Zeitschrift: Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen
Band: 28 (1976)

Artikel: Astronomie heute und morgen
Autor: Rohr, Hans
Kapitel: Eine kurze Übersicht
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-584994

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Astronomie heute und morgen

Eine kurze Übersicht

Einleitung

Es ist, offen gesagt, ein unmögliches Unterfangen, im Rahmen und Umfang der «Neujahrsblätter» unserer «Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen» das Thema auch nur entfernt auszuschöpfen. Die Ziele der heutigen Astrophysik, bestimmend im Reiche der Astronomie, haben sich in den letzten Jahrzehnten, vor allem aber seit ein paar Jahren geradezu explosiv entwickelt. Es fällt sogar einem Fachastronomen schwer, allen Teilgebieten heutiger Forschung mitschaffend zu folgen, geschweige denn überall aktiv tätig zu sein, wie es noch zu Beginn dieses Jahrhunderts der Fall war.

Als augenscheinlicher Beweis sei hier nur auf die umwälzenden Entdeckungen in den letzten Jahren, der rätselvollen Pulsare, der Quasare und auf die spektakulären Ergebnisse der modernen Infrarot-, Radio-, Röntgen- und Gammaastronomie hingewiesen. Heute, und erst recht in den kommenden Jahren, weitet sich im Reich der Astronomie der Arbeitsplatz des einzelnen Forschers notgedrungen zu einer Gruppe, zum «Teamwork», zur Zusammenarbeit des Spezialisten mit anderen Spezialisten. Grosse «Einzelgänger» wie der kürzlich verstorbene schweizerische Astrophysiker Fritz Zwicky — der ebenfalls Mitarbeiter benötigte — sind heute kaum mehr zu finden. Angesichts dieser Tatsache des unübersichtlich gewordenen Umfanges heutiger astronomischer Forschung sind wir gezwungen, aus der Ueberfülle der Ergebnisse eine bescheidene Auswahl zu treffen. Wir möchten am einzelnen Beispiel, auf das wir näher einzugehen versuchen, dem Leser wenigstens einen Begriff geben vom revolutionären Weltbild heutiger Astronomie. Es sind Streiflichter, nichts anderes.

Wir möchten auch vermeiden, in Sensation zu machen, und bestreben uns, Hypothesen und Spekulationen vom einigermassen «Gesicherten» zu trennen. Wir werden uns vor allem aber hüten, in «Astronomie morgen» den unverantwortlichen Propheten zu spielen. Einmal fehlt dem Schreibenden hierzu die fachliche Berechtigung. Zweitens haben wir kaum eine andere sichere Möglichkeit, vom Kommenden zu sprechen, als zu versuchen, aus den heutigen Forschungsergebnissen Schlüsse zu ziehen. Ganz ohne Zweifel wird uns bereits die nahe Zukunft vor total neue Entdeckungen, vor neue Probleme stellen. Dies nicht nur in der unaufhörlichen Entwicklung der neuen, raffinierten Aufnahme-

technik, sondern gerade im Bereich der «laienmässig unsichtbaren» Astronomie. Als Beispiel: Die ungelösten Rätsel der Quasare, die rasch wachsende Reihe neu aufgefundener Moleküle in den Dunkelwolken und im Bereich der Hüllensterne, der Gase, der Strahlung in einem Galaxiehaufen und im Weltraum überhaupt. Das altehrwürdige Bild der majestätischen, grossen Ruhe im Weltall vergangener Jahrzehnte hat sich weitgehend gewandelt. Zum Bild des unveränderlichen Weltalls, das dem denkenden Menschen allgegenwärtig ist, gesellt sich heute ein wahrhaft explosives Universum. Man hat geradezu den Eindruck, als sei die «science fiction» angesichts des gesicherten oder sehr wahrscheinlichen Wissens vom All in den Hintergrund verdrängt worden . . .

Wir werden in unserer knappen Schilderung auch nicht den üblichen Aufbau der populären Astroliteratur gehen, sondern notgedrungen in einem eiligen Gang durch das moderne Weltbild da und dort Station machen. Nur auf diese Weise scheint es uns möglich, dem interessierten Leser eine Andeutung von der unerschöpflichen Fülle des Erklärbaren sowie des Rätselhaften der modernen Sternkunde zu vermitteln.

Die Uebersicht beginnt mit unserem Nachbarn, dem Mond — nach den «Apollo»-Flügen. Anschliessend betrachten wir die teilweise umstürzenden neuen Forschungsergebnisse bei den Planeten, Resultate der technisch sensationellen amerikanischen «Pionier»- und «Mariner»-Raumsonden wie der geglückten russischen Satelliten. Wir streifen kurz die Sonnenforschung, wo der grosse Kreis der Probleme sich ins Uferlose weitet.

Anschliessend verlassen wir das Sonnensystem und versuchen aufzuzeigen, was der heutige Astrophysiker von den Sternen auszusagen vermag, von der unendlichen Vielfalt der Sterntypen, von Ueberriesen, Riesen, Zwergen und Unterzwergen, den bestehenden Theorien der Sternentstehung bis zu den Rätseln der Pulsare, der Supernovae, von Neutronensternen und den sagenhaften «Schwarzen Löchern».

Damit sind wir bereits inmitten der zahllosen Wunder der Milchstrasse, wo die Forschung heute auf Schritt und Tritt auf neue Ueberraschungen stösst, dank dem modernen Computer des Theoretikers und der modernen, unglaublichen Aufnahmetechnik des heutigen Beobachters.

Zuletzt weitet sich dann der Blick ins Unendliche, zu anderen Milchstrassen (allgemein Galaxien genannt), zu den Galaxienhaufen mit manchmal Tausenden einzelner Galaxien, zu einem andeutenden Ueberblick über das gesamte Universum. Hier sind wir längst im eigentlichen Reich des Mathematikers, Denkers und Philosophen: im Reich der Kosmogonie und Kosmologie, Ursprung, Wesen und Zukunft des Ganzen, der Hypothesen, ja der Spekulationen, im Bereich fern jeder Anschaulichkeit, wo sich der Nichtmathematiker restlos verliert. H. R.

Der Mond

In den Anfängen der Sternkunde war der Mond, wie die Sonne und die Planeten, Hauptobjekt der Beobachtung und Ueberwachung. Seine periodisch wechselnden Phasen müssen schon in der Vorzeit die Menschen beeindruckt haben und führten schon vor Jahrtausenden zur Personifikation mit der urgeschichtlichen Mondgöttin.

Es ist erstaunlich, dass in der Hochblüte der griechischen Kultur, also Jahrhunderte v. Chr., zur Zeit, da beim damaligen Volksglauben die Götter auf dem griechischen Berg Olymp thronten, es dem griechischen Mathematiker und Denker Aristarch gelang, durch Winkelmessungen die Distanz des Mondes ungefähr zu bestimmen (ca. 265 v. Chr.). Seine Versuche, mit ähnlichen einfachen Messungen die Entfernung der Sonne festzustellen, ergaben dagegen unrichtige Zahlen, wie wir heute wissen. Aristarch glaubte, dass die Sonne etwa 19mal weiter von der Erde entfernt sei als der Mond. (Das Verhältnis ist jedoch, wie wir heute mit Sicherheit messen können, 1 : 392!)

Der Lauf des Mondes um die Erde, die Wiederkehr der alljährlichen Mondfinsternisse, bei denen bekanntlich der Mond durch den Schattenkegel der Erde wandert, waren bereits den Babyloniern bekannt. Die Voraussage der Wiederkehr der Finsternisse benützten die Priester, die Gelehrten ihrer Zeit, als Machtmittel im Verkehr mit den Königen. Aber auch im alten China gehörten Voraussage der Sonnen- und Mondfinsternisse als entscheidende Ereignisse am Himmel zu den Grundlagen chinesischer Kultur.

Was aber der Mond in Wirklichkeit ist, physikalisch gesehen, war vor der Erfindung des Fernrohrs unbekannt oder unsicher, wenn auch die grossen Denker der Antike in ihren Ueberlegungen vielfach der Wahrheit nahekamen. Die Mondforschung, die Erforschung der Planeten, der «Wandelsterne» trat mit dem Fernrohr schlagartig in eine neue Epoche. Der italienische Physiker und Mathematiker Galilei erkannte als erster Mensch 1610 mit seinem selbstgebauten, primitiven kleinen Fernrohr grobe Einzelheiten auf dem Mond. Seine Beobachtungen führten zum grossen Durchbruch und bald zum Verschwinden der alten Vorstellung vom Weltallgewölbe überhaupt. Das Fernrohr öffnete dem Menschen das Fenster ins Weltall hinaus. In den vergangenen Jahrhunderten, mit immer grösseren und besseren Linsenfernrohren und Spiegelteleskopen (Hohlspiegel anstelle von Linsen), stiess die Mondforschung bis zu kleinen, kaum erkennbaren Einzelheiten vor. Es ist Tatsache, dass vor 100 Jahren die Mondoberfläche besser bekannt war als die Erdoberfläche, auf der noch allerlei «blanke Stellen» zu finden waren. Es zeigte sich eine Welt von Kratern jeder Grösse, von Riesenkratern, sogenannten Wallebenen mit Hunderten von Kilo-

metern Durchmesser, bis zu den Legionen kleiner Krater, Bergzügen und zerklüfteten Gebirgsrücken im grellen Sonnenlicht, eigenartige Rillen und merkwürdige, wie aufgemalte helle Strahlen. Es entstanden Mondkarten, zuerst primitive Versuche in der Frühzeit des Fernrohrs, bis zu eigentlichen Vermessungskarten und grandiosen Mondatlanten in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts, Lebenswerk einzelner unermüdlicher Beobachter.

Je genauer die Forschung die Oberfläche des Mondes erkundigte, desto deutlicher stellte sich der Mond als ein astronomisches «Fossil» dar. Und dann erfolgte der zweite, grosse Durchbruch in der Astronomie: die Fotografie. 1841 glückte dem amerikanischen Physiker John W. Draper eine Aufnahme des Mondes auf einer Daguerre-Platte. Das war der Anfang. Mit dem Aufkommen der Fotografie in der Astronomie darf füglich von einer Revolution in der Wissenschaft gesprochen werden. Wir werden später immer wieder auf diesen «Lichtzauber» in der modernen Sternkunde hinweisen. Es ist aber verwunderlich, dass am Mond und auch an den Planeten die Fotografie erst in den letzten Jahrzehnten die zeichnerische Beobachtung am Fernrohr einholte und überflügelte. Auch heute noch sieht der geübte Beobachter an einem mittelgrossen, guten Fernrohr im Sonnensystem praktisch alles, was die heutigen Riesenteleskope in Fotografien zeigen können. Das geübte Auge ist am Mond und an den Planeten der fotografischen Aufnahme ebenbürtig. Der Grund liegt darin: die stets vorhandene Luftunruhe verschmiert das an sich scharfe Bild auf der Fotoplatte bei den erforderlichen Belichtungszeiten von mehreren Sekunden oder Minuten. Dies im Gegensatz zum Auge, dessen hohe Empfindlichkeit in Bruchteilen von Sekunden feine Einzelheiten erkennen lässt. Heute im Zeitalter der Fotografie — und erst recht in den kommenden Jahren — hat sich das Fernrohr als Lichtsammler zum eigentlichen Hilfsmittel entwickelt, mit einer wachsenden Zahl verschiedenster raffinierter Apparaturen, in denen die Elektronik heute eine immer dominierendere Rolle spielt.

Das Licht der Himmelskörper wird wirklich «geplagt», auseinandergezogen, zerlegt, vervielfacht und gemessen. Und in diesen entscheidenden Messungen beginnt der «Bote aus dem Weltall» zu sprechen ... Auf diese Weise, aus der geduldigen Arbeit von Generationen sich aufopfernder Astronomen baut sich das ungeheuerliche, unfassbare Weltbild unserer Tage auf. Doch zurück zum Mond, nach dieser unentbehrlichen Abzweigung.

Am Mond spielt die Spektralanalyse seines Lichtes, d. h. dessen Zerlegung in die einzelnen Farben, ähnlich den Farben des Regenbogens auf der Erde, keine grosse Rolle. Es stellte sich schon früh heraus, dass Mondlicht reines widerstrahltes Sonnenlicht ist.

Von den interessanten Instrumenten der Neuzeit, die am Fernrohr Erstaunliches leisten — auch am Monde — möchten wir nur das Thermoelement erwähnen. Es gestattet zum Beispiel, am Monde die winzigen Spuren von Wärme zu messen, die uns erreichen. Wie geschieht das? «Vereinfacht» dargestellt: Die Enden zweier haardünner Metalldrähte, wie Antimon und Wismut, werden mit höchster Sorgfalt zusammengelötet, wobei die Lötstelle den Bruchteil eines Millimeters nicht überschreiten darf. Die Drähtchen sind an einem hochempfindlichen Galvanometer angeschlossen. Wird nun die winzige, sorgfältig geschützte Lötstelle in den Brennpunkt eines grösseren Fernrohrs gebracht und dieses zum Mond gerichtet, so beginnt in der auftreffenden Spur von Wärmestrahlung ein schwacher Strom zu fliessen, den das Galvanometer anzeigt. So wurde es möglich, den Mondboden Kilometer um Kilometer direkt abzutasten und die abgestrahlte winzige Wärme zu messen. Zwischenhinein: Es gelang sogar, auf dem fernen Planeten Mars die Oberflächentemperatur in der Aequatorgegend zu bestimmen; Distanz mindestens 60 Millionen Kilometer! Die Temperatur des Mondbodens unter senkrechter Sonne wurde mit 120 bis 130 Grad gemessen. Gerät das betreffende Stück Boden in den Schatten eines Hügels oder wandert der Mond in einer Mondfinsternis durch den Schattenkegel der Erde, sinkt die Temperatur dieser Bodenfläche innert 2 Stunden auf ca. 80 Grad unter Null, um in der langen Mondnacht auf ca. 150 Grad unter Null zu fallen . . . Alles nur deshalb, weil der Mond keinen Luftmantel besitzt, der uns auf der Erde weitgehend gegen Wärmeverlust schützt.

Das letzte Kapitel der Mondforschung begann in unserer Zeit durch vorerst unbemannte Raumsonden ausserhalb der Atmosphäre. Die Apparaturen in den Satelliten, hoch über der Erde, erweiterten in grossartiger Weise das schmale Fenster hinaus ins Weltall und machten der Forschung Strahlen zugänglich, die von der Erdatmosphäre verschluckt werden. Die Sonden lösten mancherlei Rätsel, führten aber — wie stets in der Naturwissenschaft — zu neuen Problemen, zu Unerwartetem. So ergab sich zum Beispiel, dass der Mond ebensowenig wie die Erde von reiner Kugelgestalt ist, die am Aequator einen schwachen Wulst trägt. Der Mond ist von schwacher Birnenform, verursacht durch die Anziehung der Erde. Vor allem aber brachten die Mondsonden die ersten Aufnahmen von der **Rückseite** des Mondes. Wir sehen ja immer nur die eine Mondseite, die andere Hälfte ist ewig für uns verborgen. Den vorläufigen Schlusspunkt der heutigen Epoche in der Mondforschung haben wir ja alle miteinander erlebt mit den Landungen auf dem Mond, als Menschen zum erstenmal einen anderen Himmelskörper betraten. Wir wollen hier, auf beschränktem Platz, nur noch kurz auf einige wenige Resultate der amerikanischen «Apollo»-Flüge und der unbemannten russischen «Luna»-Flüge eingehen. Die mehr als

eine halbe Tonne verschiedenster Mondgesteine, die die Astronauten zur Erde zurückbrachten, ähneln in manchem irdischem Gestein. Gewisse Gesteinsarten, wie zum Beispiel Granite, wurden jedoch nicht gefunden. Ebensowenig Sedimente, die auf frühere Meere schliessen lassen. Eine Erosion durch Wasser auf dem Mond scheint seit Milliarden von Jahren zu fehlen. Dagegen wurden riesige Massen an Basalten und basaltähnlichem Gestein angetroffen. So erwiesen sich die Tausende von Quadratkilometern grosser Mare, die «Meere», die man von blossem Auge als dunkle Flecken erkennen kann, als solche Magma- oder Lavaergüsse. Sie entströmten aber nicht wie auf der Erde grossen Vulkanen, sondern sind Folgen des Einsturzes zahlloser enormer Meteoriten, von Millionen und Hunderten von Millionen Tonnen Gewicht. Diese durchschlugen vielfach die Kruste des Mondes und öffneten damit gigantischen Lavaströmen den Weg nach aussen.

Die Astronomen finden auf dem Mond kaum einen einzigen grossen Vulkan, wie sie die Erde zu Hunderten trägt. Sozusagen alle Krater entstanden durch solche Meteoreinschläge, die — nach den neuesten Erkenntnissen — vor allem vor 4 bis 4½ Milliarden Jahren den Mond bombardierten und sein heutiges kraterübersätes Bild schufen. Einer der letzten grossen Einschläge explodierte zum markanten Krater Tycho, gross und tief, mit riesenlangen hellen Strahlen über ein Drittel der Mondkugel hinweg. Man schätzt sein Alter auf etwa 700 000 Jahre. Es sei hier eingefügt: In der gleichen Zeitepoche müssen zahlreiche Riesenmeteore ebenfalls die Erde heimgesucht haben. Die Krater sind heute aber fast völlig verschwunden, entweder in zahllosen Millionen von Jahren vom Wasser erodiert und in die Meere als Sediment abgelagert oder aber, die letzten, von den Gletschern der Eiszeiten abgetragen, die darunterliegenden Felsen glattgehobelt worden.

Die heutige Mondforschung wird sich noch Jahre mit den Ergebnissen der «Apollo»-Flüge zu befassen haben. Mondbebenmessungen durch die auf dem Monde zurückbelassenen, automatischen Seismographen gestatten Einblicke in die Geologie, den Aufbau des Mondinnern. Neuerdings festgestellte, geringe Gasentweichungen aus Gebirgsspalten oder Kraterböden, Reste früherer geologischer Tätigkeit, erlauben Rückschlüsse auf Alter und Entstehung des Mondes. Sie machten auch der alten Vorstellung den Garaus, dass der Mond ein Kind der Erde sei und aus dem Stillen Ozean stamme . . . Und schliesslich erlauben die modernen «Laser», streng gebündeltes, monochromatisches Licht, unglaublich genaue Distanzmessungen zwischen dem Lasersender auf der Erde und den von den Astronauten auf dem Monde installierten Präzisionsreflexprismen. In engster Zusammenarbeit mit hochpräzisen Zeitmessungen von weniger als einer milliardenstel Sekunde kann die Distanz vom Monde — durch-

schnittlich 380 000 Kilometer — auf **20 cm** genau gemessen werden. Wir haben mit diesem kurzen Ausblick einige Ergebnisse der modernen Mondforschung gestreift und wenden uns nun den Planeten zu.

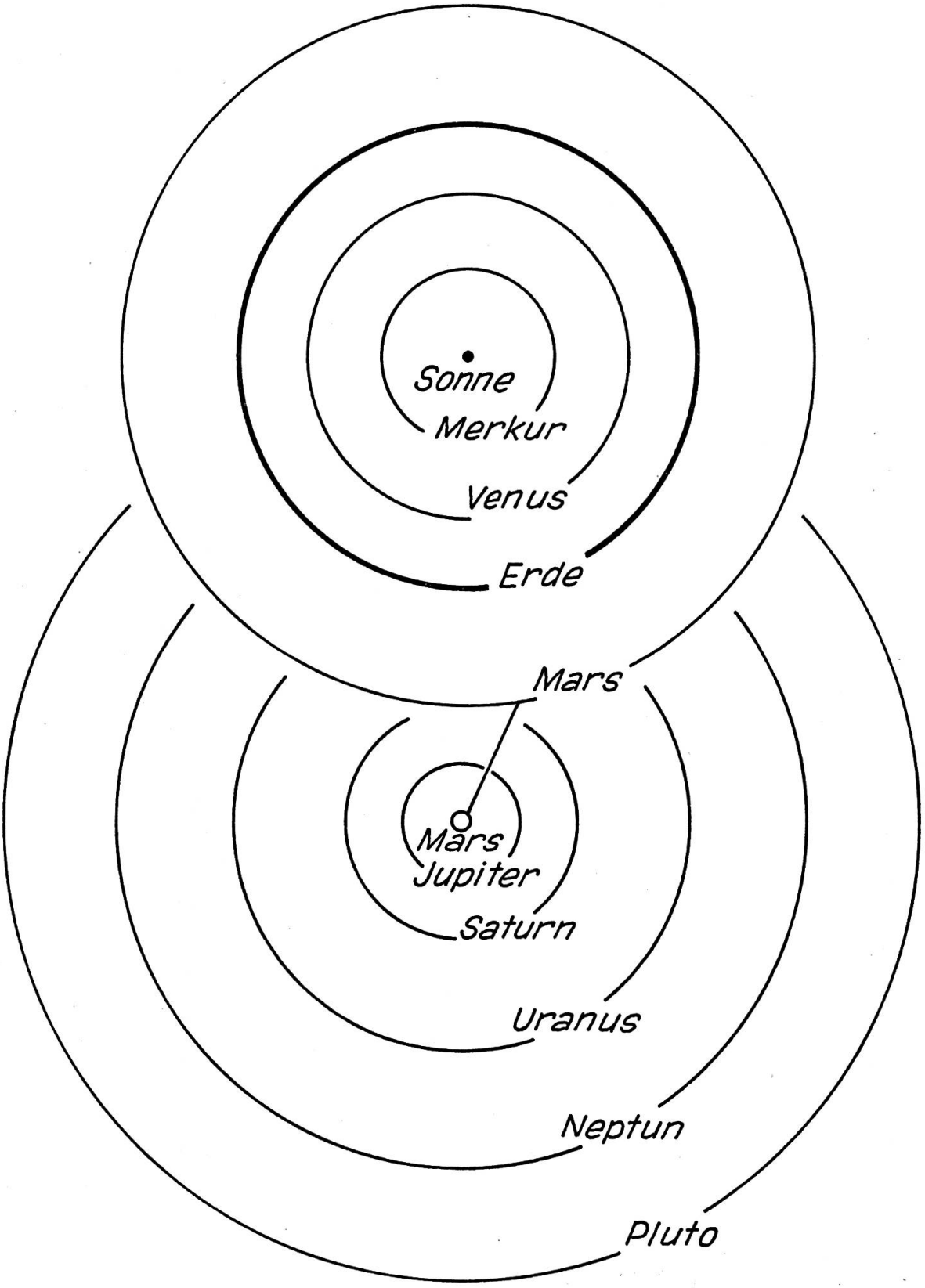
Die Planeten

In elementar kurzer Zusammenfassung: Planeten im Sonnensystem sind Himmelskörper, die um die Sonne kreisen und im Sonnenlicht leuchten, wie der Mond. Bereits in der Vorzeit kannten die Astronomen fünf Planeten, den sonnennahen Merkur, die Venus (Abendstern und Morgenstern zugleich), die Erde (der in der Sternkunde bis zur Zeit des Kopernikus eine besondere Rolle zugeteilt wurde), der Mars, Jupiter und Saturn. 1781 fand der grosse Amateur W. Herschel in England den ersten Planeten ausserhalb der Saturnbahn, den **Uranus** — eine Sensation. 1846 berechnete der französische Physiker Le Verrier aus den Unregelmässigkeiten der Uranusbahn einen noch weiter draussen kreisenden Planeten, der dann prompt vom deutschen Astronomen Galle nahe der vorberechneten Stelle gefunden wurde — ein oft erzählter Triumph astronomischer Berechnung. Der neue Planet erhielt den Namen **Neptun.** Und im Jahre 1930 fand der ehemalige Amateur Tombaugh nach zweijähriger, erfolgloser fotografischer Suche den äussersten bisher bekannten Planeten **Pluto** als nur in grossen Fernrohren erkennbares Pünktchen in einer durchschnittlichen Entfernung von etwa sechs Milliarden Kilometern.

Wesentliche himmelsmechanische Berechnungen begannen im 16./17. Jahrhundert. Der deutsche Mathematiker und Astronom Kepler fand aus den genauen Beobachtungen seines Vorläufers, des dänischen Astronomen Tycho Brahe, in endlosem Mühen um Erkenntnis die drei Gesetze über die Bewegungen der Planeten und Sterne, die seinen Namen unsterblich machten. Der grosse englische Physiker Isaac Newton entwickelte aus den Keplerschen Gesetzen seine universale Gravitationstheorie, die in fast allen Fällen im gesamten Weltraum umfassende Gültigkeit hat.

In unserer heutigen Zeit der immer leistungsfähigeren Computer wurden die Messdaten in den Bewegungen der Planeten im Sonnensystem immer genauer — damit aber wurden wiederum neue Rätsel, neue Probleme sichtbar.

Vor allem jedoch sind es die geglückten Sondenflüge zum Merkur, zur Venus, zum Mars und zum Jupiter, die eine völlig neue Aera in der Forschung einleiteten und zu neuen physikalischen Erkenntnissen, ja sogar bis zum Umsturz bisherigen Wissens führten. Wir beschränken uns hier nur auf Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn, und auch davon nur in wenigen Zügen.


Sonne
Merkur
Venus
Erde
Mars
Mars
Jupiter
Saturn
Uranus
Neptun
Pluto

Merkur

Der innerste Planet des Sonnensystems, den man nur selten in der Dämmerung als Sternchen erkennen kann, ist knapp halb so gross wie unsere Erde. Fotografisch ist da nichts zu machen. Auch im Riesenfernrohr erscheint er als winziges Scheibchen mit Andeutungen dunkler Fleckchen. Die Astronomen vermuteten eine Oberfläche wie beim Mond, praktisch ohne Atmosphäre. 1974, in einem denkwürdigen unbemannten Sondenflug, dem amerikanischen «Mariner 10», erfolgte die Bestätigung der Annahme. «Mariner 10» sandte am 29. März 1974 in den wenigen Stunden des Vorbeifluges in etwa 5500 Kilometern Höhe mehr als 2000 Aufnahmen zur Erde (siehe Abb. 4). Das Gesamtbild, ein Chaos von Kratern in allen Grössen wie auf dem Mond.

Der völlig unsichtbare «Mariner 10», durch Radar sorgsam von der Erde aus geführt, kreiste anschliessend um die Sonne und flog am 21. September 1974 nochmals am Merkur vorbei, stets von der Erde geleitet, um von der anderen Seite her die ersten Aufnahmen zu ergänzen. Beim Schreiben dieser Zeilen, im Februar.1975, ist der Satellit wiederum auf der Fahrt um die Sonne. Die Ingenieure hoffen, das erfolgreiche Gerät am 16. März 1975 nochmals am Merkur vorbeiführen zu können, diesmal hautnah, in ca. 300 Kilometern Höhe — wenn die Apparaturen dann noch arbeiten.

Nachtrag: Der dritte Anflug ist zur berechneten Zeit geglückt. Ebenfalls glückten die Aufnahmen aus nur 160 Kilometern Höhe, alles verlief programmgemäss. Die Sonde, nach Aufbrauchen der komprimierten Gase in den Stabilisierungsdüsen, kreist jetzt für Tausende von Jahren um die Sonne als toter Zeuge menschlicher Forschung.

Venus

Der Planet, heller Abend- oder Morgenstern, je nach seinem Umlauf um die Sonne, war bis in unsere Tage hinein ein astronomisches Rätsel. Jahrzehnte der Beobachtungen in immer grösseren Fernrohren erbrachten praktisch nichts anderes als ein gleissend helles Scheibchen mit wechselnden Phasen, wie wir sie vom Mond kennen, mit unbestimmbaren Andeutungen länglicher Fleckchen. Etwas mehr ergaben die Untersuchungen des Spektrums, die Auflösung des weissen Lichtes in das Band seiner Linien. Aber was im Fernrohr als blendend helle Fläche erkennbar ist, ist allein die sehr dichte Atmosphäre des Planeten, bestehend aus fast 95 % Kohlendioxid, etwas Stickstoff, wenig Wasserstoff und Helium.

Sowohl die Amerikaner wie die Russen versuchten in Vorbeiflügen oder Landungen unbemannter Sonden die Erforschung des rätselhaften Planeten voranzutreiben, dessen Masse ungefähr der der Erde entspricht. Die Messungen beim Vorbeiflug des ersten amerikanischen «Mariner 2» sprachen von einer Wolkendecke von etwa 100 Kilometern Höhe und darunter — im Infrarot — an der unsichtbaren Oberfläche Temperaturen von über 400 Grad. Die Russen versuchten zweimal die Landung einer Sonde auf der Venusoberfläche. Sie scheiterten. Das erste Gerät schien dem unerwartet hohen Druck von gegen 100 Atmosphären nicht gewachsen zu sein. Die zweite Sonde erreichte wohl die Oberfläche der Venus und sandte im Niedergang durch die Atmosphäre interessante Messdaten, verstummte aber wenige Sekunden nach dem Auftreffen. Gründe dieses zweiten Versagens wurden nicht genannt. Der amerikanische «Mariner 10», von dem wir soeben die erfolgreiche fotografische Arbeit am Merkur erwähnten, flog auf seiner Fahrt zum Merkur, im Februar 1974, vorher an der Venus vorbei. Mit modernen Fernsehkameras ausgestattet, sandte er zum ersten Male interessante Aufnahmen der Wolkendecke der **Venus.** Es zeigten sich Tausende von Kilometern langer, dunkler und hellerer Wolkenbahnen, enorm grosse, gestörte Wirbel, ähnlich der Taifun- und Hurrikanwirbel, die die meteorologischen Satelliten der Erde aufzeichnen. Neueste Radarmessungen durch die Wolkendecke hindurch lassen darauf schliessen, dass sich auf der Venusoberfläche Gebirge und grosse Krater befinden müssen — ob ähnlich wie beim Merkur wird aber bezweifelt, da mit Erosion durch Wasser während Millionen von Jahren zu rechnen ist. Die hohe Oberflächentemperatur, von der russischen Venussonde «Venera» erneut mit 470 Grad bestätigt, entspricht der Temperatur des flüssigen Bleis auf der Venus. Leben scheint ausgeschlossen zu sein.

Mars

der auffallend helle rötliche Planet, seiner Farbe wegen schon in der Antike als Kriegsgott personifiziert, kreist bekanntlich ausserhalb der Erdbahn um die Sonne. Er ist nur halb so gross wie die Erde und erscheint im Fernrohr immer nur als winziges Scheibchen mit dunkleren Fleckchen am Aequator und einem auffallend hellen Polfleck.

Vor fast hundert Jahren beobachtete der italienische Astronom Schiaparelli auf dem Mars die rätselhaften grösseren und kleineren Fleckchen. Er hatte den Eindruck, als wären viele in kaum erkennbaren Linien miteinander verbunden. Er nannte diese Linien «canali», auf deutsch «Graben» oder «Furchen». Aber das Wort, falsch mit «Kanäle» übersetzt, war Ursache einer Sensation, die bald

unerhörte Ausmasse annahm und während Jahrzehnten bis in die Neuzeit hinein einer nicht endenden Flut von Romanen, phantastischer Science-fiction und wilden Spekulationen rief. Die ganze Welt sprach von den Marskanälen und ihren technisch weit fortgeschrittenen Erbauern . . .

Heute kann das psychologisch interessante Kapitel endgültig abgeschlossen werden: Es gibt weder Marskanäle noch eine entsprechende Zivilisation. Was erfahrene Beobachter behaupteten, war richtig: An der Grenze der Erkennbarkeit sieht das menschliche Auge leicht eine verbindende Linie zwischen dunklen Fleckchen.

Als erstes Gebilde von Menschenhand flog am 4. Juli 1965 die amerikanische Sonde «Mariner 4» am Mars vorbei und funkte 22 Aufnahmen der Marsoberfläche zur Erde: Krater wie auf dem Mond! 1969 lieferten «Mariner 6» und «Mariner 7» im Vorbeiflug weitere instruktive Aufnahmen. Aber erst «Mariner 9», der vom November 1971 bis September 1972 in einer Umlaufbahn — von der Erde aus gesteuert — volle 11 Monate um den Mars kreiste, sandte nicht weniger als 7300 ausgezeichnete Fotografien zur Erde, die im Bild eine ausführliche Kartographie des roten Planeten ermöglichten.

Aus den zahllosen Ergebnissen seien hier nur wenige erwähnt. Einmal darf die Oberfläche des Mars nicht ohne weiteres mit dem Mond oder des von Krater übersäten Merkurs verglichen werden. Sie präsentiert sich auf weiten Strecken ganz anders, mit einer sichtbar bewegten geologischen Vergangenheit (Platten-Tektonik). Bergzüge, merkwürdige Ring- und Rillenformationen, dazwischen eigenartige Sandwüsten, Sanddünen usw. Man sieht riesige Grabenbrüche, erodierte Canyons. Darunter einer ähnlich dem Grand Canyon in den USA, aber fast drei Kilometer tief und etwa tausend Kilometer lang — alles kam ans Licht. Ferner zeigten sich viele grosse, anscheinend erloschene Vulkane. Und hier löste sich wieder ein altes Rätsel: ein kleiner heller Punkt von der Erde aus gesehen, auf unseren Karten seit Jahrzehnten als «Nix Olympica» eingetragen, erwies sich als die weisse Kraterhochfläche (Eis?) eines Riesenvulkans von nicht weniger als 22 Kilometern Höhe. Auf Europa übertragen, würde er mit seinen gewaltigen Lavaströmen mehr als die gesamte Schweiz überdecken . . .

Die sehr dünne Atmosphäre, hauptsächlich Kohlendioxid, aber auch monatelange dauernde Sandstürme, welche die gesamte Planetenfläche jedes Jahr für Wochen unkenntlich machen, haben entscheidende Bedeutung für die kommende Marsforschung durch unbemannte Satellitenlandungen. Zwei russische Landeversuche scheiterten. Der erste wahrscheinlich durch technisches Versagen; beim zweiten glückte die Landung, aber der Sender verstummte wenige Sekunden später. Man nimmt heute an, dass das Gerät auf einer sehr leichten Staub- oder Sandfläche landete und sofort versank.

Im August dieses Jahres 1975 wird die amerikanische NASA innert 10 Tagen zwei grosse, unbemannte Satelliten des neuen Typs «Viking» zum Mars senden. Ferngesteuert von der Erde aus, nach einjähriger Fahrt über 815 Millionen Kilometer, werden dann zwei «Lander» niedergelassen, praktisch ausgeklügelte, automatisch arbeitende Laboratorien. Die Landungen erfolgen in zwei vorausbestimmten Gegenden — kartographiert seinerzeit von «Mariner 9». Wenn dieses Niederschweben am riesigen Fallschirm glückt, unterstützt vom bremsenden Feuerstrahl des Motors unter den Geräten, wird vielleicht im kommenden Jahr 1976 die jahrhundertealte Frage des Menschen eine Antwort finden: Gibt es Lebewesen auf dem Mars? Nach den heutigen Kenntnissen dürften Bakterien und ähnliches, vielleicht sogar Moose und Flechten in diesem wasserarmen, sehr harten Klima leben können. Der Leser wird beim Erscheinen der «Neujahrsblätter» wissen, ob die zwei «Viking»-Marssonden der Amerikaner nach jahrelangen technischen Versuchen glücklich unterwegs sind. Die amerikanischen Wissenschafter und Ingenieure hoffen, die beiden fliegenden Laboratorien, von der Erde aus durch eingebaute Fernsehkameras und programmierte Computer dirigiert, auf dem Mars sanft absetzen zu können.

Vielleicht noch eine kleine technische Angabe, um zu zeigen, was hinter den Tausenden von Satellitenaufnahmen, hinter den zur Erde übertragenen Bildern steckt. Jede Aufnahme eines unbemannten Satelliten besteht aus mehr als einer halben Million Punkte in einer weiten Skala zwischen hell und dunkel. Der in den «Mariner»-Sonden eingebaute Sender (Leistung 10 Watt, d. h. die Energie einer elektrischen Christbaumkerze!) sendet ca. 23 000 Punkte pro **Sekunde** zur Erde, und das aus einer Distanz von durchschnittlich hundert Millionen Kilometern oder mehr. Es sind wirklich technische Glanzleistungen.

Doch gehen wir weiter hinaus im Sonnensystem und werfen einen Blick auf den grössten Planeten, den Jupiter.

Jupiter

Auch bei diesem Planeten haben die erfolgreichen amerikanischen Sonden «Pionier 10 und 11» das Bild grundlegend geändert, das sich die Astronomen im Laufe der Jahrhunderte vom Jupiter gemacht haben. Schon seine Dichte, sein längst bekanntes «spezifisches Gewicht» — wie übrigens beim Saturn auch — mit nur ¼ gegenüber der Erde, gab zahlreiche Rätsel auf. Das Innere des riesigen Balles von fast zwölffachem Erddurchmesser musste anders aufgebaut sein als unsere Erde.

Die Präzisionsinstrumente im «Pionier 10» ergaben interessante Resultate. Die gesamte Apparatur der Sonde hatte in 22 Monaten dauerndem, rasendem

Flug zum Jupiter nicht nur das Trümmerfeld des 100 Millionen Kilometer breiten Asteroidengürtels zwischen Mars und Jupiter heil überstanden, sie trotzte sogar dem ca. 1 millionenmal stärkeren Magnetfeld um den Riesenplaneten.

Ganz im Gegensatz zum «nackten» Mars sehen wir auf dem Jupiter am Fernrohr nur die Oberfläche seiner dichten Wolkendecke. Jetzt stellte es sich heraus, dass die im Fernrohr sichtbaren Wolkenbänder mit den zuweilen erkennbaren einzelnen Wolken gewaltige Sturmbahnen sind, riesige Wirbelstürme mit Geschwindigkeiten bis zu 600 Kilometern pro Stunde. Vor allem aber löste sich das Rätsel um den seit hundert Jahren bekannten, gut sichtbaren «Roten Fleck», ein Gebiet von etwa 40 000 Kilometern Durchmesser (zweimal grösser als die Erde). Es handelt sich da um einen «immerwährenden» hochragenden Riesenwirbel in der Jupiteratmosphäre, der langsam wandert, ohne je seine Form zu verlieren. Weitere Ergebnisse der Messungen und der wenigen Bildaufnahmen: Die Atmosphäre des Jupiters dürfte eine Dicke von etwa 1000 Kilometern umfassen und besteht zur Hauptsache aus Wasserstoff, darunter auch Methan, etwas Helium und Ammoniak. In der Tiefe geht der Wasserstoff in Tröpfchenform über, dürfte flüssig sein und in einer noch grösseren Tiefe sogar in fester Form, d. h. metallisch-flüssiger Form die Hauptmasse des Planeten darstellen. Die Berechnungen ergaben im Zentrum einen kleinen festen Kern (felsartig?) von etwa 50 000 Grad Wärme. Thermoelektrische Messungen der letzten Jahre — von der Erde aus — wurden durch «Pionier 10» bestätigt: Jupiter erzeugt im Innern heute noch etwa doppelt soviel Wärme, als er von der Sonne empfängt — Ueberrest der Planetenbildung und Entwicklung vor ca. 4 1/2 Milliarden Jahren. Die Quelle dieser Wärme ist in der Radioaktivität im Innern zu suchen.

Die vier grossen Monde des Jupiters (heute 13, davon 9 praktisch nur fotografisch erreichbar) wurden 1610 von Galilei entdeckt. Sie sind im kleinen Fernrohr gut sichtbar, wenn auch nur als helle Punkte. In Wirklichkeit sind sie etwas grösser als der Mond, einer so gross wie der Merkur. Von den vielen Rätseln, die sie dem Astronomen seit jeher aufgaben, haben sich einige wenige gelöst. Eines davon betrifft den inneren Mond des Jupiters «JO». JO kreist als zweitinnerster Jupitermond in knapp zwei Tagen um den Planeten. Seit vielen Jahren stand der Beobachter vor einem Rätsel: In den ersten 10 Minuten des Auftauchens aus dem eisigen Schatten des Riesen leuchtet JO strahlend hell, strahlend weiss, um nach knapp 10 Minuten in sein übliches Rotorange überzugehen. Man glaubt heute den Vorgang zu verstehen: In den 22 Stunden Fahrt im Schatten des grossen Planeten gefriert in der Weltraumkälte das Gas Methan in Flockenform aus und liegt als Schneedecke auf JO. Wenige Minuten später

lässt die Sonne den «Methanschnee» verdampfen, und die nackten Felsen — man kennt seine Oberfläche — stehen in der normalen, gemessenen Temperatur von 143 Grad unter Null wieder im Licht.

Die Messresultate der zweiten Sonde, des «Pionier 10», der ein Jahr später am 4. Dezember 1974 noch näher an Jupiter vorbeistürmte, sind bei der Niederschrift dieser Zeilen noch nicht veröffentlicht.

Saturn

Der zweitgrösste Planet des Sonnensystems, auf zahllosen Fotos allgemein als Ringplanet bekannt, bietet im Fernrohr ein unvergessliches Bild, hellgelb im Samt der Nacht . . . Nach seiner geringen Dichte zu schliessen, ist Saturn wahrscheinlich ähnlich aus gasförmig-flüssigem Wasserstoff aufgebaut, wie wir es heute beim Jupiter wissen. Wenn «Pionier 11», der zweite Jupiter-«Pionier» im Jahre 1979, ferngesteuert von der Erde aus, am Saturn vorbeifliegt — nach jahrelanger Fahrt hinaus, und wenn, wie die Ingenieure hoffen, die Messapparaturen noch arbeiten, werden wir vielleicht Näheres über den einmaligen grossen Planeten erfahren, und das durch den eingebauten 10-Watt-Sender aus etwa eineinhalb Milliarden Kilometern Entfernung . . .

Das Ringsystem selber, Durchmesser mehr als 250 000 Kilometer, ist papierdünn. Die leuchtende Scheibe hat tatsächlich eine Dicke von kaum einem einzigen Kilometer. Wie wir seit etwa einem Jahr sicher wissen (Radar), besteht der Ring aus metergrossen und kleineren Steinbrocken sowie aus Staub, teilweise von Eis überzogen. Es handelt sich sehr wahrscheinlich um zurückgebliebene Ueberreste, als sich der Saturn vor vier bis viereinhalb Milliarden Jahren zusammen mit der Sonne den anderen Planeten und Monden aus dem Material der Sonnen-Urwolke bildeten. Die Spektralanalyse fand in der gebänderten Atmosphäre der Saturnkugel die gleichen lebensfeindlichen Gase wie auf dem Jupiter, bei ca. 170 Grad unter Null teilweise gefroren.

Uranus, Neptun, Pluto, die äusseren Planeten

Bei diesen in drei bis sieben Milliarden Kilometern Entfernung um die Sonne kreisenden Planeten sind wir immer noch allein auf die Beobachtungen von der Erde aus angewiesen. Uranus, Neptun, beide von ca. 3,5fachem Erddurchmesser, sind als winzige Scheibchen im mittelgrossen Fernrohr sichtbar; sonst ist kaum etwas zu erkennen. Pluto, wahrscheinlich von Erdgrösse, ist in der unge-

heuren Entfernung auch im grossen Fernrohr nur als ein Lichtpunkt wie ein Stern sichtbar — ein kleines Fernrohr zeigt nichts. Uranus hat 5, der Neptun 2 Monde. Pluto, erst 1930 entdeckt nach jahrelanger fotografischer Suche, dürfte, vereist, aus nackten Eiswüsten bestehen, im Dämmerlicht der fernen Sonne. Man schätzt die Temperatur der Plutooberfläche auf ca. 200 bis 220 Grad unter Null. Die ferne Sonne wärmt kaum . . .

Die Kometen

In einem kurzen Satz ausgedrückt: Die Kometen im Sonnensystem sind Vagabunden. Wir möchten hier nicht auf die Geschichte der Kometen im Mittelalter eingehen. Aber aus dem Wirbel der Sensationspresse in der ganzen Welt anlässlich des Kometen Kohoutek Ende 1973, Anfang 1974, den gewisse Journalisten als «Komet des Jahrhunderts» begrüssten, zeigt mit erschreckender Deutlichkeit, dass der mittelalterliche Glaube von der furchtbaren «Geissel Gottes» keineswegs ausgestorben ist. Die unverantwortliche Schreiberei in den verschiedenen Massenmedien führten zu Beginn 1974 in weiten Kreisen der USA, aber auch in Deutschland, zu beginnender, regionaler Volkspanik.

Nach den heutigen Forschungsergebnissen stammen die Kometen aus einer riesigen Wolke von Ueberresten der Urmaterie ausserhalb der Bahn der äussersten Planeten. Sie bestehen, soweit heute bekannt, aus felsartigen Brocken und Staub — Ueberbleibsel bei der Bildung von Sonne und Planeten. Sie werden als milliardenfache Trümmer ausserhalb der Planetenbahnen von der Sonne mitgeschleppt. Meist sind diese Trümmer in gefrorene Gase eingebettet. Als anschauliches Bild: ein gefrorener schmutziger «Schneeball», der Staub und Steine in sich trägt.

Dann und wann, vielleicht durch die Anziehungskraft der grossen Planeten, taucht ein solcher Urbrocken langsam in das Sonnensystem ein, von der Sonne angezogen, in Grössen bis zu einigen Kilometern Durchmesser. In etwa 400 Millionen Kilometern Entfernung von der Sonne beginnt die Sonnenenergie wirksam zu werden: Ein Teil der gefrorenen Gase, aber auch Eis, beginnt zu verdampfen, und es bildet sich schliesslich ein im Sonnenlicht schwach leuchtender Gasball um den Kern, ein Ball, der zuweilen die Grösse der Erde übertrifft. Und in diesem Zustande werden heute die meisten Kometen entdeckt. Einesteils sind es Hunderte eifriger Kometensucher, hauptsächlich in Japan, die Nacht um Nacht auf der Jagd nach solchen im Fernrohr kaum erkennbaren winzigen Lichtwölkchen sind. Dem Entdecker winkt Ruhm — der gefundene Komet trägt seinen Namen. Anderseits aber sind Kometenentdeckungen viel-

fach Zufallsfunde, wie beim Kohoutek-Komet. Der Astronom findet zuweilen auf seinen Platten ein kaum erkennbares schwaches Fleckchen. Auf einer zweiten Aufnahme, Stunden oder Tage später, hat sich das Wölkchen inzwischen im Sternenfeld verschoben: ein Komet! Der Neuling nähert sich immer schneller der Sonne, und sobald ein paar Positionsangaben gesichert sind, gelingt es, seine Bahn um die Sonne zu berechnen. Damit wird sofort ersichtlich, ob es sich um einen bereits bekannten, d. h. wiederkehrenden Kometen handelt oder um einen unbekannten neuen «Besucher». In rund 200 Millionen Kilometern Entfernung von der Sonne wird der Strahlungsdruck der Sonne, der Sturm des sogenannten «Sonnenwindes», Partikelströme, die ständig von der Sonne ausgehen, so gross, dass die leuchtenden Gase vom heller werdenden Gasball nach hinten hinausgedrückt werden und damit, **erst damit!**, entsteht der Kometenschweif! Je mehr sich der Komet der Sonne nähert, desto schneller rast er auf sie zu, desto stärker wird das Mass der Verdampfung, desto grösser wird der Schweif.

Es ist unbekannt, wie viele, meist kleinere Kometen direkt in die Sonne stürzen. Die meisten rasen in Tagen oder sogar in wenigen Stunden am Sonnenfeuerball vorbei, wobei in der hohen Temperatur der Sonnenumgebung, gegen 1000 Grad, ein beträchtlicher Teil der Gase verdampft und Staub und Gesteinsbrocken freigibt, die auf der Kometenbahn zurückbleiben.

Die Spektralanalyse bestätigt denn auch deutlich den fotografischen Befund, dass die meisten Kometenschweife aus einem Gasschweif bestehen und einem unregelmässigen Staubschweif. Nach dem rasenden Umschwung nahe um die Sonne wandert der Komet, wieder langsamer werdend, durch die Planetenbahnen hinaus, die Gasentwicklung nimmt rapide ab, der Schweif verschwindet, und nach ein paar Monaten kehren die unsichtbaren Reste in die unsichtbaren Wolken im Raum weit draussen zurück.

Die Umlaufzeiten der Kometen sind ausserordentlich verschieden: von knapp sechs Jahren — Komet wahrscheinlich eingefangen vom grossen Jupiter — bis zu Hunderttausenden von Jahren. Der «Kohoutek» sollte sich — wenn er sich bis dahin nicht völlig aufgelöst hat — in seiner Bahn in etwa 30 000 Jahren zur Sonne zurückfinden. Im Jahre 1986 kehrt der grosse Komet «Halley» in seiner Umlaufzeit von 76 Jahren zur Sonne zurück. Wir wissen von seiner Existenz seit mehr als 2000 Jahren aus den chinesischen und mittelalterlichen Chroniken. Ob ein Komet zu einem strahlenden Himmelsschauspiel wird, hängt meist vom Anteil der gefrorenen Gase ab, die dem Höllenfeuer der Sonne entgingen. Die weltweite Enttäuschung über den «Kohoutek», den «Kometen des Jahrhunderts», wird auf den ausnehmend geringen Gasgehalt des Kometenkerns zurückgeführt. Die Forscher beabsichtigen, in den nächsten Jahren mit unbe-

mannten Sonden einem kommenden Kometen buchstäblich zu Leibe gehen zu können, um die zahlreichen heutigen Probleme zu lösen.

Vor allem erwarten die Astrophysiker, endlich wieder einmal einen Riesenkometen zu erleben wie 1843 oder 1611, der mit einem Schweif von etwa 300 Millionen Kilometern Länge mehr als die Hälfte des ganzen Nachthimmels überstrich! Wie würde man einem solchen riesigen Besucher aus dem Weltall mit der heutigen Forschungstechnik auf den Leib rücken!

Im Zusammenhang mit den Kometen muss hier noch kurz das Kapitel der Meteore berührt werden. Meteore, im Volksmund Sternschnuppen bezeichnet, haben mit den Sternen selber gar nichts zu tun. Es sind in weit überwiegender Zahl Staubkörnchen, die überall im Raum, also auch im Sonnensystem vorhanden sind. Man glaubt, dass zwei verschiedene Quellen dieses kosmischen Staubes existieren, unter denen sich auch — selten — tonnenschwere Brocken befinden. Einmal sind es Trümmer aus der «Himmlischen Steinmühle» der Asteroiden — siehe anschliessendes Kapitel —, zweitens weiss man schon seit Jahren, dass der von Kometen auf ihrer Bahn zurückgelassene Staub einen Grossteil der jährlich wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme stellt. Am bekanntesten sind die zahlreichen Meteore der zwischen dem 13. und 17. August aus dem Sternbild «Perseus» aufleuchtenden «Perseiden». In diesen 4 Tagen durchquert die Erde im Umlauf um die Sonne die alte Kometenbahn des 3. Kometen von 1862. In anderen alten Kometenbahnen trifft die Erde zuweilen auf richtige Wolken von kosmischem Staub, wie zum Beispiel im Jahre 1933 die sogenannten «Leoniden», wo die Nächte ein phantastisches himmlisches Feuerwerk mit Tausenden von Sternschnuppen in der Stunde, ja zuweilen in der Minute darboten. Leider sind solche Sternschnuppen-Nächte nicht vorher zu bestimmen. Wie wird ein solches Staubkörnchen zur Sternschnuppe?

In ca. 70 Kilometern Höhe zerschlagen die Körner in ihrer vielfachen Geschossgeschwindigkeit die Luftmoleküle, die, ionisiert, Licht aussenden — eine Sternschnuppe! Das Körnchen selber ist unsichtbar, verdampft meist in Sekundenschnelle in diesen heftigen Zusammenstössen oder wird in wenigen Sekunden abgebremst. Es ist erstaunlich, aber beweisbar, dass meist ein Staubkörnchen von kaum 1 Gramm Gewicht Ursprung einer schönen, hellen Sternschnuppe sein kann. Grössere Brocken von Kilogewichten und darüber bilden in dem Ansturm leuchtende Feuerbälle, manchmal heller als der Mond. In etwa 6 bis 8 Kilometern Höhe über dem Erdboden bremst der dichter werdende Luftmantel diese Himmelsboten ab wie auf einem Luftkissen. Die Aussenhaut des Meteoriten erreicht in wenigen Sekunden Temperaturen von Tausenden von Graden, es bildet sich eine grobe Schmelzschicht aus, während im Innern noch die Temperatur von minimal 200 Grad unter Null herrscht. Es kann

daher bei diesen grossen Brocken vielfach zu einer blitzartigen Explosion kommen, worauf dann die einzelnen Brocken als «Steine vom Himmel» in freiem Fall niedersausen und sich manchmal metertief in den Erdboden graben.

Grössere Meteore von Tonnengewichten und mehr, meist Eisen-Nickel-Meteorite, werden vom Luftmantel kaum abgebremst und schlagen hart auf. Solche grosse Einschläge sind heute sehr selten — glücklicherweise. Wir nennen hier nur zwei Beispiele, einmal den «Meteorkrater» in etwa 70 Kilometern Entfernung von Flagstaff in Arizona, USA. Der Krater wurde erst 1886 in der weiten, unbewohnten Einöde, einer Halbwüste, gefunden. Urheber dieses gähnenden Loches von fast 1½ Kilometern Durchmesser und etwa 160 Metern Tiefe war ein Eisenmeteorit von etwa 1 Million Tonnen Gewicht. Der Aufschlag muss vor etwa 30 000 Jahren erfolgt sein. Man fand nach seiner Entdeckung in der Umgebung kleine geschmolzene Eisenteile und suchte durch Tiefbohrungen in den Jahren 1903 und 1927 in der Tiefe, unter der Hunderte von Metern dicken Schicht zerschlagenen Gesteins, nach dem Eisenkoloss. Vergeblich: Berechnungen in den letzten Jahren zeigten, dass im Aufschlag des 1 Million Tonnen schweren Körpers, der in einer Geschwindigkeit von mehr als 20 Kilometern pro **Sekunde** auf Felsboden aufprallte, eine ungeheure Explosionswärme entstand, in der das Eisen in wenigen Sekunden bis auf einige kleine Reste verdampfte. Unsere Aufnahme zeigt sehr schön diesen Aufschlagskrater, der vollkommen einem kleinen Mondkrater gleicht.

In der Neuzeit ereignete sich ein Aufschlag eines grossen Himmelskörpers am 30. Juni 1908 im — glücklicherweise — unbewohnten Gebiet der «Steinigen Tunguska» in Sibirien. Nach heutiger Ansicht handelte es sich aber bei diesem Aufschlag in der Einöde nicht um einen Meteoriten, sondern sehr wahrscheinlich um den Kern eines sehr kleinen Kometen. Er platzte bereits in der Luft unmittelbar vor dem Einschlag. Augenzeugen in Hunderten von Kilometern Entfernung sprachen von einem Feuerball «heller als die Sonne». Die Bruchstücke rissen keinen grossen Krater auf wie in Arizona, sondern erzeugten Hunderte von kleineren Einschlägen im gesamten Gebiet, auf kilometerweiter Fläche. Der Luftdruck legte im gesamten Gebiet den Tundrawald um wie Zündhölzer. Der Einschlag brachte die ganze Erde zum Erzittern: die Erdbebenstationen in Europa verzeichneten deutlich den Aufprall. Die Luftdruckwelle umlief, nach den Messungen des Physikalischen Institutes in Potsdam, zweimal die Erde.

Die Asteroiden

Bereits zu Keplers Zeiten, 1571 bis 1630, vermuteten die Astronomen, dass in der auffallend grossen Lücke zwischen den Bahnen des Mars und des Jupiters

ein unbekannter Planet kreisen müsse. Als dann 1801 der Astronom Piazzi in Palermo in dieser Lücke einen kleinen Planeten fand (Ceres) und ein paar Jahre später die Pallas, die Juno und die Vespa entdeckt wurden, alles kleine kosmische Bruchstücke von 200 bis 700 Kilometern Durchmesser, glaubte man die Ueberreste eines in Vorzeiten explodierten Planeten gefunden zu haben. Wir kennen heute über 1700 solche Bruchkörper in einem gegen 100 Millionen Kilometer breiten Gürtel zwischen Mars- und Jupiterbahn. Es dürfte aber heute gesichert sein, dass es sich nicht um Reste eines Planeten handelt — dazu ist die Gesamtmasse viel zu klein —, sondern sehr wahrscheinlich um Ueberreste der Urmaterie, die sich bei der Bildung des Sonnensystems aus dem ursprünglichen Sonnen-Nebel-Material — siehe Sternenentwicklung — nicht mit dem mächtigen Ball des Jupiters vereinigten, sondern heute noch als Reste den Asteroidengürtel bilden. Man betrachtet heute diese Sammlung von Milliarden von Staubkörnern und grösseren Brocken — der grösste Planetoid «Eros» hat eine merkwürdige Zigarrenform von etwa 700 Kilometern Länge und 300 Kilometern Dicke — als eine «Himmlische Steinmühle», in der seit Milliarden von Jahren in ständigen Zusammenstössen das kreisende Material zerkleinert und zerrieben wird.

Die «Pioniere 10 und 11», die in 22monatiger Fahrt zum Jupiter den Asteroidengürtel während Monaten praktisch unbeschädigt durchflogen (mit ca. 50 000 Kilometern Geschwindigkeit pro Stunde), bewiesen, dass die Zahl kreisender Materienreste viel kleiner ist, als man ursprünglich angenommen hatte. Dieser kosmische Staub, seit Jahrmilliarden im Sonnensystem verbreitet, ist, wie gesagt, neben den Staubresten in den alten Kometenbahnen die Quelle fast aller Meteoriten, der Sternschnuppen.

Die Sonne

Sie ist unsere Allmutter. Ohne sie gäbe es kein Leben auf der Erde. Es erübrigt sich, hier in dieser kurzen Uebersicht auf die bekannten Tatsachen der Sonnenforschung einzugehen. Immerhin möchten wir dem nichtinformierten Leser ein paar Tatsachen in Erinnerung rufen.

Die Sonne ist ein ungeheurer brodelnder Gasball, der zu etwa 75 % aus Wasserstoff, 23 % Helium und einem Rest verschiedener Elemente besteht. (Dank der unglaublich verfeinerten Spektralanalyse wissen wir über die Zusammensetzung der Sonnengase bis auf wenige Spurenelemente Bescheid.) Zur Grösse der Sonne: In ihr fänden mehr als eine Million Erdkugeln genügend Platz. Aussentemperatur der gleissenden Oberfläche: ca. 5600 Grad. Moderne Berechnungen — Computer! — ergeben im Zentrum eine Temperatur von

gegen 14 Millionen Grad und einen Druck von 220 Milliarden Atmosphären. Dieser enorme Druck und die nicht vorstellbare Temperatur sind, wie wir heute mit Sicherheit wissen, Ursachen der Sonnenenergie. Es treten im Zentrum der Sonne vier Wasserstoffatome in **Fusion** zusammen — nicht mit Fission zu verwechseln, heute noch Quelle der Atomenergie auf der Erde. Resultat: Umwandlung in ein Heliumatom. Aber 0,2 % der Masse bei der Fusion der vier Wasserstoffatome wird als **Energie** ausgestrahlt — ein Vorgang, den die heutigen Kernphysiker auf der Erde mit Einsatz grösster Mittel als künftige Atom-**Fusions**-Energie aufzuklären und schliesslich zu erreichen versuchen. Man glaubt die Wege zur Fusion genau zu kennen. Gute Ansätze sind heute theoretisch bereits vorhanden, um in kommenden Jahrhunderten unbeschränkt über Energie verfügen zu können.

Im Laufe einer Million Jahre wandert die freigesetzte Energie in Form von Strahlung im Sonneninnern, im ewigen Chaos der rasenden Atomteilchen, an die Oberfläche der Sonne, in gigantischen, glühenden Gaswolken, grösser als die Schweiz. Sie sind in grösseren Fernrohren als reisartige Punkte, als sogenannte «Granulation» zu erkennen und tauchen in wenigen Minuten wieder unter.

An der Sonnenoberfläche wird die Energie als sichtbare Strahlung, als Licht und Wärme, in den Weltraum ausgestrahlt. Die Gewalt dieser Energie ist kaum fassbar. Man bedenke, dass die Erde nur ungefähr den 2milliardenstel Teil aller Strahlung erhält! Der Rest «entflieht» ins Weltall.

Seit Jahren steht die Sonnenforschung in engster Zusammenarbeit mit der Atomkernforschung. Unsere Sonne, als einziger Stern, der uns nahe genug ist, um mit allen modernen Mitteln der heutigen Technik angegangen zu werden, bedeutet für den Forscher ein Riesenlaboratorium «vor der Türe». Die Sonne strahlt nämlich nicht nur sichtbares Licht und fühlbare Wärme aus, sondern Strahlung im gesamten Spektrum der elektromagnetischen Wellen, von denen das sichtbare Licht nur ein winziger Ausschnitt ist. Längere Wellen, unsichtbar, empfinden wir als Wärme, dem sogenannten Infrarot — heute in der Astronomie ein neues, uferloses Kapitel der Forschung (siehe Sterne, Milchstrasse). Noch längere Wellen im Infrarot gehen über in die kurzen Radiowellen, ein Zwischengebiet, das heute ebenfalls intensiv bearbeitet wird und zu merkwürdigen Resultaten führt. Auf der anderen Seite des schmalen Bereichs der sichtbaren Lichtwellen kommen wir ins Ultraviolett, heute ebenfalls weites Neuland der Sternforschung. Bei immer kürzeren Wellen gelangen wir schliesslich ins Gebiet der Röntgenstrahlung, die ebenfalls von der Sonne, wenn auch verhältnismässig schwach, ausgeht. Die heutige Radio- und Röntgenastronomie wie die Erforschung der noch kürzeren Wellen, der harten Gammastrahlung im Universum, sind heute in voller Entwicklung. Es sei wiederholt: Neuartige Instru-

mente und neuentwickelte Geräte eröffnen dem Forscher jetzt schon und in den kommenden Jahren ein unabsehbares Feld des Unerwarteten, des Rätselhaften, Grundlage eines kommenden, noch umfassenderen Weltbildes.

Wir haben die Oeffnung dieses neuen «Riesenfensters» der Weltallforschung fast ausschliesslich der heutigen Raketen- und Satellitentechnik zu verdanken. Hierzu nur ein kleines Beispiel: Das Bild (Abb. 10) zeigt eine neuzeitliche Röntgenaufnahme der Sonne, vollkommen anders als das gewohnte Sonnenbild in normalem Licht. Ein weiteres grösseres Kapitel, trotz intensivster, vielseitiger Untersuchungen heute immer noch in vielem rätselvoll, bildet die Sonnenkorona, die weit ausgedehnte leuchtende Sonnenatmosphäre, ohne Spezialinstrumente praktisch nur bei einer totalen Sonnenfinsternis sichtbar. Ihr geheimnisvolles silbernes Leuchten ist ungefähr eine Million Mal schwächer als das Sonnenlicht und deshalb nur zu erkennen, wenn der Mond während einer totalen Finsternis die gleissende Sonnenscheibe vollkommen verdeckt. Die von blossem Auge erkennbaren gekrümmten oder geradlinigen Strahlen folgen den Magnetlinien um die Sonne und sind fotografisch bis zu 10 Sonnenradien hinaus zu erreichen. Sie gehören, wie die Korona überhaupt, zu den vielen nur teilweise gelösten Problemen und sind in ihrer Strahlungserscheinung, wie Turbulenz usw., rätselhaft. Es werden Temperaturen von 1 bis 2 Millionen Grad in der Korona registriert. Hier liegt noch viel Neuland vor der Forschung!

Noch unverständlicher erscheinen dem Laien, ja vollständig unanschaulich, die Aussage des Astronomen über die sogenannte Neutrinostrahlung, gewichtlose Atomteilchen, unsichtbar und experimentell kaum zu fassen, die aber glatt durch die Erde hindurchgehen . . . In all den neuartigen Strahlungsgebieten ist die Forschung in vollem Fluss, auf Schritt und Tritt weitet sich das Gebiet der Sonnen- und damit zugleich der Sternforschung.

Die Lufthülle um die Erde fängt die meisten der unsichtbaren Strahlungen ab — an sich wären sie lebensgefährdend —, anderseits aber verwehrt sie uns den Ausblick ins Weltall in den erwähnten, sehr ausgedehnten Spektralbereichen. Eines darf bereits heute in aller Sicherheit gesagt werden: die altehrwürdige Astronomie ist in diesen Jahren in einem Aufbruch in eine neue Welt, die uns mit Bestimmtheit vor Ungeahntes stellen, ja vielleicht zu revolutionärem Umdenken zwingen wird.

Betrachten wir nach diesem Ausblick ins Kommende noch ein paar Erscheinungen auf der Sonne, die, längst bekannt, in unserer Zeit zu neuen Erkenntnissen, aber auch zu neuen Problemen führten. Da erwähnen wir zuerst einmal die Protuberanzen. Das sind stets neue, ungeheure Auswürfe von glühenden, rotleuchtenden Wasserstoffmassen, die in Minuten und Stunden manchmal fast eine Million Kilometer über die Sonnenoberfläche aufsteigen und bei tota-

len Sonnenfinsternissen von blossem Auge sichtbar sind. In Spezialfernrohren kann man sie auch im Tageslicht erkennen und werden damit der Forschung unmittelbar zugänglich. Aber erst kinematographische Aufnahmen lassen in Zeitraffung die rätselvollen Bewegungen erkennen, Geschwindigkeiten bis zu 700 Kilometern pro Sekunde, das explosionsartige Aufsteigen und merkwürdige Rückströmen der leuchtenden Gasmassen in die Sonne.

Ein weiteres, nicht völlig gelöstes Sonnenrätsel bilden die bekannten Sonnenflecken, die seit ca. 1850, zuerst von Prof. Wolf, an der Eidgenössischen Sternwarte in Zürich (jetzt noch Zentrum der Sonnenforschung) systematisch überwacht werden, heute aber auch in vielen anderen Sternwarten. Sonnenflecken treten in einer Periode von durchschnittlich 11 Jahren auf, wobei jeweils nach einem Minimum die ersten Flecken des neuen Zyklus stets in hohen Breitengraden auftreten. Sonnenflecken können sich manchmal über Monate hinweg halten und als Gruppe sogar Grössen von 30 Erddurchmessern erreichen. Solche Riesenflecke sind bei tiefstehender Sonne von blossem Auge sichtbar. Physikalisch gesehen, zeigen sie sich als etwas kühlere Stellen der Sonnenoberfläche, die in Temperaturen von rund 4000 Grad in Tat und Wahrheit noch weissglühend sind, aber neben dem helleren, blendenden Licht der etwa 5600 Grad heissen Umgebung dunkel erscheinen. Das Entstehen von Sonnenflecken ist heute noch in manchen Punkten rätselhaft. Es müssen — neben anderen Ursachen — magnetische Felder, kurz magnetohydrodynamische Vorgänge im Sonneninnern eine entscheidende Rolle spielen. Unsere moderne Aufnahme eines Ausschnittes der Sonnenoberfläche (Abb. 8) zeigt anschaulich die Feuerhölle, den Hexenkessel auf der Sonne, die von blossem, gutgeschütztem Auge und im kleineren Fernrohr so «ruhig» erscheint.

Der Bereich der Sonnenforschung dehnt sich heute ausserordentlich weit nicht nur im Hinblick auf Ursache der Vorgänge im irdischen Wetter, die Beeinträchtigung des Radiokurzwellenverkehrs durch magnetische Stürme des «Sonnenwindes», den wir bereits als «Schöpfer» des Kometenschweifes erwähnt haben. Es ist vielmehr so: für unsere Theoretiker und Beobachter ist die Sonne, wie bereits erwähnt, faktisch ein Riesenlaboratorium, «direkt vor der Tür». Sie umfasst alles — von der Atomkernphysik bis zur Radio- und Neutrinostrahlung. Es sei im Vorbeigehen hier nur an die Möglichkeiten der neuen Helios-Sonden erinnert, die gerade in unseren Tagen, kaum 50 Millionen Kilometer entfernt, an der Sonne vorbeirasen. Noch nie zuvor war ein Forschungsgerät von Menschenhand so nahe an der Sonne vorbeigeführt worden; ein Drittel der Distanz Sonne — Erde. Im Gluthauch des nahen Feuerballs trotzen die Apparaturen einer Aussentemperatur bis zu 400 Grad (Blei ist flüssig) und senden die Messungen wie vorgesehen zur Erde.

Als weiteres Beispiel aus der Sonnenforschung sei hier noch das bekannte Nordlicht erwähnt, dessen Wesen in manchem ebenfalls noch rätselhaft ist. Ursache sind weitgehend die im Abschnitt «Kometen» bereits angeführten Partikelströme des Sonnenwindes, die in kleinen oder grösseren Sonnenexplosionen in enormer Energie ins Weltall hinausstürmen und dabei die Erde treffen. Vom Magnetfeld der Erde zu den magnetischen Polen abgelenkt, stossen sie bereits in Höhen bis zu 1000 Kilometern auf Moleküle der obersten, sehr dünnen Atmosphärenschicht, ionisieren und zerschlagen sie. Das ist in der Folge, vereinfacht, Ursache des Farbenzauberspiels, das die Menschen in hohen Breitengraden erfreut, aber auch zugleich unerfreuliche Störungen im Radiokurzwellenbereich auslöst.

Noch einige Bemerkungen über die Entstehung, das Alter der Sonne, verbunden mit der Entwicklung des Sonnensystems. Die alte Theorie von Laplace von der Entstehung des Sonnensystems, die immer noch in populären Veröffentlichungen figuriert, ist unhaltbar. Laplace vertrat die Ansicht, dass die Planeten und deren Monde bei der Bildung der Sonne von dem rasenden, drehenden Sonnengebilde abgeschleudert worden seien. Verschiedene Gründe, darunter das sogenannte Drehmoment, das bei der Sternenentstehung, wie bei Doppelsternen, eine entscheidende Rolle spielt, haben die Abschleuderungstheorie Laplaces zu Fall gebracht. Wie im Kapitel «Milchstrasse» näher ausgeführt wird, lassen die Beobachtungen und Berechnungen der letzten Jahrzehnte eine Erklärung zu, die weitgehend das Entstehen des Sonnensystems verständlich macht.

Wir nehmen hier etwas voraus, was ins Kapitel «Sterne» und «Milchstrasse», zur Sternentwicklung gehört. Fotografien der Milchstrasse machten zahllose grosse Ansammlungen von Dunkelnebeln, d. h. von Gas und Staub, sichtbar, in denen sich da und dort im Laufe der Millionen Jahre Kugelgebilde abschnüren, im Durchmesser bis zum 30000fachen der Entfernung Sonne—Erde. Solche gewaltigen Wolken, sogenannte «Globulen», wurden in den letzten Jahren zu Hunderten als feine schwarze Punkte vor leuchtenden Wolken fotografisch festgehalten (siehe Aufnahme). Diese Gas- und Staubkugeln ziehen sich nach bekannten Gesetzen der Schwerkraft zusammen, um in späteren Stadien im Kollaps ins Zentrum zusammenzusacken. Die Hauptmasse der Wolke kondensiert so, wenn dieser Ausdruck gestattet ist, im Zentrum zu einer oder mehreren Sonnen. Weit draussen bilden sich vom zurückgebliebenen Rest in Turbulenz Planeten und Monde, die entweder um die neue Sonne, einen sogenannten Protostern, kreisen oder bei mehrfachen Systemen wahrscheinlich von den neuen Sonnen «aufgesogen» werden. Bei dem eben genannten Kollaps, dem Zusammenstürzen der Hauptmasse im Wolkenzentrum, entsteht

Wärme, Temperaturen, die schliesslich in die Millionen Grade gehen. Zudem steigt die Dichte im Zentrum des Nebels, die zu Beginn des Vorgangs viel eher einem hohen Vakuum glich, aber angesichts der erwähnten Durchmesser durchaus mit Sonnengewichten berechnet werden kann, ebenfalls rasch an. Sobald die Temperatur im Zentrum Millionen von Graden erreicht, beginnen Atomkernumwandlungen anzulaufen, das ungeheure Gebilde wird schliesslich zu einer leuchtenden Sonne, die aber vielfach durch die Hülle der verbleibenden Reste Urmaterie kaum sichtbar ist. Wir kommen später darauf zurück.

Wie gross ist die Sonne? Hier seien in einem Modell die Grössenverhältnisse dargelegt. Um anschaulich zu bleiben, bedienen wir uns einer Orange . . .

Verkleinern wir in Gedanken den ungeheuren Gasball unserer Sonne zur Grösse einer Orange, so ist die Erde im gleichen Massstab nicht grösser als ein Nadelkopf. Wir wissen bereits: in der Sonne fänden mehr als eine Million Erdkugeln genügend Platz. Im Modell kreist dieser Nadelkopf in einem Jahr in einer Entfernung von etwa 8 Metern um die Orange. (In Wirklichkeit ist die Entfernung rund 150 Millionen Kilometer.)

Betrachten wir unser Sonnensystem-Modell weiter: in etwa 40 Metern Distanz zur Orange wandert eine Haselnuss, der Jupiter, 75 Meter von der Orange entfernt eine zweite Haselnuss, der Saturn. Die Saturn-«Haselnuss» benötigt bereits gegen 30 Jahre für einen Umgang. Weiter draussen, in einer Entfernung von 150—280 Metern, wandern langsam, in Jahrhunderten, 2 Erbsen und ein einsamer, weiterer Nadelkopf: der Uranus, der Neptun und der Nadelkopf Pluto. Noch weiter draussen, Weite unbekannt, umgibt eine Wolke von Urmaterie-Resten das Sonnensystem, Heimat der Kometenkerne.

Der Leser sei sich bewusst: in diesem Orangenmodell hat das Sonnensystem einen Durchmesser von weniger als 1 Kilometer, beherrscht von der Orange im Zentrum. Damit im Zusammenhang dient die Verwendung der Distanz Sonne—Erde, diese 150 Millionen Kilometer in der Astronomie als **Massstab** im Sonnensystem, die sog. «astronomische Einheit». So kreist Pluto, der äusserste Planet, in einer Entfernung von etwa 40 astronomischen Einheiten.

Es sei hier, in diesem Zusammenhang, wieder auf eine Tatsache vorgegriffen, die überaus eindrücklich die gähnende Leere im Weltraum demonstriert: die Distanz zum nächsten **Stern,** zur nächsten Sonne in der Milchstrasse beträgt rund 500 000 astronomische Einheiten! Wir können diese «Ungeheuerlichkeit» für menschliche Begriffe am Orangenmodell sehr klar demonstrieren. Nehmen wir dazu unsere Orange als Durchschnittsgrösse der Sterne in der Milchstrasse, so befindet sich im Modell die nächste Orange nicht etwa ein paar Kilometer entfernt, nicht einmal in der Schweiz oder in Europa, sondern in den USA oder in Ostsibirien . . .

Wie alt ist die Sonne? Der englische Physiker Lord Kelvin rechnete seinerzeit aus, dass die Sonne, bestünde sie ganz aus Kohle, höchstens während 1 Million Jahre «Brenndauer» leuchten und wärmen würde. Demgegenüber standen seit langem die Geologen und Paläontologen, die in Sediment- und Fossilienforschung mindestens 2 Milliarden Jahre praktisch ununterbrochener Sonnenstrahlung forderten. Das Haupträtsel begann sich zu lösen, als die englischen Physiker Rutherford und Soddy 1903 die Hypothese des Atomzerfalls aufstellten und damit den Weg zum Verständnis der Atomkernumwandlung öffneten.

Man rechnet heute, dass die Sonne vor knapp 5 Milliarden Jahren aus einer bereits erwähnten kosmischen Gas- und Staubwolke entstanden ist und dass sich die Planeten in der gleichen Epoche aus den Urmaterie-Ueberresten weit draussen im ursprünglich riesigen Raum um die neue Sonne bildeten. Eine grosse Stütze dieser heutigen Anschauung bildet ein Teil der auf die Erde einschlagenden Meteore, die sogenannten kohligen Chondriten, deren Alter im Lichte der natürlichen Kernumwandlung ebenfalls auf ein Alter von rund 4,5 Milliarden Jahre hindeuten.

Die Energie, die im erwähnten Fusionsprozess im Sonnenzentrum frei wird, ist enorm: ein Gramm Wasserstoff liefert etwa 170 000 Kilowattstunden. Bei diesem Prozess der Umwandlung von Masse in Energie verliert die Sonne an Gewicht wie jeder andere Stern auch. Die Tatsache, dass die Sonne pro **Sekunde** 4 Millionen Tonnen Masse zerstrahlt, also 4 Millionen Tonnen leichter wird, erscheint verblüffend hoch. Aber dieser Verlust ist völlig bedeutungslos angesichts des Gewichtes der Sonne. Sie hat in der Tat in den letzten 2 Milliarden Jahren kaum $^1/_{1000}$ (ein Promille) Masse verloren. Der Vorrat an Wasserstoff ist unvorstellbar. Geht er im Sonneninnern zur Neige, beginnt eine neue Epoche der Entwicklung. Das bisherige Gleichgewicht zwischen Schwerkraft und Strahlungsenergie, das während Milliarden von Jahren Existenz der Sonne bedeutete, verliert sich. Der Kern wird kleiner und heisser; und bei Temperaturen von über hundert Millionen Grad beginnt die Umwandlung des Heliumkerns in Kohlenstoff, während sich die Hülle aufbläht zu einem roten Riesenstern von sehr geringer Dichte (Weltuntergang für uns auf der Erde . . .).

Die Modellrechnungen der Theoretiker in diesem Stadium der Sonnenentwicklung sind vielfach umstritten. Instabilität liegt vor, mit im Sonnenkern weiter ansteigender Temperatur, eventuell sogar Abschleuderung der äussersten Hülle in einer «Nova»-Explosion. Eines scheint aber heute gesichert zu sein: Unsere Sonne beendet nach Milliarden von Jahren ihre Entwicklung wie andere Sterne von gleicher Masse als ein sogenannter «Weisser Zwerg». In einem kosmischen Kollaps (Nova?), dessen Gewalt sich der Mensch gar nicht

vorstellen kann, sackt die Sonne in kürzester Zeit zur Grösse unserer Erde zusammen — in unserem Orangenmodell also eine grosse Orange zur Kleinheit eines Nadelkopfes . . . Anders ausgedrückt: Ein Kubikzentimeter dieser «entarteten» Materie wiegt mehr als eine Tonne.

Jede Erzeugung von Energie im Innern dieses «Weissen Zwerges» ist zu Ende. Aber der Inhalt an Wärme in diesem weissleuchtenden Zwergstern reicht in normaler Abkühlung für Milliarden von Jahren aus, bis die Strahlung endgültig erlöscht.

Was mit Sternen von mehrfachem Sonnengewicht im Endstadium der Entwicklung vor sich geht, möchten wir im anschliessenden Kapitel «Sterne und Milchstrasse» streifen.

Sterne, Milchstrasse

Wir haben im Kapitel «Sonne» ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sie der einzige uns nahestehende Stern ist und deshalb mit allen technischen Untersuchungsmethoden angegangen werden kann, d. h. wiederum, dass die **gesamte** Strahlung von den ultrakurzen Gamma- und Röntgenwellen über den schmalen «Licht»-Bereich bis zur langwelligen Radiostrahlung Untersuchungsmöglichkeiten sonder Zahl bietet.

Vorerst sei auf etwas hingewiesen, das dem Laien gar nicht bewusst ist, ihn vielleicht sogar verblüfft: Es ist Tatsache, dass bis zum heutigen Tag kein Mensch einen Stern als leuchtenden **Körper** gesehen hat! Wir sehen nie den Stern selber — auch im grössten Fernrohr der Erde nicht —, sondern nur das Licht, das er aussendet. Es ist genau dasselbe, wie wenn man nachts an einem grossen See promeniert und gegenüber, am anderen Seeufer, schwachleuchtende Strassenlampen sieht. In Tat und Wahrheit sehen wir in der grossen Entfernung keine Strassenlampen, sondern nur das **Licht** des strahlenden **Wendels** im Lampeninnern. Genauso ist es mit den Sternen.

Ebenso eindringlich soll hier am Beginn des Kapitels dem Leser in Erinnerung gerufen werden, dass **alle Sterne,** die 3000 von blossem Auge sichtbaren, die Hunderttausende im guten Prismenglas, die Millionen im Fernrohr und die Milliarden in der Fotografie, **ausnahmslos** Sonnen sind wie die unsrige, kleiner und grösser. Einzig die 5 nahen, im Sonnenlicht leuchtenden Planeten, die wandelnden Lichtpunkte am Nachthimmel, sind Teile unseres Sonnensystems.

Die Milchstrasse hat, von der Seite gesehen, die Form einer flachen Linse, siehe Skizze. Sie ist ein sogenannter Spiralnebel. Der Pfeil zeigt den Ort unserer Sonne, etwa 30000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt. In diesem Bereich zwi-

schen Sonne und Milchstrassenzentrum verdecken zahlreiche Dunkelnebel weitgehend die Sicht auf das Zentrum selber und auf die ungeheuren Sternenheere jenseits des Zentrums. Fotografisch sind sie nicht zu erfassen. Der heutige Stand der Untersuchungen im sichtbaren Teil und der Strahlung, welche die absorbierenden Wolken teilweise durchdringen, ergeben eine Zahl von ungefähr 200 Milliarden Sonnen.

Hierzu eine laienhafte Bemerkung: Eine Milliarde Sonnen mehr oder weniger hat da gar nichts zu bedeuten . . .

Bevor wir jedoch Form und Bau der Milchstrasse näher betrachten, möchten wir im Anschluss an unseren eigenen Stern, die Sonne, etwas näher auf die Sterne selber eingehen. Berichten wir, was wir heute wissen — oder glauben zu wissen. Es sei aber nochmals gesagt, dass schon aus Platzgründen in diesen wenigen Blättern nur einige interessante Fakten im wahrhaft uferlosen Bereich behandelt werden können, und das erst noch bruchstückhaft. Unser Wissen von den Sternen verdanken wir zum grössten Teil der Spektralanalyse, die heute auf eine 115jährige Geschichte zurückblickt. Vielleicht steht der Leser vor der Frage: Was ist ein Spektrum, und was ist Spektralanalyse?

Der Leser erinnere sich, als er zum erstenmal an der Kante eines geschliffenen Spiegels alle Regenbogenfarben aufleuchten sah. Die geschliffene Kante — oder ein Prisma — zerlegt das weisse Licht in seine Farben, aus denen es bekanntlich zusammengesetzt ist. Der geniale junge Optiker Frauenhofer liess 1814 im verdunkelten Raum Sonnenlicht durch einen sehr schmalen Spalt auf ein Glasprisma fallen und entdeckte, registrierte, im aufleuchtenden Farbenband ein paar hundert feine dunkle Linien, die heute noch nach ihm benannt werden. Man betrachtete die Entdeckung jahrzehntelang als «Kuriosum», bis 1859 die deutschen Physiker Bunsen und Kirchhoff die rätselhaften Linien als von glühenden Gasen zu deuten vermochten und damit die Grundlagen für die moderne Astrophysik schufen. Mit dieser Zerlegung des Lichtes in sein Spektrum, ein Farbenband, mit wenigen hellen oder Zehntausenden von dunklen Linien, beginnt der «Lichtbote» aus dem All zu sprechen, von der nahen Sonne bis zu den verdämmernden Milchstrassen «am Ende der Welt». Die Spektralanalyse wurde zum «Zauberschlüssel» des Astrophysikers. Sie schuf weitgehend unser heutiges Weltbild in einer immer raffinierter werdenden fotografischen Technik, in der Hand geduldiger, gescheiter Forscher. In den letzten Jahren öffneten sich der Spektralanalyse weitere Tore mit elektronischen und computergespeicherten Methoden.

Je nach dem Aussehen der Linien im Spektrum, ihrer genauen Stellung im Farbenband, kann der Astrophysiker direkte, gesicherte Angaben machen in einer Fülle, die manche Science-fiction-Geschichte glatt in den Schatten stellt.

Sie sagen zum Beispiel dem Forscher nicht nur, welche glühenden Gase in der Sonne oder in fernsten Sternen leuchten. Sie sagen auch aus, ob es sich um eine junge Riesensonne oder einen sterbenden Zwergstern, ob es sich um zwei eng umeinander kreisende Sterne, also um einen Doppelstern handelt — im Fernrohr immer nur ein einziges Pünktchen. Die wechselnde Stellung der Linien verraten die Stunden, die Tage, die Monate ihres Kreisens um den gemeinsamen Schwerpunkt. Ist zugleich die Entfernung bekannt wie die Geschwindigkeit im Raum, können die Gewichte, die Leuchtkraft, teilweise sogar die Grösse der Zwillingssterne erfasst werden — alles nur aus einem dimensionslosen Punkt. Damit ist nicht genug: Neben Masse, Dichte ist feststellbar, ob etwa Gase, Materie von einem Stern zum andern abströmt, ob sich dunkle Wolken kosmischen Staubes, ob Staubhüllen oder durchsichtige Gase vor den Sonnen stehen. Und das für den Laien vorerst Unfassliche: Genaues Ausmessen einzelner Linien sagen dem Forscher, ob der Stern sich uns nähert oder von uns wegläuft, und dies heute bis auf etwa einen halben Kilometer Geschwindigkeit pro Sekunde genau. Dabei erscheint uns der Stern in 1000 Jahren noch ebenso hell wie jetzt, denn — ein Näherkommen von beispielsweise 50 Kilometern pro Sekunde macht in 1000 Jahren wahrscheinlich kaum ein Hundertstel seiner ungeheuren Entfernung aus.

Angesichts dieses ausserordentlichen Fächers an Forschungsmöglichkeiten in der Spektralanalyse und weiteren Methoden der Strahlungsforschung darf man füglich von einem «Zauberschlüssel» des Astrophysikers sprechen. Ganz abgesehen von der entscheidenden Bedeutung in der Spektroskopie, steht die heutige Fotografie erst noch in einer rasanten Entwicklung. Hier nur ein Beispiel: ausgeklügelte elektronische Bildverstärker, welche die Empfindlichkeit der modernen fotografischen Platte um ca. das Hundertfache steigern. In anderen Worten: Präzisionsspiegelteleskope mit perfekten Hohlspiegeln von etwa einem Meter Durchmesser und darunter werden in naher Zukunft mit den neuartigen Photonenzählern fast das gleiche leisten wie heute das 5-Meter-Riesenteleskop auf Palomar Mountain in Kalifornien. Der Bereich, die Möglichkeiten der bereits in Erprobung stehenden Messapparaturen ist erstaunlich, ja kaum glaublich. Heute schon wird in einigen grossen Sternwarten die bisherige fotografische Technik übergangen und die Messungen der automatisch den Sternen nachgeführten grossen Teleskope **direkt** in den Computer eingespeist!

In diesem Zusammenhang zeugen nachfolgend ein paar Angaben von der Vielfalt der Sterne — immer nur feinste einzelne Lichtpunkte im Meer endloser Sternenheere. Sie sprechen für den Geist, die Arbeit des forschenden Menschen, aber auch von der Herrlichkeit des Sternenhimmels.

Die Grössen der Sonnen im Weltall sind ausserordentlich verschieden. Nimmt man wiederum das Orangenmodell der eigenen Sonne als Massstab zu Hilfe, so findet man auf der einen Seite als Extrem die sogenannten «Neutronen»-Sterne, Staubkörnchen von unter $^1/_{100}$ Millimeter Durchmesser, also nur im Mikroskop erkennbar. Und auf der anderen Seite finden sich Gasbälle (von sehr geringer Dichte), die nicht einmal in einen Eisenbahntunnel hineingingen . . .

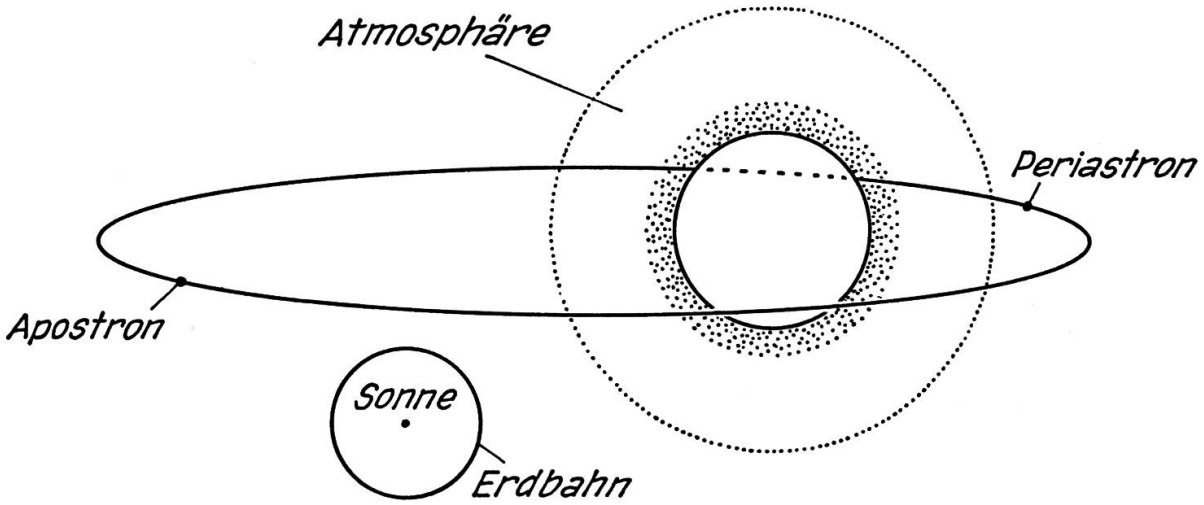
Mit der Leuchtkraft der Sonnen steht es ähnlich bizarr: Man kennt heute Sonnen, die für unsere Augen praktisch unsichtbar sind, mit einer Oberflächentemperatur von kaum 900 Grad, die also nur im Wärmebereich des Infrarots strahlen. Auf der andern Seite kennen wir Riesensonnen — gewiss, es sind Aussenseiter, aber normale Sterne — mit fast einer Million Mal höheren Leuchtkraft als unsere eigene Sonne. Wie aber steht es mit den Temperaturen? Von Infrarotsternen — mit Hilfe von Raumsonden kürzlich gefunden — haben wir soeben gesprochen. Anderseits finden wir in den rätselvollen Zentralsternen der sogenannten «planetarischen Nebel» Oberflächentemperaturen, die bei ungefähr 40 000 Grad beginnen und in Einzelfällen wahrscheinlich gegen eine halbe Million Grad betragen dürften. Vom Spektakulärsten, den Supernovae — siehe später — ganz zu schweigen.

Der Leser sieht, der heutige Befund der Vielfalt in den Milliarden Sonnen der Milchstrasse ist fast grenzenlos, wie denn auch Tausende von anscheinend gleichen Sternspektren niemals genau gleich sind. Jeder Stern ist ein Individuum, genau wie jeder einzelne der Milliarden Menschen auf unserer Erde. Und nun möchten wir ein paar Beispiele herausgreifen.

Zeta Aurigae

Im Sternbild «Fuhrmann» sehen wir von blossem Auge einen einzelnen schwachen Stern. Im Fernrohr wie immer nur ein einziger Lichtpunkt. Er trägt in den Sternkatalogen die griechische Bezeichnung Zeta Aurigae. In Wirklichkeit handelt es sich da um einen Doppelstern, also zwei Sonnen, die in etwa 800 Millionen Kilometern Abstand voneinander in knapp drei Jahren um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen und einander regelmässig verdunkeln (von uns aus gesehen). Man spricht von einem Bedeckungsveränderlichen. Für den zweifelnden Leser sei wiederholt: Trotz der für menschliche Begriffe ungeheuren Entfernung zwischen den beiden Sonnen sehen wir auch im grössten Fernrohr nur einen einzigen, dimensionslosen Punkt — das Paar ist zu weit von uns entfernt, um sie getrennt sehen zu können. Man rechnet, dass ihr Licht uns nach ungefähr 1200 Jahren erreicht.

Zeta Aurigae ist ein Musterbeispiel für die Aussagekraft der Spektralanalyse in den Händen des Astrophysikers. Wir sehen von der Seite auf die Bahnen dieser Sonnen, und wenn die eine, sagen wir links, die zweite Sonne rechts steht, also fast eine Milliarde Kilometer «Zwischenraum», dann zeigt die Foto-



14) Zeta Aurigae (Sternbild «Fuhrmann»). Doppelsternbahn.

grafie des Spektrums zwei Spektren übereinander: Wir haben durchwegs Doppellinien. Steht jedoch eine Sonne vor der anderen und verdunkelt sie, ist nur das Spektrum dieser einzelnen Sonne zu erkennen. Nun aber stellte sich bereits vor ein paar Jahrzehnten in sorgfältiger Untersuchung heraus, dass es sich um zwei **grosse** Sonnen handelt. Einmal um eine heisse Sonne von etwa 16000 Grad Aussentemperatur, von ca. 6fachem Sonnengewicht und 4fachem Durchmesser unserer Sonne, also weitaus energiereicher als das eigene Gestirn. Noch interessanter ist der Begleiter, eine wahre Riesensonne. Gewicht etwa das 9fache der Sonne, aber mit einem Durchmesser der zwischen dem 250- und 450fachen unserer Sonne schwankt. Im Modell: eine kleine Kegelkugel neben einem Ball für einen Eisenbahntunnel zu gross. Der Riesengasball, Aussentemperatur knapp über 3000 Grad, besitzt eine sehr geringe Dichte. Vor allem aber, und das machte Zeta Aurigae zu einem Markstein in der Spektralanalyse: der Riese hat eine sehr dünne Atmosphäre von mindestens 40 Millionen Kilometern Höhe. Etwa ein Monat bevor die eigentliche Bedeckung des kleineren heissen Sternes beginnt, mit der Regelmässigkeit einer guten Uhr, zieht die heisse Sonne hinter dem Riesen vorbei und scheint durch die Atmosphäre des Riesen hindurch. Wirklich, wie eine Sonde, denn jetzt treten im Spektrum der durchstrahlten Atmosphäre gestörte Linien auf. Der Forscher stellt Turbulenz fest und ähnliche Ballungen. Erst nach einem Monat verschwindet der kleinere heisse Stern völlig. Er bleibt 38 Tage unsichtbar, um nachher wieder, zuerst schwach, dann immer heller die Atmosphäre des Riesen erneut einen Monat lang zu durch-

strahlen. Das ist eine summarische Beschreibung, ein paar Angaben, die zeigen, was die Spektralanalyse an diesem spektroskopischen Doppelstern dem Beobachter schenkte — im Fernrohr immer ein dimensionsloser, feiner Lichtpunkt, sonst nichts . . .

Im gleichen Sternbild «Fuhrmann» haben wir ein zweites, noch rätselhafteres Objekt, «Epsilon Aurigae». Das Objekt ist auch heute noch nicht mit Sicherheit völlig zu deuten. Es handelt sich ebenfalls um einen spektroskopischen Bedeckungsveränderlichen, der in mehr als 3000 Lichtjahren Entfernung liegt. Fast das gesamte Licht kommt von einem heissen Riesenstern ungefähr 60 000 mal heller als unsere Sonne. Alle 27 Jahre verschwindet dieses Licht, ähnlich wie bei Zeta, langsam während 160 Tagen hinter einem rätselvollen Gebilde und bleibt während eines vollen Jahres fast ganz verfinstert. Falls es sich um einen kühlen, infraroten Koloss handelt, ähnlich wie bei Zeta, muss der Durchmesser des Objektes 2800 Mal grösser sein als unsere eigene Sonne. An die Stelle unserer Sonne versetzt, würde der Riese das Sonnensystem bis zur Bahn des Saturns ausfüllen. Das Rätsel dieses dünnen Riesensterns ist heute noch nicht gelöst, ob es sich vielleicht gar um eine ungeheure, schwach durchsichtige Wolke handelt, umkreist von einem hellen Riesenstern, oder um etwas ganz anderes . . .

Sirius

Jedermann kennt den hellsten Stern der Winternächte im Süden, den wie ein blauweisser Brillant strahlende Sirius. Diese Sonne gehört zu unseren nächsten Sternen. Das Licht benötigt «nur» knapp 9 Jahre, bis es uns erreicht. Wir sagen «nur», aber dennoch: Sirius ist mehr als eine halbe Million Male weiter von uns Erdenbürgern entfernt als unsere Sonne. Seine Helligkeit ist ungefähr 23 mal grösser als unser Gestirn, sein Durchmesser beträgt etwa das Doppelte, die Masse fast das Zweieinhalbfache der Sonne. Als Aussentemperatur wird etwas über 10 000 Grad gemessen. Und zu allem: er besitzt einen Begleiter. Woher wir das alles wissen?

In den Jahren zwischen 1834 und 1844 benutzte der geniale deutsche Astronom F. W. Bessel einen neuen Heliometer, ein Präzisionsmessinstrument der klassischen Astronomie, das winzige Aenderungen von Distanzen zwischen den Sternen zu messen ermöglichte. Solche Messungen gehörten damals zu den Hauptaufgaben der Astronomen. Es galt, in höchster Genauigkeit den Sirius positionsmässig an nahe Sterne «anzuschliessen». (Zwischenhinein: Die alte Bezeichnung «Fixstern», die man heute noch etwa hört, entspricht in keiner Weise der Wirklichkeit. Alle Sterne am Himmel «wandern», in den enormen Entfernungen vielfach kaum messbar.) Bessel vermutete, dass der überaus helle

Sirius uns nahe stehe. Sternentfernungen waren damals noch unbekannt. Bessel erhoffte, in jahrelangen Messungen endlich Grundlagen für die Berechnung der Entfernung von Sternen zu erhalten. (Es glückte ihm als erstem, aber an einem anderen nahen Stern.)

Und damit begann die Geschichte . . .

Sie ist interessant und einer der bedeutungsvollsten Entdeckungen in der Astronomie.

Im Laufe von etwa 10 Jahren präzisester Messungen fiel es Bessel aber auf, dass die Bahn des Sirius nicht in gerader Linie verlief, sondern messbar in einem leichten Bogen. Als guter Mathematiker fand Bessel, dass die grosse Sonne draussen im Weltraum eine Art Schlangenlinie beschreibe in einer Periode von etwa 50 Jahren. Es müsse also ein unsichtbarer Begleiter, eine zweite nahe Sonne den Sirius zum Kreisen um einen gemeinsamen Schwerpunkt zwingen. 1851 berechnete Peters aus den Messungen Bessels die Bahn des unsichtbaren Begleiters. Aber die Suche der Astronomen nach dieser schweren Begleitsonne war vergebens. Bis am 31. August 1862, 18 Jahre später, der amerikanische Fernrohrbauer Clark ein neues grosses Fernrohr am Sirius erprobte und unmittelbar dicht neben dem Sirius, nahe an der Stelle, die Peters vor 11 Jahren berechnet hatte, ein schwaches Sternchen fand. Man bezeichnet diesen lichtschwachen Begleiter heute als Sirius B. Er ist auch heute nur in grösseren Instrumenten bei sehr klarer Luft zu sehen, da seine Leuchtkraft nur etwa $^1/_{10\,000}$ des Sirius beträgt und von der übermächtigen Helle des dicht daneben stehenden Sirius überstrahlt wird.

Die Freude der damaligen Astronomen, endlich den Begleiter gefunden zu haben, war verständlich: angesichts des geringen Lichtes müsse es sich um einen erlöschenden, sterbenden Stern handeln. Aber das Frohlocken wandelte sich im Laufe der Jahrzehnte in eine leidenschaftliche Diskussion, als es 1915 dem Astronomen Adams auf der Mount-Wilson-Sternwarte gelang, ein Spektrum des Sirius B aufzunehmen. Zur Verblüffung der Forscher ergab sich daraus, dass der Sirius-Begleiter keineswegs eine grosse, erlöschende Sonne sei, sondern weiss leuchte, also fast so heiss sein müsse wie der Sirius selber! Angesichts der Lichtschwäche von etwa $^1/_{10\,000}$ des Hauptsterns, aber vom gleichen Gewicht wie unsere Sonne, ergab sich ein Sternkörper von der Grösse unserer Erde und fiel damit ausserhalb jeder Erfahrung astronomischer Forschung. Die Diskussion wurde leidenschaftlich. Man stelle sich das Grössenverhältnis der beiden Feuerbälle vor: Ein Körper, so klein wie ein Nadelkopf, soll einen Ball von der Grösse einer Kegelkugel zum Kreisen zwingen!

Es ist kaum zu verwundern, dass sich die Gelehrten in die Haare gerieten, ausgiebig und während Jahren, bis dann Modellrechnungen in späteren Jahren

an die Lösung heranführten: Im langen Lauf der Entwicklung wird eine Sonne instabil und sackt in einer kosmischen Katastrophe im Verlaufe weniger Stunden oder Tage zusammen und wird zu einem «Weissen Zwerg». Man betrachtet heute solche lichtschwache «Weisse Zwerge» als das Endstadium im Leben eines Sternes von etwa Sonnengewicht. Er hat sein «Brennmaterial» im Zentrum aufgebraucht und wird im Schwerkraft-Kollaps in seinen dichtgepackten Atomteilchen zu «entartetem» Gas, zu einem «Weissen Zwerg». «Weisse Zwerge» haben eine Dichte von etwa 400 000 Gramm pro Kubikzentimeter, d. h. ungefähr 1 bis 2 Tonnen Material in einem Fingerhut . . .

In allerjüngster Zeit führten Spektralaufnahmen von Sirius B zu genaueren Ergebnissen. Der Leser sei sich bewusst, dass eine gute Spektralaufnahme des Weissen Zwerges, unmittelbar dicht neben dem Hauptstern, besser gesagt im blendenden Strahlgebiet des 10 000 mal helleren Riesen ausserordentlich schwierig ist. Es scheint, dass Sirius B viel heisser ist als der Sirius selber! Die Spezialisten betrachten jetzt Sirius B als einen der heissesten Weissen Zwerge, mit einer Oberflächentemperatur von etwa 30 000 Grad. Das hat zur Folge, dass der Durchmesser dieser Miniatursonne — mit Sonnengewicht — wesentlich kleiner als die Erde angenommen werden muss — der «Nadelkopf» wird noch winziger . . .

Man kennt heute über tausend «Weisse Zwerge». Angesichts ihrer grossen Lichtschwäche können sie nur in der Nähe unseres Sonnensystems fotografisch erreicht werden, zuweilen als Begleiter eines zweiten Sterns, wie beim Sirius. Logischerweise muss es Millionen, wenn nicht Milliarden von «Weissen Zwergen» in der Milchstrasse geben.

Nur eine merkwürdige Grenze gibt es in dem spektakulären Bereich einstürzender Sterne: Fällt ein Stern von **mehr** als 1,4 Sonnengewicht im Kollaps zusammen, der nach Theoretikern sogar in Sekundenschnelle (!) vor sich geht, so entsteht kein «Weisser Zwerg» von Erdgrösse, sondern ein Ball entarteter Materie mit einem Durchmesser von vielleicht **40—60 Kilometern!** Wir haben den vor Jahrzehnten vorausgesagten «Neutronen»-Stern vor uns.

Novae, Supernovae

Wir haben oben summarisch die Entdeckungsgeschichte des ersten «Weissen Zwerges» geschildert. Wieso aber kommt es zu diesem Stern-Ende? Dazu noch eine nähere Erklärung: Ist ein Grossteil des Wasserstoffbrennstoffes im Sternzentrum zu Helium verbraucht, bläht sich diese Sonne zu einem sogenannten «Roten Riesen» auf mit einem sehr heissen Heliumkern. Bei unserer eigenen

Sonne dürften noch mindestens 4 Milliarden Jahre vergehen, bis das Stadium des Aufblähens beginnt. Es wäre für uns Weltuntergang, wir würden von den glühenden Massen erfasst . . .

Nun aber — aus Gründen der Instabilität, noch nicht völlig durchschaubar — kann draussen im Weltall ein solches unscheinbares, heisses Sternchen von etwa Sonnengewicht und Helligkeit **explosionsartig** sich aufblähen. Er wird zu einer «Nova». In wenigen Stunden oder Tagen einer solchen Explosion, eigentlich gar kein «neuer» Stern, steigt die Helligkeit auf das Zehntausend-, wenn nicht auf das Hunderttausendfache unserer Sonne an, wobei etwa ein Tausendstel der Masse in den Raum hinausgeschleudert wird. Zurück bleibt ein Zwergstern von ausserordentlich hoher Temperatur. Vielleicht bildet er den Zentralstern eines «planetarischen Nebels», einer leuchtenden Gaskugel, meist als winziges, geisterhaft bleiches Ringlein im Fernrohr erkennbar. Man schätzt die Zahl der jährlichen Novae in der Milchstrasse auf etwa 100.

Wesentlich seltener sind die sogenannten «Supernovae» in der Milchstrasse. Man rechnet mit dem Aufflammen einer Supernovae alle 100 bis 300 Jahre. Was aber liegt hinter dem Begriff «Supernova»? Es gilt heute als gesichert, dass sogenannte überschwere Sonnen, d. h. mit Sonnenmassen von ca. 2—4fachem Gewicht unserer eigenen Sonne, nicht im Stadium der «Weissen Zwerge» enden, sondern als oben erwähnte «Neutronen»-Sterne.

Man kennt heute gegen 500 Supernovae, von denen Zwicky nicht weniger als 122 entdeckte, fast ausschliesslich fotografisch in fernen Galaxien (Milchstrassen) gefunden. Die kosmische Katastrophe einer Supernovae kann durchaus mit der Explosion einer Wasserstoffbombe verglichen werden, aber im kosmischen Ausmass, wobei die Helligkeit des Objektes in etwa 24 Stunden auf **mindestens** das Halbmilliardenfache unserer eigenen Sonne ansteigt, um dann im Verlaufe von Monaten langsam abzunehmen. Ein Teil der Sternmasse wird dabei in den Raum abgeschleudert, in Geschwindigkeiten bis zu 10 000 Kilometern pro Sekunde (Messung an Verschiebungen der Spektrallinien).

Von der Gewalt einer Supernova-Explosion mag ein Vergleich einen Begriff geben: Sirius A, ein überschwerer Stern, kann eines schönen Tages zu einer Supernova aufflammen. Fast 9 Jahre nach der Explosion erreicht uns das Licht der Explosion zusammen mit der Strahlung, die unter Umständen — wir wissen es nicht — für alles Leben auf der Erde tödlich sein kann. Ueberleben wir diese Strahlung, können wir nachts auf der Erde für Wochen jede Strassenbeleuchtung einstellen. Unsere Nächte wären zu Beginn so hell, wie wenn 100 Vollmonde am Himmel leuchteten — Licht aus einem einzigen winzigen Punkte, so hell wie eine Schweissflamme.

In dieser unvorstellbaren Dichte eines solchen Balles entarteten Gases presst die ungeheure Schwerkraft die Elektronen der Atome in die Protonen des Atomkerns hinein: es entstehen Neutronen, ein Neutronenstern, die der geniale schweizerische Atomphysiker Zwicky schon vor 30 Jahren voraussagte. Im Neutronenstern ist nicht nur der leere Raum zwischen den Atomen, sondern auch die grosse «Leere» im Atom selber verschwunden. Die Masse ist zu der ungeheuerlichen Dichte eines Atomkerns zusammengepresst.

Wie es zur Bestätigung dieser abenteuerlichen Voraussage kam, ist eine Geschichte für sich. Im Jahre 1967 untersuchte Miss Jocelyne Bell, eine Assistentin im Cavendisch-Laboratorium der Universität Cambridge, Strahlenmessungen an Radioteleskopen. Es fiel ihr im üblichen «Rauschen» der Strahlung in den Instrumenten ein merkwürdiges, sehr rasch sich wiederholendes Signal auf. Die rasche Periode, kaum eine Sekunde, war von der unerhörten Genauigkeit einer Atomuhr! Nach Meinung der unterrichteten Direktion der Sternwarte musste angenommen werden, angesichts der ungewöhnlichen Präzision, es handle sich um das Signal eines irdischen, wahrscheinlich militärischen Senders. Das informierte britische Kriegsministerium verfügte sofortiges «Top secret», «höchste Geheimhaltung». So wurde denn das «heisse» Thema in der internen Diskussion im Institut sehr diskret als «story of the little green men», als «Geschichte der kleinen grünen Männer» behandelt . . .

Das Rätsel selber blieb vorerst, bis nach einiger Zeit der ungefähre Ort des Senders am Nachthimmel ausgemacht werden konnte und drei weitere solcher Sender an anderen Teilen des Firmaments gefunden wurden. Man nennt diese rätselhaften pulsierenden Sterne «Pulsare». Heute ist ihre Zahl bereits auf über 100 angestiegen, und die Annahme verdichtete sich zu einer gewissen Sicherheit, dass es sich dabei um Ueberreste von Supernovae handle.

Der bekannteste Pulsar liegt im «Krebsnebel» im Sternbild «Stier». An seiner Stelle verzeichneten die chinesischen Astronomen am 4. Juli 1054 das plötzliche Auftauchen eines «neuen» Sternes, sichtbar am heiter-hellen Tage. Nach den chinesischen Beobachtern wurde er nach und nach schwächer, und als wenige Monate später die betreffende Stelle am Nachthimmel stand, war der Stern verschwunden. Heute erkennt man den Krebsnebel im Feldstecher als ein unscharfes Sternchen, im Riesenfernrohr als diffuse unregelmässige Wolke, aber ohne Struktur. Erst die moderne Fotografie zeigte eine chaotische, von leuchtenden Fäden wirr durchsetzte Lichtwolke, Ueberrest der Supernovae 1054. In unserer Aufnahme sind im Zentrum zwei Sternchen sichtbar. Das untere ist der Rest des explodierten Sternes, ein «Pulsar».

Es gibt heute noch viel Unerklärbares in der Pulsarerscheinung, die theoretischen Physiker befinden sich immer noch auf Neuland. Gesichert ist folgen-

des: Der Neutronen-Stern im Stier, ein Feuerball von ca. **40 Kilometern Durchmesser,** wirbelt als jüngster Pulsar **33mal pro Sekunde** um seine Achse.

Die Dichte ist unvorstellbar. Die Masse von 2 bis 3 Sonnen in einer Kugel von 40 Kilometern Durchmesser — das entspricht einem Gewicht von mehr als hundert Millionen Tonnen in einem Kubikzentimeter. Wie gesagt, vieles an den «Pulsaren» ist unsicher, noch rätselhaft, so z. B. die Verlangsamung der rasenden Umdrehungsgeschwindigkeiten, die bei «alten» Pulsaren in Jahrhunderten auf etwa 1 Sekunde ansteigt, weiter die verwickelten Strahlungsvorgänge usw. Die Energien in der chaotischen leuchtenden Wolke rings um den Stern sind unvorstellbar. Die Spektralanalyse misst heute beim Krebs-Pulsar, nach 900 Jahren, eine Ausdehnungsgeschwindigkeit der Gase von 1100 Kilometern **pro Sekunde.** Das kaum sichtbare Fleckchen am Nachthimmel wird **jeden Tag** etwa 100 Millionen Kilometer grösser, bis nach ein paar hundert oder tausend Jahren vom ausgeschleuderten Material nichts mehr zu sehen sein wird. Alles, auch die schweren Atome, die sich in der grossen Explosion bildeten, kehren in den Raum zwischen den Sternen zurück und werden nach Jahrmillionen oder -milliarden in neue Sterne eingehen. Dieser Vorgang erklärt auch, warum im Spektrum neuer **junger** Sterne viele Metallinien, aber auch Linien der schweren Elemente bis zum Uran auftreten: Supernovae-Explosionsreste. Metallinien fehlen dagegen fast völlig in den Spektren **alter** Sterne, z. B. in den rund 10 Milliarden Jahre alten Sternen der Kugelsternhaufen.

«Schwarze Löcher»

Wir haben soeben dargestellt, dass nach unserem heutigen Wissen nur Sonnen von über 1,4 Sonnengewicht als Supernovae aufflammen und als Neutronen-Sterne enden. Nun aber stellt sich die Frage, was mit Sternen von 8 bis 20 Sonnenmassen — übrigens selten — im Supernovae-Kollaps geschieht. Es sind dies Fragen, die sich Zwicky, aber auch der bedeutende Astrophysiker Schwarzschild schon vor Jahrzehnten gestellt hatten.

Sprechen wir offen: der folgende, kurze Abschnitt ist heute noch weitgehend Theorie, Resultate ausgedehnter Computerrechnungen. Wir betreten hier tatsächlich physikalisches Neuland, phantastische Rechenergebnisse, die praktisch jede Anschaulichkeit verlieren.

Stürzt eine derart überschwere Sonne im Supernova-Kollaps zusammen und ist die Restmasse schwerer als 4 Sonnenmassen, bildet sich kein Neutronen-Stern als Endstadium, sondern ein von der Sensationspresse der letzten Jahre «aufgetakeltes» «Schwarzes Loch». Präzisieren wir: Nova-Explosionen mit

weniger als 1,4 Sonnenmassen enden als «Weisse Zwerge». Supernovae mit ca. 2 bis 3 Sonnengewichten werden zu Neutronensternen. Bei Supernovae mit 4 Sonnengewicht-Restmasse und darüber ist die Schwerkraft so ungeheuer, dass ein Gebilde von vielleicht 15 bis 60 Kilometern Durchmesser entsteht. Die Schwerkraft, Alleinherrscher, zwingt die Restmasse zu einer «singularity», wie der Theoretiker so «anschaulich» sagt. Hier, in diesem Bereich, hat der alte Euklid mit seiner Metrik völlig ausgespielt, hier herrscht, neben Newton, allein die Einsteinsche Relativitätstheorie. Sie besagt — und erklärt —, dass von einem solchen «Ball» keinerlei Strahlung wegkommt: weder Licht noch Wärme noch irgend etwas anderes. Die unvorstellbare Schwerkraft verhindert jede Ausstrahlung, besser gesagt, zwingt jeden Strahl zum Ball zurück! Noch anders, laienhaft ausgedrückt: wir begegnen hier dem völlig gekrümmten Raum . . .

Eigentlich hat in diesem Extrembereich der Physik auch der Begriff «Durchmesser» ausgespielt. Relativistisch darf man hier nur noch von einem «Umfang» sprechen: wir haben «sehr anschaulich» ein «Schwarzes Loch» vor uns. Wir sehen es nicht, es existiert aber dennoch. Es zieht alles an aus seiner Umgebung — gibt aber nichts zurück . . .

Einen kleinen Begriff des Ungeheuerlichen gibt die Tatsache, dass ein Kubikzentimeter der völlig entarteten Materie etwa 1 Milliarde Tonnen wiegt. In welchem Zustande wir uns das vorzustellen haben, wissen wir nicht. Nur das eine kann gesagt werden: Die Dichte in einem «Schwarzen Loch» ist grösser als die Dichte im Atomkern und überschreitet 10^{14} g pro Kubikzentimeter. Das Unfassliche ergibt sich auch aus dem folgenden Vergleich, den Kim S. Thorne, Professor für theoretische Physik an der Kalifornischen Technischen Hochschule, darlegte: Könnte man unsere Erde zur Dichte eines «Schwarzen Loches» zusammenpressen, würde sie einen **Umfang** von 56 Millimetern haben — Sie haben richtig gelesen: 56 Millimeter!

Der Leser versteht jetzt, warum das Auffinden eines derart spekulativen Himmelsobjektes, das man nicht sieht, als bare Unmöglichkeit betrachtet wurde. Heute, beim Schreiben dieser Notizen, glauben die Forscher etwa 5 «Schwarzen Löchern» auf der Spur zu sein, und das unter den weit mehr als 100 Röntgensternen, die Forschungsraketen und der Röntgenforschungssatellit «Uhuru» kürzlich ausserhalb der Atmosphäre entdeckt haben. Die 5 Wahrscheinlichkeiten sind Doppelsterne, bestehend aus einem heissen Ueberriesen und einem unsichtbaren Begleiter, dessen Masse aus den Schwankungen der Linien im Spektrum des Hauptsterns usw. errechnet werden kann.

Betrachten wir den «sichersten Kandidaten» der 5 Doppelsterne, bekannt unter der Bezeichnung «Cygnus X — 1». Es handelt sich um einen der seltenen

blauen Ueberriesen von etwa 20facher Sonnenmasse. Vom Lichtpunkt am Nachthimmel geht eine ungeheure Energie aus. Er steht in einer Entfernung von etwa 10 000 Lichtjahren im Sternbild «Schwan». Die Strahlung im Röntgengebiet allein — die die Forscher auf das Objekt aufmerksam machte — beträgt etwa das 10000fache der **Total**-Energie unserer Sonne. Die Periode des Umgangs dieses Riesenpaares um den gemeinsamen Schwerpunkt beträgt knapp 6 Tage. Vom schweren Hauptstern strömen nun beständig Gase zum unsichtbaren Begleiter ab, dessen Masse auf 6 Sonnengewichte berechnet wird — also niemals ein Neutronenstern sein kann, sondern eben wahrscheinlich ein «Schwarzes Loch».

Die Anziehungskraft des «Unsichtbaren» ist nun derart gross, dass die einstürzenden Gase Geschwindigkeiten von über 100 000 Kilometern pro **Sekunde** erreichen und dadurch, beim Aufprallen auf einer dünnen, Hunderttausende von Kilometern grossen wirbelnden Scheibe um das «Schwarze Loch», Röntgenstrahlung aussenden. Man nimmt an, dass die Gase in rasendem Umlauf sich dem unsichtbaren Loch immer mehr nähern, um dann schliesslich in das unsichtbare Zentrum einzustürzen.

Ebenso unanschaulich und überhaupt nur mathematisch zu erfassen sind die Theorien, was mit einem Supernova-Ueberrest von 50facher Sonnenmasse und darüber geschieht. Sie besagen, dass in solch extremen Fällen die Materie in der «singularity» zu einem «Nichts» verschwindet und vielleicht in einem anderen «negativen» Universum wieder auftaucht . . . Der Leser möge dem Schreibenden, dem Nichtmathematiker, verzeihen, wenn er hier das Feld des «Unsichtbaren» und «Nichtmehrexistierenden» den Fachleuten überlässt . . .

Der Gum-Nebel

Am 10. Februar 1938 entdeckte der amerikanische Astronom Otto Struve — Nachkomme einer berühmten deutschen Astronomendynastie und selber einer der grossen Forscher der Neuzeit — im Sternbild «Vela» am Südhimmel ein schwach leuchtendes Wölkchen. Es handelte sich um einen Gasnebel — mit Staubmassen — im charakteristischen roten Leuchten des ionisierten Wasserstoffes. Als sich 1951 herausstellte, dass der Nebel anscheinend viel grösser war als angenommen, wurde das Gebilde mit immer empfindlicheren Geräten «angegangen», soweit es von den nördlichen Sternwarten erreichbar war. Schliesslich wurde das gesamte Spektrum erfasst, vom sichtbaren Licht über Ultraviolett bis später — mit Hilfe von Raumsonden — auch im Infrarot und im Gebiet der Röntgenstrahlung.

Die Hauptarbeit der jahrelangen Untersuchung leistete der australische Astronom Colin S. Gum auf dem Mount-Stromlo-Observatorium, nahe der australischen Hauptstadt Canberra.

Am 5. Februar 1952 zerstörte ein grosser Waldbrand auf Mount Stromlo den 45 Meter langen Spektrographen. Die dazugehörige Schmidt-Kamera, ein fotografisches Spezialfernrohr, konnte gerettet werden. Und mit diesem Instrument fand der unermüdliche Forscher, dass der Nebel in der Nähe des hellen Sternes «Gamma 2 Velorum» eine unregelmässige Schleife bilde, vermutete aber, dass weiter entfernte Nebel mit dem zuerst entdeckten Nebelchen zusammenhingen. 1955 war Gum soweit, dass er als ungefähre Grösse dieser schwach leuchtenden Nebelmassen einen Durchmesser von 30 x 60 Bogengraden bekanntgeben konnte, d. h. in der Länge ungefähr **ein Drittel** des ganzen südlichen Nachthimmels! Mit jedem Schritt, dem erneuten Auffinden benachbarter kleiner Nebel, schien das Gebilde zu wachsen — heute, zu Ehren des Forschers, der leider 1960 in den Alpen verunglückte, als Gum-Nebel bekannt. Heute wird der wahre Durchmesser des Komplexes im Weltraum mit ungefähr 2300 Lichtjahren beziffert. Das gewaltige Gasgebilde kommt bis auf ein paar hundert Lichtjahre an unser Sonnensystem heran und umfasst in seinem Innern nicht nur zahllose Sterne, sondern auch unvorstellbare Staubmassen. Der Gum-Nebel gilt heute als der grösste Nebel, der bisher in der Milchstrasse gefunden wurde.

Angesichts dieser gigantischen Wolke tauchte automatisch die Frage nach der Energiequelle auf, die in einen Raum vor mehr als 2000 Lichtjahren den Wasserstoff ionisiere, d. h. das einzige Elektron des Wasserstoffatoms von seinem Kern trennt. Man vermutete zuerst, dass die zwei eingebetteten Riesensterne, «Gamma 2 Velorum» und «Zeta Puppis» («Hinterteil des Schiffes»), Ursache des Leuchtens seien. Aber trotz der hohen Temperatur der beiden Riesen — 30 000 und 40 000 Grad — vermögen sie den umgebenden Wasserstoff nur auf etwa 100 Lichtjahre hinaus zu beeinflussen, genügen also nicht.

Das Rätsel begann sich zu lösen, als 1968 die Forscher des australischen Molonglo-Observatoriums im Zentrum des Gum-Nebels tief eingebettet einen Pulsar fanden. Um die gesamte Nebelmasse zu ionisieren, wäre nach den Berechnungen des Astrophysikers Stephan P. Maran eine Energie von 5 mal 10^{51} erg notwendig — die Zahl entspricht der Energie, die eine normale Sonne, wie die unsrige, in den 10 Milliarden Jahren ihrer Existenz ausstrahlt . . . Wir haben im vorangegangenen Kapitel vom ungeheuren Energieausbruch bei einer Supernovae-Explosion gesprochen. In erg ausgedrückt (eine kleine Energieeinheit), strahlt eine Supernova erg^{52} ab, (1 erg mit 52 Nullen . . .), ungefähr 5mal mehr, als für den Gum-Nebel theoretisch erforderlich wäre. Damit

scheint das Rätsel der Ionisation gelöst zu sein. Der Ueberrest dieser Supernovae in «Vela», der soeben erwähnte Pulsar, ist ein Neutronen-Stern, der in einer Periode von 89,2 Millisekunden, also etwa 11mal pro Sekunde, um seine Achse wirbelt. Zwischenhinein: Das ist der Pulsar in «Vela», ein von blossem Auge unsichtbares Sternchen, dessen Licht vor 1000 Jahren, zur Blütezeit des Klosters St.Gallen, zu uns auf die Reise ging . . . Die Periodendauer der Pulsare kann mit unglaublicher Genauigkeit gemessen werden. Dank dieser Genauigkeit wissen wir, wie sich die Perioden der Pulsare im Laufe der Jahrhunderte verlangsamen. Wir berichteten beim 900 Jahre alten Pulsar des «Krebsnebels» von 33 Umdrehungen pro Sekunde. Hier, beim Vela-Pulsar, haben wir noch deren 11, woraus die Rechnungen als Zeit der Supernovae-Explosion ca. 9000 v. Chr. ergeben. Andere Berechnungen gehen jedoch auf 28 000 Jahre zurück — aber was will das heissen! Solche Zeitdifferenzen sind in astronomischen Begriffen ein «Gestern».

In den letzten Jahren wurden noch drei weitere Pulsare im Gum-Nebel entdeckt. Aber aus den messbaren Verzögerungen, den die Strahlung beim Durchdringen der ungeheuren Gas- und Staubwolke erleidet, schliessen die Forscher, dass diese drei Pulsare nicht im Zentrum, sondern im Gebiet der Rückseite des Nebels stehen, wenn nicht sogar dahinter.

Der Leser sei sich klar darüber, dass die Gum-Wolke, unsichtbar, bereits **vor** dem Aufflammen des Pulsars in ihrem Zentrum existierte (heutige Bezeichnung des Pulsars PSR 0833-45). Unsere schöne Aufnahme, die wir Prof. Bart J. Bok an der Universität Arizona in Tucson verdanken, zeigt nur einen bescheidenen Ausschnitt aus dem ungeheuren Gebiet des Gum-Nebels. Der Leser findet den Ausschnitt eingezeichnet in der kleinen Uebersichtsfotografie. Die Grossaufnahme zeigt nur ein Gebiet von etwa 5 Bogengraden gleich 10 Monddurchmesser, das Radiowellen aussendet und so zur Entdeckung des Pulsars führte. Die Aufnahme gibt eine Andeutung der leuchtenden Gas- und Staubverdichtungen, Fetzen, die in Längen von Lichtjahren heute noch in mehr als hundert Kilometern pro Sekunde Geschwindigkeit hinausstürmen. In der Meinung des Schreibenden ein Bild, das eingehend Betrachtung verdient.

M 16

Als letztes Himmelsobjekt in der Milchstrasse wenden wir uns noch kurz der prachtvollen Aufnahme des Sternhaufens M 16 zu. Die Bezeichnung M stammt vom französischen Astronomen Charles Messier (1733—1817). Messier gab im Jahre 1784 einen kleinen Katalog heraus über 104 schwache Nebel-

fleckchen am Nachthimmel, von denen er nicht weniger als 61 mit seinem sehr bescheidenen Fernrohr gefunden hatte. Seine Bezeichnungen (hier «Messier 16») sind heute noch gebräuchlich. Der Astronom fand damals im Sternbild der «Schlange» ein winziges leuchtendes, kaum erkennbares, Fleckchen. Wie würde Messier staunen, wenn er sehen könnte, was die heutigen Riesenfernrohre in engster Zusammenarbeit mit der Fotografie in dieser Himmelsgegend aus der Nacht holten.

Es handelt sich um eine Sterngruppe in einem ungeheuren lichterfüllten Raum. Das Licht stammt von den 55 eingebetteten, zum Teil ausserordentlich heissen, jungen Riesensonnen, die Messier seinerzeit als Nebelchen auffielen. Die Entfernung dieser unerhört reichen Himmelserscheinung beträgt gegen 6000 bis 7000 Lichtjahre, anders gesagt: Das Licht verliess diese Sonnen auf dem Wege zu uns, etwa 2000 Jahre bevor die alten Aegypter ihre erste Stufenpyramide in Sakkara bauten. Der Durchmesser von M 16 beträgt gegen 50 Lichtjahre (als Erinnerung: von der Sonne zur Erde 8 Minuten . . .)

Die Aufnahme bildet ein anschauliches Bild, wie sich in der Milchstrasse helle und dunkle Wolken mit Sternen mischen, wie sich in vielen Millionen Jahren ein ganzer Sternhaufen aus fast unendlichen Gas- und Staubmassen bildet. Der Leser möge sich geduldig in das einmalige Bild vertiefen; er wird immer wieder auf Neues, Unerhörtes stossen, wie z. B. in der Bildmitte am Rande links oder im Spiel der etagenartig ins Lichtmeer stossende Staubmassen rechts daneben. Von oben rechts senkt sich der langgestreckte Arm einer Dunkelwolke herab, ein sogenannter «Elefantenrüssel», und von rechts ragt ein breiter Keil dunkler Materie in die Bildmitte, seinerseits überströmt von leuchtenden Wolkenzügen. Der Leser sei sich immer bewusst, dass die feinsten Sonnenpünktchen gerade vor diesem mächtigen schwarzen Keil nur Lichtboten der unsichtbaren Sonnen sind, anders ausgedrückt: dass man diese einmalige Aufnahme auf die Grösse von **Europa** vergrössern müsste, bis endlich diese fernen Sonnen als leuchtende, erbsengrosse Kügelchen zum Vorschein kämen . . .

Die bereits einige Jahre alte schöne Aufnahme ist auch technisch eine Spitzenleistung der Astrofotografie. Die Jahre der stürmischen technischen Entwicklung, in der wir heute stehen, werden uns in naher Zukunft bestimmt noch weitere solche grandiose Bilder bescheren. Die Milchstrasse allein ist unerschöpflich.

Noch eine Bemerkung zum Bild des M 16. Eine genaue Untersuchung zeigt an verschiedenen Stellen im Bilde, besser noch in der Projektion, zahlreiche winzige dunkle Punkte, sogenannte «Globulen», «ungeborene» Sterne, im Anfang ihrer Entwicklung — zukünftige, noch ungeborene Sonnen. In der Ecke

unten links ist eine kleine, lichtsaumumflossene Staubwolke sichtbar. Dieses so unscheinbare Wölkchen ist in Tat und Wahrheit so gigantisch, dass unsere eigene Sonnenfamilie mit allen Planeten etwa 1000 mal darin Platz fände.

Atome und Moleküle

Zum Schluss des Kapitels «Milchstrasse» noch ein kurzer Hinweis auf ein Forschungsgebiet, das in diesen letzten Jahren immer mehr zu einem Zentralpunkt des wissenschaftlichen Interesses geworden ist, weit über den Bereich des rein Astronomischen hinaus. Es handelt sich um die gas- und staubförmige Materie in den Dunkelwolken zwischen den Sternen. Der Astrophysiker wusste schon lange von der Vorherrschaft des Wasserstoff- und Heliumgases im Weltraum (siehe Gum-Nebel). Der Weg hier ins Neuland begann bereits 1949 mit einer Voraussage des holländischen Astrophysikers van de Hulst. Hulst postulierte, im Radiospektrum der Milchstrasse müsse auf einer Wellenlänge von 21 Zentimetern eine deutliche Wasserstofflinie vorhanden sein. 1959 fanden die Forscher Ewen, Purcell und Westerhout diese Linie genau am vorausgesagten Platz. Damit begann die Forschung in diesem Bereich in unseren Jahren auf breiter Basis. In den Spektren der Nebel zeigten sich längst bekannte Linien nicht nur von Atomen, sondern im Radiogebiet in rascher Folge von eigentlichen Molekülen, meist einfache Verbindungen auf der Kohlenstoffbasis. In den letzten 2 Jahren folgte nun eine Ueberraschung der anderen, die hauptsächlich die Biologen aufhorchen liessen. Heute (Frühjahr 1975) sind im Raum zwischen den Sternen, in diesen Wolken bereits 32 verschiedene Moleküle, teilweise komplizierter Bauart gesichert. Und das Bestürzende für manche konservative Gelehrte: die meisten dieser neugefundenen Moleküle sind Bausteine der Aminosäuren, auf denen sich das gesamte organische Leben aufbaut.

Es lässt sich ohne Gefahr voraussagen, dass die Reihe dieser sensationellen Molekülfunde im Weltraum in den kommenden Jahren sich erweitern wird und vielleicht zu völlig neuen Erkenntnissen führen dürfte. Es ist jedoch nicht unsere Aufgabe, auf diese entscheidenden Umwälzungen in den bisherigen Anschauungen von der Existenz des Lebens im Weltall einzugehen. Was da in der Forschung auf uns zukommt, wird vielleicht in wenigen Jahren im «Neujahrsblatt» eines Biologen zu lesen sein.

Damit verlassen wir in unserer Uebersicht die Milchstrasse mit ihren zahllosen Wundern, die wir auf den vorangegangenen Seiten ja kaum gestreift haben.