

Infolge der täglichen Bewegung der Erde ergibt sich auf ihr noch die Flieh- oder Zentrifugalkraft, die überall in seitlicher Richtung senkrecht zur Erdachse wirkt.

Allgemein gesagt, ist diese Fliehkraft im Vergleich zur Anziehungskraft der Erde nur gering. Am Äqua-

tor erreicht sie ihren größten Wert. Aber auch hier beträgt sie nach den Berechnungen Newtons nur $\frac{1}{289}$ der Anziehungskraft unserer Erde. Je weiter wir uns vom Äquator zu den Polen begeben, um so geringer wird die Fliehkraft. An den Polen selbst sinkt der Wert bis auf Null.

Aus der Anziehungskraft der Erde und der Fliehkraft ergibt sich als Resultierende die Schwerkraft. Sie wäre an allen Punkten der Erdoberfläche gleich, wenn die Erde eine vollkommen genaue und regelmäßige Kugel wäre, überall oder mindestens konzentrisch gleichmäßig verteilt die gleiche Dichte aufwiese und keine tägliche Drehung um ihre Achse vollführte. Da aber die Erde nicht einer dieser Bedingungen entspricht, ist die Schwerkraft unterschiedlich groß nach der Größe der Fliehkraft, die die Anziehungskraft verringert, nach der Dichte der Erdschichten an der betreffenden Stelle und nach dem Abstand vom Mittelpunkt der Erde. Je größer dieser Abstand ist, um so geringer ist die Schwerkraft.

Der Erdradius ist am längsten vom Mittelpunkt der Erde zum Erdäquator. Erdradien zum Nordpol oder zum Südpol sind am kürzesten. Deshalb haben alle Körper am Äquator ein geringeres Gewicht, eine geringere Schwere als an den Polen.

Am Pol ist die Schwerkraft um $\frac{1}{289}$ größer als am Äquator. Dieser Unterschied in der Schwerkraft gleicher Körper am Äquator und am Pol kann durch Wiegen mit einer Federwaage leicht festgestellt werden.

Wenn wir die Körper auf Hebelwaagen mit Gewichten wiegen wollten, würden wir freilich die Differenz

nicht feststellen. Die Waage würde am Pol und am Äquator das gleiche Gewicht anzeigen, weil der Körper und die Vergleichsgewichte der gleichen Änderung der Schwerkraft unterworfen sind.

Nehmen wir an, ein Schiff mit Ladung in polaren Gebieten, in der Nähe des Erdpols, wiegt 2890 Tonnen. Wenn dieses Schiff zu einem Hafen in der Nähe des Äquators kommt, wird es zusammen mit der Ladung nur 2880 Tonnen wiegen. Es verliert also am Äquator etwa zehn Tonnen an Gewicht.

Sämtliche Körper halten sich auf der Erdoberfläche nur dadurch, daß die Schwerkraft auf sie einwirkt.

Wir spüren die Schwerkraft gleichfalls, wenn wir uns auf der Erde fortbewegen. Im Gehen müssen wir sie ständig überwinden. Wir spüren sie an unseren Füßen wie ein schweres Gewicht. Es macht sich besonders fühlbar beim Ersteigen von Bergen, wenn wir es mitschleppen wie schwere, an den Füßen befestigte Bleikugeln. Ebenso merken wir es beim Abstieg von einem steilen Berg, indem es uns zwingt, unsere Schritte zu beschleunigen.

Jede Kraft sonst kann in beliebiger Richtung wirken. Die Schwerkraft der Erde gibt uns immer nur eine Richtung an, die Richtung nach unten. An allen Punkten der Erdoberfläche ist sie, wie schon erwähnt, fast genau zum Mittelpunkt der Erde gerichtet. Deshalb werden die Begriffe unten und oben für Menschen verschieden sein, die auf den verschiedenen Halbkugeln der Erde leben. Diametral entgegengesetzt sind die Richtungen unten und oben für die Antipoden, das sind die Menschen, die diametral entgegengesetzte Teile der Erdoberfläche bewohnen.

*Die Tafel zeigt eine Mondlandschaft;
am Himmel sieht man die Erde.*





Die Richtung zum Beispiel, die für die Bewohner der Sowjetunion „unten“ bedeutet, ist für die Antipoden, die Bewohner des Feuerlandes, die Richtung nach „oben“. Die Richtungen nach „unten“ für Menschen, die sich am Pol und am Äquator befinden, ergeben miteinander einen rechten Winkel, stehen senkrecht zueinander.

Wenn sich ein Körper von der Erde entfernt, wird die Schwerkraft geringer, da sich die Anziehungskraft¹⁾ verringert und die Fliehkraft im Bereich der Erdatmosphäre größer wird, also gleichfalls die Schwerkraft herabsetzt.

In dem Innern der Erde muß die Schwerkraft bis zu einer gewissen Tiefe immer größer werden. Bei etwa tausend Kilometern Tiefe wird sie ihren größten Wert haben und um etwa fünf Prozent größer sein als ihr mittlerer Wert auf der Erdoberfläche.

Beim noch weiteren Eindringen aber wird die Schwerkraft wieder geringer, und im Mittelpunkt der Erde sinkt sie auf Null.

Wie würde sich nun ein Körper verhalten, den man in einen durch die ganze Erde und den Erdmittelpunkt gehenden Schacht wirft?

Nehmen wir an, daß wir in Ulan-Ude in Zentralasien einen solchen Brunnen gegraben hätten. Das andere Ende dieses Brunnens würde sich in Feuerland befinden, dort, wo die Antipoden der Bewohner des sowjetischen Burjat-Mongoliens leben. Wenn man in diesen Brunnen irgendeinen Körper werfen

Die Tafel zeigt den Kometen 1811.

1) Die Anziehungskraft der Erde sowie auch jedes anderen Weltkörpers wirkt sich im Weltraum unbegrenzt weit aus.

würde, so würde er, bei Annahme einer Bewegung im leeren Raum, für immer um den Mittelpunkt der Erde schwingen.

Genaue Bestimmung der Kugelgestalt unserer Erde

Die Erdumseglung Fernando Magalhães' hat zwar endgültig bestätigt, daß die Erde kein flacher Körper ist, sondern eine Kugel, daß sie im Raum begrenzt ist und auf keinerlei Stützen ruht; aber die Frage nach der genauen Form unseres Planeten blieb noch lange offen.

In den Jahren 1671 bis 1673 nahm der französische Astronom Jaques Richet an einer wissenschaftlichen Expedition teil, die sich nach Südamerika begab. Seine astronomische Pendeluhr war in Paris justiert worden. Nach der Ankunft in Cayenne, also unweit des Äquators, wurde festgestellt, daß die Uhr täglich um zweieinhalb Minuten zurückblieb. Um einen richtigen Gang der Uhr einzustellen, mußte das Pendel um fast drei Millimeter gekürzt werden.

Hieraus war zu folgern, daß die Schwerkraft nahe am Äquator geringer ist als in größerer Entfernung davon. Nur damit war zu erklären, daß ein Pendel in Cayenne, also nahe am Äquator, langsamer schwingt als ein gleich langes in Paris (unter fast 49° nördlicher Breite. D. Übers.). Weshalb jedoch die Schwerkraft am Äquator geringer war, konnte noch nicht gesagt werden.

Newton sprach hierzu die Vermutung aus, daß „die Erde am Äquator etwas höher sei“. Dies ist so zu verstehen, daß der Erdradius zum Äquator länger ist als der Radius zum Pol.

Mit Berücksichtigung der Gravitation und der bei der Drehung der Erde entstehenden Fliehkraft, die senkrecht zur Rotationsachse wirkt und bestrebt ist, die Erde in Richtung des Äquators zu dehnen, kam Newton auf der Grundlage komplizierter theoretischer Erwägungen endgültig zu dem Schluß, daß die Erde die Form eines Sphäroids, einer an den Polen leicht abgeplatteten, zusammengedrückten Kugel hat.

Der holländische Physiker Huygens, der die gleiche Frage mit Hilfe anderer Verfahren löste, kam in seinem Traktat über das Licht gleichfalls zu dem Schluß, daß die Erde an den Polen abgeplattet sei. Aber er errechnete für die Abplattung einen andern Wert als Newton.

Der französische Mathematiker Cléreau gab eine Erklärung für die Verschiedenheit der errechneten Werte und wies zugleich nach, daß die tatsächliche Abplattung zwischen den von Newton und Huygens erhaltenen Zahlen liegt. Damit waren alle Zweifel daran, daß die Erde an den Polen abgeplattet und am Äquator „ausgebaucht“ ist, theoretisch behoben, und die Beobachtung des Planeten Jupiter bestätigte eine solche Erscheinung auch anschaulich. An seinen Polen ist durchs Fernrohr deutlich die Abplattung festzustellen.

Es waren damals schon in kleinerem Umfange die ersten Gradmessungen durchgeführt worden. Sie ergaben aber keine Bestätigung für die theoretisch erschlossene Abplattung der Erde an den Polen. Sie schienen eher darauf hinzudeuten, daß die Erde in Richtung ihrer Achse etwas gestreckt sei und eine Form habe, die man etwa mit einer Melone oder einer Zitrone vergleichen könne. Nun entstand ein heftiger

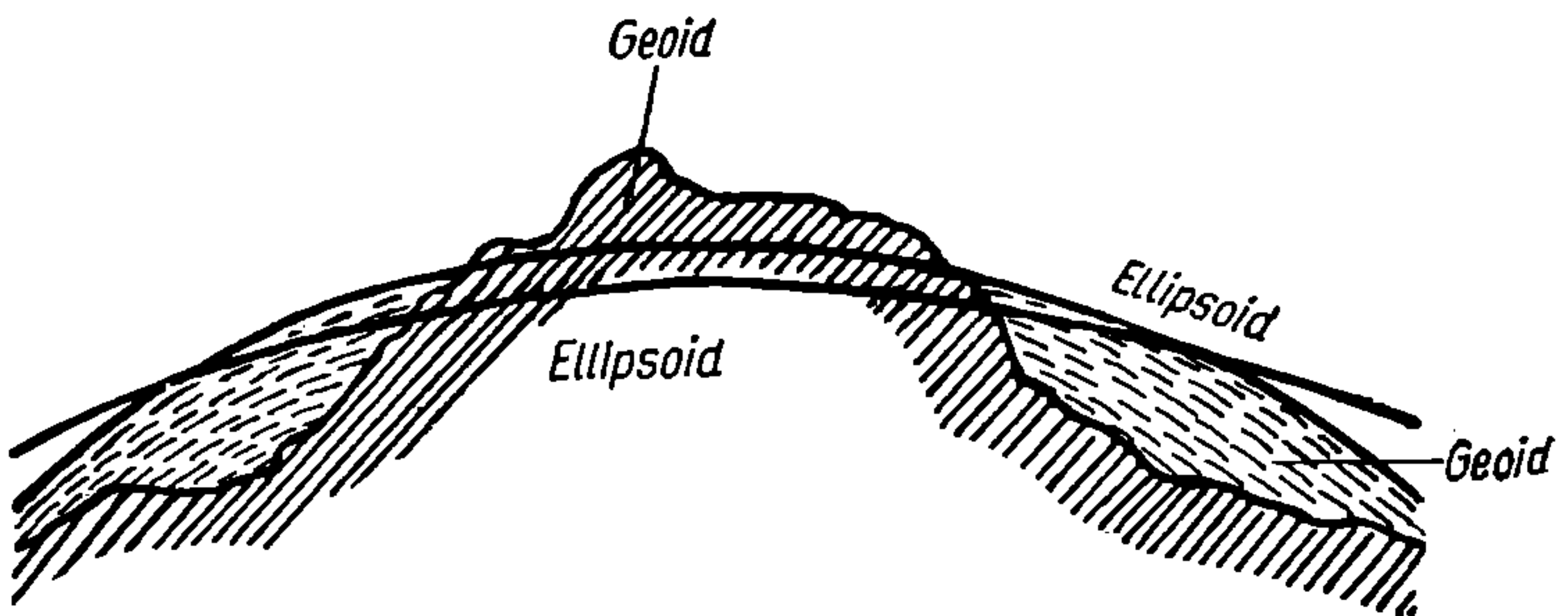
Streit unter den Gelehrten über die Form unseres Planeten. Der Astronom Jaques Cassini in Paris verteidigte hartnäckig die Meinung, die Erde sei in Richtung ihrer Rotationsachse gestreckt. Er wollte die Beweise Newtons für die Abplattung der Erde nicht anerkennen, wie er übrigens auch die Newtonsche Gravitationstheorie ablehnte.

Da führte die französische Akademie der Wissenschaften in der Zeit von 1735 bis 1741 zwei große Gradmessungen durch, eine am Äquator in Peru (Südamerika) und eine am Polarkreis in Lappland. Diese Messungen entschieden den Streit endgültig zugunsten der theoretisch begründeten Ansichten von Newton, Huygens und Cléreau.

Später wurden weitere Gradmessungen durchgeführt in Amerika, in Indien und auch in Ländern Westeuropas. In der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts wurde unter der Leitung des russischen Astronomen W. J. Struve ein Meridianbogen gemessen, der sich von der Nordküste Norwegens bis zur Donau erstreckt. Danach wurde auf Veranlassung russischer Geodäten der Bogen eines Breitengrades gemessen, der sich vom Ural (Orsk) in Richtung von Ost nach West durch Südrußland und durch Westeuropa bis zur Westküste Englands hinzieht. Der größte Bogen wurde jedoch in jüngster Zeit von russischen Geodäten vermessen. Er beginnt an der Westgrenze der Sowjetunion, verläuft über das ganze Gebiet der UdSSR und endet im Fernen Osten.

Durch Auswertung der Ergebnisse solcher Messungen erhielten die Gelehrten eine genaue Vorstellung von der Gestalt unserer Erde, die durch die Länge des größten und des kleinsten Erdradius bestimmt wird.

Infolge der Abplattung der Erde an den Polen liegt der größte Radius in der Ebene des Äquators, während der kleinste zum Pol gerichtet ist. Mit der Vervollkommnung der Meßtechnik gelang es, die Größe dieser Radien immer genauer festzulegen. Die genaueste Messung wurde im Jahre 1941 vom sowjetischen Geodätiker und korrespondierenden Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR



Oberfläche eines Ellipsoids und eines Geoids

Professor F. N. Krassowski durchgeführt. Er errechnete für den Äquatorialradius eine Länge von 6 378 245 Metern und für den Polradius 6 356 863 Meter, das heißt um 21 382 Meter weniger.

Die Bestimmung der Dimensionen unserer Erdkugel, die von Krassowski durchgeführt wurde, kann als die zuverlässigste und genaueste angesehen werden. Seine Maße werden jetzt bei allen Berechnungen verwendet, die mit der Erforschung unseres Planeten und insbesondere mit der Herstellung geographischer Karten verbunden sind.

Die Abplattung der Erde wurde, wie wir bemerken wollen, vom sowjetischen Astronomen Professor K. L. Bajew theoretisch auch auf Grund der Erfor-

schung der Mondbewegung festgelegt. Er erhielt hierbei einen Wert, der mit der gegenwärtig angenommenen Abplattung der Erde vollkommen übereinstimmt.

Als die echte Form der Erde sehen wir jetzt einen Körper an, dessen Oberfläche eine „Gleichgewichtsfläche“¹⁾ darstellt, die ungefähr mit dem Wasserspiegel der Meere übereinstimmt, wenn sie sich in vollkommener Ruhe befinden, also nicht durch Ebbe und Flut, Wellen und Änderungen des Luftdrucks bewegt werden.

Wenn wir uns diese Fläche in Gedanken durch die Inseln und Kontinente fortsetzen, erhalten wir die Gleichgewichtsfläche, die man gewöhnlich als „Geoid“ bezeichnet. Sie gibt die Form unseres Planeten am genauesten wieder.

Die Erdoberfläche weist tiefe Senken und hohe Berge auf, aber diese sprechen nicht mit bei der Ermittlung der Gesamtform des von uns bewohnten Planeten.

Der innere Aufbau der Erde

Man nimmt an, daß vor vielen, vielen Jahren unsere Erde einen feurig-flüssigen, glühenden Himmelskörper darstellte. Sie war etwa wie eine Zwergsonne, also ein kleiner, rötlicher Stern, der in reichlichem Maße Wärme und Licht in den Weltraum ausstrahlte. Jahrmillionen vergingen, bevor sich unser Planet mit einer genügend dicken Erstarrungskruste bedeckte. Viel Zeit war erforderlich, bis sich auf der Erde große Ansammlungen von Wasser bildeten, bis Festländer,

¹⁾ Als „Gleichgewichtsfläche“ bezeichnen wir eine Oberfläche, bei der die Richtung der Schwerkraft in allen Punkten senkrecht zur Tangente liegt.

Meere und Ozeane entstanden und bis sich um die Erde die Atmosphäre bildete, die Lufthülle, die nach allen Richtungen eine Mächtigkeit von etwa tausend Kilometern erreicht.

Über den inneren Aufbau unseres Planeten ist zu sagen, daß seine Erforschung auf große Schwierigkeiten stößt. Bergwerke, Tunnel und Bohrlöcher ermöglichen ein Urteil nur für Tiefen bis zu vier bis fünf Kilometern. Die Geologie ergibt bei Untersuchung von Schichtbildungen die Möglichkeit, ein Urteil bis zu Tiefen von zehn bis zwölf Kilometern abzugeben.

Über größere Tiefen, das heißt im Bereich der restlichen 6330 bis 6360 Kilometer, kann nur auf Grund von Ergebnissen geurteilt werden, die durch sorgfältiges und allseitiges Erforschen der Erdbeben, der Ausbreitung von Erdbebenwellen und der Schwerkraft an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche erhalten werden.

Die gravimetrischen¹⁾ Messungen haben in den letzten Jahren in der Sowjetunion eine weite Entwicklung gefunden. Einen wichtigen Beitrag leisteten der verstorbene Professor K. P. Sternberg und die korrespondierenden Mitglieder der Akademie der Wissenschaften der UdSSR A. A. Michailow und M. S. Molodenski. Man untersuchte nicht nur die Wirkung der Schwerkraft auf dem Festlande, sondern auch auf den Meeren. Der Professor der Moskauer Universität L. W. Sorokin führte zum Beispiel von U-Booten aus mit besonderem Gerät Untersuchungen im Schwarzen

1) Gravimetrie ist die Wissenschaft von der Schwerkraftmessung; sie ist bei der Ermittlung der Massenverteilung innerhalb der Erde von großer Bedeutung und wird bei geologischen Erkundungsarbeiten angewandt.

Meer, im Japanischen Meer und im Ochotskischen Meer durch.

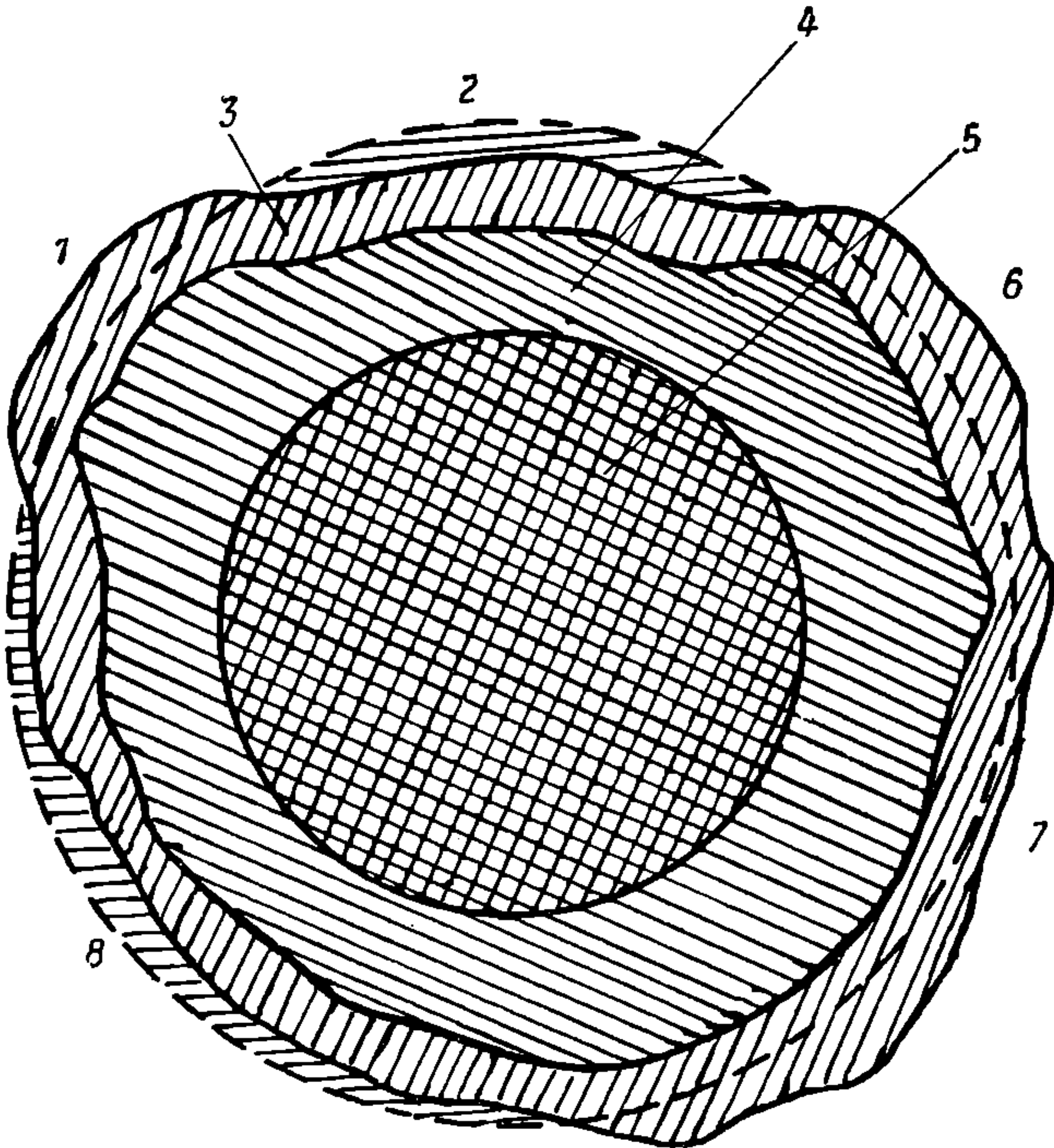
Man stellt sich gegenwärtig nach den neuesten Forschungen den inneren Aufbau der Erde folgendermaßen vor: Der zentrale Teil der Erdkugel mit einem Radius von mehr als 3000 Kilometern stellt einen stark erhitzten Metallkern mit einer Temperatur dar, die nach einigen Ausnahmen über 3000 Grad liegt. Der Druck kommt im Mittelpunkt dieses Erdkerns bis an drei Millionen Atmosphären heran. Der Stoff des zentralen Kernes hat die neun- bis zehnfache Dichte des Wassers. Einen Beweis für hohe Temperaturen im Zentrum unseres Planeten sieht man schon darin, daß die Temperatur mit weiterem Eindringen in die Erde jedesmal nach 33 Metern fast um einen Grad ansteigt.

Früher folgerte man daraus, die Temperatur steige im Mittelpunkt der Erde bis auf etwa 200 000 Grad und der zentrale Kern unseres Planeten sei feurig-flüssig. Heute jedoch wissen wir aus der Erdbebenforschung¹⁾, daß es im Zentrum der Erde weder einen feurig-flüssigen noch gar einen gasförmigen Kern gibt, obgleich die Temperatur mehr als 3000 Grad erreicht, und zugleich, daß der Kern unseres Planeten elastisch ist wie Stahl.

Die vorhin erwähnte Zunahme der Temperatur mit dem Eindringen in die Erde betrifft, so haben wir inzwischen festgestellt, nur eine geringe Schicht der oberen Hülle unseres Planeten und erklärt sich hauptsächlich durch das Vorhandensein radioaktiver Elemente, wie Thorium, Uran und anderer.

1) Bei Erdbeben verbreiten sich die seismischen Wellen in der Erde wie in einem festen, elastischen Körper.

Hohe Temperaturen in den Tiefenschichten unseres Planeten werden am besten bewiesen durch die Ausbrüche von Vulkanen. Aus Vulkankratern werden



Grobes Schema des innern Aufbaus der Erde

- | | |
|----------------------|------------------|
| 1 Nordamerika | 5 Fester Erdkern |
| 2 Atlantischer Ozean | 6 Afrika |
| 3 Feste Erdrinde | 7 Asien |
| 4 Magma | 8 Stiller Ozean |

manchmal glühende und geschmolzene Massen verschiedener Stoffe mit riesiger Wucht ausgeworfen, allerlei Gase und Dämpfe, Asche, erkaltete Lavastücke und anderes, wobei auch große Brocken von

dem Gestein herausgeschleudert werden, durch das sich der Vulkanausbruch seinen Weg gebahnt hat. Vulkanausbrüche sind manchmal sehr gewaltig und bedeuten für die Bewohner benachbarter Städte und Dörfer eine große Gefahr. Die Geschichte kennt Ausbrüche, die so heftig und verheerend waren, daß ganze Städte durch Schlamm und Asche verschüttet wurden. So ging im Jahre 79 unserer Zeitrechnung bei einem Ausbruch des Vesuvs die römische Stadt Pompeji völlig unter.

Die feste Hülle der Erde ist knapp hundert Kilometer dick. Ihre Dichte beträgt fast das Dreifache der Dichte des Wassers. Bis zur Tiefe von fast zehn Kilometern besteht die Erdrinde zur Hälfte aus Sauerstoff, aber nur in Verbindung mit anderen chemischen Elementen, nicht in freiem Zustand. Einen wichtigen Platz in der Zusammensetzung der Erdrinde nehmen nach ihrer Menge auch Silizium, Aluminium und Eisen ein. Andere Stoffe sind in geringerer Menge enthalten.

Zwischen dem Kern unseres Planeten und der festen Hülle befindet sich eine Zwischenschicht, die eine zähflüssige Masse darstellt. Man bezeichnet sie als Magma. Diese Zwischenschicht hat eine Dicke von fast 3000 Kilometern.

Die Radioaktivität und die Bestimmung des Erdalters

Zur Bestimmung des Erdalters wendete man verschiedene Verfahren an. Man untersuchte den Salzgehalt im Meerwasser (ozeanographische Methode), bestimmte die Dauer der Bildung sedimentärer Gesteine (geologische Methode) und die Dauer der Faltenbildung der Erdrinde (geographische Methode).

Alle diese Methoden konnten jedoch nicht zu einigermaßen genauen Ergebnissen führen.

Gegenwärtig wird zur Bestimmung des Erdalters eine genaue objektive Methode angewandt, die möglich wurde, als in den Laboratorien die Erscheinungen der Radioaktivität entdeckt und erforscht worden waren. Wir wollen sehen, worin das Wesen dieser Erscheinungen besteht.

Man hat gefunden, daß sich die Atome einiger chemischer Elemente in unstabilem Zustand befinden. Wie sicher festgestellt wurde, zerfallen diese Atome laufend und verwandeln sich in Atome anderer chemischer Elemente mit geringerem Atomgewicht. Solche Atome bezeichnet man als radioaktiv. Der Zerfall radioaktiver chemischer Elemente dauert ununterbrochen so lange an, bis sich im Ergebnis einer bestimmten Umwandlungsreihe solche Elemente bilden, die keine radioaktive Eigenschaft mehr aufweisen. Diese Elemente bestehen dann also aus stabilen Atomen.

Der Atomzerfall wurde zuerst bei dem Element Uran festgestellt (1896). Die Uranatome verwandeln sich bei ihrem Zerfall in Helium und in Radiumatome¹⁾. Wie wir wissen, verwandelt und verändert sich das Helium nicht weiter. Das Radium jedoch ist gleichfalls ein radioaktives Element, und die Radiumatome zerfallen, bis als Endglied der Umwandlung stabile Atome entstehen, die das che-

¹⁾ Das Radium wurde von Marie Skłodowska-Curie im Jahre 1896 bei der Arbeit mit Uranpräparaten entdeckt. Radiumatome zerfallen viel schneller als Uranatome. In einem Zeitraum von 1600 Jahren entstehen aus einem Gramm Radium durch ständigen Zerfall ein halbes Gramm Radium und fast ein halbes Gramm Blei.

misches Element Blei bilden. Blei und Helium sind also die endgültigen chemischen Elemente, die beim Zerfall der Uranatome entstehen. Der Umwandlungsprozeß radioaktiver chemischer Elemente in beständige, stabile Elemente, die keinen weiteren Zerfall mehr durchmachen, verläuft außerordentlich langsam. Wir wissen, daß sich in einem Zeitraum von 66 Millionen Jahren von einem Kilogramm Uran nur zehn Gramm, das heißt nur ein Prozent, in nicht radioaktive Elemente verwandeln, also in Blei und Helium, und daß wir hierbei 8,65 Gramm Blei und 1,35 Gramm Helium erhalten.

Im nächsten Zeitraum von wiederum 66 Millionen Jahren werden aus 9,9 Gramm Uran, also einem Prozent des restlichen Teils, im Endergebnis 8,564 Gramm Blei und 1,336 Gramm Helium entstehen, und dieser Prozeß wird so lange in gleicher Weise verlaufen, bis das letzte Gramm Uran in Blei und Helium verwandelt ist.

Noch eine sehr wichtige Eigenschaft muß erwähnt werden, die der Radioaktivität eigen ist. Sie besteht darin, daß die Umwandlungsgeschwindigkeit radioaktiver chemischer Elemente in solche Elemente, die keinem Zerfall unterliegen, überhaupt nicht von den Bedingungen abhängig ist, unter denen sich der radioaktive Stoff befindet. Wie Versuche gezeigt haben, erfolgt der Atomzerfall mit gleicher Geschwindigkeit sowohl bei Temperaturen, die nahe am absoluten Nullpunkt liegen, als auch bei Temperaturen von einigen tausend Grad. Auch von hohem oder niedrigem Druck wird die Zerfallsgeschwindigkeit der Atome nicht beeinflußt.

Gegenwärtig wird die Radioaktivität in großem Umfang angewendet zur Bestimmung des Alters von Gesteinen. Wenn man nämlich die Menge des aus Uran entstandenen Elements Blei aus irgendeiner alten Gesteinsart ermittelt, kann nach den oben gegebenen Darlegungen berechnet werden, wieviel Zeit vergangen ist, seitdem diese Gesteinsart zu einem festen Zustand erstarrt ist¹⁾).

Wir müssen erwähnen, daß das aus Uran entstandene Blei sich vom gewöhnlichen Blei nicht unterscheidet, bis auf geringe Abweichungen des Atomgewichts. Das gewöhnliche Blei hat ein Atomgewicht von 207,1, während das aus Uran entstandene Blei ein Atomgewicht von 206,0 aufweist.

Mit der hier beschriebenen Methode wurde bei den ältesten Gesteinsarten festgestellt, daß sie ein Alter von zwei bis dreieinhalb Milliarden Jahren haben. Auf Grund der so erhaltenen Daten über das Alter der ältesten Gesteinsarten kann nun gesagt werden, daß seit der Bildung der festen Hülle unseres Planeten etwa zwei bis drei Milliarden Jahre vergangen sind.

Wir dürfen aber nicht übersehen, daß mit diesem das Alter der Erde nur von dem Zeitpunkt an bestimmt wird, in dem sich schon eine feste Kruste bildete. Wir berühren also nicht den Zeitraum, in dem die Erde vor der Bildung einer festen Erstarrungskruste schon existierte.

¹⁾ Diese Methode kann nur zur Bestimmung des Alters von Stoffen angewandt werden, die sich in festem Zustand befinden.

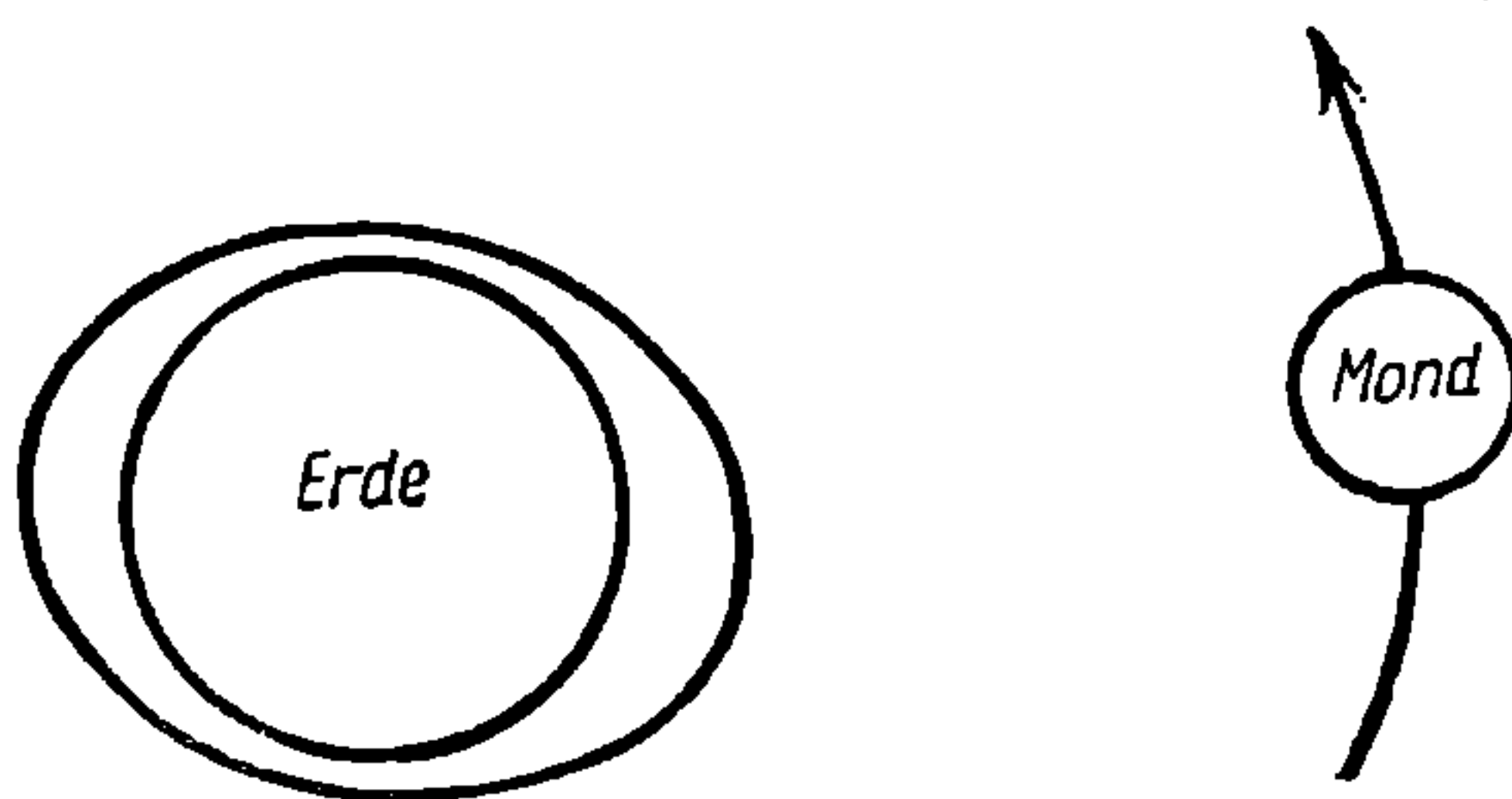
Erde und Mond

Der Mond ist der ständige Begleiter der Erde. Er umkreist sie und folgt ihr bei ihrer Bewegung um die Sonne. Über die Entstehung des Mondes gibt es mehrere Annahmen; eine behauptet, daß sich der Mond aus irgendwann von der Erde losgerissenen Stoffen gebildet habe, eine andere nimmt an, daß der Mond irgendwann ein selbständiger Planet gewesen sei und unabhängig von der Erde auf einer eigenen Bahn um die Sonne gekreist habe, dann sei er näher an die Erde herangekommen, in ihr Gravitationsfeld geraten und so zum Begleiter unseres Planeten geworden; eine weitere vermutet, Erde und Mond seien gleichzeitig als Doppelgestirn entstanden. Nach den theoretischen Erwägungen George Darwins hat der Mond einmal seine Bahn in viel größerer Nähe um die Erde gezogen als heute. Heute ist der Mond von der Erde 384 000 Kilometer entfernt. Die gegenseitige Anziehung bewirkt eine Flutbildung¹⁾ sowohl auf dem Monde als auch auf der Erde.

Wenn der Mond in bezug auf die Erde stillstünde und keine andern Faktoren auf Flut und Ebbe einwirkten, so hätten wir an jeder Stelle der Erdkugel täglich zweimal Flut und zweimal Ebbe mit einem Wechsel von je sechs Stunden. Da jedoch der Mond die Erde umkreist, und zwar in derselben Richtung, in der sich die Erde um ihre Achse dreht, tritt eine Verzögerung ein. Die Erde kommt mit jedem Teil ihrer

¹⁾ Die Gezeiten, also Flut und Ebbe, entstehen auch in der Erdrinde und in der Atmosphäre. Die Gezeiten der Meere sind jedem bekannt. Auf der Erde gibt es so viel Wasser, daß man bei Verteilung dieser Wassermassen in einer gleichmäßigen Schicht über die gesamte Oberfläche der Erde einen uferlosen Ozean von etwa 3000 Metern Tiefe erhalten würde.

Oberfläche nicht genau im Verlauf eines Tages in dieselbe Stellung zum Mond, sondern erst in etwa 24 Stunden 50 Minuten. Deshalb dauern Flut oder Ebbe für jede Stelle nicht genau sechs Stunden, sondern etwa 6 Stunden 12,5 Minuten. Und aus diesem Grunde haben wir auch den höchsten Stand der Flut nicht zur Kulmination¹⁾ des Mondes, wie es theoretisch zu erwarten wäre, sondern einige Zeit nach dem Durchgang des Mondes durch den Meridian. Die Richtung



Schema der Gezeiten

des Wasserberges bildet also mit der Linie, welche die Mittelpunkte der Erde und des Mondes verbindet, einen Winkel.

Außerdem muß erwähnt werden, daß der Ablauf von Flut und Ebbe auch durch die Gestalt der Küstenlinien unserer Kontinente und die Reibung des Wassers gegen die Erdoberfläche beeinträchtigt wird. Die Verzögerung der Flut oder Ebbe bezeichnet man als den Gezeitenfaktor eines Hafens. Er beträgt manchmal einige Stunden.

Auch in der festen Erdrinde und in der Atmosphäre gibt es Flut und Ebbe, jedoch sind sie hier sehr gering.

¹⁾ Als Kulmination bezeichnet man den Durchgang eines Himmelskörpers durch den Meridian, also seine höchste oder tiefste Stellung am Himmel.

Durch den Einfluß der Gezeitenreibung erfolgte sowohl beim Monde als auch bei der Erde eine Bremsung ihrer Rotation um die Achse, wodurch wiederum die Entfernung zwischen beiden Himmelskörpern größer wurde. Diese Verlangsamung der Umdrehung war jedoch bei Erde und Mond nicht gleich groß, weil die Erde um ein Vielfaches größer ist als der Mond und deshalb mit größerer Kraft auf den Mond einwirkt.

Infolge der Flutwirkung, die sich durch die Anziehungskraft der Erde ergibt, verlangsamte der Mond die Umdrehung um die eigene Achse schneller als die Erde. Mit wachsendem Abstand von der Erde umkreiste der Mond unseren Planeten immer langsamer, wodurch wieder die Rotation des Mondes immer stärker gebremst wurde.

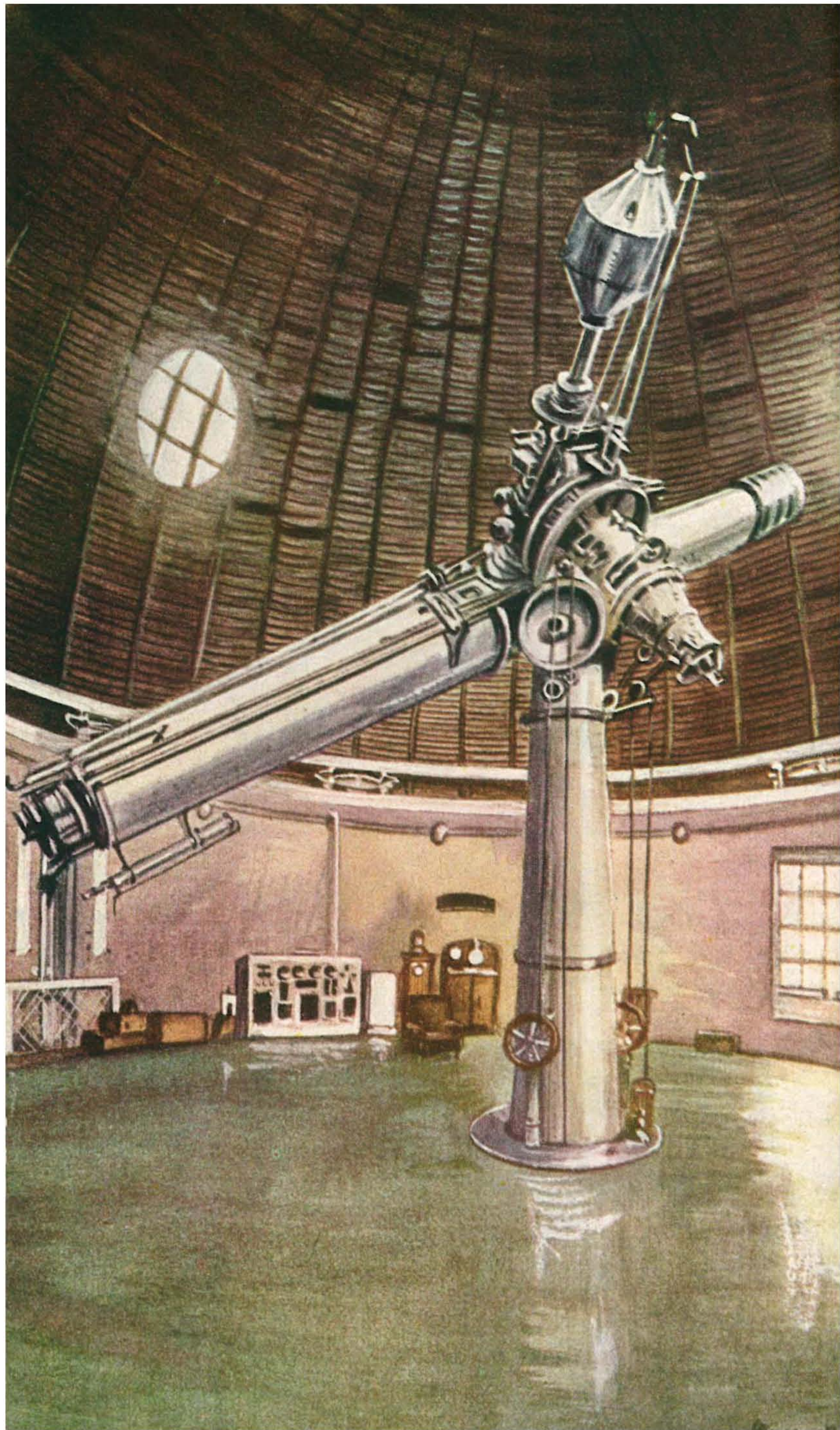
Gegenwärtig dauert eine Umdrehung der Erde um ihre Achse fast genau 24 Stunden. Aber es gab eine Zeit, in der die tägliche Drehung der Erde nur etwa fünf Stunden beanspruchte.

Noch viel langsamer als die der Erde wurde die Rotation des Mondes. Er vollbringt jetzt eine volle Umdrehung in $27\frac{1}{2}$ Tagen, das ist in der gleichen Zeit, in der er seinen Weg um die Erde zurücklegt.

Aus diesem Grunde wendet der Mond jetzt der Erde immer die gleiche Seite zu. Flut und Ebbe als Folgen der Anziehungskraft der Erde haben auf dem Monde ihr Ende gefunden. Doch auf der Erde haben wir jetzt noch die Gezeiten, wodurch ihre Rotation immer weiter gebremst und der irdische Tag immer länger wird.

Die Tafel zeigt einen Meteoritenregen.





Die Verlangsamung der täglichen Drehung der Erde ist aber so gering, daß der irdische Tag in einem Zeitraum von 2000 Jahren nur um 0,02 Sekunden länger wird. Diese Veränderung der Tageslänge können wir natürlich nicht wahrnehmen. Mehr als tausend Generationen müssen erst aufeinanderfolgen, ehe die Tagesdauer sich um eine Sekunde erhöht ¹⁾).

So werden viele Jahrtausende vergehen, und ständig wird der Einfluß von Flut und Ebbe die Drehung der Erde bremsen. Wie George Darwin meint, wird dieser Prozeß so lange andauern, bis der Mondmonat — die Umlaufzeit des Mondes um die Erde — und die tägliche Drehung der Erde in der Zeit übereinstimmen.

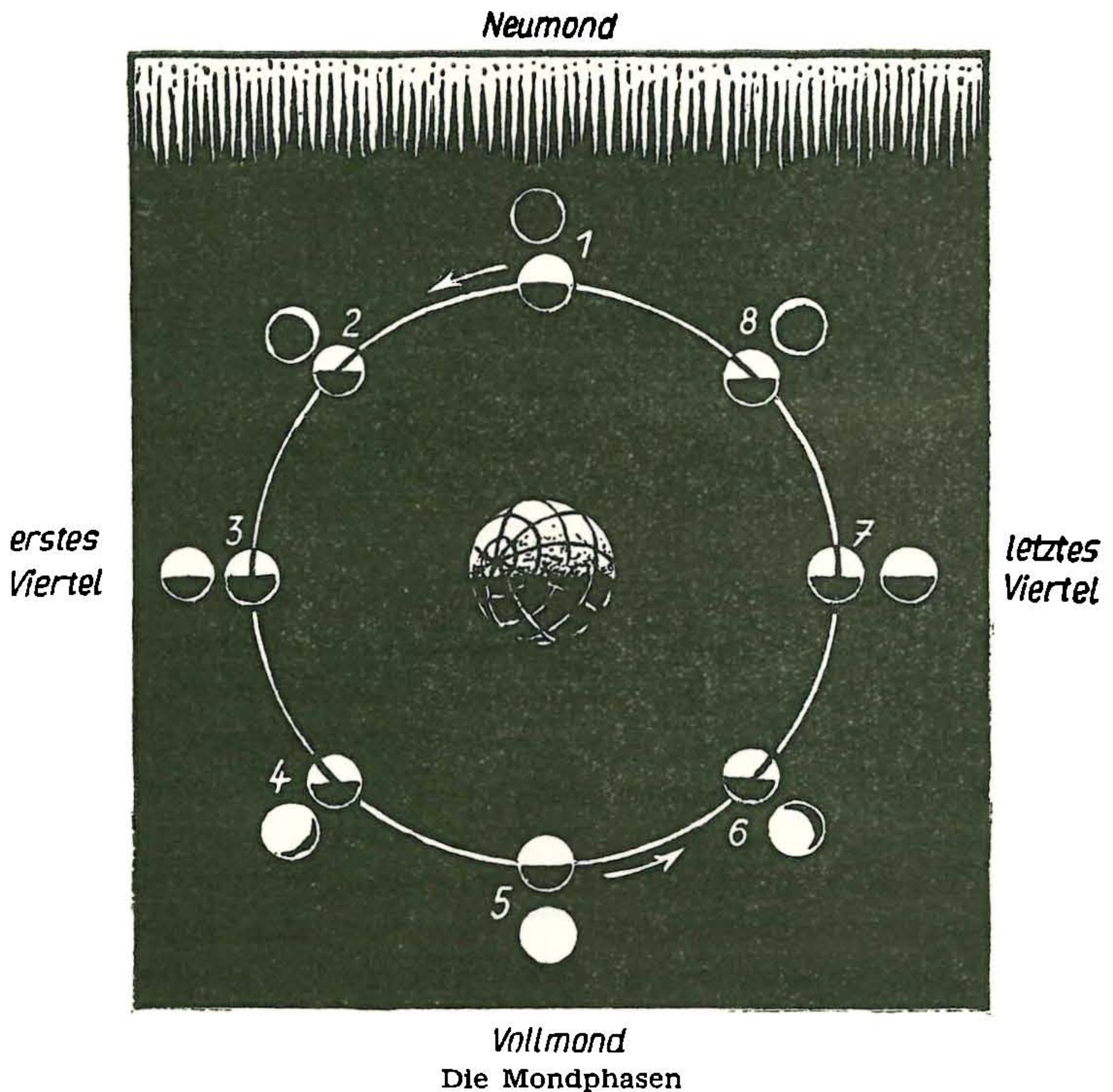
Ist dieser Zustand erreicht, werden Erde und Mond sich immer nur die gleiche Seite zukehren. Dann wird man nur von einer Seite unseres Planeten aus den Mond beobachten können, der Abstand zwischen Mond und Erde wird mindestens das Eineinhalbfache des heutigen Abstandes betragen, und eine Flutwirkung wird dann weder auf dem Mond noch auf der Erde in Erscheinung treten. Die beiden Weltkörper werden sich so bewegen, als ob sie durch einen starren Faden miteinander verbunden wären. Man könnte sie dann mit einem sich drehenden Tanzpaar vergleichen.

Weiter oben sagten wir einmal, die Tageslänge stelle eine konstante Größe dar. Jetzt ist uns klar, daß auch die Dauer des Tages veränderlich ist. Die Änderung dieser Größe geht jedoch so langsam vor sich und ist

*Die Tafel zeigt den Innenraum
einer Sternwarte.*

¹⁾ Wir können uns leicht ausrechnen, daß der Tag erst in 100 000 Jahren um eine Sekunde länger wird.

so gering, daß wir sie nicht einmal ungefähr messen und schon überhaupt nicht bemerken können. Erst vor wenigen Jahren wurde sie mit Hilfe besonderer Quarzuhren festgestellt.



Gegenwärtig bewegt sich der Mond um die Erde mit einer mittleren Geschwindigkeit von mehr als einem Kilometer in der Sekunde, also schneller als ein Artilleriegeschloß. Einen vollen Umlauf um die Erde vollzieht der Mond, wie schon erwähnt, in $27\frac{1}{2}$ Ta-

gen. In klaren Nächten schickt der Mond viel Licht zur Erde. Bei Vollmond erreicht die Leuchtkraft des Mondes die Größenklasse minus 12. Wie wir leicht berechnen können, ist er also um das $2,5^{18}$ fache heller als etwa ein Stern 6. Größe. Das Mondlicht ist aber nichts als das auf die Mondoberfläche fallende und von dieser zurückgeworfene Sonnenlicht. Der Begleiter der Erde strahlt, wie auch die übrigen Planeten, kein eigenes Licht aus; er wird nur von der Sonne beleuchtet. Da der Mond bei seiner Bewegung um die Erde verschiedene Lagen in bezug auf die Erde und die Sonne einnimmt, beobachten wir ihn entweder vollständig beleuchtet, als Vollmond, oder vollständig unbeleuchtet, als Neumond, oder aber wir sehen eine mehr oder minder beleuchtete Mondscheibe. Diesen Wechsel bezeichnet man als Mondphasen.

Der Mond hat Kugelform wie auch die Erde und stellt einen erkalteten Weltkörper dar. Der Durchmesser der Mondkugel ist etwas größer als ein Viertel des Erddurchmessers und beträgt 3476 Kilometer. Die Masse des Mondes ergibt etwa $\frac{1}{80}$ der Erdmasse; seine Dichte beträgt 3,3. Die Schwerkraft auf der Oberfläche des Erdbegleiters erreicht nur $\frac{1}{6}$ der Schwerkraft der Erde.

Infolge seiner geringen Masse und seiner deshalb auch geringeren Schwerkraft hat der Mond schon früh seine Lufthülle und sein Wasser verloren. Gegenwärtig weist der Mond praktisch überhaupt keine Atmosphäre auf. Wasser und Luft hatten also keine Zeit, auf dem Monde ausgleichende, nivellierende Arbeit zu leisten. Darum weist die Mondoberfläche ein stark gebirgiges Relief auf, und die

Mondberge stehen in ihrer Höhe nur wenig hinter den Bergen auf unserer Erde zurück.

Da auf dem Monde, übrigens auch auf dem Merkur, keine Lufthülle vorhanden ist, gibt es dort auch keine meteorologischen Erscheinungen. Wir würden weder Sturm noch Wind, weder Regen noch Schnee antreffen. Auf dem Begleiter unserer Erde herrscht ewige Stille. Auch der Himmel des Mondes ist unserm irdischen Himmel nicht ähnlich; er ist nicht blau, sondern schwarz.

Eine Besonderheit der Mondberge ist ihre Ringform. Sie sehen aus wie Zirkusanlagen oder wie Krater. Der bekannte Geologe und Professor der Moskauer Universität A. P. Pawlow, der viele Jahre hindurch die Mondoberfläche erforschte, nimmt an, daß sich die Krater durch Einwirkung innerer Kräfte des Mondes gebildet haben, also infolge einer irgendwann für den Mond anzusetzenden Zeit stürmischer vulkanischer Tätigkeit. Etwa die gleiche Meinung äußert auch Akademiemitglied G. W. Fessenkow.

Doch werden zur Frage nach den Ursachen der Entstehung der Mondkrater in der Wissenschaft zwei verschiedene Standpunkte eingenommen. Einige Wissenschaftler nehmen an, daß sich die Krater durch den Fall kosmischer Körper, Meteoriten, auf dem Mond gebildet haben, im Gegensatz zu jenen, die in den Kratern das Ergebnis einer heftigen, in ferner Vergangenheit liegenden vulkanischen Tätigkeit sehen, sie also als erloschene Vulkane betrachten.

Zur Bestätigung ihrer Ansichten über die Entstehung der Mondkrater stützten sich die Anhänger der vorhin genannten Ansicht auf das Vorhandensein ähnlicher Meteoritenkrater auf der Erde (Arizona, Ara-

bien, Estland, Sichote-Alin und andere). Die Anhänger der vulkanischen Theorie sehen ihre Ansicht bestätigt in der vulkanischen Natur der aus Asche und Lava bestehenden Gebirgsmassive des Mondes und in dem „genetischen Zusammenhang aller Elemente im Aufbau der Mondoberfläche“.

Man könnte die Anschauungen folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Krater haben sich durch den Fall von Meteoriten plötzlich gebildet und stellen nur Oberflächenerscheinungen dar, oder

2. die Bildung erfolgte in fortdauernden und mehrfach wiederholten Prozessen, die im Mond selbst verliefen, also durch mehrfache vulkanische Ausbrüche.

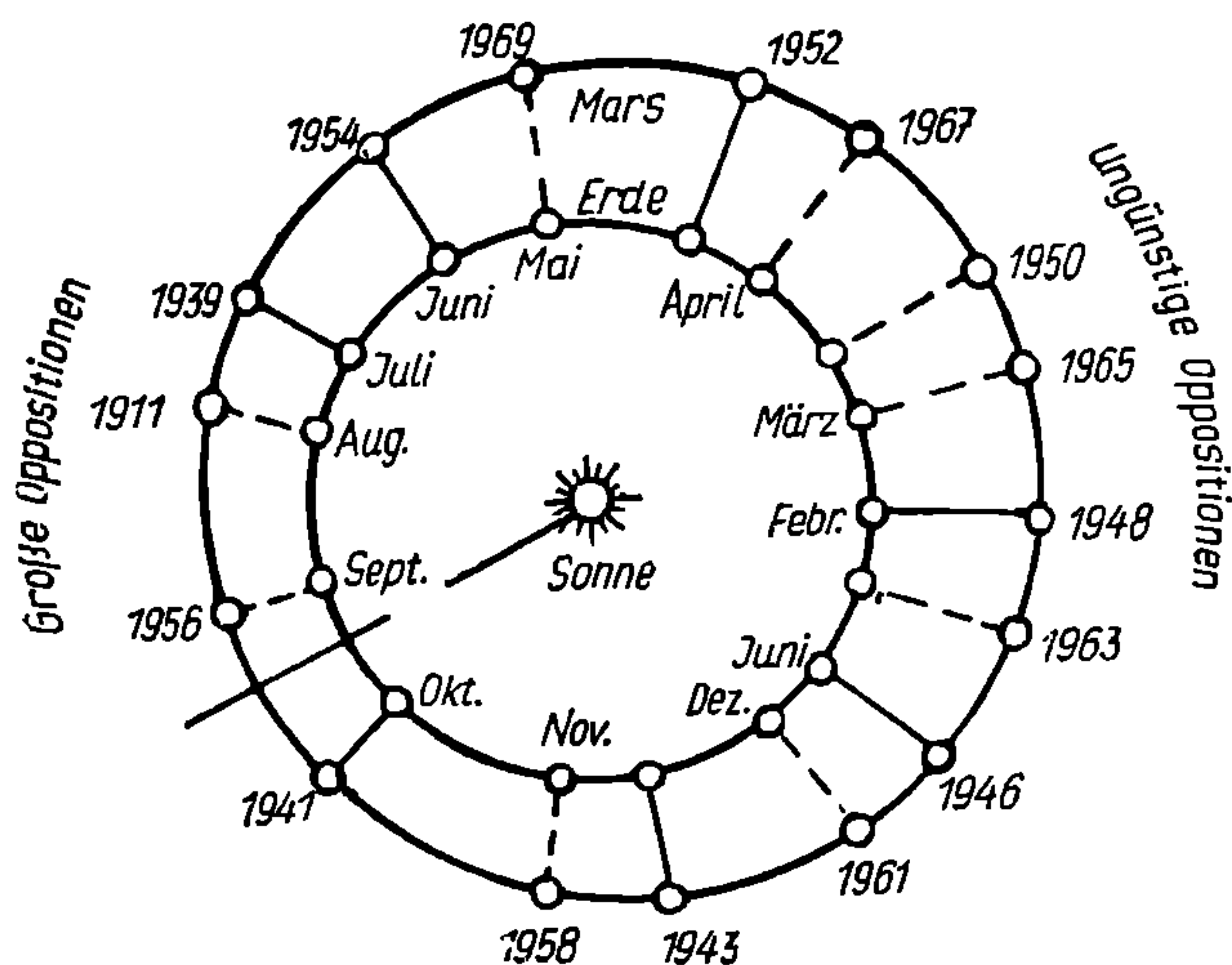
Die Entdeckung von Mondkratern mit mehreren konzentrischen Wellen spricht für mehrfache Ausbrüche von Lava und Asche aus einem Mittelpunkt her. Aber die Frage nach der Entstehung der Mondkrater ist damit noch nicht endgültig entschieden und wird in der Wissenschaft weiter erörtert.

Die auf dem Mond vorhandenen Bedingungen ergeben keine Existenzmöglichkeiten für eine Tier- und Pflanzenwelt. Der Mond stellt einen leblosen kosmischen Körper dar.

DER MARS UND SEINE BEWOHNBARKEIT

Der Planet Mars befindet sich in einer Entfernung von 228 Millionen Kilometern oder 1,5 astronomischen Einheiten von der Sonne; wir sehen ihn manchmal als einen rötlichen Stern, dessen Leuchtkraft die Größenklasse „minus zwei“ erreicht. Der Mars bewegt sich verhältnismäßig schnell durch die Sternbilder

des Tierkreises; schon wenn man ihn nur eine Woche lang beobachtet, kann seine Bewegung leicht festgestellt werden. Auch in den größten Teleskopen sehen wir die Marsoberfläche nur etwa so, wie wir in einem Feldstecher die Mondoberfläche sehen können.



Oppositionen des Mars

Deshalb waren die Beobachtungsergebnisse der Marsoberfläche unvollständig, und von den Forschern wurden häufig Ansichten geäußert, die sich widersprachen.

Schon immer wurde dem Planeten Mars großes Interesse entgegengebracht. Im Altertum gaben ihm die Menschen seinen Namen nach dem Kriegsgott, dem Lenker aller Schlachten und dem Urheber aller Kriegsnöte. Zu Ehren dieses Gottes wurden Tempel

errichtet und Opfer dargebracht, um sein Wohlbefinden zu erwerben und Erfolg im Leben zu haben. Die Krieger wandten sich an ihn und baten ihn um Hilfe und Sieg.

Heute ist uns bekannt, daß der Mars ein Planet ist genau wie unsere Erde, jedoch mit einem viel strengeren Klima. Der Mars hat einen Durchmesser von 6800 Kilometern. Er vollbringt eine Umdrehung um seine Achse etwa in der gleichen Zeit wie die Erde, und zwar in 24 Stunden 37 Minuten 26 Sekunden. Auf seiner Bahn um die Sonne bewegt sich der Mars mit einer mittleren Geschwindigkeit von 24,2 Kilometern in der Sekunde und benötigt für einen Umlauf genau 669 Marstage. In der Zeit also, in der er einen vollen Umlauf auf seiner Bahn um die Sonne zurücklegt, dreht er sich 669mal um seine eigene Achse. Auf der Erde vergehen in dieser Zeit 687 Tage, das heißt, die Erde dreht sich 687mal um ihre Achse. Das irdische Jahr ist demzufolge fast um die Hälfte kürzer als das Marsjahr; ein Jahr auf dem Mars ist nur um 43 irdische Tage kürzer als zwei Jahre auf der Erde.

Infolge der Ellipsenform der Marsbahn wechselt die Entfernung vom Mars zur Sonne im Bereich von 206 bis zu 249 Millionen Kilometern. In einem sehr weiten Bereich verändert sich seine Entfernung zur Erde, nämlich von 56 bis 400 Millionen Kilometern. Da sich die Erde auf ihrer Bahn schneller bewegt als der Mars, holt sie ihn jedesmal an irgendeiner Stelle seiner Bahn ein. Manchmal befindet sich hierbei die Erde zwischen Sonne und Mars genau dann, wenn dieser am nächsten an die Erde herankommt, wie es zum Beispiel am 23. Juli 1939 der Fall war, als sich der Mars in seiner Opposition in einer Entfernung

von etwa 57 Millionen Kilometern von der Erde befand. Das war sehr günstig für seine Beobachtung. Manchmal jedoch ist der Mars in seiner Opposition fast 100 Millionen Kilometer von der Erde entfernt.

Die Erforschung des Planeten Mars durch G. A. Tichow

Der bekannte sowjetische Astrophysiker G. A. Tichow, korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, befaßt sich schon seit vielen Jahren mit der Erforschung des Planeten Mars. Er begann damit im Jahre 1909 während der damaligen Marsopposition und führte die ersten Versuche zur objektiven Feststellung der Farbtöne auf der Marsoberfläche durch. Tichow verwendete Photoplatten, die mit Spezialfarbstoffen behandelt waren, um Aufnahmen des Planeten in besonders engen Gebieten des Spektrums zu erhalten. Hierzu benutzte er farbige Gläser, also Lichtfilter, vor den Photoplatten, um jedesmal nur eine bestimmte Strahlenart, zum Beispiel nur rote oder nur grüne Strahlen, durchzulassen und die übrigen abzuscheiden, durch die Filter zurückzuhalten und zu absorbieren.

Tichow führte seine Beobachtungen mit dem dreißigzölligen Refraktor in Pulkowo durch, dessen Objektiv so gebaut ist, daß sich in seinem Brennpunkt nur die wichtigsten Strahlen des gewöhnlichen Spektrums, also die roten, gelben, grünen und blauen Strahlen schneiden und eine scharfe Abbildung ergeben. Deshalb waren die Aufnahmen durch die Gebiete des Spektrums von rot bis grün begrenzt. Bei den Aufnahmen des Planeten im Hauptbrennpunkt des Fernrohres erhielt Tichow eine Abbildung von

etwa 1,5 mm Durchmesser. Durch Kombination verschiedener Lichtfilter bekam er eine Reihe von Marsaufnahmen in rotem, orangerotem, gelbem und grünem Licht.

Der schlechte Ausfall der Aufnahmen infolge der unruhigen Luft erwies sich als eine starke Behinderung. Trotzdem erhielt aber Tichow durch Ausnutzen der Zeitpunkte, an denen die Atmosphäre besonders ruhig war, eine Reihe qualitativ sehr guter Aufnahmen mit einer großen Anzahl feiner Einzelheiten.

Beim Vergleich dieser mit Hilfe verschiedener Strahlen erhaltenen Aufnahmen kam man zur Entdeckung neuer, bisher nicht bekannter Erscheinungen, die sich durch folgende drei „Tichow-Effekte“ wiedergeben lassen:

1. Der Unterschied in der Helligkeit der Meere und der Kontinente steigt mit dem Übergang von grünen zu gelben und zu roten Strahlen gleichmäßig an, so daß man bei Aufnahmen mit roten Lichtfiltern die „Meere“ ¹⁾ in Form dunkler Flecken auf dem hellen Hintergrund der „Festländer“ am deutlichsten erkennen kann.

2. Die Polkappen jedoch sind in Aufnahmen mit grünem Licht am deutlichsten und in größtem Umfange sichtbar. In gelben Strahlen treten sie weniger gut hervor, in orangeroten noch schlechter, und in roten Strahlen sieht man sie fast überhaupt nicht.

3. Die Schärfe der Einzelheiten auf der Marsscheibe wird mit Annäherung an den Scheibenrand geringer. Diese Verwischung der Einzelheiten tritt in Aufnahmen mit grünem Licht besonders deutlich und in

¹⁾ Genaueres über die Marsmeere und die Polkappen siehe weiter unten.

Aufnahmen mit rotem Licht am wenigsten in Erscheinung.

Aus diesen Feststellungen Tichows kann man folgern, daß die Kontinente rote Strahlen stark zurückwerfen und daß ihre rote Färbung deshalb unzweifelhaft eine reale Tatsache darstellt. Daß die Meere in grünen Strahlen am deutlichsten hervortreten, bestätigt auch die schon bei früheren Beobachtungen festgestellte grünliche oder bläuliche Färbung. Die Verringerung der Schärfe der Einzelheiten in der Nähe des Scheibenrandes bestätigt das Vorhandensein einer Atmosphäre.

Die Entdeckungen Tichows sind für die physikalische Erforschung des Planeten Mars von sehr großer Bedeutung. Außerdem sind sie ein Anreiz zu weiteren Forschungen.

Temperaturbedingungen auf dem Mars

Auf dem Mars ist es unzweifelhaft kälter als auf der Erde, da er weiter von der Sonne entfernt ist. Wie auf der Erde gibt es jedoch auf dem Mars einen Wechsel der Jahreszeiten mit der Reihenfolge Frühling, Sommer, Herbst und Winter.

Die mittlere Jahrestemperatur auf dem Mars liegt erheblich unter der mittleren Jahrestemperatur auf der Erde. Im Winter erreichen die Fröste auf dem Mars minus 70 Grad bis minus 80 Grad; aber mit Eintritt des Sommers steigt die Temperatur sehr beträchtlich an. In dieser Hinsicht erinnert das Marsklima in gewissem Maße an das Klima der nördlichen Tundragebiete, ist jedoch noch erheblich strenger.

Die Streuung der Sonnenstrahlen ist in der Marsatmosphäre infolge ihrer geringen Dichte weniger stark als in der erheblich dichteren Erdatmosphäre; deshalb können die Sonnenstrahlen fast unbeeinträchtigt auf die Marsoberfläche treffen, und es erfolgt trotz der großen Entfernung von der Sonne noch eine so erhebliche Erwärmung des Bodens, daß in den äquatorialen Gebieten die Temperatur um die Mittagszeit bis auf plus 10 Grad und an anderen Stellen, nämlich an den Marsmeeren, sogar noch weiter ansteigt.

Der Unterschied zwischen der Tages- und der Nachttemperatur ist auf dem Mars erheblich größer als auf der Erde. Auf Hochebenen und Gebirgsplateaus werden zwar auch bei uns im Laufe eines Tages große Temperaturschwankungen festgestellt. Auf einen heißen Tag folgt wohl eine so kalte Nacht, daß sogar das Wasser gefriert. Und doch kann das noch nicht mit dem verglichen werden, was auf dem Mars vor sich geht. So starke Schwankungen der täglichen Temperaturen wie dort können auf der Erde infolge ihrer dichten Atmosphäre gar nicht eintreten. Nach Ansicht des Professors der Leningrader Staatlichen Universität W. W. Scharonow könnte auf der Erde ein Klima, das dem auf dem Mars ähnlich ist, nur in hohen Gebirgen vorkommen, die 18 Kilometer über dem Meeresspiegel lägen und sich schon in der Stratosphäre befinden müßten. Solche Gebirge aber gibt es nicht. Das Marsklima unterscheidet sich also von dem irdischen durch eine niedrige Temperatur, ist viel strenger und weist Stratosphärencharakter auf. Zur Ermittlung der Temperaturen auf den Oberflächen der Planeten verwendet man gewöhnlich ein besonderes Gerät, das Thermo-Element. Es ist zur

Zeit so weit vervollkommnet, daß Temperaturänderungen von nur einem Milliontel Grad auf der Aufnahme­fläche des Geräts registriert werden.

Die Atmosphäre des Mars

Durch Beobachtungen wurde festgestellt, daß der Mars von einer Atmosphäre umgeben ist. Diese Atmosphäre ist erheblich dünner als die Lufthülle der Erde. Es gibt in ihr sowohl atmosphärische als auch Staubwolken; die ersteren bestehen wie auch auf der Erde aus Wasserdampf, die Staubwolken aus feinsten, festen Teilchen. Diese Staubwolken weisen eine gelbliche Färbung auf. In den Bereichen der Pole wurden Flecken in Gestalt weißer Segmente festgestellt, die man als Polkappen bezeichnet. Sie werden im Frühling und im Sommer kleiner und wachsen dann im Winter wieder zu riesiger Größe an. Das führte zu der Annahme, die Polkappen bestünden aus Schnee und Eis, die sich im Winter bilden und dann im Sommer abschmelzen. Außer den Polkappen werden auf der Marsoberfläche dunkle Flecken und einige andere Bildungen beobachtet.

Im Vergleich zur Erde hat der Mars eine viel geringere Masse, und deshalb erreicht seine Schwerkraft nur vier Zehntel von der Schwerkraft der Erde. Infolgedessen ist die zum Verlassen des Schwerefeldes erforderliche Geschwindigkeit der Moleküle der Marsatmosphäre nur etwa halb so groß wie die entsprechende Geschwindigkeit auf der Erde und beträgt nur 5 Kilometer in der Sekunde. Aus diesem Grunde hat sich ein erheblicher Teil der leichteren Gase aus der Marsatmosphäre verflüchtigt; nur eine sehr dünne Lufthülle ist geblieben.

Als Beweise für eine Lufthülle auf dem Mars führt Professor W. W. Scharonow folgende fünf Merkmale auf:

1. Beim Durchgang des Planeten Mars vor einem andern Stern bedeckt er zu einem gewissen Zeitpunkt den Stern durch seine Gashülle. Die vom Stern kommenden Lichtstrahlen werden gebrochen und weichen von ihrer ursprünglichen Richtung ab. Infolge dieser Erscheinung, die als Refraktion bezeichnet wird, verschwindet der Stern später hinter der Scheibe des Planeten und kommt früher wieder zum Vorschein, als es beim Fehlen einer Atmosphäre geschähe. Diese Tatsache ist einer der zuverlässigsten Beweise für das Vorhandensein der Marsatmosphäre. Sie tritt in Erscheinung, weil schon eine nach Dicke und Dichte geringe Luftschicht erhebliche Lichtbrechungen bewirkt.

2. Da in der Atmosphäre eine Lichtstreuung erfolgt, verbreiten sich Sonnenstrahlen von der beleuchteten Halbkugel des Planeten auch zur unbeleuchteten. So ergeben sich auf der Erde Morgen- und Abenddämmerung. Nach Sonnenuntergang kommen keine direkten Sonnenstrahlen mehr zu uns, und doch bleibt der Himmel noch lange Zeit hell, weil sich die Lichtstrahlen an den einzelnen Molekülen der Luft brechen und weit über die von der Sonne direkt beleuchtete Zone hinaus verbreiten; auf diese Weise entsteht auf der Erde die Dämmerung.

Bei Marsbeobachtungen erkennen wir die Dämmerung daran, daß sich die Grenze zwischen der beleuchteten und der unbeleuchteten Halbkugel des Planeten, die wir als Terminator bezeichnen, in die dunkle Zone hinein verschiebt, wodurch etwas mehr als der halbe Planet hell erscheint. Diese Grenze ist außer-

dem, wie jede Marsbeobachtung zeigt, nicht scharf, sondern weist einen allmählichen Übergang auf.

3. Die Atmosphäre auf dem Mars wird auch dadurch bestätigt, daß die Einzelheiten der Oberfläche des Planeten am Rand der Marsscheibe bei der Beobachtung nicht deutlich zu erkennen sind; diese Unschärfe ist die Folge davon, daß hier der Lichtstrahl auf dem Wege zu uns einen längeren Weg durch die Marsatmosphäre hat als die Strahlen, die von der Mitte der Planetenscheibe ausgehen.

4. Als ein Anzeichen für eine Lufthülle auf dem Mars sind auch Wolken oder Nebel anzusehen, durch welche die Atmosphäre an einigen Stellen undurchsichtig oder nur durchscheinend, das heißt getrübt wird. Das wird auf dem Mars in der Form beobachtet, daß einzelne Flecken oder andere Einzelheiten, die gewöhnlich sehr scharf und deutlich zu sehen sind, manchmal kaum wahrzunehmen sind und sogar verschwinden und von dunkleren Schichten überdeckt werden, die dieses Gebiet der Gashülle des Planeten ausfüllen. An einigen Stellen auf dem Mars bilden sich ausgesprochene Wolken in Form gelber oder weißer Flecke; auf dem Terminator erscheinen sie wie Vorsprünge.

5. Die Atmosphäre auf dem Mars wird außerdem durch die jahreszeitlich bedingten Veränderungen der Polkappen bestätigt. Schnee und Eis, die aller Wahrscheinlichkeit nach diese Flecken bilden, können nur aus Dämpfen entstanden sein, die in der den Planeten umgebenden Gashülle enthalten sind.

Wir können also mit Bestimmtheit sagen, daß auf dem Mars eine Atmosphäre vorhanden ist. Was jedoch das Vorhandensein von Sauerstoff in dieser

Atmosphäre betrifft, so sprechen alle Beobachtungen dafür, daß seine Menge höchstens ein Zehntel des Sauerstoffgehalts unsrer Erdatmosphäre beträgt.

Die auf dem Mars beobachteten Wolkenbildungen bewegen sich manchmal mit sehr großen Geschwindigkeiten. Diese Beobachtung ist insofern interessant, als sie die Möglichkeit gibt, Richtung und Geschwindigkeit von Luftströmungen auf dem Mars festzustellen. Es hat sich gezeigt, daß sich die Wolken oft in einer Höhe von etwa 30 Kilometern befinden und daß sie in ihrer Bewegung bestimmte gekrümmte Bahnen einhalten, wodurch die Annahme möglich wird, daß die Winde auf dem Mars durch die Achsendrehung des Planeten von der gradlinigen Richtung abgelenkt werden und in der Marsatmosphäre starke Wirbel bilden.

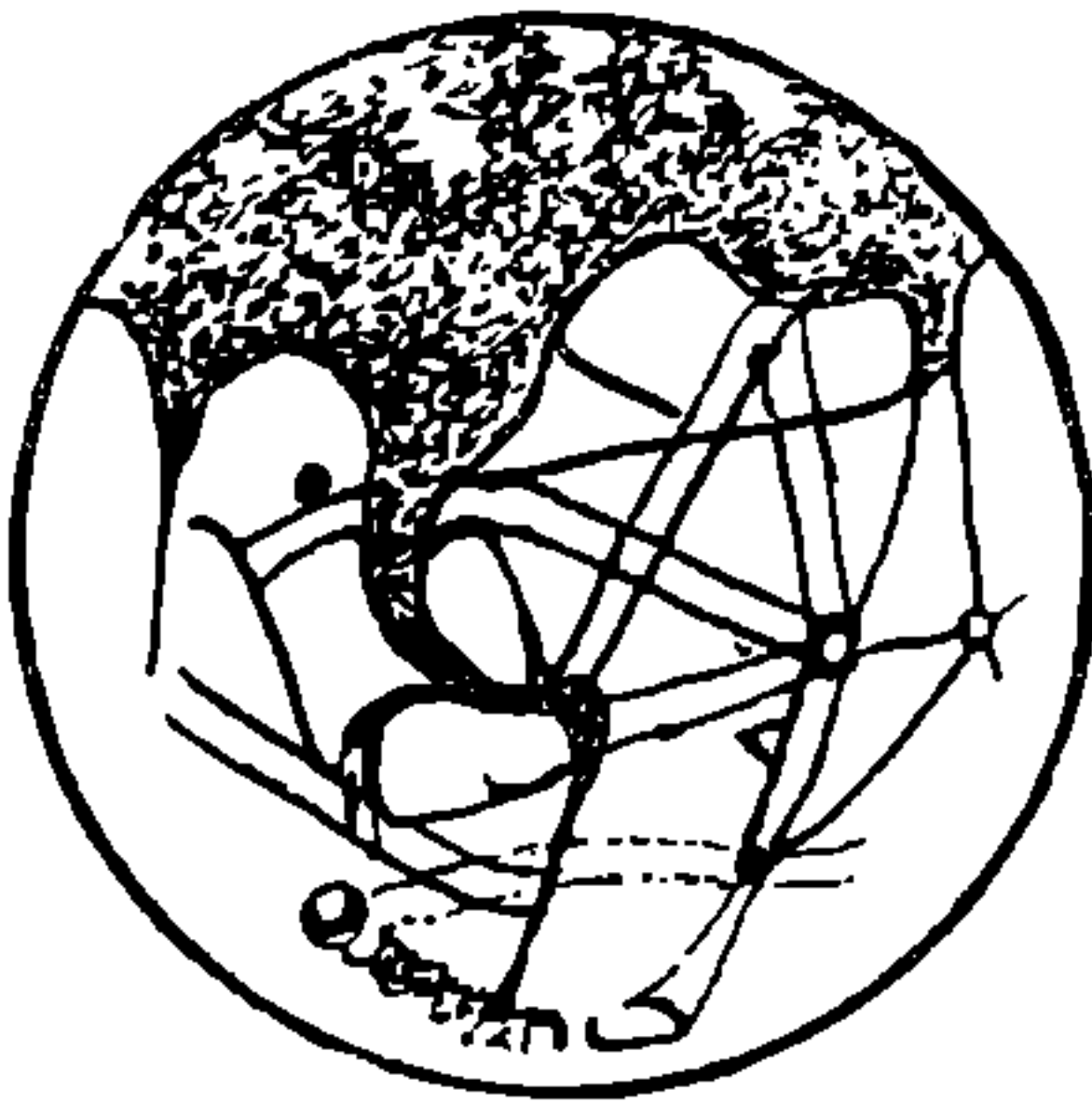
Die Marskanäle

Der italienische Astronom Schiaparelli beobachtete den Mars im Jahre 1877 während der großen Opposition und zeichnete eine Karte des Planeten, in der er die dunklen Flecke von graublauer Färbung, die sich stark von den rötlichen Festländern unterschieden, je nach ihrer Größe als Meere ¹⁾, Seen und Sümpfe und die rötlichen Flecken als Kontinente und Inseln bezeichnete. Diese Kontinente machten auf der Marskarte von Schiaparelli etwa drei Viertel der Oberfläche des Planeten aus, während ein Viertel für die Meere blieb. Er meinte außerdem gesehen zu haben, daß die Meere miteinander durch fast gradlinige Kanäle verbunden seien, die Entfernungen bis

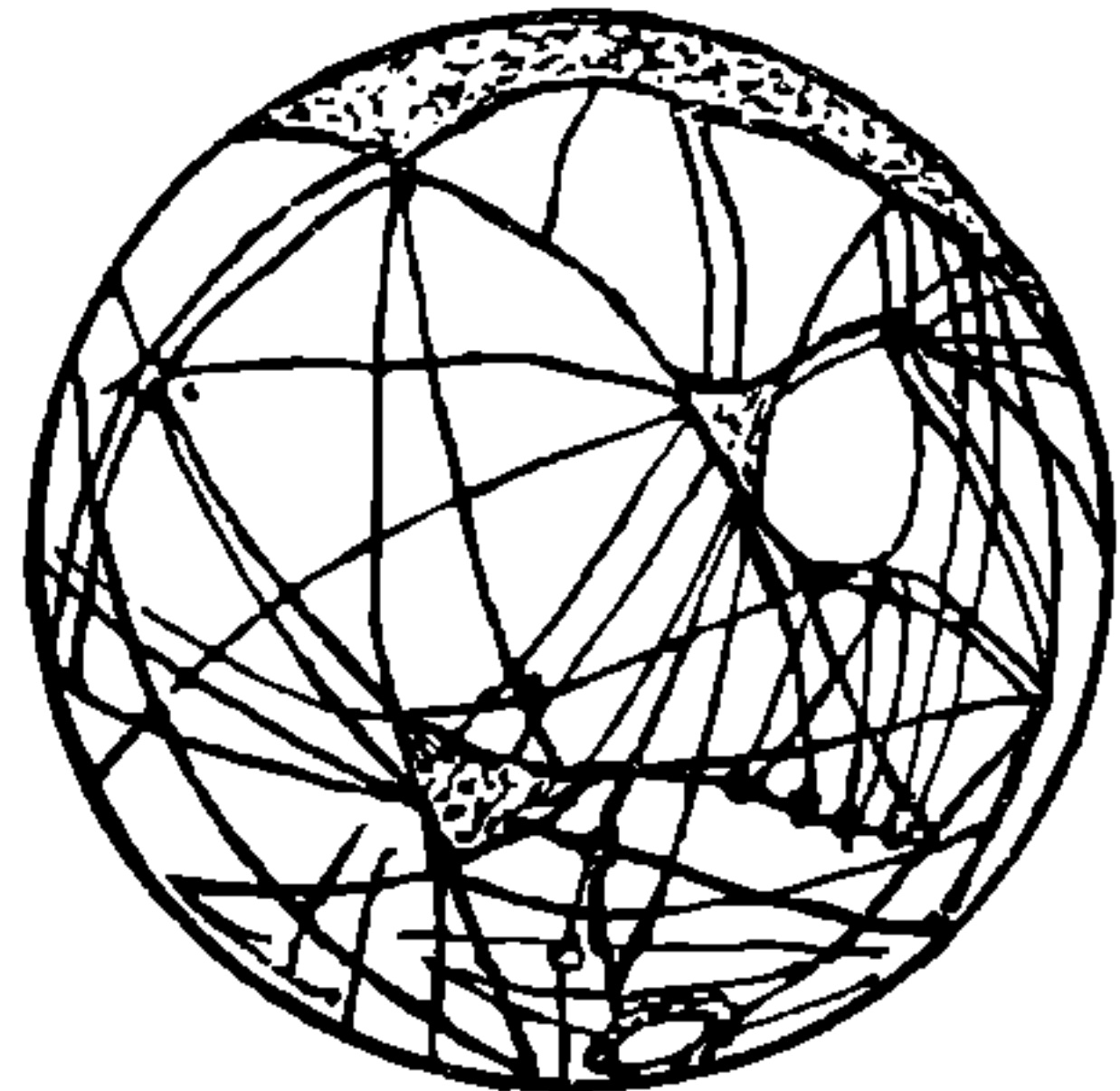
¹⁾ Schiaparelli nahm jedoch keineswegs an, daß die dunklen Flecken mit Wasser gefüllte Meere darstellen.

zu 4000 Kilometern überbrücken und eine Breite bis zu 300 Kilometern haben.

Schiaparelli entdeckte 113 Kanäle; Lowell hat etwa 700 Kanäle festgestellt. Die Entdeckung der gerad-



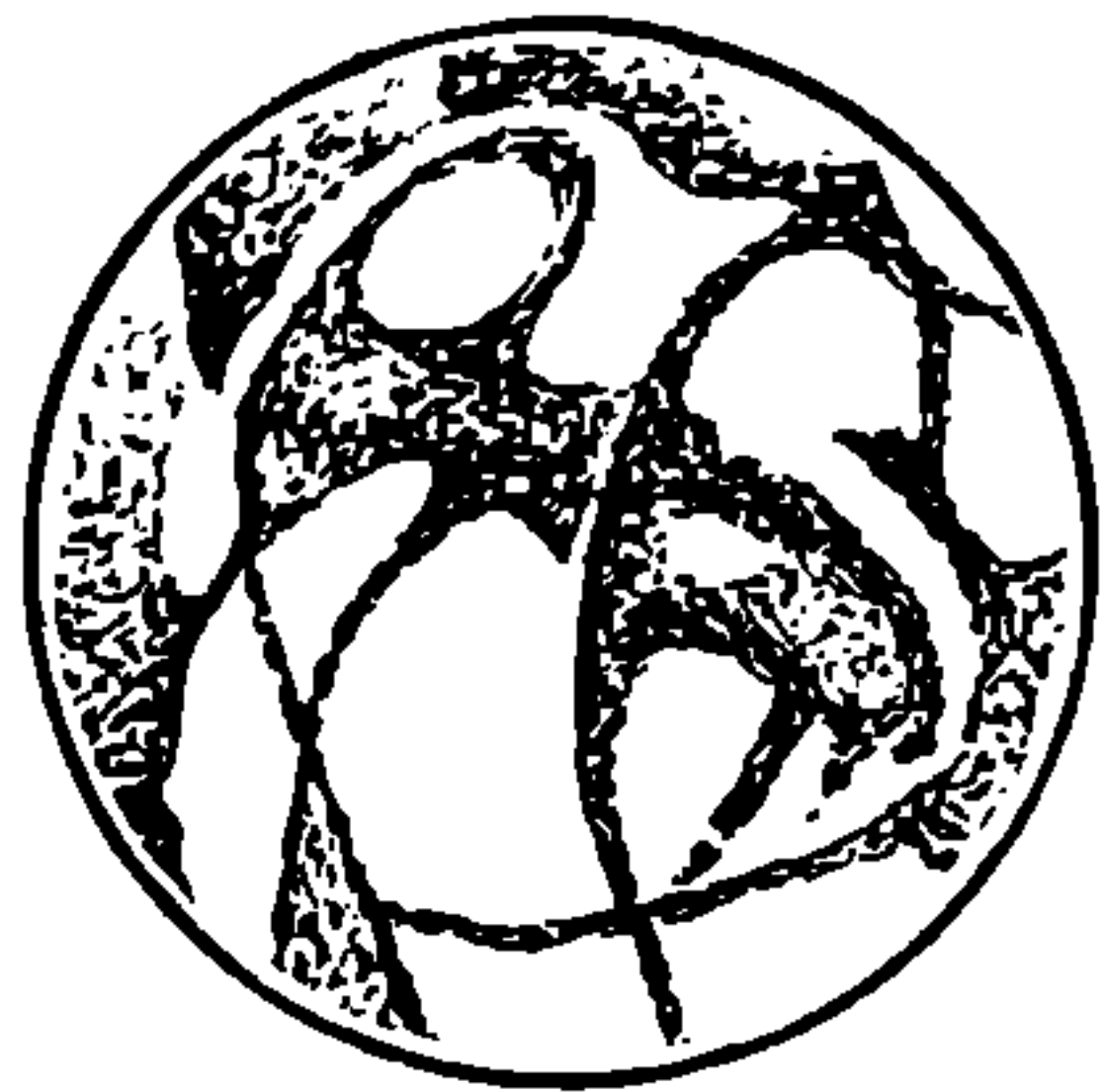
n. Schiaparelli



n. Lowell



n. Antoniadi

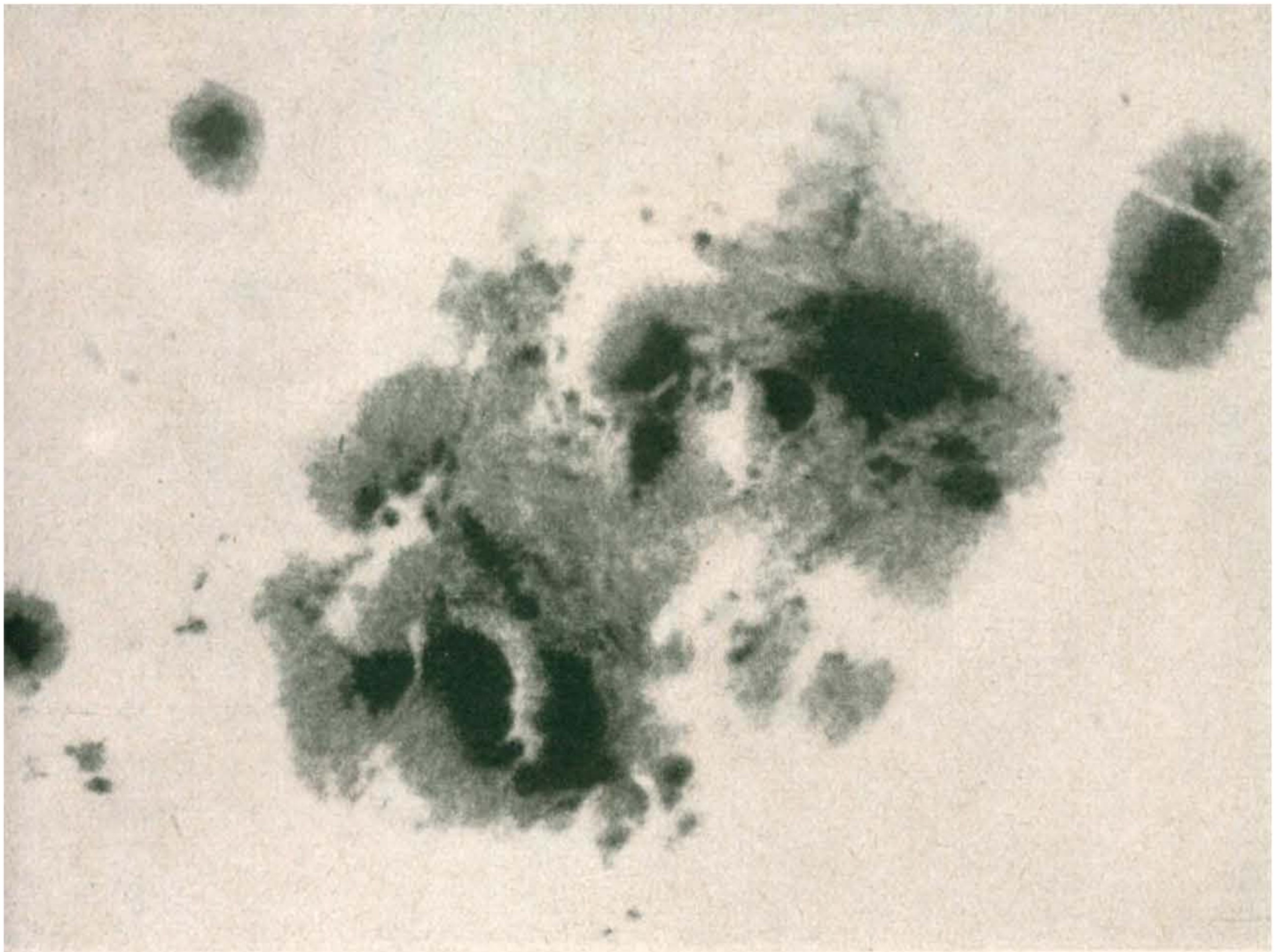


n. Tichow

Die „Marskanäle“

linigen Kanäle führte zu verschiedenen Vermutungen und Annahmen, unter anderem zu der, daß die Kanäle von vernunftbegabten Wesen gebaut worden sein könnten, die den Planeten bewohnen. Sogar

Die Tafel zeigt oben die große Sonnenfleckengruppe vom 17. 5. 1951, unten Protuberanzen bei einer totalen Sonnenfinsternis.



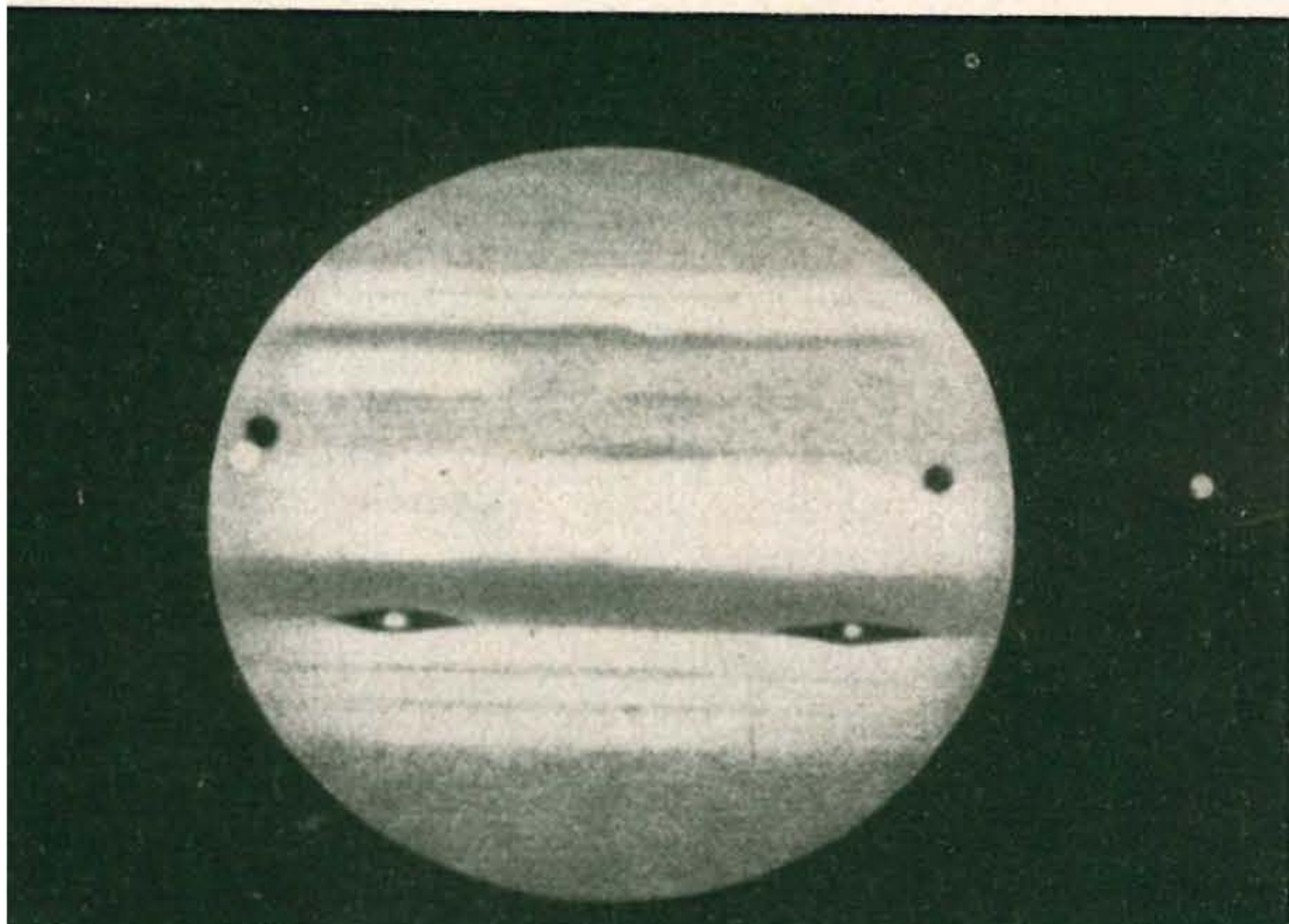
Sonnenflecken am 17. Mai 1951; Aufnahme des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam

Protuberanzen, gesehen bei einer totalen Sonnenfinsternis





Zunehmender Mond
im astronomischen um-
kehrenden Fernrohr



Jupiter am 18. April
1920; auf der Scheibe
links Trabant II und
Schatten von IV,
rechts Schatten von
II; außerhalb der
Scheibe I

Erzählungen und Romane über Marsmenschen und über ihr Leben auf dem Mars sind erschienen. Allgemein bekannt geworden ist zum Beispiel der Roman von A. N. Tolstoi „Aelita“.

Die Masse des Planeten Mars beträgt nur ein Zehntel der Erdmasse, ist jedoch größer als die des Mondes. Die Schwerkraft ist also auch größer als die des Mondes, und deshalb ist auf dem Mars eine Atmosphäre aus Sauerstoff, Stickstoff und anderen schweren Gasen möglich. Der Mars kann seine feste Rinde erhalten und ein Stadium seiner Entwicklung, in dem sich gegenwärtig unsere Erde befindet, schon früher erreicht haben; beim Monde war dieses Stadium offenbar noch früher eingetreten. Man kann also sagen, daß der Mars im Vergleich zum Mond jung ist, doch im Vergleich zu unserer Erde ein schon gesetztes Alter aufweist.

Auf dem Mars hat der Wind seit sehr langer Zeit seine nivellierende Wirkung ausgeübt; die Oberfläche des Planeten ist ausgeglichen worden, und deshalb findet man auf dem Mars keine hohen Berge. Der Mond ist zwar älter als der Mars, hat jedoch infolge seiner geringen Masse schon früh Wasser und Luft verloren, so daß diese nicht nivellierend einwirken konnten, und deshalb finden wir auf dem Monde hohe Berge. Da der Mars im Vergleich zur Erde aber eine geringere Masse hat, verliert er die Wasserdämpfe in der Atmosphäre schneller an den Weltraum als sie.

Im Gegensatz zu den Ansichten von Schiaparelli und Lowell nahmen andere Astronomen an, daß die sogenannten Marsmeere flache, jedoch weite Senken
Die Tafel zeigt oben den Mond im Alter von 10 Tagen, unten den Jupiter mit zwei Trabanten.

darstellen, in denen im Frühling und im Sommer das Schmelzwasser von den Schneekappen der Pole zusammenfließt. Die beobachtete Veränderung in der Färbung der Meere von grünlichen bis zu braunen Tönen schreiben sie der Abhängigkeit vom Wechsel der Jahreszeiten zu und nehmen an, daß eine hier im Frühling und im Sommer entwickelte Pflanzenwelt zum Herbst ihre frische Farbe verliert und vergilbt.

Akademienmitglied G. W. Fessenkow aber kommt in einer kürzlich veröffentlichten Abhandlung zu dem Schluß, daß der Mars überhaupt keine einigermaßen größeren Gewässer mit Wasserflächen von hundert oder sogar von einigen zehn Metern im Durchmesser aufweise.

Auch weitere Forschungen der letzten Jahre führten zu dem Ergebnis, daß die Annahme von Kanälen auf dem Mars nicht begründet ist. Die neuesten Daten weisen eher darauf hin, daß auf dem Mars überhaupt keine geradlinigen Kanäle vorhanden sind. Statt dessen wurden Reihen oder Ketten einer großen Anzahl dunkler Bildungen von verschiedenen Formen und Größen beobachtet, die bei der Betrachtung durch kleinere Fernrohre offenbar zusammenfließen und den Eindruck geradliniger Kanäle ergeben. Einige dieser Kanäle sind von Professor G. A. Tichow und seinen Assistenten in Pulkowo photographiert worden.

G i b t e s L e b e n a u f d e m M a r s ?

Woraus könnte man auf Leben auf dem Mars schließen?

Der Mars hat eine feste Rinde und weist Temperaturen auf, bei denen ein Leben noch möglich ist. In den polnahen Gebieten entsteht eine verhältnismäßig dünne Schnee- oder Eisdecke, die im Sommer ab-

schmilzt. Demzufolge gibt es auf dem Mars mindestens im Sommer gewisse Wassermengen in flüssigem Zustand. Dort kann also auch ein Wasserkreislauf vorliegen.

Der Mars hat eine Lufthülle, die weniger dick und auch weniger dicht ist als die Erdatmosphäre und sich auch in ihrem Gemisch der verschiedenen Gase von der Lufthülle der Erde unterscheidet.

Der Sauerstoffgehalt in der Marsatmosphäre beträgt, wie schon gesagt wurde, nur etwa ein Zehntel im Vergleich zum Sauerstoffgehalt der Erdatmosphäre. Etwa im gleichen Verhältnis wie auf der Erde sind in der Marsatmosphäre Wasserdämpfe enthalten. Im ganzen ist aber die Lufthülle des Mars selbst in ihren unteren Schichten so dünn, daß sie mehr unserer irdischen Stratosphäre ähnlich ist, und das Klima insgesamt weist einen scharf ausgeprägten trockenen, wüstenähnlichen Charakter auf.

Für unsere Frage ist sehr wichtig, daß auf dem Mars mit dem Wechsel der Jahreszeiten zugleich eine Änderung der Färbung in den Gebieten der dunklen Flecken, der sogenannten Meere, auffällt. Im Sommer weisen diese Stellen bläuliche und grünliche Farbtöne auf, mit Eintritt des Winters werden sie blasser und nehmen eine gelbliche und später eine braune Färbung an.

Dieser Wechsel in der Färbung der Marsmeere führt uns zu der Annahme, daß auf dem Mars eine Pflanzenwelt vorhanden sei, die sich im Frühling und im Sommer entwickle und eine grüne Pflanzendecke bilde, im Herbst und Winter jedoch absterbe, wobei sie erst gelb und dann braun werde. Es ist aber äußerst schwierig, solche Vermutungen zu überprüfen und zu bestätigen.

Es ist nachgewiesen, daß sich die Pflanzen nicht so sehr aus dem Boden als von der Luft ernähren und daß die grüne Färbung unserer irdischen Pflanzen, die durch das Chlorophyll hervorgerufen wird, nicht nebensächlich, sondern für die Pflanzen notwendig ist. Durch das Chlorophyll in den grünen Blättern assimilieren die Pflanzen die in der Atmosphäre enthaltene gasförmige Kohlensäure. In den Pflanzenblättern wird die Kohlensäure zu Kohlenstoff. Der Kohlenstoff dient dem Aufbau des Pflanzenkörpers. Dagegen geben die Pflanzen Sauerstoff an die Luft ab.

Die Leistung der grünen Pflanzenblätter würdigte der russische Gelehrte K. A. Timirjasew mit folgenden Worten: „Geben wir dem besten Koch beliebig viel frische Luft, beliebig viel Sonnenlicht und einen ganzen Strom reinen Wassers und verlangen von ihm, er solle daraus Zucker, Stärke, Fette und Korn herstellen, so wird er annehmen, wir wollten ihn verspotten. Aber gerade dies, so phantastisch es dem Menschen erscheint, geht in den grünen Pflanzenblättern ununterbrochen vor sich.“

Die Pflanzen liefern nun den Tieren nicht nur den zum Atmen nötigen Sauerstoff, sondern auch die Nahrung. Wenn es auf der Erde keine Pflanzen gäbe, könnten weder Menschen noch Tiere existieren.

Wie kann man nun feststellen, ob es auf dem Mars solche Pflanzen gibt wie auf unserer Erde? Wie könnte man ergründen, ob die sommerliche, grünliche Färbung der Marsmeere von dem gleichen wichtigsten Farbstoff herrührt wie das Grün unserer Pflanzen, dem Chlorophyll? Es müßte nachgewiesen werden, daß die sogenannten Marsmeere die Son-

nenstrahlen in ähnlicher Weise zurückwerfen wie unsre irdische Pflanzendecke.

Mit dieser Frage haben sich viele Wissenschaftler befaßt. Besonders arbeitete daran der wissenschaftliche Sekretär des Komitees für Meteoriten bei der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, E. L. Krinow. Und nun hat der Vergleich der Rückstrahlung durch unsre irdischen Pflanzen und durch die Marsmeere gezeigt, daß sie nicht voll übereinstimmen.

G. A. Tichow erklärt die Unterschiede damit, daß die Pflanzen infolge des strengen Marsklimas sich vor übermäßigen Wärmeverlusten schützen und darum ihre Rückstrahlungsfähigkeit infraroter Strahlen nach Möglichkeit vermindert haben, die für die Kraft der Sonnenstrahlung entscheidend sind. Wenn man außerdem die weitgehende Fähigkeit der Organismen berücksichtigt, sich allmählich an langsam sich ändernde Bedingungen der Umwelt anzupassen, können wir ganz gewiß nicht mit genügender Begründung die Möglichkeit von der Hand weisen, daß sich auf dem Mars in irgendeiner Form ein Leben erhalten habe, das irgendwann in ferner Vergangenheit einmal in voller Blüte stand.

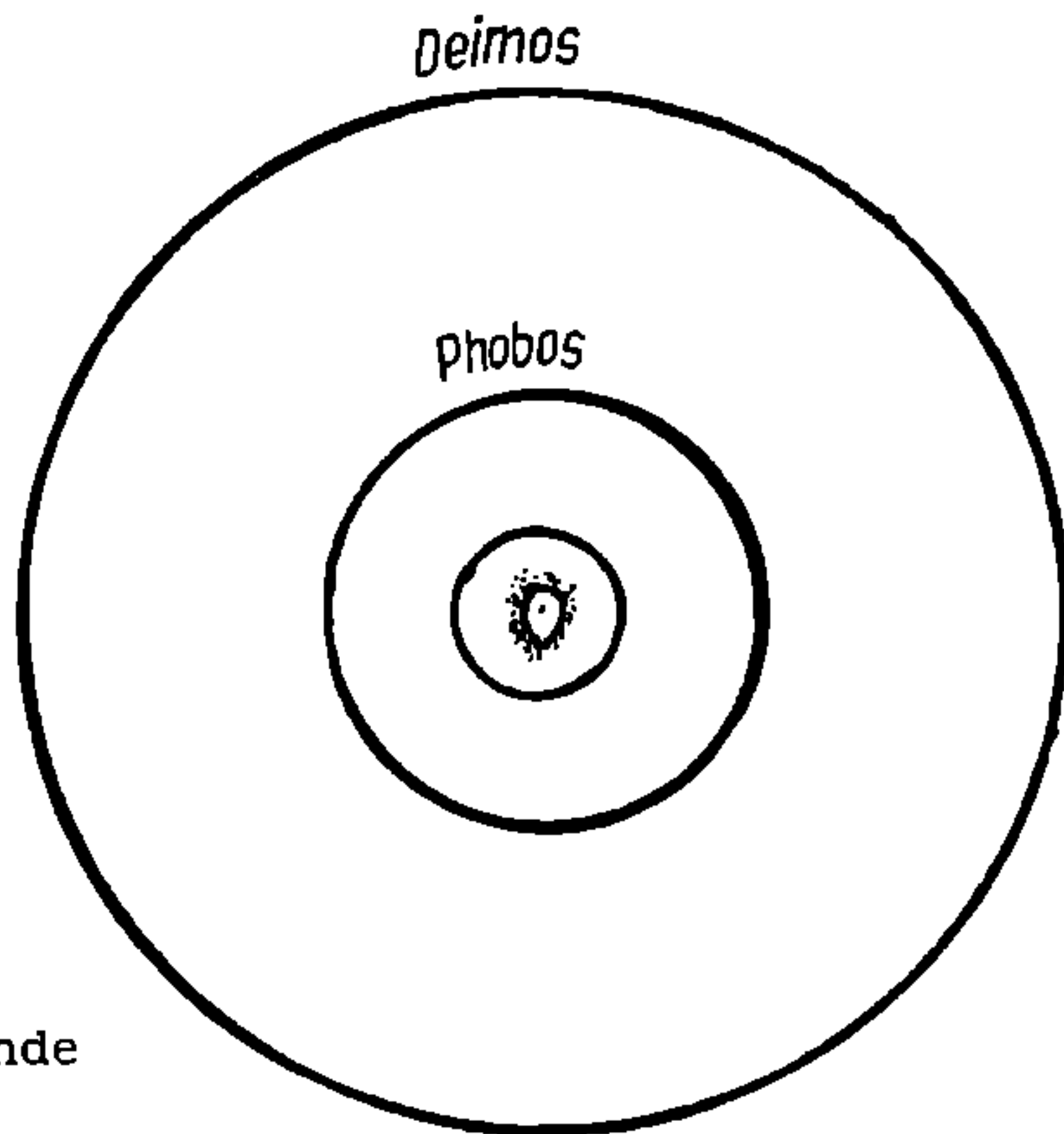
Die auf dem Mars gegebenen Bedingungen unterscheiden sich natürlich erheblich von den irdischen; sie sind viel strenger und ungünstiger für das Leben. Trotzdem können sie das Dasein von irgendwelchen Lebensformen ermöglichen, die sich der auf diesem Planeten gegebenen Umwelt angepaßt haben.

Für uns, die Bewohner der Erde, wären diese Bedingungen auf dem Mars wenig günstig. Wenn wir einen Erdbewohner plötzlich auf den Mars brächten, könnte er dort wohl eine gewisse Zeit, aber nur in einem Taucheranzug leben und müßte dazu über

einen Sauerstoffvorrat zum Atmen verfügen. So wie er ist, würde der Mars dem Umsiedler als sehr ungünstig und für einen ständigen Aufenthalt wenig geeignet erscheinen.

Die Marsmonde und die Besonderheiten ihrer Bahnen

Während der großen Opposition im Jahre 1877 wurden mit Hilfe eines großen Refraktors zwei Mars-



Bahnen der Marsmonde

begleiter entdeckt. Diese Marsmonde sind so klein, daß sie in den stärksten Teleskopen nur als winzige Punkte erscheinen. Der dem Mars nähere Begleiter hat einen Durchmesser von etwa fünfzehn Kilometern, der des zweiten Marsmondes beträgt nur etwa acht Kilometer. Der größere Marsmond befindet sich in einer Entfernung vom Mars, die $\frac{1}{65}$ der Entfernung des Mondes von der Erde beträgt; sein Abstand zur Marsoberfläche ist also etwa 5900 Kilo-

meter. Der zweite Marsmond ist 23 000 Kilometer von der Marsoberfläche entfernt, also etwa $\frac{1}{17}$ der Entfernung des Mondes von der Erde.

Die Marsmonde wurden mit Namen zu Ehren des alten römischen Kriegsgottes Mars benannt; den ersten nannte man Phobos (Furcht), den zweiten Deimos (Schrecken). Phobos vollführt einen Umlauf um den Mars in der kurzen Zeit von 7 Stunden 38 Minuten, Deimos braucht 30 Stunden 14 Minuten.

Trotz seiner geringen Entfernung müßte Phobos, wenn er von der Marsoberfläche aus mit unbewaffnetem Auge beobachtet würde, in einem Durchmesser erscheinen, der nur ein Drittel des Monddurchmessers ausmacht.

Phobos ist dadurch interessant, daß er der einzige der uns bisher bekannten Begleiter mit einer Umlaufzeit um den Planeten ist, die kürzer ist als die tägliche Drehung des Planeten selbst. Für einen Beobachter auf dem Mars würde sich also Phobos in Gegenrichtung zum Sternenhimmel bewegen. Er geht im Osten unter und erscheint im Westen nach $5\frac{1}{2}$ Stunden wieder.

Die Marsmonde haben einen außerordentlich schnellen Phasenwechsel; bei jedem Vollmond gibt es eine Mondfinsternis, und der Beobachter auf dem Mars würde sie nie als volle Scheibe sehen wie wir den Begleiter unserer Erde, wenn wir Vollmond haben.

Infolge der Nähe zum Mars sind Phobos und Deimos einer erheblichen Flutwirkung ausgesetzt. Da die Rotation um die eigene Achse beim Deimos langsamer ist als beim Planeten, muß der Radius der Deimosbahn größer werden. Phobos jedoch rotiert schneller als der Planet, und deshalb wird sein Bahnradius immer kleiner. Man kann also annehmen, daß in der

Vergangenheit Deimos noch näher zum Mars und Phobos weiter von ihm entfernt war, jedoch nicht weiter als um sechs Radien des Planeten.

JUPITER, EIN RIESENPLANET

In der Reihenfolge ihrer Entfernung von der Sonne kommt nach dem Mars der Planet Jupiter. Sein mittlerer Sonnenabstand beträgt etwa 778 Millionen Kilometer, das heißt mehr als fünf astronomische Einheiten. Er befindet sich also fünfmal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde.

Der Jupiter ist der größte Planet unseres Sonnensystems; er hat einen Durchmesser von etwa 142 000 Kilometern, und sein Volumen macht das 1345fache des Volumens unserer Erde aus. Deshalb können wir auch mit Hilfe kleiner Fernrohre, die die beobachteten Körper um das 50- bis 60 fache heranbringen, diesen Planeten etwa so sehen, wie wir den Mond mit unbewaffnetem Auge betrachten können; seine Helligkeit erreicht die Größenklasse minus 2,5.

Beim Jupiter hat man eine starke Abplattung der Pole festgestellt, die sogar bei Beobachtungen in kleinen astronomischen Fernrohren sichtbar ist. Sie beträgt $\frac{1}{16}$, das heißt sein Poldurchmesser ist um $\frac{1}{16}$ kleiner als der äquatoriale Durchmesser.

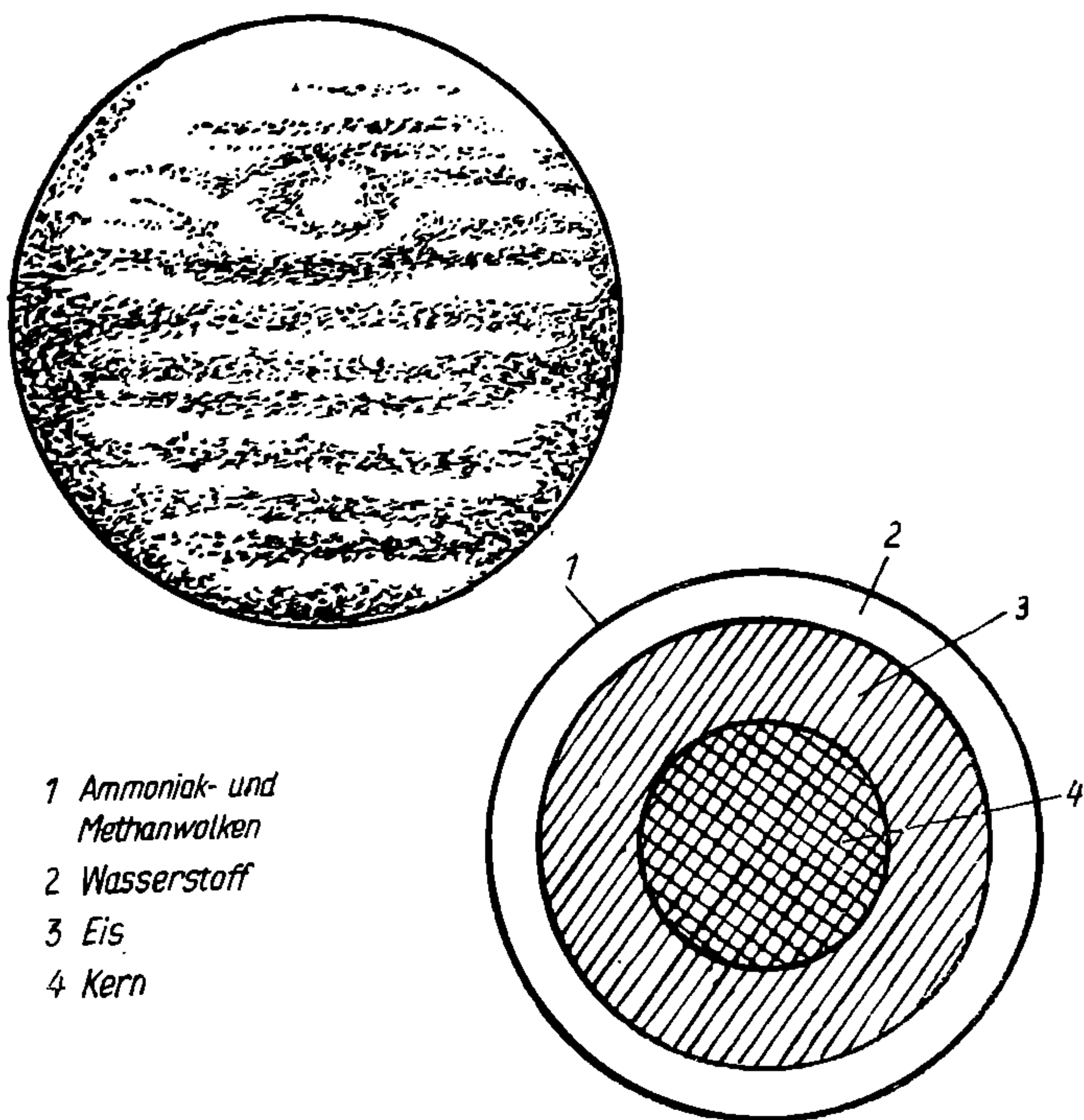
Zusammen mit allen seinen Begleitern umkreist Jupiter die Sonne mit einer mittleren Geschwindigkeit von etwas mehr als 13 Kilometern in der Sekunde und braucht für einen Umlauf um die Sonne etwa 12 Erdenjahre. Dieses bedeutet, daß ein Jahr auf dem Jupiter zwölfmal so lange dauert wie ein Erdenjahr. Da die Drehachse des Jupiters fast senk-

recht zu seiner Bahnebene liegt, gibt es auf ihm keinen scharf abgegrenzten Wechsel der Jahreszeiten wie auf der Erde oder auf dem Mars; in allen Breiten ist beim Jupiter das ganze Jahr hindurch der Tag ebenso lang wie die Nacht, was sonst auf keinem anderen Planeten des Sonnensystems beobachtet wird.

Die Periode der täglichen Drehung beträgt beim Jupiter etwas weniger als zehn Stunden, genauer neun Stunden fünfzig Minuten. Infolge der schnellen Rotation weist Jupiter eine sehr geringe Rotationsstabilität auf. Wenn sich seine Rotationsgeschwindigkeit um das Anderthalbfache bis Doppelte erhöhen würde, würde der Planet seine Stabilität verlieren und in Stücke auseinanderfliegen.

Die Dichte des Planeten beträgt 1,3. Seine Masse macht das 317fache der Erdmasse aus. Deshalb ist seine Anziehungskraft sehr groß; dadurch kann dieser Planet auch sehr leichte Gase festhalten. Beobachtungen zeigen, daß in der mächtigen kalten Gaschicht um den Jupiter in großen Mengen Ammoniakgas und Methan enthalten sind, also Gase, die bekanntlich bei der Erzeugung des Leuchtgases auftreten. Das Vorhandensein dieser Gase weist darauf hin, daß in der Jupiteratmosphäre freier Sauerstoff fehlt. Sonst würde diese Gasmischung beim ersten Einflug eines Meteoriten in die Jupiteratmosphäre explodieren, und man muß doch annehmen, daß auf diesen riesigen Planeten viele Meteore niedergehen. Auf dem Jupiter werden Wolken beobachtet, die ihre Form und ihren Platz ändern wie die Wolken der Erde. Außer diesen Wolken wurden jedoch auch einige ständige Bildungen festgestellt, der sogenannte

Rote Fleck von ovaler Form und gewisse dunkle Streifen. Einige Wissenschaftler sind der Meinung, daß diese beiden unveränderlichen Bildungen in ir-



Der Planet Jupiter und sein Aufbau

Links ist der Jupiter so dargestellt, wie man ihn im Fernrohr sieht, rechts der Aufbau des Planeten nach den neuesten Unterlagen. Der feste Kern ist von einer dicken Eisschicht und einer mächtigen Lufthülle umgeben

gendeinem Zusammenhang mit vulkanischer Tätigkeit an den betreffenden Stellen der Jupiteroberfläche stehen.

Der Jupiter erhält von der Sonne nur $\frac{1}{25}$ bis $\frac{1}{30}$ der zu unserer Erde kommenden Wärme. Die durchschnittliche Temperatur seiner Oberfläche, die mit Hilfe von Thermoelementen gemessen wurde, beträgt etwa minus 130 Grad.

Die schnelle Achsenrotation des Jupiters ist offenbar die wichtigste Ursache für die Zirkulation seiner Atmosphäre. Wenn es diese Zirkulation nicht gäbe, wäre die Temperatur für die gesamte Atmosphäre gleich, und sie würde durch ihr Eigengewicht schon in einer Tiefe von etwa hundert Kilometern fest werden. Gegenwärtig nimmt man an, daß der feste Kern des Jupiters einen Radius von etwa 35 000 Kilometern hat. Dieser Kern ist von einer 250 000 Kilometer dicken Eisschicht umgeben. Über dieser Eisschicht erstreckt sich eine mächtige Gashülle von über 10 000 Kilometern Dicke. Sie besteht vorwiegend aus Wasserstoff und seinen Verbindungen und aus einigen anderen Gasen. In dieser Gashülle schweben Wolkenbildungen aus Ammoniak und Methan.

Der Planet Jupiter hat eine riesige Masse; deshalb wird auch die parabolische Geschwindigkeit für die Luftmoleküle sehr groß sein, nämlich etwa 60 Kilometer in der Sekunde. Wie Akademiemitglied W. G. Fessenkow betont, verliert deshalb seine Gashülle auch nicht die leichtesten Gase und könnte sie selbst bei Temperaturen, die nahe an die Temperaturen der Sonnenoberfläche herankommen (6000 Grad), nicht verlieren. Hieraus folgert Fessenkow, daß der Jupiter seine ursprüngliche Atmosphäre vollständig behalten hat, die vorwiegend aus Wasserstoff besteht.

Sauerstoff fehlt in der Atmosphäre des Jupiter, und da auf dem Planeten eine außerordentlich niedrige Temperatur herrscht, kann hier weder eine Tier-,

nöch eine Pflanzenwelt existieren. Die Jupiteratmosphäre bildet eine so mächtige Schicht, daß wir durch sie hindurch auch mit den stärksten und vollkommensten modernen Teleskopen die Oberfläche des Planeten nicht sehen können.

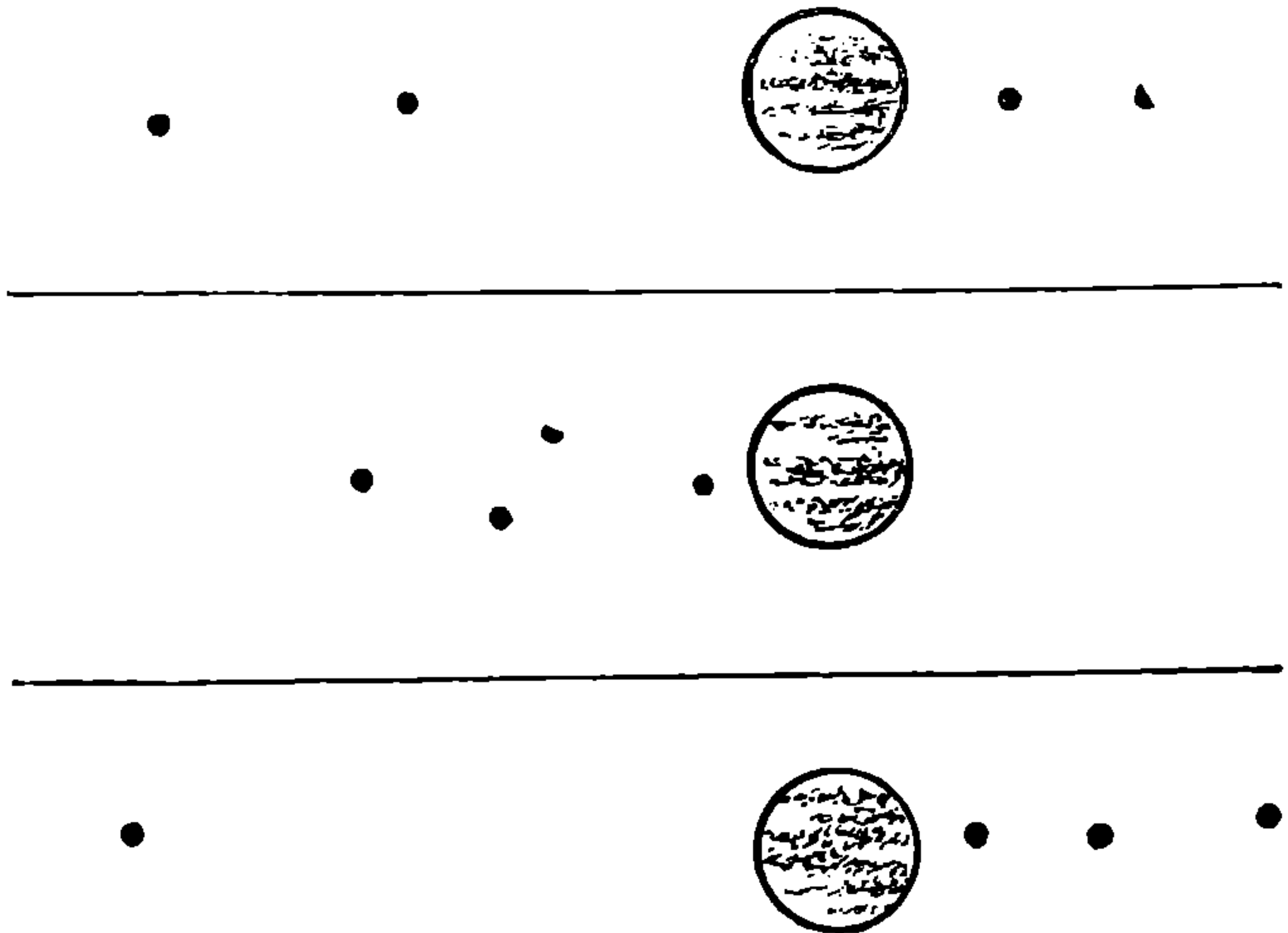
Der Durchmesser des Jupiter erreicht etwa das Elf-fache des Erddurchmessers. Infolge seiner riesigen Dimensionen kann der Planet bei seiner jährlichen Opposition mit der Sonne die ganze Nacht hindurch beobachtet werden. Jupiter ist einer der hellsten Sterne am Nachthimmel, so daß man ihn leicht finden kann; heller als Jupiter sind nur noch die Venus und während der großen Opposition auch der Mars. Manchmal übertrifft Jupiter in seinem Leuchten sogar den hellen Sirius.

Die Jupitermonde und die Besonderheiten ihrer Bahnen

Zusammen mit seinen Monden stellt Jupiter ein großes System kosmischer Körper dar. Insgesamt hat der Riesenplanet elf Satelliten. Die ersten vier Jupitermonde wurden schon am 7. Januar 1610 durch Galilei entdeckt, der bei Beobachtungen mit einem selbstgebauten astronomischen Fernrohr zuerst drei und dann vier kleine Sterne in nächster Nähe des Jupiters entdeckte, die jeden Abend in bezug auf die Fixsterne und den Planeten einen andern Ort einnahmen, jedoch immer in der Nähe Jupiters verblieben. Galilei begriff schnell, daß es Jupitermonde sein mußten, ähnlich unserem irdischen Mond.

Diese Entdeckung brachte Galilei den Spott seiner Kollegen an der Universität Padua ein, an der er eine bescheidene Stellung einnahm. Professor Cre-

monini von dieser Universität, der das Vorhandensein von Jupiterbegleitern bestritt, antwortete auf einen Vorschlag von Galilei, er sollte doch einmal ins Teleskop schauen, ganz kurz: „Wozu soll ich ins Fernrohr sehen, wenn ich ohnehin weiß, daß Jupiter keine Satelliten hat und keine haben kann?“



Vier Jupitermonde, die schon von Galilei entdeckt wurden, mit den Änderungen ihrer Stellung für drei nacheinander folgende Tage

Der kleinste der von Galilei entdeckten Begleiter (II) entspricht etwa unserem Mond; die Jupitermonde III und IV sind so groß, daß sie den Planeten Merkur übertreffen. Die vier Jupitermonde haben eine sehr kurze Umlaufzeit. Der Begleiter I umkreist den Planeten in weniger als zwei Tagen, während die Umlaufperiode des Jupitermondes IV 16 Tage beträgt. Die Änderung der Lage des Mondes I kann sogar während eines Abends festgestellt werden, da er in

dieser kurzen Zeit bald im Jupiterschatten verschwindet, bald jedoch seinen eigenen Schatten auf den Planeten wirft; er geht vor dem Planeten vorbei und wird dann wieder vom Jupiter verdeckt.

Fast drei Jahrhunderte hindurch kannte man im Jupitersystem nur die vier von Galilei entdeckten Monde. Erst im Jahre 1892 entdeckte der Astronom Barnard den Begleiter V, der noch näher als der Jupitermond I den Planeten umkreist; die Bewegung dieses Satelliten ist außerordentlich schnell. Sein Umlauf um den Jupiter dauert nur zwölf Stunden. Diesen Jupitermond sieht man jedoch nur in sehr starken astronomischen Fernrohren.

Die übrigen sechs Jupitermonde wurden erst im 20. Jahrhundert entdeckt und befinden sich alle in größerem Abstand vom Jupiter als die zuerst entdeckten vier. Merkwürdig sind die Jupitermonde VIII, IX und XI, die den Planeten in entgegengesetzter Richtung umkreisen, also entgegengesetzt zur Drehrichtung des Planeten und auch zur Umlaufrichtung der anderen Begleiter. Sie bewegen sich also nicht von West nach Ost wie alle übrigen Monde, sondern von Ost nach West. Die Jupitermonde VIII und IX wurden 1908 und 1914 entdeckt. Ihre Entfernung vom Planeten erreicht das 70fache des Mondes von der Erde; ihre Umlaufsperioden sind länger als zwei Jahre.

Die Bahnen dieser beiden Jupiterbegleiter ändern sich ununterbrochen in Form und Größe der Fläche, die sie umschreiben. Manche Forscher nehmen an, daß diese Monde einmal selbständige Planeten darstellten und um die Sonne kreisten, aber in das Gravitationsfeld des Jupiters gerieten und zu seinen

Begleiten wurden. Andere nehmen an, daß die Bewegungen dieser Jupitermonde nicht in fester Bahn verlaufen, daß infolge ihrer großen Entfernung die Anziehungskraft des Jupiters sich nur schwach auswirke und diese Monde sich unter dem Einfluß der Gravitationskraft der Sonne aus dem Bereich der Anziehungskraft des Jupiters entfernen und zu selbständigen Planeten werden könnten, die dann die Sonne umkreisen.

Die Jupiterbegleiter X und XI wurden im Jahre 1938 entdeckt. Die Bahn des Mondes X liegt zwischen den Bahnen der Monde VI und VII und weist eine diesen Mondbahnen sehr ähnliche Form auf. Der Satellit XI befindet sich jedoch von dem Planeten fast in gleicher Entfernung wie die Monde VIII und IX und hat zusammen mit diesen eine rückläufige Bewegung; ein voller Umlauf um den Planeten dauert bei diesem Mond etwas weniger als zwei Jahre.

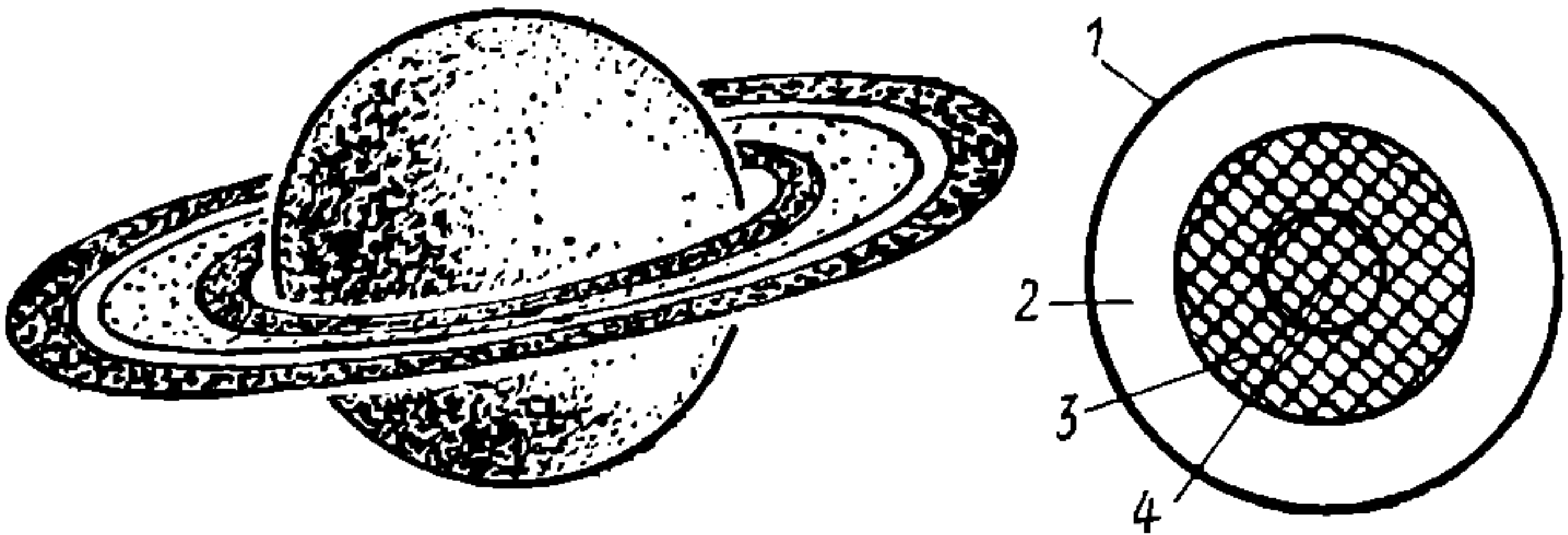
Die letzten sieben Jupitermonde sind so klein, daß man sie im Teleskop überhaupt nicht sehen und nur durch Himmelsaufnahmen feststellen kann.

Die Ursache der rückläufigen Bewegung einiger Jupiterbegleiter, der Monde VIII, IX und XI, konnte noch nicht gefunden werden.

SATURN UND SEINE RINGE

Der Planet Saturn ist ein sehr interessantes Objekt. Er hat eine sehr geringe Dichte und ein geringes spezifisches Gewicht, denn er ist sogar leichter als Wasser. Deshalb ist er zwar seinem Volumen nach 760mal größer als die Erde, doch seine Masse beträgt nur das 95fache unseres Planeten. Beim Saturn beob-

achten wir die größte Abplattung der Pole von allen bekannten Planeten; sie erreicht das Verhältnis $1/10$. Die Entfernung des Saturns von der Sonne beträgt 9,5 astronomische Einheiten, ist also doppelt so groß wie die des Jupiters, deshalb erhält er auch weniger Wärme und Licht als dieser und erscheint uns dunkler als der Jupiter. Die Temperatur auf der Saturnoberfläche ist sehr niedrig und liegt bei etwa minus



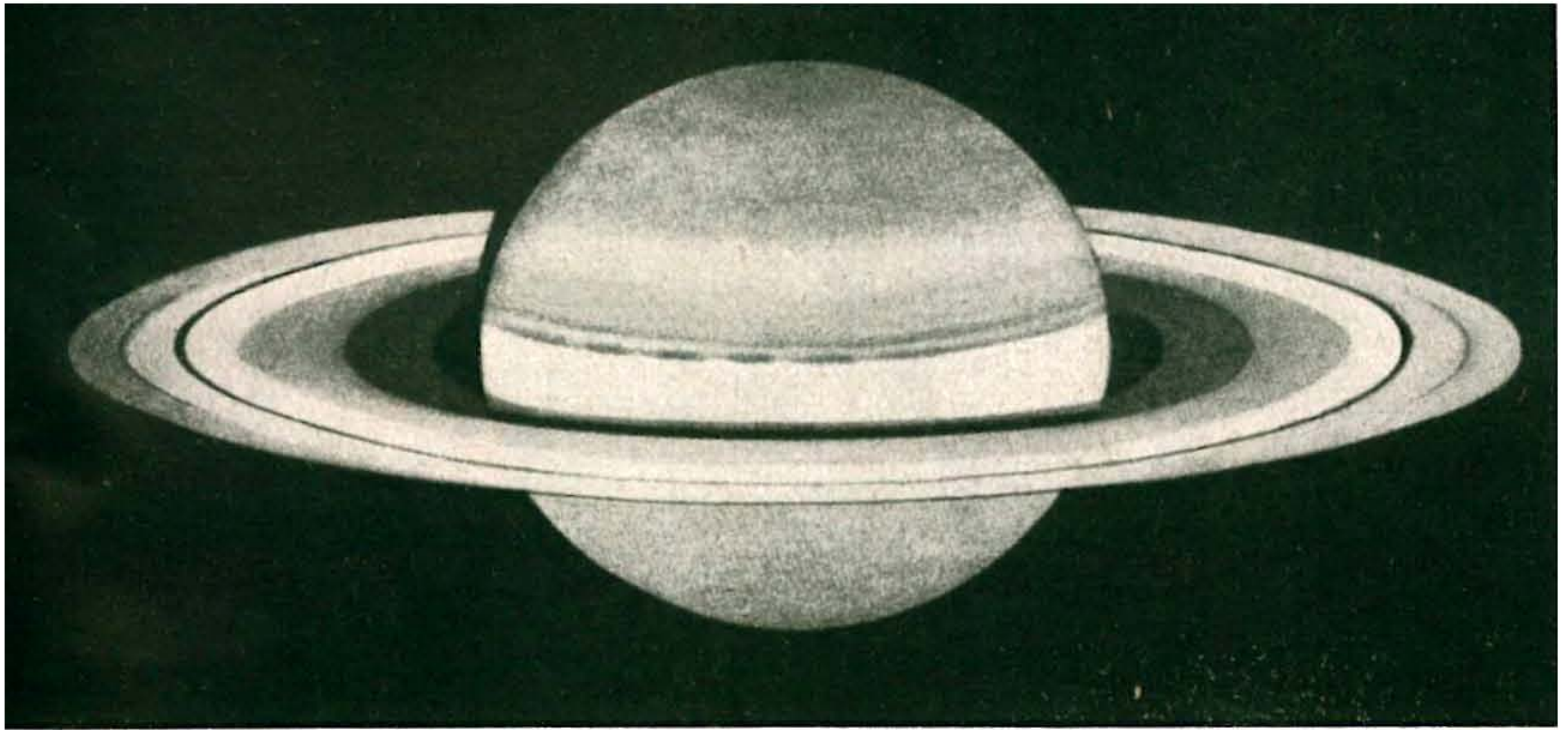
Der Planet Saturn und sein Aufbau

Links sehen wir den Saturn so, wie er im Fernrohr aussieht. Die riesigen Ringe kreisen wie Satelliten um den Planeten mit verschiedener Geschwindigkeit, die dem Planeten näheren schneller und die weiter entfernten langsamer; rechts ist der Aufbau des Saturns nach den neuesten Unterlagen dargestellt; der feste Kern ist von einer dicken Eisschicht und einer mächtigen Lufthülle umgeben.

1 Ammoniak- und Methanwolken 2 Wasserstoff 3 Eis 4 Kern

150 Grad. Infolge seiner großen Entfernung von der Erde sehen wir den Saturn schon nicht mehr als einen so hellen Stern wie den Jupiter. Wir beobachten den Saturn als einen gelblichen Stern erster Größe, wie in unseren Breiten ein knappes Dutzend zu sehen ist. Die Umdrehung des Saturns um seine Achse dauert 10 Stunden und 14 Minuten. Für einen Umlauf um die Sonne braucht er $29\frac{1}{2}$ irdische Jahre. Die durchschnittliche Bewegungsgeschwindigkeit auf seiner

Die Tafel zeigt oben den Saturn mit seinen Ringen, unten den Kometen IV 1893 (Brooks).



Saturn am 2. Oktober 1909; Zeichnung von R. Graff, Bergedorf

Komet IV 1893 (Brooks) am 20. Oktober 1893; Aufnahme der Lick-Sternwarte





Ein Stück der Milch-
straße; Aufnahme von
M. Wolf



Der Große Andromeda-
Nebel am 7. September
1899; Aufnahme der Lick-
Sternwarte

Bahn um die Sonne erreicht 9,6 Kilometer in der Sekunde.

Man nimmt an, daß der Kern des Saturns mit einem Radius von etwa 300 000 Kilometern wie der des Jupiters von einer Eisschicht umgeben ist. Sie ist etwa 10 000 Kilometer stark. Dann kommt eine Gashülle mit einer Dicke von etwa 15 000 Kilometern. In dieser Wasserstoffatmosphäre schweben Wolken aus Ammoniak und Methan.

Die Masse der Gashülle ist beim Saturn nach Akademiemitglied W. G. Fessenkow so groß, daß sie fast der Masse des festen Kerns des Planeten gleich ist. Dies Verhältnis kommt uns überraschend vor, wenn wir daran denken, daß die Masse der Erdatmosphäre weniger als ein Milliontel der Masse der Erdkugel ausmacht.

Die Saturnringe

Die größte Merkwürdigkeit des Saturns sind seine Ringe. Der Planet ist von einem dünnen flachen Ring umgeben, der ihn an keiner Stelle berührt und der eine Neigung zur Ekliptik aufweist ¹⁾. Wenn die Drehachse dieses Planeten senkrecht zur Ekliptik stünde, wie es beim Jupiter der Fall ist, würden wir diese Ringe, deren erste Beschreibung im Jahre 1656 gegeben wurde, fast überhaupt nicht sehen können.

Nach den letzten Forschungen beträgt die Dicke der Saturnringe höchstens 20 Kilometer. Wenn man also

*Die Tafel zeigt oben ein Stück der Milchstraße,
unten den großen Andromedanebel.*

¹⁾ Als Ekliptik bezeichnet man die Ebene, in der sich die Erde um die Sonne bewegt.

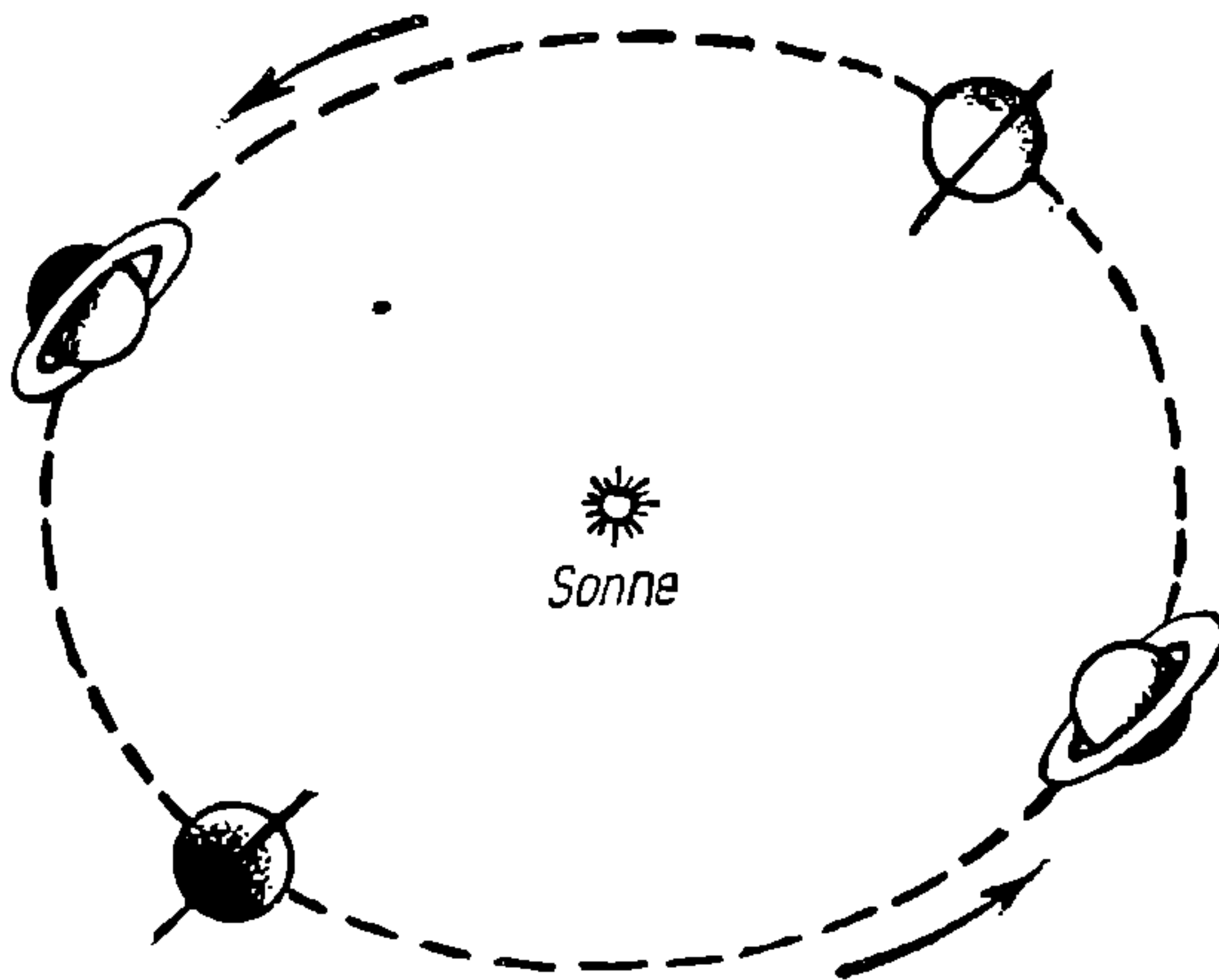
den Ring von der scharfen Kante aus sieht, wird er in den stärksten Teleskopen unsichtbar, und es scheint, als ob der Planet seinen Ring verloren hätte. In dieser Stellung sieht man den Saturn in jeder Umlaufsperiode um die Sonne zweimal. So wurde er auch im Dezember 1936 und dann im Frühling 1951 beobachtet.

Früher nahm man an, daß die Saturnringe feste Bildungen darstellen. Jetzt wissen wir, daß solche Bildungen nicht im Gleichgewicht bleiben könnten und in Stücke zerbrechen würden.

Die russische Mathematikerin J. W. Kowaleskaja und der Physiker Maxwell haben theoretisch nachgewiesen, daß die Saturnringe aus einer Ansammlung staubförmiger Teilchen bestehen, die man als Meteoriten bezeichnen könnte und die den Planeten fast in gleicher Ebene und mit eigener Bahn für jedes Teilchen umkreisen, wobei die Umlaufgeschwindigkeit der zum Planeten nächsten Teilchen größer und der weiter entfernten kleiner ist. Die Ringe haben verschiedene Dichte. In dem hellen Teil ist die Dichte größer und im sogenannten dunklen Ring ist sie am geringsten; deshalb sieht man hier manchmal sogar die Sterne durchscheinen.

Diese Theorie über den meteoritischen Aufbau der Saturnringe wurde durch die spektroskopischen Beobachtungen des russischen Astronomen und Mitgliedes der Akademie der Wissenschaften A. A. Belopolski bestätigt. Ein grundlegender Nachweis über die Stabilität der Saturnringe wurde von der russischen Mathematikerin S. W. Kowaleskaja gearbeitet.

Manchmal kann man beobachten, wie die Ringe ähnlich einer Staubwolke von Sonnenstrahlen durchdrungen werden. Auf Grund der Messungen und der durchgeführten Berechnungen hat A. A. Belopolski festgestellt, daß die Ringe tatsächlich nicht als Ganzes, als fester Körper, rotieren. Die dem Planeten



Die im Fernrohr sichtbare Form der Saturnringe ändert sich je nach der Stellung des Planeten zur Erde und zur Sonne

näheren Teile haben eine größere und die weiteren eine geringere Umlaufgeschwindigkeit. Die gesamte Masse des staubförmigen Stoffes, aus dem die Saturnringe bestehen, macht etwa ein Viertel der Masse unseres Mondes aus, die nach G. Struve etwa $\frac{1}{30\,000}$ der Saturnmasse beträgt. Nach der Meinung W. G. Fessenkows konnten sich die Ringe aus einer Wolke feiner fester Teilchen bilden, die von dem Planeten ausgeworfen wurden oder sich in seiner Nähe gebildet hatten.

Die Saturnmonde

Außer den Ringen hat der Saturn neun Monde. Von großem Interesse sind die Monde VIII und IX (in der Reihenfolge ihres Abstandes vom Planeten). Der Saturnmond VIII, der den Namen Japet erhielt, ist, wie unser Mond zur Erde, stets mit einer und derselben Seite zum Saturn gerichtet; die Periode seiner Achsenrotation entspricht also seiner Umlaufsperiode um den Planeten. Der Satellit IX, Phöbe, der im Jahre 1898 entdeckt wurde, weist eine rückläufige Bewegung auf.

Der Mond Titan ist der größte der Saturnbegleiter und erinnert in seinen Dimensionen an die Rolle des Jupiters im Sonnensystem, wenn man hier entsprechend kleinere Maßstäbe anlegt. Im Jahre 1944 hat der Astronom Kuyper auf diesem Begleiter eine verhältnismäßig dichte Atmosphäre festgestellt, die, wie auch die Saturnatmosphäre, vorwiegend aus Methan besteht. Das ist um so merkwürdiger als Titan nach seiner Masse unseren Mond nur um das 1,8fache übertrifft. Einige Forscher nahmen an, daß Titan seine Atmosphäre irgendwie vom Saturn erhalten hat.

URANUS UND DIE BESONDERHEITEN SEINER BAHN

Die Entdeckung des Uranus

Mehr als zwei Jahrtausende ging die Kenntnis der Astronomen von unserem Planetensystem über die genannten sechs Planeten nicht hinaus. Erst im März

1781 hat der frühere Musiker und später leidenschaftliche Astronom William Herschel (1738—1822) mit Hilfe eines selbstgebauten großen Spiegelteleskops völlig unerwartet einen neuen Planeten entdeckt, der zu Ehren eines der altgriechischen Götter Uranus genannt wurde.

Anfangs nahm Herschel an, der von ihm entdeckte Himmelskörper sei ein Komet, und meldete diesen bei der Königlichen Gesellschaft ¹⁾ an. Auch andere Beobachter sahen diesen Himmelskörper als einen Kometen an, und erst später bei der Bahnberechnung wurde festgestellt, daß diese ihrer Form nach eine gewöhnliche Planetenbahn ist, das heißt, einen sehr wenig gestreckten Kreis oder eine Ellipse mit geringer Exzentrizität darstellt. Die Berechnungen ergaben, daß die Entfernung des Uranus von der Sonne das Doppelte des Saturnabstandes und mehr als das 19fache der Entfernung der Erde von der Sonne ausmacht, also 19 AE.

Die Entdeckung des Uranus war eine hervorragende astronomische Tat und brachte Herschel viel Ruhm ein. Bald danach wurde Herschel zum Königlichen Astronomen ernannt, und die Beobachtungen des Sternenhimmels wurden für ihn nicht eine Beschäftigung in freien Stunden, sondern die wichtigste berufliche Arbeit. Als ein sehr geschickter und unermüdlicher Beobachter machte Herschel eine Reihe neuer wichtiger Entdeckungen und baute das Fundament eines neuen Zweiges der Wissenschaft vom Himmel auf, der Stellarastronomie.

¹⁾ zu London. D. Übers.

Besonderheiten in der Bewegung des Uranus

Der Durchmesser des Uranus erreicht das Vierfache des Erddurchmessers. Bemerkenswert ist, daß seine Rotationsachse fast genau mit der Ebene der Ekliptik übereinstimmt. Der Winkel der Abweichung beträgt etwa 1° . Dadurch entsteht der Eindruck, daß sich der Uranus nicht wie üblich fortbewegt, sondern seitlich auf seiner Bahn rollt. Die Zeit für eine Umdrehung um seine Achse beträgt 10 Stunden und 50 Minuten. Die Drehrichtung ist der aller anderen Planeten entgegengesetzt, also einmalig im ganzen Planetensystem. Die Abplattung erreicht bei ihm $\frac{1}{18}$. Für einen Umlauf um die Sonne benötigt der Uranus 84 irdische Jahre und bewegt sich auf seiner Bahn mit einer mittleren Geschwindigkeit von 6,8 Kilometern in der Sekunde. Die zweite Besonderheit des Uranus ist, daß die Sonne infolge der eigenartigen Lage der Rotationsachse des Uranus, die im Raume immer unverändert die gleiche Lage behält, zweimal in 84 irdischen Jahren abwechselnd auf dem einen und dann auf dem anderen Pol sich im Zenit befindet und etwas wie einen Polarstern darstellt. Tag und Nacht an den Uranuspolen dauern je 42 irdische Jahre.

Monde und Eigenschaften dieses Planeten

Bis vor kurzer Zeit waren vom Uranus vier Monde bekannt, deren Bahnen fast in gleicher Ebene liegen, die offensichtlich sehr nahe an die Äquatorialebene des Planeten herankommt. Im Jahre 1948 wurde der fünfte Uranusmond entdeckt, der am nächsten an

den Uranus herankommt ¹⁾). Über diesen Begleiter wissen wir noch sehr wenig; bekannt ist nur, daß er sehr klein ist. Bei Beobachtungen mit unbewaffnetem Auge kann man den Uranus in klaren Nächten als einen Stern sechster Größe sehen, der von den Fixsternen schwer zu unterscheiden ist. Der Uranus erhält nur $\frac{1}{370}$ des Sonnenlichts, das die Erde erhält. Wie Saturn ist auch Uranus von einer dichten Atmosphäre umgeben; man findet auf ihm auch die gleichen Streifen wie beim Jupiter. In seiner Opposition ist der Uranus für den irdischen Beobachter als vollkommen runde Scheibe zu sehen, da er in dieser Zeit vom Pol aus sichtbar ist; erst 21 Jahre später, nachdem er ein Viertel seiner Bahn zurückgelegt hat, sehen wir ihn von der Seite, und dann wird seine Scheibe eine etwas ovale Form haben, weil die Abplattung in Erscheinung tritt. Wir beobachten den Uranus als einen Stern sechster Größe.

DER NEPTUN

Wie Neptun entdeckt wurde

Bald nach der Entdeckung des Uranus hat das ordentliche Mitglied der Petersburger Akademie der Wissenschaften Lexel unter Benutzung der durch andere Astronomen durchgeführten Beobachtungen dieses Planeten die Uranusbahn berechnet. Er stellte zuerst Unregelmäßigkeiten in der Uranusbewegung fest und sprach den Gedanken aus, daß diese durch einen noch unbekannten Planeten hinter dem Uranus verursacht werden. Lexel hat zwar keine Be-

¹⁾ Dieser Begleiter erhielt den Namen Mirandus.

rechnungen des transuranischen Planeten durchgeführt, jedoch den richtigen Weg zur Auffindung dieses Planeten gewiesen. Viele Gelehrte anderer Länder aber sprachen im Zusammenhang mit den Unregelmäßigkeiten der Uranusbewegung Zweifel an der Richtigkeit des allgemeinen Gravitationsgesetzes aus.

Im Jahre 1842 hat die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen sogar einen besonderen Preis für die mathematische Ausarbeitung einer Bewegungstheorie des Uranus ausgesetzt. Wie wir sehen werden, führte dieses zu einem neuen Triumph des Gravitationsgesetzes.

Auf die Veröffentlichung der Akademie der Wissenschaften hin meldeten sich zwei junge Astronomen, der Student der Universität Cambridge Adams (1819 bis 1892) und der Franzose Leverrier (1811—1877). In der Annahme, daß die beobachteten Unregelmäßigkeiten oder Störungen, wie man sie gewöhnlich nennt, in der Bewegung des Uranus nur durch Einwirkung eines unbekannten Planeten erklärt werden können, wobei sich dieser Planet irgendwo hinter dem Uranus befinden mußte, führten sie eine außerordentlich komplizierte und für die damalige Zeit schwierige Arbeit zur Berechnung der Bahn des noch unbekannten Planeten durch und gaben die Stelle am Himmel an, in der der transuranische Planet zu einem bestimmten Zeitpunkt von mit Teleskopen bewaffneten Beobachtern gesehen werden könnte.

Sowohl Leverrier als auch Adams kamen zu einem Ergebnis, und ihre Arbeit wurde von vollem Erfolg gekrönt. Am 18. September 1846 sandte Leverrier ein Schreiben an den Berliner Astrologen Johannes

Galle, in dem er mit genügender Genauigkeit die Stelle des vermuteten transuranischen Planeten am Himmel angab und bat, nach diesem Planeten zu suchen; am 23. September erhielt Galle die Nachricht Leverriers und fand am Abend des gleichen Tages den neuen Planeten am Himmel, der dann den Namen Neptun ¹⁾ erhielt. Die Entdeckung des Planeten Neptun war ein glänzender Triumph und ein neuer Beweis für die Richtigkeit des Gesetzes von der allgemeinen Gravitation. In seinen Memoiren „Erforschung der Bewegung des von Herschel entdeckten Planeten“ schrieb Leverrier:

„Es besteht eine formale Nichtübereinstimmung zwischen den Beobachtungen des Uranus und der Hypothese, nach der dieser Planet nur dem Einfluß der Sonne und anderer bekannter Planeten nach dem allgemeinen Gravitationsgesetz unterliegt. Wenn man von einer solchen Hypothese ausgeht, kann man niemals eine Vorstellung über die beobachtete Bewegung erhalten.“

Das Ergebnis der sehr langwierigen und schwierigen Berechnungen, die Leverrier selbst durchführte, der übrigens von ähnlichen Berechnungen des Studenten Adams nichts gehört und gewußt hatte, war also letzten Endes, wie wir schon erwähnt haben, die Entdeckung des transuranischen Planeten „mit der Spitze des Rechenstifts“.

Die Entdeckung des Planeten Neptun war gleichzeitig auch ein Triumph der kopernikanischen Lehre vom Aufbau des Weltsystems, da das allgemeine

¹⁾ Adams hatte seine Berechnungen für das Auffinden des transuranischen Planeten dem Professor seiner Universität vorgelegt, der diese Berechnungen nicht in nötiger Weise beachtete und sie einfach liegen ließ.

Gravitationsgesetz bei der Erforschung der Bewegung der zum Sonnensystem gehörenden Himmelskörper entdeckt wurde. Engels schrieb hierüber:

„Das System des Kopernikus blieb im Laufe dreier Jahrhunderte eine Hypothese, zwar im höchsten Grade wahrscheinlich, jedoch trotzdem nur eine Hypothese. Als jedoch Leverrier bei Benutzung der Daten dieses Systems nicht nur nachgewiesen hat, daß ein bisher noch unbekannter Planet existieren mußte, sondern auch durch Berechnung den Ort des Planeten im Himmelsraum festgestellt hatte, und als Galle danach diesen Planeten tatsächlich fand, war das kopernikanische System bewiesen.“

Die Entdeckung des Planeten Neptun ist ein treffendes Beispiel für die Bestätigung wissenschaftlicher Vorausschau. Auch in diesem Falle sind die Worte Lenins angebracht: „Eine Prophezeiung von Wundern ist ein Märchen. Eine wissenschaftliche Prophezeiung jedoch ist eine Tatsache.“

Neptun ist nur etwas kleiner als der Planet Uranus. Er befindet sich 30 mal weiter von der Sonne entfernt als unsere Erde. Sein mittlerer Abstand von der Sonne beträgt also 30 astronomische Einheiten. Am Himmel sehen wir den Neptun als einen Stern achter Größe und können ihn deshalb nur nach einer Karte der teleskopischen Sterne finden. Sein Umlauf um die Sonne erfordert 165 irdische Jahre, wobei er sich mit einer Geschwindigkeit von 5,4 Kilometern in der Sekunde auf seiner Bahn bewegt. Erst im Jahre 1928 hat die Astronomie durch die Anwendung des Dopplerschen Prinzips, das von Akademiemitglied A. A. Belopolski erstmalig in der Astronomie ange-

wandt wurde, die ungefähre tägliche Umlaufsperiode des Neptuns festgestellt, die 15 Stunden und 25 Minuten beträgt. Wie beim Uranus ist beim Neptun eine verhältnismäßig dichte Gashülle festgestellt worden.

Die Neptunmonde

Bis in die letzte Zeit hinein kannte man nur einen Begleiter; er ist größer als unser Mond und bewegt sich rückläufig um den Planeten auf einer Bahn, die nahe an die Kreisform herankommt. Dieser Mond befindet sich sehr nahe am Planeten, in einem Abstand von höchstens sieben Planetendurchmessern.

Am 1. Mai 1949 wurde beim Photographieren des Himmels in der Nähe des Planeten ein zweiter Neptunmond entdeckt, dem man den Namen Nereis gab. Der Durchmesser des Nereis wurde mit etwa 300 Kilometern festgestellt. Seine Masse beträgt nur ein Dreimilliontel der Neptunmasse. Der Abstand dieses Mondes vom Neptun ist nach ungefähren Berechnungen acht bis neun Millionen Kilometer. Einen vollen Umlauf um den Planeten führt Nereis in einem Zeitraum von etwa zwei Erdenjahren durch. Genauere Angaben im übrigen fehlen vorläufig noch.

PLUTO, DER SONNENFERNSTE PLANET

Die Entdeckung des Pluto

Die Entdeckung des Planeten Neptun nach den Störungen der Uranusbahn gab Veranlassung zu der Hoffnung, daß bei der Erforschung der Neptunbewegung ein neuer transneptunischer Planet voraus-

gesagt werden könnte. Neptun bewegt sich jedoch sehr langsam. Seit seiner Entdeckung im September 1846 hat er bis heute nur etwas mehr als die Hälfte seiner Bahn um die Sonne zurückgelegt; erst im Jahre 2011 wird Neptun den seit dem Tage seiner Entdeckung ersten vollen Umlauf auf seiner Bahn um die Sonne zurückgelegt haben.

Im vergangenen Jahrhundert, als Neptun erst einen kleinen Teil seiner Bahn zurückgelegt hatte, konnte natürlich noch keine genaue Theorie seiner Bewegung aufgestellt werden. Die damals bemerkten Unterschiede zwischen der errechneten und der tatsächlichen Bewegung dieses Planeten ergaben sich deshalb möglicherweise nicht durch die Existenz eines transneptunischen Himmelskörpers, der die Neptunbahn beeinflußt, sondern nur dadurch, daß die Bewegung beim Neptun unter der Einwirkung der uns schon bekannten Himmelskörper nicht genügend genau berechnet war. Infolgedessen brachten alle Versuche zur Voraussage eines neuen Planeten auf Grund der Berechnungen der Neptunbahn keinen Erfolg.

Nach den ergebnislosen Versuchen wandten sich die Astronomen, die nach dem neuen Planeten suchten, wieder der Erforschung der Uranusbahn zu. Fast alle beobachteten Störungen in der Bewegung des Uranus konnten durch den Neptun erklärt werden; nur sehr geringe Abweichungen der tatsächlichen Bewegung von der Theorie blieben ohne Begründung. Von diesen nicht aufgeklärten, jedoch außerordentlich geringen Abweichungen ging man aus, wobei man annahm, daß die Abweichungen durch Störungen eines unbekannten transneptunischen Planeten entstünden. Die Abweichungen sind sehr gering; aber sie sind

zuverlässig festgestellt worden, da die Theorie der Uranusbahn schon genügend erforscht worden war. Eine Reihe von Astronomen und Mathematikern suchte mit großem Aufwand an Arbeit und Mühe den Ort eines neuen Planeten vorauszusagen, hatte jedoch keinen Erfolg. Erst im Februar 1930 wurden unsere Kenntnisse vom Sonnensystem durch die Entdeckung des neunten großen Planeten vervollkommen, die dem Astronomen C. W. Tombaugh in der Lowell-Sternwarte beim Vergleich zweier Aufnahmen des Sternbildes der Zwillinge gelang. Er bemerkte, daß einer der Sterne auf der zweiten Aufnahme unter den übrigen Sternen einen anderen Platz einnahm als auf der ersten. Zu Ehren des alten griechischen Gottes der Unterwelt wurde dem neuen transneptunischen Planeten der Name Pluto gegeben. Pluto ist der am weitesten entfernte uns bekannte Planet. Sein Abstand von der Sonne beträgt etwa das 40fache der Entfernung zwischen Sonne und Erde. Seine mittlere Geschwindigkeit ist 4,3 Kilometer in der Sekunde. Ein voller Umlauf um die Sonne dauert 249 irdische Jahre; ein plutonisches Jahr ist also so lang wie 249 Erdenjahre. Die Umlaufbahn weist eine so starke Exzentrizität auf, daß sie teilweise sogar in die Neptunbahn hineinreicht.

Der Planet Pluto ist viel kleiner als unsere Erde, wahrscheinlich aber etwas größer als Merkur, und entsprechend geringer ist auch seine Masse. Deshalb kann Pluto keineswegs der Grund für die geringen Störungen in der Bahn des Uranus sein; diese Störungen sind offenbar durch andere, uns noch nicht bekannte Ursachen bedingt; denn nur ein Planet, dessen Masse das $6\frac{1}{2}$ -fache der Erdmasse beträgt, könnte die festgestellten Abweichungen hervorrufen.

Wir beobachten den Planeten Pluto am Himmel als einen Stern der 15. Größenklasse. Eine Gashölle hat er aller Wahrscheinlichkeit nach nicht. Seine Dimensionen sind vorläufig noch nicht genau bekannt.

DIE ASTEROIDEN

Die Entdeckung der Asteroiden

Wir haben gesehen, daß die Grenze unseres Planetensystems gegenwärtig durch den Planeten Pluto gebildet wird, der vierzigmal so weit von der Sonne entfernt ist wie unsere Erde. Damit sind jedoch noch nicht alle Himmelskörper in unserem Sonnensystem erfaßt; außer den neun erwähnten großen Planeten einschließlich der Erde bewegt sich in unserem Planetensystem eine große Anzahl sogenannter Kleiner Planeten, die auf Bahnen um die Sonne kreisen, welche hauptsächlich zwischen der Mars- und der Jupiterbahn liegen.

Die Entdeckung des ersten der Kleinen Planeten erfolgte am 1. Januar 1801, als der italienische Astronom Piazzi auf Sizilien im Sternbild der Zwillinge einen bisher nicht bekannten Stern entdeckte. Systematische Beobachtungen zeigten nach einigen Tagen, daß dieser neu entdeckte Himmelskörper seine Stellung unter den Fixsternen verändert. Deshalb lag die Annahme nahe, daß der neu entdeckte „Stern“ ein noch unbekannter Planet sei.

Nach ungefähr einem Monat tauchte jedoch der neue Planet in den Sonnenstrahlen unter und konnte nicht mehr beobachtet werden. Damals kannte man auch noch kein Verfahren, diesen Himmelskörper wieder aufzufinden. Seine Bahn war den Astronomen nicht

bekannt; man hatte nur einen sehr kurzen Abschnitt, ein kleines Bogenstück davon feststellen können. Deshalb mußte man alle Hoffnung auf ein schnelles Wiederfinden des neuentdeckten Planeten aufgeben. Niemand wußte und konnte sagen, wann er wieder auftauchen würde und wo, an welchem Punkt des Himmels er zu suchen sei. Hier kam nun die Hilfe von dem damals vierundzwanzigjährigen Gauß, der ein Verfahren ausgearbeitet hatte, aus den Daten weniger Beobachtungen die vollständige Bahn zu bestimmen, dieses Verfahren bei der Vorausberechnung der sichtbaren Örter dieses Planeten auf jeden einzelnen Tag (Ephemeriden) angewandt und seine Arbeiten darüber veröffentlicht hatte. An Hand dieser Ephemeriden wurde der neue Planet etwa ein Jahr später wiedergefunden und erhielt den Namen Ceres.

Im Jahre 1802 wurde ein zweiter Asteroid entdeckt, die Pallas. Diesen Planeten entdeckte der deutsche Arzt und Liebhaberastronom Olbers. In den Jahren 1804 und 1807 wurden noch zwei der Kleinen Planeten entdeckt, Juno und Vesta. Man nahm an, daß die Asteroiden irgendwann aus einem großen Planeten entstanden wären, der aus einem unbekannten Grunde in Stücke zerfiel; jedes dieser Stücke oder Teile bilde nun einen der selbständigen Kleinen Planeten. Diese Kleinen Planeten werden, wie auch die Fixsterne, selbst bei Benutzung starker Teleskope, nicht als Scheibe gesehen wie die großen Planeten, sondern als Punkte; deshalb erhielten sie auch die Bezeichnung Asteroiden, das bedeutet „sternähnliche“ Himmelskörper.

Seit dem Jahre 1847 und besonders seit Anwendung der Himmelsphotographie (1895) wurden jährlich

mehrere Asteroiden entdeckt; man entdeckt gegenwärtig jedes Jahr zwei- bis dreihundert. Nur ungefähr ein Fünftel wird jedoch lange genug beobachtet, um ihre Bahn berechnen und ihnen eine Ordnungsnummer geben zu können. Eine der ersten Stellen für die Entdeckung Kleiner Planeten nimmt das Sowjetische Astrophysikalische Observatorium in Simeis auf der Krim ein. Der frühere Direktor dieses Observatoriums, Professor G. N. Neuimin, hat mehr als 400 Kleine Planeten entdeckt, von denen 63 katalogisiert und mit Ordnungsnummern versehen worden sind. Einige der von russischen Wissenschaftlern entdeckten Kleinen Planeten erhielten die Namen Moskwa, Sibiria, Glasenapia. Einer der in Simeis vom ehemaligen Direktor des Astronomischen Observatoriums in Pulkowo, dem korrespondierenden Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR S. J. Beljawski, entdeckten Asteroiden erhielt den Namen Wladilena zu Ehren Wladimir Iljitsch Lenins.

Die Gesamtmasse der Asteroiden Die Asteroiden der Trojanergruppe

Gegenwärtig sind schon über 2000 Asteroiden entdeckt worden, doch gibt es wohl insgesamt mindestens 30 000. Sie sind so klein, daß die Durchmesser der Mehrzahl einige Dutzend Kilometer nicht überschreiten. Oft gibt es unter diesen Zwergplaneten auch solche, die für sich allein zwar noch eine ganz ansehnliche Masse darstellen, aber doch nur einen Durchmesser von 10 Kilometern aufweisen und sogar noch weniger. Der Asteroid Hermes ist so klein, daß sein Durchmesser nur etwas mehr als ein Kilo-

meter beträgt. Und noch kleiner ist der Zwergplanet Adonis; sein Durchmesser liegt unter einem Kilometer. Der größte unter den Asteroiden ist die Ceres mit einem Durchmesser von etwa 780 Kilometern.

Man nimmt an, daß die Asteroiden keine Kugelform aufweisen, sondern Körper von unregelmäßigen Formen sind. Diese Liliputaner unter den Planeten haben weder eine Wasser- noch eine Lufthülle, und die Masse dieser Zwergplaneten ist so gering, daß sie sich gegenseitig auf ihren Bahnen nicht oder kaum beeinflussen.

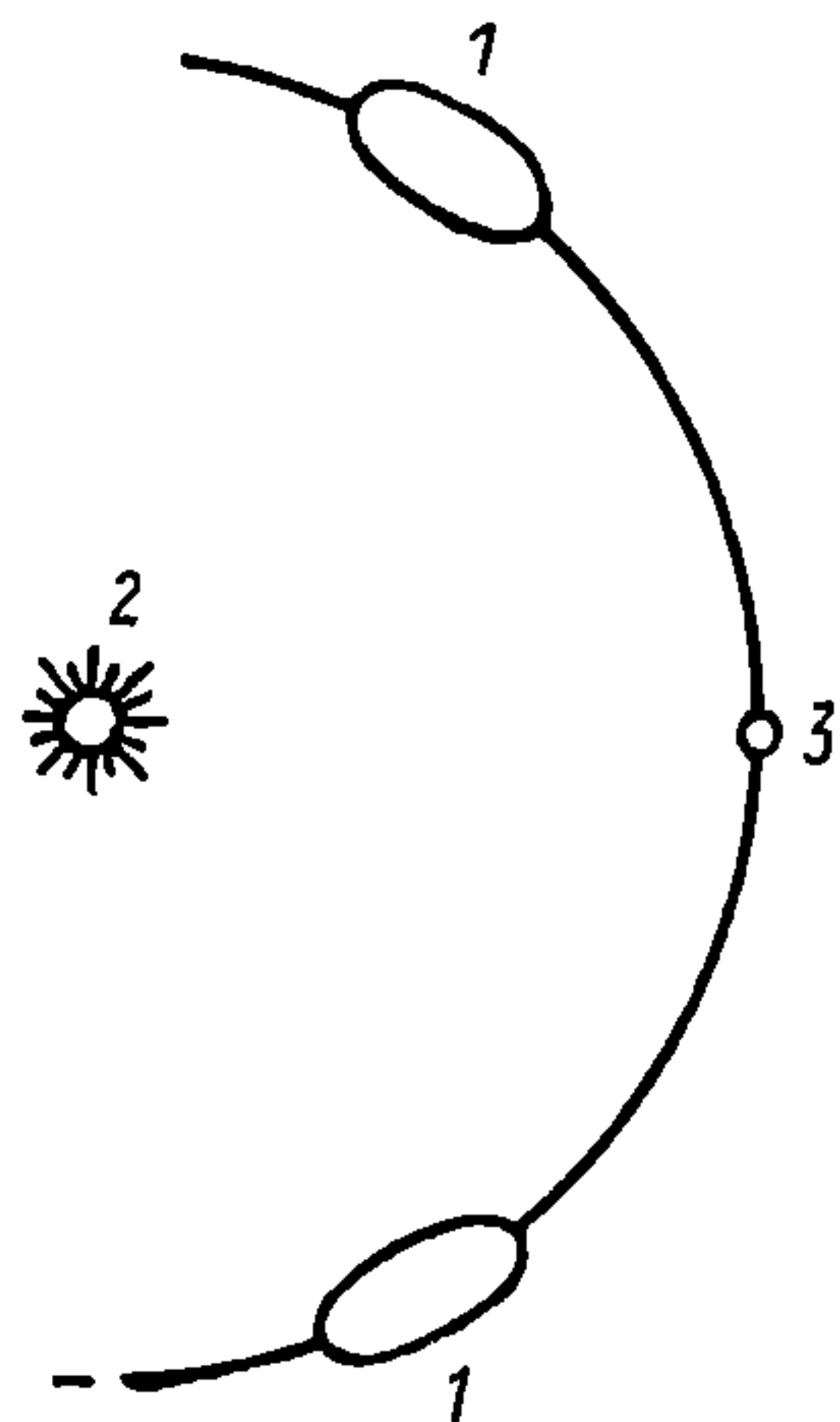
In unsern Tagen wurde berechnet, daß die Gesamtmasse aller Asteroiden, der entdeckten zusammen mit den bisher noch nicht entdeckten, nach einigen Annahmen nicht mehr als ein Zehntel der Masse unserer Erde ausmacht. Wenn die Masse der Asteroiden größer wäre, könnten sie die Bewegung des nächsten Planeten Mars irgendwie beeinflussen; dies ist jedoch bisher noch niemals festgestellt worden.

Die meisten Asteroiden umkreisen die Sonne in einer Periode, die drei Erdjahren entspricht. Es gibt jedoch auch solche, die einen vollen Umlauf in zwölf Jahren, wie der Planet Jupiter, oder auch in Zeiträumen zurücklegen, die weniger als zwei Erdjahre betragen. Diese Planetoiden kreisen also schneller als der Mars um die Sonne, woraus sich ergibt, daß ihre Bahn nicht zwischen Jupiter und Mars sondern zwischen dem Mars und der Erde liegt.

Die Zwergplaneten, die unsere Sonne wie Jupiter in einer Periode von 12 Jahren umkreisen, bezeichnet man als Asteroiden der Trojanergruppe. Sie sind vom Standpunkt der Himmelsmechanik von außerordentlich großem Interesse, unter anderm für die Lösung

des Dreikörperproblems. Gegenwärtig sind schon 14 solcher Asteroiden entdeckt worden. Diese Asteroidengruppe bildet zusammen mit der Sonne und dem Jupiter die Spitzen zweier riesiger Dreiecke, die den Abstand vom Jupiter zur Sonne als die gemeinsame Seite haben. Ihre Stellung und auch ihr Abstand zu-

- 1 Trojanergruppe
- 2 Sonne
- 3 Jupiter



Asteroiden der Trojanergruppe

Die Trojaner befinden sich mit Jupiter in gleichem Abstand von der Sonne, jedoch um 60 Grad vor oder hinter Jupiter auf seiner Bahn

einander bleiben immer ungefähr gleich. Die Spitzen dieser Dreiecke (auf der Jupiterbahn) bezeichnet man als Librationspunkte, die sich fast immer im gleichen Abstand sowohl von der Sonne als auch vom Jupiter befinden, jedoch um 60 Grad vor oder hinter diesem Planeten liegen.

Etwa 30 Jahre vor der Entdeckung des ersten Asteroiden hat der französische Mathematiker Lagrange bewiesen, daß drei Körper, die sich gegenseitig nach

dem Newtonschen Gesetz anziehen, beim Vorliegen bestimmter Bedingungen sich ständig an den Spitzen eines gleichseitigen Dreiecks befinden können.

Lagrange sah es als unwahrscheinlich an, daß ein solcher Fall in der Natur einmal eintreten könnte. Asteroiden, die sich in der Nähe der Spitzen eines gleichseitigen Dreiecks befinden, umschreiben infolge der Libration um die Spitze des Dreiecks bestimmte Kurven, die annähernd die Form von Ellipsen haben.

Solche Dreiecke haben für die Lösung des Dreikörperproblems, das für einen allgemeinen Fall nicht lösbar ist, eine große Bedeutung. Ein Sonderfall der Lösung wurde seinerzeit, wie schon erwähnt, vom bekannten französischen Mathematiker Lagrange nachgewiesen. Deshalb wird es häufig als das Lagrangesche Problem bezeichnet.

Nicht ausgeschlossen ist die Möglichkeit, daß eine große Anzahl der Asteroiden auch in den riesigen Räumen zwischen der Jupiter- und der Saturnbahn und auch zwischen der Uranus- und der Neptunbahn kreist. Die Gesamtzahl der Asteroiden ist nicht bekannt. Wir sagten aber schon, daß man annimmt, es seien mehr als dreißigtausend.

Unser Planetensystem hat also viel mehr kleine als große Planeten. Hierin besteht eine der wichtigsten Besonderheiten unseres Sonnensystems; eine Erklärung hierfür muß auf theoretischem Wege und auf Grund kosmogonischer Überlegungen gegeben werden. Eine andere nicht weniger bemerkenswerte Besonderheit unseres Sonnensystems ist die erhebliche Masse an kosmischem Staub. Hierüber werden wir weiter unten noch sprechen.

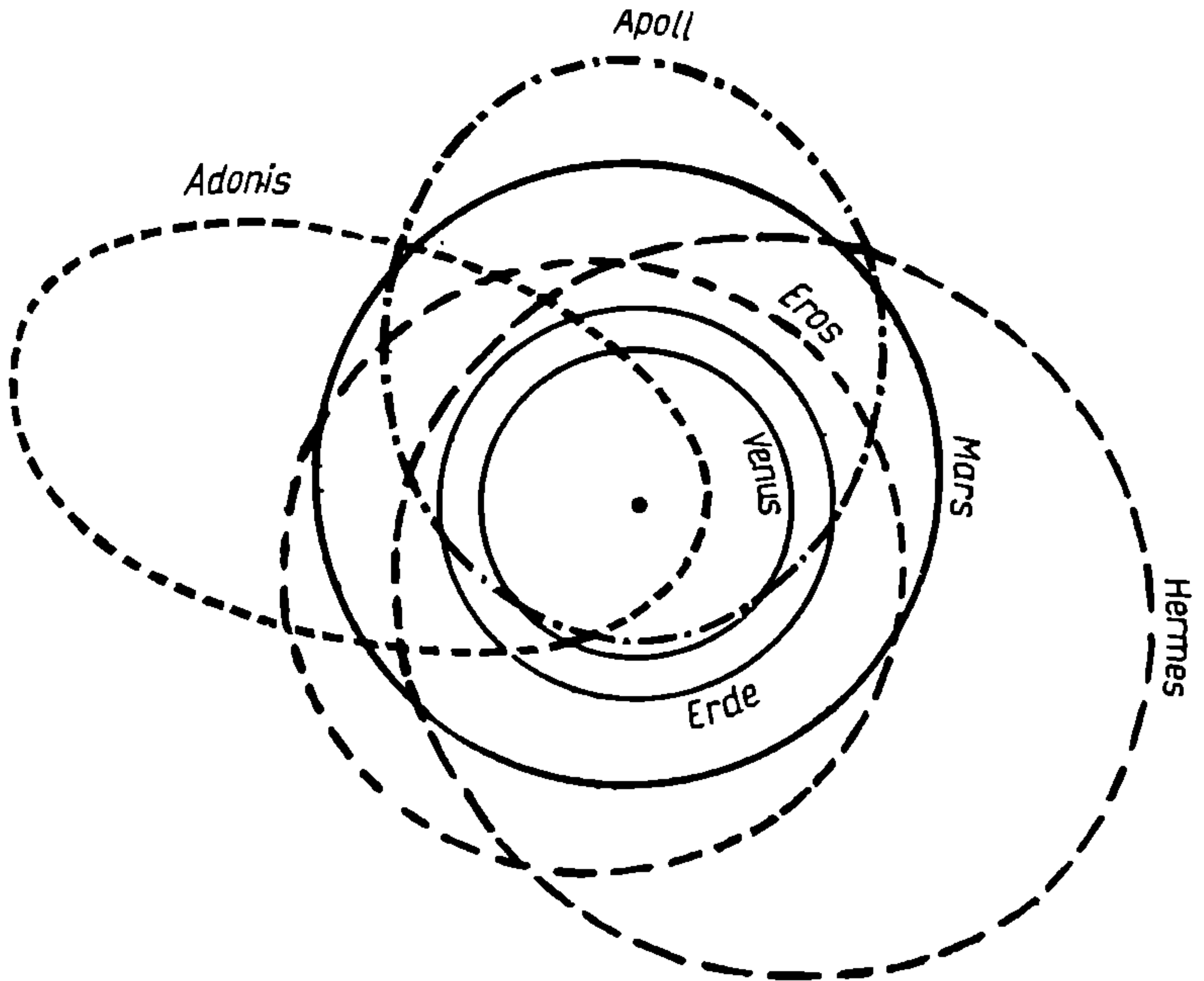
Besonderheiten in der Form der Asteroiden und ihrer Bahnen

Ein großes Interesse für die Astronomen hat der 1898 entdeckte außerordentlich kleine Asteroid Eros, der etwas wie einen Barren von $22 \times 5,5 \times 5,5$ Kilometern darstellt. Dieser Asteroid bewegt sich in einer Ellipse, deren große Halbachse 1,46 der halben Achse der Erdbahn beträgt; und manchmal kommt er an die Erde sogar näher heran als der Planet Venus. Solche Annäherung fand im Jahre 1931 statt; hierbei ergab sich die Möglichkeit, den Abstand von der Erde zum Eros sowie den Abstand von der Erde zur Sonne genau zu messen und überhaupt die interplanetaren Abstände im Sonnensystem festzulegen. Schon Kopernikus hat seinerzeit darauf hingewiesen, daß man einen genauen Plan des Sonnensystems für jeden beliebigen Zeitpunkt aufstellen kann, sofern nur der Abstand zwischen irgendwelchen Körpern des Sonnensystems genau bekannt ist.

Wie die der großen Planeten, stellen auch die Bahnen der Asteroiden Ellipsen dar, und zwar sehr gestreckte, die also eine große Exzentrizität aufweisen. Einige der Asteroiden bewegen sich um die Sonne in so gestreckten Bahnen, daß sie im Aphel weit über den Bereich nicht nur der Jupiter-, sondern sogar der Saturnbahn hinausgehen, während sie im Perihel nicht nur die Mars- und die Erdbahn, sondern sogar die Venusbahn kreuzen. Zu solchen Asteroiden gehört Apollo, der überdies so klein ist, daß sein Durchmesser kaum zwei Kilometer beträgt. Seinem Aussehen nach erinnert er an einen großen Steinbrocken, der, wie schon gesagt, innerhalb der Bahnen mehrerer Planeten kreist. Er wurde im Jahre 1932 entdeckt, als

er sehr nahe an die Erde herangekommen und nur noch etwa 10 Millionen Kilometer von ihr entfernt war.

Im Jahre 1936 wurde der Asteroid Adonis entdeckt,



Bahnen von Venus, Mars und Erde und einige Asteroidenbahnen
Die Bahnen der Asteroiden Adonis, Apoll und Hermes sind nur um einige Grad zur Ebene der Erdbahn geneigt

dessen Bahn ebenfalls eine sehr große Exzentrizität aufweist und der im Perihel sogar an die Merkurbahn herankommt.

Im Jahre 1937 entdeckte man den Asteroiden Hermes, der noch näher an der Erde vorbeikam als Apollo. Er

näherte sich ihr bis auf 780 000 Kilometer, das ist das Doppelte der Entfernung des Mondes von der Erde.

Am 26. Juni 1949 wurde bei Aufnahme des Sternhimmels im Sternbild des Skorpions ein neuer Asteroid entdeckt, der die Nummer 1566 und den Namen Ikarus erhielt. Als Durchmesser wurden für ihn 1,5 Kilometer ermittelt; sein mittlerer Abstand von der Sonne entspricht dem der Erde. Die Exzentrizität der Ikarusbahn ist außerordentlich groß; die Bahn dieses Asteroiden ist so stark gestreckt, daß sie an die Bahn eines Kometen erinnert.

Aus diesem Grunde haben einige Forscher Vermutungen über die Kometennatur dieses Asteroiden geäußert. Bei Beobachtungen wurde jedoch keine Nebelhülle festgestellt und eine Kometennatur des Ikarus nicht bestätigt. Infolge seiner stark gestreckten Bahn konnte Ikarus im Perihel bis auf die halbe Entfernung des Planeten Merkur, bis auf weniger als 28 Millionen Kilometer an die Sonne herankommen, während er im Aphel 300 Millionen Kilometer von ihr entfernt ist. An die Erde kommt Ikarus manchmal bis auf eine Entfernung von sieben Millionen Kilometern heran.

Und so gibt es noch recht viele Asteroiden, die in unserem Sonnensystem auf so stark gestreckten Bahnen um seinen Mittelpunkt, die Sonne, kreisen.

KOMETEN, METEORE UND METEORITEN

Das Erscheinen von Kometen und der damit verbundene Aberglaube

Ungewöhnliche, „geschweifte“ Himmelskörper erscheinen zuweilen am nächtlichen Himmel. Man bezeichnet sie als Kometen.

Das Sonnensystem wird von vielen Kometen in verschiedenen Richtungen durchquert, doch sind nur sehr wenige mit unbewaffnetem Auge zu sehen; die meisten können nur mit Hilfe von Fernrohren beobachtet werden. Deshalb bekommen viele Menschen während ihres ganzen Lebens keinen einzigen Kometen zu sehen.

Die Seltenheit der hellen Kometen und ihr plötzliches und unerwartetes Auftauchen am Himmel hat früher in der Bevölkerung Angst und Unruhe hervorgerufen. Ihr Erscheinen wurde als Anzeichen kommender Notzeiten gedeutet. Die vom Aberglauben durchdrungenen Menschen sahen die Kometen als Vorläufer eines Krieges an und glaubten, daß sie Hunger, Not und Pestilenz mit sich brächten. Es wird erzählt, König Alfons IV. von Portugal sei im Jahre 1664 bei der Erscheinung eines Kometen so erschrocken gewesen, daß er den Kometen anschrie, ihn verfluchte und mit der Pistole bedrohte.

Abergläubische Menschen glaubten wohl auch, ein Komet künde den Untergang der Welt an. Die Geistlichen versuchten das Volk zu überzeugen, daß ein Komet ein Anzeichen von „Gottes Zorn“ sei und forderten die Gläubigen auf, Buße zu tun und der Kirche zu opfern.

Ehemals wurden in Rußland die Kometen als „Besen“ bezeichnet. In der Ukraine glaubte man, daß die Besen am Himmel Krieg bringen; in Belorußland sagte das Volk, Gott zeige den Besen am Himmel, um alle Sünder vom Antlitz der Erde fortzufegen.

Früher wurde nicht jeder Komet in einen Sternkatalog aufgenommen oder irgendwie vermerkt. Wir ha-

ben nur gelegentliche Nachrichten. Das Erscheinen des Halleyschen Kometen wurde zum ersten Mal im Jahre 66 unserer Zeit erwähnt. In russischen Chroniken wird er zum ersten Mal im Jahre 912 vermerkt. Der Halleysche Komet zeigt sich alle 75 bis 79 Jahre.

Im Jahre 1758 wurde sein Erscheinen vom Astronomen Edmund Halley vorausgesagt, und seitdem trägt er dessen Namen.

Als der Komet im Jahre 1222 erschien, also kurz vor der bekannten Schlacht an der Kalka (1223), wurde natürlich das Volk in seinem Aberglauben bestärkt, daß der Komet Krieg bedeute.

Beim Erscheinen eines Kometen wurden Gottesdienste abgehalten, um den göttlichen Zorn abzuwenden und Gnade zu finden, um vor Krieg und Not bewahrt zu werden, die der Komet ankündigen sollte. Viel Aufregung gab es (in unaufgeklärten Ländern, d. Übers.) beim Erscheinen des Halleyschen Kometen im Jahre 1910. Man erzählte sich, beim Durchgang der Erde durch den Schweif des Kometen würden Pest oder andere Plagen auftreten. Natürlich wurde das Volk durch solches Gerede in Angst und Schrecken versetzt, und die Geistlichkeit machte sich diesen Aberglauben zunutze. In der Stadt Samara (jetzt Kuibyschew) haben zum Beispiel die Mönche gedruckte Flugblätter mit Beschwörungen für die Begegnung der Erde mit dem Kometen verteilt. Diese begannen mit folgenden Worten: „Du Teufel, Satan, Beelzebub der Hölle! Versuche nicht, dich als Himmelsstern auszugeben. Du wirst die Rechtgläubigen nicht betrügen, deinen ketzerischen Schweif wirst du nicht

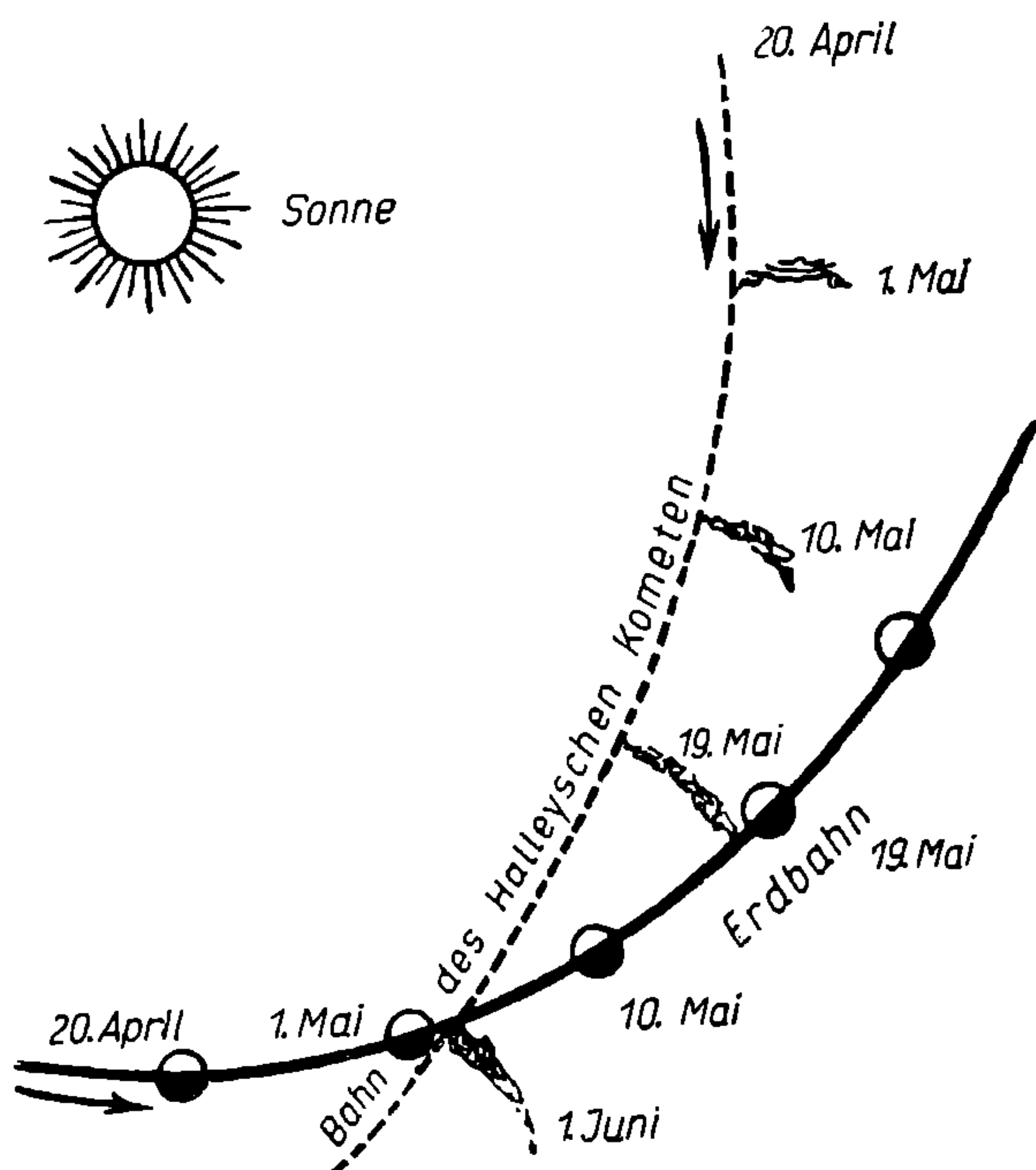
verstecken können, denn keiner der Himmelssterne hat einen Schweif. Du rasender Komet, du böser Drachen, du ketzerischer Schweif . . . Tauche deinen Schweif in einen feurigen Strom, auf daß er schwarz werde und verbrenne. Kein Stern bist du, sondern ein verfluchter Komet.“

S i n d K o m e t e n g e f ä h r l i c h ?

Mit Angst und Schrecken erwarteten also abergläubische Menschen das Erscheinen von Kometen. Sie glaubten etwa, der Komet werde mit seinem Schweif an die Erde herankommen, und beim Zusammenstoß mit der Erde werde die Welt untergehen, und das „letzte Gericht“ breche an. Oder sie fürchteten, der Komet würde zumindest unsere Atmosphäre mit schädlichen Gasen vergiften und so die gesamte Tier- und Pflanzenwelt vernichten.

Solche Gerüchte und Befürchtungen entbehren jeder Grundlage. Wir wissen, daß der Kern im „Kopf“ des Kometen aus kleinen Brocken besteht, die ihrer Masse nach im Vergleich zur Erde winzig klein sind. Doch weisen die Kometen ihrem Volumen nach manchmal bei der Annäherung an die Sonne eine außerordentliche Größe auf und werden fast zu den größten Körpern im Sonnensystem. Ihre Schweife streben immer von der Sonne fort und erstrecken sich in den Weltraum wie riesige Scheinwerferstrahlen. Einige Kometen haben Schweife von 300 bis 400 Millionen Kilometern. Manchmal beträgt die Länge eines Kometenschweifes das Doppelte und Dreifache der Entfernung von der Erde zur Sonne. Diese Schweife bestehen jedoch aus so stark verdünnten Gasen, daß ihre Dichte nur einen Bruchteil der

Dichte unserer Lufthülle erreicht. Die Erde ist schon mehrmals durch Kometenschweife hindurchgegangen, und es hat nicht den geringsten Schaden verursacht, es wurde überhaupt nur von Wissenschaftlern bemerkt. Zum letzten Mal geschah es in der Nacht vom 18. zum 19. Mai 1910, als die Erde durch den Schweif des Halleyschen Kometen ging. Der Verfasser dieses Büchleins hatte das Glück, den Kometen damals beobachten zu können.



Durchgang der Erde in der Nacht vom 18. zum 19. Mai 1910 durch den Schweif des Halleyschen Kometen

Die Bewegung der Kometen und die Entwicklung der Kometenschweife

Die meisten Kometen bewegen sich auf sehr stark gestreckten elliptischen Bahnen; während dieser Bewegung sind ihre Schweife dauernden Veränderungen unterworfen. Bei der Annäherung an das Perihel entstehen in den Kernen des Kometenkopfes Vorgänge etwa wie Explosionen. Dabei werden Wolken feinen Staubes ausgestoßen, die unter dem Einfluß des Lichtdruckes¹⁾ in der von der Sonne entgegengesetzten Richtung abgestoßen werden; es bildet sich ein Schweif, der allmählich größer wird und sein Maximum im Augenblick des Durchgangs durch das Perihel erreicht. Danach wird der Kometenschweif allmählich wieder kleiner, bis der Komet die Form einer runden oder ovalen Wolke annimmt. Nach dem Passieren des Aphels und bei der Bewegung nach dem Perihel zu beginnt erneut die Schweifbildung und steigert sich allmählich bis zum Perihel.

Die Umlaufsperioden der Kometen sind sehr verschieden. Einige Kometen haben Perioden von mehreren Jahrtausenden, andere wiederum von nur einigen Jahren. Die kürzeste Umlaufsperiode hat der Baklund-Enckesche Komet mit $3\frac{1}{2}$ Jahren.

Sowjetische Wissenschaftler wenden der Erforschung der Kometen eine große Aufmerksamkeit zu und

¹⁾ Der Lichtdruck wurde von dem hervorragenden russischen Physiker Prof. P. N. Lebedew entdeckt. Unter gewöhnlichen Bedingungen ist der Lichtdruck sehr gering und kann nur mit Hilfe feinsten Experimente festgestellt werden. In der Nähe der Sonne ist der Lichtdruck jedoch so groß und wirkt auf die feinen Staubteilchen so stark, daß hierdurch die Anziehungskraft der Sonne auf Staubteilchen mit einem Durchmesser von einem Mikron kompensiert wird. Solche Staubteilchen sehen wir in der Luft als Sonnenstäubchen.

nehmen in dieser Hinsicht eine führende Stellung in der Wissenschaft der ganzen Welt ein. Der russische Gelehrte Akademiemitglied F. A. Bredichin hat schon im 19. Jahrhundert eine mechanische Theorie der Kometenformen aufgestellt und eine Klassifizierung der Kometenschweife gegeben. S. W. Orlow, Stalinpreisträger und korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, hat die Klassifizierung der Kometenschweife weiter ausgebaut, eine Formel für die Bestimmung der Größe der abstoßenden Kräfte abgeleitet und eine Theorie der Entstehung der Kometen aufgestellt. Eine bedeutende Arbeit bei der Erforschung der Kometen hat der Direktor des Kiewer Observatoriums, Professor S. K. Wsechswjatski, geleistet. Der Astronom der Sternwarten in Simeis und in Pulkowo, Professor G. N. Neuimin, hat sechs Kometen entdeckt, die jetzt seinen Namen tragen.

Der Zerfall der Kometen und die Entstehung der Meteore aus Kometen

In der Nähe großer Planeten sind die Kometen der starken Wirkung der Anziehungskraft dieser Planeten ausgesetzt, „Störungen“, wie es in der Sprache der Astronomen heißt. Dadurch zerfällt ein Komet manchmal in mehrere einzelne Kometen. So zerfiel im Jahre 1846 zum Beispiel der periodische Komet Biela in zwei Teile; im Jahre 1852 erschienen an seiner Stelle zwei selbständige Kometen, jeder mit eigenem Kern und Schweif.

Manchmal zerfallen Kometen völlig und verwandeln sich in einen Schwarm von Meteorkörpern. Beim Durchgang durch die Erdbahn können solche

Schwärme der Erde begegnen, durch ihre Lufthülle dringen und auf die Erdoberfläche fallen. So wurde im Jahre 1872 an Stelle des Kometen Biela auf der Erde ein großer Meteorstrom, ein Sternschnuppenregen, beobachtet. Im Jahre 1885 wiederholte sich diese Erscheinung, doch weniger stark.

Alljährlich begegnen der Erde mehrere Meteorströme. Die kleinen Meteorkörper dringen mit riesiger kosmischer Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre ein, erreichen jedoch nicht die Erdoberfläche, sondern verbrennen in der Lufthülle vollständig. Am nächtlichen Himmel erscheinen sie als Sternschnuppen. Ein starker Sternschnuppenfall wurde am 9. Oktober 1933 in Leningrad und an anderen Orten beobachtet.

Die Meteore und der mit ihnen verbundene Aberglaube

Nach alten Aufzeichnungen sind Sternschnuppenfälle, richtiger bezeichnet man sie als Meteorfälle, in Rußland auch schon viel früher beobachtet worden. Im Jahre 1479 zum Beispiel wurde in der Woskresenski-Chronik vermerkt:

„Am 21. Tag im Oktober um 5 Uhr nachts haben viele Menschen gesehen, daß hinter dem Fluß Oka bei Alexinsk die Sterne wie ein Regen vom Himmel auf die Erde fielen; beim Aufschlagen sprühten sie Funken, waren jedoch nicht aufzufinden.“

Ähnliche Sternschnuppenschauer hat man nach den Aufzeichnungen in alten Chroniken auch in den Jahren 1505 und 1597 beobachtet.

Auch an die Erscheinungen der Meteore knüpfen sich abergläubische Vorstellungen, Legenden und mancherlei Volksglaube. Man nannte die Meteore Stern-
drachen, fliegende Drachen, böse Geister, feurige
Speere, feurige Keile usw. Das Volk glaubte, wenn
eine Sternschnuppe über den Himmel ziehe, schwebe
die Seele eines Menschen zu Gott. Die Russen hielten
Meteore für den Glanz der Speerspitzen, mit denen
die Engel die zum Himmel kletternden Teufel zu-
rückwerfen. Nogaier und Tataren hielten die Me-
teore für Wurfgeschosse, mit denen die Engel Teu-
fel und Schaitane bekämpften. Dieser Aberglaube
stammt offensichtlich aus dem Koran, in dem Allah
sagt:

„Wir haben die Sternbilder des Tierkreises ge-
schaffen und sie herrlich gemacht und schützen
sie vor allen Teufeln, die wir durch Steinwürfe
vertreiben. Und wenn ein Teufel sich heran-
schleicht und horchen will, so wird ihn eine helle,
gezahnte Flamme ereilen.“

So gab es früher vielerlei Legenden und Aberglauben
um die Meteore. Man betrachtete sie als Anzeichen
für den Zorn Gottes. Man glaubte auch, daß Stern-
schnuppenschauer zu einer Verminderung der Ster-
nenzahl am Himmel führen. Natürlich rührte das
alles her von der Unkenntnis der eigentlichen Natur
und der Entstehung der Meteore. Jetzt wissen wir,
daß die Meteorkörper beim Zerfall von Asteroiden
und Kometen entstehen und daß sie sich als kleine,
feste Körper im Weltraum bewegen.

Wir sprachen von der Möglichkeit eines Zusammen-
stoßes der Erde mit andern Himmelskörpern und
erwähnten, daß die Erde schon mehrfach durch Ko-

metenschweife hindurchgegangen ist und daß man dies nicht bemerken könne. Nun würde die Erde auch ständig von Meteorkörpern bombardiert werden, wenn sie nicht durch ihre mächtige Lufthülle geschützt wäre. Infolge des Widerstands dieser Lufthülle verwandeln sich die Meteorkörper in einer Höhe von etwa 70 bis 100 Kilometern über der Erdoberfläche in Dämpfe und verbrennen, so daß wir manchmal nur ein kurzes, helles Aufleuchten beobachten. In 24 Stunden leuchten etwa 20 Millionen Meteore auf, die für das unbewaffnete Auge aber nur zum Teil sichtbar sind. Das bedeutet, daß jährlich mehrere Zehntausend Tonnen Meteorstoff auf unseren Planeten fallen.

Die Meteorkörper dringen in die Lufthülle der Erde mit kosmischer Geschwindigkeit ein. Diese Geschwindigkeiten setzen sich aus der Geschwindigkeit der Erdbewegung und der des Meteorkörpers zusammen und können 70 Kilometer in der Sekunde erreichen. Beim Flug in der Atmosphäre bildet sich vor dem Meteorkörper ein zusammengepreßtes Luftpolster, das den Flug bremst. Die Bewegungsgeschwindigkeit des Meteorkörpers verringert sich allmählich, und seine kinetische Energie verwandelt sich in Licht; das Luftpolster wird hierbei bis auf einige Tausend Grad erwärmt und beginnt hell zu strahlen. Dann sehen wir einen Boliden, eine glühende Kugel mit einem feurigen Schweif. In einer Höhe von 5 bis 20 Kilometern über der Erdoberfläche hat der Meteorkörper seine kosmische Geschwindigkeit völlig eingebüßt und fällt nun nach den Berechnungen von Professor I. S. Astapowitsch infolge seiner Schwere mit einer Geschwindigkeit von 300 bis 350 Metern in der Sekunde auf die Erde.

Einen auf die Erde gefallenem Meteorkörper bezeichnet man als einen Meteoriten. Manchmal ruft der Fall eines Meteoriten Bodenerschütterungen und donnerähnliche Geräusche hervor, früher Grund genug für eine abergläubische Furcht im Volke.

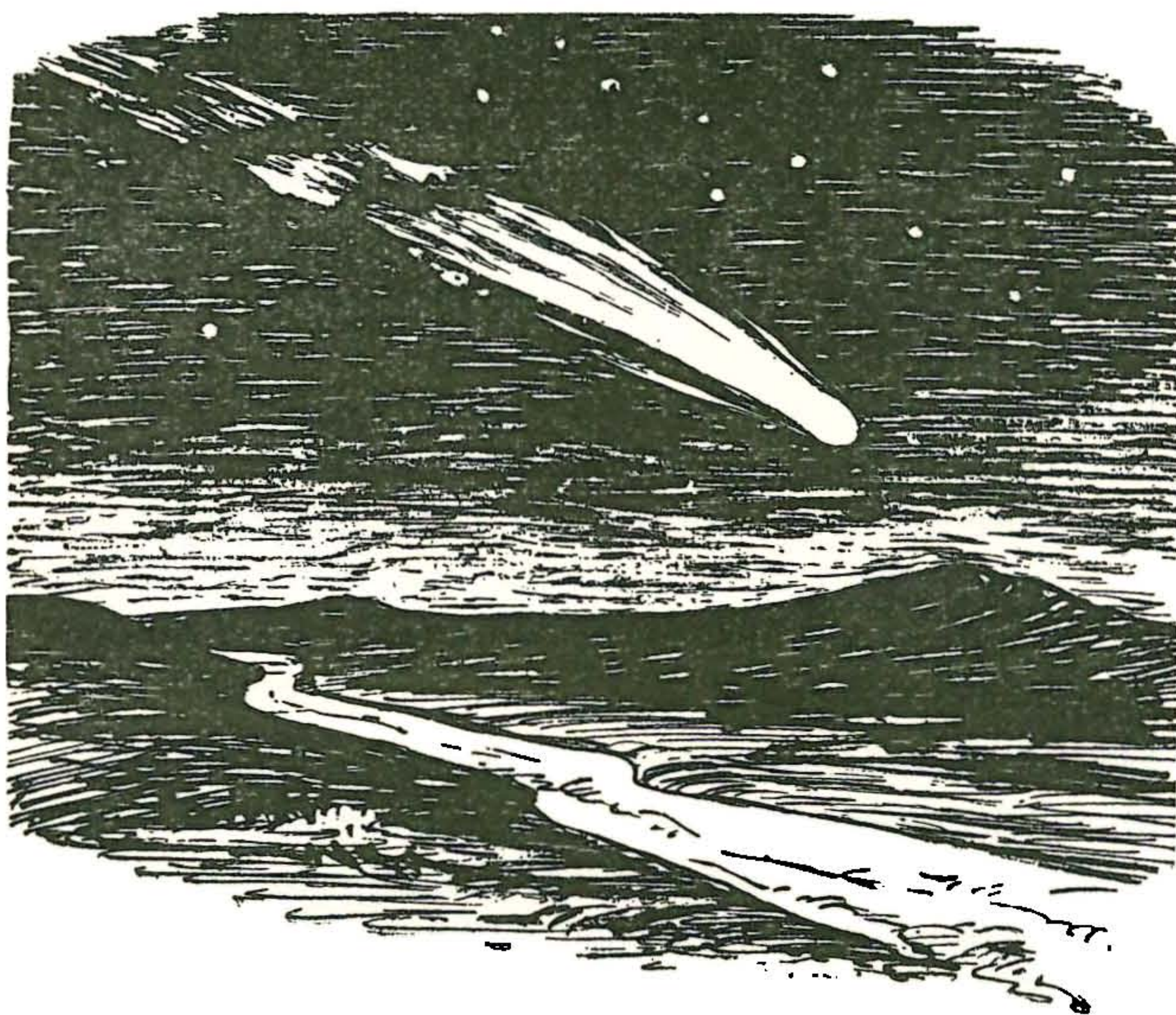
Die Meteoriten

Manchmal haben die Meteorkörper so viel Masse, daß sie die Erdatmosphäre durchdringen und auf die Erdoberfläche aufschlagen. Solche Fälle werden von der Wissenschaft aufmerksam verfolgt, die Zeitungen bringen Berichte, und wissenschaftliche Expeditionen begeben sich an die Fallstelle. Die (im Bereich der UdSSR, d. Übers.) aufgefundenen Meteoriten werden dem Komitee für Meteoriten bei der Akademie der Wissenschaften übergeben, wo man sie eingehend untersucht und erforscht.

Der Niedergang eines Meteoriten bietet ein interessantes Schauspiel. Ich habe in meiner Kindheit einmal den Flug einer Feuerkugel beobachten können. Es war im Dorf Temki an der Wolga (Tatarische ASSR) im August 1911 oder 1912. Mit andern Kindern verbrachte ich die Nacht auf der Weide, um dort die Pferde zu beaufsichtigen. Etwa um 9 Uhr abends, es wurde eben dunkel, sahen wir plötzlich über uns am Himmel eine feurige Kugel mit einem riesigen leuchtenden Schweif in der Richtung nach Südwest fliegen. Wir wußten natürlich nicht, was das war und riefen: „Dort fliegt ein Teufel!“ Die feurige Kugel flog über das Dorf und zerplatzte auf der gegenüberliegenden Seite in der Luft, wobei ein Funkenregen niederging. Wir saßen danach noch lange am Lagerfeuer und beschäftigten uns mit der Frage, zu wem

der Teufel heute wohl geflogen sei. So stak unsere Dorfjugend damals im Aberglauben.

Alte Handschriften berichten, daß im 13. Jahrhundert ein Meteoritenschauer in der Gegend von Weliki



Eine „Feuerkugel“

Ustjug niederging. Die Bevölkerung wurde so in Schrecken versetzt, daß sie zusammen mit dem Popen Prokopius in die Kirche rannte und zu Gott um Gnade betete. In andern steht, daß die Steine in der Nähe der Ortschaft in einen Wald fielen und dort ein großes Wunder vollbrachten. Viele Bäume wurden umgestürzt und entwurzelt. An der Fallstelle der Meteoriten, in der Nähe der Dörfer Kotlowo und Kamenny-Rutschei baute man eine Kapelle, zu der sich jedes

Jahr am 25. Juli, dem Tage des Geschehens, eine kirchliche Prozession begab, die anschließend am Grabe des Popen Prokopius betete und Lobeshymnen sang. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind damals wirklich viele Meteoriten niedergegangen. Aber eine später dorthin entsandte Expedition fand keine Steine, die an Meteoritensplitter erinnerten.

Die Meteoriten oder Himmelssteine, wie man sie dann nannte, wurden also als heilig angesehen. Man brachte sie in Kirchen und betete sie an. Für uns sind sie die einzigen kosmischen Körper, die einer unmittelbaren Erforschung im Laboratorium zugänglich sind. Auf Grund der Untersuchung und Erforschung der Meteoriten behaupten wir jetzt, daß die Materie im ganzen Weltraum gleich ist, daß sie überall einheitlich ist und sich nur unter verschiedenen Bedingungen in verschiedenen Zustandsformen befindet.

Man kennt Meteoriten sehr verschiedener Größe, aber solche von großen Dimensionen sind selten. Von größtem Interesse ist der Tungusische Meteorit, der am 30. Juni 1908 etwa 1000 Kilometer nördlich von Irkutsk in die Taiga fiel. Er war so groß und sein Aufschlag so stark, daß die Seismographen, die Geräte zur Registrierung von Erdbeben, noch über 5000 Kilometer weit von der Fallstelle ein Erdbeben bemerkten, also nicht nur bei den Erdbebenstationen in Rußland, sondern auch in vielen anderen Ländern.

Im Jahre 1927 begab sich eine von L. A. Kulik geleitete Expedition an die Fallstelle. Es wurde festgestellt, daß die Luftwelle der Explosion den Wald auf einer Fläche von einigen Tausend Quadratkilometern verwüstet hatte. Der Meteorit selbst oder Splitter von ihm wurden jedoch nicht gefunden.

Der letzte beobachtete Riesenmeteorit ist am 12. Februar 1947 im Fernöstlichen Küstengebiet der UdSSR in der Taiga, an den Ausläufern des Gebirgszuges Sichote-Alin, zwischen Wladiwostok und Chabarowsk, gefallen, der Meteorit von Sichote-Alin. Zu seiner Erforschung wurde eine Expedition entsandt, die vom Vorsitzenden des Komitees für Meteoriten, Akademiestmitglied W. G. Fessenkow, geleitet wurde. Nach den Aussagen einiger Augenzeugen — es wurden etwa 300 Augenzeugen in 52 Ortschaften befragt — war die Feuerkugel ziemlich groß und leuchtete heller als die Sonne, man konnte sogar doppelte Schatten an den Gegenständen beobachten. An der Fallstelle wurden über hundert trichterförmige Vertiefungen von verschiedener Größe gefunden; der Durchmesser einiger dieser Trichter erreichte 20 bis 28 Meter.

An der Fallstelle waren die Spitzen und die Äste der Bäume abgebrochen, und die Stämme standen da wie Telegraphenmasten. Einige zerbrochene und entwurzelte Bäume waren in die Kronen anderer Bäume geschleudert worden und dort hängengeblieben.

Die Expedition fand viele Splitter des Meteoriten. Einzelne Teile wurden auf einer Fläche von mehreren Quadratkilometern gefunden. Man stellte fest, daß der Meteorit aus Eisen und Nickel bestand, und nimmt an, daß sein Gewicht vor dem Eindringen in die Erdatmosphäre über tausend Tonnen betrug. Das entspräche einer Kugel mit einem Durchmesser von etwa acht Metern. Schon vor dem Aufschlag auf die Erdoberfläche zerfiel der Meteorit jedoch in der Luft in Stücke verschiedener Größe, und ein erheblicher Teil verdampfte. Man denkt, daß etwa hundert Tonnen die Erdoberfläche erreicht haben. Akademiestmit-

glied G. W. Fessenkow meinte, dieser Meteorit sei möglicherweise ein kleiner Planet, also ein Asteroid, gewesen.

Einige von der Expedition gefundene Bruchstücke hatten ein Gewicht von 500 Kilogramm. Die kleinsten Teilchen dieses Eisenmeteoriten wurden mit Hilfe eines Magneten an den Hängen der trichterförmigen Gruben gefunden. Einzelne kleine Meteoritensplitter waren in Baumstämme eingedrungen. Einige dicke Äste wiesen „Durchschüsse“ auf, die von den Meteoritensplittern ähnlich wie von Geschossen verursacht waren. So groß war also die Geschwindigkeit der Meteoritensplitter gewesen.

Die gesamte Masse des Gesteins, das aus den beim Aufschlag des Meteoriten entstandenen Gruben und Trichtern herausgeschleudert worden war, beträgt einige zehntausend Tonnen.

Insgesamt hat die Expedition 256 einzelne Meteoriten mit einem Gesamtgewicht von etwa zwei Tonnen sowie einige Tausend Splitter mit zusammen etwa 30 Tonnen Gewicht gesammelt, was jedoch ohne Zweifel nur einen Teil der gesamten Masse des auf die Erdoberfläche gelangten Meteoritenstoffes darstellt.

Erst kürzlich noch wurde beim Ausgraben eines der Trichter am Sichote-Alin in vier Metern Tiefe ein Meteorit von etwa zwei Tonnen Gewicht gefunden. Es ist der größte Einzelmeteorit in der UdSSR.

Einiges über die Herkunft der Meteoriten

Schon lange beschäftigte die Menschheit die Frage nach der Herkunft der Meteoriten. Prof. S. W. Orlow

hat diesem Problem eine Reihe von Arbeiten gewidmet, in denen er seine Gedanken über die Zusammenhänge zwischen den Planeten, den Asteroiden und den Meteoriten darlegt. Da unter den entdeckten Asteroiden solche mit Durchmessern von höchstens einem Kilometer vorkommen, wie die Asteroiden Hermes, Adonis und andere, kann man annehmen, daß es auch noch kleinere Asteroiden gibt, die infolge ihrer geringen Größe mit Hilfe der gegenwärtigen Mittel der astronomischen Technik nicht beobachtet werden können. Solche Asteroiden können, wie S. W. Orlow ausführt, nur dann von uns bemerkt werden, wenn sie mit der Erde zusammenstoßen und auf die Erdoberfläche fallen.

Der bekannte Arizonakrater in der Nähe der Teufelsschlucht in Nordamerika hat einen Durchmesser von 1200 und eine Tiefe von 175 Metern. Über die Entstehung dieses Kraters ist bisher nichts bekannt. S. W. Orlow und andere Forscher nehmen aber an, dieser Krater sei durch den Fall eines Riesenmeteoriten entstanden, der zweifellos zu den kleinen Asteroiden gerechnet werden kann. Der Gelehrte vertritt die Ansicht, man könne große Meteoriten mit Recht als kleine Asteroiden ansehen, die mit der Erde zusammengestoßen sind.

In der Weiterentwicklung seiner Gedanken meint S. W. Orlow, daß es „keine scharfe Grenze zwischen den Meteoriten und den Materieteilchen gibt, die beim Eindringen in unsere Atmosphäre Feuerkugeln und Meteoritenfall ergeben“.

„Es ist möglich“, fährt S. W. Orlow fort, „daß eine gleiche Katastrophe den hypothetischen Planeten in Stücke zerrissen hat, der nach der Tizius-Bodeschen

Regel einen Sonnenabstand von 2,8 astronomischen Einheiten haben sollte. Auch die Bruchstücke dieses Planeten zerfielen noch, und im Ergebnis haben wir jetzt ein kompliziertes Netz von Asteroidenbahnen, durchquert von den Bahnen der Kometen und Meteore.“

Nach den Forschungen S. W. Orlows sind die Kometen nicht etwa Eindringlinge aus dem interstellaren Raum, sondern sie entstehen im Sonnensystem durch Zusammenstöße der Asteroiden. Die Kometen stellen also, wie auch die Asteroiden und die Meteore, im Endergebnis nichts anderes dar als die Reste desselben hypothetischen Kometen, der irgendwann durch eine Katastrophe zerfiel¹⁾. S. W. Orlow schreibt also Planeten, Asteroiden, Meteoriten, Meteore und Kometen einen gemeinsamen Ursprung zu. Ein gleicher Zusammenhang auch ergibt sich aus den Forschungsergebnissen des Akademiemitgliedes A. N. Sawarizki, der die innere Struktur der Meteoriten untersucht hat. In ihren Hauptzügen werden diese Vorstellungen über die Entstehung der Meteoriten von der Mehrzahl der sowjetischen Wissenschaftler anerkannt, die sich mit der Untersuchung dieses kosmischen Körpers befassen. Daß im interplanetaren Raum tatsächlich riesige Ansammlungen von Meteorstoffen als Staub, Steine oder große Brocken vorhanden sind, haben die Untersuchungen des Tierkreislichts von Akademiemitglied G. W. Fessenkow gezeigt.

¹⁾ Da nach den gegenwärtig vorliegenden wissenschaftlichen Forschungsergebnissen und unter den heutigen Bedingungen die Planeten des Sonnensystems stabile kosmische Körper darstellen und nicht zerfallen können, haben sich die sowjetischen Gelehrten die Aufgabe gestellt, die Ursache des Zerfalls dieses hypothetischen Planeten zu ergründen.

DAS ZODIAKALLICHT

Im Vorfrühling am Morgen und im Herbst vor dem Sonnenuntergang kann man in der Nähe der Sonne und vorwiegend in Richtung der Ekliptik ein zartes, silbrig-milchiges Licht beobachten, dessen Helligkeit mit der Entfernung von der Sonne allmählich abnimmt. Häufig wird es mit der Milchstraße verwechselt. Dieses als Zodiakal- oder Tierkreislicht bezeichnete Leuchten wird in Form eines verhältnismäßig schwach sichtbaren, in Richtung der Ekliptik verlaufenden Streifens beobachtet, der sich über den ganzen Himmel erstreckt.

Das Zodiakallicht wurde schon vor fast anderthalb Jahrtausenden beobachtet; die Ägypter haben es auf ihren Obeliskens schon im fernen Altertum dargestellt. Die Natur dieser Erscheinung war jedoch lange Zeit hindurch nicht bekannt. Heute nimmt man an, das Zodiakallicht entsteht dadurch, daß feste staubförmige Teilchen, die in ihrer Gesamtheit eine riesige Wolke kosmischen Staubes mit verhältnismäßig geringer Masse darstellen, das Sonnenlicht zurückwerfen. Nach den Berechnungen W. G. Fessenkows beträgt die Gesamtsumme dieser Staubwolke etwa 26 Milliardenstel der Erdmasse ($2,6 \cdot 10^{-8}$).

Diese riesige Ansammlung kosmischen Staubes stellt etwas wie eine Linse gigantischen Ausmaßes dar, deren Rand sich viele Millionen Kilometer weit nach allen Seiten von der Sonne erstreckt. Man kann also annehmen, daß unsere Erde und das gesamte Planetensystem in einer Staubwolke eingebettet sind, die die Ursache für die Entstehung des Tierkreislichts ist. Diese Staubwolke nimmt einen riesigen

Raum ein, ist aber so dünn, daß man in 1000 Kubikmetern des interplanetaren Raumes durchschnittlich etwa ein Gramm des kosmischen Staubes finden würde.

Die staubförmigen Teilchen existieren nicht unbegrenzt lange. Man hat berechnet, daß Staubteilchen mit einem Durchmesser von zehn Mikron und einer kreisförmigen Bahn um die Sonne mit einem Radius von etwa zehn Millionen Kilometern durch den bremsenden Einfluß des Lichts immer näher an die Sonne herankommen und zuletzt, etwa nach 700 Jahren, auf diese „fallen“. Man nimmt an, daß in einem Zeitraum von hunderttausend Jahren auf die Sonne so viel staubförmiger Stoff fällt, daß seine Masse einem Asteroiden mit einem Durchmesser von zehn Kilometern entspricht.

Täglich „fällt“ also eine riesige Menge des Meteorstoffes auf die Sonne, das heißt, so wäre es, wenn die Sonne eine kalte Kugel darstellte. Da jedoch ihre Oberflächentemperatur etwa 6000° beträgt, verwandeln sich die staubförmigen Teilchen schon vorher in eine Wolke ionisierter Gase, die sich im interplanetaren Raum zerstreuen und diesen mit freien Elektronen anreichern. Nach Berechnungen enthält jedes Kubikmeter interplanetaren Raumes einige freie Elektronen.

Nach den Berechnungen einiger Forscher fallen auch auf die Erdoberfläche Meteorstoffe, täglich durchschnittlich etwa fünf Tonnen. Die Erde weist nach der Bildung der festen Erdrinde schon ein recht hohes Alter auf, auf Grund einiger Annahmen etwa von zwei bis drei Milliarden Jahren. Im Verlauf dieser langen Zeit ist auf der Erde eine so große

Menge an Meteorstoff gefallen, daß unser Planet bei gleichmäßiger Verteilung dieses Stoffes auf der ganzen Erdoberfläche eine Staubschicht von etwa einem Zentimeter Dicke haben müßte.

Woher stammt nun der staubförmige Meteorstoff im interplanetaren Raum? Hierzu wurde festgestellt, daß es im Endergebnis Zerfallsprodukte von Kometen und Asteroiden sind, die sich durch Zusammenstöße von Asteroiden miteinander oder mit Meteoren bildeten. Der interplanetare Raum gibt also den staubförmigen Stoff fortwährend ab und vervollständigt gleichzeitig seine Staubmassen durch Zusammenstöße von Asteroiden und Meteoren.

DIE SONNE UND IHRE ENERGIE

Dimensionen, Aufbau und Bewegung

Die Sonne, die den Mittelpunkt unseres Planetensystems darstellt, ist eine riesige glühende Gaskugel, deren Masse das 750fache der Masse der Planeten insgesamt ausmacht. Das Volumen der Sonne ist 1 300 000 mal größer als das unserer Erdkugel, während sie in ihrer Masse unsere Erde nur um das 330 000 fache übertrifft. Hieraus folgt, daß die Sonne aus einem weniger dichten Stoff besteht. Man nimmt an, daß jedes Kubikzentimeter der Erdkugel durchschnittlich 5,5 Gramm wiegt; das gleiche Volumen der Sonnenmaterie wiegt im Durchschnitt jedoch nur 1,4 Gramm. Trotzdem beträgt das Gesamtgewicht der Sonne das 330 000 fache des Gewichts unserer Erdkugel.

Wie wir wissen, beginnt bei Temperaturen von einigen Tausend Grad eine Ionisierung der Atome, das heißt, diese verlieren ihre äußeren Elektronen. Das

ist schon in der Sonnenatmosphäre, deren Temperatur etwa 6000° beträgt, der Fall. Hier finden wir ionisierte Atome ohne äußere Elektronen. Im Innern der Sonne jedoch, in ihrem zentralen Teil, in dem eine Temperatur von etwa 20 Millionen Grad angenommen wird, sind die Atome schon fast vollständig ionisiert, und dort existieren die Atomkerne und ihre Elektronenhüllen schon unabhängig voneinander. Dort gibt es keine ganzen Atome mehr, und wir finden nur sogenannte Bruchstücke von ihnen. Hierdurch ist die größere Dichte des Stoffes im Innern der Sonne bedingt. Obgleich die Sonne ein gasförmiger Körper ist, ist die Dichte in ihrem mittleren Teil so groß, daß sie die dichtesten auf der Erde bekannten Stoffe übertrifft. Die Sonne besteht aus den gleichen chemischen Elementen, die wir auch auf der Erde finden. 64 Elemente hat man schon festgestellt; kürzlich wurde auch Gold entdeckt. Mehr als die Hälfte der Sonnenatmosphäre, über 50%, besteht aus Wasserstoff, während 40% auf das Helium und 10% auf alle übrigen chemischen Elemente kommen. Etwa die gleiche chemische Zusammensetzung wird auch im zentralen Teil der Sonne vermutet.

Die Sonne steht im Weltraum nicht still, wie es Nikolaus Kopernikus angenommen hatte. Sie rotiert um ihre Achse und bewegt sich gleichzeitig in Richtung des Sternbildes der Lyra mit einer Geschwindigkeit von etwa 20 Kilometern in der Sekunde, zusammen mit dem gesamten System der Planeten, Asteroiden, Kometen und den zum Sonnensystem gehörenden Wolken kosmischen Staubes. Noch schneller kreist die Sonne auf ihrer galaktischen Bahn um eine bestimmte zentrale Zusammenbal-

lung von Sternen in der Galaxis, der Milchstraße. Die Sonne bewegt sich auf ihrer Bahn um das Zentrum der Galaxis mit einer Geschwindigkeit von etwa 250 Kilometern in der Sekunde, und eine Umlaufperiode dauert fast 200 Milliarden unserer Erdjahre. Nun können wir uns vorstellen, wie groß der „jährliche“ Weg unserer lebenspendenden Sonne ist!

Die Bedeutung der Sonne für das Leben auf der Erde

Die Sonne ist der Ursprung allen Lebens auf der Erde. Die Sonnenstrahlen bringen Licht und Wärme. Ohne die Sonne würden auf der Erde Kälte und Finsternis herrschen, und es wäre kein Leben auf ihr möglich. Die Sonne ist, zusammen mit der mächtigen Wasser- und Lufthülle der Erde, die Grundlage aller Lebensfunktionen. Die gesamte Pflanzenwelt verdankt ihre Entstehung der Sonne und ihren lebenspendenden Strahlen. Das Wachsen der Bäume und Pflanzen in Wald und Flur, das Reifen des Korns, das Blühen und Duften der Blumen, die Bewegung des Wassers in Meeren und Flüssen, die Kraft der Stürme und Winde, das Blitzen und Donnern der Gewitter, alles dieses und viele andere geophysikalische Erscheinungen sind in größerem oder geringerem Maße von der Tätigkeit der Sonne abhängig.

Die gesamte Tierwelt, von ihren größten Vertretern bis zu den kleinsten Käfern und bis in die Mikrowelt hinein, verdankt ihre Existenz der Sonne. Und für den Menschen gilt dies in gleicher Weise.

Die Sonne hat eine außerordentlich große Bedeutung für das tägliche Leben des Menschen. Wir

heizen unsere Wohnungen mit Steinkohle, Holz und flüssigen Brennstoffen wie Erdöl, Petroleum, Benzin usw., mit Torf, Gas oder mit elektrischer Energie, und denken sehr selten daran, daß erst die auf verschiedene Art umgewandelte Sonnenenergie die Quelle aller aufgezählten Energiearten ist. In kalten Winternächten sitzen wir häufig in der angenehmen Wärme des Ofens und empfinden dabei doch nur die sozusagen im Brennholz oder in der Steinkohle konservierte Sonnenwärme.

Auch alles Beleuchtungsgerät mit Petroleum, Elektrizität und anderem wird letzten Endes mit umgewandeltem Sonnenlicht gespeist, das uns mit den Wärmestrahlen der Sonne zugekommen ist.

Schon das ferne Altertum hatte die Bedeutung der Sonne für die Erde und ihre Bewohner erkannt. Aber unsere Vorfahren haben die Rolle der Sonne auf ihre Art und in ihrer primitiven Weise eingeschätzt. Sie betrachteten die Sonne als eine ihrer Hauptgottheiten und beteten zu ihr. Auch die alten Slawen vergangener Zeiten waren Sonnenanbeter, und Dschad-Bog, der Sonnengott, war einer ihrer Hauptgötter. Ebenso waren die Völker, die vor etwa einem Jahrtausend auf dem Gebiet des heutigen Mexiko lebten, Sonnenanbeter. Im alten Ägypten verehrte man den Sonnengott Ra und hielt die Herrscher des Landes für unmittelbare Nachkommen des Gottes. Der Sonne wurden Opfer gebracht, um den Sonnengott gnädig zu stimmen, und man begrüßte die aufgehende Sonne mit Gebeten und Liedern.

Dies alles ist jetzt zur Legende geworden. Die Astronomen erforschen die Sonne als einen der vielen Sterne und erfahren immer mehr von ihrer physischen Natur und ihrer Rolle im Leben der Erde.

Woher stammt die Sonnenwärme?

Wir wissen, daß die Sonne einer von vielen Fixsternen ist. Die Entfernung von uns bis zur Sonne beträgt etwa 150 Millionen Kilometer. Sie ist damit der uns nächste Fixstern. Ihre Helligkeit erreicht, in Sterngrößen umgerechnet, die Größenklasse minus 27. Wir können leicht berechnen, daß sie um das $2,5^{33}$ fache heller ist als zum Beispiel ein Stern sechster Größe. Um von der Sonne zu uns zu gelangen, braucht das Licht etwa $8\frac{1}{2}$ Minuten. Die andern Sterne sind so riesig weit von uns entfernt, daß wir sie nur als flimmernde Punkte sehen; der Lichtstrahl, der in jeder Sekunde 300 000 Kilometer zurücklegt, braucht Jahre, sogar Jahrhunderte oder Jahrtausende, um von diesen Sternen zu uns zu kommen. Wie auch die andern Sterne, ist die Sonne so heiß, daß ihre Oberflächentemperatur etwa 6000° beträgt; die Temperatur im Mittelpunkt wird nach theoretischen Berechnungen um mindestens, wahrscheinlich sogar um mehr als 20 Millionen Grad anzusetzen sein. Während mehrerer Jahrmilliarden strahlt die Sonne jedes Jahr, jeden Tag und jede Sekunde riesige Wärmemengen in den Weltraum, doch nur etwa ein halbes Milliardstel dieser Wärme kommt zu unserer Erde. Die Sonne strahlt so viel Wärme in den Raum aus, daß diese eine Eiskugel von 2000 Kilometern Durchmesser in einer Minute schmelzen und zu Dampf verwandeln könnte.

Sowohl die theoretische Physik als auch die Kosmogonie mußten sich früher oder später fragen, woher die Sonne die riesige Energie nimmt, um im Laufe von Jahrmilliarden ihre Oberflächentemperatur etwa in gleicher Höhe zu halten. Wenn unsere Sonne zum Beispiel durchweg aus Steinkohle bestünde, so

könnte eine solche Kugel in Verbindung mit Sauerstoff nur etwa 4000 Jahre lang brennen und den heutigen Zustand der Sonne aufrechterhalten; danach würde die Steinkohlensonne rasch erkalten und bald ganz erlöschen.

Sind als die Quellen der Wärmestrahlung bei der Sonne überhaupt Prozesse anzunehmen, die einer Verbrennung im Innern der Sonne entsprechen, wie früher vermutet wurde? Heute wissen wir, daß das nicht der Fall sein kann, erstens weil, wie uns die Spektralanalyse zeigt, auf der Sonne sehr wenig Sauerstoff vorhanden ist, und zweitens, weil bei den hohen Temperaturen auf der Sonne die Bewegung der Moleküle sehr schnell ist, bis zu 200 Kilometern in der Sekunde. Deshalb können sie keine Verbindung mit den Sauerstoffmolekülen eingehen, und ein Verbrennungsprozeß auf der Sonne wäre ganz unmöglich.

Die Fehler der älteren Hypothesen über den Ursprung der Sonnenwärme

So wußte man lange Zeit nicht, woher die Sonnenwärme stammt und woher die Sonne ihre Energie wieder auffüllt. Dann wurde im Jahre 1849 die sogenannte „Meteoritentheorie“ aufgestellt. Unter der Einwirkung ihrer großen Anziehungskraft fallen ständig riesige Mengen Meteoritenstoff mit Geschwindigkeiten bis zu 600 Kilometern in der Sekunde auf die Sonne. Die kinetische Energie dieses Meteoritenstoffes verwandelt sich in Wärme und sollte als die Hauptquelle der Sonnenwärme gelten.

Die Astrophysiker betonen heute, daß die Meteoritentheorie über die Entstehung der Sonnenwärme nicht der Wirklichkeit entspricht. Die aus dem Welt-

raum auf die Sonne fallende Materie kann die Sonnenstrahlung nicht unterhalten. Alle Unterlagen über die Natur der Sonne sprechen dafür, daß die Energie in Richtung vom Mittelpunkt zur Oberfläche geht; eine Erwärmung der zentralen Teile der Sonne durch den Fall von Meteoriten ist unmöglich. Wenn auf die Sonne so riesige Meteoritenmengen fallen würden, würde sich außerdem die Größe der Sonnenkugel merklich verändern. Auch dies wurde nicht beobachtet. Und so hält die Theorie von der Entstehung der Sonnenwärme durch Meteoritenfall in keiner Weise einer Kritik stand.

Im Jahre 1854 wurde die sogenannte „Kontraktions-theorie“ aufgestellt, nach der die Sonne durch Erkaltung schrumpfen sollte. Nach der Kontraktions-theorie bewegen sich die Teilchen der Sonnenmasse laufend zum Mittelpunkt der Sonne, und ihre kinetische Energie, die sich hierbei in Wärme verwandelt, könnte den Verbrauch an Sonnenenergie reichlich decken und die Sonnentemperatur sogar in gewissem Bereich erhöhen ¹⁾.

Natürlich erfolgt durch die Einwirkung der Gravitationskraft auf der Sonne auch eine gewisse Kontraktion. Die später durchgeführten Berechnungen haben jedoch gezeigt, daß auch auf diesem Wege die Sonnenstrahlung nicht aufrechterhalten werden kann.

Wenn der innere Aufbau der Sonne an allen Stellen gleich wäre, würde sich ihre Dichte beim Schrumpfen

¹⁾ Nach den von Lane durchgeführten Berechnungen muß eine Steigerung der Temperatur in entsprechenden Punkten der Sonne umgekehrt proportional dem Abstand vom Zentrum erfolgen, und bei einem Schrumpfen der Sonne auf die Hälfte ihrer ursprünglichen Größe müßte sich auch ihre Temperatur verdoppeln.

im gleichen Verhältnis verändern, und jedes Gramm der Sonnenmasse würde die gleiche Wärmemenge ausscheiden, was jedoch der Wirklichkeit nicht entspricht; auch dann jedoch würde die Sonnenstrahlung bei ihrem gegenwärtigen Umfang und bei beliebiger ursprünglicher Größe der Sonne höchstens für zwanzig Millionen Jahre reichen. Um eine bestimmte Temperatur einzuhalten, müßte die Sonne in ihrem Volumen kleiner werden und ihr Durchmesser sich jährlich um 20 Meter verringern. Das ist zwar eine sehr kleine Größe und könnte im Laufe von Jahrhunderten unbemerkt bleiben, da der Sonnendurchmesser in hundert Jahren erst um zwei Kilometer kleiner würde. Durchgeführte Berechnungen zeigen jedoch, daß sogar bei einer überhöht angenommenen Anfangsgröße der Sonne sie bei Einhaltung einer gleichbleibenden Strahlung schon in 20 Millionen Jahren die heutige Größe erreicht hätte. Nach dieser Theorie dürfte das Alter unserer Sonne kaum mehr als 20 Millionen Jahre betragen. Aber nach geologischen Funden ist das Leben auf der Erde schon vor einigen Hundert Millionen Jahren entstanden; das Alter der Erde überhaupt wird mit mindestens drei Milliarden Jahren geschätzt, das Alter einiger Meteoriten wird nach einigen Berechnungen und Untersuchungen mit 3 bis 8 Milliarden Jahren angegeben. Und die Sonne muß zweifellos älter sein als unsere Erde und auch als die Meteoriten.

Man muß offenbar nach anderen Wegen suchen, um die Quellen der Sonnenenergie zu ergründen. Dieser Weg wurde erstmalig vom bekannten Astrophysiker Emden gewiesen, der damals sagte: „Der Weg zur Erkenntnis der Sterne führt über das Atom.“

Etwa seit 1890, nach Veröffentlichung der Arbeiten von Marie Sklodowska-Curie, wurde bekannt, daß die inneratomare Energie die mächtigste Energiequelle darstellt. Es mußte nur noch geklärt werden, wodurch das Freiwerden dieser Energie, zum Beispiel bei unserer Sonne, hervorgerufen wird. Die Geschichte dieser Versuche und Forschungen ist sehr lehrreich. Sie begannen in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts, nachdem der Energieanfall aus schweren radioaktiven Atomen festgestellt wurde.

Einige Forscher nahmen an, im Innern der Sterne seien superstarke radioaktive Elemente vorhanden, die wir auf der Erde nicht kennen und die in ihrem Atomgewicht über dem Uran liegen. Eine solche Hypothese konnte jedoch nicht als Grundlage für eine Theorie der Evolution der Sterne und der Sonne genommen werden. Radioaktive Superelemente sind im Innern der Sonne und der Sterne bisher nicht festgestellt worden ¹⁾, und die Radioaktivität kann wohl die Lebensdauer der Sterne vermindern, jedoch, wie die Berechnungen gezeigt haben, nicht die von ihnen ausgestrahlte Energie ersetzen. Bekanntlich zerfällt das Radium sehr schnell; auch wenn unsere Sonne aus reinem Radium bestünde, würde sie nach anderthalb Jahrtausenden schon zur Hälfte zerfallen sein. Danach würde jedoch die Intensität einer Radiumsonne stark und schnell absinken, was den heutigen Vorstellungen über das Alter der Sonne nicht entspricht. Die Sonnenstrahlung kann auch nicht von dem Zerfall anderer radioaktiver Elemente, wie Uran und Thorium, herrühren.

¹⁾ Gegenwärtig hat man auf künstlichem Wege die sogenannten transuranischen Elemente Neptunium, Plutonium, Americium, Cyrium, Berkelium und Californium gewonnen.

Also kann sie aus der Radioaktivität überhaupt nicht erklärt werden. Aber die Erforschung der Radioaktivität hat erwiesen, daß in den Atomkernen riesige Energievorräte verborgen sind, und das hat die Lösung der Frage nach den Quellen der Sonnenenergie unzweifelhaft beschleunigt.

Gegenwärtige Vorstellungen von den Quellen der Sonnenenergie

Wie schon erwähnt, wird gegenwärtig angenommen, daß die Sonnenmasse zu etwa 50% aus Wasserstoff und zu 40% aus Helium besteht¹⁾. Spektraluntersuchungen haben gezeigt, daß die Sonnenatmosphäre in der Hauptsache aus den gleichen Gasen besteht. Alle andern Elemente zusammengenommen machen aller Wahrscheinlichkeit nach nur einen Bruchteil der Mengen des Wasserstoffs und des Heliums aus. Hieraus ergibt sich ganz natürlich die zur Erklärung der Quellen der stellaren Energie im Jahre 1931 aufgestellte sogenannte „Theorie der Atomsynthese“.

Nach dieser Theorie kann durch Vereinigung von vier Wasserstoffatomen zu einem Heliumatom so viel Energie frei werden, daß bei einer ursprünglich vollkommen aus Wasserstoff bestehenden Sonne und einer ununterbrochenen Umwandlung des Wasserstoffes hauptsächlich in Helium die frei werdende Energie genügen würde, um die Sonnentemperatur für eine Dauer von hundert Milliarden Jahren auf ihrer heutigen Höhe zu halten und die Verluste durch die Sonnenstrahlung zu kompensieren.

¹⁾ Nach den Forschungen des sowjetischen Astronomen A. B. Sewerny sind in der Sonne 38% Wasserstoff, 59% Helium und 3% anderer Elemente enthalten.

Diese Theorie der „Atomsynthese“ wurde erst vor einigen Jahren im Zusammenhang mit den neuesten Erkenntnissen der Atomphysik entwickelt, als die interatomaren Reaktionen und die Kernumwandlungen experimentell erforscht werden konnten, als der bekannte Physiker Bethe auf Grund seiner neuesten Forschungsergebnisse die Theorie der zyklischen Kernreaktion aufstellte und als die Bedingungen für die Verwandlung des leichtesten Elements, des Wasserstoffs, in ein schwereres Element, das Helium, geklärt waren. Es ergab sich, daß bei der Umwandlung von vier Wasserstoffatomen in ein Heliumatom eine Minderung der ursprünglichen Masse, also ein Massendefekt, eintritt¹⁾. Die beim Zusammentreten von vier Wasserstoffprotonen zu einem Heliumkern frei gewordene Masse verschwindet jedoch nicht, sondern wird als Energie ausgeschieden. Bei Umwandlung von einem Gramm Wasserstoff in Helium wird die gleiche Menge an Energie frei, wie wenn zehn Tonnen Benzin verbrennen.

Ein gleichzeitiger Zusammenstoß von vier Protonen und ihre Verbindung zu einem Heliumkern ist aber unmöglich.

Nur im Ergebnis eines bestimmten Reaktionszyklus bildet sich aus vier Protonen der Heliumkern. Bei den in Laboratorien durchgeführten Forschungen werden nun Kernreaktionen von zweierlei Art beobachtet: a) in die Kerne verschiedener Elemente dringen ungeladene Teilchen, also Neutronen, ein; b) in die Kerne verschiedener Elemente dringen geladene Teilchen, also Protonen, ein.

¹⁾ Vier Protonen, also die Kerne von vier Wasserstoffatomen, entsprechen dem Gewicht von 4,03252 Atomeinheiten, während ein Heliumkern das Gewicht von 4,00386 Atomeinheiten hat; der Verlust, der Massendefekt, beträgt 0,02866 Atomeinheiten.

In der Nähe des Mittelpunktes der Sonne und der Sterne, wo die Temperatur einige zehn Millionen Grad erreicht, bewegen sich mit riesigen Geschwindigkeiten, vergleichbar mit den kosmischen Geschwindigkeiten der Sterne in der Milchstraße, die freien Kerne verschiedener Elemente, überwiegend Wasserstoffkerne, also Protonen. Kernreaktionen der ersten Art finden im Innern der Sonne nicht statt. Es gibt im Innern der Sonne sehr wenig Neutronen. Außerdem würden sich die ungeladenen Teilchen sehr schnell mit den Kernen anderer Elemente verbinden, und ihr Vorrat wäre bald aufgebraucht.

Also erfolgen im Innern der Sonne und der Sterne ununterbrochen Kernreaktionen mit freien Protonen, die mit großen Geschwindigkeiten in die Atomkerne eindringen. Hierbei erweist sich, daß bei Temperaturen unter zwanzig Millionen Grad ein Proton nicht in Kerne von Elementen eindringen kann, die ein größeres Atomgewicht als der Sauerstoff haben. Ein freies Proton kann am leichtesten in den Kern des Deuteriums, des schweren Wasserstoffs, eindringen, das nur aus einem Neutron und einem Proton besteht. Etwas schwieriger für das Proton ist das Eindringen in Kerne schwererer Elemente, zum Beispiel von Lithium, Beryllium, Bor und besonders von Kohlenstoff. Zum Eindringen des Protons in die Atomkerne der ersten beiden Elemente ist eine Temperatur von zwei bis dreieinhalb Millionen Grad erforderlich; das Eindringen eines freien Protons in den Kern eines Kohlenstoffatoms kann sogar erst bei Temperaturen von etwa zwanzig Millionen Grad erfolgen.

Für den Mittelpunkt der Sonne wird die Temperatur mit zwanzig Millionen Grad angenommen. Die Sonne

macht demnach gegenwärtig einen Kohlenstoffzyklus der Kernreaktionen durch, als dessen Endergebnis die Bildung von Helium aus Wasserstoff eintritt; der Kohlenstoff wird dabei nicht verändert, er tritt nur als eine Art von Katalysator auf, dessen Anwesenheit den Reaktionszyklus ergibt und beschleunigt. Zutreffend könnte man sagen, der Wasserstoff stelle den Brennstoff der Sterne und das Helium die Asche dar. Zur Kompensation der von der Sonne ausgestrahlten Energie genügt, wie Bethe nachgewiesen hat, ein Prozent Kohlenstoff in der Sonnenmasse, was den Beobachtungsergebnissen entspricht.

Wie groß sind die Vorräte an Sonnenenergie?

Bei Temperaturen von einigen Tausend Grad lösen sich zusammengesetzte Stoffe in ihre Elemente auf, und bei Temperaturen von einigen zehn Millionen Grad zerfallen die Atome der Elemente in ihre Bestandteile, in Protonen, Neutronen, Elektronen und andere. Diese hohen Temperaturen gibt es im Innern der Sterne und auch unserer Sonne. Nun wissen wir, daß sich Wasserstoff bei einer Temperatur von 20 Millionen Grad in Helium verwandelt. Dabei werden Riesenmengen an Energie ausgeschieden. Wenn sich nur drei Kilogramm Wasserstoff in Helium umwandeln, wird so viel Wärme frei, wie wir beim Verbrennen einer Million Tonnen Kohle erhalten würden.

Um den heutigen Stand der Sonnenstrahlung zu erhalten, müssen sich im Innern der Sonne in jeder Sekunde etwa 500 Millionen Tonnen und in einem Jahre 15 000 Trillionen Tonnen Wasserstoff in Helium verwandeln. Unwillkürlich fragen wir uns, wie

lange der Wasserstoffvorrat dann reiche und ob unsre Sonne nicht bald ihre Brennstoffreserven verbraucht habe und erlösche. Das wird nicht eintreten, da die Sonne über ungeheuer große Vorräte an Wasserstoff verfügt.

Die Sonne befindet sich also nicht in einem völlig unveränderlichen Zustand. Wie alles in der Natur, machte sie eine gesetzmäßige Entwicklung durch. Viele sowjetische Astrophysiker (Akademienmitglied W. G. Fessenkow, Doktor der physikalisch-mathematischen Wissenschaften Professor E. R. Mustel, A. B. Sewerny, M. S. Eigenson, I. S. Schklowski, Kandidat der physikalisch-mathematischen Wissenschaften, A. G. Massewitsch und andere) befassen sich mit der Erforschung der Sonne. Sie bedienen sich dabei sehr verschiedenartiger Apparaturen und verschiedener Methoden, die jedesmal für besondere Zwecke geeignet sind.

Da sich die Masse der großen, heißen Sterne, wie die Forschungen der letzten Jahre gezeigt haben, ununterbrochen verringert, nicht nur infolge der Licht- und der Wärmestrahlung, sondern auch des Verlustes von Stoffteilchen in Form von Atomen und Elektronen, hat Akademienmitglied W. G. Fessenkow eine Evolutionshypothese aufgestellt. Nach dieser Hypothese gehörte unsere Sonne irgendwann in ferner Vergangenheit zum Typ der heißen, massiven Sterne. Von der Sonnenoberfläche strömten dauernd Gase ab, wodurch sich die Masse der Sonne verhältnismäßig schnell verringerte. Dann traten in ihrem Innern, wie noch jetzt, Kernreaktionen auf, deren Endergebnis die Umwandlung von Wasserstoff in Helium ist. Die Sonne hatte also mehr Wasserstoff und weniger Helium als heute; sie bestand aus mehr

als 50⁰/o Wasserstoff und weniger als 40⁰/o Helium. Zu dieser Hypothese stimmen alle Beobachtungsdaten befriedigend überein.

Berechnungen zeigen, daß nach dieser Theorie die Veränderung der Sonne zu Beginn verhältnismäßig schnell verlaufen und dann immer langsamer geworden ist. Vor drei oder vier Milliarden Jahren können Masse und Volumen der Sonne anders gewesen sein. Der Wasserstoffbestand der Sonne war größer, und sie strahlte mehr Energie aus. Danach, im Laufe der letzten drei Milliarden Jahre, müssen Masse und Leuchtkraft der Sonne praktisch unverändert geblieben sein, und sie werden auch die nächsten zehn Milliarden Jahre fast unverändert bleiben. Aber auch für die Zeit nach zehn bis fünfzehn Milliarden Jahren brauchen wir die Hoffnung nicht zu verlieren. Die Wissenschaft entwickelt sich gegenwärtig so schnell, daß wir Grund haben, kühn in die Zukunft zu blicken. Die Freimachung der Atomenergie und ihre Ausnutzung zu friedlichen Zwecken ergibt einen Wendepunkt in unserm gesamten wirtschaftlichen und kulturellen Leben und wird die Arbeitskultur auf ein ungeahnt hohes Niveau heben. Außerdem besteht kein Grund, daran zu zweifeln, daß man auch noch weitere Energiequellen auszunutzen lernen wird, zum Beispiel die Energie der Sterne.

DAS SONNENSYSTEM IM WELTRAUM

Die Sterndichte in der Umgebung des Sonnensystems

Der Raum, der unser Sonnensystem umgibt, weist eine sehr geringe Sterndichte auf. Der mittlere Abstand zwischen den Sternen an diesem Teil des Him-

mels beträgt etwas über zehn Lichtjahre. Ein Lichtjahr ist die Entfernung, die das Licht im Laufe eines Jahres zurücklegt. Wie wir wissen, verbreitet sich das Licht mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern in der Sekunde; ein Lichtjahr entspricht also fast 10 Trillionen Kilometern und macht das 63 000-fache der Entfernung von der Erde zur Sonne aus.

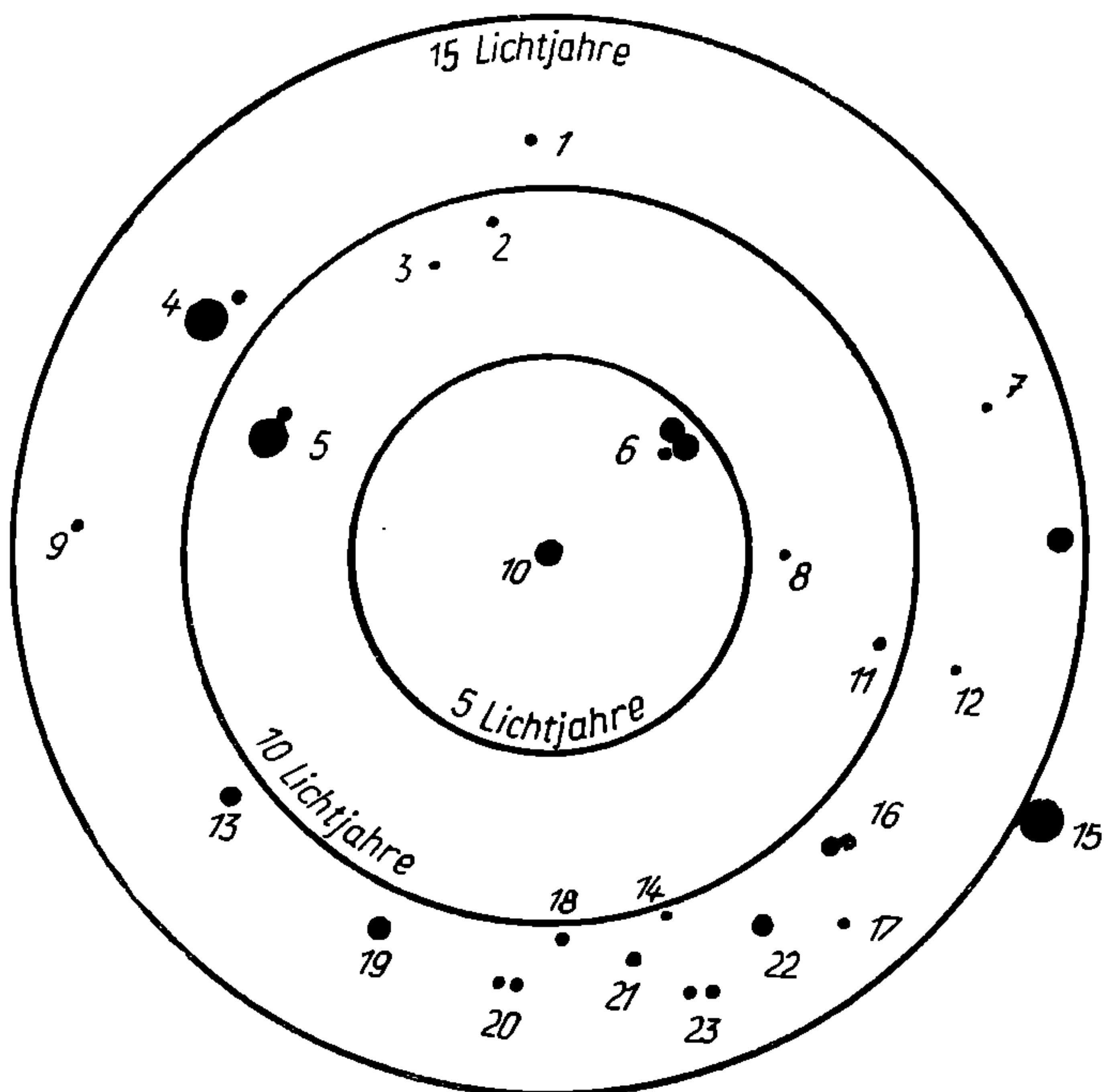
Von dem der Sonne nächsten Stern Alpha im Zentauren erreicht uns der Lichtstrahl nach etwa 4 Jahren und 3 Monaten. Im Raum um die Sonne mit einem Radius von etwa 10 Lichtjahren befinden sich nur acht Sterne, unter ihnen der helleuchtende Sirius. Der Raum mit einem Radius von etwa 20 Lichtjahren enthält 28 uns bekannte Sterne, und in einem Raum um die Sonne mit einem Radius von fast 30 Lichtjahren finden wir immer noch nur die geringe Zahl von 57 Sternen.

Wenn wir die Entfernungen der zehn uns nächsten Sterne mit der gewöhnlichen Maßeinheit, also in Kilometern, angeben wollen, erhalten wir für die uns nächsten Sterne Alpha Centauri etwa 41 Trillionen, für Barnards Stern 57 Trillionen, für den Stern Wolf 359 etwa 80 Trillionen, für den Stern Lalande 21 185 ungefähr 83 Trillionen, für den Sirius 86 Trillionen, für den Stern Roß 154 etwa 92 Trillionen, für den Stern Roß 248 und für Luytens Stern 102 Trillionen, für den Stern Epsilon im Eridanus und den Stern 61 im Schwan 109 Trillionen Kilometer. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß eine Trillion aus einer Million Billionen ¹⁾ besteht, wird uns deutlich, wie groß die Entfernungen auch bis zu den uns nächsten Sternen sind.

Die Wahrscheinlichkeit einer Begegnung und eines

¹⁾ Eine Trillion = 1 mit 18 Nullen. (d. Übers.).

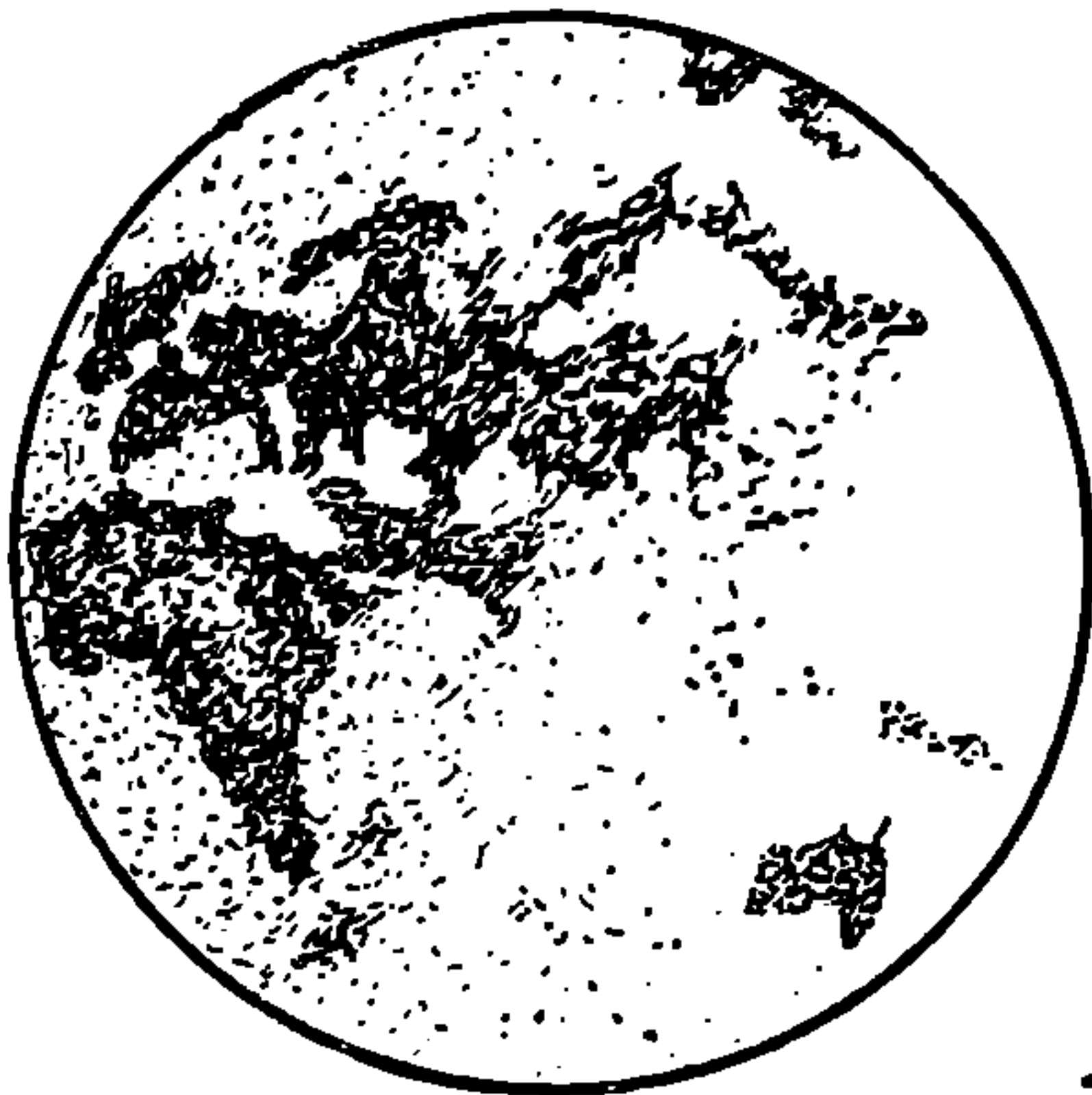
Zusammenstoßes der Sterne ist deshalb so verschwindend gering wie zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit des Zusammenstoßes einiger Stäubchen, die einsam in irgendeinem großen Raum schweben, zum



Fixsterne in der nächsten Umgebung der Sonne

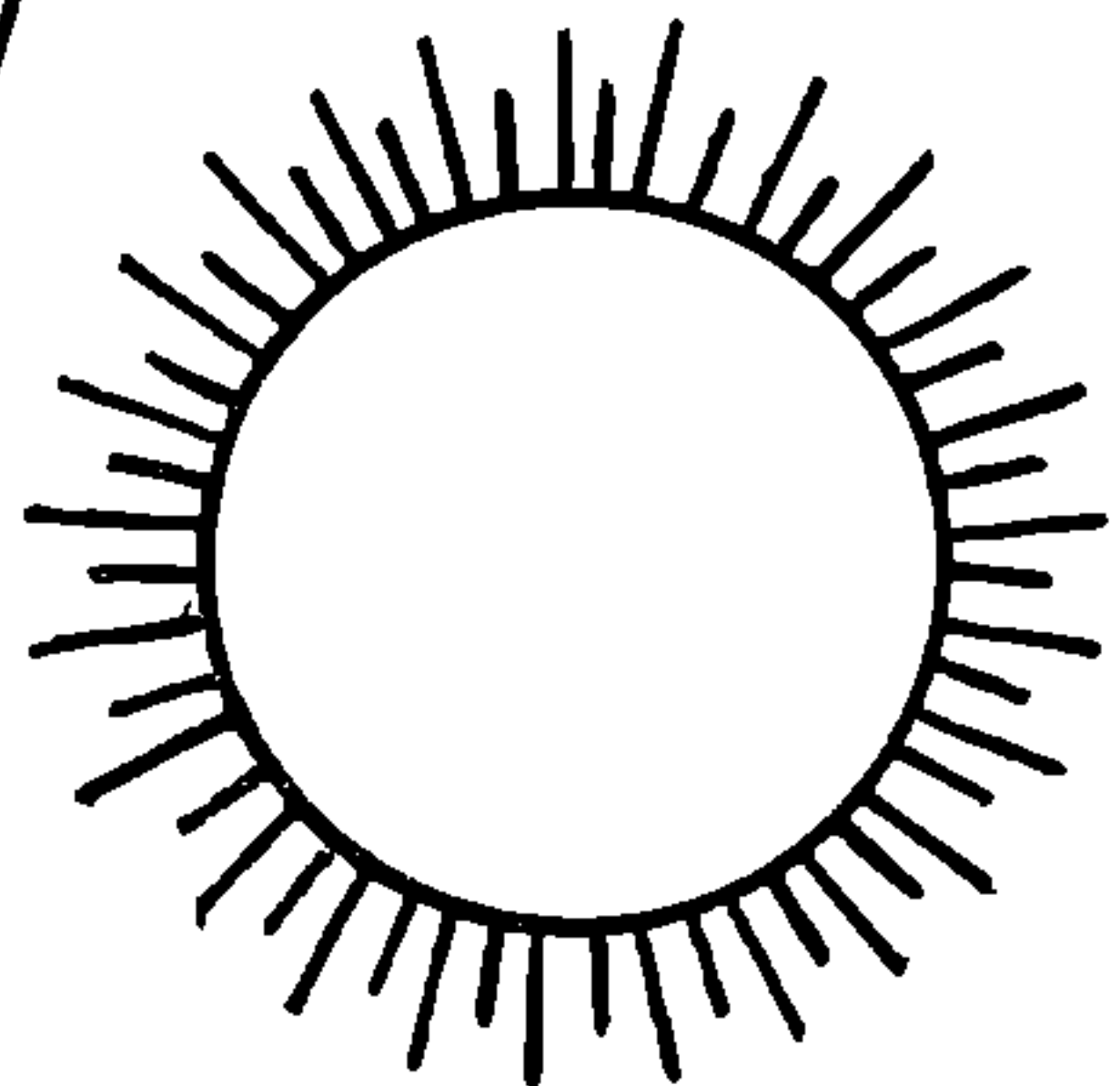
1 Ross 120	9 Ross 614	17 Lac 8760
2 Lalande 21185	10 Sonne	18 Ross 248
3 Wolf 359	11 Ross 154	19 Tau Ceti
4 Procyon	12 Struve 2398	20 Gr. 34
5 Sirius	13 Epsilon Eridani	21 Lac 9352
6 Alpha Centauri	14 Luyten	22 Epsilon Indi
7 Zin 995	15 Atair	23 Kr 60
8 Barnard	16 Cygni 61	

Beispiel im Saal des Staatlichen Akademischen Großen Theaters. So gering ist die Sterndichte in der Umgebung der Sonne. Man hat berechnet, daß im Gebiet der Milchstraße auf 300 Raumwürfel mit Kanten von je einem Lichtjahr durchschnittlich ein Stern kommt.



Erde

Größenvergleich der Erde mit
dem weißen Zwergstern Kuyper
in der Kassiopeia

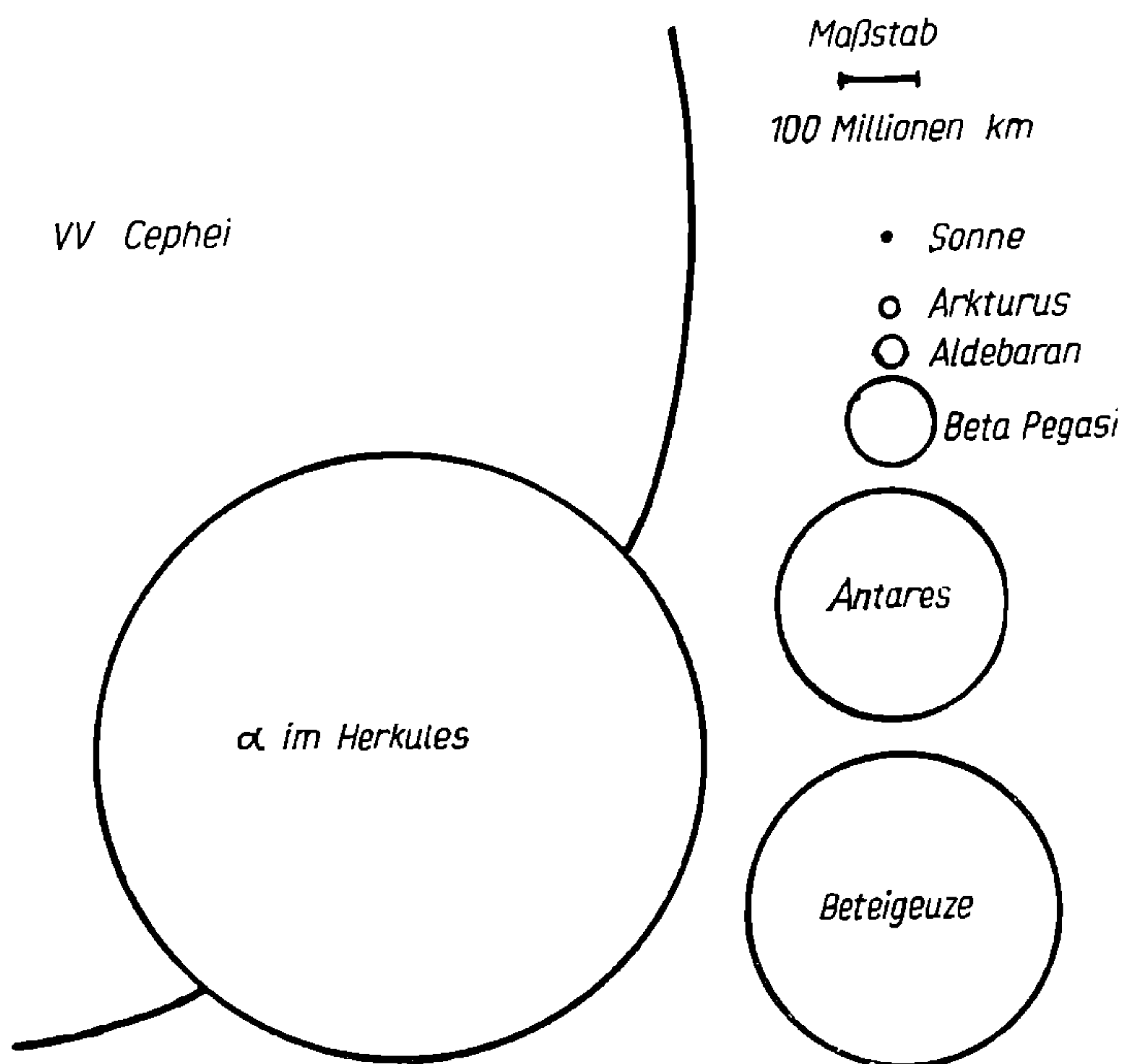


Weißer Zwergstern Kuyper

Größenvergleich zwischen der Sonne und den Sternen

Unter den Sternen, die unserem Sonnensystem nahe sind, sind die sogenannten Weißen Zwergsterne von Interesse, zu denen etwa der Siriusbegleiter, der Proxymionbegleiter und andere gehören. Diese Sterne weisen eine sehr hohe Temperatur und eine außerordentlich große Dichte auf. Zugleich haben sie eine

verschwindend geringe Helligkeit und Leuchtkraft und ein geringes Volumen. Der Siriusbegleiter ist nicht größer als unsere Erde. Seine Dichte ist jedoch so groß, daß eine Streichholzschachtel angefüllt mit



Größenvergleich der Sonne mit einigen der größten Sterne

der Materie dieses Sterns das Gewicht von 15 erwachsenen Menschen hätte. Eine noch größere Dichte weist der Weiße Zwerg Kuyper im Sternbild der Kassiopeia auf. Sein Volumen erreicht nur einen Bruchteil des Erdvolumens, aber seine Dichte übertrifft die des Wassers 36 Millionen Mal. Eine mit dem

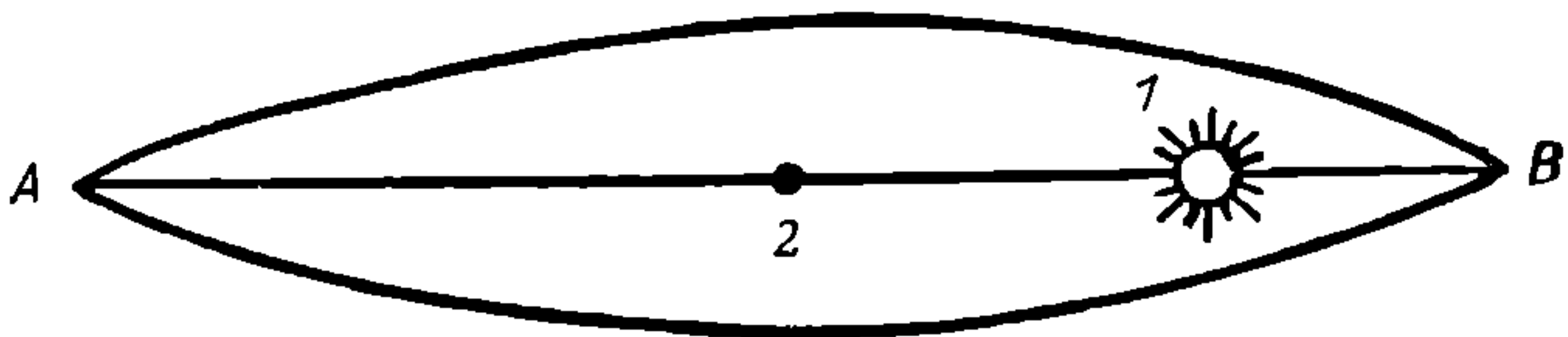
Stoff dieses Sterns gefüllte Streichholzschachtel würden etwa tausend Tonnen wiegen.

Neben den Weißen Zwergsternen gibt es unter den Sternen unsrer Galaxis anderseits Supergiganten, das sind Sterne von ungewöhnlicher Helligkeit und außerordentlich großen Dimensionen. Diese Sterne weisen eine sehr geringe Dichte und eine verhältnismäßig niedrige Temperatur auf; sie übertreffen in ihrem Volumen unsere Sonne um ein Vielfaches, in der Masse unterscheiden sie sich wenig von der Sonne. Der Stern Antares im Skorpion übertrifft mit seinem Volumen die Sonne um das 90 Millionenfache. Wenn wir uns den Antares an die Stelle unserer Sonne denken, würden die Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars mit ihren Bahnen innerhalb dieses Sternes liegen, und die Sonne wäre in seiner Mitte nur ein kaum merklicher Punkt. Die Masse dieses Riesensterns ist jedoch nur einige Male größer als die Masse der Sonne. Der Stern VV Cephei übertrifft unsere Sonne nach dem Volumen 12 bis 14 Milliarden Mal, die Dichte dieses Sterns ist jedoch so gering, daß sie nur einen Bruchteil der Dichte der uns umgebenden Luft erreicht. So unendlich groß und vielfältig ist die Welt der Sterne.

Die Rotation der Galaxis und der Platz des Sonnensystems darin

Die Sonne ist kein Stern, der sich einsam im Welt-
raum bewegt; sie gehört zu einem großen Sternen-
system, das wir als Galaxis oder Milchstraße bezeich-
nen. Im Jahre 1927 hat der Astronom Oort eine Ro-
tation der Galaxis um eine bestimmte zentrale Zu-
sammenballung von Sternen festgestellt. Diese Zu-

sammenballung wurde zum ersten Male im Jahre 1948 von den sowjetischen Astronomen Kalinjak, Krassowski und Nikonow entdeckt. An der Bewegung um das galaktische Zentrum nehmen alle zur Milchstraße gehörenden Sterne teil, darunter auch unsere Sonne, die sich, wie wir schon einmal erwähnten, auf einer bestimmten Bahn mit einer Geschwindigkeit von etwa 250 Kilometern in der Sekunde bewegt und einen vollen Umlauf um das Zentrum der Galaxis in etwa 200 Millionen Jahren zurücklegt. Wenn man



Schema des vermuteten Aussehens der Galaxis, der Milchstraße von der Seite her; der Ort der Sonne ist mit einem Kreis bezeichnet

1 Sonne 2 Zentrum der Galaxis

also annimmt, daß unsere Erde ungefähr drei Milliarden Jahre existiert, so hat die Sonne zusammen mit dem Planetensystem während dieser Zeit nicht mehr als 15 volle Umläufe auf der galaktischen Bahn um den zentralen Sternhaufen der Milchstraße zurückgelegt. Wir wollen erwähnen, daß sowjetische Astronomen (P. P. Parenago, D. K. Karimowa und andere) in der Zeit von 1946 bis 1948 auch solche Sterne entdeckt haben, die sich in einer Richtung entgegengesetzt zur allgemeinen Drehrichtung der Galaxis bewegen.

Interessant ist, welchen geometrischen Ort unser Sonnensystem innerhalb der Galaxis einnimmt. Das Sonnensystem befindet sich in der mittleren Ebene Des Milchstraßensystems und auf dem Radius des

DAS SONNENSYSTEM

Planeten	Anzahl der Monde	Mittlerer Abstand von der Sonne		Umlaufzeit um die Sonne in Erdjahren	Mittlere Geschw. km/sek	Durchmesser	
		in Millionen km	in astronomischen Einheiten			in 1000 km	in Erddurchmessern
Merkur	--	59	0,39	0,24	48,9	5,1	0,39
Venus	--	109	0,72	0,62	35	12,6	0,99
Erde	1	149,5	1,00	1,00	30	12,76	1,00
Mars	2	228	1,52	1,88	24,2	6,86	0,54
Asteroiden	—	—	—	—	—	—	—
Jupiter	11	778	5,2	11,9	13,07	142,7	11,0
Saturn	9	1426	9,5	29,5	9,6	115	9,0
Uranus	5 ¹⁾	2869	19,2	84,0	6,8	51	4,0
Neptun	2 ²⁾	4496	30,1	164,8	5,4	50	3,9
Pluto	—	5917	39,6	248,8	4,3	8(?)	0,7(?)
Sonne	—	—	—	—	—	1391	109
Mond	—	—	—	—	1,0	3,5	0,27

¹⁾ Der fünfte Uranusbegleiter wurde 1948 entdeckt.

²⁾ Der zweite Neptunbegleiter wurde 1949 entdeckt.

Systems etwa zwei Drittel vom Mittelpunkt entfernt. Wenn wir uns vorstellen, die Galaxis entspreche in ihrer Form etwa einer Taschenuhr, dann nimmt die Sonne mit ihrem Planetensystem etwa die Stelle ein, an der sich die Achse des Sekundenzeigers befindet. Die Dimensionen der Galaxis sind natürlich anders! Die Achse des Sekundenzeigers ist vom Mittelpunkt des Zifferblattes einige Millimeter entfernt, das Sonnensystem jedoch vom Zentrum der

IN ZAHLEN

Volumen u. Masse		Mittlere Dichte im Vergleich z. Dichte des Wassers	Schwerkraft am Äquator im Vergleich zu der Schwerkraft am Äquator der Erde	Umlaufzeit um die Achse	Mengen an Wärme und Licht von der Sonne je Flächeneinheit im Vergleich z. Erde in %	Atmosphäre
im Vergleich zum Erdvolumen	im Vergleich zur Erdmasse					
0,07	0,04	3,8	0,3	88 Tage	660	nein
0,97	0,82	4,7	0,8	?	190	ja
1,00	1,00	5,6	1,0	23 h 56 min	100	ja
0,16	0,11	3,8	0,4	24 h 37 min	43	ja
—	—	—	—	—	—	nein
1344,8	317	1,3	2,3	9 h 50 min	3,7	ja
760,4	95	0,7	0,9	10 h 14 min	1,1	ja
70	15	1,2	0,8	10 h 49 min	0,3	ja
58	17	1,6	1,1	15 h 25 min	0,1	ja
?	0,7 (?)	?	?	?	0,06	?
1300000	332000	1,4	28	24,6 Tage	—	—
0,02	0,012	3,3	0,16	27,3 Tage	—	nein

Galaxis so weit, daß man es sich gar nicht mehr anschaulich vorstellen kann. Es sind etwa 10 000 Parsek. Ein Parsek ist gleich 3,26 Lichtjahren, ein Lichtjahr fast 10 Trillionen Kilometern. Die Entfernung unseres Sonnensystems von der zentralen Zusammenballung der Galaxis können wir mit einer Zahl von etwa 300 000 Trillionen Kilometern angeben. Dann haben wir den ungefähren Platz des Sonnensystems in der Galaxis und im Weltraum.

Die Sterne bewegen sich nicht mit gleicher Geschwindigkeit und nicht genau in gleicher Richtung.

Unsere Sonne zum Beispiel bewegt sich um 20 Kilometer in der Sekunde schneller als der sich weit von ihr bewegende Stern Wega und kommt diesem Stern täglich um eine Million Kilometer näher. Im Vergleich ist das nur ein winziger Bruchteil der riesigen Entfernung zwischen den beiden Sternen. Auf keinen Fall gibt es Grund zu der Befürchtung, die Sonne könnte mit irgendeinem andern Stern zusammenstoßen. Um die Sonne ist so viel Platz, daß ein solcher Zusammenstoß praktisch ausgeschlossen ist.

Die Galaxis ist so riesig, daß etwa 140 bis 150 Milliarden Sterne zu ihr gehören; die Dichte ihrer Verteilung im Raum nimmt mit der Entfernung vom galaktischen Zentrum allmählich ab. Die Galaxis hat die Form einer Linse und ist so groß, daß ein Lichtstrahl etwa 90 000 Jahre braucht, um von einem Rand der Galaxis zum andern zu kommen.

Durch die Arbeit des sowjetischen Astronomen Prof. B. W. Kukarin ist festgestellt worden, daß die Galaxis aus einer Reihe von Sterngruppen (Untersystemen) besteht. Die heißen Riesensterne befinden sich in der Nähe der galaktischen Ebene (flache Untersysteme). Andere Sterne sind in allen Richtungen verteilt (kugelförmige Untersysteme). Diese Untersuchungen zeigen bestimmte Zusammenhänge zwischen der Verteilung der Sterne im Raum und ihrem Alter. Sterne, die kugelförmige Untersysteme bilden, sind als alte, die Sterne der flachen Untersysteme als junge Sterne anzusehen.

W. A. Ambarzumian, Präsident der Akademie der Wissenschaften der Armenischen SSR, hat nachgewiesen, daß die jungen Sterne ein Alter von weniger als einer Milliarde Jahren haben. Zu den von ihm

entdeckten Sternassoziationen gehören solche jüngeren Sterne; es ist die Gruppe der heißen Riesensterne. Ihr Alter beträgt nicht mehr als einige zehn Millionen Jahre. Aus den Forschungen W. A. Ambarzumians ergibt sich zugleich, daß sich in der Galaxis auch gegenwärtig noch neue Sterne bilden.

Planetensysteme, ähnlich unserem Sonnensystem, gibt es im Weltenraum in unzählbaren Mengen. Nach den Forschungen der Astronomen A. N. Deutsch, Erik Holmberg und anderer wird angenommen, daß jeder vierte der uns nächsten Sterne dunkle Begleiter habe, die ihn umkreisen. Wenn man analog annimmt, daß jeder vierte Stern in der Galaxis ein Planetensystem aufweist, dann müßte es in der Galaxis etwa 40 Milliarden Planetensysteme geben, die, wie auch unser Sonnensystem, zusammen mit ihren Sonnen im galaktischen Raum um die zentrale Zusammenballung kreisen.

Außer unserer Galaxis gibt es nun aber im Weltall eine unzählige Menge anderer Galaxien (Milchstraßen). Unsere Astronomen beobachten mit Hilfe mächtiger Teleskope Nebel, die Hunderttausende und sogar viele Millionen Lichtjahre von uns entfernt sind. Und obwohl die modernen Errungenschaften der Technik uns ein Beobachten so weit entfernter kosmischer Bildungen ermöglichen, ist astronomischen Beobachtungen nur ein winziger Bruchteil des Weltalls zugänglich. Das Weltall ist zeitlich und räumlich unendlich und befindet sich in ununterbrochener Bewegung und Entwicklung. Es erstreckt sich unendlich nach allen Seiten, hat keine Grenzen, keinen Mittelpunkt und auch keine Form.

Ähnlich stellte sich schon der altgriechische Philosoph und Dichter Lukretius Carus (99—55 v. u. Z.) das

Weltall vor. In seiner Dichtung „Von der Natur der Dinge“ heißt es:

„Aber es ist das All von keiner Seite begrenzt;
Wär' es, so müßt ein Äußerstes sein; doch scheint
es, daß nirgends

Könn' ein Äußerstes sein, wo sich nicht ein un-
endlicher Punkt zeigt,

Über welchen hinaus nicht weiter die Kräfte des
Sinns gehn.

Aber da außer dem All sonst nichts annehmen
sich lässet,

Ist kein Äußerstes da, kein Maß noch Ende der
Dinge.

Sei wo du willst in ihm und in welchen Gegen-
den, immer

Wird von dem Ort, wo du bist, sich ebendie-
selbige Weite,

Sich ein unendliches All nach allen Seiten er-
strecken.“

Doch ist die Menschheit zu den heutigen wissen-
schaftlichen genauen Vorstellungen nicht auf ein-
mal, sondern ganz allmählich im Verlaufe vieler
Jahrhunderte, sogar Jahrtausende, gekommen.

Wir haben in diesem Büchlein ein Bild von unserem
Planetensystem bekommen; wir haben auch die Be-
wegung des Sonnensystems kennengelernt und auch,
welchen Platz es im Weltraum unter der großen
Vielfalt der Sternensysteme einnimmt. Nun können
wir begreifen, welchen Platz die Erde und der
Mensch im Weltall einnehmen.

Das Sonnensystem ist nicht ewig und hat nicht immer
in der gleichen Form bestanden, wie gewöhnlich an-
genommen wird. Es gibt nichts Beständiges und

nichts absolut Unveränderliches in der Welt. Auch kosmische Körper und ganze Systeme kosmischer Bildungen sind Veränderungen unterworfen. Nur sind die Zeiträume für die Veränderungen dieser Körper, bis auf Ausnahmen, so groß, daß man sie erst nach sehr langen Zeitabschnitten bemerken kann.

Die Entstehungsgeschichte des Sonnensystems haben wir nicht berührt. Gewiß ist, daß sich unser Sonnensystem in sehr ferner Vergangenheit in andern Entwicklungsstadien befand und durchaus nicht so war, wie wir es jetzt kennen. Aber wir haben diese Frage hier außer acht gelassen — ihr muß ein besonderes Buch gewidmet werden.

Tafel 64 wurde wiedergegeben nach Gleißberg, Wolfgang: Die Häufigkeit der Sonnenflecken, Berlin 1952, Akademie-Verlag.

Die Tafeln 65, 80 oben und 81 oben wurden entnommen dem Astronomischen Handbuch 1921, Stuttgart, Franckh'sche Verlagshandlung W. Keller & Co.; die Tafeln 80 unten und 81 unten nach den Publications of the Lick Observatory, Vol. VIII 1908 und Vol. IX 1913.

Den Verlagsanstalten, die den Abdruck gestatteten und der Universitäts-Sternwarte Leipzig, die lebenswürdigerweise die Werke zur Verfügung stellte, sprechen wir auch hierdurch unseren verbindlichen Dank aus.



