Jenseits des Vorstellbaren

Autor(en): **Imhof, Alfred**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 11

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85426

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

Jenseits des Vorstellbaren

Von Alfred Imhof, Zürich

Physik, Mathematik, Chemie, Kosmologie und Biologie haben grossartige Einblicke in die Welt der kleinsten wie der grössten Gebilde, Zeiten, Dimensionen, Kräfte, Energien, Geschwindigkeiten und Temperaturen ermöglicht, die weit ausserhalb des menschlichen Vorstellungsvermögens liegen. Dazu hat ausserdem die Instrumenten- und Satellitentechnik ausschlaggebende Beiträge geleistet, besonders in den letzten Jahrzehnten. Nachfolgend werden markante Beispiele zu einer Gesamtbetrachtung verbunden. Einige Bilder zeigen bedeutsame Forschungsgeräte.

Forschung und Technik unseres Jahrhunderts haben in erstaunlichem Masse Kenntnisse über den Weltraum und über das Atom gebracht, mit Daten, die in bezug auf Masse, Kräfte, Energie, Zeit, Geschwindigkeit, Temperatur weit ausserhalb des noch Vorstellbaren hinausreichen. Ein Wissen, das durch grosse Geister mit Hilfe einer hochentwickelten Technik der Teleskope, der Mikroskope und Ultramikroskope, der Photographie, der Radiodetektoren, Interferometer, Resonanzfrequenzapparaturen, Blasenkammern, Elektronenspektroskope, Spektroheliographen, Röntgengeräte aller Art, Röntgenfernrohr, Analysenapparaturen, der Weltraumsatelliten mit ihrem Arsenal apparativer Ausrüstungen, und einer grossen Zahl weiterer Instrumente aufgebaut wurde. Nachfolgend sei eine Auswahl interessanter Daten über den Kosmos und auch aus der Biologie wiedergegeben. Auf Daten über unvorstellbar Grosses sollen auch solche über unvorstellbar Kleines folgen. Dass die Physik der «Elementar»-Teilchen auch grundlegende Einblicke in das Geschehen im Weltraum ermöglicht, lässt erahnen, dieser könnte ein kleines Gebilde einer noch viel grösseren Welt sein.

Kosmologische Gesichtspunkte

Im Laufe der letzten Jahre sind die Hinweise immer deutlicher geworden, das Universum sei etwa 17 Mia Jahre alt, offen und im Begriffe, sich stets weiter auszudehnen. Dies steht im Gegensatz zur bisherigen Annahme, das Universum sei in sich geschlossen und seine gesamte Masse werde daher schliesslich wieder in sich zusammenfallen.

Die Expansion des Universums hat nicht seit Ewigkeit stattgefunden; es muss vor einer endlichen Zeit einen Moment gegeben haben, in dem alle Materie in einem Punkt kondensiert war. Das heisst: Die «Uhren» unseres Universums begannen in jenem Zeitpunkt zu laufen, in dem es begann, sich aus einem punktförmigen Zustand bis auf seine heutige Grösse auszudehnen. Das hat zur Konsequenz, dass es nicht unendlich alt sein kann. Das Ereignis, das sozusagen den Startschuss zur Expansion des Universums gab, wird als *Urknall* bezeichnet [1].

Das Universum deckt einen enormen Energieaufwand: Die grosse Anzahl von Sternen, die in Billionen von Galaxien zusammengeschlossen sind, strahlen gewaltige Energiemengen in den Raum aus, so beträt z. B. allein die von der Sonne abgestrahlte Leistung etwa $4 \cdot 10^{26}$ Watt. Da die Energiebilanz hauptsächlich durch *Kernfusion* gedeckt wird, das heisst die Umwandlung von Wasserstoff zu Helium, geht dem Universum dauernd Wasserstoff verloren, und es reichert sich Helium an. Da trotzdem nachweisbar Wasserstoff noch immer bei weitem das häufigste Element in den Sternen und Galaxien ist und nur etwa 25 Prozent der Masse als Helium vorliegt, ist der Beweis erbracht, dass das Universum erst seit endlicher Zeit strahlt.

Ein quantitativer Vergleich der Ausgangs- mit den Zerfallsprodukten lässt Schlüsse zu über das *Alter des Universums:* Der Atomphysiker weiss, dass das radioaktive Element Rhenium 187 in 50 Mia Jahren zur Hälfte in Osmium 187 zerfällt. Das heutige Häufigkeitsverhältnis dieser beiden Elemente wurde in Meteoriten bestimmt. Daraus liess sich berechnen, dass die Atomkernsynthese im Kosmos vor 11–18 Mia Jahren begonnen hat.

Es gibt eine Reihe von Indizien, die dafür sprechen, dass alle Galaxien etwa zur gleichen Zeit geformt wurden. Sowohl die *radioaktiven Datierungen* als auch die *Sternmodellrechnungen* kommen zum Resultat, die ersten Sterne im Kosmos seien vor rund 15 Mia Jahren gebildet worden.

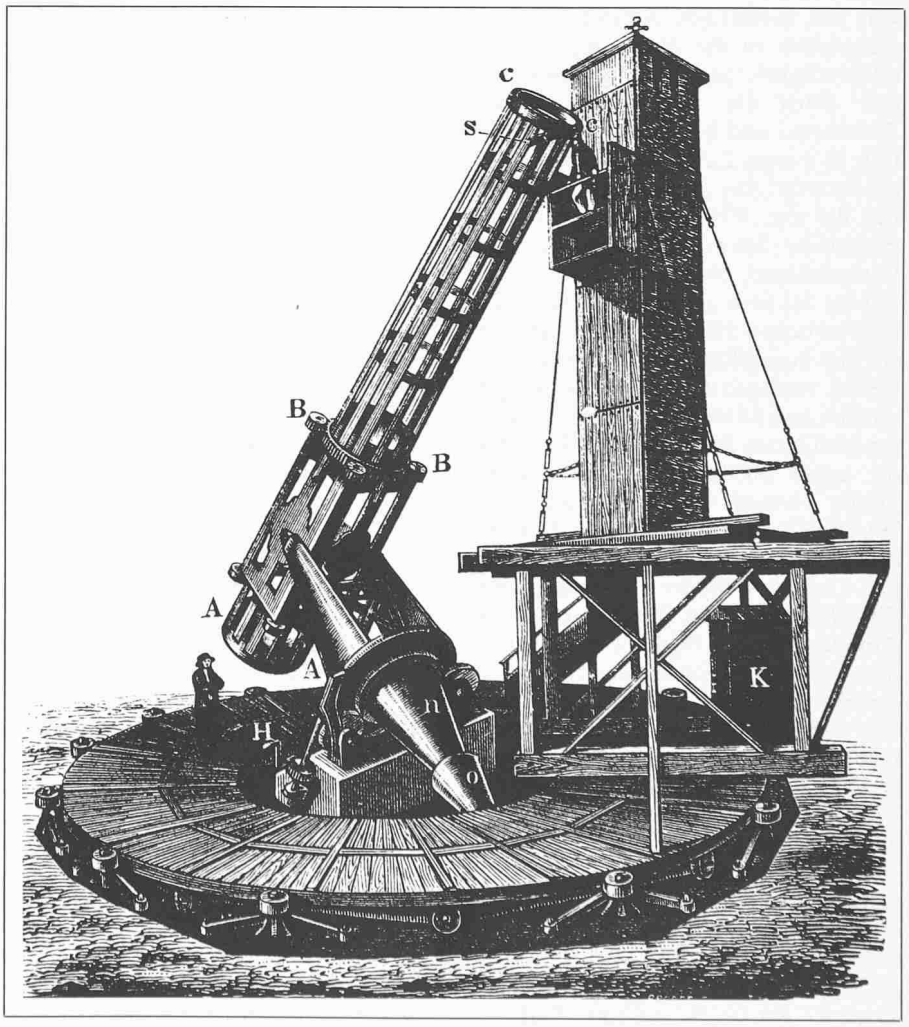

Bild 1. Astronomisches Fernrohr von John Herschel, um 1830. Mit ihm erfolgten erstmals systematische Beobachtungen am südlichen Sternenhimmel

Die dargestellte Auffassung des offenen Weltraums zwingt zur Annahme, die Expansion des Universums sei durch nichts aufzuhalten. Seine mittlere Dichte wird abnehmen, die nuklearen Brennstoffe erschöpfen sich allmählich, und das Firmament wird dunkel werden [1].

Unsere *Sonne*, ein durchschnittlicher Stern mit einer Masse von etwa $2 \cdot 10^{33}$ g, befand sich während mehrerer Milliarden Jahre in einem stabilen Gleichgewicht zwischen der durch Fusionsreaktionen bedingten Expansion und der durch die Gravitation bedingten Kontraktion. Sterne, die wesentlich massereicher sind als unsere Sonne, ziehen sich durch die Umwandlung ihres Wasserstoffvorrates zu Helium und schwereren Elementen unter der Wirkung der eigenen Schwerkraft mehr und mehr zusammen und erreichen schliesslich eine Dichte, die der des Atomkerns entspricht, das heisst rund 1000 Mio Tonnen je Kubikzentimeter (10^{15} g/cm³).

In unserer «Anschauung» besteht *Materie* hauptsächlich aus Elektronen, die den Atomkern umkreisen in der im Vergleich zu den Kernabmessungen (10^{-11} mm) unvorstellbar kleinen Distanz von etwa 10^{-7} mm. Unter Einwirkung des hohen Druckes wird diese Distanz kleiner, wobei die Geschwindigkeit der Elektronen zunimmt, bis sie schliesslich in die Nähe der Lichtgeschwindigkeit gelangen. Sie überwinden dabei die Anziehungskraft des Atomkerns und bewegen sich frei. Materie in diesem Zustand bezeichnet man als *entartet*. Aus solcher Materie bestehen die sog. *Weissen Zwerge*, das sind erloschene Sterne von etwa 0,1 bis 1 Sonnenmasse, die jedoch nur etwa die Grösse der Erde aufweisen. Ihre Dichte liegt zwischen 100 und 1000 t/cm³. Da sie fast ausschliesslich aus Helium bestehen, verfügen sie über keine Energiequellen und kühlen sich innerhalb einiger Milliarden Jahre auf eine Temperatur unter 3000 K ab. Massereichere Sterne können sich jedoch unter der Wirkung der eigene Schwerkraft weiter zusammenziehen. Unter dem ansteigenden Druck verbinden sich schliesslich die Elektronen mit den Protonen des Atomkerns unter Bildung von Neutronen. Solche vorwiegend aus Neutronen bestehende Sterne weisen eine Dichte von 100–1000 Mio t/cm³ auf. *Hewish* macht den anschaulichen Vergleich: «Ein Teelöffel davon enthält gleichviel Materie wie alle heute auf den Weltmeeren fahrenden Schiffe» [2].

Aufgrund ihrer fantastischen Dichte weisen die *Neutronensterne* sehr merkwürdige Eigenschaften auf. Ihre Schwerkraft ist 10^{11}mal so gross wie die der Erde, so dass zum Beispiel – nach *Hewish* – ein Objekt bei einer Fallhöhe von 1 cm beim Aufprall auf die Oberfläche des Neutronsterns eine Geschwindigkeit von 400 000 km/h erreichen würde.

Während sich ein gewöhnlicher Stern, dessen Radius 1 Mio km und dessen Magnetfeld 100 Tesla beträgt, einmal je Monat um seine Achse dreht, rotiert ein Neutronstern gleicher Masse – sein Radius beträgt dabei nur 10 km und sein Magnetfeld 10^8 Tesla – mit bis zu 10 000 U/s [2].

Supernovae sind Sterne, die mit ungeheurer Wucht explodieren, wobei sich ihre Leuchtkraft während Monaten bis Jahren millionenfach erhöht. In der Galaxie wurden solche Explosionen in den letzten 2000 Jahren siebenmal beobachtet. Der experimentelle Nachweis solcher Sterne gelang jedoch erst 1967 im *Radioobservatorium von Cambridge*, indem man Radiowellenimpulse registrierte, die nur einige Hundertstelsekunden dauern und sich mit höchster Präzision etwa einmal je Sekunde wiederholen. Heute kennt man rund 150 solcher Sterne. Die Frequenz ihrer Radiowellen sinkt auf die Hälfte des heutigen Wertes innert rund 100 Jahren. Man nimmt an, dass die Rückstände der Supernovae aus dicht gepackten Neutronen bestehen [2].

Das Sternensystem der *Milchstrasse*, das wir am nächtlichen Himmel sehen, vollendet in etwa 250 Mio Jahren eine Rotation um sein Zentrum. Die *Kugelsternhaufen* in der Milchstrasse sind Anhäufungen aus hunderttausenden bis vielen Millionen Sternen von relativ mässigem Volumen. Der Durchmesser solcher Sternhaufen hat die Grössenordnung von 200 Lichtjahren. Das Alter der Kugelsternhaufen hat die Grössenordnung von 10 Mia Jahren [12].

Der wenig bekannte, von der Sonne am entferntesten befindliche Planet *Pluto* – er wurde erst im Jahre 1930 entdeckt – ist von der Sonne etwa 5,91 Milliarden km entfernt. Der Umfang seiner Bahn beträgt 37 Mia km, seine Umlaufzeit etwa 248,5 Jahre. Sein Durchmesser liegt zwischen 2800 und 3300 km [12].

Über die *Entstehung der Erdatmosphäre* weiss man heute gut Bescheid [13]. Aus zahlreichen Hinweisen der Kosmochemie ist anzunehmen, dass die Erde nach ihrer Bildung vor 4,5 Mia Jahren zunächst keine nennenswerte Atmosphäre besass. Der *freie Sauerstoff* trat darin in merklichen Konzentrationen vor etwa zwei Milliarden Jahren auf. Die heutige Konzentration der *Edelgase* und des *Stickstoffs* ist bedingt durch ihre ursprüngliche Häufigkeit im Erdmantel und dem Grad der Entgasung, die heute beendet ist. Von den andern atmosphärischen Gasen *Wasser* und *Kohlendioxid* verblieben nur kleine Reste in der Erdatmosphäre; Wasser kondensierte in den Ozeanen, und der grösste Teil des CO_2 befindet sich heute in Form von *Karbonaten* und *Kohlenstoff* in den Sedimentgesteinen.

Auch über die *Mars-Atmosphäre* ist man heute gut unterrichtet [10, 11]. Vor 1 bis 3 Mia Jahren hat es auf dem Mars flüssiges Wasser gegeben, was einen damaligen Druck der Atmosphäre von 0,1 bis 1 at voraussetzt. Heute misst man an der Oberfläche nur einen Druck von rund 0,007 at, weshalb Wasser vom festen direkt in den gasförmigen Zustand übergeht und umgekehrt. Die nördliche Eiskappe besteht aus Wassereis. Die

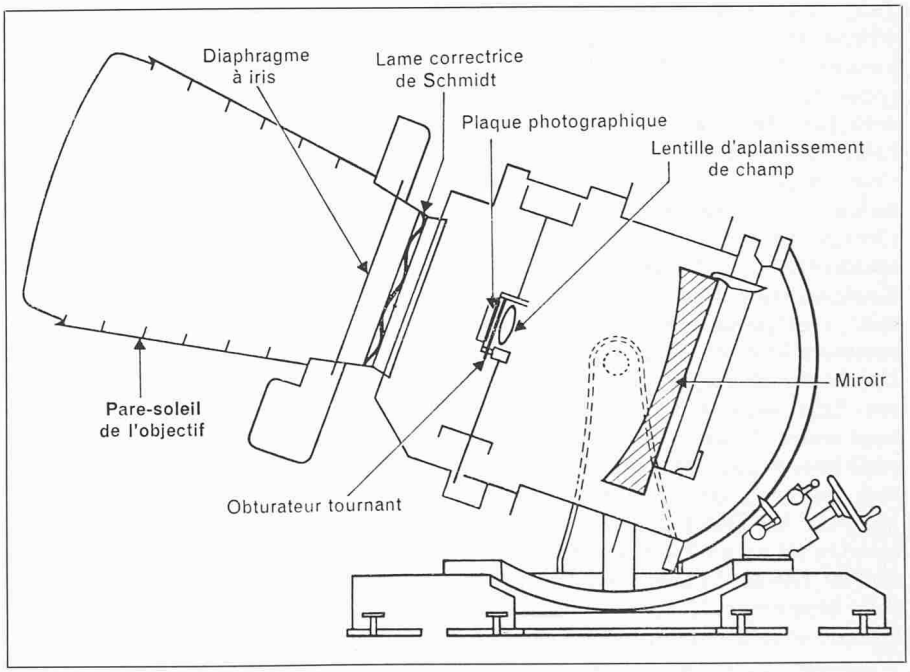

Bild 2. Aufbau der Hewitt-Satelliten-Kamera zur photographischen Satellitenbeobachtung. Das Licht gelangt durch die Korrektionsplatte auf den Spiegel und von dort durch eine das Feld einebnende Linse auf die Photoplatte aus Glas. Die Kamera hat eine 600-mm-Öffnung, sie wird in fester Stellung (keine Schwenkaufhängung) benutzt. Genauigkeit etwa 1 Bogensekunde. Es können Satelliten bis zu Grössenklasse 7 erfasst werden. Die Kamera wurde am Royal Radar Establishment in Malvern (England) entwickelt [7]

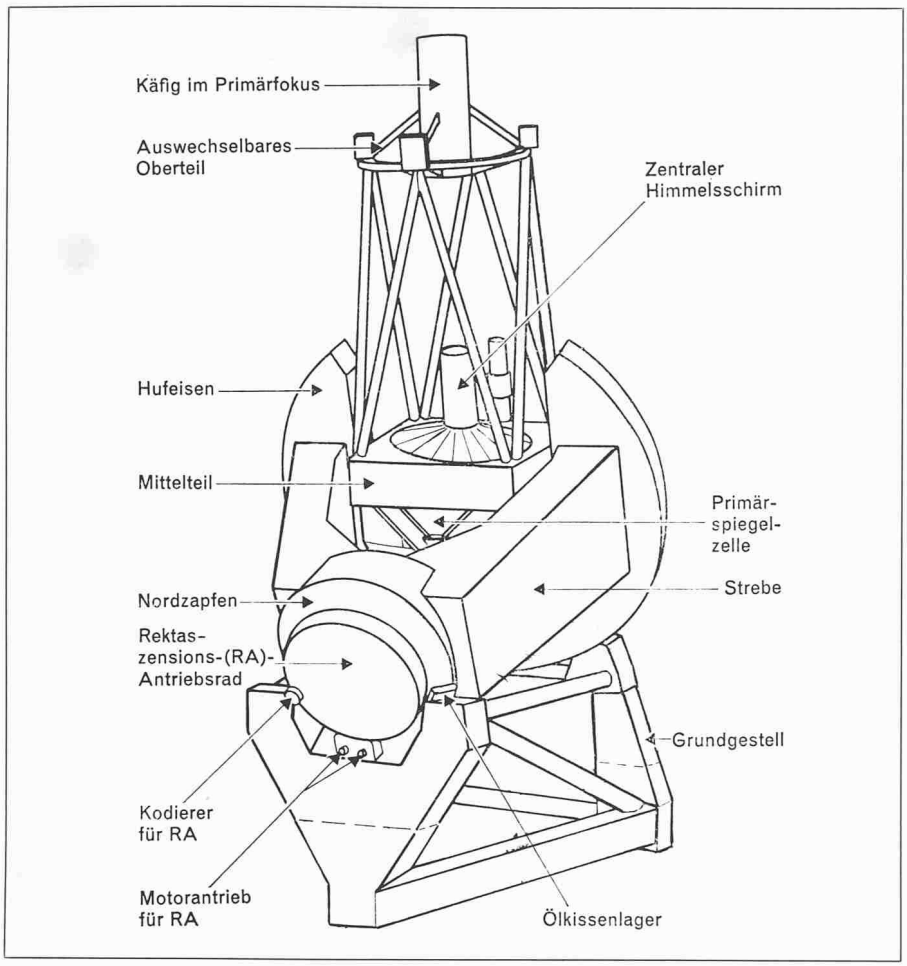

Bild 3. Das anglo-australische Teleskop begann den regelmässigen Betrieb am 11. Dezember 1974 in Siding Spring Mountain (Neu-Südwales).[8] Das Mittelteil des Rohrs, von dem die Streben ausgehen, wird von den Deklinationslagern in einem grossen Hufeisen von 12 m Durchmesser gehalten. Jede Achse trägt ein Hauptantriebsrad von 3,6 m Durchmesser, auf das zwei Stirnräder spielfrei wirken. Die Stellung der Räder wird über optische Kodierer registriert. Die Steuerung des Teleskops erfolgt über eine Tastatur mit optischer Anzeige. Rechenmaschinen besorgen das automatische Schwenken und Verfolgen des Zieles und kompensieren systematische Orientierungsfehler, welche auf die Lichtbrechung in der Atmosphäre, auf Einstellfehler am Teleskop und auf Durchbiegungen zurückgehen, so gut, dass die Ausrichtung im gesamten ausnutzbaren Zenit-Distanzberich auf 3 Bogensekunden genau ist. Der Computer steuert auch die Nachführeinheiten, korrigiert temperaturbedingte Brennpunktänderungen und führt Routineberechnungen aus. Für die Optik gibt es vier Brennweiten. Zum Teleskop gehört eine grosse Ausstattung an Instrumenten, unter ihnen zwei Spektrographen, Photometer, Kameras für Direktaufnahmen, eine Fernsehkamera. Die Kuppel für das Teleskop ist eine Stahlkonstruktion mit einem Gewicht von 500 t, die auf einer horizontalen Bahn drehbar ist. Das Gebäude ist 50 m hoch, sein Durchmesser beträgt 36 m.

Temperatur beträgt dort im Sommer −73 °C. An der Marsoberfläche besteht die Atmosphäre aus 95 Prozent CO_2, 2,7 Prozent N_2, 1,6 Prozent Ar und nur 0,15 Prozent O_2.

Einige physikalische Daten des Mars [10]
Masse M: $6{,}48 \cdot 10^{23}$ kg
Radien: a = 3399,2 km, *b* = 3394,1 km, *c* = 3376,7 km
Mittlere Dichte p: 3,933 gcm^{-3}
Gravitationskonstante (am Äquator) *g:* 370,6 Gal (1 Gal = 10^{-2} ms^{-2})
Umlaufzeit P: 24 h 37 m 22 s
Rotationsgeschwindigkeit: 7,08822 10^{-5} rad s^{-1}

Die Entwicklung des Mars ist weitgehend bekannt. Zu den frühesten Ereignissen zählt die Bildung von Kratern und Becken im Kratergelände vor 3–4 Mia Jahren. Die Haupthebung und Zertrümmerung des Tharsis-Plateaus erfolgte vor 1–3 Mia Jahren. Vor 1 Mia Jahren dürften die Kraterebenen aufgetreten und die nördliche Kruste aufgebrochen sein. Für das Austreten der Lava, durch das sich die vulkanischen Ebenen bildeten, ist der Zeitraum zwischen 100 Mio und 1 Mia Jahren vor unserer Zeitrechnung anzusetzen.

Einige Daten des Jupiters [9]
Masse: 318mal Masse der Erde
Rotationszeit: 10 Stunden
Hauptbestandteile der Atmosphäre: Wasserstoff und Helium; ihr Konzentrationsverhältnis in der oberen Atmosphäre etwa 0,18
Magnetfeldstärke an der Oberfläche: 10–14 Gauss (etwa 20mal grösser als auf der Erdoberfläche)
Neigung der magnetischen Achse gegenüber seiner Rotationsachse: ungefähr 10,8°
Temperatur: überall gleich, und zwar 125 ± 2 K
Ausgestrahlte Energie: 1,9 ± 2 K

Unsere *Galaxie* enthält etwa 200 Mio Sterne mit durchschnittlichen Massen von 10^{30} kg und einer totalen Masse von etwa 10^{41} kg. Die Sterne repräsentieren schätzungsweise 90 Prozent der gesamten Masse der Galaxie; der Rest von etwa 10 Prozent = 10^4 kg befindet sich im *interstellaren Raum*. Das Volumen der Galaxie beträgt etwa 10^{62} m^3, der Durchmesser 10 000 Lichtjahre (1 Lichtjahr = $9 \cdot 10^{15}$ m).

Im interstellaren Raum findet man *Gas-Staubwolken* mit ungefähr folgenden Daten:

Mittlere Masse:	10^{35} kg (bis 100 000 Sonnenmassen)
Durchmesser:	bis 100 Lichtjahre = 10^{18} m
Volumen:	10^{54} m^3
Dichte:	10^{11} Moleküle/m^3
Staubpartikel:	10 Partikel/m^3
Temperatur:	100 K
Bewegung im Raum:	100 bis 200 kms^{-1}
Lebensdauer:	einige Millionen Jahre

Bis heute wurden im interstellaren Raum etwa *39 verschiedene Moleküle* beobachtet, unter ihnen CH_4, NH_3, H_2O, H_2S, CO, CN, CS, SiO, NS, SiS, CH_3OH, CH_3CN. Die kompliziertesten unter ihnen enthalten vier verschiedene Elemente. Ihre relative Häufigkeit in einem Kubikmeter ist weitaus am grössten für H_2 mit $10^{11}/m^3$. In einer Probe von 1 Mio Atomen befinden sich folgende Elemente in den nachfolgend angegebenen Mengen:

H	920 500 Atome
He	78 320 Atome
Li, Be, B	0,001 Atome
C	304 Atome
N	84 Atome
O	607 Atome
F	0,04 Atome
Ne	76 Atome
Na, Mg, Al	28 Atome
Si	30 Atome
P	0,3 Atome
S	15 Atome
Fe, Ni, Zn, Cu	36 Atome
Alle andern Elemente bis Uran	0,01 Atome [14]

Die gesamten täglich auf die Erde einfallenden Körper, nämlich *Sternschnuppen* (Meteore) und *feinste Partikel* interplanetarischer Materie liegen in der Grössenordnung von 10^3–10^4 t (etwa 1 kg je km^2). Die Beobachtung erfolgt vor allem mit radioastronomischen Geräten. Dem menschlichen Auge sichtbar sind Meteore der Grössenordnung von 5 t.

Kosmische Magnetfelder

Mit einer auf 42 km Höhe über Texas schwebenden Ballonsonde ist es vor kurzem erstmals gelungen, das *Magnetfeld eines Neutronensterns* genau zu messen. Es ist in dem 12 000 Lichtjahre von der Erde entfernten Doppelsternsystem Herkules X-1 mit 4,6 Billionen

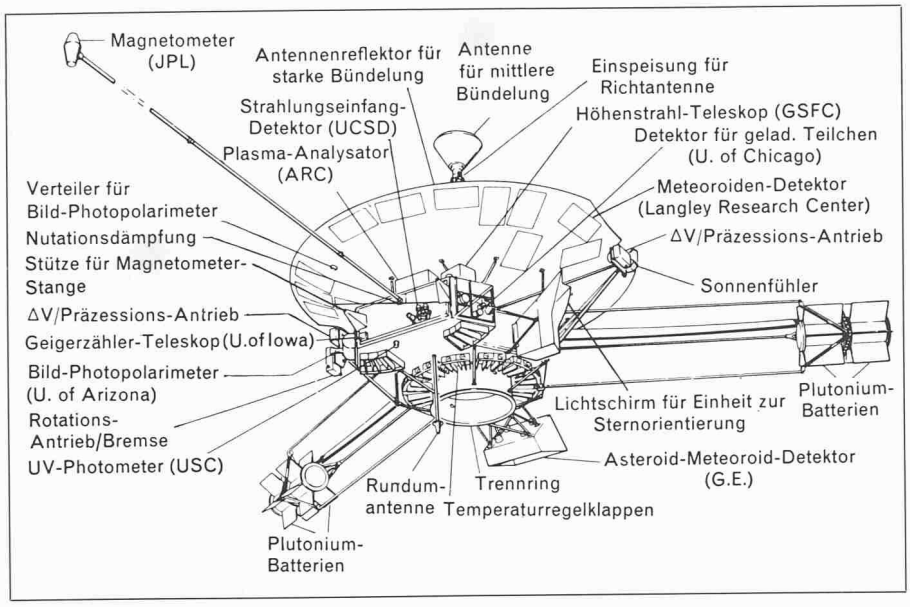

Bild 4. Die Raumsonde Pionier 11 zur Erforschung des Jupiters wurde am 6. April 1973 an der Spitze einer Atlas-Centaur-Rakete gestartet. Der Jupiter wurde am 3. Dezember 1974 in einem Abstand der Fahrbahn von den Spitzen der Jupiterwolken von 4300 km erreicht. Nach dem Passieren des Jupiters flog die Raumsonde weiter in Richtung Saturn und wird diesen Planeten Ende 1979 erreichen. Pionier 11 ist das erste Objekt aus Menschenhand, das nennenswert aus der Ekliptikebene herausfliegt.

(10^{12}) Gauss das bisher stärkste bekannte Magnetfeld im Kosmos. Die Erde hat ein Magnetfeld von einigen Zehnteln Gauss. Wie von der Sonne, so strömt auch vom Herkules-Hauptstern ständig *gasförmiges Plasma* weg (sog. *Sonnenwind*). Im intensiven Magnetfeld kann das Plasma nur im Bereich der magnetischen Pole des Neutronensterns eindringen; hier wird es zu einer schmalen Säule zusammengepresst und prallt schliesslich mit ungeheurer Wucht auf einen verhältnismässig kleinen Fleck auf die Polkappe des Neutronensterns. Der Fuss dieser Säule emittiert bei 100 Mio Grad eine äusserst *intensive Röntgenstrahlung*, wobei die leuchtende Zone wahrscheinlich nicht grösser als etwa 1 km² ist. Trotzdem strahlt diese «winzige» Fläche etwa 10 000mal mehr Energie ab als unsere Sonne [22].

Biologische Gesichtspunkte

Die Technik ist stolz darauf, Speicher mit Millionen und auch mit hundert Millionen Bits Kapazität bauen zu können (ein Bit ist eine Ja/nein-Entscheidung). Den Biologen ist bekannt, dass in lebenden Organismen sehr viel mehr Informationen in einem unvergleichbar viel kleinerem Volumen gespeichert sind.

Es gibt eine Klasse von komplizierten organischen chemischen Verbindungen, die Nukleotide (Kernsäuren), in denen der Schlüssel für das Verständnis biologischer Vorgänge liegt. Das *Protoplasma*, mit dem lebende Zellen gefüllt sind, ist ein Mikrokosmos von riesiger Komplexität und einer Molekülstruktur, die wir noch nicht in allen Einzlheiten kennen, die aber den Anfang des Verständnisses für einige grundlegende Tatsachen der Vermehrung, des Wachstums, der Atmung und der Bewegung offenbaren. Aus diesem brodelnden Topf kristallisieren bereits in grosser Schönheit einige Molekülformen, die wie Traumgebilde aussehen. Aus derartigen Molekülen sind die Gene aufgebaut, die von Generation zu Generation die erblichen Eigenschaften bestimmen. Die Chromosomen eines Säugetiers enthalten etwa drei Milliarden solcher Geheimzeichen [23].

Die *ersten Lebensformen* auf der Erde sind vor etwa 2500 Mio Jahren aufgetreten. Von diesem Zeitpunkt an erfolgte die langsame stetige (evolutive) Entfaltung des Pflanzenreiches aus einem gemeinsamen «Urformenkreis». Im Geschehen der Evolution gibt es zwei Grundregeln:

a) Ein Prinzip der *relativen Konstanz des Erbgutes* in der belebten Natur, in der die Gene durch äussere Einflüsse nur schwer zu verändern sind. Innerhalb menschlich-historischer Zeiträume ändern sich die Arten in der Natur nicht auffallend. Für die Baupläne grösserer systematischer Einheiten (zum Beispiel die der Schachtelhalme) wirkt sich diese relative Konstanz schon seit 300 Mio. Jahren aus.

b) Eine gegensätzliche Regel besagt, dass das Erbgut *in langen Zeiträumen von etwa 50–200 Mio Jahren relativ inkonstant* ist. Immerhin hat jede Gattung einen Entwicklungsablauf, der aber mit menschlichen Zeitvorstellungen nicht messbar ist. Die Botanik konnte den Ablauf der Pflanzenevolution durch einen Zeitraum von annähernd 1000 Mio Jahren gut erforschen, hauptsächlich aufgrund von Versteinerungen.

Im *Archaikum* – vor etwa 3000 Mio Jahren – lässt sich die Trennung von Pflanzen und Tieren noch nicht feststellen. Im *Präkambrium* (vor etwa 1500–2500 Mio Jahren) existierten die Spaltpflanzen, welche die Blaualgen und die Bakterien umfassen, ferner die niedersten Algen, aus denen sich noch im Präkambrium auch schon *Tiere* entwickelten. Vor 430–460 Mio Jahren entstanden Landpflanzen. Die Steinkohlenwälder waren die ersten grossen Regenwälder der Erdgeschichte. Im *Karbon* tauchen die ersten samentragenden Farne auf. Die heutigen Koniferen entwickelten sich innerhalb der letzten 260 Mio Jahre zu ihrer grossen Mannigfaltigkeit. Die bedecktsamigen Blütenpflanzen haben ein Alter von etwa 130 Mio Jahren.

Tabelle 1. Grosse Teleskope seit 1917[8]

Teleskop oder Institution	*Ort*	*Primärspiegel Durchm. (Zoll)*	*Fokalverhältnis*	*Material*	*Datum der Fertigstellung*
Mt. Wilson	*Kalifornien*	*100*	*5,0*	*Glas*	*1917*
Palomar	*Kalifornien*	*200*	*3,3*	*Pyrex*	*1950*
Lic	*Kalifornien*	*120*	*5,0*	*Pyrex*	*1959*
UdSSR	*Krim*	*102*	*3,8*	*Pyrex*	*1961*
UdSSR	*Armenien*	*102*	*3,8*	*Pyrex*	
Isaac Newton	*England*	*98*	*3,0*	*Pyrex*	*1968*
McDonald	*Texas*	*107*	*3,9*	*Quarz*	*1968*
UdSSR	*Kaukasus*	*236*	*4,0*	*Pyrex*	
KPNO	*Arizona*	*150*	*2,8*	*Quarz*	*1974*
CTIO	*Chile*	*158*	*2,65*	*Cervit*	*1975*
AAT	*Australien*	*153*	*3,3*	*Cervit*	*1975*
ESO	*Chile*	*140*	*3,0*	*Quarz*	*1976*
Kanada/Frankr.	*Hawaii*	*140*	*3,75*	*Cervit*	*1978?*
Deutschland (MPI)		*138*		*Zerodur*	
Italien	*Italien?*	*138*	*4,0*	*ULE*	
CARSO	*Chile*	*100*	*3,0*	*Quarz*	*1976*
NHO		*180*			

KPNO (Kitt Peak National Observatory) und CTIO (Cerro Tololo International Observatory) werden gemeinsam von der amerikanischen Organisation AURA betrieben. ESO steht für European Southern Observatory, CARSO für Carnegie Southern Observatory. NHO ist ein britisches Projekt und bedeutet Northern Hemisphere Observatory.
Cervit, Zerodur und ULE sind synthetische Materialien mit geringer thermischer Expansion, die in den sonstigen Eigenschaften weitgehend quarzähnlich sind.

Gesteinsbildung durch Pflanzen

Dass Pflanzen den Anlass zur Bildung von Ablagerungsgesteinen geben, ist von der Bildung der *Kohlenlagerstätten* her bekannt. Die Forschung wies aber nach, dass der Anteil von Sedimenten, die durch pflanzliche Organismen gebildet werden, noch weit über das Ausmass der Steinkohlenlager hinausgeht. Die Grundlage für die Bildung «verbrennbarer Gesteine» – der sog. *Kaustobiolithe* – ist die organische Substanz der beteiligten Mikro- und Makroorganismen. Sie wurden durch photosynthetische Tätigkeit in grossem Umfange synthetisiert. Durch Verbrennen dieser Gesteine wird also *gespeicherte Sonnenenergie zurückgewonnen*. Die Kaustobiolithe werden in drei Gruppen eingeteilt: Die *Organopelite* (organischer Schlamm), die *Humusgesteine* und die *Liptobiolithe* (Bernstein, verwendet als Schmuckstein und als ganz hervorragender Isolierstoff, der früher im Bau elektrischer Messinstrumente unentbehrlich war. Das Alter des Bernsteins beträgt etwa 32 Mio Jahre).

Die *Erdöl- und Erdgaslager* sind aus faulschlammartigen Meeresablagerungen entstanden. Auch tierische Reste sind daran beteiligt. Die Kohlenflöze sind typische Humusgesteine. Die jüngsten Humusgesteine kennt man als *Torflagerstätten* in den Mooren. Unter einem Moor versteht man ein durch Pflanzenwuchs verlandetes Gewässer. Die vollständige Zersetzung der Pflanzen ist durch die Wasserbedeckung verhindert worden, so dass eine *Humifizierung* stattfand. Die Humussedimente werden als Torf bezeichnet. Moore besonderer Art und Ausdehnung waren es, die vor 250 Mio Jahren die Kohlenflöze bildeten. (Die wirtschaftliche «Lebensdauer» des Kohlenbergbaues wird auf mehrere hundert Jahre geschätzt, z. B. für den Rheinisch-westfälischen auf 800–1200 Jahre.)

Der Gesamtvorrat des *Kohlenstoffes* der Erde beträgt rund 25 000–29 000 $\cdot 10^{12}$ t. Er umfasst das CO_2-Depot der Atmosphäre und der Gewässer, den organisch gebundenen Kohlenstoff der lebenden und der abgestorbenen Organismen und endlich das mineralische C-Depot der Gesteine. In der Atmosphäre sind 0,634 $\cdot 10^{12}$ t C enthalten, im Meerwasser beträgt die biologisch ausnutzbare C-Menge 35,4 $\cdot 10^{12}$ t, in den lebenden Meeresorganismen 0,01 $\cdot 10^{12}$ t, in den Landorganismen 0,124 $\cdot 10^{12}$ t. Die abgestorbenen Meeresorganismen enthalten 3,2 $\cdot 10^{12}$ t C. Auf dem Festland ist mit einer ständigen Bindung von 0,71 $\cdot 10^{12}$ t C an nicht abgebauten organischen Resten zu rechnen. Kohle, Erdöl und Erdgas führen im ganzen rund 7,4 $\cdot 10^{12}$ t C. Die karbonatischen und nichtkarbonatischen Gesteine enthalten bis 16 km Tiefe 28 000 $\cdot 10^{12}$ t C (anno 1960). Die jährlich durch Photosynthese gebundene C-Menge beträgt bei den Landpflanzen 1,72 $\cdot 10^{10}$ t C und bei den Meerespflanzen 2,5 $\cdot 10^{10}$ t C.

Durch die Atmungs- und Gärungsprozesse der Organismen wird der grösste Teil des organisch gebundenen C der Atmosphäre wieder zugeführt (etwa 2,43 $\cdot 10^{10}$ t jährlich). Dieser Betrag setzt sich zusammen aus der Atmung der Menschen (0,014 $\cdot 10^{10}$ t C), der Haustiere (0,04 bis 0,05 $\cdot 10^{10}$ t C), und anderer grösserer Tiere (0,04 $\cdot 10^{10}$ t C). Der Rest wird durch die Atmungs- bzw. Gärungstätigkeit der Mikroorganismen im Boden geliefert. Allein durch die Bodenatmung wird der Atmosphäre jährlich 0,84 $\cdot 10^{10}$ t C als CO_2 rückgeführt. Vulkane emittieren jährlich eine C-Menge von etwa 0,004 $\cdot 10^{10}$ t. Die von Jahr zu Jahr zunehmende industrielle C-Erzeugung kann wahrscheinlich das natürliche Gleichgewicht des C-Kreislaufes in der Atmosphäre allmählich verschieben im Sinne zunehmenden C-Gehaltes. *Revelle* und *Suess* äusserten sich dazu folgendermassen: «So ist die Menschheit dabei, ein geophysikalisches Experiment grössten Stiles anzustellen ... Im Laufe von wenigen Jahrhunderten führen wir der Atmosphäre und den Ozeanen den durch Millionen von Jahren in den Sedimenten konzentrierten Kohlenstoff zurück.»

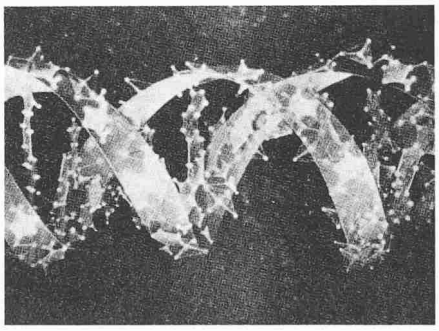

Bild 5. Molekülketten[23]

Auch die Entwicklung der Lebewesen bietet erstaunliche Zahlen: Das *Erdmittelalter* (Mesozoikum), gekennzeichnet durch mildes Klima, ging vor rund 80 Mio Jahren zu Ende. Aus jener Zeit hat man Kunde über ungeheuer grosse Tiere, so von *Diplodocus Carnegi*, der von der Schnauze bis zum Schwanz eine Länge von 25 m aufwies, der *Gigantosaurus* eine Länge von über 30 m. Aus der Welt der *kleinsten Lebewesen* (Mikroorganismen) seien als Beispiele das *Spirillum parvum* mit einem Durchmesser von 0,1–0,3 µ, ferner die noch wesentlich kleineren Ultramikroben und die Pilzsporen aufgeführt.

Die *ersten Menschen* mit Merkmalen, die sie wesentlich von den höchstentwickelten Säugetieren unterscheiden, sollen vor etwa 30 000 Jahren gelebt haben. Vor etwa 15 000 Jahren begannen die Menschen mit der Bodenbebauung. Gehirn und Nervensystem des Menschen spotten jeden Vergleich in bezug auf selbstorganisierende Aktivität. Denn von den zehntausend Millionen (10^{10}) Nervenzellen des Gehirns gehen täglich etwa hunderttausend zugrunde; doch wird die Mehrzahl der dadurch verursachten Funktionsausfälle wieder aktiv durch andere Nervenzellen überbrückt [18]. Als ein Beispiel erstaunlicher «Feinmechanik» sei das *menschliche Ohr* genannt. Schallwellen gelangen nach einer Impedanzwandlung im Mittelohr, durch das sog. ovale Fenster zur Basilar-Membran. Dort verursachen sie, an einer dem Frequenzumfang des eintreffenden Signals entsprechenden Stelle, Auslenkungen der Grössenordnung von 1 Ångström = 10^{-7} mm. Diese werden als Erregung dem Hörnerv übertragen, und die dabei entstehenden Nervenreize werden dann dem Gehirn zur Analyse weitergeführt (ETH-Jahresbericht 76 und «NZZ», Nr. 156, 1977).

Kleinste Teilchen der Materie

Das Atom galt noch am Anfang unseres Jahrhunderts als kleinstes, unteilbares Teilchen der Materie. Nach heutiger Ansicht ist die letzte strukturlose Einheit der Materie das *Quark*. Die Quarks sind durch Kernkräfte von so enormer Grösse aneinander gebunden, dass wahrscheinlich die Isolierung einzelner und damit ihre Beobachtung niemals möglich sein wird. Unter der grossen Zahl der sogenannten Elementarteilchen sind die meisten labil, sie zerfallen nach Bruchteilen von Millionstelsekunden. Nur sehr wenige, darunter das *Proton*, das *Elektron* und das *Positron* sind *stabil*. Die Masse eines stationären Protons entspricht der Energie von etwa 0,938 GeV (1 GeV = kinetische Energie einer elektrischen Elementarladung, die eine Potentialdifferenz von 10^9 V passiert hat). Zu den *unstabilen* Teilchen gehören die *Mesonen* (auch genannt «Yukawa-Teilchen»), deren Lebensdauer etwa 1 µs beträgt. Deren Masse beträgt etwa das 300fache der Elektronmasse. Das *Pion* existiert mit den Ladungen $\pm e$ (e = Elektronenladung) oder Null. Ein geladenes Pion zerfällt nach etwa 10^{-8} Sekunden in das *Myon*, das in der Höhenstrahlung nachgewiesen werden kann [16].

Ein Teilchen, das beim Zerfall bestimmter radioaktiver Stoffe unter Emission von β-Strahlen zugleich mit dem Elektron emittiert wird, erhielt den Namen *Neutrino* bzw. *Antineutrino*. Es ist ungeladen, und seine Ruhemasse ist sehr viel kleiner als die des Elektrons. Beim Antineutrino ist der Spin (Kreis-

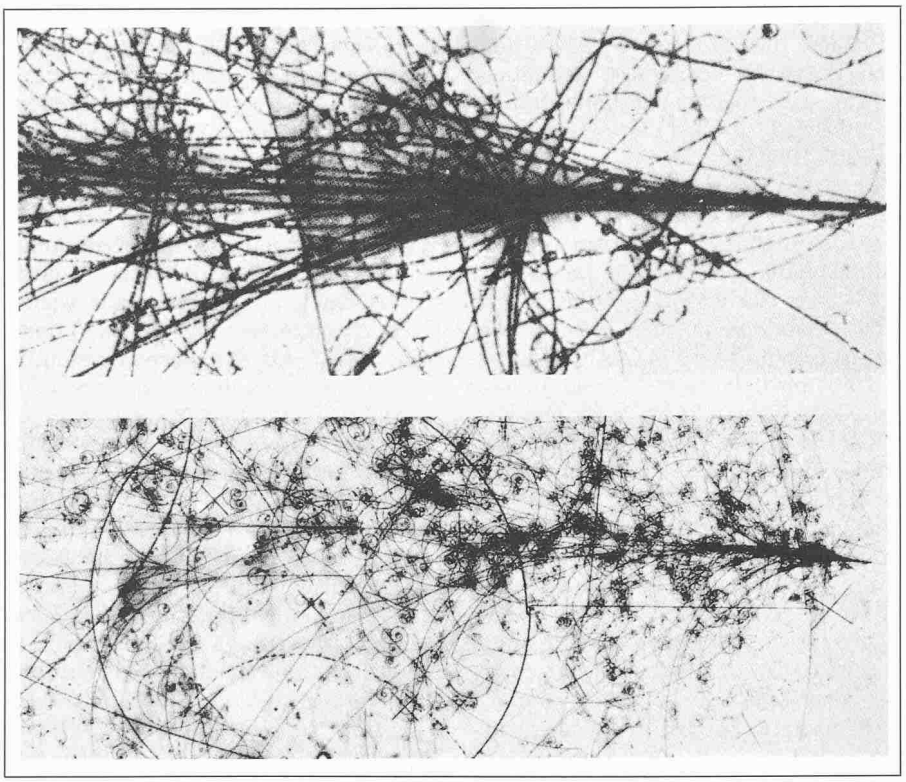

Bild 6. Ein Neutrino hoher Energie tritt in Aktion. Blasenkammeraufnahme. Im untern Bild: Vergrösserung der Wirkungsregion des Neutrinos

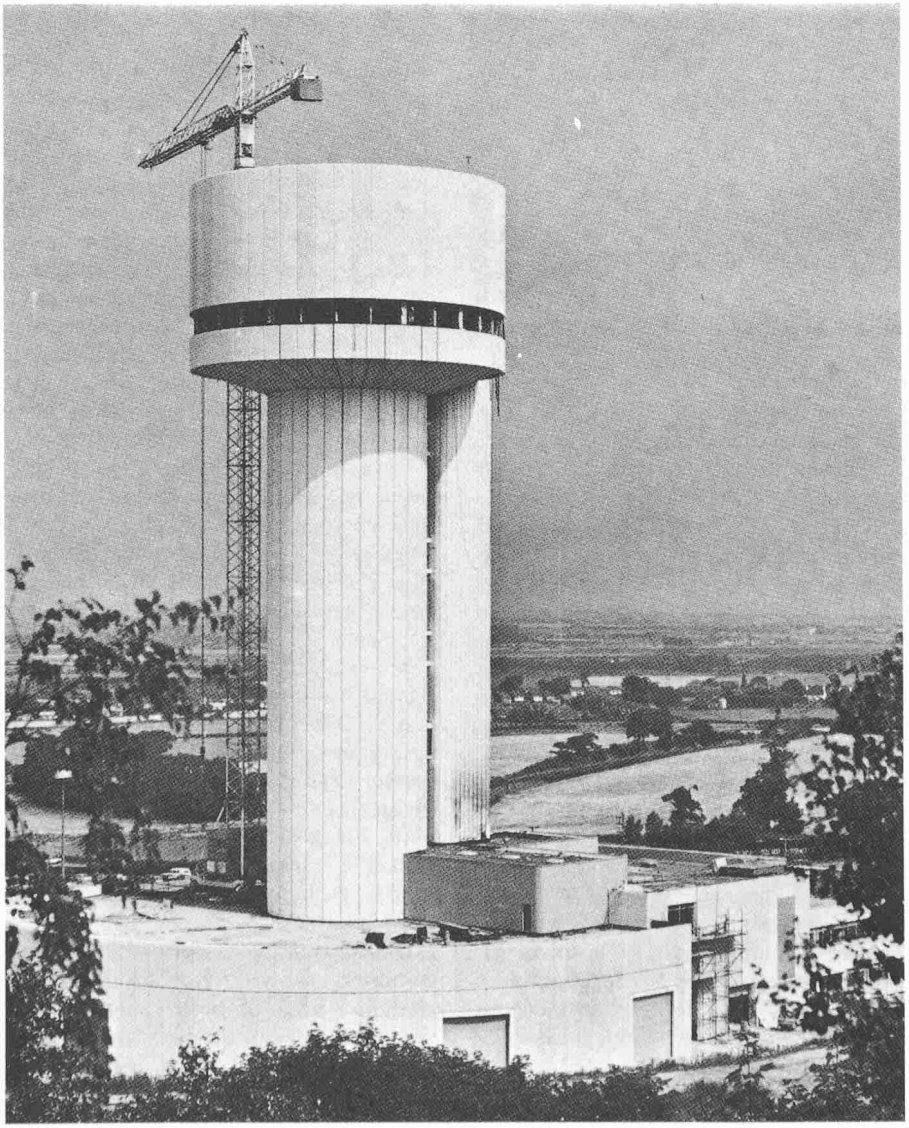

Bild 7. Van de Graaff-Beschleuniger T 30 MV- im Bau von Daresbury

elbewegung, die sowohl ein mechanisches als auch ein magnetisches Moment bedingt) entgegengesetzt [4].

Im Jahre 1976 wurde die physikalische Welt fasziniert durch die Entdeckung eines neuen Teilchens in den *Fermi-Laboratorien in Chicago*, das *Upsilon [24]*.

Die physikalische Forschung auf dem Gebiet der Atomphysik verwendet apparative Einrichtungen ganz erstaunlicher technischer Daten. Das *Super-Protonen-Synchrotron der CERN* bei Genf kann, erstmals in der Forschung, mit einem Potentialgefälle von 400 GeV = 400 Mio kV arbeiten. Die nominelle Intensität beträgt 10 Protonen je Impuls; die Impulse folgen sich alle sechs Sekunden. Der ganze Beschleunigungsring befindet sich in einem Tunnel von 2,2 km Länge 40 m unter der Geländeoberfläche [21].

Wissenschafter der *französischen Energiekommission* machten im September 1972 die überraschende Entdeckung, dass in der *Uranerzgrube Oklo* in *Gabon* vor rund 1,8 Mia Jahren mehrere Reaktionen stattgefunden haben, bei denen sich genau die Vorgänge abspielten, die der Funktionsweise von *Leichtwasserreaktoren* in Kernkraftwerken entsprechen. In sechs fossilen Kernreaktoren sind im Laufe von einer Million Jahren über 500 Tonnen Uran verbraucht worden. Die dabei freigewordene Energie entspricht der im Kernkraftwerk *Mühleberg* während etwa 50 Jahren erzeugten Energie [25].

Kleinste Teile des Apparatebaues

Die um 1918 erfundene *Elektronenröhre* fristete trotz ihrer damals geradezu revolutionären Beeinflussung der Technik ein nur kurzes Dasein (einige Anwendungsfälle ausgenommen). Sie musste, nach der Erfindung des *Transistors* im Jahre 1948, rasch diesem Gebilde aus *Germanium* oder *Silizium* weichen. Die alsdann einsetzende Miniaturisierung ist erstaunlich und kaum vorstellbar. Rasch nacheinander folgte die Einführung *diskreter Halbleiterelemente* (etwa um 1950), die Anwendung der *integrierten Bipolarschaltungen* (ab 1960) und der Durchbruch der *hochintegrierten Schaltungen* ab etwa 1970. Die heutige Technik bringt es bereits auf etwa 10 000 Transistoren auf einem Halbleiterkristall, und es ist zu erwarten, dass es in einigen Jahren «integrierte Bausteine» mit 10^5 bis 10^6 Transistoren geben wird.

Die *rechengesteuerte Elektronenstrahllithographie* vermag 2000 Linien über eine 4 mm² grosse Fläche zu belichten. Mit dem Elektronenstrahl-Bildprojek-

tionssystem können 0,25 µm breite Linien in einer Kantenschärfe von 0,05 µm über eine Strecke von 3 mm projiziert werden, insgesamt also 12 000 Linien je 3 mm oder $1{,}44 \cdot 10^8$ Bildelemente auf einer 9 mm² grossen Fläche. Im Blick auf solche Möglichkeiten spricht man bereits von der vollständig flachen Fernsehröhre und vom Armband-Fernsehgerät, des weitern vom vollelektronischen Taxameter [19]. Mit dem Laserdurchflussmikrophotometer können Partikel zwischen 5 µm (0,005 mm) und 300 µm ausgemessen werden [20].

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. h.c. *A. Imhof*, dipl. Ing. ETH, Winzerstr. 113, 8049 Zürich

Verwendete Literatur

[1] *M. C. E. Huber* und *G. A. Tamman:* «Geschichte und Zukunft des Universums. Kosmologische Probleme aus neuester Sicht». NZZ, Nr. 3, 1977
[2] *A. Hewish:* «Extreme Physik am Himmel». NZZ, Nr. 210, 1976
[3] *A. S. Cohen:* «Blickverhalten und visuelle Wahrnehmung». NZZ, Nr. 91, 1977
[4] *H. Massey:* «Neutrinos». Endeavour, Nr. 116, 1973
[5] *G. A. Wagner:* «Strahlenschäden zur Datierung von Gesteinen und Artefakten». Endeavour, Nr. 124, 1976
[6] *G. E. Hunt:* «L'Atmosphere de Jupiter et de Saturne». Endeavour, Nr. 118, 1974
[7] *D. G. King-Hele:* «L'utilisation des appareils de prise de vues et des Lasers en géodésie par satellites». Endeavour, Nr. 118, 1974
[8] *S. C. B. Gascoigne:* «Das Anglo-Australische Teleskop». Endeavour, Nr. 123, 1975
[9] *F. Hall, H. Mark, J. H. Wolfe:* «Der Flug zum Jupiter». Endeavour, Nr. 124, 1976
[10] *R. S. Saunders:* «Geologie und Geophysik des Mars». Endeavour, Nr. 124, 1976
[11] *tr.:* «Resultate der Viking-Mission zum Mars». NZZ, Nr. 45, 1977
[12] *U. W. Steinlin:* «Kugelsternhaufen». NZZ, Nr. 97, 1977
[13] *H. Oeschger* (nach Vortrag C. Junge): «Die Entstehung der Erdatmosphäre». NZZ, Nr. 264, 1976
[14] *M. Taube:* «Chemie im interstellaren Raum». Chimia, Nr. 4, 1977
[15] *nxh.:* «Superschwere Quasi-Atome». NZZ, Nr. 222, 1976
[16] *br.:* «Pionium, ein neues exotisches Atom». NZZ, Nr. 288, 1976
[17] *S. Strugger:* «Biologie I». Fischer Bücherei, 1962
[18] *df.:* «Netzwerkforschung im Nervensystem». NZZ, Nr. 103, 1977
[19] *tr.:* «Die Herstellung von integrierten Schaltungen». NZZ, Nr. 264, 1976
[20] «Mikrophotometrie mit Laser. NZZ, Nr. 144, 1976
[21] «Le super synchrotron à protons de 400 GeV». Document CERN/SISPU 77-13
[22] *mpg.:* «Messung der Magnetfelder eines Neutronensterns». NZZ, Nr. 126, 1977
[23] *E. Mühlbauer:* «Die Evolution der technischen Gedankenwelt des Elektroingenieurs». Elektrotechnik und Maschinenbau, Heft 9, 1966
[24] «La découverte d'Upsilon». Courrier CERN, Nr. 7/8, 1977
[25] *vgt.:* «Die fossilen Kernreaktoren von Oklo». NZZ, Nr. 98, 1976

Albert Einstein – der Mensch, Lehrer und Forscher

Zu seinem 100. Geburtstag am 14. März

Von Walter Dällenbach, Bern

Die Eindrücke, die ich vor über 60 Jahren als junger Student von der Persönlichkeit Albert Einsteins empfangen habe, sind nicht bloss haften geblieben, sondern haben über Jahrzehnte wie ein Ferment gewirkt. Wenn ich «Persönlichkeit» sage, bedarf das vielleicht bereits einer Korrektur, denn bei Persönlichkeit denkt man gerne an eine Erscheinung, die rings um sich Raum beansprucht, eine gewisse Würde ausstrahlt, etwas Imponierendes an sich hat! In diesem Sinne war Einstein keine Persönlichkeit, sondern – wie ich durch einige bald folgende kleine Begebenheiten illustrieren möchte – die Bescheidenheit selbst und von rührenden Hilfsbereitschaft. Und doch hatte bereits seine äussere Erscheinung, als ein damals noch jüngerer Mann, Auszeichnendes genug an sich: die seelenvollen Augen, die ein Staunen über die Welt auszudrücken schienen, die Mächtigkeit seines Lachens . . .! Sein Lachen war von erschütternder Ursprünglichkeit und zeugte von einer Unabhängigkeit, einer Désinvolture, die unter Umständen hätten Furcht erregen können. Verwandt damit schien mir sein Hingegebensein, wenn er musizierte, ferner das Fehlen von Prüderie, allerdings auch von Frivolität, wenn einmal von Problematischem in Verbindung mit Frauen die Rede war.

In einer Winternacht, etwa 1913, auf dem Heimweg vom Physikalischen Kolloquium begleiteten ihn einige seiner Studenten. Deren neugieriges Interesse an physikalischen Dingen war gerade an einem Punkt angelangt, wo man mathematische Formeln hätte einsetzen müssen, um weiterzukommen. Es schneite in dichten Flocken. Einstein steuerte mit seinem Regenschirm nach dem Lichtkreis einer altväterischen Strassenlaterne, gab dem nächsten seiner Begleiter den Schirm zu halten, holte Notizbuch und Bleistift aus der Tasche und . . . begann zu rechnen.

Als er 1914, zum Mitglied der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften ernannt, sein Zimmer im Zürcher Institut räumte, lud er seine wenigen Habseligkeiten, Bücher und Papiere, in ein vierrädriges Handwägelchen und zog dieses eigenhändig vom Institut nach seiner Wohnung höher oben am Zürichberg.

Ein andermal, bereits Mitglied der Berliner Akademie, bei vertrauten Zürcher Freunden zu Gast, fand er es selbstverständlich, mit Besen und Schaufel im

Einstein im «Eidgenössischen Amt für geistiges Eigentum» (Patentamt) in Bern (1904)

Haushalt zu helfen. Es war ihm peinlich, persönliche Dienste anderer in Anspruch zu nehmen.

Da er 1914 von Zürich weggezogen war, ohne in den nur drei Semestern an der ETH eine Vorlesung über Quantentheorie gehalten zu haben, äusserten ein paar Jahre später einige ihm anhänglich gebliebene Studenten den Wunsch, er möchte gerade über dieses damals schon hochaktuelle Thema der Physik Gastvorträge halten. Seine Antwort lautete: «Ich begreife Sie vollkommen. Aber die Quantentheorie vorzutragen, kommt mir nicht zu. Soviel ich mich damit abgemüht habe, so wenig ist es mir gelungen, wirkliche Einsicht zu