



# *Das Werden der Welten*

Svante Arrhénius

LIBRARY  
OF THE  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

*Class*







# Das Werden der Welten

Von

**Svante Arrhenius**

Aus dem Schwedischen übersetzt

von

L. Bamberger

3. bis 8. Tausend



Leipzig

Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H.

1908

Q 3931

A 77

GENERAL

11211

Published 16<sup>th</sup> May 1907

Privilege of Copyright in the United States reserved under the Act approved  
March 3, 1905, by Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig.

# Vorwort

zur ersten Auflage.

---

Als ich vor etwa sechs Jahren mit der Ausarbeitung meines „Lehrbuches der kosmischen Physik“ beschäftigt war, konnten mir die großen Schwierigkeiten nicht entgehen, die bei den bis heute herrschenden Ansichten der Erklärung einer großen Anzahl von Phänomenen anhafteten; besonders denen, die im Zusammenhang mit kosmogonischen Fragen stehen. Ich fand, daß der bis jetzt unbeachtet gebliebene Strahlungsdruck mit Erfolg angewendet werden konnte zum Verständnis eines großen Teils dieser früher schwer zu deutenden Erscheinungen. Ich wandte daher auch diese früher übersehene Naturkraft in sehr ausgedehntem Maße bei der Behandlung der genannten Erscheinungen in besagtem Lehrbuche an.

Ogleich die von mir versuchten Erklärungen bei ihrem erstem Auftreten begreiflicherweise durchaus nicht beanspruchen konnten, in allen Details unverändert zu bleiben, wurden sie dennoch von der wissenschaftlichen Welt mit ungewöhnlich großem Interesse und Wohlwollen aufgenommen. Das ermutigte mich, weiter nach Erklärung für die wichtigsten unter den zahlreichen Rätseln zu suchen, denen wir überall auf diesem Gebiet begegnen. So habe ich einige neue Teile in diesen die Entwicklung des Weltsystems betreffenden Erklärungskomplex eingefügt, zu welchem ich den ersten Grund in einer Abhandlung gelegt habe, die im Jahre 1900 der Akademie der Wissenschaften in Stockholm eingereicht und gleich darauf in der Physikalischen Zeitschrift abgedruckt wurde, und den ich dann im Lehrbuche der kosmischen Physik weiter ausgebildet habe.

## II

Nun sagt man ja, und nicht ohne Berechtigung, daß wissenschaftliche Ansichten erst in Fachkreisen debattiert werden und Anerkennung finden sollen, ehe sie einem größeren Publikum vorgelegt werden. Man kann nicht leugnen, daß der größte Teil der Einfälle, die über kosmogonische Fragen veröffentlicht werden, nie in Berührung mit der Druckerpresse kämen, wenn diese Bedingungen beachtet würden; ebenso, daß die bei ihrer Drucklegung geleistete Arbeit besser angewendet werden könnte. Die sieben Jahre, die verflossen sind, seitdem meine ersten Versuche in dieser Richtung der wissenschaftlichen Welt mitgeteilt wurden, und die wohlwollende Aufnahme, die diese Versuche erfahren haben, sowie die reichliche Gelegenheit, die ich während dieser Zeit gehabt habe, meine Erklärungen genau nachzuprüfen und zu verbessern, sehe ich für mehr als ausreichend an, um mir zu erlauben, meine Ansichten einem größeren Leserkreise vorzulegen.

Tatsächlich hat das Problem der Weltentwicklung stets das besondere Interesse der denkenden Menschheit erregt. Und ohne Zweifel wird es wohl den vornehmsten Platz unter allen Fragen behalten, die nicht direkt praktische Tragweite haben. Die Lösung, die man zu verschiedenen Zeiten für dieses Lieblingsproblem gefunden hat, gibt ein treues Bild der jeweiligen Denkweise auf naturwissenschaftlichem Gebiet. In dieser Hinsicht hege ich die lebhafteste Hoffnung, daß die folgende Darstellung der großartigen Entwicklung entsprechen wird, die Physik und Chemie um die letzte Jahrhundertwende genommen haben.

Vor der Entdeckung der Unzerstörbarkeit der Energie befaßten sich die kosmogonischen Untersuchungen nur mit der Frage, wie die Materie sich so geordnet hat, daß die jetzt vorhandenen Himmelskörper daraus hervorgegangen sind. Die hervorragendsten Gedanken auf diesem Gebiet finden wir in Herschels Ansicht von der Entwicklung der Nebelflecke, und in Laplaces Hypothese von der Bildung des Sonnensystems aus dem Weltennebel. Die Ansicht Herschels scheint

von der Beobachtung immer mehr bestätigt zu werden. Dagegen begegnet die Laplacesche Hypothese so großen Schwierigkeiten, daß man sich genötigt gesehen hat, sie stark abzuändern, trotzdem sie lange Zeit als die Blüte der kosmogonischen Spekulation gepriesen wurde. Wenn man, wie Kant, versucht, sich einen Begriff davon zu bilden, wie großartig geregelte Systeme von Himmelskörpern aus einem absolut ungeordneten Chaos entstehen konnten, so heißt das nach der Lösung eines in dieser Form vollkommen unlösbaren Problems streben. Übrigens liegt ein Widerspruch in allen Versuchen, die Entstehung der Welt in ihrer Gesamtheit zu erklären, wie Stallo\*) mit besonderem Nachdruck hervorhebt: „Die einzige Frage, zu welcher eine Reihe von Erscheinungen Veranlassung gibt, ist die nach ihrer gegenseitigen Abhängigkeit und ihrem Zusammenhang.“ Infolgedessen habe ich nur zu zeigen versucht, wie Nebelflecke aus Sonnen entstehen können, und umgekehrt, wie Sonnen aus Nebelflecken entstehen; und ich habe angenommen, daß diese Wechselwirkung ständig vor sich gegangen ist, gerade wie jetzt.

Die kosmogonischen Probleme wurden durch die Entdeckung der Unzerstörbarkeit der Energie in hohem Grade erschwert. Mayers und Helmholtz' Hypothesen über die Art, wie die Sonne ihre Wärmeverluste deckt, haben als unzureichend aufgegeben werden müssen, und sind durch eine andere ersetzt worden, die sich auf die chemischen Verhältnisse im Sonneninnern gründet, im Lichte des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie. Eine noch größere Schwierigkeit schien dadurch zu entstehen, daß die Lehre von der beständigen „Entartung“ der Energie zu dem Schlußsatz führt, daß die Welt sich immermehr dem von Clausius als „Wärmestad“ bezeichneten Zustand nähert, in dem alle Energie sich in Form von Bewegung der kleinsten Körper-

\*) Stallo: Concepts and theories of modern physics. 4. Aufl. S. 276 London 1900.

#### IV

teilchen gleichmäßig im Universum verteilt finden wird. Eben aus dieser Schwierigkeit, die zu einem uns völlig unbegreiflichen Ende der Weltentwicklung führt, habe ich einen Ausweg gesucht, der darauf hinausläuft, daß die Energie „verschlechtert“ wird bei Körpern, die sich im Sonnenstadium befinden, dagegen „verbessert“ bei solchen, die dem Nebelfleckstadium angehören.

Schließlich ist noch eine kosmogonische Frage in der letzten Zeit aktueller geworden, als sie früher war. Man glaubte nämlich bisher allgemein, daß Leben aus unorganischer Materie durch einen „Selbstzeugung“ genannten Prozeß entstehen kann. Aber gleichwie der Traum von der Selbsterzeugung der Energie — „perpetuum mobile“ — vollständig dem negativen Erfahrungsergebnis in dieser Richtung hat weichen müssen, so ist es wahrscheinlich, daß die mannigfache Erfahrung in bezug auf die Unrealisierbarkeit der Selbsterzeugung des Lebens uns schließlich zu der Annahme führt, daß die letztere ganz unmöglich ist. Um die Möglichkeit vom Auftreten des Lebens auf den Planeten zu verstehen, muß man dann seine Zuflucht zu der Lehre von der Panspermie nehmen, welcher ich eine der gegenwärtigen Entwicklung der Wissenschaft entsprechende Form dadurch gegeben habe, daß ich sie mit der Lehre vom Strahlungsdruck kombinierte.

Das leitende Motiv bei der vorliegenden Bearbeitung der kosmogonischen Fragen war die Ansicht, daß das Weltganze seinem Wesen nach stets so war, wie es noch jetzt ist. Materie, Energie und Leben haben nur Form und Platz im Raum gewechselt.

Stockholm, im April 1907.

Der Verfasser.

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>I. Vulkanische Erscheinungen und Erdbeben . . .</b>	<b>I</b>
<p>Durch Vulkanismus und Erdbeben verursachte Zerstörungen. Verschiedene Arten von Vulkanen. Der Vesuv. Eruptionsprodukte. Erlöschende Vulkantätigkeit. Bau der Vulkane. Geographische Verteilung der Vulkane. Temperatur im Erdinneren. Bedeutung des Wassers für den Vulkanismus. Zusammensetzung des Erdinneren. Geographische Verteilung der Erdbeben. Spalten in der Erdrinde. Erdbebenschwärme. Wellen im Meer und in der Luft bei Erdbeben. Zusammenhang mit dem Vulkanismus. Spaltensysteme. Seismogramme.</p>	
<b>II. Die Himmelskörper, besonders die Erde, als Wohnstätte lebender Wesen . . . . .</b>	<b>35</b>
<p>Mannigfaltigkeit der Welten. Die Erde war zuerst wahrscheinlich ein Gasball. Bildung und rasche Abkühlung der Erdrinde. Gleichgewicht zwischen Ein- und Ausstrahlung von Wärme. Das Leben existiert schätzungsweise seit einer Milliarde Jahren auf der Erde. „Verschwendung“ von Sonnenwärme. Temperatur und Bewohnbarkeit der Planeten. Wärmeschützender Einfluss der Atmosphäre. Bedeutung der Kohlensäure in der Luft. Warme und kalte geologische Zeiten. Änderungen des Kohlensäuregehaltes der Luft. Verbrennung, Verwitterung und Wachstum. Der Luftsauerstoff. Pflanzenleben älter als Tierleben. Die Atmosphäre der Planeten. Aussicht auf Klima-verbesserung.</p>	
<b>III. Strahlung und Konstitution der Sonne . . . .</b>	<b>58</b>
<p>Stabilität des Sonnensystems. Wärmeverlust und möglicher Wärmegegninn der Sonne. Mayers und Helmholtz' Ansichten. Temperatur der weissen, gelben und roten Sterne, sowie der Sonne. Sonnenflecken und Sonnenfackeln. Protuberanzen. Spektren verschiedener Teile der Sonne. Temperatur der Sonne. Das Sonneninnere; seine Zusammensetzung gemäss der mechanischen Wärmetheorie. Die enorme chemische Energie der Sonne deckt wahrscheinlich ihre Wärmeverluste.</p>	

#### IV. Der Strahlungsdruck . . . . . 85

Newtons Gravitationsgesetz. Keplers Beobachtung an den Kometenschweiften, Eulers Ansicht. Maxwells Beweis. Der Strahlungsdruck. Elektrische Ladung von Kondensationen. Kometenschweif und Strahlungsdruck. Bestandteile und Eigenschaften der Kometenschweif. Gewicht der Sonnenkorona. Verlust und Gewinn der Sonne an Materie, Natur der Meteoriten. Elektrische Ladung der Sonne. Einsaugung von Elektronen in die Sonne. Magnetische Eigenschaften der Sonne und das Aussehen der Korona. Bestandteile der Meteore Nebelflecke, ihre Wärme und ihr Licht.

#### V. Der Sonnenstaub in der Erdatmosphäre; Polarlicht und Variationen des Erdmagnetismus 107

Zuführung von Staub von der Sonne ziemlich unbedeutend. Polarisation des Himmelslichtes. Die höheren Wolken. Verschiedene Arten Polarlicht. Zusammenhang mit der Sonnenkorona. Polarlicht und Sonnenflecke. Periodizität der Polarlichter. Polarlicht und magnetische Störungen. Geschwindigkeit des Sonnenstaubes. Die Umsetzung des Luftstickstoffs. Zodiakallicht.

#### VI. Untergang der Sonne. Entstehung der Nebelflecken . . . . . 134

Das Erlöschen der Sonne. Zusammenstoß zweier Himmelskörper. Der neue Stern im Perseus. Bildung von Nebeln. Das Aussehen der Nebel. Die Nebel fangen umherirrende Meteoriten und Kometen ein. Der Ringnebel in der Lyra. Veränderliche Sterne, Eta im Argus, Mira Ceti. Lyra- und Algol-Sterne. Die Entwicklung der Sterne.

#### VII. Nebelfleckzustand und Sonnenzustand . . . 172

Die Energie der Welt. Die Entropie der Welt. Die Entropie nimmt in den Sonnen zu, nimmt aber in den Nebeln ab. Temperatur und Konstitution der Nebel. Schusters Berechnung des in einem gasförmigen Himmelskörper herrschenden Zustandes. Wirkung von Wärmeverlust auf Nebel und auf Sonnen. Entwicklung eines rotierenden Nebels zu einem Planetensystem. Die Kant-Laplacesche Hypothese. Einwände dagegen. Chamberlins und Moultons Ansichten. Der Strahlungsdruck hält den Wirkungen der Newtonschen Gravitation, die Wanderung der Gase aus dem Nebel heraus hält der für Sonnensysteme charakteristischen Wärmevergeudung das Gleichgewicht.

#### VIII. Die Ausbreitung des Lebens durch den Weltenraum . . . . . 191

Stabilität der Arten. Mutationstheorie. Selbstzeugung. Bathybius. Panspermi. Richters, Ferd. Cohns und Lord Kelvins Standpunkt. Entführung von Sporen durch den Strahlungsdruck. Schädigung der Keimfähigkeit durch starkes Sonnenlicht und Kälte. Transport von Sporen durch die Atmosphäre in den Weltenraum und weiter durch diesen zu anderen Planeten. Allgemeine Schlussfolgerungen.



## I.

# Vulkanische Erscheinungen und Erdbeben.

### **Erdinneres.**

Das schwere Unglück, das in letzter Zeit (April 1906) die blühenden Gemeinden um den Vesuv und in Kalifornien getroffen hat, hat wieder einmal die Aufmerksamkeit der Menschheit auf die gewalttätigen Kräfte gerichtet, die sich in Form von vulkanischen Ausbrüchen und Erdbeben offenbaren.

Die in diesen beiden letzten Fällen eingetretenen Verluste an Menschenleben sind indes unbedeutend im Vergleich mit denen, die verschiedenen älteren Katastrophen ähnlicher Art folgten. Der heftigste vulkanische Ausbruch in neuerer Zeit ist zweifellos der vom 26. bis 27. August 1883, bei dem zwei Drittel der 33 Quadratkilometer großen Insel Krakatoa im ostindischen Archipel in die Luft gesprengt worden sind. Obgleich diese Insel unbewohnt war, wurden doch ungefähr 40000 Menschen bei dieser Gelegenheit getötet, hauptsächlich durch die Flutwelle, die dem Ausbruch folgte und verheerende Überschwemmungen in der Umgebung verursachte. Noch furchtbarer war die Zerstörung durch das kalabrische Erdbeben, das aus mehreren Beben bestand, im Februar und März 1783. Dabei wurde die bedeutende Stadt Messina am 5. Februar zerstört; die Zahl der bei diesem Ereignis umgekommenen Menschen wird auf etwa 100000 geschätzt. Dieselbe Gegend, besonders Kalabrien, wurde übrigens auch am

8. September 1905 von verwüstenden Erderschütterungen heimgesucht. Eine andere Katastrophe, die wegen des großen Verlustes an Menschenleben (nicht weniger als 90000) von der Geschichte genannt wird, war die vom 1. November 1755, die Portugals Hauptstadt zerstörte. Zwei Drittel dieser Menschenleben wurden durch eine vom Meer hereinstürzende 5 Meter hohe Flutwelle vernichtet.

Der beststudierte aller Vulkane ist ohne Zweifel der Vesuv. Während der Blütezeit Roms war dieser Berg ganz friedlich, ein erloschener Vulkankegel, solange die Geschichte zurückreichte. Um ihn herum waren auf dem außerordentlich fruchtbaren Boden griechische Kolonien von solchem Reichtum aufgeblüht, daß man die Gegend Großgriechenland



Fig. 1. Vesuv, von der Insel Nisida aus gesehen, bei mäßiger vulkanischer Tätigkeit.

nannte (*Graecia magna*). Da trat im Jahre 79 nach Christus der yerheerende Ausbruch ein, der unter anderen Städten auch Herkulanum und Pompeji zerstörte. Die gewaltsam hervorbrechenden Gasmassen, die dem Erdinnern entströmten, schoben einen großen Teil des alten Vulkankegels hinweg, dessen Überrest jetzt Monte Somma genannt wird, und die niederfallenden Aschenmassen, mit ausfließenden Lavaströmen vermischt, bauten den neuen Vesuv auf. Dieser hat bei späteren Ausbrüchen sein Aussehen oft bedeutend verändert, und auch im Jahre 1906 einen neuen Aschenkegel bekommen. Nach dem Jahre 79 gab es neue Ausbrüche in den Jahren 203, 472, 512, 685, 993, 1036, 1139, 1500, 1631 und 1660, also in ganz unregelmäßigen Zeitintervallen. Seither ist der Vesuv in fast ununterbrochener Tätigkeit gewesen, meist in ganz ungefährlicher Weise, so daß

nur die Rauchwolke über dem Krater anzeigte, daß die innere Glut stets fortbestand. Sehr heftige Ausbrüche fanden statt in den Jahren 1794, 1822, 1872 und 1906.

Ganz anders als diese heftig tätigen Vulkane verhalten sich andere, die kaum nennenswerten Schaden verursachen. Solch einer ist der Stromboli zwischen Sizilien und Kalabrien. Dieser ist seit Jahrtausenden in beständiger Tätigkeit, seine Ausbrüche folgen sich in Zwischenräumen, die zwischen weniger als einer Minute und zwanzig Minuten variieren. Sein Feuer dient den Seefahrern als ein natürlicher Leuchtturm. Selbstverständlich ist auch die Kraft dieses Vulkans ungleich zu verschiedenen Zeiten; im Sommer 1906 soll er in ungewöhnlich heftiger Tätigkeit gewesen sein. Sehr ruhig verlaufen auch meistens die Ausbrüche der großen Vulkane auf Hawaii.

Unter den von den Vulkanen ausgestoßenen Stoffen ist Wasserdampf der hauptsächlichste. Deshalb bildet die Wolke über dem Krater das sicherste Kennzeichen von der Tätigkeit des Vulkans. Bei heftigen Ausbrüchen werden diese Dampfmassen hoch hinauf in die Luft bis etwa 8 Kilometer weit geschleudert, wie umstehende Bilder zeigen.

Aus der Höhe des Vesuvs, 1300 m über dem Meeresspiegel, kann man die Höhe der Wolke abschätzen. Umstehendes Bild gibt eine Zeichnung von Poulett Scrope wieder, die den Ausbruch des Vesuvs im Jahre 1822 darstellt. An jenem Tage scheint Windstille geherrscht zu haben. Die Dampfmassen bilden da eine Wolke von regelmäßiger Form, die an eine Pinie erinnert. Nach Plinius' Beschreibung war die Wolke beim Ausbruch des Vesuvs im Jahre 79 von gleicher Beschaffenheit. Ist die Luft nicht so still, so nimmt die Wolke eine unregelmäßigere Form an (Fig. 3). Wolken, die zu so großen Höhen, wie die obengenannten, emporsteigen, zeichnen sich durch starke elektrische Ladungen aus. Die kräftigen Blitze, die aus der schwarzen Wolke hervorschießen, verstärken noch den Eindruck des furchtbaren Schauspiels.

Der Regen, der aus dieser Wolke niederstürzt, ist oft mit Asche vermischt und daher schwarz wie Tinte. Die Asche hat eine zwischen hellgrau, gelbgrau und braun bis fast schwarz wechselnde Farbe und besteht aus ganz kleinen Lavatropfen, die von den ausströmenden Gasen ausgeworfen werden und an der Luft rasch erstarren. Größere Lava-



Fig. 2. Der Ausbruch des Vesuvs im Jahre 1822, nach gleichzeitiger Handzeichnung von Poulett Scrope.

tröpfen erhärten zu vulkanischem Sand oder sogenannten lapilli (d. h. Steinen) und „Bomben“, die durch den Widerstand der Luft oft gefurcht und birnenförmig werden. Diese festen Produkte verursachen gewöhnlich den größten Schaden bei vulkanischen Ausbrüchen. Das Gewicht der niederfallenden Massen (Fig. 4) drückte 1906 Hausdächer ein. Ein 7 m dickes Aschenlager bettete Pompeji in die schützende Decke, die es bis zu den Ausgrabungen in unsern Tagen eingehüllt

hat. Dabei schmiegte sich die feine Asche und der mit Regen vermischte Schlamm dicht wie eine Gipsform um die toten Körper; sie verhärtete sich nachher zu einer Art Zement, und da die Zersetzungsprodukte der toten Körper fortgespült wurden, so konnte man mit Hilfe der so entstandenen Formen die naturgetreuesten Abgüsse der darin eingebettet gewesenen Gegenstände erhalten. Auf dieselbe Art bildet sich, wenn die Asche ins Meer fällt, ein Lager von



Fig. 3. Ausbruch des Vesuvs im Jahre 1872 nach Photographie.

vulkanischem Tuff, in welchem Sectiere und Meeresalgen eingehüllt liegen: solchergestalt ist der Boden in der Landschaft Campagna Felice bei Neapel. Größere, von unzähligen Gasblasen durchsetzte Steine schwimmen als Bimsstein auf dem Meer herum und werden von den Wogen allmählich zu vulkanischem Sand zersetzt. Der umhertreibende Bimsstein ist durch seine große Masse der Schifffahrt zuweilen gefährlich oder hinderlich. Das war z. B. der Fall beim Krakatoa-Ausbruch 1883.

Außer Wasserdampf werden auch andere Gase ausgestoßen, an erster Stelle Kohlensäure, aber auch Schwefel-

dampf und Schwefelwasserstoff, Chlorwasserstoff und Salmiak, sowie seltener Eisen- und Kupferchloride, Borsäure und andere Stoffe. Ein großer Teil dieser Körper schlägt sich wegen der plötzlichen Abkühlung der Vulkangase rasch an den Vulkanwänden nieder; die flüchtigeren Bestandteile, wie Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und Chlorwasserstoff, können sich auf größere Strecken verbreiten und durch ihre Hitze und Giftigkeit alles Menschen- und Tierleben vernichten, das in die Bahn des Gasstromes gelangt. Das war zum Beispiel der Fall bei der entsetzlichen Verwüstung von St. Pierre, wo 30000 Menschenleben durch den Ausbruch des Mont Pelée am 8. Mai 1902 zerstört wurden. Das Ausströmen von Wasserstoffgas, das beim Austritt aus der Lava an die Luft zu Wasser verbrennt, hat man im Krater Kilauea beobachtet.

Die Vulkanasche wird bisweilen von den Luftströmungen große Strecken weit fortgeführt, so von der Westküste Südamerikas zu den Antillen, von Island nach Norwegen und Schweden, vom Vesuv (1906) nach Holstein. In dieser Hinsicht am besten bekannt ist der Ausbruch des Krakatoa, bei dem die feine Asche bis 30 km Höhe geschleudert und die feinsten Partikelchen nach und nach von den Winden nach allen Teilen der Erde getragen worden sind, wo sie während der nächsten zwei Jahre die prachtvollen Sonnenaufgänge und -Untergänge verursachten, die den Namen „der rote Schein“ erhielten. Auch nach dem Ausbruch des Mont Pelée beobachtete man in Europa den roten Schein. Der Staub vom Krakatoa lieferte auch das Material zu den 1883—1892 beobachteten sogenannten „leuchtenden Nachtwolken“, die in ungefähr 80 km Höhe schwebten und deshalb lange nach Sonnenuntergang noch von der Sonne beleuchtet wurden.

Besonders großes Interesse hat der Krater Kilauea auf dem hohen Vulkan Mauna-Loa auf Hawaii — dieser Vulkan ist ungefähr so hoch wie der Mont Blanc — erregt. Der Krater bildet einen großen Lavasee von etwa 12 Quadrat-

kilometer, jedoch bedeutend mit der Zeit wechselnder Ausdehnung. Die kochende, rotglühende Lava entsendet beständig Gasmassen unter leichten Explosionen, wobei Feuerfontänen von ungefähr 20 m Höhe in die Luft spritzen. Hie und da ergießt sich die Lava durch Spalten in der Kraterwand und fließt an der Seite des Berges entlang, bis die Oberfläche des Lavasees bis unter die Spalten gesunken ist. Diese Lava ist gewöhnlich von verhältnismäßig leicht-



Fig. 4. Ausbruch des Vesuvs im Jahre 1906 nach Photographie — hauptsächlich Aschenwolken.

flüssiger Beschaffenheit und breitet sich daher ziemlich gleichmäßig über große Flächen aus. Ähnlich sind auch die Lavafluten, die sich bisweilen über Tausende von Quadratkilometern auf Island ergießen; — besonders großartig war der sogenannte Laki-Ausbruch des Jahres 1783, der, obwohl in unbewohnter Gegend stattfindend, doch recht großen Schaden verursacht hat. In älteren geologischen Perioden, besonders im Tertiär, haben sich ähnliche, ungeheuer große

Lavadecken beispielsweise über England und Schottland ausgebreitet (über 100 000 Quadratkilometer), über Dekkan in Indien (400 000 Quadratkilometer, bis zu einer Höhe von mitunter 2000 m) und über Wyoming, Yellowstone-Park, Nevada, Utah, Oregon und andere Teile der Vereinigten Staaten von Nordamerika sowie British Columbia.

In andern Fällen enthält die langsam ausfließende Lava massenhaft Gase, die, beim Erstarren der Lava entweichend, dieselbe in rauhe, ungleiche Blöcke zersprengen und so die sogenannte Blocklava bilden (Fig. 5). Auch die Lavaströme können unendliche Verwüstung zuwege bringen, wenn sie sich zu bewohnten Gegenden herniederwälzen; doch wegen ihrer langsamen Bewegung verursachen sie nur geringen Verlust an Menschenleben.

Wenn die vulkanische Tätigkeit allmählich nachläßt oder aufhört, so bleiben gewöhnlich Spuren davon in Gestalt von Gas- oder Warmwasserausströmungen zurück, wie man in manchen Gegenden beobachtet, wo während der Tertiärzeit mächtige Vulkane ihre Lavaströme aussandten. Hierher gehören die berühmten Geysir auf Island, im Yellowstone-Park (Fig. 6) und auf Neuseeland; die in der Heilkunde hochgeschätzten warmen Quellen in Böhmen (z. B. Karlsbader Sprudel), die Wasserdampf exhaliierenden Fumarolen in Italien, Griechenland und andern Ländern; die Mofetten mit ihren Kohlen-säureausströmungen — solche kommen häufig vor im sogenannten Eifelgebiet in der Nähe des Rheins, in der Hundsgrotte bei Neapel und im Tal des Todes auf Java —; die Solfataren, die Schwefeldämpfe, Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxyd aussenden (man findet sie bei Neapel auf den phlegreischen Feldern und in Griechenland), sowie manche der sogenannten Schlammvulkane, die Schlamm, Salzwasser und Gase ausstoßen (gewöhnlich Kohlensäure und Kohlenwasserstoffe), zum Beispiel die bei Parma und Modena in Italien, wie auch die bei Kronstadt in Siebenbürgen.

Die erloschenen Vulkane, von denen manche zu den höchsten Bergen der Erde gehören, wie der Aconcagua in Süd-



amerika (6970 m) und der Kilimandjaro in Afrika (6010 m), sind oft einer raschen Zerstörung durch den Regen ausgesetzt, weil sie zum großen Teil aus losem Material, vulkanischer Asche mit zwischengelagerten Lavaströmen, aufgebaut sind. Diese, welche sich radial erstrecken, schützen tiefer liegende Teile vor der Fortschwemmung durch Wasser, und es entstehen auf diese Weise an den Kanten der Lavaströme



Fig. 5. Blocklava auf Mauna Loa.

förmliche Schnitte durch den alten Vulkan und auch durch tieferliegende sedimentäre Erdschichten.

Ein interessantes Beispiel dieser Art bildet der alte Vulkan Monte Venda bei Padua. Man kann dort beobachten, wie der sedimentäre Kalkstein durch die darüber fließende heiße Lava bis zu einer Tiefe von etwa 1 m in Marmor verwandelt worden ist. Bisweilen ist auch Kalkstein, der über der Lavadecke liegt, so verwandelt worden, woraus hervorgeht, daß die Lava nicht bloß über den Rand des

Fig. 6. Geysier „Excelsior“ im Yellowstone-Park, Nord-Amerika. Nachwirkung einer kräftigen vulkanischen Wirksamkeit in der Tertiärzeit.



Kraters geflossen ist, sondern sich auch aus der Seite herausgedrängt hat, aus Spalten zwischen zwei verschiedenen Kalksteinschichten. Derartige massige unterirdische Ergüsse kommen in den sogenannten Lakkolithen in Utah und im Kaukasus vor. Dort sind die obenliegenden Schichten von der nachdrängenden Lava heraufgepreßt worden, die indessen erstarrte, ehe sie an die Erdoberfläche gelangen und einen Vulkan bilden konnte. Ähnlichen Ursprungs sind eine ganze Reihe Granite, sogenannte Batholithen, die hauptsächlich in Norwegen, Schottland, Java usw. vorkommen. Mitunter ist nur ein Kern von erstarrter Lava von dem ganzen feuerspeienden Berg übrig geblieben. Diese Kerne, die ursprünglich die Krateröhre füllten, sind sehr häufig in Schottland und Nordamerika, wo sie „Necks“ genannt werden (Fig. 7).

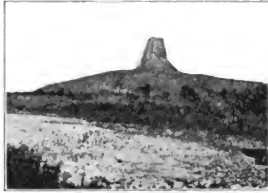


Fig. 7. Mato Tepee in Wyoming, Vereinigte Staaten von Nord-Amerika.  
Ein typischer vulkanischer „Neck“.

Im Coloradoplateau haben einige Flüsse sogenannte Cañons mit fast vertikalen Wänden

ausgescheuert. Eine Zeichnung von Dutton zeigt eine solche über 800 m hohe Wand, in der vier lavagefüllte Spalten sich an die Oberfläche gedrängt haben (Fig. 8). Über der einen befindet sich noch ein kleiner vulkanischer Aschenkegel, während diejenigen, die wahrscheinlich die drei andern Spalten abgeschlossen hatten, weggespült sind, so daß die Gänge mit kleinen „Necks“ abschließen. Offenbar hat sich leichtflüssige Lava — ein starker Gehalt an Magnesia und Eisenoxyd macht die Lava leichtflüssiger, als ein solcher an Kieselsäure, und die Dünnflüssigkeit wird außerdem erhöht durch die Anwesenheit von Wasser — in die früher dort befindlichen Spalten eingedrängt und die Erdoberfläche erreicht, ehe sie erstarrte. Man muß annehmen, daß die

treibende Kraft ziemlich bedeutend war, sonst hätte die nötige Ausströmungsgeschwindigkeit nicht erreicht werden können.

Als der Krakatoa 1883 in die Luft gesprengt wurde, blieb die Hälfte des Vulkans übrig. Diese zeigt sehr deutlich den Durchschnitt eines Aschenkegels, der nur ganz geringe Einwirkung von der Zerstörungsarbeit des Wassers erlitten hat. Man sieht da in der Mitte den hellen Lavapfropfen in der Vulkan-

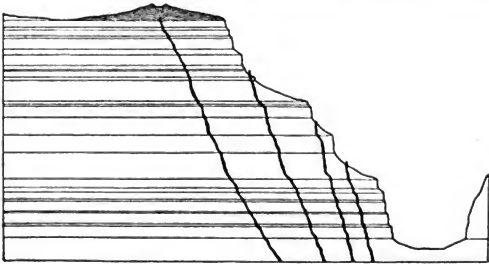


Fig. 8. Mit Lava gefüllte Risse und ein vulkanischer Aschenkegel in Torowheap-Canon Colorado-Plateau. Schematische Zeichnung.

röhre und von diesem ausgehend hellere Lavabetten, zwischen denen dunklere Aschenlager erscheinen.

Übrigens hat man in bezug auf die Verteilung der Vulkane auf der Erdoberfläche eine auffallende Regelmäßigkeit beobachtet. Fast alle Vulkane liegen in der Nähe des Meeres; einige befinden sich wohl im Innern von Ostafrika, aber sie liegen dafür in der Nähe der großen Seen am Äquator. Einige Vulkane, die man als in Zentralasien gelegen angibt, sind zweifelhaft. Übrigens vermißt man Vulkane an manchen Meeresküsten, wie in Australien und an den langen Küstenlinien des nördlichen Eismees, nördlich von Asien, Europa und Amerika. Nur wo sich große Spalten in der Erdkrinde längs der Meeresküste finden, kommen Vulkane vor. Wo solche Spalten existieren, das Meer (oder sehr große Binnenseen) in der Nähe aber fehlt, wie z. B. in den österreichischen Alpen, gibt es

auch keine Vulkane; dafür sind diese Gegenden wegen ihrer Erdbeben bekannt.

Schon frühzeitig hat sich die Anschauung geltend gemacht, daß die geschmolzene Masse des Erdinnern sich durch die Vulkane zur Oberfläche drängt. Man hat versucht, die Tiefe der Vulkanherde abzuschätzen, ist jedoch zu ganz verschiedenen Resultaten gelangt. So hat man beispielsweise für den Herd unter dem Vulkane Monte Nuovo, der im Jahre 1538 auf den phlegreischen Feldern bei Neapel aufgeworfen worden ist, Tiefen zwischen 1,3 und 60 km berechnet, für den Krakatoa hat man mehr als 50 km gefunden usw. Alle diese Berechnungen sind ziemlich bedeutungslos, denn die Vulkane liegen wahrscheinlich auf Falten der Erdkruste, durch welche die flüssige Masse (Magma) keilförmig aus dem Inneren der Erde herausdringt, so daß sich vermutlich schwer angeben läßt, wo der Magmaherd aufhört und die Vulkanröhre anfängt. Beim Kilauea hat man unwillkürlich den Eindruck, als ob man vor einer Öffnung der Erdrinde stünde, durch welche die geschmolzene Masse des Erdinnern direkt zutage tritt (Fig. 9).

Was die Erdrinde betrifft, so weiß man durch Beobachtungen in Bohrlöchern in verschiedenen Weltteilen, daß die Temperatur mit der Tiefe ziemlich rasch steigt, — im Durchschnitt um ungefähr  $30^{\circ}$  auf 1 km. Die tiefsten Bohrlöcher sind übrigens nicht ganz 2 km tief (Paruchowitz in Schlesien 1,96, Schladebach bei Merseburg 1,72 km). Steigt nun die Temperatur um  $30^{\circ}$  C auf jeden weitem Kilometer, so muß bei einer Tiefe von 40 km eine Hitze herrschen, bei der alle gewöhnlichen Gesteinsarten schmelzen. Nun steigt ja gewiß der Schmelzpunkt mit dem Druck, aber die Bedeutung dieses Umstandes ist zu sehr übertrieben worden, wenn man glaubte, daß deshalb das Innere der Erde möglicherweise fest sein könne. Wie Tammann durch direkte Versuche gezeigt hat, steigt die Schmelztemperatur nur bis zu einem gewissen Druck, um nachher bei weiterer Drucksteigerung wieder zu sinken. Die oben angegebene Tiefe ist des-

halb nicht ganz richtig; aber wenn man annimmt, daß andere Gesteinsarten sich wie Diabas — nach Barus — verhalten, d. h. daß ihr Schmelzpunkt um  $1^{\circ}$  C für 40 Atmosphären Druck steigt, entsprechend 155 m Tiefe, so findet man, daß die feste Erdrinde keine größere Dicke als zwischen 50 und 60 km haben kann. Bei größerer Tiefe fängt also schon die geschmolzene Masse an. Wegen ihrer größeren Leichtigkeit konzentriert sich die Kieselsäure in den oberen Schichten des Schmelzflusses, während die stärker eisenoxydhaltigen, die



Fig. 9. Der Krater Kilaueas auf Hawai.

sogenannten basischen Teile des Magmas, vermöge ihrer Schwere sich vornehmlich in dessen tieferen Teilen sammeln.

Dieses Magma haben wir uns als eine äußerst zähe, dem Asphalt ähnliche Flüssigkeit vorzustellen. Durch Untersuchungen von Day und Allen ist gezeigt worden, daß an den Enden gestützte Stäbe ( $30 \times 2 \times 1$  mm) von verschiedenen Mineralien, wie den Feldspatarten Mikroklin und Albit, ihre Form während drei Stunden behielten, ohne merkbar gekrümmt zu werden, obgleich ihre Temperatur ungefähr  $100^{\circ}$  C über dem Schmelzpunkt lag, und sie beim Herausnehmen aus dem

Ofen vollkommen geschmolzen oder richtiger verglast waren. Diese Silikate verhalten sich ganz anders als die Substanzen, mit denen wir gewöhnlich arbeiten, wie Wasser und Quecksilber.

Die Bewegung und Diffusion, die im Magma stattfindet, besonders in dessen sehr zähflüssigen, oben gelegenen sauren Partien, ist daher äußerst gering, so daß das Magma, gleich wie der Albit bei den Versuchen von Day und Allen sich scheinbar wie ein fester Körper verhält. Das Magma von nahe beieinander gelegenen Vulkanen wie Aetna, Vesuv und Pantellaria kann daher, wie die Erfahrungen über deren Laven zeigen, eine ganz ungleiche Zusammensetzung haben, ohne daß man deshalb mit Stübel annehmen müßte, daß diese drei Vulkanherde vollständig voneinander isoliert seien.

An der Lava des Vesuvs hat man eine Temperatur von 1000—1100° C am unteren Ende des Stromes gefunden. Aus dem Auftreten gewisser Kristalle in der Lava, wie von Leucit und Olivin, deren Bildung vor dem Austritt der Lava aus dem Krater man aus bestimmten Gründen annimmt, zieht man den Schluß, daß ihre Temperatur nicht höher als etwa 1400° C gewesen sein kann, ehe sie die Vulkanröhre verließ.

Es wäre indessen unrichtig, aus der Temperatur der Vesuvlava zu schließen, daß der Vulkanherd in einer Tiefe von gegen 50 km liegt. Seine Tiefe ist wahrscheinlich viel geringer, vielleicht nicht einmal 10 km, denn hier wie überall, wo Vulkane vorkommen, ist die Erdrinde stark gefurcht, so daß das Magma an gewissen Stellen, wo eben gerade die Vulkane sich befinden, der Erdoberfläche viel näher kommt, als anderwärts.

Die Bedeutung des Wassers für die Bildung der Vulkane beruht vermutlich darauf, daß dasselbe in der Nähe von Spalten unter dem Meeresboden in die Tiefe niederdringt. Wenn es eine Schicht von einer Temperatur von 365° erreicht (der sogenannten kritischen Temperatur des Wassers), so kann es nicht mehr in flüssigem Zustand bestehen. Das

hindert aber nicht, daß es, wenn auch vergast, noch weiter in die Tiefe dringt. Sobald es das Magma erreicht, wird es von diesem in hohem Grade absorbiert. Das kommt daher, daß Wasser bei Temperaturen von über 300° eine stärkere Säure ist, als Kieselsäure, die deshalb von ihm aus ihren Verbindungen, nämlich den Silikaten, welche den Hauptbestandteil des Magma bilden, verdrängt wird. Je höher die Temperatur ist, desto größer wird das Vermögen des Magmas, Wasser aufzusaugen. Durch diese Wasseraufnahme schwillt das Magma an und wird gleichzeitig leichtflüssiger. Das Magma wird daher ausgepreßt durch die Wirkung eines Druckes, der vollkommen dem osmotischen Druck beim Eindringen von Wasser in eine Lösung, von beispielsweise Zucker oder Salz, entspricht. Dieser Druck kann so stark werden, daß er Tausende von Atmosphären erreicht. Eben durch diesen Druck kann das Magma durch die Vulkanröhre emporgehoben werden, auch wenn deren Höhe bis zu 6000 m über dem Meer ansteigen sollte. Wenn das Magma nun in der Vulkanröhre emporsteigt, wird es allmählich abgekühlt, und seine Fähigkeit, Wasser festzuhalten, vermindert sich mit der Temperatur. Das Wasser entweicht daher unter heftigen Siedeerscheinungen und reißt Tropfen oder größere Massen von Lava mit sich, die dann als Asche oder Bimsstein niederfallen. Auch nachdem die Lava aus dem Krater geflossen ist und sich langsam abkühlt, gibt sie immer mehr Wasser ab und zerreißt dabei unter Bildung von Blocklava. Steht dagegen die Lava im Vulkankrater verhältnismäßig still, wie im Kilauea, so entweicht das Wasser langsamer, und infolge der langen Berührung der obersten Lavaschicht mit der Luft verbleibt ihr vergleichsweise wenig Wasser — dies ist sozusagen ausgelüftet — und ihre Ströme bilden daher beim Erstarren glattere Oberflächen.

In manchen Fällen konnte man (Stübel und Branco) Vulkane nachweisen, die nicht im Zusammenhang mit Bruchspalten in der Erdrinde stehen. Das ist zum Beispiel der Fall mit einigen Vulkanen aus älterer (Tertiär-)Zeit in Schwaben.



Man kann sich wohl vorstellen, daß der Druck durch das Anschwellen des Magma so groß wird, daß er imstande ist, die Erdrinde an dünnen Stellen zu durchbrechen, auch wenn sich vorher keine Spalte da befand.

Setzen wir nun die Betrachtung des Magma in größerer Tiefe fort, so finden wir keine Ursache anzunehmen, daß die Temperatur gegen das Innere der Erde zu nicht weiter steige. In einer Tiefe von 300—400 km muß die Temperatur schließlich so hoch werden, daß kein Stoff dort anders als in Gasform bestehen kann. Innerhalb dieser Schicht muß daher das Erdinnere gasförmig sein. Auf Grund unserer Kenntnisse vom Verhalten der Gase bei hohen Temperaturen und Drucken sind wir zu der Annahme gekommen, daß die Gase im Innersten der Erde sich ungefähr wie ein äußerst zähflüssiges Magma verhalten; in gewisser Hinsicht kann man sie noch am ehesten mit festen Körpern vergleichen. Besonders ihre Zusammendrückbarkeit ist sehr gering. Man könnte glauben, daß es unmöglich wäre, irgend etwas von dem Verhalten dieser Schichten zu erfahren; durch Erdbeben haben wir indessen einige Kenntnis davon erlangt. Diese Schichten machen den weitaus größten Teil der Erdmasse aus und müssen ein ganz bedeutendes spezifisches Gewicht haben, denn dasjenige der Erde ist im Durchschnitt 5,52, und die äußeren Schichten, wie das Weltmeer und die uns bekannten Erdmassen, haben geringere Dichte (Die gewöhnlichen Gesteinsarten besitzen eine Dichte zwischen 2,5 und 3). Man hat deshalb angenommen, daß die innersten Teile der Erde metallisch sind, besonders Wiechert hat diese Ansicht verfochten. Vermutlich bildet Eisen den Hauptbestandteil in diesem Erdgas. Dafür spricht der Umstand, daß Eisen — wie uns die Spektralanalyse lehrt — einen besonders wichtigen Bestandteil der Sonne ausmacht; weiter daß die metallreichen Teile der Meteoriten hauptsächlich aus Eisen bestehen; und schließlich deutet der Erdmagnetismus darauf, daß sich Eisen in großen Mengen im Erdinnern findet. Man hat auch Grund zu glauben, daß das in der

Natur vorkommende Eisen, z. B. das bekannte Eisen von Ovikak in Grönland, vulkanischen Ursprungs ist. Die Stoffe im gasförmigen Innern der Erde verhalten sich infolge ihrer Dichte in chemischer und physikalischer Hinsicht ungefähr wie Flüssigkeiten. Da solche Metalle, wie Eisen, sicher auch bei sehr hohen Temperaturen ein weit höheres spezifisches Gewicht als ihre Oxyde haben, und diese wieder ein höheres als ihre Silikate, so müssen wir annehmen, daß die Gase im tiefsten Innern der Erde fast ausschließlich aus Metallen bestehen, die äußeren Teile dagegen hauptsächlich Oxyde enthalten und die alleräußersten meist Silikate. — In bezug auf das zu oberst liegende geschmolzene Magma ist es wahrscheinlich, daß dieses, wenn es in höhere Schichten in Form von Batholithen eindringt, infolge der Abkühlung in zwei Teile geteilt wird, wovon der eine leichter und gasförmig ist, Wasser und darin lösliche Bestandteile enthaltend, während der andere, der schwerere, zur Hauptsache aus Silikaten mit geringem Wassergehalt besteht. Der leichtbewegliche wasserreiche Teil sondert sich in den höheren Schichten ab, dringt in die umgebenden sedimentären Lager ein, besonders in deren Spalten, und füllt sie mit großen Kristallen, oft von metallurgischem Wert, wie Zinn-, Kupfer- und andere Erze, während das Wasser durch die darüberliegenden Teile langsam verdunstet. Die trägflüssige Silikatmasse dagegen erstarrt infolge ihrer Zähigkeit zu Glas, oder, wenn die Abkühlung langsam vor sich geht, zu kleinen Kristallen.

Wir gehen nun zu den Erdbeben über. Kein Land ist von Erdbeben vollkommen verschont. In den Gegenden um die Ostsee herum und besonders im nördlichen Rußland treten sie indessen in ganz ungefährlicher Form auf. Das kommt daher, daß die Erdrinde hier durch lange geologische Zeiträume ungestört liegen geblieben und nicht gespalten worden ist. Das verhältnismäßig starke Erdbeben, das am 23. Oktober 1904 besonders die Westküste Schwedens in ungewöhnlich heftiger Weise heimsuchte, doch ohne nennenswerten Schaden zu verursachen (einige Schornsteine

wurden heruntergeschlagen), rührte von einer für unsere nördlichen Verhältnisse ziemlich bedeutenden Falte draußen im Skagerrak her, einer Fortsetzung der tiefsten Falte auf dem Boden der Nordsee, der sogenannten „norwegischen Rinne“, die der norwegischen Küste parallel verläuft. In Deutschland werden das Vogtland i. S. und die mittleren Rheingegenden recht häufig von Erdbeben getroffen. Dasselbe gilt von der Schweiz. In Europa werden Spanien, Italien und die Balkanhalbinsel, sowie die österreichischen sogenannten Karstländer verhältnismäßig oft von Erdbeben heimgesucht.

Nach einem von der British Association eingesetzten Komitee zur Untersuchung von Erdbeben, welches sehr wesentlich zur Kenntnis dieser wichtigen Naturphänomene beigetragen hat, rühren diejenigen, die von einiger Bedeutung sind, von bestimmten Zentren her, die auf umstehender Karte angegeben sind (Fig. 10). Unter diesen ist das wichtigste das, welches Hinterindien, Sundainseln, Neu-Guinea und Nord-Australien umfaßt, auf der Karte mit F bezeichnet. Von diesem Gebiet sind in der sechsjährigen Periode 1899—1904 nicht weniger als 249 Erdbeben ausgegangen, die auf weitab gelegenen Observatorien beobachtet worden sind. Das genannte Erdbebenzentrum hängt nahe zusammen mit dem mit E bezeichneten japanischen, von dem 189 Erderschütterungen ausgingen. Dem zunächst kommt mit 174 Beben der weit ausgedehnte Distrikt K, der die wichtigsten Falten in der Rinde der alten Welt mit Bergketten von den Alpen bis zum Himalaya umfaßt. Dieser Distrikt ist interessant, weil er eine große Menge Erdbeben aufweist, obwohl er fast ganz und gar auf Land liegt. Danach kommen die Gebiete A, B und C mit 125, 98 und 95 Beben. Sie liegen bei den großen Bruchflächen der Erdrinde längs der amerikanischen Küste des Stillen Ozeans und im karaischen Meer. Dasselbe gilt vom Distrikt D mit 78 Erdbeben. Die drei letztgenannten B, C und D, sowie der Distrikt G zwischen Madagaskar und Indien mit 85 Beben, werden allerdings scheinbar übertroffen vom Distrikt H im östlichen Atlantik mit seinen 107 Erd-

erschütterungen. Diese letzteren sind indessen verhältnismäßig schwach, und ihre sorgfältige Aufzeichnung ist wahrscheinlich dem Umstande zu verdanken, daß eine große Anzahl Erdbeben-Observatorien in nächster Umgebung dieses Distrikts liegen. Dasselbe ist der Fall mit den wenig zahlreichen Beben im Distrikte I vor Neu-Fundland, und J zwischen Island und Spitzbergen mit resp. 31 und 19 Erschütterungen. Als letzter der Liste kommt der Distrikt L um den Südpol herum mit 8 Erdbeben. Diese geringe Zahl

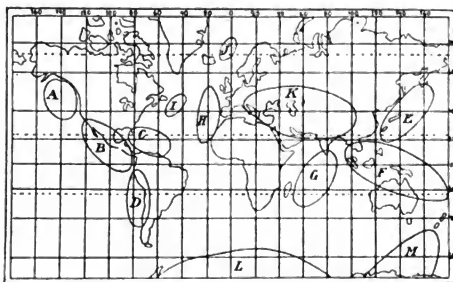


Fig. 10. Die hauptsächlichsten Centra der Erdbeben nach der Untersuchung der British Association.

beruht wohl auf dem Mangel an Beobachtungsorten in jenen Gegenden. Schließlich ist noch ein neuer Distrikt M hinzugekommen, der sich nach SSW von Neu-Seeland erstreckt. Aus diesem stammen nicht weniger als 75 starke Erdbeben, die von der Discovery-Expedition ( $70^{\circ}$  s. Br.,  $178^{\circ}$  ö. L.) zwischen 14. März und 23. November 1903 registriert worden sind.

Die Erdbeben treten gewöhnlich in sogenannten Schwärmen auf. So zählte man im März 1868 mehr als 2000 Erdstöße auf Hawaii. Bei den Erdbeben, die 1870—1873 die Landschaft Phokis in Griechenland verwüsteten, beobachtete man lange Zeit Stöße, die einander mitunter in Zwischenräumen von drei Sekunden folgten. Auf die  $3\frac{1}{2}$  Jahre

umfassende Erdbebenzeit berechnet man etwa eine halbe Million Stöße und eine Viertelmillion unterirdische, aber nicht von merklichen Erschütterungen begleitete Geräusche. Unter diesen Erdbeben richteten gleichwohl nur etwa 300 nennenswerten Schaden an, und nur 35 erachtete man der Erwähnung in den Zeitungen wert. Auch der Stoß vom 23. Oktober 1904 gehörte zu einem vom 10. bis zum 28. Oktober dauernden Schwarm, wobei zahlreiche kleine Stöße, besonders am 24. und 25. Oktober, sich bemerkbar machten. Das Erdbeben in San Francisco fing am 18. April 1906 um 5 Uhr 12 Min. 6 Sek. vormittags an (pazifische Zeit) und schloß 5 Uhr 13 Min. 11 Sek., hatte also eine Dauer von 1 Minute und 5 Sekunden. Innerhalb der darauffolgenden Stunde wurden zwölf kleinere Stöße beobachtet. Vor 6 Uhr 52 Min. nachmittag hatte man weitere neunzehn Erschütterungen notiert, und verschiedene kleinere Stöße folgten noch in den nächsten Tagen.

Bei dieser Art des Auftretens kommen gewöhnlich schwächere Stöße vor den heftigen, zerstörenden, und dienen mithin als eine Art Warnungszeichen. Aber oft ist das auch leider nicht der Fall, so z. B. bei den Erdbeben, die 1755 Lissabon und 1812 Caracas zerstörten, und denen, welche so große Verheerungen in Agram 1880, und nun zuletzt in San Francisco 1906 anrichteten. Ein nicht sehr schweres Erdbeben ohne schwächere Vorläufer traf 1881 Ischia, während die heftige Katastrophe, die 1883 diese herrliche Insel verwüstete, mehrere Warnungszeichen vorausschickte. Diesen furchtbaren Erdbeben folgen auch in den meisten Fällen noch einige geringere Erschütterungen, wie 1906 in San Francisco und Chile. Sehr selten sind die aus einem einzigen Stoß bestehenden Beben, wie das von Lissabon 1755.

Die heftigen Erderschütterungen verursachen oft große Spalten im Boden. Solche zeigten sich in San Francisco an mehreren Stellen. Eine von den größten findet sich bei Midori in Japan; sie entstand bei dem Erdbeben vom 20. Oktober 1891. Eine „Verwerfung“ von Erdschichten, bis zu 6 m in

vertikaler und 4 m in horizontaler Richtung, rührt davon her. Diese Spalte ist nicht weniger als 65 km lang. Andere bedeutende Spalten bildeten sich bei Erdbeben in Kalabrien 1783 am Monte Sant' Angelo und im Sandstein des Bálpakráim-Plateaus in Indien 1897. In Berggegenden ereignen sich oft Bergstürze als Folge von Spaltenbildungen und Erschütterungen. Eine Menge Felsblöcke stürzten im Verlauf des phokischen Erdbebens bei Delphi herab. Am 25. Januar 1348 stürzte infolge eines Erdbebens ein großer Teil des jetzt von Touristen vielbesuchten Berges Dobratsch (Villacher Alp) in



Fig. 11. Risse in Valentia Street, San Francisco, nach dem Erdbeben 1906.

Kärnten ein und begrub 2 Städte und 17 Dörfer. Das Erdbeben vom 18. April 1906 in Kalifornien ging von einer Erdspalte aus, die sich von der Mündung des Alder Creek bei Point Arena an erstreckt, dann fast parallel mit der Küstenlinie meist auf dem Lande läuft, aber bei San Francisco ein Stück weit in die See, dann zwischen Santa Cruz und San José wieder ins Land sich wendet und hierauf über Chittenden bis Mount Pinos, eine Strecke von ungefähr 600 km in der Richtung  $N 35^{\circ} W$  nach  $S 35^{\circ} O$  weiter läuft. Längs dieser Spalte haben sich die beiden Erdschollen verschoben, so daß sich das südwestlich der Spalte gelegene Stück nach Nordwest um ungefähr 3 m, stellenweise sogar bis 6 m bewegt hat.

In einigen Gegenden — Sonoma und Mendocino county — hat sich die südwestliche Scholle etwas gehoben, doch nie mehr als 1,2 m. Dieses ist die längste Spalte, die bei einem Erdbeben beobachtet wurde.

Nach dem Erdbeben kehrt die Erdoberfläche oft nicht in ihre ursprüngliche Lage zurück, sondern nimmt eine mehr oder weniger wellenartige Form an. Das kann man natürlich am leichtesten da beobachten, wo Straßen oder Eisenbahnen sich auf dem Erdbebengebiet befinden. So wird berichtet, daß die Geleise der Straßenbahn in Market Street, der Hauptstraße von San Francisco, nach dem Erdbeben große Wellen bildeten.

Infolge von Verschiebungen in der Erdrinde und gleichzeitig entstehenden Spalten werden Flüsse in ihrem Lauf verändert, Quellen versiegen und andere bilden sich neu. Das war auch beim Erdbeben 1906 in Kalifornien der Fall. Das Grundwasser stürzt oft mit großer Heftigkeit hervor, Sand, Schlamm und Steine mit sich reißend, die manchmal zu kraterförmigen Erhöhungen aufgetürmt werden (Fig. 12). Bei solchen Gelegenheiten kommt es auch oft zu weitausgedehnten Überschwemmungen. Durch das Hereinbrechen einer derartigen Flut wurde das alte Olympia in ein Lager von Flußsand eingebettet, das einen Teil der alten griechischen Meisterkunstwerke — zum Beispiel die berühmte Hermesstatue — vor Zerstörung bewahrte. Die Flut ist nachher zurückgegangen, und die Schätze des alten Olympia konnten ausgegraben werden.

Ebenso wie die natürlichen Wasseradern durch Verschiebungen in der Erdrinde verändert werden, bersten bei derartigen Gelegenheiten auch Wasserleitungen, wodurch große Verwüstungen teils direkt entstehen, teils mehr indirekt, weil dadurch die Möglichkeit, die beim Einstürzen von Häusern oft ausbrechenden Feuersbrünste zu löschen, im höchsten Grad erschwert wird. Das war auch die Ursache der größten materiellen Verluste bei der Verwüstung von San Francisco.

Noch schwereren Schaden richteten die durch die Erdbeben verursachten gewaltigen Meereswogen an. Wir haben schon früher die Flutwelle bei Lissabon von 1755 erwähnt, durch welche ein Wogenswall bis zur schwedischen und norwegischen Westküste geworfen wurde. Im Jahre 1510 verschlang eine derartige Wasserwoge in Konstantinopel 109 Moscheen und 1070 Wohnhäuser. Eine andere Flutwelle brach beim



Fig. 12. Sandkrater und Risse, entstanden beim Erdbeben in Korinth 1861.  
Im Wasser Zweige von überfluteten Bäumen.

Erdbeben am 15. Juni 1896 in Kamaishi auf der Insel Nippon (Japan) herein, fegte 7600 Häuser hinweg und tötete 27000 Menschen.

Von der verheerenden Flutwelle des Krakatoa 1883 haben wir schon gesprochen. Diese verbreitete sich über den ganzen indischen Ozean und ging am Vorgebirge der guten Hoffnung und Kap Horn vorbei, also rund um die halbe Erde. Fast noch merkwürdiger war die Luftwelle, die sich von dieser Explosionsstelle aus verbreitete.



Während man heftige Kanonaden nicht weiter als ungefähr 150 km hört (in einem einzigen günstigen Fall 270 km), wurde die Eruption auf Krakatoa in Alice Springs auf 3600 und auf der Insel Rodriguez auf fast 4800 km Abstand gehört. Die Barographen auf den meteorologischen Stationen zeigten erst ein plötzliches Steigen, darauf ein starkes Sinken des Luftdrucks und dann noch einige geringere Störungen an. Diese Luftstöße wiederholten sich an einigen Stellen bis zu siebenmal, so daß man schließen kann, die Luftwelle sei dreimal in einer und dreimal in anderer Richtung um die Erde herumgegangen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Luftwelle war 314,2 m in der Sekunde, entsprechend einer Temperatur von  $-27^{\circ}\text{C}$ , welche in etwa 8 km Höhe über der Erdoberfläche vorherrschend ist.

Im letzten Jahrzehnt hat man eine eigentümliche Erscheinung genau verfolgt: Die Pole der Erdachse bewegen sich in einer sehr unregelmäßigen Kurve um ihre Mittellage. Diese Bewegung ist sehr unbedeutend; die Abweichung des Nordpols von der Mittellage geht nicht weiter als bis zu etwa 10 m. Man glaubte wahrzunehmen, daß diese Bewegung des Nordpols plötzliche Veränderungen nach ungewöhnlich heftigen Erdbeben erleidet, besonders wenn mehrere solcher kurz nacheinander auftreten. Das gibt, vielleicht mehr als irgendeine andere Beobachtung, einen Begriff von der Gewalt der Erdbeben, die die ganze schwere Erdmasse aus ihrer Gleichgewichtslage zu rücken vermögen. —

Ein durch Erdbeben verursachter recht bedeutender Schaden, der aber doch der Aufmerksamkeit der meisten entgeht, ist die Zerstörung unterseeischer Kabel durch Erdstöße. Oft zeigt sich dabei, daß die Guttaperchahülle des Kabels geschmolzen ist, was auf vulkanische Eruptionen unter dem Meeresboden hindeutet. Man sucht nunmehr beim Legen von Telegraphenkabeln die Erdbebenzentren zu vermeiden, von deren Lage man durch die Untersuchungen der neueren Zeit sichere Kenntnis erhalten hat.

Man ist immer geneigt gewesen, Erdbeben und vulka-

nische Ausbrüche in Zusammenhang zu bringen. Ganz unzweifelhaft besteht auch ein solcher Zusammenhang bei einer großen Anzahl heftiger Erdbeben. Um diesen zu beweisen, hat das obengenannte englische Komitee folgende Zusammenstellung der Geschichte der Erdbeben auf den Antillen gemacht.

1692. Port Royal, Jamaika, durch Erdbeben zerstört. Land versinkt ins Meer. Eruption des St. Kitts.

1718. Gewaltiges Erdbeben in St. Vincent, mit einer Eruption im Gefolge.

1766—1767. Große Erderschütterungen im nordöstlichen Südamerika, Kuba, Jamaika und den Antillen. Eruption von Sta. Lucia.

1797. Erdbeben in Quito, Verlust von 40 000 Menschenleben. Erdstoß auf den Antillen. Eruption auf Guadeloupe.

1802. Heftiger Stoß in Antigua. Eruption auf Guadeloupe.

1812. Caracas, Hauptstadt von Venezuela, total zerstört durch Erdbeben. — Heftige Stöße in den Südstaaten Nordamerikas, am 11. November 1811 beginnend. Eruptionen auf St. Vincent und Guadeloupe.

1835—1836. Heftige Erderschütterungen in Chile und Zentralamerika. Eruption auf Guadeloupe.

1902, 19. April. Heftige Stöße, durch welche viele Städte in Zentralamerika zerstört wurden. Mont Pélée auf Martinique in Tätigkeit. Ausbruch am 3. Mai. Unterseeische Kabel wurden zerrissen, und das Meer sank zurück. Neue heftige Bewegungen des Meeres am 8., 19. und 20. Mai. 7. Mai Ausbruch auf St. Vincent, Kabel zerstört, 8. Mai heftiger Ausbruch des Mont Pélée. Verwüstung von St. Pierre. Zahlreiche kleinere Erdbeben.

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, welche unruhige Verhältnisse in jenem Teil der Erde herrschen, und wie ruhig und sicher wir es im alten Europa, besonders im Norden, haben. Manche Teile von Zentralamerika werden



diesen Ländern ist die Erdrinde in verhältnismäßig späten Perioden (hauptsächlich Tertiärzeit) durch zahlreiche Spalten zerrissen und zusammengefaltet worden, und ihre Zusammensetzung dauert dort beständig an. Die kleinen Erdbeben, deren man nicht weniger als etwa 30 000 jährlich zählt, stehen in keinem näheren Zusammenhang mit vulkanischen Ausbrüchen, und ebenso ist das der Fall mit einigen der großen Beben, wie zum Beispiel demjenigen, das San Francisco zerstörte.

Man nimmt mit gutem Grund an, daß Erdbeben oft auf dem Meeresboden, wo dieser starkes Gefälle hat, durch Rutschungen von Sediment entstehen, das im Lauf der Zeiten vom Lande ins Meer gespült wurde. Milne glaubt, daß das „Seebeben“ bei Kamaishi, am 15. Juni 1896, solchen Ursprungs war. Sogar die verschiedenartige Belastung der Erde durch ungleichen Luftdruck begünstigt das Zustandekommen von Erdbeben.

Kleinere und mitunter recht heftige Beben treten ziemlich oft in der Umgebung von Wien auf. Auf der Karte sieht man drei Linien, eine AB, „Thermallinie“ genannt, weil längs derselben eine Menge warme Quellen, sogenannte „Thermen“ (Meidling, Baden, Vöslau usw.), vorkommen, die zu Heilzwecken gebraucht werden; eine andere BC, „Kamplinie“ genannt, weil der Fluß Kamp daselbst fließt, und die dritte EF, „Mürzlinie“, wegen der dort entlang fließenden Mürz. Die große Eisenbahnlinie zwischen Wien und Bruck folgt übrigens den Talsenkungen längs AB und EF.

Diese Linien, die vermutlich großen Erdspalten entsprechen, sind als Ausgangsstellen zahlreicher Erdbeben bekannt. Besonders die Gegend um Wiener Neustadt, wo die drei Linien sich schneiden, wird oft von heftigen Erdbeben erschüttert, deren Jahreszahlen teilweise auf der Karte verzeichnet stehen.

Die auf der Karte mit XX bezeichnete Kurve gibt das Ausdehnungsgebiet eines Erdbebens an, das am 3. Januar 1873 von beiden Seiten der Kamplinie ausging. Es ist auf-

fallend, wie weit sich das Erdbeben in der lockeren Erdschicht der Ebene zwischen St. Pölten und Tulln ausbreitete, während die im Nordwesten und Südosten befindlichen Bergmassive Hindernisse für die Weiterverbreitung des Bebens bildeten.

Zu ähnlichen Schlüssen ist man gekommen durch das Studium der Ausbreitung des Erdstoßes, der Charleston in



Fig. 14. Das Bibliotheks-Gebäude der Stanford-Universität in Kalifornien nach dem Erdbeben 1906. Das Bild zeigt die große Widerstandskraft der Eisenkonstruktionen, verglichen mit derjenigen von Mauerwerk. Die Einwirkung des Erdbebens auf hölzerne Konstruktionen ist auf Fig. 11 ersichtlich.

den Vereinigten Staaten von Nordamerika 1886 verheerte, wobei 27 Menschen zugrunde gingen; das war das schlimmste Erdbeben, das diese Staaten vor dem im Jahre 1906 traf. Beim Charleston-Beben bildete das Alleghany-Gebirge ein kräftiges Hindernis für die Ausbreitung der Stöße, die sich aber um so leichter in der losen Erdschicht des Mississippi-

Flußtals fortpflanzen konnten. Auch in San Francisco beobachtete man, daß die ärgste Verwüstung diejenigen Stadtteile traf, die auf lockerem, teilweise aufgefülltem Boden in der Nähe des Hafens lagen, während die auf den berühmten Bergrücken Franciscos erbauten Quartiere verhältnismäßig unbeschädigt blieben, soweit sie nicht von der darauffolgenden, verheerenden Feuersbrunst erreicht wurden. Mit Rücksicht auf die Zerstörungen durch das Erdbeben in San Francisco hat man den Baugrund dieser Stadt in vier Klassen eingeteilt, wovon die erste sich als die sicherste, die letzte als die gefährlichste erwies, nämlich: 1. Felsgrund, 2. zwischen Felsen gelegene Täler, die nach und nach von der Natur aufgefüllt waren, 3. Sanddünen, und 4. durch künstliche Auffüllung gewonnener Boden. Dieser Boden „verhielt sich wie halbflüssiges Gelee in einer Schale“ nach dem Bericht der Erdbebenkommission.

Aus ähnlichen Gründen standen die Wolkenkratzer, die aus Stahl auf tiefliegendem Grund konstruiert sind, am festesten; danach kamen Ziegelhäuser mit gut verbundenen und zementierten Mauern auf tiefem Grund. Die Schwäche der Holzhäuser zeigte sich in der schlechten Verbindung der Balken, welchem Mangel indes abgeholfen werden könnte. Die Vortrefflichkeit der Stahlkonstruktion wird deutlich von dem Bilde, Fig. 14, bewiesen.

Die schwerste Beschädigung bei diesem Erdbeben traf Stellen, die gerade auf der Seite 22 genannten Spalte lagen. Nächst diesen wurden die Orte verwüstet, die, wie Santa Rosa, San José und Palo Alto mit der Stanford-Universität auf losem Erdboden in dem Tal liegen, dessen tiefste Partien von der San Francisco-Bay eingenommen werden. Dagegen erlitten glücklicherweise die reiche kalifornische Universität in Berkeley und das weltberühmte Lick-Observatorium, die beide auf Felsgrund stehen, keinen nennenswerten Schaden.

Eine Kartenskizze (Fig. 15) von Suess gibt die Erdbebenlinien in Sizilien und Calabrien wieder. Diese Gegenden sind,

wie früher erwähnt, von verschiedenen schweren Erdbeben verwüstet worden, von denen das furchtbarste im Jahre 1783 und ein ziemlich schweres 1905 stattfand. Aber sie sind außerdem der Schauplatz zahlreicher kleinerer Erschütterungen.

In ziemlich späten Zeiten hat sich das tyrrhenische Meer hier gesenkt, und der Meeresboden sinkt noch immer weiter. Man sieht auf der Karte fünf gestrichelte Linien, Spalten in der Erdkrinde entsprechend, die einander in der vulkanischen Gegend um die liparischen Inseln schneiden. Außerdem findet

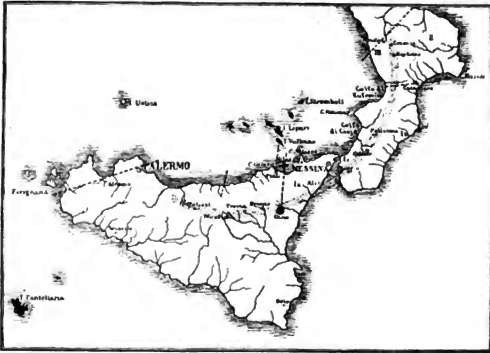


Fig. 15. Erdbeben-Linien im Tyrrhenischen Senkungsgebiet.

sich eine punktierte peripherische kreisbogenförmige Zone, einer Spalte entsprechend, die die Ausgangsstelle für die beiden schweren calabrischen Erdbeben 1783 und 1905 war. Die Erdkruste verhält sich hier ungefähr wie eine Fenster-scheibe, die von einem heftigen Stoß gegen einen Punkt (der Insel Lipari entsprechend) zersprengt wurde. Vom Stoßpunkt strahlen Bruchlinien aus, und die Bruchstücke sind durch bogenförmige Spalten von der umgebenden Erdkrinde abgebrochen. Der Vulkan Aetna liegt auf dem Schnittpunkt der peripheren und einer radialen Spalte.

Wegen der großen praktischen Bedeutung der Erdbeben hat man in letzter Zeit viele seismologische Stationen eingerichtet. Hier werden die Erdbeben von Pendeln registriert, die auf durch ein Uhrwerk getriebene Papierstreifen Linien zeichnen. Finden keine Erdstöße statt, so ist die Linie gerade; bei Erderschütterungen geht sie in eine Wellenlinie über. Wenn die Bewegung des Papiers langsam ist, erscheint diese Wellenlinie nur wie eine Verbreiterung der geraden Linie. Untenstehendes Bild zeigt ein Seismogramm von der Station Shide auf der Insel Wight vom 31. August 1898. Das hier registrierte Erdbeben ging von dem Zentrum G im indischen Ozean aus. Darauf konnte man aus der Ankunftszeit an verschiedenen Stationen schließen. Man sieht auf dem Seismo-

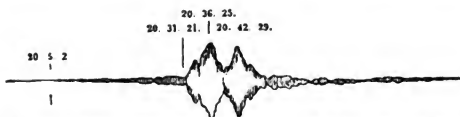


Fig. 16. Seismogramm aufgezeichnet in Shide auf der Insel Wight am 31. August 1898.

gramm eine schwache Verdickung der geraden Linie um 20 h 5 M. 2 Sek. (8 Uhr 5 Min. 2 Sek. nachmittag). Dann schwoll die Linie weiter an, und die heftigsten Stöße trafen 20 h 36 Min. 25 Sek. und 20 h 42 Min. 49 Sek. ein, worauf die Erschütterung unter kleineren Stößen langsam abnahm. Der Stoß von 20 h 5 Min. 2 Sek. wird der erste Stoß genannt. Dieser geht durch das Innere der Erde mit einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 9,2 km pro Sekunde. Er braucht 23 Minuten, um durch die Erde einem Durchmesser entlang zu gehen. Er ist sehr schwach, was man der außerordentlich starken Reibung zuschreibt, wie sie stark erhitzten Gasen, wie den im Erdinnern befindlichen, eigentümlich ist. Der scharfe Stoß um 20, 36, 25 hat seine Ursache in einer Wellenbewegung der festen Erdrinde. Dieser Stoß schwächt sich in viel geringerem Grad ab als der ebengenannte und bewegt sich auch



mit geringerer Geschwindigkeit vorwärts, ungefähr 3,4 km in der Sekunde längs der Erdoberfläche.

Man kann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines Stoßes in einem Quarzberg berechnen, sie ist 3,6 km pro Sekunde, also ziemlich nahe übereinstimmend mit der gefundenen Zahl, was ja auch der Fall sein muß, da die feste Rinde hauptsächlich aus Silikaten, d. h. aus quarzhaltigen Verbindungen besteht, die ähnliche Eigenschaften besitzen.

Auf kurze Entfernungen ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Stoßes geringer, und man beobachtet da oft nicht den ersten schwachen Stoß. Die Geschwindigkeit geht herunter bis gegen 2 km pro Sekunde. Das kommt daher, daß die Fortpflanzungsrichtung des Stoßes teilweise eine Kurve die festeren Teile der Erdrinde hinab beschreibt und teilweise durch losere Schichten geht, welche den Stoß viel langsamer als die festen durchlassen. Beispielsweise lockerer Sandstein 1,2 km, Wasser (im Weltmeer) 1,4 km, loser Sand 0,3 km pro Sekunde. Es ist ersichtlich, daß man aus den Angaben über die Ankunftszeit des ersten Stoßes und des starken Stoßes den Abstand zwischen den Beobachtungsorten und dem Ausgangspunkt des Erdbebens berechnen kann. Bisweilen kommt der scharfe Stoß nach einiger Zeit wieder, wiewohl in abgeschwächtem Grade. Man hat oft beobachtet, daß dieser zweite schwächere Stoß sich so verhält, als ob er rund um die Erde auf dem längsten Weg zwischen Ausgangs- und Beobachtungspunkt gegangen wäre, so wie ein Teil der Luftwellen beim Krakatoa-Ausbruch (siehe S. 25); die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieses zweiten Stoßes ist dieselbe wie die des heftigen.

Milne hat aus seinen Beobachtungen den Schluß gezogen, daß, wenn die Verbindungslinie zwischen dem Ausgangspunkt eines Erdbebens und dem Beobachtungsort an ihrem niedrigsten Punkte nicht tiefer als 50 km unter der Erdoberfläche liegt, der Stoß ungeteilt durch die feste Erdrinde hindurch geht. Aus diesem Grunde schätzt er die Dicke der festen Erdrinde auf etwa 50 km, ein Wert, der fast voll-

kommen mit dem oben (S. 14) aus der Zunahme der Temperatur mit der Tiefe berechneten übereinstimmt. Es verdient vielleicht auch erwähnt zu werden, daß man aus Pendelbeobachtungen die Dichte der Erde in der Nähe der Beobachtungspunkte bestimmte, und daraus schließen zu können glaubte, daß diese Dichte bis zu einer Tiefe von 50—60 km eine ziemlich wechselnde ist und erst dann überall gleichartig wird. Diese 50—60 km entsprechen der festen Erdrinde.

Die Bewegung der Stöße in der Erde lehrt uns also, daß unsere Schlüsse, daß die Erdrinde sich nicht besonders tief erstreckt und daß das Innerste der Erde gasförmig ist, der Wirklichkeit sehr nahe kommen. Durch ein genaueres Studium der Seismogramme können wir also hoffen, etwas mehr von den allerinnersten Teilen der Erde zu erfahren, von denen wir bei flüchtigerer Betrachtung leicht glauben könnten, daß sie der wissenschaftlichen Forschung ganz unzugänglich seien.

---

## II.

# Die Himmelskörper, besonders die Erde, als Wohnstätte lebender Wesen.

Man hat nicht leicht einen erhebenderen Eindruck, als wenn man in einer wolkenfreien Nacht das Himmelsgewölbe mit seinen Tausenden von Sternen betrachtet. Sendet man die Gedanken bis zu jenen in unendlicher Ferne flimmernden Lichtern, so drängt sich unwillkürlich die Frage auf, ob sich dort nicht auch Planeten gleich dem unsrigen befinden, die organischem Leben zur Wohnstätte dienen. Welch geringes Interesse hat für uns eine öde Insel in arktischen Gegenden, die nicht die geringste Pflanze hervorbringt, gegenüber einer solchen in den Tropen, auf der sich das Leben in seiner wunderbaren Mannigfaltigkeit entwickelt! So üben auch die fremden Welten eine ganz andere Anziehungskraft auf unsere Gedanken aus, wenn wir sie uns belebt denken können, als wenn wir sie uns als tote im Raum umherschwebende Massen vorstellen müssen.

Auch in bezug auf unsern eigenen kleinen Planeten, die Erde, müssen wir uns ähnliche Fragen vorlegen. War sie immer mit einem grünen Pflanzenkleide bedeckt, oder ist sie jemals unfruchtbar und öde gewesen? Und wenn dem so ist, welches sind die Bedingungen für ihre gegenwärtige hohe Aufgabe, Träger lebender Wesen zu sein? Daß die Erde im Anfang „öde und leer“ war, ist unzweifelhaft, mögen wir nun entweder annehmen, daß sie durch und durch glühflüssig war, was wohl am wahrscheinlichsten ist, oder daß sie sich, wie Lockyer und Moulton meinen, durch Zusammenhäufung von

Meteorsteinen gebildet habe, die, in ihrer Bewegung aufgehalten, glühend geworden sind.

Wie wir oben sahen, besteht die Erde wahrscheinlich aus einer Gasmasse, die von einer äußerlich festen, nach innen zu zähflüssigen Hülle umgeben ist. Man nimmt mit gutem Grund an, daß die ganze Erde ursprünglich ein von der Sonne — die sich selbst noch in diesem Zustand befindet — abgesonderter Gasball war. Durch Ausstrahlung in den kalten Weltraum verlor der Gasball, der sich in der Hauptsache ungefähr so verhielt wie unsere nunmehrige Sonne, allmählich seine hohe Temperatur, und schließlich bildete sich eine feste Rinde an seiner Oberfläche. Lord Kelvin hat berechnet, daß es nicht länger als etwa 100 Jahre gedauert habe, bis die Temperatur der Erdkruste auf  $100^{\circ}$  gesunken sei. Wenn auch Lord Kelvins Berechnung nicht ganz richtig sein sollte, so können wir doch wohl behaupten, daß, seit die Erde ihre erste feste Rinde (bei ungefähr  $1000^{\circ}$  Temperatur) bekam, es nicht sehr viele tausend Jahre gewährt habe, bis diese Temperatur unter  $100^{\circ}$  gesunken sei. Lebende Wesen können bei dieser Temperatur sicherlich nicht bestehen, da das Eiweiß der Zellen bei so hohem Wärmegrad sofort gerinnt, wie Eiweiß in einem Hühnerrei. Es wird indessen berichtet, daß in den heißen Quellen auf Neuseeland Algen bei einer Temperatur von über  $80^{\circ}$  vorkommen. Bei einem Besuch im Yellowstone-Park suchte ich mich von der Richtigkeit dieser Angabe zu überzeugen, fand aber, daß Algen nur am Rand der heißen Quellen existieren, wo man die Temperatur auf höchstens  $60^{\circ}$  schätzen konnte. Der berühmte amerikanische Physiologe Loeb gibt an, daß man bei einer Temperatur von mehr als  $55^{\circ}$  in den heißen Quellen Algen nicht mehr antrifft.

Da nun die Temperatur der Erdrinde noch viel schneller von  $100$  auf  $55^{\circ}$  sank, wie von  $1000$  auf  $100^{\circ}$ , so können wir sagen, daß zwischen der Bildung der ersten Erdkruste und der Abkühlung bis auf eine zur Erhaltung des Lebens günstige Temperatur nur wenige Jahrtausende verflossen seien. Seitdem ist aller Wahrscheinlichkeit nach die Temperatur

nie so tief gesunken, daß nicht der größte Teil der Erdoberfläche lebende Wesen hätte tragen können, obgleich dazwischen sogenannte Eiszeiten kamen, in denen die dem Leben unzugänglichen arktischen Regionen weit größere Ausdehnung hatten als jetzt. Ebenso ist das Weltmeer immer zum weitaus größten Teil eisfrei gewesen und konnte daher von Organismen bewohnt werden. Das Erdinnere kühlt sich, wenn auch langsam, immer weiter ab, indem Wärme aus den inneren warmen zu den äußeren kalten Teilen durch die Erdrinde dringt.

Daß die Erde lebenden Wesen zur Wohnstätte dienen kann, hat seinen Grund darin, daß ihre äußeren Teile durch Ausstrahlung sich auf eine geeignete Temperatur (unter  $55^{\circ}$ ), aber doch nicht so stark abkühlen, daß das ganze Weltmeer an der Oberfläche beständig gefroren und die Temperatur auf den Kontinenten immer unter dem Gefrierpunkt wäre. Dieses günstige Zwischenstadium wird dadurch erreicht, daß die Sonnenstrahlung den Wärmeverlust der Erde nach dem Weltenraum hinaus zu ersetzen vermag, und ausreichend ist, größere Teile der Erdoberfläche über der Temperatur des Nullpunktes zu erhalten. Die Temperaturbedingung für das Leben auf einem Planeten wird also nur dadurch aufrecht erhalten, daß auf der einen Seite Licht und Wärme von seiner Sonne in zureichender Menge eingestrahlt werden, während auf der andern Seite eine gleichmäßig starke Ausstrahlung in den Weltenraum stattfindet. Würden Wärmeverlust und Gewinn einander nicht die Wage halten, so könnten die Wärmestände nur von sehr kurzem Bestand sein. So sehen wir, daß die Temperatur der Erdrinde in nur wenigen hundert oder tausend Jahren von  $1000^{\circ}$  auf  $100^{\circ}$  gesunken ist, weil bei diesem hohen Wärmegrade die Ausstrahlung stärker war als die von der Sonne zugeführte Strahlung. Hingegen sind, nach einer Schätzung von Joly, ungefähr 100 Millionen Jahre vergangen, seit das Weltmeer entstanden ist. Die Temperatur auf der Erde hat also diese lange Zeit gebraucht, um von  $365^{\circ}$  (erst bei diesem Wärmegrade kann Wasserdampf sich

zu flüssigem Wasser verdichten) bis auf ihren gegenwärtigen Stand zu sinken; hier wurde wegen der niedrigeren Temperatur der Erde der Unterschied zwischen Aus- und Einstrahlung immer geringer und dadurch die Abkühlung verzögert. Joly hat seine Schätzung auf den Salzgehalt des Meeres und der Flüsse gegründet. Berechnet man wieviel Salz im Meere vorhanden ist und andererseits wieviel ihm davon jährlich durch die Flüsse zugeführt wird, so kommt man zu dem Resultat, daß ungefähr 100 Millionen Jahre nötig gewesen sind, die jetzt im Weltmeer vorhandene Salzmasse aufzuspeichern.

Noch höhere Zahlen erhält man durch die Berechnung der Zeit, die bis zur Ablagerung all der geschichteten oder sogenannten sedimentären Lager verflossen ist. Sir Archibald Geikie schätzt die gesamte Dicke dieser Lager, wenn sie unverrückt liegen geblieben wären, auf etwa 30000 m. Aus der Untersuchung jüngerer Schichtlager folgert er, daß jede meterdicke Schicht 3000 bis 20000 Jahre zu ihrer Bildung erforderte. Um sämtliche sedimentären Lager abzusetzen, war also ein Zeitraum von 90 bis 600 Millionen Jahren notwendig. Der finnische Geologe Sederholm kommt sogar schließlich zu der Summe von 1000 Millionen Jahren.

Eine andere Schätzung geht davon aus, daß, während die Erdoberfläche ihre Temperatur wegen des Wärmegleichgewichts zwischen Sonnenstrahlung und Ausstrahlung in den Weltraum nicht ändert, das Erdinnere sich durch Abkühlung zusammenzieht. Wie weit diese Schrumpfung ging, merkt man an der Bildung der Bergketten, die nach Rudzki 1,6% der Erdoberfläche bedecken. Folglich hat der Erdradius sich um 0,8% zusammengezogen, entsprechend einer Abkühlung von etwa 300°, wozu etwa 2000 Millionen Jahre erforderlich wären.

Ganz neuerdings hat der berühmte Physiko-Chemiker Rutherford eine sehr originelle Methode publiziert, das Alter von Mineralien zu bestimmen. Man weiß, wieviel Helium in einem Jahre aus einer gegebenen Menge Uran oder Thorium entsteht. Nun hat Ramsay den Heliumgehalt des

Uranminerals Fergusonit und des Thorium-Minerals Thorianit bestimmt. Daraus hat Rutherford die seit der Bildung dieser beiden Mineralien verflossene Zeit auf wenigstens 400 Millionen Jahre berechnet, „denn wahrscheinlich ist während der Zeit etwas Helium aus dem Mineral entwichen“. Obgleich diese Bestimmung sehr unsicher ist, so hat es doch ein gewisses Interesse, zu sehen, daß sie auf eine ähnliche Größenordnung des Alters der festen Erdkruste hinweist, wie die anderen Berechnungsweisen.

Während dieser ganzen, fast unbegreiflich langen Periode von 100 bis 2000 Millionen Jahren haben auf der Erdoberfläche wie im Meere Organismen existiert, die sich durchaus nicht gar sehr von den jetzt lebenden unterscheiden. Man muß daher annehmen, daß, wenn auch die Temperatur der Oberfläche in jenen fernen Zeiten etwas höher war als jetzt, der Unterschied gleichwohl nicht besonders groß ist und höchstens  $20^{\circ}$  beträgt. — Die gegenwärtige Mitteltemperatur auf der Erdoberfläche beläuft sich auf  $16^{\circ}$ ; sie wechselt zwischen ungefähr  $-20^{\circ}$  am Nordpol,  $-10^{\circ}$  am Südpol und etwa  $26^{\circ}$  in der Nähe des Äquators. — Der Hauptunterschied zwischen der Temperatur der Erdoberfläche in den ältesten geologischen Perioden, aus welchen Fossilien bekannt sind, und dem gegenwärtigen Zustand scheint vielmehr darin zu bestehen, daß die verschiedenen Zonen jetzt ungleiche Temperaturen haben, während in älteren Zeiten die Wärme fast gleichförmig über die ganze Erde verteilt war.

Dieser lange, fast stationäre Zustand war dadurch bedingt, daß der Wärmegewinn der Erdoberfläche durch Sonnenstrahlung und der Wärmeverlust durch Ausstrahlung sich nahezu vollständig deckten. Daß Wärmezufuhr durch Strahlung von einem sehr heißen Himmelskörper (in unserem Fall der Sonne) für den Bestand des Lebens notwendig ist, unterliegt nicht dem geringsten Zweifel; dagegen dürften die Meisten nicht bedacht haben, daß der Wärmeverlust nach dem kalten Weltenraum oder überhaupt nach einer kälteren Umgebung ebenso notwendig ist. Manchen ist sogar die

Annahme, daß die Erde und auch die Sonne den größten Teil ihrer „Lebenswärme“ durch Ausströmen in den kalten Raum verschwenden, so wenig befriedigend, daß sie glauben, die Strahlung finde nicht gegen den Weltraum, sondern nur zwischen Himmelskörpern statt. Die ganze Sonnenwärme würde also den Planeten und Monden im Sonnensystem zugute kommen, nur ein verschwindender Bruchteil würde den Fixsternsystemen, ihren geringen Gesichtswinkeln entsprechend, zufallen. Wenn das indessen richtig wäre, müßte die Temperatur der Planeten rasch steigen, bis sie derjenigen der Sonne fast gleich und alles Leben unmöglich geworden wäre. Wir müssen also doch annehmen, daß es „am besten ist, wie es ist,“ obgleich die große Wärmeverschwendung die Energie der Sonne beständig schwächt.

Übrigens geht die Ansicht, daß die Sonnenwärme draußen im unendlichen Raum verloren geht, von einer unbewiesenen und höchst unwahrscheinlichen Voraussetzung aus, nämlich der, daß ein äußerst geringer Bruchteil des Himmelsgewölbes mit Himmelskörpern bedeckt ist. Das wäre gewiß richtig, wenn man (wie früher allgemein) annimmt, daß die Mehrzahl der Himmelskörper leuchtend sei. Man hat aber kein sicheres Urteil über die Anzahl und Größe der dunklen Himmelskörper. Um die wahrgenommene Bewegung verschiedener Sterne zu erklären, hat man angenommen, daß sich in deren Nähe unerhört große dunkle Himmelskörper befinden, deren Maße derjenigen unserer Sonne gleichkommen, zuweilen sie sogar übertreffen mag. Aber die Hauptmenge der dunklen Himmelskörper, die von uns die Strahlen dahinterliegender Sterne abhalten, dürften aus kleineren Massen, so wie wir sie bei Kometen und Meteoren beobachten, und zum großen Teil aus sogenanntem kosmischem Staub bestehen. Die Beobachtungen der letzten Jahre mit besonders kräftigen Instrumenten haben dargetan, daß die sogenannten Nebelsterne oder Nebelflecke außerordentlich häufig am Himmelsgewölbe vorkommen. In ihrem Innern befinden sich vermutlich Anhäufungen dunkler Massen.



Außerdem sind die Nebelflecke wahrscheinlich zum größten Teil viel zu lichtschwach, als daß sie von uns wahrgenommen werden könnten. Man kann daher nicht gut anders annehmen, als daß sich Himmelskörper überall im unendlichen Raum, und ungefähr ebenso häufig wie in der nächsten Umgebung unseres Sonnensystems befinden. Die Folge davon ist, daß jeder Sonnenstrahl, wohin er auch gerichtet sein mag, schließlich einen Himmelskörper treffen muß, so daß nichts, weder von der Sonnen-, noch von der Sternenstrahlung, verloren geht.

In gewisser Hinsicht verhält sich die Erde wie eine Dampfmaschine. Damit diese nützliche Arbeit leisten kann, ist es nicht nur nötig, daß ihr, wie jedermann weiß, aus einer Wärmequelle von hoher Temperatur, nämlich von der Feuerstätte und dem Dampfkessel Wärme zugeführt wird, sondern auch, daß die Maschine Wärme abgibt an eine Wärmequelle von niedriger Temperatur, an den Kondensator oder Kühler. Nur dadurch, daß durch die Maschine Wärme von einem Körper von hoher Temperatur auf einen von niedriger Temperatur übertragen wird, vermag sie Arbeit zu verrichten. Und ebenso kann auf der Erde keine Arbeit geleistet werden, und also auch kein Leben existieren, wenn nicht Wärme durch Vermittlung der Erde von einem warmen Körper, der Sonne, nach einer kälteren Umgebung, dem Weltenraum und den darin befindlichen kalten Himmelskörpern übertragen wird.

Die Temperatur der Erdoberfläche beruht, wie wir gleich sehen werden, bis zu einem gewissen Grade auf der Beschaffenheit der sie umgebenden Atmosphäre und besonders auf der Durchlässigkeit der letzteren für Wärmestrahlen.

Wenn die Erde keine Atmosphäre besäße, oder diese vollkommen durchlässig wäre, so würde man bei Kenntnis der Stärke der Sonnenstrahlung nach einem von Stefan aufgestellten Gesetz von der Abhängigkeit der Wärmeausstrahlung von der Temperatur leicht die Mitteltemperatur der Erdoberfläche berechnen können. Unter der wahrscheinlichen Annahme, daß beim mittleren Abstand der Erde von der Sonne die Sonnenstrahlung einem schwarzen Körper,

dessen gegen die Sonnenstrahlen rechtwinkliger Durchschnitt 1 Quadratzentimeter beträgt, 2,5 Grammkalorien in der Minute zuführt, hat Christiansen die Mitteltemperatur an der Oberfläche der verschiedenen Planeten berechnet. Untenstehende Tabelle, die auch den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne enthält (wobei der mittlere Abstand der Erde von letzterer — 149,5 Millionen Kilometer — als Einheit genommen ist), zeigt seine Zahlen.

Planet	Radius nach See	Masse nach See	Mittl. Abstand	Mitteltemp.	Spez. Gewicht nach See
Merkur . . .	0,341	0,0224	0,39	+ 178° (332)	0,564
Venus . . .	0,955	0,815	0,72	+ 65	0,936
Erde . . .	1	1	1	+ 6,5	1
(Mond) . . .	0,273	0,01228	1	+ 6,5 (106)	0,604
Mars . . .	0,53	0,1077	1,52	— 37	0,729
Jupiter . . .	11,13	317,7	5,2	— 147	0,230
Saturn . . .	9,35	95,1	9,55	— 180	0,116
Uranus . . .	3,35	14,6	19,22	— 207	0,388
Neptun . . .	3,43	17,2	30,12	— 221	0,429
Sonne . . .	109,1	332750	0	+ 6200	0,256

Da der Merkur der Sonne stets die gleiche Seite zuwendet, so habe ich für diesen Planeten noch eine Zahl — 332 — beigefügt, die die Mitteltemperatur auf seiner der Sonne zugewendeten Seite angibt, deren heißester Punkt nicht weniger als 397° C erreicht, während die abgewendete Seite eine vom absoluten Nullpunkt — 273° C nicht sehr entfernte Temperatur haben muß. Eine ähnliche Berechnung habe ich für den Mond gemacht, der sich so langsam um seine Achse dreht (einmal in 27 Tagen), daß die Temperatur auf der sonnenbeleuchteten Seite fast ebenso hoch bleibt (106°), wie wenn er immer dieselbe Seite der Sonne zuwendete. Nach dieser Berechnung hat ihr heißester Punkt eine Temperatur von etwa 150°. Die Pole des Mondes und der Teil der sonnenabgewendeten Seite, der am längsten ohne Sonnenschein bleibt, müssen eine den absoluten Nullpunkt wenig übersteigende Temperatur haben. Das stimmt auch gut überein mit der aus den Messungen seiner Wärmestrahlung bestimmten Temperatur des Mondes. Die älteste derartige Messung wurde von Lord Rosse gemacht; er fand, daß die

sonnenbeleuchtete Mondscheibe (also bei Vollmond) gleich viel Wärme ausstrahlt, wie ein (schwarzer) Körper von  $+110^{\circ}$  Celsius. Eine spätere Messung des Amerikaners Very scheint darzutun, daß der heißeste Punkt des Mondes ungefähr  $180^{\circ}$  ist, also ungefähr  $30^{\circ}$  höher, als die Rechnung ergibt. Bei Mond und Merkur, die keine nennenswerte Atmosphäre haben, dürfte die Berechnung nahezu mit der Wirklichkeit übereinstimmen.

Was weiter die Temperatur auf dem Planeten Venus betrifft, so sollte sie sich, wenn die Atmosphäre ganz durchsichtig wäre, auf  $+65^{\circ}$  C belaufen. Wir wissen indessen, daß in der Atmosphäre dieses Planeten dichte, wahrscheinlich von Wassertropfen gebildete Wolken schweben, die uns verhindern, die feste Oberfläche und das Meer auf der Venus zu beobachten. Nach Bestimmungen von Zöllner und Anderen über die Lichtstärke dieses Planeten werfen diese Wolken nicht weniger als 76% des einfallenden Sonnenlichtes zurück, mit andern Worten, der Planet Venus ist ungefähr ebenso weiß wie ein Schneeball. Die Wärmestrahlen werden nicht in so hohem Maße zurückgeworfen; man kann den vom Planeten aufgefangenen Teil auf ungefähr die Hälfte der einfallenden Wärme schätzen. Dadurch wird seine Temperatur bedeutend erniedrigt, obgleich sie teilweise wieder erhöht wird durch die schützende Wirkung seiner Atmosphäre. Die mittlere Temperatur auf der Venus ist daher nicht unbeträchtlich niedriger als die berechnete und dürfte etwa  $40^{\circ}$  C betragen. Darum scheint die Annahme durchaus nicht ungereimt, daß ganz beträchtliche Teile der Venusoberfläche dem organischen Leben günstig sind, besonders die Gegenden um die Pole herum.

Auch auf die Temperatur der Erde haben die Wolken einen sehr stark herabsetzenden Einfluß. Sie schützen ungefähr die Hälfte der Erdoberfläche (52 Prozent) gegen die Sonnenstrahlung. Aber auch bei vollkommen klarem Himmel kommt längst nicht alles Sonnenlicht zum Erdboden herab. Selbst in der reinsten Luft schwebt etwas fein ver-

teiler Staub. Ich habe die Einwirkung dieses Staubes so geschätzt, daß durch sie etwa 17% der Sonnenwärme der Erde verloren geht. Staub und Wolken würden zusammen der Erde 34 % der Wärme entziehen, und das würde einer Temperaturniedrigung von nicht weniger als 28° entsprechen. Jedoch schützen der Staub und die Wassertropfen der Wolken in gewisser Hinsicht gegen die Ausstrahlung der Erde, so daß sich der Totalverlust durch Wolken und Staub auf ungefähr 20° beläuft.

Nun hat man gefunden, daß die Mitteltemperatur der Erdoberfläche etwa 16°, statt der berechneten 6,5°, beträgt, die durch den Einfluß von Staub und Wolken um 20° erniedrigt werden müßte, d. h. bis etwa -14° C. Die beobachtete Temperatur ist also um nicht weniger als 30° höher als die berechnete. Das kommt von der wärmeschützenden Wirkung der Gase in der Luft, wovon gleich gesprochen werden soll (S. 46).

Auf dem Mars gibt es fast keine Wolken. Dieser Planet hat eine äußerst durchsichtige Atmosphäre, und daraus erklärt sich seine hohe Temperatur. Statt der berechneten -37°, besitzt der Mars eine Temperatur von ungefähr +10° C. Das kann man daraus ersehen, daß sich an den Polen des Mars während des Winters weiße Massen, offenbar von Schnee, ansammeln, die dann im Frühling rasch wegschmelzen und sich in dunkel erscheinendes Wasser verwandeln. Mitunter schmelzen die Schneemassen an den Polen des Mars während des Sommers ganz weg, was an den Erdpolen nie geschieht; die mittlere Temperatur des Mars muß deshalb über 0°, wahrscheinlich etwa +10° C sein. Es ist höchst wahrscheinlich, daß organisches Leben auf dem Mars gedeiht. Dagegen ist es ziemlich sanguinisch, aus dem Auftreten der sogenannten Kanäle auf die Existenz intelligenter Wesen auf dem Mars zu schließen. Manche glauben, daß die „Kanäle“ optisch vorgetäuscht sind, jedoch, wie Lowells Photogramme zeigen, mit Unrecht.

Was die übrigen großen Planeten betrifft, so ist die für

deren Oberfläche berechnete mittlere Temperatur sehr niedrig. Diese Berechnung ist indessen ziemlich illusorisch, da diese Himmelskörper wahrscheinlich gar keine feste oder flüssige Oberfläche haben, sondern durch und durch gasförmig sind, was aus ihrem spezifischen Gewicht hervorgeht. Letzteres ist für die inneren Planeten, Mars und unsern Mond mitgerechnet, etwas geringer als für die Erde; der Merkur kommt zuletzt mit einem spezifischen Gewicht von 0,564. Danach ist ein großer Sprung zu den spezifischen Gewichten der großen äußeren Planeten, Jupiter mit 0,23 und Saturn mit 0,116. Etwas höher — um 0,4 herum — liegen die spezifischen Gewichte der beiden äußersten Planeten, welche Daten recht unsicher sein dürften. Diese Zahlen sind von derselben Größenordnung wie die für die Sonne geltende 0,25, und von der Sonne wissen wir, daß sie, abgesehen von einigen kleinen Wolkenbildungen, durch und durch gasförmig ist. Es ist daher wahrscheinlich, daß auch die äußeren Planeten, vom Jupiter (inklusive) an, gasförmig und von dichten Wolkenschleiern umgeben sind, die uns verhindern, ins Innere zu sehen. Man kann deshalb nicht gut annehmen, daß diese Planeten Aufenthaltsort lebender Wesen sein können. Eher könnte man sich ihre Monde so vorstellen. Wenn diese keine Wärme von ihrem Planeten empfangen, würden sie die oben angegebenen Temperaturen ihrer Zentralkörper annehmen. Von unserem Mond aus erscheint die Erde unter einem 3,7mal so großen Gesichtswinkel wie die Sonne. Daraus läßt sich leicht berechnen, daß, da die Temperatur der Sonne auf Grund ihrer Strahlung zu  $6200^{\circ}$  angenommen wird ( $6500^{\circ}$  absolute Temperatur), der Mond ebensogroße Wärmezufuhr von der Erde erfahren würde, wenn diese eine Temperatur von etwa  $3100^{\circ}$  ( $3380$  abs.) hätte. Als die ersten Wasserwolken sich in der Erdatmosphäre bildeten, war die Temperatur ungefähr  $360^{\circ}$  C, und die Strahlung von der Erde zum Mond war da nur 1,25 Tausendstel derjenigen der Sonne. Die gegenwärtige Strahlung von der Erde erreicht nicht einmal ein Zwanzigstel

dieses Betrages. Daraus erhellt, daß die Erdstrahlung keine merkbare Rolle im Wärmehaushalt des Mondes spielt.

Ganz anders wäre das Verhältnis, wenn die Erde Jupiters 11,6 oder Saturns 9,3mal größeren Durchmesser hätte. Dann würde die Strahlung der Erde gegen den Mond ein Sechstel resp. ein Neuntel der gegenwärtigen Sonnenstrahlung betragen, wenn die Temperatur der Erdoberfläche  $360^{\circ}$  wäre. Hieraus kann man leicht berechnen, daß Jupiter und Saturn ebensoviel Wärme gegen einen Mond in 240 000 resp. 191 000 km Entfernung ausstrahlen würden (da der Abstand des Erdmondes von der Erde 384 000 km beträgt), wie die Sonne gegen den Mars, alles per Quadratcentimeter, wenn die Temperaturen der besagten Planeten  $360^{\circ}$  wären. Nun befinden sich sowohl bei Jupiter wie bei Saturn Monde in geringerer Entfernung (126 000 resp. 186 000 km), als die genannten, und es ist also gar nicht undenkbar, daß diese von ihrem Zentralkörper Wärmemengen empfangen, die das Gedeihen des Lebens ermöglichen, wenn sie eine stark wärmeschützende Atmosphäre besitzen. Schwieriger scheint es mit den Lichtverhältnissen auf diesen innersten Monden bei Jupiter und Saturn zu sein. Wenn deren Planet am stärksten leuchtet, ist seine Lichtstärke nur ein Sechstel resp. ein Neuntel der Sonnenlichtstärke, welche dort nur ein Siebenundzwanzigstel resp. ein Neunzigstel von dem auf der Erde beträgt. Als die Planeten glühend waren, waren ihre Monde ohne Zweifel eine Zeitlang für die Entwicklung des Lebens geeignet.

Daß die Lufthülle eine gegen Wärmeverlust schützende Wirkung ausübt, wurde schon um 1800 herum von dem großen französischen Physiker Fourier angenommen. Seine Ideen wurden nachher von Pouillet und Tyndall weiter entwickelt. Ihre Theorie wird die Treibhaustheorie genannt, weil sie annehmen, daß die Atmosphäre auf dieselbe Art wie das Glas eines Treibhauses wirkt. Glas besitzt nämlich die Eigenschaft, sogenannte helle Wärme durchzulassen, d. h. Wärmestrahlen, die unser Auge auffassen kann; dagegen nicht dunkle Wärme, zum Beispiel solche, wie sie von

einem warmen Kachelofen oder einer erwärmten Erdmasse ausstrahlt. Die Wärme der Sonne ist zum größten Teil hell, sie dringt also durchs Glas des Treibhauses und erwärmt die Erde darunter. Die Strahlung von dieser ist dagegen dunkel und kann daher nicht durch Glas dringen, das also gegen Wärmeverlust schützt, ungefähr wie ein Überrock den Körper gegen allzustarke Ausstrahlung schützt. Langley machte einen Versuch mit einer Kiste, die durch Baumwollpackung gegen starken Wärmeverlust geschützt und auf der der Sonne zugewendeten Seite mit doppeltem Glas gedeckt war. Er fand, daß die Temperatur bis zu  $113^{\circ}$  stieg, während sie im Schatten nur zwischen  $14$  und  $15^{\circ}$  betrug. Der Versuch wurde auf dem 4200 m hohen Pikes Peak in Kolorado ausgeführt, am 9. September 1881 um 1 Uhr 40 nachmittags, also bei besonders starker Sonnenstrahlung.

Nun nahmen Fourier und Pouillet an, daß der Luftkreis um die Erde Eigenschaften hat, die an die des Glases in bezug auf Durchlässigkeit für Wärme erinnern. Das wurde nachher von Tyndall als richtig erwiesen. Die Bestandteile der Luft, die diese Rolle spielen, sind der in verhältnismäßig geringer Menge vorkommende Wasserdampf und die Kohlensäure, sowie Ozon und Kohlenwasserstoffe. Diese Letzteren finden sich in so geringer Menge, daß man sie noch nicht in die Berechnung mit einbezogen hat. In letzter Zeit hat man recht sorgfältige Beobachtungen über Wärmedurchlässigkeit der Kohlensäure und des Wasserdampfes gemacht. Mit ihrer Hilfe habe ich berechnet, daß, wenn alle Kohlensäure — sie beträgt nur 0,03 Volumprozent — aus der Luft verschwände, die Temperatur der Erdoberfläche um etwa  $21^{\circ}$  sinken würde. Durch diese Temperaturerniedrigung würde sich die Menge des Wasserdampfes in der Luft vermindern, worauf ein weiteres, fast ebenso großes Sinken der Temperatur folgen würde. Aus diesem Beispiel sieht man schon, daß verhältnismäßig unbedeutende Änderungen in der Zusammensetzung der Luft sehr großen Einfluß haben

können. Ein Sinken der Kohlensäuremenge der Luft auf die Hälfte ihres jetzigen Betrages würde die Temperatur um ungefähr  $4^{\circ}$  herabsetzen; ein Sinken auf ein Viertel um etwa  $8^{\circ}$ . Andererseits würde eine Verdoppelung des Kohlensäuregehaltes der Luft die Temperatur der Erdoberfläche um 4, eine Vervielfachung sie um  $8^{\circ}$  erhöhen. Dabei würde ein Sinken des Kohlensäuregehaltes die Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Teilen der Erde verschärfen, eine Erhöhung sie wieder ausgleichen.

Nun entsteht die Frage, ob wirklich solche Temperaturveränderungen an der Erdoberfläche beobachtet wurden. Darauf antworten die Geologen: ja. Unserer historischen Zeit ging eine Periode voraus, in der die Temperatur um etwa  $2^{\circ}$  höher war als jetzt. Das wird ersichtlich aus der damaligen Verbreitung der Haselnuß und Wassernuß (*Trapa natans*), von denen man fossile Nüsse an Stellen findet, wo beide Pflanzen wegen der Klimaverschlechterung heute nicht leben können. Vor dieser Zeit war die Eiszeit, von welcher man nun mit Sicherheit weiß, daß sie die Bewohner des nördlichen Europas aus ihren alten Wohnplätzen vertrieb. Man hat viele Anzeichen dafür, daß die Eiszeit in mehrere Abschnitte geteilt war, die von Intervallen mit milderem Klima, sogenannten Interglacialzeiten, unterbrochen wurden. Der Zeitraum, der durch diese Eiszeiten charakterisiert ist, wo die Temperatur — nach Messungen, die man über die Ausbreitung der Gletscher in den Alpen gemacht hat — bis zu etwa  $5^{\circ}$  niedriger war als jetzt, wird von den Geologen auf nicht weniger als ungefähr 100000 Jahre geschätzt. Dieser Zeit ging eine wärmere voraus, in welcher die Temperatur, nach Pflanzenfossilien aus jenen Zeiten zu urteilen, zuweilen um  $8-9^{\circ}$  durchschnittlich höher war als jetzt, und auch weit gleichförmiger über der ganzen Erde (Eocänzeit). Auch in älteren geologischen Perioden scheinen derartige starke Klimawechsel stattgefunden zu haben.

Darf man nun annehmen, daß der Kohlensäuregehalt der Luft sich so geändert hat, daß damit die genannten



Temperaturwechsel erklärt werden können? In bezug auf diese Frage haben Högbom und in späterer Zeit Stevenson bejahend geantwortet. Der Kohlensäuregehalt der Luft ist so unbedeutend, daß die jährliche Kohlenverbrennung, die jetzt ungefähr 900 Millionen Tonnen (1904) erreicht und rasch anwächst,\*) der Atmosphäre etwa ein Siebenhundertstel ihres Kohlensäuregehaltes zuführt. Obgleich das Meer durch Absorption von Kohlensäure hierbei wie ein mächtiger Regulator wirkt, der ungefähr fünf Sechstel der produzierten Kohlensäure aufnimmt, so ist es doch ersichtlich, daß der so geringe Kohlensäuregehalt der Atmosphäre durch die Einwirkung der Industrie im Laufe von einigen Jahrhunderten merkbar verändert werden kann. Daraus erhellt, daß es keine bemerkenswerte Stabilität im Kohlensäuregehalt der Luft gibt, sondern daß derselbe im Lauf der Zeiten wahrscheinlich großen Veränderungen unterworfen war.

Der natürliche Prozeß, durch welchen der Luft die größte Menge Kohlensäure zugeführt wird, ist der des Vulkanismus. Aus den Vulkankratern werden große Massen aus dem Erdinnern kommender Gase ausgeworfen, zum größten Teil aus Wasserdampf und Kohlensäure bestehend, die bei der langsamen Abkühlung der Silikate im Innern der Erde frei werden. Die vulkanischen Erscheinungen sind in den verschiedenen Phasen der Erdgeschichte ganz ungleich stark gewesen, weshalb wir alle Veranlassung haben zu vermuten, daß die Kohlensäuremenge der Luft in Perioden von starker vulkanischer Tätigkeit bedeutend größer als jetzt war, dagegen geringer in vulkanisch stillen Perioden. Professor Frech in Breslau hat zu beweisen gesucht, daß das mit der geologischen Erfahrung übereinstimmt, indem stark vulkanische Zeiten auch ein warmes Klima aufwiesen, und geringer Vulkanismus gleichzeitig mit niedriger Temperatur war. Besonders zeichnete sich die Eiszeit durch nahezu vollkommenes Aufhören des Vulkanis-

---

\*) Sie betrug im Jahre 1890 510, 1894 550, 1899 690 und 1904 890 Millionen Tonnen.

mus aus, und die beiden Perioden zu Anfang und Mitte der Tertiärzeit (Eocän und Miocän), die einen hohen Wärmegrad zeigten, waren auch durch außerordentlich starke vulkanische Tätigkeit gekennzeichnet. Dieser Parallelismus kann noch bis in ältere Zeiten verfolgt werden.

Man kann sich möglicherweise darüber wundern, daß die Kohlensäure in der Atmosphäre nicht beständig vermehrt wird, da der Vulkanismus stets neue Kohlensäuremengen in die Luft hinausbefördert. Es gibt indessen einen Faktor, der allezeit die Kohlensäure der Luft zu verbrauchen bemüht ist, und das ist die Verwitterung. Die Gesteinsarten, die durch das Erstarren der vulkanischen Massen (des sogenannten Magma) zuerst emporkamen, bestanden aus Verbindungen von Kieselsäure mit Tonerde, Kalk, Magnesia, etwas Eisen und Natrium. Diese Gesteine wurden allmählich von der Kohlensäure der Luft und kohlensäurehaltigem Wasser angegriffen, so daß besonders der Kalk, die Magnesia- und die Alkalisalze, sowie in gewisser Hinsicht das Eisen, lösliche Karbonate bildeten, die mit den Flüssen zum Meer geführt wurden. Dort wurden Kalk und Magnesia von den Meerestieren und Algen ausgeschieden, und auf diese Weise Kohlensäure in den sedimentären Lagern aufgespeichert. Högbom berechnet, daß sich in den Kalksteinen und Dolomiten wenigstens 25000 mal soviel Kohlensäure gelagert befindet wie in der Luft. — Chamberlin kommt zu demselben Betrag, zwischen 20000 und 30000, da er die präkambrischen Kalksteine nicht in Betracht zieht. — Diese Schätzung ist wahrscheinlich viel zu gering. — All diese Kohlensäure, die sich in den sedimentären Lagern angehäuft findet, hat die Luft passiert. Ein anderer Prozeß, der der Luft Kohlensäure entzieht, ist die Assimilation der Pflanzen, wobei sie unter Ablagerung von Kohlenstoffverbindungen Kohlensäure aufnehmen und Sauerstoff ausatmen. So wie die Verwitterung steigt die Assimilation mit dem Kohlensäuregehalt. Der polnische Botaniker E. Godlewski zeigte schon 1872, daß verschiedene Pflanzen — besonders sorgfältig unter-

suchte er *Typha latifolia* und *Glyceria spectabilis* — per Zeiteinheit, eine Kohlensäuremenge aus der Luft aufnehmen, die zuerst proportional dem Kohlensäuregehalt der Luft wächst, bis dieser über ein Prozent erreicht hat, und dann bei einem Gehalt von etwa 6 % bei der ersten, 9 % bei der zweiten Pflanze ein Maximum erreicht, worauf die Assimilation bei gesteigertem Kohlensäuregehalt langsam zurückgeht. Nimmt der Kohlensäuregehalt also um das Doppelte zu, so steigt auch der Umsatz in den Pflanzen um den doppelten Betrag. Steigt nun gleichzeitig die Temperatur um 4°, so nimmt dadurch auch die Lebenstätigkeit ungefähr im Verhältnis von 1 zu 1,5 zu, so daß also eine Verdoppelung des Kohlensäuregehaltes eine Steigerung des Kohlensäureverbrauchs der Pflanzen in der ungefähren Proportion von eins zu drei mit sich bringen würde. Ungefähr ebenso dürfte es sich auch mit der Abhängigkeit der Verwitterung vom Kohlensäuregehalt verhalten. Eine Vermehrung des Kohlensäuregehaltes um den doppelten Betrag vermag also die Intensität des Pflanzenlebens sowie der unorganischen chemischen Prozesse auf ihr Dreifaches zu steigern.

Nach der Schätzung des berühmten Chemikers Liebig ist die Menge der von Wasser befreiten organischen Materie, die von einem Hektar Acker, Wiese oder Wald produziert wird, ungefähr gleich, nämlich 2,5 Tonnen pro Jahr in Mitteleuropa. An vielen Stellen in den Tropen ist das Wachstum viel stärker an andern Stellen, in den Wüsten und arktischen Regionen, wieder viel schwächer. Es erscheint daher nicht unberechtigt, Liebig's Zahl als Durchschnittswert für den festen Teil der Erdoberfläche anzunehmen. Von den genannten organischen, hauptsächlich aus Zellulose bestehenden Substanzen macht Kohlenstoff 40 % aus. Hiernach ergibt sich, daß die gegenwärtige jährliche Kohlenproduktion durch Pflanzen 13000 Millionen Tonnen ist, nicht ganz 15mal größer als die Steinkohlenkonsumtion, und ungefähr einem Fünftel des Kohlensäuregehaltes der Luft entsprechend. Wenn daher alle Pflanzen ihre Kohle in Torfmooren ablagern würden, würde

die Luft bald ihrer Kohlensäure beraubt sein. Aber es ist doch nur ein Bruchteil von einem Prozent der produzierten Kohle, was auf diese Weise für die Zukunft aufbewahrt wird. Das übrige geht durch Verbrennung oder Vermoderung in die Masse der atmosphärischen Kohlensäure zurück. -- —

Chamberlin erzählt, daß er nebst fünf andern amerikanischen Geologen zu schätzen versuchte, wieviel Zeit vergehen müßte, bis die Kohlensäure der Luft vom Verwitterungsprozeß verbraucht sein wird. Sie fanden nach verschiedenen Schätzungen Zahlen, die zwischen 5000 und 18000 Jahren wechselten, mit einem wahrscheinlichen Mittelwert von 10000 Jahren. Etwa auf denselben Betrag kann auch der Kohlensäureverlust durch die Torfbildung geschätzt werden. Die durch Verbrennung von fossiler Kohle verursachte Kohlensäureproduktion würde daher etwa siebenmal zur Deckung des Kohlensäureverlustes durch Verwitterung und Torfbildung reichen. Da diese beiden Umstände die hauptsächlichsten kohlensäureverbrauchenden Faktoren sind, so muß der Kohlensäuregehalt der Luft sich in einer beständig starken Zunahme befinden, solange die Konsumtion von fossiler Kohle, Petroleum usw. auf ihrer gegenwärtigen Höhe steht, und noch mehr, wenn dieser Verbrauch, wie es jetzt der Fall ist, rasch anwächst.

Auf Grund des oben Gesagten können wir uns eine Vorstellung machen von der Möglichkeit des enormen Wachstums, das einige Zeiträume der Entwicklungsgeschichte der Erde, zum Beispiel die Steinkohlenperiode, charakterisiert.

Uns ist diese Periode durch die außerordentlich großen Mengen von Pflanzenteilen bekannt, die im Lehm der damaligen Sumpfggenden eingebettet wurden, um nachher allmählich zu verkohlen und in der Gegenwart als Kohlensäure an ihren ursprünglichen Platz im Kreislauf der Natur zurückzukehren. So ist ein großer Teil der Kohlensäure aus der Erdatmosphäre verschwunden und als Kohle, Braunkohle, Torf, Petroleum oder Erdpech in den sedimentären Erdlagern aufgespeichert worden. Gleichzeitig wurde

Sauerstoff frei und ging in das Luftmeer über. Und man hat berechnet, daß die Menge des atmosphärischen Sauerstoffs — 1216 Billionen Tonnen — etwa der Menge von fossiler Kohle entspricht, welche in den sedimentären Schichten aufgespeichert ist. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß aller in der Luft befindliche Sauerstoff sich auf Kosten der Kohlensäure der Luft gebildet hat. Diese Ansicht wurde zuerst von Koehne in Brüssel 1856 ausgesprochen, und sie ist nachher lebhaft diskutiert worden, hat auch an Wahrscheinlichkeit gewonnen. Ein Teil Sauerstoff wird sicherlich bei der Verwitterung verbraucht, z. B. von Schwefeleisen und Eisenoxydulsalzen, so daß ohne dieselbe die Sauerstoffmenge der Luft größer wäre. Aber auf der andern Seite gibt es in den sedimentären Lagern eine Menge oxydabler Verbindungen. z. B. gerade Schwefeleisen, die vermutlich durch Vermittlung von Kohlenstoff (d. h. organischen Körpern) entstanden sind. Ein großer Teil der beim Verwitterungsprozeß Sauerstoff verbrauchenden Körper ist also durch Kohle entstanden, die vorher unter Sauerstoffentwicklung abgeschieden worden war, so daß sie bei ihrer Oxydation in ihre ursprüngliche Form zurückkehren. Wir können uns daher damit begnügen, zu konstatieren, daß die Menge freien Sauerstoffs in der Luft, und freien Kohlenstoffs in den sedimentären Lagern, einander ungefähr entsprechen, und daß also wahrscheinlich aller Sauerstoff der Luft durch den Lebensprozeß der Pflanzen gebildet wurde. Das ist auch aus einem andern Grund einleuchtend. Wir wissen sicher, daß sich freier Sauerstoff in der Sonnenatmosphäre findet, aber daß Wasserstoffgas dort in ganz überwältigender Menge vorkommt. Vermutlich war die Erdatmosphäre ursprünglich von derselben Beschaffenheit, und da mußten bei der allmählichen Abkühlung Wasserstoff und Sauerstoff sich zu Wasser verbunden haben, Wasserstoff aber im Überschuß geblieben sein. Vielleicht fanden sich in der ältesten Erdatmosphäre auch Kohlenwasserstoffe; sie spielen nämlich eine Hauptrolle in den Gasmassen der Kometen. Zu diesen Gasen gesellte sich Kohlensäure und Wasser aus dem

Erdinnern. Der Stickstoff der Luft hat sich vermöge seiner chemischen Trägheit wahrscheinlich im Lauf der Zeiten unverändert erhalten. Ein englischer Chemiker, Phipson, will gezeigt haben, daß sowohl höhere Pflanzen (Ackerwinde) wie niedere (verschiedene Bakterien) leben und sich entwickeln können in einer sauerstofffreien Atmosphäre, die Kohlensäure und Wasserstoffgas enthält. Es ist also möglich, daß es einfache Pflanzenformen gab, ehe die Luft Sauerstoffgas erhielt, und daß diese aus der Kohlensäure der vulkanischen Ausströmungen Sauerstoff produzierten, der so allmählich (möglicherweise unter dem Einfluß elektrischer Entladungen) den Wasserstoff und die Kohlenwasserstoffe der Luft in Wasser und Kohlensäure umsetzte, bis sie verbraucht waren, worauf der Sauerstoff in der Luft verblieb, deren Zusammensetzung sich allmählich dem gegenwärtigen Zustand näherte.\*)

Dieses Sauerstoffgas ist eine wesentliche Bedingung für das Entstehen tierischen Lebens. So wie wir Tierleben höher stellen als Pflanzenleben, so hat Tierleben erst in einem späteren Stadium auftreten können als Pflanzenleben. Letzteres braucht, außer geeigneter Temperatur, nur Kohlensäure

---

\*) Nach Ansicht eines befreundeten Kollegen der Botanik sind die Resultate der Versuche von Phipson sehr zweifelhaft und etwas Sauerstoff für das Gedeihen von Pflanzen nötig. Man hat den Entwicklungsgang sich folgendermassen vorzustellen. Als die Erde aus dem Sonnennebel ausschied, besass sie anfangs auch in den äusseren Teilen eine hohe Temperatur. Bei dieser Temperatur vermochte sie leichtere Gase wie Wasserstoff und Helium nicht während einer längeren Zeit an sich zu fesseln. Dagegen blieben schwerere Gase wie Stickstoff und Sauerstoff. Der ursprüngliche Überschuss des Wasserstoffs, sowie das Helium verschwanden demnach, bevor die Kruste der Erde entstand, so dass in der Atmosphäre der Erde unmittelbar nach der Krustenbildung etwas Sauerstoff neben viel Stickstoff, Kohlensäure und Wasserdampf vorhanden war. Die Hauptmenge des jetzigen Luftsauerstoffs wäre demnach durch Vermittlung von Pflanzen aus Kohlensäure abgeschieden. — Die Ansicht, dass Himmelskörper ihre Lufthülle teilweise verlieren, stammt von Johnstone Stoney. Die Luftgase entweichen um so schneller, je leichter ihre Moleküle sind, und je geringer die Masse des Himmelskörpers. Auf diese Weise erklärt man, dass die kleinen Himmelskörper, wie der Mond und Merkur, fast jede Atmosphäre verloren haben, die Erde dagegen nur den Wasserstoff und das Helium, die wiederum auf der Sonne geblieben sind.

und Wasser, und diese Gase kommen wahrscheinlich in der Atmosphäre aller Planeten vor, als Aussonderungsprodukte ihrer inneren glühenden, langsam sich abkühlenden Massen. Die Anwesenheit von Wasserdampf in der Atmosphäre anderer Planeten, wie der Venus, des Jupiters und Saturns, ist mit Hilfe des Spektroskops direkt bewiesen, sowie indirekt beim Mars (durch das Auftreten von Schnee). Das Spektroskop hat außerdem Andeutungen von der Anwesenheit anderer Gase ergeben, indem es ein intensives Band im roten Teil des Spektrums von Jupiter und Saturn zeigt (Wellenlänge 0,000618 mm). Andere neue Bestandteile unbekannter Natur machen sich im Spektrum des Uranus und Neptuns bemerkbar. Dagegen gibt es auf dem Monde und dem Merkur keine oder nur eine äußerst unbedeutende Atmosphäre. Das ist leicht zu verstehen. Auf der von der Sonne abgewendeten Seite des Merkur ist die Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt. Dort müssen sich alle Gase der Planet-Atmosphäre sammeln und sich kondensieren. Wenn also der Merkur ursprünglich eine Atmosphäre gehabt hat, so muß er sie verloren haben, als er seine freie Rotation einbüßte, um der Sonne beständig dieselbe Seite zuzuwenden. Ähnliche Gründe können für das Fehlen der Mondatmosphäre angeführt werden. Wenn, wie viele Astronomen behaupten, die Venus immer die gleiche Seite der Sonne zuwendete, so würde auch die Venus keine merkbare Atmosphäre mit Wolkenbildung haben. Wir wissen aber, daß dieser Planet einen besonders stark entwickelten Luftkreis hat,\*) und das bildet den stärksten Einwand gegen die Annahme, daß die Venus sich in bezug auf die Drehung um ihre Achse wie Merkur verhält.

Da nun warme und Eiszeiten wechselten, auch nachdem der Mensch auf Erden aufgetreten war, müssen wir uns die Frage vorlegen: ist es wahrscheinlich, daß wir in den

---

\*) Das erhellt aus der starken Lichtbrechung in der Venusatmosphäre, wenn dieser Planet bei sogenannten Venusdurchgängen am Sonnenrand erscheint.

nächsten geologischen Zeitabschnitten von einer neuen Eiszeit heimgesucht werden, die uns aus unserm Land fort nach Afrikas heißerem Klima treiben wird? Es scheint, als ob wir



Fig. 17. Photographische Aufnahme der Mondoberfläche in der Umgebung des Vulkankraters Copernicus, ausgeführt in der Yerkes-Sternwarte in Nord-Amerika. Scala: Durchmesser des Mondes 0,55 m. Infolge der Abwesenheit von Atmosphäre und Niederschlag sind die steilen Kraterwände u. andere Unebenheiten unverändert geblieben.

eine solche Furcht nicht zu hegen brauchten. Schon die für Industriezwecke nötige Kohlenverbrennung ist geeignet, den



Kohlensäuregehalt der Luft merkbar zu vermehren. Außerdem scheint der Vulkanismus, dessen Verheerungen — auf Krakatoa (1883) und Martinique (1902) — in den letzten Zeiten besonders schrecklich gewesen sind, sich im Steigen zu befinden. Es ist daher wahrscheinlich, daß der Kohlensäuregehalt der Luft ziemlich rasch zunimmt. Darauf deutet auch der Umstand, daß das Meer der Luft Kohlensäure zu entziehen scheint, denn der Kohlensäuregehalt über dem Meer und auf Inseln ist im Durchschnitt ungefähr 10 % niedriger als über Kontinenten.

Wenn nämlich die Kohlensäuremenge der Luft sich seit langem unverändert erhalten hätte, so müßte der Kohlensäuregehalt des Wassers Zeit gefunden haben, sich durch Absorption ins Gleichgewicht mit demjenigen der Luft zu setzen. Wenn das Meer nun aus der Luft Kohlensäure absorbiert, so zeigt dies, daß das Meerwasser im Gleichgewicht mit einer Luft stand, die weniger Kohlensäure enthielt als die gegenwärtige Atmosphäre. Die Kohlensäuremenge der Luft hat also in letzter Zeit zugenommen.

Man hört oft Klagen darüber, daß die in der Erde angehäuften Kohlenschätze von der heutigen Menschheit ohne Gedanken an die Zukunft verbraucht werden; und man erschrickt bei den furchtbaren Verwüstungen an Leben und Eigentum, die den heftigen vulkanischen Ausbrüchen in unserer Zeit folgen. Doch kann es vielleicht zum Trost gereichen, daß es hier wie so oft keinen Schaden gibt, der nicht auch sein Gutes hat. Durch Einwirkung des erhöhten Kohlensäuregehaltes der Luft hoffen wir uns allmählich Zeiten mit gleichmäßigeren und besseren klimatischen Verhältnissen zu nähern, besonders in den kälteren Teilen der Erde; Zeiten, da die Erde um das Vielfache erhöhte Ernten zu tragen vermag zum Nutzen des rasch anwachsenden Menschengeschlechtes.

### III.

## Strahlung und Konstitution der Sonne.

In früheren Zeiten und auch in dem jüngst vergangenen Jahrhundert diskutierte man die Frage lebhaft, inwiefern die Stellung der Erde innerhalb des Sonnensystems gesichert sei. Man könnte sich einerseits vorstellen, daß der Abstand der Erde von der Sonne sich vergrößere oder verkleinere; oder auch andererseits, daß die Drehung um ihre Achse aufhört; und träte eine dieser Möglichkeiten in etwas höherem Grade ein, so wäre die Existenz des Lebens auf der Erde bedroht. Das Problem der Stabilität des Sonnensystems ist von den Astronomen untersucht worden; ihre Gönner setzten hohe Preise für eine glückliche Lösung dieser Frage aus. Wenn das Sonnensystem nur aus Sonne und Erde bestände, so wäre seine Dauer für unendliche Zeiten gesichert. Die übrigen Planeten üben indessen eine, wenn auch geringe, Einwirkung auf die Bewegung der Erde aus. Daß diese Einwirkung so unbedeutend bleibt, beruht darauf, daß die gesamte Masse der Planeten nur etwa  $\frac{1}{750}$  der Sonne ausmacht, und ebenso darauf, daß sie sich in nahezu kreisförmigen Bahnen um die Sonne als Mittelpunkt bewegen und deshalb einander nie sehr nahe kommen können. Die Rechnungen der Astronomen zeigen, daß die Störungen auch nur periodisch sind, und zwar in langen Perioden von 50000 bis 2000000 Jahren, so daß die ganze Wirkung sich auf ein unbedeutendes Schwanken der Planetenbahnen um eine Mittel-lage beschränkt.

In dieser Hinsicht ist also alles gut und schön. Aber es gibt andere Himmelskörper, deren Bahnen größtenteils

unbekannt, aber durchaus nicht kreisförmig um die Sonne sind, nämlich Kometen. Die Furcht vor einem Zusammenstoß mit einem derartigen Himmelskörper beschäftigte die Denker des vorigen Jahrhunderts noch lebhaft. Die Erfahrung hat indessen gezeigt, daß Zusammenstöße zwischen Erde und Kometen keine ernsteren Folgen haben. Die Erde ist mehrmals, so 1819 und 1861, durch Kometenschweife hindurchgegangen, ohne daß man es anders als durch die Berechnungen der Astronomen gemerkt hätte. Einmal hat man bei einer solchen Gelegenheit einen nordlichtähnlichen Schein am Himmel beobachten zu können geglaubt. Wenn die Erde in die Nähe der dichteren Teile eines Kometen kam, so regneten diese in Form von Sternschnuppen auf die Erde nieder, ohne nennenswerten Schaden zu verursachen. Das kommt von der geringen Masse der Kometen, die den Lauf der Planeten nicht wahrnehmbar zu stören vermag.

Was schließlich die Drehung der Erde um ihre Achse betrifft, so würde sie durch Ebbe und Flut langsam vermindert werden, da diese wie eine Bremse auf die Erdoberfläche wirken. Dieses Bremsen ist indessen so unbedeutend, daß die Astronomen es in historischer Zeit nicht nachweisen konnten. Das langsame Einschrumpfen der Erde wirkt ihm auch etwas entgegen. Laplace glaubte aus den Beobachtungen über Sonnenfinsternisse in alten Zeiten den Schluß ziehen zu können, daß sich die Länge des Tages seit dem Jahr 729 vor Christus nicht um 0,01 Sekunde geändert hat.

Wir wissen weiter, daß die Sonne, von ihren Planeten begleitet, sich im Himmelsraum auf das Sternbild der Leier zu bewegt, mit der für unsere irdischen Begriffe schwindelnden Schnelligkeit von 20 km in der Sekunde. Auf dieser Fahrt könnten ja die Himmelskörper des Sonnensystems möglicherweise gegen einen uns unbekanntem Himmelskörper stoßen. Da die Himmelskörper aber dünn gesät sind, so können wir darauf rechnen, daß viele Billionen Jahre vergehen werden, ehe eine solche Katastrophe eintritt.

In mechanischer Beziehung scheint hinsichtlich unseres

Planeten alles wohlbestellt. Seit indessen die moderne Wärmelehre ihren Triumphzug durch die Naturwissenschaft angetreten hat, ist die Sachlage eine andere geworden. Man wurde sich klar darüber, daß alles Leben und alle Bewegung auf Erden auf der Sonnenstrahlung beruht. Nur die Wellenbewegung der Gezeiten macht eine ziemlich bedeutungslose Ausnahme. Man muß sich nun fragen: Wird nicht der Kraftvorrat der Sonne, der nicht bloß zu den Planeten geht, sondern zum weitaus größten Teil hinaus in unbekannte Gegenden des kalten Weltenraumes zerstreut wird, einmal ein Ende nehmen, und damit alle Freuden und Sorgen des Erdenlebens? Die Sachlage scheint um so verzweifelter, als von 2300 Millionen Teilen der Sonnenstrahlung nur ein Teil der Erde zugute kommt, und zehnmal so viel dem ganzen Planetensystem mit seinen Monden. Die Sonnenstrahlung ist so kräftig, daß jedes Gramm der Sonnenmasse jährlich zwei Kalorien verliert. Wenn daher die Sonne eine so hohe spezifische Wärme wie Wasser hätte, das in dieser Beziehung die meisten Körper bedeutend übertrifft, so würde die Sonnentemperatur jedes Jahr um zwei Grade sinken. Da man nun die Temperatur der Sonne (in ihren äußersten Teilen) auf 6000—7000° berechnet hat, so müßte die Sonne schon in historischer Zeit vollkommen erkaltet sein. Wenn auch das Innere der Sonne sehr wahrscheinlich eine viel höhere Temperatur hat als die von uns beobachteten äußeren Teile, so müßte man trotzdem erwarten, daß ihre Temperatur und ihre Strahlung in historischer Zeit merkbar abgenommen hätten. Aber alle Dokumente aus dem alten Babylonien und Ägypten scheinen darauf hinzuweisen, daß das Klima beim Anbruch der historischen Zeit in jenen Ländern nahezu dasselbe war wie jetzt, und daß also die Sonne über den ältesten Kulturmenschen auf dieselbe Weise geschienen hat, wie sie heute ihre Strahlen auf deren Nachfolger sendet.

Deshalb wird häufig angenommen, daß die Sonne auf ihrem Wärmekonto nicht bloß eine Ausgaben-, sondern auch eine fast ebensostarke Einnahmeseite hat. Der deutsche Arzt

Mayer, der das unsterbliche Verdienst hat, zuerst Gedanken über den Zusammenhang zwischen Wärme und mechanischer Arbeit ausgesprochen zu haben, lenkte seine Aufmerksamkeit auch auf den Wärmehaushalt der Sonne. Er nahm an, daß Meteorschwärme, die mit rasender Geschwindigkeit (über 600 km pro Sekunde) in die Sonne stürzen, beim Niederfallen ihre Bewegung verlieren, wobei Wärme entsteht (ungefähr 45 Millionen Kalorien pro Gramm Meteor). Nach und nach würde die Reihe auch an die Planeten kommen, die mit dem Opfer ihres eigenen Daseins den erlöschenden Lebensfunken der Sonne für einige Zeit noch erhalten würden. Die Sonne würde also, wie die Sage von Saturn geht, ihre eigenen Kinder fressen, um ihr Leben zu fristen. Wie gering die dadurch gewonnene Hilfe wäre, erhellt daraus, daß der Sturz der Erde in die Sonne die Wärmeausgabe nicht volle hundert Jahre erhalten könnte. Übrigens müßten die Meteore, die der Sonne von allen Seiten ungefähr gleichmäßig zufliegen, schon längst der Drehung der Sonne um ihre Achse ein Ende gemacht haben. Ebenso würde auch infolge der zunehmenden Masse und damit wachsenden Anziehung der Sonne die Länge des Jahres um etwa 2,8 Sekunden im Jahre abnehmen müssen, was vollkommen der Erfahrung der Astronomen widerspricht. Außerdem müßte nach Mayers Hypothese eine entsprechende Anzahl von Meteoren auch auf die Erde fallen, und ihre Oberfläche auf einer Temperatur von etwa 800° C erhalten. (Nach Daten, die im 4. Kapitel angegeben sind.) Diese Ansicht ist also irrig.

Man muß einen anderen Ausweg finden. Helmholtz, wie Mayer einer der bedeutendsten Forscher auf dem Gebiet der mechanischen Wärmetheorie, kam auf den Gedanken, daß statt der fremden Meteoriten die eigenen Teile der Sonne das Fallen gegen den Mittelpunkt übernehmen, oder mit andern Worten, daß die Sonne zusammenschrumpfe, und es werde bei dem hohen Betrag der Schwerkraft (27,4mal größer als an der Erdoberfläche) eine große Wärmemenge dabei frei. Helmholtz rechnete aus, daß zur Deckung der

Wärmeabgabe der Sonne eine Verkürzung ihres Durchmessers von 60 m jährlich nötig wäre. Wenn sich der Sonnendurchmesser um ein hundertstel Prozent verkürzte, was man durchaus nicht nachweisen könnte, so würde dadurch der Wärmeverlust für mehr als 2000 Jahre gedeckt sein. Das scheint ziemlich befriedigend. Geht man aber weiter in der Rechnung, so findet man, daß, wenn die Sonne während 17 Millionen Jahren ebensoviel Wärme wie jetzt jährlich verliert, sie in dieser Zeit sich auf das Viertel ihres gegenwärtigen Volumens zusammenziehen müßte, wodurch sie ungefähr dieselbe Dichte wie die Erde bekommt. Aber lange vorher müßte die Sonnenstrahlung so stark abgenommen haben, daß sie die Erdoberfläche nicht über dem Gefrierpunkt halten könnte. Helmholtz setzte daher die weitere Dauer des Erdenlebens auf rund sechs Millionen Jahre herab. Das ist wenig befriedigend. Aber wir wissen ja nichts von der Zukunft, sondern müssen uns mit Möglichkeiten begnügen. Anders, wenn wir mit Hilfe der Helmholtzschen Hypothese zurückrechnen. Nach dieser, und nach den von Helmholtz verwendeten Daten, kann ein Zustand wie der gegenwärtige nicht länger als etwa zehn Millionen Jahre gedauert haben. Da nun die Geologen zu dem Schluß kommen, daß die Fossilien enthaltenden Schichten der Erde wenigstens hundert Millionen, ja wahrscheinlich tausend Millionen Jahre zu ihrer Bildung bedurften, und da wahrscheinlich die noch älteren Formationen (die sogenannten präkambrischen) in ebenso langen, oder noch längeren Zeiträumen abgesetzt wurden, so sehen wir, wie unbefriedigend die Helmholtzsche Hypothese ist. —

Einen ziemlich eigentümlichen Ausweg aus diesem Dilemma glauben einige Forscher gefunden zu haben. Man weiß, daß ein Gramm der wunderbaren Substanz Radium in der Stunde ungefähr 120 Kalorien abgibt, oder jedes Jahr rund eine Million Kalorien. Diese Strahlung scheint jahrelang unverändert anzuhalten. Wenn man nun annimmt, daß jedes Kilogramm der Sonnenmasse nur zwei Milligramm Radium enthält, so reicht das ja hin, die Wärmeausgabe

der Sonne für alle Zukunft zu decken. Ohne weitere Hilfhypothese können wir eine solche Ansicht nicht annehmen. Sie setzt voraus, daß Wärme aus nichts geschaffen wird. Einige glauben gleichwohl, daß das Radium irgendwie, in uns unbekannter Weise, eine vom Raume kommende Strahlung absorbiert und in Wärme umsetzt. Ehe man sich ernsthaft auf die Diskussion einer solchen Erklärung einläßt, muß man die Frage beantworten, woher diese Strahlung kommt und wo sie ihren Energievorrat holt.

Wir müssen uns daher nach einer andern Quelle zur Deckung der Wärmeabgabe der Sonne umsehen. Aber ehe wir diese finden können, müssen wir die Sonne selbst ein wenig studieren.

Alle sind sich darüber einig, daß die Sonne ebenso beschaffen ist wie die Tausende von leuchtenden Sternen, die wir am Himmel beobachten. Je nach dem von ihnen ausgesendeten Licht werden sie in weiße, gelbe und rote Sterne eingeteilt. Der Unterschied in ihrem Licht tritt noch deutlicher hervor, wenn man sie spektroskopisch untersucht. Die weißen Sterne enthalten ganz überwiegend Helium oder Wasserstoffgas (die Heliumsterne außerdem Sauerstoffgas); Metalle finden sich verhältnismäßig schwach vertreten, diese spielen wiederum eine Hauptrolle in den Spektren der gelben Sterne, woselbst auch einige Spektralbänder sichtbar werden. In den Spektren der roten Sterne zeigen sich viele Spektralbänder, die andeuten, daß sich in deren äußeren Teilen chemische Verbindungen befinden. Wie jedermann weiß, wird ein Platindraht oder der Kohlenfaden in einer Glühlampe, der mittels elektrischen Stroms glühend gemacht wird, zuerst bei schwachem Strom rot, dann bei stärkerem Strom gelblich, und schließlich, wenn die Stromstärke steigt, immer mehr weiß. Gleichzeitig wird auch die Temperatur gesteigert. Mit Hilfe der Glutfarbe kann man also die Temperatur bestimmen. Wenn man die Wellenlänge des Lichts für die Farbe kennt, die die stärkste Wärmewirkung im Spektrum (eigentlich Normalspektrum) des Sterns hat, so ist es leicht, die Tempe-

ratur des Sterns nach einem von Wien aufgestellten Gesetz zu berechnen. Man braucht nur 2,89 mit der genannten Wellenlänge in Millimetern ausgedrückt zu dividieren, so erhält man die absolute Temperatur des Sterns; zieht man dann  $273^{\circ}$  davon ab, so hat man die Temperatur auf gewöhnliche Weise in Celsiusgraden ausgedrückt. Für die Sonne liegt das Maximum der Wärmewirkung bei einer Wellenlänge von 0,00055 mm (in grüngelb). Hieraus berechnet sich die absolute Temperatur der strahlenden Sonnenschicht, der sogenannten Photosphäre, auf  $5255^{\circ}$ , fast  $5000^{\circ}$  C entsprechend. Nun hat indessen der Luftkreis der Erde einen abschwächenden Einfluß auf das Sonnenlicht, und er verursacht auch eine Verschiebung der Lage des Maximums im Spektrum. Dasselbe gilt von der eigenen Atmosphäre der Sonne, so daß die Temperatur höher als  $5000^{\circ}$  ist. Aus der Sonnenstrahlung hat man mit Hilfe des Stefanschen Gesetzes die Sonnentemperatur auf ungefähr 6200 berechnet, einer Wellenlänge von etwa 0,00045 mm entsprechend. Die Korrektion ist, wie man sieht, ganz bedeutend. Ungefähr die Hälfte davon kommt auf die Atmosphäre der Sonne, der Rest auf die der Erde. Ein ungarischer Astronom, Harkányi, hat auf diese Weise die Temperatur mehrerer weißer Sterne bestimmt (Vega und Sirius), und sie um etwa  $1000^{\circ}$  höher als die der Sonne gefunden; der rote Stern Betelgeuze, der leuchtendste im Sternbild des Orion, soll wiederum eine um ungefähr  $2500^{\circ}$  niedrigere Temperatur als die Sonne haben.

Zu dieser Schätzung muß ausdrücklich bemerkt werden, daß unter der Temperatur eines Sterns in diesem Fall die Temperatur eines strahlenden Körpers verstanden ist, der ebensolches Licht aussendet wie das, welches vom Stern zu uns kommt. Das Sternenlicht macht indessen starke Veränderungen durch, ehe es die Erde erreicht. Wie man bei neuen Sternen beobachtet hat, kann ein Stern von einer Wolke kosmischen Staubes umgeben sein, die die blauen Strahlen absiebt, die roten dagegen durchläßt. Der Stern scheint dann



ein weniger blendendweißes Licht zu haben, als wenn die Wolke nicht vorhanden wäre. Und die Folge davon ist, daß die Temperatur niedriger geschätzt wird, als sie in Wirklichkeit ist. Bei den roten Sternen hat man auch das Auftreten von Bändern in ihrem Spektrum beobachtet, die die Anwesenheit chemischer Verbindungen andeuten. Am interessantesten, unter diesen sind die Verbindungen von Cyan und Kohlenstoff mit — wahrscheinlich — Wasserstoff, ähnlich denen, die in dem von Swan beobachteten und nach ihm benannten Spektrum der Gasflammen erscheinen. Man hat früher geglaubt, daß die Anwesenheit dieser Verbindungen niedere Temperatur bedeutet, aber wie wir unten sehen werden, ist das durchaus nicht sicher. Hale hat bei Sonnenfinsternissen beobachtet, daß sich genau dieselben Verbindungen unmittelbar über den leuchtenden Wolken der Sonne finden — wahrscheinlich sind sie in größerer Menge unterhalb, wo die Temperatur ohne Zweifel höher ist, als oberhalb der Wolken vorhanden.

Wie es sich damit auch verhalten mag, so haben wir Grund zu glauben, daß die jetzt gelbe Sonne einstens ein weißer Stern war, wie der strahlende Sirius; daß sie sich allmählich bis zu ihrem gegenwärtigen Aussehen abkühlte, sowie daß sie einmal mit rotem Licht leuchten wird wie Beteigeuze. Sie wird dann nur ein Siebentel der Wärme ausstrahlen, die jetzt in den Raum gesandt wird, und es ist sehr wahrscheinlich, daß die Erde schon lange vorher in eine Eiswüste verwandelt sein wird.

Wie wir oben sahen, üben sowohl die Erd- wie die Sonnenatmosphäre eine starke Absorption auf die Sonnenstrahlen und besonders auf die blauen und violetten Teile des Sonnenlichtes aus. Daher kommt es, daß das Sonnenlicht am Abend röter erscheint, als am Mittag, weil es im ersteren Fall eine dicke Luftschicht zu passieren hat, die das blaue Licht absorbiert. Aus demselben Grunde erscheint bei einer spektroskopischen Untersuchung der Sonnenrand röter als die Sonnenmitte. Diese Lichtschwächung beruht auf feinem Staub

in der Erd- und Sonnenatmosphäre. Wenn starke vulkanische Ausbrüche, wie die oben besprochenen Eruptionen des Krakatoa 1883 und Mont Pélée 1902, die Atmosphäre mit einem feinen vulkanischen Staub erfüllen, so ist bei niedrigem Stand der Sonne das Sonnenlicht stark rotgefärbt, was den sogenannten „roten Schein“ hervorruft.

Untersuchen wir ein Sonnenbild, das mit Hilfe einer Linse oder eines Linsensystems auf einen Schirm geworfen wird, so finden wir oft auf der leuchtenden Sonnenscheibe eine Ansammlung charakteristischer Flecken. Diese Flecken erregten schon Galileis Aufmerksamkeit und wurden ungefähr gleichzeitig von ihm, Fabricius und Scheiner (1610—1611) entdeckt. Sie bilden seitdem den meist beobachteten Gegenstand auf der Sonne, man mißt sorgfältig ihre Anzahl und Größe und kombiniert diese beiden Größen zu den sogenannten Sonnenfleckzahlen. Diese Zahlen ändern sich von Jahr zu Jahr ziemlich unregelmäßig mit einer durchschnittlich 11,1 Jahre betragenden Periodenlänge. Die Flecken erscheinen in zwei Gürteln auf der Sonne und schieben sich im Laufe von etwa 13—14 Tagen über die Sonnenscheibe. Zuweilen erscheinen sie wieder nach weiteren 13—14 Tagen. Man nimmt daher an, daß sie verhältnismäßig still an der Sonnenoberfläche liegen, und daß die Sonne sich in ungefähr 27 Tagen um ihre Achse dreht (so daß dieselben Punkte nach dieser Zeit, der sogenannten synodischen Umlaufzeit, der Erde wieder gegenüberstehen). Das große Interesse, das wir für sie hegen, beruht darauf, daß sich gleichzeitig mit den Flecken verschiedene irdische Erscheinungen ändern, die ihre Maxima gleichzeitig mit ihnen erreichen. Das sind an erster Stelle die Polarlichter und magnetischen Variationen, in geringerem Maß cirrusähnliche Wolken, und Temperaturänderungen, sowie mehrere andere meteorologischen Erscheinungen (vgl. unten Abt. V).

Um die Flecken sieht man sogenannte Fackeln, Partien, die viel heller sind als die Umgebung. Wenn man übrigens ein stark vergrößertes Sonnenbild genau untersucht, so findet

man, daß es ein körniges Aussehen hat (Fig. 18); Langley vergleicht es mit einem grauweißen, von Schneeflocken fast bedeckten Tuch. Die weniger leuchtenden Partien werden

N.

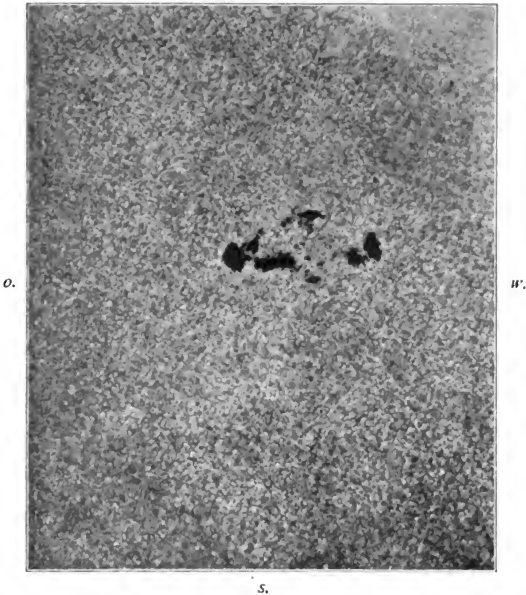


Fig. 18. Photographie einer Fleckengruppe und der Granulation der Sonne, aufgenommen in der Sternwarte zu Meudon bei Paris am 1. April 1884.

„Poren“, die helleren, „Körner“ genannt. Man ist darüber einig, daß die Körner Wolken entsprechen, die wie die Wolken der Erdatmosphäre an der Spitze aufwärts steigender Luft-

5\*

massen entstehen. Während sich die irdischen Wolken aus Wassertropfen oder Eiskristallen bilden, bestehen die „Körner“ wahrscheinlich aus Ruß, d. h. aus kondensiertem Kohlenstoff, und Metall-, z. B. Eisentropfen. Das kleinste Korn, das man beobachten kann, hat einen Durchmesser von etwa 200 km.

Die Fackeln entstehen aus besonders großen Wolkenansammlungen, von starken, weit ausgebreiteten, aufwärtssteigenden Luftmassen getragen, die den irdischen Zyklonen entsprechen. Die Flecken wieder entsprechen herabsinkenden Gasmassen mit steigender Temperatur, die daher „trocken“ sind und gar keine Wolken enthalten, ganz so wie die irdischen Antizyklone. Durch diese Löcher in der Sonnenwolkenwand kann man nun etwas tiefer hineinschauen in die gigantische Gasmasse und bekommt eine Vorstellung von den Verhältnissen in den tieferen Teilen der Sonne. Doch ist natürlich die Tiefe der Wolkenwand nicht besonders groß im Vergleich mit dem Sonnenradius,

Die beste Einsicht in die Natur der verschiedenen Sonnenpartien bekommt man durch das Studium ihrer Spektren. Diese lehren uns nicht nur, aus welchen Bestandteilen sie zusammengesetzt sind, sondern auch, mit welcher Geschwindigkeit sie sich bewegen. Auf diese Weise haben wir erfahren, daß über den leuchtenden Sonnenwolken, die zu uns strahlen, große, die meisten irdischen Grundstoffe enthaltende Gasmassen liegen. Besonders treten darin Eisen, Magnesium, Calcium, Natrium, Helium und Wasserstoff auf. Die letztgenannten Bestandteile, die ja die leichtesten sind, treten besonders stark in den äußersten Schichten der Atmosphäre hervor. Diese Sonnenatmosphäre ist sichtbar, wenn bei Sonnenfinsternissen die Mondscheibe so weit gelangt ist, daß sie die stark leuchtenden Wolken, die sogenannte Photosphäre, bedeckt. Wegen des starken Gehaltes an Wasserstoff leuchtet sie gewöhnlich mit der für diesen Körper charakteristischen Purpurfarbe. Deshalb wird diese Gasschicht Chromosphäre genannt (vom griechischen Chroma = Farbe), sie ist 7000–9000 km dick. Aus ihr steigen Feuerstrahlen

über die Umgebung empor, wie die Halme auf einer Wiese, mit der man ihr Aussehen verglichen hat (Fig. 20–23).

Steigen diese Flammen höher empor, über 15000 km, so nennt man sie Protuberanzen. Ihre Anzahl, sowohl wie

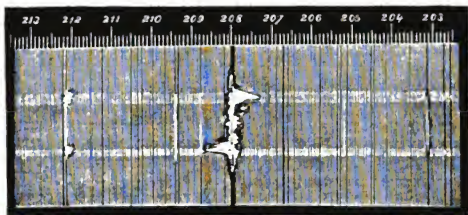


Fig. 19.

Teil des Sonnenspektrums vom 3. Januar 1872, nach Langley. Die hellen horizontalen Bänder stammen von Protuberanzen. In der Mitte die Wasserstofflinie F, stark verzerrt, heftigen Bewegungen entsprechend.

ihre Höhe, wächst mit der Zahl der Sonnenflecke. Sie werden in metallische und ruhige Protuberanzen eingeteilt. Die ersten zeichnen sich durch besonders heftige Bewegung aus,



Fig. 20. Metallische Protuberanz mit wirbelnder Bewegung. Der weiße Fleck gibt die Größe der Erde an.



Fig. 21. Springbrunnen-ähnliche metallische Protuberanz.

was aus den Figuren 20 und 21 ersichtlich wird, und enthalten große Mengen von Metaldämpfen. Sie kommen nur in den Sonnenfleckgürteln vor, die in etwa  $20^\circ$  Abstand vom Sonnenäquator am stärksten ausgeprägt sind. Ihre Bewegung ist so heftig, daß sie oft mehrere hundert Kilometer in der

Sekunde erreicht. Der Ungar Fényi beobachtete sogar am 15. Juli 1895 eine Protuberanz, deren größte Geschwindigkeit längs der Gesichtslinie, spektroskopisch gemessen, 860 km betrug, und deren größte Geschwindigkeit senkrecht dagegen 840 km pro Sekunde erreichte. Diese kolossale Geschwindigkeit zeichnet die höchsten Partien aus, wogegen die niederen Teile, die am dichtesten sind und am meisten Metaldampf enthalten, weniger beweglich sind, was ganz natürlich ist. Ihre Höhe über der Sonnenoberfläche kann sehr große Werte erreichen; dasselbe gilt auch für die ruhigen Protuberanzen. Die ebengenannte Protuberanz vom 15. Juli 1895 erreichte

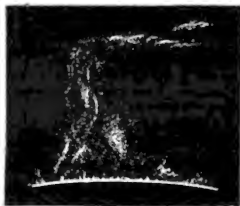


Fig. 22. Rauchsäulenähnliche ruhige Protuberanz.



Fig. 23. Baumförmige ruhige Protuberanz. Der weiße Fleck gibt die Größe der Erde an.

500 000 km Höhe, und Langley hat (7. Oktober 1880) eine von 560 000 km Höhe beobachtet, deren Spitze also nahezu die Höhe eines Sonnenradius (690 000 km) über dem Sonnenrand (der Photosphäre) erreichte. Ihre mittlere Höhe ist ungefähr 40 000 km. Daß man eine so reiche Statistik der Protuberanzen hat, kommt daher, daß, während man sie seit ihrer Entdeckung durch den Gothenburgischen Lektor Vassenius (1733) und bis zum Jahre 1868 nur bei totalen Sonnenfinsternissen wahrnehmen konnte, man im letztgenannten Jahr lernte, sie bei vollem Sonnenlicht mit Hilfe des Spektroskops zu beobachten (Lockyer und Janssen).

Die ruhigen Protuberanzen bestehen fast ausschließlich aus Wasserstoff und Helium; zuweilen enthalten sie Spuren

von Metallgasen. Sie gleichen gewöhnlich ruhig in der Sonnenatmosphäre schwebenden Wolken oder Rauchmassen aus einem Schornstein. Sie können überall auf der Sonne vorkommen, und ihre Stabilität ist so groß, daß man sie mitunter während einer ganzen Sonnenrotation (etwa 40 Tage) beobachten kann, wenn sie nämlich in der Nähe des Pols stehen, so daß man sie die ganze Zeit außerhalb des Sonnenrandes wahrnehmen kann. Fig. 22 und 23 zeigen mehrere solcher Protuberanzen nach Young.

Manchmal sieht man die Materie in den Protuberanzen niederfallen, zurück auf die Sonnenoberfläche, zwischen die

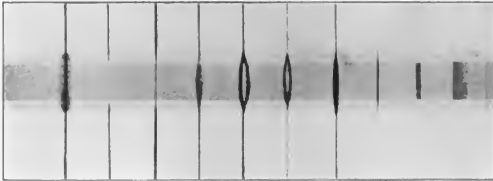


Fig. 24.

Schematisches Bild, den Unterschied des Spektrums eines Fleckes und der Photosphäre angehend. Einige Linien sind im Flecke verstärkt, andere geschwächt. In der Mitte zwei „Umkehrungen“, rechts zwei Bänder. Nach Mitchell.

kleineren, mit Grashalmen verglichenen Feuerflammen (Fig. 21); aber in den meisten Fällen scheinen sie sich aufzulösen; sie verlieren infolge der starken Strahlung ihre Glut und können dann nicht mehr beobachtet werden. Die ruhigen Protuberanzen, die in 50000 km und noch größerer Höhe zu schweben scheinen, befinden sich dort in einem fast luftleeren Raum. Ihre Teilchen können daher nicht, wie die Wassertropfen der irdischen Wolken, von umgebenden Gasen getragen werden. Damit sie sich schwebend erhalten können, müssen sie also durch eine eigentümliche Kraft (Strahlungsdruck von der Sonne weggestoßen werden.

Man kann die Fackeln auf dieselbe Art studieren wie die Protuberanzen, und in der letzten Zeit haben besonders

Deslandres und Hale ein eigens zu diesem Zweck konstruiertes Instrument, den Heliographen, benutzt (Fig. 26–29). Nähern sich die Fackeln dem Sonnenrand, so erscheinen sie im Vergleich mit der Umgebung besonders stark leuchtend, was darauf hindeutet, daß sie in großer Höhe liegen und ihr Licht darum durch die darüberliegende Dunstschicht nicht abgeschwächt werden kann. Erreichen sie den Sonnenrand, so erscheinen sie oft als Erhöhungen der Photosphäre. Die Wolken, die diese Fackeln bilden, werden von starken, aufwärts steigenden Gasströmen emporgetragen, die sich wegen der Abnahme des Gasdrucks nach oben ausdehnen.

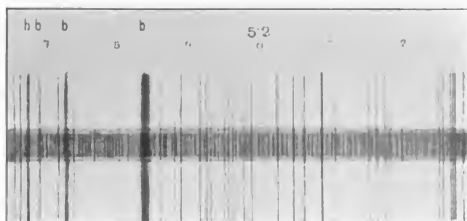


Fig. 25.

Spektrum eines Sonnenflecks. Oben und unten Spektrum der Photosphäre; in der Mitte dasjenige des Fleckes, umgeben von dem des Halbschattens am Fleckenrande. Nach Mitchell.

Die Flecken zeigen viele Eigentümlichkeiten in ihrem Spektrum (siehe Fig. 24 und 25). Man sieht darin besonders deutlich die Heliumlinie. Dasselbe ist der Fall mit den Natriumlinien, die stark ausgebreitet sind und in ihrer Mitte eine leuchtende Linie zeigen (sogenannte Umkehrung der Linien). Das deutet darauf hin, daß das Metall in einer tiefen Schicht verteilt liegt. Im roten Teil des Spektrums finden sich Spektralbänder, ganz wie in den Spektren der roten Sterne; diese Bänder, die übrigens durch starke Instrumente in Massen von Linien aufgelöst werden, deuten auf die Anwesenheit chemischer Verbindungen hin. Da der Fleck verhältnismäßig



N.



S.

Fig. 26. Der große Sonnenfleck vom 9. Oktober 1903, aufgenommen mit dem Photoheliograph in Greenwich. Diese Figur ist nach der gewöhnlichen Weise aufgenommen. Sie zeigt den Fleck in mittlerer Höhe der Calcium-Fackeln. Die zwei folgenden Photographien zeigen einen tieferen und einen höheren Durchschnitt der Calciumfackeln.

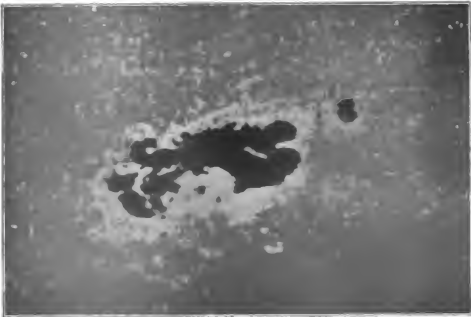


Fig. 27. Der große Sonnenfleck vom 9. Oktober 1903. Photographie der niederen Calcium-Fackeln mit Hilfe des Randes der Spektrallinie H (Calcium). Der Fleck wird nicht durch die Fackeln verdeckt, wenigstens nicht in dem Grade, wie in den folgenden Figuren.

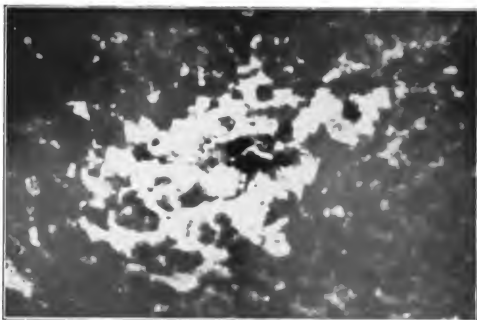


Fig 28. Der große Sonnenfleck vom 9. Oktober 1903. Photographie der höheren Calcium-Fackeln mit Hilfe des mittleren Teiles der Spektrallinie H (Calcium). Die höheren Fackeln verdecken zum großen Teil den Fleck. Dies zeigt, daß die Fackeln sich während ihres Aufstiegens stark ausbreiten.

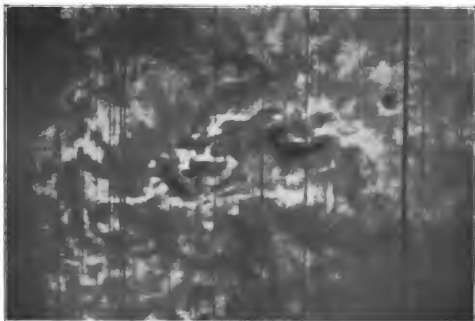


Fig. 29. Der große Sonnenfleck vom 9. Oktober 1903. Photographie der Wasserstoff-Fackeln mit Hilfe der Spektrallinie F (Wasserstoff). Nur die kräftigsten Stellen des Fleckes sind ersichtlich, die übrigen Teile werden von Wasserstoffmassen verdeckt, welche eine grosse Unruhe in ihrem Aussehen verraten.

lichtschwach ist, erscheint sein Spektrum als ein weniger helles Band gegen den Hintergrund des leuchtenderen Photosphärenspektrums. Besonders die violette Seite des Fleckenspektrums ist abgeschwächt. Obgleich der Fleck offenbar als eine Vertiefung in der Photosphäre hervortritt, und, am Sonnenrand stehend, oft einen Einschnitt in diesem zu bilden



Fig. 30.

Photographie der Sonnenkorona 1900 (nach Langley und Abbot), das Aussehen der Korona in Minimaljahren der Sonnenflecke angehend.

scheint, hat man die Beobachtung gemacht, daß er an der Sonnenkante doch nicht dunkler erscheint. Das zeigt an, daß das vom Flecken ausgestrahlte Licht zum größten Teil von seinen oberen kalten Partien herrührt.

Das aus den tieferen Teilen kommende Licht wird deutlich und zum größten Teil von den höher liegenden Schichten absorbiert. Auch verschmälern sich die Flecken nach unten wegen der Zusammenpressung der Gase in größerer Tiefe, und

man kann daher ihre trichterförmigen (Wolken-) Wände als „Halbschatten“ beobachten, die dunkler als die Umgebung, aber heller als der sogenannte Fleckenkern erscheinen (Fig. 25). Die Abschwächung des violetten Teils des Spektrums beruht wahrscheinlich auf der Anwesenheit von feinem Staub in den Sonnengasen, ebenso wie die entsprechende Ab-



Fig. 31.

Photographie der Sonnenkorona 1870 (nach Davis). 1870 war ein Maximaljahr der Sonnenflecke.

schwächung der violetten Seite des Spektrums vom Sonnenrande. Die Bänder in den roten Teilen des Fleckenspektrums rühren vermutlich von tieferen Teilen des Fleckens her, da alle höheren Partien der Sonnenatmosphäre einfache, scharfe Linien im Spektrum geben. Die Bänder zeigen an, daß chemische Verbindungen bei dem in den inneren Teilen der

Sonne herrschenden höheren Druck bestehen können, daß sie aber in den äußeren Partien der Sonne zersetzt werden und danach als chemische Elemente Linienspektren geben.

Am weitesten außen in der Dunsthülle der Sonne liegt die rätselhafte Korona, aus strahligen Partien bestehend, die sich außerhalb der Sonnenscheibe auf die Länge von mehreren Sonnendurchmessern erstrecken können. Sie kann nur bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtet werden. Die Figuren 30–32 geben einen Begriff von dieser merkwürdigen Erscheinung.

Wenn die Zahl der Sonnenflecken gering ist, erstrecken



Fig. 32. Photographie der Sonnenkorona 1898 (nach Maunder). 1898 war durch mittlere Sonnentätigkeit ausgezeichnet.

sich die Koronastrahlen wie große Besen von den äquatorialen Partien aus, und die schwachen Koronastrahlen an den Sonnenpolen sind gegen den Äquator herabgebogen, ganz wie die Kraftlinien um die Pole eines Magneten (Fig. 30).

Aus diesem Grunde nimmt man an, daß die Sonne wie ein starker Magnet wirkt, dessen Pole in der Nähe der geographischen Sonnenpole liegen. In sonnenfleckreichen Jahren ist die Verteilung der Koronastrahlen gleichmäßiger (Fig. 31). Bei mäßiger Anzahl von Sonnenflecken scheinen eine Menge Strahlen von der Nähe der Maximalgürtel der Sonnenflecken auszugehen, wodurch die Korona oft eine vier-eckige Form erhält. (Vgl. Fig. 32.)

Das gilt von der „äußeren Korona“, während der innere Teil, die sogenannte „innere Korona“, ein gleichförmigeres Licht verbreitet. Die spektroskopische Untersuchung zeigt, daß dasselbe hauptsächlich von Wasserstoffgas und einem unbekanntem, Koronium genannten Gas ausgestrahlt wird, das besonders in den höheren Teilen der Innenkorona vorkommt. Die äußere strahlenförmige Korona gibt dagegen sogenanntes kontinuierliches Licht, was beweist, daß es von festen oder flüssigen Partikeln ausstrahlt. Im Spektrum der zu äußerst gelegenen Teile der Koronastrahlen hat man mitunter dunkle Linien auf hellem Grund zu finden geglaubt, ganz wie im Spektrum der Photosphäre. Man nimmt daher an, daß dieses Licht aus der äußersten Korona reflektiertes Sonnenlicht ist, von kleinen, festen oder flüssigen Partikeln herkommend. Daß es reflektiert ist, erhellt auch aus dem Umstand, daß es teilweise polarisiert ist. Die strahlenförmige Beschaffenheit der äußeren Korona deutet auf die Anwesenheit einer Kraft (des Strahlungsdruckes), die kleine Partikeln vom Sonnenzentrum wegstößt.

Was die Temperatur der Sonne betrifft, so haben wir schon gesehen, daß die zwei zu ihrer Bestimmung benutzten Methoden etwas ungleiche Resultate geliefert haben. Aus der Stärke der Strahlung berechnete Christiansen und nachher Warburg die Temperatur auf etwa  $6000^{\circ}\text{C}$ , Wilson und Gray fanden für den Mittelpunkt der Sonne  $6200^{\circ}$ , was sie später auf  $8000^{\circ}$  korrigierten. Wegen der Absorption in der Sonnen- (und Erd-) Atmosphäre findet man immer zu niedrige Werte. Das ist in noch höherem Grade der Fall bei den mit der andern Methode gemachten Berechnungen, mit Anwendung derjenigen Wellenlänge, bei der die Wärmestrahlung im Sonnenspektrum am stärksten ist. Le Chatelier verglich die Stärke des durch rotes Glas filtrierte Sonnenlichtes mit der Stärke ebenso behandelten Lichtes von verschiedenen irdischen Wärmequellen mit einigermaßen bekannter Temperatur. Er schätzte so die Sonnentemperatur auf  $7600^{\circ}\text{C}$ . Die Meisten sind darin einig, daß sie mit  $6500^{\circ}$  absoluter Temperatur

rechnen, entsprechend ungefähr  $6200^{\circ}$  C. Das ist, was man die „effektive Temperatur“ der Sonne nennt. Würde die Sonnenstrahlung nicht absorbiert, so würde diese Temperatur derjenigen der Photosphärenwolken entsprechen. Da das rote Licht verhältnismäßig wenig absorbiert wird, müßte Le Chateliers Wert von  $7600^{\circ}$  und der damit fast zusammenfallende Wilson-Graysche von  $8000^{\circ}$  C ungefähr die Mitteltemperatur der äußeren Teile der Photosphärenwolken angeben. Die höhere Temperatur der Fackeln wird aus ihrer größeren Lichtstärke ersichtlich, die jedoch teilweise auf ihrer größeren Höhe beruht. Carrington und Hodgson sahen am 1. September 1859 aus dem Rand eines Sonnenflecks zwei Fackeln ausbrechen. Ihr Glanz war fünf- bis sechsmal größer als der der naheliegenden Teile der Photosphäre. Das entspricht einer Temperatur von etwa  $10000-12000^{\circ}$  C. Hiernach ist es klar, daß die tieferen Sonnenschichten, die dabei hervorbrachen, eine höhere Temperatur haben, was übrigens ziemlich selbstverständlich sein dürfte, da die Sonne nach außen Wärme verliert.

Es ist bekannt, daß die Temperatur der Luftmasse mit steigender Höhe sinkt, wegen der Bewegung der Luft. Eine niedersinkende Luftmasse wird durch den vermehrten Druck zusammengepreßt und ihre Temperatur steigt deshalb, ganz wie die Temperatur im pneumatischen Feuerzeug, wenn dessen Stempel eingepreßt wird. Wenn die Luft trocken und in heftiger Bewegung wäre, würde sich ihre Temperatur um  $10^{\circ}$  C pro Kilometer ändern; stünde sie still, so würde sie dagegen eine fast gleichförmige Temperatur annehmen, d. h. die Temperatur würde nach oben nicht abnehmen. Man findet in Wirklichkeit einen Wert, der fast in der Mitte zwischen diesen beiden Extremen liegt. Da die Schwerkraft der Photosphäre auf der Sonne 27,4 mal größer ist, als an der Erdoberfläche, so kann man berechnen, daß, wenn die Luft auf der Sonne ebenso schwer wäre wie auf der Erde, die Temperatur sich dort 27,4 mal so stark als auf Erden mit der Höhe ändern würde, d. h. um etwa  $270^{\circ}$  pro Kilometer, wenn

sie sich in heftiger Bewegung befände. Nun ist die äußere Partie der Sonnenatmosphäre wirklich in heftiger Bewegung, so daß diese letztere Annahme richtig sein dürfte. Aber diese Partie besteht hauptsächlich aus Wasserstoffgas, das 29mal leichter ist als die Erdluft. Wir müssen daher den eben berechneten Wert 29mal verkleinern. Mit andern Worten, die Abnahme pro Kilometer würde etwa  $9^{\circ}$  betragen. Nun ist indessen die Strahlung auf der Sonne äußerst heftig und sie ist bestrebt, die Verhältnisse auszugleichen, so daß  $9^{\circ}$  pro Kilometer ohne Zweifel ein zu hoher Wert ist. Weiter innen in der Sonne sind die Gase weit schwerer, aber schon in einer geringen Tiefe sind sie durch die darüberliegenden Schichten so stark zusammengedrückt, daß ihre Kompressibilität sehr gering wird, und so verliert die eben angestellte Berechnung ihren Wert. Auf alle Fälle steigt die Temperatur in der Sonne immer mehr, je näher man ihrem Zentrum kommt. Nehmen wir die Temperatursteigerung pro Kilometer gleich dem oben berechneten Wert an, d. h. um etwa  $9^{\circ}$  pro Kilometer — in der festen Erdkruste ist sie dreimal größer — so würden wir am Mittelpunkt der Sonne eine Temperatur von über sechs Millionen Grad erhalten.

Alle Körper schmelzen und werden vergast, wenn die Temperatur gesteigert wird. Geschieht das über eine gewisse, die sogenannte kritische Temperatur hinaus, so kann der Körper nicht zum flüssigen Zustande verdichtet werden, wie hohen Druck man auch anwendet, sondern existiert bloß in Gasform. Diese Temperatur ist, von  $-273^{\circ}$  C an gerechnet, fast ein und einhalbmal so hoch wie die Siedetemperatur des Körpers bei Atmosphärendruck. Soweit man nach unserer irdischen Erfahrung urteilen kann, ist es nicht wahrscheinlich, daß die kritische Temperatur irgendeines Körpers höhere Werte als etwa  $10000-12000^{\circ}$  C erreicht, d. h. die höchsten Temperaturwerte, die oben für die Sonnenfackeln berechnet wurden. Die inneren Teile der Sonne müssen daher gasförmig sein, und die ganze Sonne



eine stark komprimierte Gasmasse von äußerst hoher Temperatur, die wegen des hohen Drucks ein 1,4mal höheres spezifisches Gewicht als das Wasser hat und deshalb in mancher Beziehung einer Flüssigkeit gleicht. Sie ist zum Beispiel äußerst zähflüssig, und darauf beruht die verhältnismäßig große Beständigkeit der Sonnenflecken. (Ein Fleck hielt sich  $1\frac{1}{2}$  Jahre, 1840—1841.) Die Sonne ist also eine Gaskugel, in deren äußersten Teilen durch Strahlung und Aufwärtsbewegung der Gasmassen einige wolkenartige Kondensationen bewirkt werden. Man hat den Druck bei der Photosphäre, d. h. da, wo diese Wolken schwimmen, auf im Durchschnitt 5—6 Atmosphären berechnet, was auf Grund der großen Schwerkraft nur einer darüberliegenden Gasschicht von einem Fünftel Erdatmosphäre entspricht. Ungefähr in entsprechender Höhe (11500 m) schweben in der Erdatmosphäre die höchsten Federwolken, mit denen man die Photosphärenwolken in der Sonnenatmosphäre in vieler Hinsicht vergleichen kann.

Wir wenden uns nun zurück zu der ungelöst gebliebenen Frage, woher die Sonne den Ersatz für die beständig in den Raum ausgestrahlte Energie nimmt. Die kräftigsten uns bekannten Wärmequellen sind die chemischen Umsetzungen; die im täglichen Leben am meisten angewendete ist die Verbrennung von Kohle. Verbrennt man ein Gramm Kohlenstoff, so gibt es etwa 8000 Kalorien. Wenn die Sonne also aus reinem Kohlenstoff bestünde, der verbrannt wird, so würde ihre Energie nicht länger als etwa 4000 Jahre reichen. Es ist nicht zu verwundern, daß die Meisten nach dieser Rechnung die Hoffnung aufgaben, auf diesem Weg vorwärts zu kommen. Der bekannte französische Astronom Faye wollte durch eine Hypothese, bei der er die Verbindungswärme der Sonnenbestandteile zu Hilfe nahm, die Deckung der Strahlungsverluste der Sonne erklären. Er sagte: Im Sonneninnern herrscht eine so hohe Temperatur, daß dort alles in seine elementaren Bestandteile zerfällt. Kommen die Atome wieder herauf in die äußere Sonnenschicht, so werden sie vereinigt

und geben viel Wärme ab. Faye hat sich vorgestellt, daß immer neue Mengen aus dem Sonneninnern heraufsteigen und an der Oberfläche chemische Verbindungen eingehen können. Wenn aber neue Massen aufwärts an die Oberfläche dringen sollen, so müssen die, die zuerst oben waren, wieder nach dem Sonneninnern dringen, um dort durch die hohe Temperatur chemisch zerlegt zu werden. Aber dabei würde genau ebensoviel Wärme verbraucht, wie die, die beim Empordrängen derselben Massen zur Oberfläche gewonnen wird. Die Strömung trägt also nur dazu bei, den Wärmeverrat aus dem Inneren an die Oberfläche hinaufzubefördern. Die totale Wärmemenge der Sonne würde auf diese Weise, wenn die mittlere Temperatur auf sechs Millionen Grad geschätzt wird, etwa drei Millionen Jahre die Wärmeausgabe decken können.

Im übrigen haben wir gesehen, daß die höchsten Schichten in der Sonne sich durch Linienspektren auszeichnen, einfachen chemischen Stoffen entsprechend, während in der Tiefe der Sonnenflecken chemische Verbindungen auftreten, die Bandenspektren geben. Es ist ganz unrichtig, anzunehmen, daß hohe Temperatur alle chemischen Verbindungen in ihre Grundbestandteile zerlegt. Die mechanische Wärmetheorie lehrt uns nur, daß bei steigender Temperatur Produkte gebildet werden, deren Zustandekommen mit Wärmeverbrauch Hand in Hand geht. So wird bei hoher Temperatur Ozon aus Sauerstoff gebildet, obwohl Ozon komplizierter zusammengesetzt ist als Sauerstoff; es werden dabei 750 Kalorien verbraucht, wenn ein Gramm Sauerstoffgas in ein Gramm Ozon verwandelt wird. Ebenso wissen wir, daß im elektrischen Lichtbogen, (bei ungefähr 3000°) eine Verbindung vom Sauerstoff und Stickstoff der Luft unter Wärmeverbrauch entsteht; auf diesem Umstand beruht die neue Methode, Salpetersäure aus Luft zu gewinnen. Weiter werden die wohlbekanntesten Verbindungen Benzol und Acetylen aus ihren Grundstoffen Kohlenstoff und Wasserstoff unter Wärmeverbrauch gebildet. All diese Körper können nur bei hoher

Temperatur aus ihren Grundstoffen gebildet werden. Nun wissen wir weiter aus der Erfahrung, daß im allgemeinen, je höher die Temperatur ist, bei der ein Prozeß vor sich geht, auch eine desto größere Wärmemenge dabei verbraucht wird.

Ein ähnliches Gesetz gilt für den Einfluß des Drucks. Wird der Druck vermehrt, so werden solche Prozesse begünstigt, die Produkte mit geringerem Volumen ergeben. Wenn wir uns vorstellen, daß eine Gasmasse aus der höheren Sonnenschicht in immer größere Tiefe des Sonnenkörpers niederstürzt, wie es die Gase in einem Sonnenfleck tun, so werden sich infolge des gesteigerten Druckes — dieser wächst unerhört gegen das Innere der Sonne, um ungefähr 3500 Atmosphären pro Kilometer — zusammengesetztere Verbindungen bilden. Die Gase, die bei dem niedrigen Druck und der hohen Temperatur in der äußersten Sonnenschicht (außerhalb der Photosphärenwolken) in Atome zerfallen waren, gehen in der Tiefe der Flecken chemische Verbindungen ein, wie die Spektraluntersuchung zeigt. Infolge der hohen Temperatur verbrauchen diese Verbindungen ungeheure Wärmemengen bei ihrer Bildung, und diese Wärmemengen verhalten sich zu den bei chemischen Prozessen auf der Erde verbrauchten ungefähr so, wie die Temperatur in der Sonne zu der, bei welcher der chemische Prozeß auf der Erde verläuft. Dringen diese Gase immer weiter in die Sonne ein, so steigen Druck und Temperatur immer mehr. Es werden immer energiereichere und weniger voluminöse Produkte gebildet. Wir müssen uns daher vorstellen, daß sich im Sonneninnern Körper finden, die, an die Sonnenoberfläche gebracht, unter ungeheurer Wärmeentwicklung und Volumvermehrung zerfallen. Sie sind also als die gewaltigsten Sprengmittel anzusehen, im Vergleich mit welchen Dynamit und Pikratpulver wie Spielzeug erscheinen. Das wird auch dadurch bestätigt, daß Gase, wenn sie durch die Photosphärenwolken dringen, Protuberanzen von einer Geschwindigkeit herauszuschleudern vermögen, die mehrere hundert Kilometer in der Sekunde erreicht; das sind Ge-

schwindigkeiten, die die unserer schnellsten Geschwehrgugeln um etwa das Tausendfache übertreffen. Den im Sonneninnern vorkommenden Sprengmitteln wird daher eine Energie zugeschrieben, die weit über eine Million mal größer sein muß, als die unserer irdischen Sprengmittel. (Die Energie nimmt nämlich wie das Quadrat der Geschwindigkeit zu). Und dabei haben diese solaren Sprengmittel während ihrer Passage aus dem Sonneninnern einen großen Teil ihrer Energie schon abgegeben. Danach wird es uns begreiflich, daß die Sonnenenergie, statt 4000 Jahre zu reichen, was der Verbrennung eines Sonnenballs aus Kohlenstoff entsprechen würde, für 4000 Millionen Jahre oder noch länger, wahrscheinlich bis zu mehreren Billionen Jahren ausreichen kann.

Daß es so energiereiche Verbindungen gibt, hat die Entdeckung der Wärmeentwicklung des Radiums gezeigt. Nach Rutherford zerfällt Radium zur Hälfte in einem Zeitraum von etwa 1300 Jahren. Da dabei eine Wärmemenge von ungefähr einer Million Kalorien pro Gramm und Jahr entwickelt wird, so finden wir, daß der Zerfall des Radiums in seine Endprodukte von einer Wärmeentwicklung von einigen Milliarden Kalorien pro Gramm begleitet ist, ungefähr ein viertelmillionmal mehr, als die Verbrennung von ein Gramm Kohlenstoff liefern würde.

Auch auf chemischem Gebiet ist die Erde ein Zwerg gegen die Sonne, und wir haben alle Ursache, anzunehmen, daß die chemische Energie der Sonne hinreichend war und ist, die Sonnenwärme während vieler Milliarden, wahrscheinlich Billionen Jahre zu liefern.

#### IV.

### Der Strahlungsdruck.

Nächst der einfachsten Meß- und Rechenkunst scheint die Astronomie die älteste Wissenschaft zu sein. Daß die Sonne die Quelle alles Lebens und aller Bewegung ist, darüber hat man erst seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts volle Klarheit; aber eine Ahnung von der ungeheuren Bedeutung der Sonne hatte man doch schon in den ältesten Urzeiten. Man übertrug bald einen Teil der Verehrung für die Sonne auf den mildleuchtenden Mond und die kleineren Himmelslichter. Man beobachtete nämlich, daß sich ihre Stellung am Himmel immer gleichzeitig mit den jährlichen Änderungen der Witterung veränderte, deren Einfluß auf alle menschlichen Unternehmungen sich stark geltend machte. Daher schrieb man dem Mond und den Sternen, obgleich, wie wir wissen, ohne irgendwelche Berechtigung, die Eigenschaft zu, das Wetter und damit alles menschliche Tun und Lassen zu beherrschen.\*) Ehe man etwas unternahm, suchte man sich daher immer erst von der günstigen Stellung der Gestirne zu überzeugen. Auf diese Weise gewannen die Sternkundigen schon in ältesten Zeiten einen ungeheuren Einfluß auf die unwissende und abergläubische Menge.

Dieser Aberglaube saß noch tief eingewurzelt, als es Newton (1686) zu beweisen gelang, daß die Bewegung der

---

\*) Den grössten Einfluss übt der Mond auf die Gezeiten aus. Sonst beeinflusst die Stellung des Mondes nur in sehr geringem Grade den Luftdruck und die luftelektrischen sowie erdmagnetischen Erscheinungen. Die Einwirkung der Sterne ist unmerklich.

sogenannten Wandelsterne oder Planeten und ihrer Monde mit Hilfe des höchst einfachen Gesetzes berechnet werden kann, daß alle diese Himmelskörper von der Sonne oder ihren nächsten Zentralkörpern mit einer Kraft angezogen werden, die ihrer eigenen und der Masse des Zentralkörpers proportional ist, sowie umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Entfernung. Newtons Zeitgenosse Halley wendete die Theorie auch auf die rätselvollen Kometen an, und die rechnende Astronomie stützt sich seit dieser Zeit auf ihr festes Gesetz, von welchem keine Ausnahme gefunden wurde. Die Welt war dadurch mit einemmal von dem lähmenden Aberglauben befreit, der sich mit der Vorstellung von dem geheimnisvollen Walten der Sterne verknüpft hatte. Auch haben sowohl Newtons Zeitgenossen wie die Nachwelt diese Entdeckung höher geschätzt als irgendeine der wunderbaren wissenschaftlichen Großtaten, die dieser Heros der Menschheit geleistet hat. Nach Newtons Gesetz streben alle materiellen Massen, nach und nach miteinander vereinigt zu werden, und die Weltentwicklung zielt auf eine Aufsaugung der kleinen Weltkörper, z. B. der Meteoriten, durch die großen ab.

Es muß jedoch bemerkt werden, daß Newtons großer Vorgänger Kepler 1618 beobachtete, daß die Materie der Kometenschweife von der Sonne abgestoßen wird. Er, sowie auch später Newton, glaubten, die Lichtstrahlung beruhe darauf, daß von der Sonne und andern leuchtenden Körpern kleine Lichtkörper nach allen Richtungen ausgeworfen werden. Wenn diese nun gegen die kleinen Staubpartikeln in den Kometenschweifern stoßen, so werden dieselben mitgerissen und ihre Abstoßung von der Sonne wird dadurch begreiflich. Es ist charakteristisch, daß Newton diese Erklärung nicht gelten lassen wollte, obgleich er Keplers Ansicht über die Natur des Lichts teilte. Nach Newton war die Abweichung der Kometenschweife von seinem Gesetz der allgemeinen Anziehung nur scheinbar; die Kometenschweife verhielten sich wie die aus einem Schornstein aufsteigende Rauchsäule, die, obgleich die Rauchgase von der Erde angezogen werden, doch

aufwärts steigt, weil sie leichter ist, als die umgebende Luft. Diese Ansicht, die von Newcomb so charakterisiert wird, „daß sie nicht mehr ernstlich in Betracht kommen kann,“ zeigt Newtons starkes Bestreben, alles mit Hilfe seines Gesetzes zu erklären.

Die Astronomen wandelten treulich in den Fußspuren des unerreichbaren Meisters Newton, und alle Erscheinungen, die nicht richtig in sein System paßten, schoben sie beiseite. Eine Ausnahme machte der berühmte Euler, der 1746 die Vermutung aussprach, die Lichtwellen übten einen Druck auf die Körper aus, auf welche sie fallen. Diese Meinung vermochte jedoch nicht gegen die hauptsächlich von De Mairan geübte Kritik durchzudringen. Daß Euler indessen recht hatte, wurde durch Maxwells berühmte theoretische Arbeit über die Natur der Elektrizität 1873 bewiesen. Er zeigte, daß Wärmestrahlen — dasselbe gilt übrigens für Strahlung jeder Art, wie Bartoli 1876 darlegte — einen Druck ausüben, der ebenso groß ist, wie die in der Volumeinheit auf Grund der Strahlung enthaltene Energiemenge. Maxwell berechnete die Größe dieser Druckwirkung, und fand sie so gering, daß man sie mit den damaligen Hilfsmitteln kaum messen konnte. Das ist indessen später geschehen, durch Messungen im luftverdünnten Raum, von dem Russen Lebedeff und den Amerikanern Nichols und Hull (1900, 1901). Sie haben gefunden, daß dieser Druck, der sogenannte Strahlungsdruck, genau so groß ist wie Maxwell angab.

Trotz Maxwells ungeheurem Ansehen hatten die Astronomen sein wichtiges Gesetz überschen. Lebedeff suchte es wohl in einer Arbeit vom Jahre 1892 auf die Kometenschweife anzuwenden, die er als gasförmig ansah, aber für diesen Fall ist Maxwells Gesetz nicht anwendbar. Erst im Jahre 1900, kurz ehe Lebedeff den experimentellen Beweis für die Richtigkeit des Gesetzes lieferte, suchte ich dessen große Bedeutung für das Verständnis mehrerer himmlischer Erscheinungen nachzuweisen. Die Größe des Strahlungsdrucks an der Sonnenoberfläche ist, wenn die Strahlen

senkrecht gegen einen schwarzen Körper von 1 qcm Oberfläche einfallen, 2,75 mg. Ich berechnete also, wie groß ein Tropfen von demselben spezifischen Gewicht wie Wasser sein müßte, damit der Strahlungsdruck in der Nähe der Sonne der Sonnenanziehung das Gleichgewicht halte. Es zeigte sich, daß das eintreffen würde, wenn der Durchmesser des Tropfens 0,0015 mm wäre. Eine von Schwarzschild gemachte Korrektur zeigte, daß die Rechnung nur dann richtig ist, wenn der Tropfen alle auf ihn fallenden Strahlen vollkommen reflektiert. Ist der Durchmesser des Tropfens kleiner, so überwiegt der Strahlungsdruck die Anziehung, und ein solcher Tropfen wird daher von der Sonne abgestoßen. Nach Schwarzschild findet das indessen wegen der Beugung des Lichts nur statt, wenn der Umfang des Tropfens größer ist als das 0,3fache der Wellenlänge der einfallenden Strahlung. Wird der Tropfen noch kleiner, so überwiegt wiederum die Schwere. Tropfen, deren Größe zwischen diesen beiden Werten liegen, werden abgestoßen. Daraus wird ersichtlich, daß die Moleküle, die viel geringere Dimensionen als die genannten haben, durch den Strahlungsdruck nicht abgestoßen werden, und daß also Maxwells Gesetz für Gase nicht gültig ist. Wenn die Peripherie des Tropfens genau gleich der Wellenlänge der Strahlung ist, so übt der Strahlungsdruck die größtmögliche Wirkung aus, er übertrifft dann die Schwere nicht weniger als neunzehnmal. Diese Berechnungen gelten alle für total reflektierende Tropfen vom spezifischen Gewicht des Wassers und für eine Strahlung und Anziehung, entsprechend den von der Sonne ausgehenden. Da das Sonnenlicht nicht homogen ist, wird die Maximalwirkung etwas vermindert und ist etwa gleich dem Zehnfachen der Schwere bei Tropfen von ungefähr 0,00016 mm Durchmesser.\*)

Vor der Einführung des Strahlungsdrucks zur Erklärung

---

\*) 1 ccm Wasser enthält 470 Billionen solcher Tropfen, aber ein solcher Wassertropfen enthält 96 Millionen Moleküle, und es gibt wahrscheinlich Organismen, die kleiner sind als diese Tropfen. Vgl. die Untersuchungen über Ultramikroorganismen von E. Raehlmann, N. Gaidukow u. A.



der Abstoßungserscheinungen, wie sie an Kometenschweiften beobachtet wurden, nahm man gewöhnlich mit Zöllner an, daß die Abstoßung auf elektrischen Kräften beruht. Ohne Zweifel spielt die Elektrizität, wie wir später sehen werden, in diesem Fall eine große Rolle. Die Erklärung dafür gibt eine Entdeckung von C. T. R. Wilson (1899). Durch verschiedene äußere Einflüsse können Gase dazu gebracht werden, Elektrizität zu leiten. Man nennt die Gase dann ionisiert, das heißt, sie enthalten freie Ionen, mit andern Worten, äußerst kleine, mit positiver oder negativer Elektrizität geladene Partikelchen. Gase können unter anderm ionisiert werden durch Bestrahlung mit Röntgenstrahlen, Kathodenstrahlen oder ultraviolettem Licht, sowie durch starke Erhitzung. Da nun die Sonnenstrahlen sehr viel ultraviolettes Licht enthalten, so ist es unzweifelhaft, daß die Gasmassen in der Nähe der Sonne (etwa in Kometen, die der Sonne nahe kommen) teilweise ionisiert sind, und also sowohl positive wie negative Ionen enthalten. Ionisierte Gase besitzen eine bemerkenswerte Fähigkeit, Dämpfe zu kondensieren. Wilson zeigte, daß diese Eigenschaft den negativen Ionen in höherem Grade zukommt, als den positiven (bei Kondensation von Wasserdampf). Wenn sich daher Dämpfe in der Umgebung der Sonne befinden, die abgekühlt und kondensiert werden, so werden die daselbst gebildeten Wassertropfen zuerst auf den negativen Ionen niedergeschlagen. Werden die Tropfen sodann vom Strahlungsdruck fortgetrieben, oder fallen sie infolge der Schwere nieder, wie die Regentropfen in der Erdatmosphäre, so führen sie die Ladung der negativen Ionen mit sich, während die entsprechende positive Elektrizität im Gase (in der Luft) zurückbleibt. Auf diese Weise werden die negativen und positiven Ladungen voneinander getrennt, und elektrische Entladungen können die Folge davon sein, wenn genügend große Elektrizitätsmengen voneinander geschieden werden. Infolge dieser Entladungen werden Gase, durch die sie hindurchgehen, leuchtend, obgleich deren Temperatur sehr niedrig sein kann. Herr Stark

hat sogar gezeigt, daß niedrige Temperatur bei Gasen der Entwicklung eines kräftigen Lichtphänomens bei der elektrischen Entladung günstig ist.

Wie schon gesagt, kam Kepler bereits Anfang des 17. Jahrhunderts zu der Ansicht, daß die Kometenschweife von der Sonne abgestoßen werden. Newton zeigte, wie man



Fig. 33.

Photographie von Roerds Komet (1893 II), mehrere starke Knoten im Schweif andeutend.

aus der Form der Kometenschweife ihre Geschwindigkeit berechnen kann. Die beste Art ist jedoch, diese Geschwindigkeit direkt zu beobachten. Die Kometenschweife sind nämlich nicht gleichmäßig, wie sie meist auf Zeichnungen dargestellt werden, sondern sie enthalten oft mehrere leuchtende Knoten (Fig. 33), deren Bewegung man direkt wahrnehmen kann.

Aus seinen Studien über die Bewegung der Kometenschweife schloß Olbers im Anfang des vorigen Jahrhunderts, daß die Abstoßung der Kometenschweife von der Sonne umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung ist, d. h. daß die Repulsionskraft sich auf dieselbe Weise ändert wie die Schwerkraft. Man kann daher die Repulsionskraft durch die Gravitation gegen die Sonne als Einheit ausdrücken,

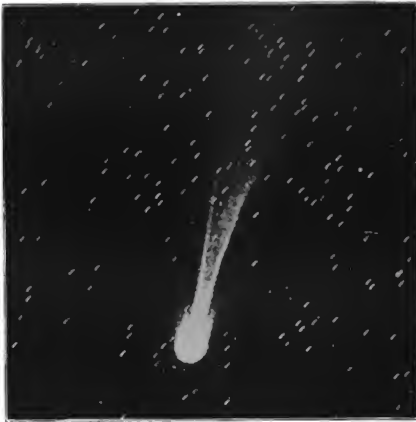


Fig. 34. Photographie von Swifts Komet (1892, I).

und diese Art ist allgemein angenommen worden. Daß der Strahlungsdruck sich auf diese Weise mit der Entfernung ändert, ist auch natürlich, denn die Strahlung gegen dieselbe Oberfläche ist ebenfalls umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung vom strahlenden Körper, hier der Sonne.

Im letzten Teil des vorigen Jahrhunderts machte der russische Astronom Bredichin eine große Anzahl von Messungen über die Größe der Kräfte, mit welchen die Kometen-

massen von der Sonne abgestoßen werden. Er glaubte, auf Grund dieser Messungen, sie in drei Klassen einteilen zu können. In der ersten Klasse war die Abstoßung 19mal größer als die Schwerkraft, in der zweiten zwischen 3,2- bis 1,5mal, und in der dritten 1,3- bis 1mal so groß als die Schwere. Für verschiedene Kometen hat man indessen noch höhere Werte gefunden; so fand Hussey für einen Kometen von 1893 (Roerdaams Komet; 1893 II) 37mal stärkere



Fig. 35. Donatis Komet bei seinem größten Glanz im Jahre 1858.

Abstoßung als die Schwerkraft, und Swifts Komet (1892, I) hat die noch höhere Zahl 40,5 (Fig. 34). Einige Kometen zeigen Schweife verschiedener Art, wie der berühmte Donatis Komet (Fig. 35). Seine zwei fast geraden Schweife gehörten der ersten Klasse Bredichins an, der kräftige, stark gekrümmte der zweiten Klasse.

Wie oben erwähnt, berechnete Schwarzschild, daß kleine, vollkommen reflektierende Tropfen vom spezifischen Gewicht des Wassers von der Sonne mit einer Kraft abgestoßen

werden können, die bis zum Zehnfachen ihres Gewichtes geht. Für einen vollkommen absorbierenden Tropfen sinkt dieser Wert zur Hälfte. Nun sind die Tropfen, die nach Beobachtungen über die Spektren der Kometen wahrscheinlich aus Kohlenwasserstoffen bestehen, nicht vollkommen absorbierend, sondern lassen die Sonnenstrahlung teilweise durch. Eine nähere Berechnung zeigt, daß man für diesen Fall Kräfte von ungefähr dem 3,5fachen der Schwerkraft erreichen kann.

Größere Tropfen zeigen kleinere Werte; also fügen sich Bredichins Gruppen 2 und 3 ganz gut den Forderungen, die der Annahme des Strahlungsdrucks entsprechen.

Schwerer scheint es zu erklären, wie so große Abstoßungskräfte, so wie die der ersten Bredichinschen Gruppe oder Swifts und Roerdams Komet eigentümlichen, vorkommen können. Wenn ein Kohlenwasserstofftropfen einer starken Sonnenstrahlung ausgesetzt wird, so wird er schließlich so heftig erwärmt, daß er verkohlt. Er gibt dabei wegen der entweichenden Gase (hauptsächlich Wasserstoffgas) eine schwammartige Kohle, die den kleinen Kohlenbällchen, die zuweilen aus dem Rauch unserer Dampfsboote niederfallen und nachher auf der Wasseroberfläche schwimmen, in ihrer Struktur am nächsten kommen dürften. Es ist sehr wohl denkbar, daß solche Kohlenbällchen (wahrscheinlich aus verfilzten sogenannten Margariten oder perlenbandähnlichen, Bazillenketten gleichenden Reihen bestehend), ein spezifisches Gewicht von 0,1 haben können, wenn man die in sie eingeschlossenen Gase mitrechnet (vgl. S. 96). Ein absorbierender Tropfen von diesem spezifischen Gewicht 0,1 kann im günstigen Fall eine Abstoßung erleiden, die die Schwerkraft der Sonne 40mal übertrifft. Auf diese Weise kann man sich eine Vorstellung von der Möglichkeit dieser großen abstoßenden Kräfte verschaffen.

Die Kometenspektren bestätigen in allem die Schlüsse, zu welchen die Lehre vom Strahlungsdruck führt. Sie zeigen ein schwaches kontinuierliches Spektrum, das wahrschein-

lich von — an den kleinen Partikeln reflektiertem — Sonnenlicht herrührt. Außerdem beobachtet man, wie vorhin erwähnt, ein Spektrum von gasförmigem Kohlenwasserstoff und Cyan. Diese Bandenspektren beruhen auf elektrischen Entladungen, denn sie werden

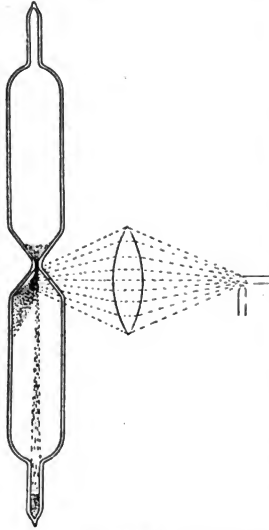


Fig. 36.  
Nichols und Hulls Versuch, Kometenschweif  
nachzumachen. Licht von einer Bogenlampe  
fiel durch eine Linse auf herabfallendes feines  
Pulver.

an Kometen beobachtet, deren Abstand von der Sonne so groß ist, daß sie nicht wegen hoher Temperatur selbstleuchtend sein können. Im Schweif des Swiftschen Kometen beobachtete man Bandenspektren in Partien, die bis zu etwa 5000000 km vom Kern entfernt lagen. Die elektrischen Entladungen müssen hauptsächlich von den äußeren Teilen des Schweifs ausgehen, wo nach den Gesetzen der Elektrizitätslehre die elektrischen Kräfte am größten sind. Deshalb erscheinen auch die größeren Kometenschweife, als ob sie von stärker leuchtenden Lichtmänteln umgeben wären.

Wenn die Kometen der Sonne näher kommen, fangen auch andere, weniger flüchtige Körper an, merkbar zu verdampfen; man hat dann Natriumlinien, und wenn die Kometen der Sonne sehr nahe kommen, auch Eislinien in ihrem Spektrum beobachtet. Diese Linien rühren offenbar von aus dem Kometenkern verdunstetem Material her,

welches gleich den zur Erde niederfallenden Meteoriten wohl hauptsächlich aus Silikaten, darunter Natriumsilikat, und aus Eisen besteht.

Wie diese Tropfen entstehen, kann man sich leicht vorstellen. Nähert sich ein Komet der Sonne, so beobachtet man, daß Materie aus der der Sonne zugewendeten Seite des Kerns ausgestoßen wird. Das entspricht vollständig der Wolkenbildung in der Erdatmosphäre an einem heißen Sommertag. Die Wolkenbildung veranlaßt die sogenannte Haube, die sich etwa wie eine dünne halbsphärische Hülle um die der Sonne zugekehrte Seite des Kerns legt. Mitunter beobachtet man zwei oder mehrere Hauben, den verschiedenen Wolkenschichten der Erdatmosphäre entsprechend. Von der hinteren Seite der Haube aus strömt die Materie des Kometenschweifs weg von der Sonne. Die Kometenschweife sind gewöhnlich stärker entwickelt, wenn sie sich der Sonne nähern, als wenn sie von ihr weggehen. Das kommt wahrscheinlich, wie man seit langem angenommen hat, daher, daß die Kohlenwasserstoffe zum großen Teil während der Passage an der Sonne vorbei erschöpft werden. Man hat auch zu bemerken geglaubt, daß die sogenannten periodischen Kometen, die in regelmäßigen Intervallen zur Sonne zurückkommen, bei jeder Wiederkehr eine schwächere Schweifbildung zeigten. Die Kometen weisen auch ihre größte Lichtstärke in Perioden von starker Sonnenflecktätigkeit auf. Man darf also annehmen, daß unter solchen Verhältnissen die Umgebung der Sonne von feinem Staub relativ stark erfüllt ist, der zur Kondensation der Kometenschweifmaterie dienen kann. Es ist auch wahrscheinlich, daß bei solchen Gelegenheiten, wegen des gleichzeitigen starken Auftretens von Fackeln, die ionisierende Strahlung der Sonne stärker als gewöhnlich ist.

Nichols und Hull haben versucht, Kometenschweife nachzumachen. Sie erhitzen die Sporen vom Bovist, Lycoperdon, die fast kugelförmig und von etwa 0,002 mm Durchmesser sind, bis zur Rotglut, und erhielten so schwammartige

Kugeln von Kohle mit einer mittleren Dichte von ungefähr 0,1. Diese wurden nebst etwas Schmirgelpulver in ein stundenglasförmiges Gefäß eingeführt (Fig. 36), aus dem die Luft soviel wie möglich ausgepumpt war. Dann ließ man das Pulver in einem feinen Strahl in den unteren Teil des Gefäßes herunterfallen und beleuchtete es gleichzeitig von der Seite mit elektrischem, mittels einer Linse konzentriertem Bogenlicht. Der Schmiergel fiel lotrecht nieder, während die Kohlenkügelchen vom Strahlungsdruck zur Seite getrieben wurden.

Auch in der nächsten Umgebung der Sonne finden wir die Wirkungen des Strahlungsdrucks. Die gradlinige Ausdehnung der Koronastrahlen bis auf einen Abstand, der zuweilen den Sonnendurchmesser um das 6 fache übertrifft (etwa 8000000 km), deutet auf abstoßende Kräfte von der Sonne, die auf den feinen Staub einwirken. Man hat die Sonnenkorona auch lange mit den Kometenschweiften verglichen, und Donitsch stellt sie den Kometenschweiften von Bredichins zweitem Typus gleich. Es ist möglich, die Koronamasse auf Grund ihrer Wärme- und Lichtstrahlung zu berechnen. Erstere ist von Abbot gemessen worden. In einem Abstand von 30000 km von der Photosphäre strahlte die Korona nur soviel Wärme aus, wie ein  $-55^{\circ}$  C warmer Körper. Das kommt daher, daß sie aus einem äußerst dünnen Nebel besteht, dessen wirkliche Temperatur nach dem Stefanschen Gesetz auf  $4350^{\circ}$  C berechnet werden kann. Die Korona ist demnach so dünn, daß sie nur etwa ein 190000tel des dahinterliegenden Himmelsgrundes bedeckt. Zu demselben Resultat kommt man durch eine Berechnung der Lichtstrahlung der Korona, die ungefähr gleich der des Vollmondes ist, zuweilen etwas geringer, zuweilen größer bis zum doppelten Betrage. Nun gelten obige Beobachtungen für den stärksten Teil der Korona, die sogenannte „innere Korona“. Nach Turner nimmt ihre Lichtstärke nach außen im umgekehrten Verhältnis zur sechsten Potenz des Abstandes vom Sonnenmittelpunkt ab. In dem Abstand eines Sonnenradius (690000 km)



würde also die Lichtstärke nur 1,6 % von derjenigen in der Nähe der Sonnenoberfläche betragen.

Nehmen wir nun an, daß die Materie der Korona aus Partikeln besteht, die gerade so groß sind, daß der Strahlungsdruck ihrem Gewicht gleich kommt, — andere Partikeln werden aus der Innenkorona entfernt — so finden wir, daß das Gewicht der ganzen Sonnenkorona etwa 12 Millionen metrische Tonnen nicht übersteigt. Es ist nicht größer als das Gewicht von 400 unserer größten Ozeandampfer (Oceanic), und nur ebensoviel wie die in einer Woche auf der Erde verbrauchte Kohlenmenge.

Daß die Koronamaterie äußerst verdünnt ist, hat man schon aus dem Umstand geschlossen, daß Kometen durch dieselbe hindurchwanderten, ohne in ihrer Bewegung sichtbar gehemmt zu werden. 1843 ging ein Komet in nur  $\frac{1}{4}$  Sonnenradius Abstand von der Sonnenoberfläche vorüber, ohne in seiner Bewegung gestört zu werden. Moulton berechnet, daß der große Komet vom Jahre 1881, der der Sonne bis auf etwa  $\frac{1}{2}$  Sonnenradius nahe kam, keinen Widerstand erfuhr, der mehr als  $\frac{1}{50000}$  seines Gewichts betrug, und daß der Kometenkern mindestens 5000000 mal dichter war, als die Materie der Korona. Newcomb hat den hohen Verdünnungsgrad der Korona vielleicht etwas übertrieben, wenn er sagt, daß sie vielleicht bloß ein Staubkorn auf jeden Kubikmeter enthält.

Aber wie klein auch die Menge der Materie in der Korona sein, und welch unbedeutender Bruchteil davon in die Koronastrahlen übergehen mag, so ist es gleichwohl sicher, daß ein beständiger Verlust fein verteilter Materie von der Sonne stattfindet. Dieser ist aber nicht größer als die Zufuhr (siehe unten), oder etwa 300 Milliarden Tonnen im Jahr, so daß während einer Billion Jahre nicht einmal ein 6000stel der Sonnenmasse ( $2 \times 10^{27}$  Tonnen) in den Raum hinausgestreut wird. Diese Zahl ist sehr unsicher. Wir wissen nämlich, daß viele Meteoriten auf die Erde niederfallen, teils in kompakter Form, teils auch als feiner Staub in den Sternschnuppen, die

in der Erdatmosphäre aufflammen und erlöschen; ihre Masse kann auf etwa 20000 Tonnen pro Jahr geschätzt werden. Nach dieser Schätzung kann man berechnen, daß der Meteorregen, der auf die Sonne fällt, dreihundert Milliarden Tonnen jährlich erreicht. Seit unendlichen Zeiträumen haben alle Sonnen Materie in den Raum abgegeben, und es erscheint daher selbstverständlich, daß manche Sonne jetzt nicht mehr existieren würde, wenn von dort keine Zufuhr an Materie zur Deckung des Verlustes stattgefunden hätte. Die kalten Sonnen haben verhältnismäßig geringen Verlust, aber ebenso große Einnahme an Materie wie die warmen. Da nun unsere Sonne zu den kälteren Himmelskörpern gehört, so ist wahrscheinlich der Abgang an Materie von der Sonne darum etwas zu hoch geschätzt worden, indem man ihn ebensohoch wie die Zufuhr annahm.

Woher kommen nun die Meteoriten? Wenn sie nicht fortwährend neugebildet würden, müßte ihre Zahl verschwindend klein sein, denn im Laufe der Zeiten wären sie allmählich von den größeren Himmelskörpern eingefangen worden. Es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, daß sie durch Zusammenwachsen kleiner Partikeln entstehen, die von den Sonnen durch den Strahlungsdruck ausgeworfen werden. Die für die Meteoriten charakteristischen sogenannten Chondren haben eine Struktur, als ob sie aus einer Menge äußerst feiner Körner zusammengewachsen wären (Fig. 37). Nordenskiöld sagt: „Die allermeisten Meteoriten bestehen aus einem äußerst feinen Gewebe von verschiedenen Metallegierungen. Die Meteoritenmasse ist oft so porös, daß sie sich an der Luft wie ein Eisenschwamm oxydiert. Das Pallaseisen zeigt nach dem Durchsägen der großen Eisenmasse diese für den Sammler so betäubende Eigenschaft; ebenso das Eisen von Cranbourne, Toluca u. a. m., ja fast alle Meteoriten mit ganz wenigen Ausnahmen. Alles deutet darauf, daß sich diese kosmischen Eisenmassen so bildeten, daß sich im Weltall Atom auf Atom von Eisen, Nickel, Phosphor u. a. häuften, ungefähr wie sich Metallatom an Metallatom an-

gliedert bei einer Metallausfällung aus einer Flüssigkeit auf galvanischem Weß. Ähnlich verhalten sich die meisten Steinmeteoriten. Der Stein ist oft, bis auf die Schlackendecke der Oberfläche, so porös und locker, daß er als Filtrierstein dienen könnte und sich zwischen den Fingern leicht zerbröckeln läßt.“ Wenn die elektrisch geladenen

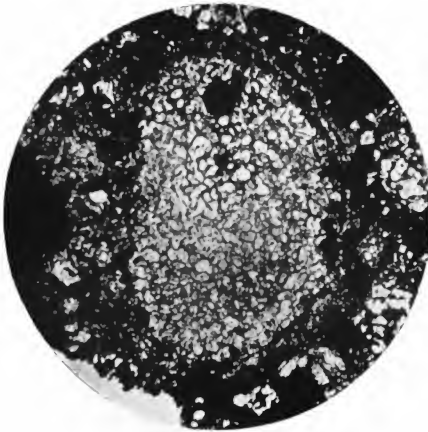


Fig. 37.

Körniges Chondrum in dem Meteorstein von Sexes. Vergrößerung 1:70; nach O. Tschermak.

Staubkörner sich zusammenballen, so kann ihre geringe elektrische Spannung (ca. 0,02 Volt) bedeutend wachsen. Unter dem Einfluß des ultravioletten Lichtes entladen sich dann diese Meteoritenmassen, wenn sie in die Nähe von Sonnen kommen, wie Lenard zeigte. Ihre negative Ladung entweicht in Form von sogenannten Elektronen.

Da nun die Sonne durch die Koronastrahlen eine Menge

Partikelchen verliert, und diese nach Wilsons Versuch wahrscheinlich negative Elektrizität mitführen, so muß eine positive Ladung in der Schicht zurückbleiben, von welcher die Koronastrahlen ausgehen, und, durch Ableitung hiervon, auch auf der Sonne selbst. Würde diese Ladung kräftig genug, so könnte sie die negativ geladenen Partikelchen in den Koronastrahlen am Entweichen von der Sonne hindern, und alle auf Strahlungsdruck beruhenden elektrischen Erscheinungen würden aufhören. Mit Hilfe der Ergebnisse der modernen Elektronentheorie habe ich berechnet, wie groß das Maximum der Sonnenladung werden kann, ohne daß diese Erscheinungen aufhören. Das würde 250 Milliarden Coulomb Sonnenladung sein, eine durchaus nicht zu große Elektrizitätsmenge, da sie nur hinreichend wäre, um 24 Tonnen Wasser zu zersetzen.

Durch diese positive Ladung übt die Sonne eine ungeheuer große Anziehungskraft auf alle in ihre Nähe kommenden negativ geladenen Partikeln aus. Wie oben bemerkt, verlieren die zu Meteoriten zusammengewachsenen Sonnenstaubkörnchen unter der Einwirkung von ultraviolettem Licht ihre Ladung in Form von negativen Elektronen, äußerst kleinen Partikelchen, von denen ungefähr tausend soviel wie ein Wasserstoffatom wiegen (ein Gramm Wasserstoff enthält etwa  $10^{24}$  Atome,  $10^{27}$  Elektronen entsprechend). Diese Elektronen irren im Raum umher. Kommen sie in die Nähe eines positiv geladenen Himmelskörpers, so werden sie mit großer Kraft von demselben angezogen. Bewegten sich die Elektronen mit einer Geschwindigkeit von 300 km in der Sekunde (wie bei Lenards Versuch) und hätte die Sonne ein Zehntel der früher berechneten Maximalladung, so vermöchte sie alle Elektronen aufzusaugen, deren gradlinige Bahnen, sofern sie nicht von der Sonne gekrümmt wären, in einem Abstand von der Sonne lägen, der 125mal größer ist als der Abstand zwischen der Sonne und ihrem entferntesten Planeten, dem Neptun, und 3800mal größer als der zwischen Sonne und Erde, aber nur ein Sechzig-

stel des Abstandes vom nächsten Fixstern. Die Sonne drainiert sozusagen ihre Umgebung in bezug auf negative Elektrizität, und diese Drainierung führt der Sonne, wie man leicht beweisen kann, eine Elektrizitätsmenge zu, die in direktem Verhältnis zur positiven Sonnenladung steht. Es ist also in elektrischer Beziehung sehr gut für das Gleichgewicht zwischen Einnahme und Ausgabe der Sonne gesorgt.

Wenn eine elektrische Partikel in ein magnetisches Feld gerät, so beschreibt sie eine Spirale um die sogenannten magnetischen Kraftlinien. In größerem Abstand scheint die Partikel sich in Richtung der Kraftlinien zu bewegen. Die von den Sonnenpolen ausgehenden Koronastrahlen zeigen deutlich eine Krümmung, die sehr an diejenige der Kraftlinien um einen Magneten erinnert, und aus diesem Grunde hat man angenommen, daß die Sonne sich wie ein großer Magnet verhält, dessen magnetische Pole mit den geographischen nahe zusammenfallen. Auch die Koronastrahlen näher am Äquator zeigen diese Krümmung (vgl. Fig. 30). Die abstoßende Kraft des Strahlungsdrucks ist indessen dort senkrecht gegen die Kraftlinien gerichtet und viel größer als die magnetische Kraft, so daß die Koronastrahlen dadurch gezwungen werden, zwei große, in äquatorialer Richtung verlaufende Büschel zu bilden. Das tritt besonders zu Zeiten der Sonnenfleckminima hervor. Während der Sonnenfleckmaxima scheinen die Kraft des Strahlungsdrucks und Anfangsgeschwindigkeit der Staubkörner so stark überwiegend zu sein, daß die magnetische Kraft verhältnismäßig wenig zur Geltung kommt.

Die Astronomen sagen uns, daß die Sonne nur ein Stern von geringer Lichtstärke sei, im Vergleich mit den klaren Sternen, die unsere Bewunderung erregen. Ebenso gehört die Sonne einer verhältnismäßig kalten Sternengruppe an. Man kann sich daher leicht vorstellen, daß der Strahlungsdruck in der Nähe dieser großen Sterne weit größere Mengen Materie bewegen kann, als in unserm Sonnensystem. Hätten nun jemals die verschiedenen Sterne aus verschiedenen chemischen Grundstoffen bestanden, so

muß diese Verschiedenheit im Lauf der Zeiten ausgeglichen worden sein. Die Meteorsteine können als Musterkarten der in allen möglichen Fernen des Weltenraumes gesammelten Materie betrachtet werden. Welche Körper finden wir nun da?

In den Kometen (vgl. S. 94) spielen Eisen, Natrium, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff (im Cyan) die wichtigste Rolle. Wir wissen nunmehr, besonders durch Schiaparellis Untersuchungen, daß Meteoriten oft Bruchstücke von Kometen sind und daher mit ihnen verwandt sein müssen. So war zum Beispiel Bielas Komet, der eine Umlaufszeit von 6,6 Jahren besaß, seit 1852 verschwunden — schon 1845 hatte er sich in Zwei geteilt — und wurde in einem Meteorschwarm von derselben Umlaufszeit wiedergefunden, der am 27. November der Erdbahn nahekommt. Ähnliche Verhältnisse wurden für einige andere Meteorschwärme konstatiert. Wir wissen auch, daß die obengenannten Stoffe, die mit Hilfe der Spektralanalyse in den Kometen nachgewiesen worden sind, die hauptsächlichsten Bestandteile der Meteoriten bilden, die außerdem noch die Metalle Calcium, Magnesium, Aluminium, Nickel, Kobalt und Chrom, sowie die Metalloide Sauerstoff, Silicium, Schwefel, Phosphor, Chlor, Arsen und Argon und Helium enthalten. Ihre Zusammensetzung erinnert lebhaft an die vulkanischen Produkte von sogenannter basischer Natur, das heißt solche, die verhältnismäßig große Mengen Metalloxyde enthalten und aus guten Gründen als von tieferen Schichten des Erdinnern herstammend betrachtet werden. Lockyer machte Meteorsteine im elektrischen Lichtbogen glühend und fand ihr Spektrum sehr ähnlich dem Sonnenspektrum.

Wir ziehen daraus den Schluß, daß diese Boten aus anderen Sonnensystemen, die uns Proben von deren chemischen Bestandteilen bringen, sehr nahe Verwandtschaft mit unserer Sonne und unserem Erdinnern zeigen. Daß andere Sterne (und Kometen) in der Hauptsache aus denselben Stoffen zusammengesetzt sind, wie unsere Sonne und unsere Erde, hat uns übrigens die Spektralanalyse schon gezeigt.

Aber verschiedene Metalloide, wie Chlor, Brom, Schwefel, Phosphor und Arsen, die eine große Rolle in der Zusammensetzung der Erde spielen, konnten in den Spektren der Himmelskörper (auch in dem der Sonne) nicht nachgewiesen werden. Man findet sie aber in den Meteoriten wieder und es besteht nicht der geringste Zweifel, daß sie auch zu den wesentlichen Bestandteilen der Sonne und der andern Himmelskörper zählen. Aber diese Metalloide geben nur schwer Spektren, und dies ist auch offenbar die Ursache, warum es noch nicht geglückt ist, ihre Anwesenheit in den Himmelskörpern mit Hilfe der Spektralanalyse nachzuweisen. Was die neuentdeckten sogenannten Edelgase, Helium, Argon, Neon, Krypton und Xenon betrifft, so hat man sie in der Chromosphäre mittels ihres bei Sonnenfinsternissen aufgenommenen Spektrums nachgewiesen (Stassano). Doch sind nach Mitchell diese Angaben bezüglich Krypton und Xenon noch etwas unsicher.

Die kleinen Staubkörnchen, die vom Strahlungsdruck hinaus in den Raum in alle möglichen Entfernungen von Sonnen und Sternen geführt werden, können aufeinander treffen und sich zu größeren oder kleineren Aggregaten in Form von kosmischem Staub oder Meteorsteinen ansammeln. Diese Aggregate fallen teils auf andere Sterne, Planeten, Kometen oder Monde, teils — und zwar in recht großer Menge — schweben sie im Raum umher. Dort bilden sie nebst größeren dunklen Himmelskörpern eine Art Nebel, der uns teilweise das Licht entfernter Himmelskörper entzieht. Deshalb sehen wir nicht den ganzen Himmel mit leuchtenden Sternen bedeckt, wie es der Fall wäre, wenn (wie anzunehmen) die Sterne ungefähr gleichmäßig über den ganzen unendlichen Raum des Weltalls verbreitet wären und kein Hindernis uns ihr Licht verdecken könnte. Aber wenn es nicht andere Himmelskörper von sehr niedriger Temperatur und großer Ausdehnung gäbe, die die Wärme der leuchtenden Sonnen aufnahmen, so würden sehr bald die dunklen Himmelskörper, die Meteoriten und der dunkle

kosmische Staub so stark von der Sonnenstrahlung erwärmt werden, daß auch sie glühend würden; und das ganze Himmelsgewölbe würde uns dann wie eine einzige glühende Wölbung erscheinen, deren heiße Strahlung zur Erde bald alles Lebendige verbrennen würde.

Diese anderen kalten Himmelskörper, die die Sonnenstrahlen einsaugen, ohne selbst erwärmt zu werden, sind die sogenannten Nebelflecke oder Nebelsterne. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß sich diese merkwürdigen Himmelskörper, kurz gesagt überall am Himmelsgewölbe befinden. Der wunderbare Mechanismus, der bei ihnen Wärmeaufnahme ermöglicht, ohne daß ihre Temperatur steigt, soll später näher erwähnt werden (vgl. Abt. VII). Da diese kalten Nebelflecke den größten Teil des Himmelsraumes einnehmen, so muß auch der größte Teil des kosmischen Staubs auf seiner Wanderung durch die unermesslichen Räume schließlich in sie hineinstürzen. Dort trifft der Staub auf Gasmassen, die das Eindringen der kleinen Körper aufhalten. Da der Staub elektrische Ladungen, hauptsächlich negative, enthält, werden auch diese in der äußern Schicht der Nebelflecke angehäuft. Das geht so lange vor sich, bis die elektrische Spannung so stark wird, daß die Entladung durch Auswerfen von Elektronen beginnt. Dadurch werden die umgebenden Gase, obwohl ihre Temperatur den absoluten Nullpunkt ( $-273^{\circ}$  C) wenig, vielleicht um etwa  $50^{\circ}$ , übersteigt, zum Leuchten gebracht, und auf diese Weise erhalten wir Kenntnis von der Existenz der Nebelflecke. Da die meisten Partikelchen aufgehalten werden, ehe sie Zeit gefunden haben, etwas tiefer in die Nebelflecke einzudringen, so sind es in der Hauptsache die äußeren Teile der Weltnebel, die uns ihr Licht zusenden. Das stimmt mit Herschels Beschreibung der planetarischen Nebelflecke überein, die in ihrer Mitte keine größere Lichtstärke zeigen, sondern so leuchten, als ob sie „eine hohle, kugelförmige Schale“ von Nebelmaterie bildeten. Nun ist es ein Leichtes zu beweisen, daß nur die allerschwerst kondensierbaren Stoffe, wie Helium und Wasserstoff, in nennens-



werter Menge bei dieser niederen Temperatur in Gasform existieren können. Daher leuchten die Nebelflecke fast ausschließlich in den Farben dieser Gase. Außerdem kommt in den Nebelflecken ein rätselhafter Stoff, die Nebelmaterie „Nebulium“, vor, deren eigentümliches Licht auf der Erde oder andern Himmelskörpern nicht wiedergefunden wird. Man suchte dies früher so zu erklären, daß man annahm, in den Nebelflecken kämen keine andern Körper als die genannten vor, oder die anderen Grundstoffe in ihnen wären zu Wasserstoff zersetzt — Helium kannte man damals nicht. Die einfache Erklärung ist, daß nur die Gase der äußeren Nebelfleckschicht leuchten; wie deren Inneres zusammengesetzt ist, davon wissen wir nichts.

Man hat gegen diese Erklärung eingewendet, daß nach ihr das ganze Himmelsgewölbe in nebelhaftem Schein leuchten und auch die äußere Erdatmosphäre diesen Schein zeigen müßte. Nun kommen aber Wasserstoff und Helium nur spärlich in der Erdatmosphäre vor; hingegen gibt diese ein anderes Licht, nämlich die sogenannte Nordlichtlinie, die vermutlich von Krypton herrührt. Wo man auch das Spektroskop in einer recht klaren Nacht, besonders in den Tropen, zum Himmel richtet, beobachtet man diese eigentümliche grüne Linie. Man glaubte früher, daß sie dem Zodiakallicht eigentümlich sei, aber bei näherer Untersuchung hat man sie überall am Himmelsgewölbe gefunden, auch da, wo kein Zodiakallicht beobachtet werden konnte. Der eine Einwand gegen obengenannte Ansicht ist also unbegründet, denn die nähere Untersuchung zeigt, daß die Ansicht mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt.

Was den andern Einwand betrifft, so muß dagegen bemerkt werden, daß, wenn ein Licht von uns wahrgenommen werden soll, seine Stärke einen gewissen Minimalwert übersteigen muß. Es kann Nebelflecke geben, und wahrscheinlich machen sie die Mehrzahl aus, die wir nicht beobachten können, weil die Zahl der in sie stürzenden, geladenen Partikelchen viel zu unbedeutend ist. Eine Bekräftigung dieser

Ansicht gab uns das Aufleuchten des neuen Sterns im Perseus am 21.—22. Februar 1901. Aus diesem Stern wurden zwei verschiedene Arten Partikelchen ausgestoßen, von denen die eine Art sich mit ungefähr doppelt so großer Geschwindigkeit bewegte wie die andere. Diese Staubanhäufungen bildeten zwei kugelförmige Hüllen rund um den neuen Stern. Sie entsprachen in jeder Beziehung den zwei Arten von Kometenschweifen (von Bredichins erster und zweiter Ordnung), die man zuweilen am selben Kometen beobachtete (Fig. 35). Als diese Staubpartikeln gegen die in ihrem Weg liegenden Nebelmassen stießen, wurden letztere leuchtend und wir erhielten auf diese Weise Kenntnis von großen Sternennebeln, von deren Dasein wir vorher nicht die geringste Ahnung gehabt hatten. Ähnlicher Art sind ohne Zweifel die Verhältnisse auch in andern Himmelsgegenden, wo wir bis heute keine Nebel beobachten; wie wir glauben, wegen zu geringer Anzahl der dort umherstreifenden geladenen Partikelchen. Auf die gleiche Weise erklärt sich die Veränderlichkeit einiger Nebel, die früher besonders rätselhaft erschien.

## Der Sonnenstaub in der Erdatmosphäre; Polarlicht und Variationen des Erdmagnetismus.

Wir haben im vorhergehenden die Wirkungen der von der Sonne und den Sternen abgeschleuderten Partikeln auf entfernte Himmelskörper betrachtet. Man kann fragen, ob dieser Staub nicht auf unsere eigene Erde einwirkt. Den eigentümlichen Schein, der sich in klaren Nächten über das Himmelsgewölbe ausbreitet, haben wir schon als eine Folge von elektrischen Entladungen des einfallenden Staubes angeführt. Das führt natürlich zu der Frage, ob nicht die prachtvollen Polarlichter, die ja auch nach neueren Ansichten auf elektrischen Entladungen in den höheren Luftschichten beruhen, von einfallendem Sonnenstaub verursacht werden können. In der Tat zeigt es sich, daß wir auf diese Weise eine ganze Reihe von Eigentümlichkeiten dieser rätselhaften Erscheinung erklären können, die die Phantasie der Menschen von jeher in hohem Grad angeregt hat.

Wir wissen von den Meteoren und Sternschnuppen, daß sie durch den Widerstand der Luft in einer mittleren Höhe von 120 km, oft sogar in 150—200 km Höhe glühend gemacht werden, ja in einem einzelnen Falle glaubt man beobachtet zu haben, daß sie in noch größerer Höhe sichtbar waren. Daraus ergibt sich, daß merkbare Luftmengen noch in sehr großer Höhe vorhanden sind, und daß die Atmosphäre

nicht, wie man früher glaubte, schon in weniger als 100 km Höhe unmerklich wird. Es ist darum klar, daß viel kleinere Körper, sowie der oftgenannte Sonnenstaub, die wegen ihrer Kleinheit und der damit zusammenhängenden starken Abkühlung durch Strahlung und Leitung nie Glühtemperatur erreichen, schon in größeren Höhen aufgehalten werden. Wir wollen eine mittlere Höhe von etwa 400 km annehmen.

Die Staubmassen, die von der Sonne weggetrieben werden, sind teils ungeladen, teils auch mit positiver oder negativer Elektrizität geladen. Nur die letzteren können mit dem Nordlicht in Zusammenhang stehen; die ersteren fallen nieder in die Atmosphäre und sinken langsam auf die Erdoberfläche herunter. Sie bilden den sogenannten kosmischen Staub, von dessen großer Bedeutung Nordenskiöld so fest überzeugt war. Er schätzte den jährlichen Zuwachs der Erde durch Meteore auf mindestens 10 Millionen Tonnen, oder 500mal mehr wie oben angegeben (S. 98). Er, sowie Lockyer und in neuester Zeit Chamberlin, glaubten daher, daß die Planeten sich größtenteils aus Meteoriten aufbauen.

Der von der Sonne zur Erde kommende Staub würde, wenn er nicht elektrisch geladen wäre, nicht mehr als etwa 200 Tonnen im Jahre betragen. Wenn auch diese Annahme viel zu niedrig ist, so ist doch die Zufuhr an Materie auf diesem Wege jedenfalls sehr gering im Vergleich mit den 20000 Tonnen, die die Erde durch Sternschnuppen und Meteore erhält. Aber die Wirkung dieses Staubes ist dennoch wegen seiner äußerst feinen Verteilung sehr bedeutend und er dürfte einen viel größeren Teil des fein verteilten kosmischen Staubes in den höchsten Luftschichten ausmachen als der von den niederfallenden Meteoriten und Sternschnuppen gelieferte.

Daß diese Partikeln trotz ihrer verhältnismäßig unbedeutenden Masse einen merkbaren Einfluß auf irdische Verhältnisse ausüben, beruht teils darauf, daß sie äußerst klein sind und deshalb, wie der Staub von Krakatoa, lange — teilweise länger als ein Jahr — in der Luft schwebend erhalten werden, teils auch auf ihrer elektrischen Ladung.

Ihre Wirkungen auf die Erde können erkannt werden, wenn man untersucht, wie die irdischen Verhältnisse von der Stellung der Erde zu verschiedenen aktiven Teilen der Sonne und von der Änderung der Sonne selbst in bezug auf Ausstrahlung von Staubpartikeln abhängen. Für diese Untersuchung müssen wir uns ausgedehnter statistischer Daten bedienen, denn nur durch lange Serien von Beobachtungen kann man einen deutlichen Begriff von der Wirkung des Sonnenstaubs erhalten.

Diese Partikelchen entführen der Sonne die Gase, die sie an ihrer Oberfläche zu kondensieren vermochten, und die ursprünglich in der Chromosphäre und Korona der Sonne sich befunden hatten. Unter diesen spielen Wasserstoffgas und nächst diesem Helium und die übrigen Edelgase, die Ramsay in der Luft nachgewiesen hat, die Hauptrolle. Diese Gase finden sich auch, obwohl in geringer Menge, in der Erdatmosphäre. Was den Wasserstoff anbelangt, so behaupten Liveing und nach ihm Mitchell, daß er in der Erdatmosphäre nicht produziert wird. — Sicherlich findet sich Wasserstoff zuweilen in den Vulkangasen; so strömt er beispielsweise aus dem Krater Kilauea auf Hawai, aber er verbrennt sofort an der Luft. — Wenn er in der Atmosphäre vorhanden wäre, müßte er sich allmählich mit ihrem Sauerstoff zu Wasser verbinden, und so bleibt nichts anderes übrig als anzunehmen, daß er in geringer Menge von anderer Seite, nämlich von der Sonne aus, zugeführt wird. Mitchell sieht darin eine kräftige Stütze der Ansicht, daß Sonnenstaub in den Luftkreis niederfällt.

Die in den Luftkreis einfallende Menge Sonnenstaub muß natürlich parallel mit der eruptiven Tätigkeit der Sonne variieren. Die Staubmenge in den höheren Luftschichten beeinflußt die Farbe des Sonnenlichts. Nach dem Ausbruch des Vulkans Rakata auf Krakatoa 1883 und, obwohl in geringerem Maß, nach dem Ausbruch des Mont Pelée auf Martinique beobachtete man den sogenannten roten Schein. Gleichzeitig zeigte sich eine andere Erscheinung, die quantitativ gemessen

werden konnte. Das Himmelslicht ist, mit Ausnahme des von einigen wenigen Stellen kommenden, polarisiert. Von diesen liegt eine, Aragos Punkt genannt, etwas über dem Gegenpunkt der Sonne, und eine andere, Babinets Punkt, etwas oberhalb der Sonne. Wenn man die Höhe dieser Punkte über dem Horizont bei Sonnenuntergang bestimmt, so findet man in Übereinstimmung mit der theoretischen Voraussagung, daß dieselbe größer ist, wenn die höheren Luftschichten mit Staub erfüllt sind, (wie nach dem Ausbruch des Rakata), als unter normalen Verhältnissen. Busch, ein deutscher Forscher, untersuchte die mittlere Höhe dieser Punkte (in Bogengraden) bei Sonnenuntergang und fand folgende eigentümliche Zahlen:

Jahr	1886	87	88	89	90	91	92	93	94	95	Mittel
Aragos Punkt	20,1	19,7	18,4	17,8	17,7	20,6	19,6	20,2	<b>20,7</b>	18,8	19,4
Babinets Punkt	23,9	21,9	17,9	26,8	<b>15,4</b>	23,3	21,5	<b>24,2</b>	23,3	19,0	20,7
Sonnenfleckzahl	23,1	19,1	6,7	<b>6,1</b>	6,5	35,6	73,8	<b>84,9</b>	78,0	63,9	40,0

Im Gang dieser Zahlen ist eine deutliche Übereinstimmung. Fast gleichzeitig mit dem Sonnenfleckmaximum erreicht auch die Höhe der beiden sogen. neutralen Punkte über dem Horizont bei Sonnenuntergang einen Maximalwert, und Ähnliches gilt für die Minimalwerte. Vielleicht, daß die Erscheinungen im Luftmeer etwas später als die sie verursachenden Erscheinungen auf der Sonne eintreten, was nur natürlich wäre.

Ist die Luft reich an Staub und auch durch Kathodenstrahlen stark ionisiert, so sind die Verhältnisse der Wolkenbildung günstig. Das kann man beispielsweise bei Nordlicht beobachten, das so regelmäßig charakteristische Wolkenbildungen zur Folge hat, daß Adam Paulsen mit Hilfe dieser Wolken Nordlichter mitten am hellen Tag zu beobachten imstande war. Eine Übersicht des Zusammenhanges zwischen der Frequenz der höheren Wolken — der sogenannten Federwolken — in Cöln und der Anzahl der Sonnenflecken während der Periode 1850—1900 gab Klein. Er

zeigte, daß während dieser Zeit, die mehr als vier Sonnenfleckperioden umfaßt, die Sonnenfleckmaxima in die Jahre fallen, in denen die größte Anzahl Federwolken beobachtet wurde. Ebenso stimmen die Minima beider Erscheinungen überein.

Auch auf dem Jupiter scheint eine ähnliche stärkere Wolkenbildung stattzufinden, wenn viele Sonnenflecken beobachtet werden. Vogel bemerkt, daß der Jupiter bei solcher Gelegenheit in weißerem Licht leuchtet, während er dagegen bei Sonnenfleckminima tiefer rot erscheint, Je tiefer man in Jupiters Atmosphäre hineinschauen kann, desto röter erscheint der Planet. Bei starker Sonnentätigkeit füllen sich also die höheren Teile der Jupiter-Atmosphäre mit Wolken.

Die Entladung des geladenen Sonnenstaubs innerhalb des Luftkreises veranlaßt das Polarlicht.

Die Polarlichter kommen, wie schon der Name sagt, am häufigsten in den Gegenden um die Pole der Erde vor. Sie sind jedoch nicht desto häufiger, je näher man den Polen kommt, sondern erreichen das Maximum der Frequenz an Kreisen, die die magnetischen und geographischen Pole einschließen. Der nördliche Maximumgürtel geht über Kap Tscheljuskin, nördlich von Novaja Semlja, an der Nordwestküste Norwegens entlang, einige Grade südlich von Island und Grönland, mitten über die Hudson Bay und über die Nordwestspitze von Alaska. Von hier an nimmt das Nordlicht rasch nach Süden ab, so daß es in Stockholm 5mal, in Berlin 30mal seltener ist, als in Lappland.

Paulsen teilt die Nordlichter in zwei Klassen ein, die sich in mancher Beziehung ganz verschieden verhalten. Die große Schwierigkeit, mit der bis jetzt die Lösung des Polarlichtproblems verknüpft war, scheint zum großen Teil daher zu rühren, daß man alle Polarlichter gleichartig behandeln wollte.

Die Polarlichter der ersten Klasse haben keine Strahlen. Sie nehmen am Himmel einen großen Raum in horizontaler Richtung ein. Sie sind sehr ruhig, ihr Licht auffallend be-

ständig. Sie nähern sich im allgemeinen langsam dem Zenith und ziehen keine magnetischen Störungen nach sich.

Diese Nordlichter haben gewöhnlich die Form eines Bogens, dessen Höhepunkt in der Richtung des magnetischen Meridians gelegen ist (siehe Fig. 38). Zuweilen liegen mehrere Bogen übereinander.

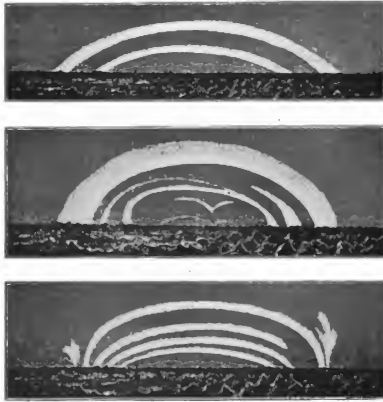


Fig. 38.

Bogenförmige Nordlichter, beobachtet von Nordenskiöld, während der Überwinterung der „Vega“ nahe der Behrings-Strasse 1879.

Nordenskiöld beobachtete diese Bogen ganz regelmäßig in der Polarnacht, als er in der Nähe des Behringsundes bei Piteleka überwinterete. Adam Paulsen hat sie oft auf Island und Grönland beobachtet, die innerhalb des vorhin genannten Maximumgürtels liegen, und wo Nordlichter sehr gewöhnlich sind. Mitunter kommen sie auch näher am Äquator vor, als milchweiße Zirkelbogen, die zuweilen ganz hoch am Himmelsgewölbe stehen.



Manchmal beobachtet man in arktischen Gegenden, daß große Himmelsstrecken von einem diffusen Licht bedeckt sind, das man am ehesten mit einer durchsichtig leuchtenden Wolke vergleichen könnte, in die dunklere Partien eingestreut zu sein scheinen, deren Dunkelheit wahrscheinlich auf Kontrastwirkung beruht. Diese Erscheinung wurde öfters von der schwedischen Expedition im Jahre 1882—1883 bei Kap Thorsden wahrgenommen.

Sehr oft hat man, besonders in arktischen Gegenden, Lichtmassen beobachtet, die in so geringer Höhe in der Luft schwebten, daß sie dahinterliegende Bergwände ver-



Fig. 39. Strahlenförmiges Nordlicht.

deckten. So sah Lemström ein Nordlicht auf Spitzbergen vor einer nur 300 m hohen Bergwand. Im nördlichen Finland beobachtete er die Nordlichtlinie im Lichte der Luft vor einem einige Meter entfernten schwarzen Tuch. Adam Paulsen zählt auch diese Erscheinungen zum Polarlicht erster Klasse, und betrachtet sie als phosphoreszierende Wolken, die durch Luftbewegungen ungewöhnlich tief in die Atmosphäre herunter geführt werden.

Die Polarlichter der zweiten Klasse zeichnen sich durch die charakteristischen Nordlichtstrahlen aus. Mitunter sind diese Strahlen voneinander getrennt (siehe Fig. 39), meistens verschmelzen sie miteinander, besonders nach unten zu, in

Form von gewöhnlich sehr beweglichen Draperien, die im Winde zu flattern scheinen (siehe Fig. 41). Die Strahlen verlaufen sehr nahe in der Richtung der Inklinationsnadel, und wenn sie sich sehr zahlreich rings um das Himmelsgewölbe entwickeln, so tritt ihr Konvergenzpunkt auf demselben sehr deutlich in Form der sogenannten Korona (siehe Fig. 40) hervor. Während seiner stärksten Entwicklung wird das Nordlicht von zahlreichen Lichtwellen durchlaufen.

Die Draperien sind sehr dünn. Paulsen beobachtete zuweilen, wie sie über seinen Kopf hinweggingen (auf Grönland). Sie erschienen da in der Verkürzung, und hatten die Form gewundener Lichtstreifen oder Bänder. Diese Polar-



Fig. 40. Nordlicht-Korona, beobachtet von Gylenskiöld auf Spitzbergen 1883.

lichter beeinflussen die Magnetnadel. Wenn sie den Zenith passieren, ändert sich ihre Einwirkung, so daß die Abweichung der Magnetnadel von östlich nach westlich übergeht, wenn das Band sich von Nord nach Süd bewegt. Hieraus schloß Adam Paulsen, daß sich in den Strahlen negative Elektrizität, Kathodenstrahlen, von oben nach unten bewegt. Diese Polarlichter entsprechen heftigen Verschiebungen negativer Elektrizität, während die Polarlichter erster Klasse aus einer phosphoreszierenden Materie zu bestehen scheinen, die nicht in stärkerer Bewegung ist. Die Strahlen können in ziemlich tief an der Erdoberfläche befindliche Luftschichten nieder gelangen, wenigstens in Gegenden, die dem Maximumring des Nordlichts naheliegen. So beobachtete Parry in Port

Bowen einen Nordlichtstrahl vor einem Strand von nur 214 m Höhe.

Nordlicht erster Art kann in solches der zweiten übergehen, und umgekehrt. Man sieht oft aus dem Nordlichtbogen Strahlen plötzlich nach unten schießen, und, wenn das Nordlicht stark ist, auch nach oben. Andererseits können die heftigen Bewegungen eines „Draperielichtes“ abnehmen und einem diffusen, stetigen Licht am Himmelsgewölbe Platz machen. Das Polarlicht erster Klasse wird hauptsächlich in

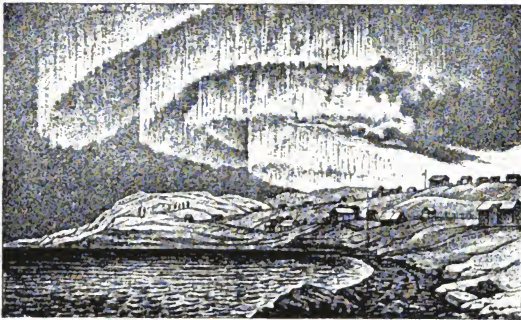


Fig. 41. Nordlicht-Draperien, beobachtet in Finnmarken, nördl. Norwegen.

den arktischen Gegenden wahrgenommen. Ihm entspricht in weiter ab vom Pol gelegenen Gegenden das diffuse Licht, das gleichförmig am Himmelsgewölbe ausgebreitet scheint und die Nordlichtlinie gibt.

Die gewöhnlichen (nicht allein von Teilnehmern arktischer Expeditionen) beobachteten Polarlichter gehören zur zweiten Klasse; und alle die in der unten gegebenen Statistik angeführten, ausgenommen die von Island und Grönland, gehören zu den Strahlungspolarlichtern. Während die Strahlungsnordlichter ganz deutlich mit der 11,1 Jahresperiode übereinstimmen, so daß sie bei großer Anzahl von Sonnen-

flecken häufiger werden, ist das nach Tromholt nicht der Fall bei den Nordlichtern von Island und Grönland. Ihre Häufigkeit scheint im Gegenteil ziemlich unabhängig von derjenigen der Sonnenflecken zu sein. Oft sind die den Sonnenfleckmaxima entsprechenden Nordlichtmaxima von einem sekundären Minimum in zwei Hälften geteilt. Dieses Phänomen ist am deutlichsten in den Polarländern, tritt aber auch in der Statistik von Skandinavien und andern Ländern hervor.

Um nun die Natur des Nordlichts richtig zu verstehen, wollen wir die Sonnenkorona eines Minimaljahres, z. B. von 1900 betrachten (vgl. Fig. 30). Die Koronastrahlen in der Nähe der Sonnenpole werden durch die Einwirkung der magnetischen Kraftlinien auf der Sonne seitlich gebeugt. Die kleinen, negativ geladenen Tropfen haben offenbar nur geringe Geschwindigkeit, so daß sie sich ganz nahe den Kraftlinien in der Nähe der Sonnenpole bewegen und unten gegen den Äquator zu, ansammeln. Dort liegen die Kraftlinien weniger dicht, das heißt, die magnetischen Kräfte sind daselbst schwächer, und der Sonnenstaub kann daher vom Strahlungsdruck in einer großen Scheibe längs der Sonnenäquatorialebene ausgetrieben werden. Diese Scheibe erscheint, von uns aus gesehen, wie zwei große Strahlenbündel, die in der Richtung des Sonnenäquators herausstehen. Ein Teil dieses Sonnenstaubes kommt in die Erdnähe und erleidet da natürlich eine Einwirkung von den magnetischen Kraftlinien der Erde, so daß er in zwei Büschel geteilt wird, die gegen beide magnetische Erdpole einstrahlen. Diese liegen in einiger Tiefe in der Erde, und daher werden nicht alle Strahlen in der Richtung auf den magnetischen Pol auf der Erdoberfläche konzentriert. Es ist natürlich, daß die negativ geladenen Partikeln, da sie von der Sonne kommen, hauptsächlich nach einer Gegend strömen werden, die etwas südlich vom magnetischen Nordpol liegt, wenn dieser Mittag hat. Wenn der magnetische Nordpol Mitternacht hat, werden die meisten geladenen Partikeln von den Kraftlinien erfaßt, ehe sie am geographischen Nordpol vorbeikommen, und

deshalb wird der Maximumgürtel für das Nordlicht den magnetischen und den geographischen Pol, wie wir oben anführten, umgeben (vgl. S. 111). Der negativ geladene Sonnenstaub wird folglich in zwei Ringen über den Maximumgürteln des Polarlichts konzentriert, und veranlaßt einen phosphoreszierenden Schein, wenn er Luftmoleküle trifft, wie wenn sie von den elektrisch geladenen Partikeln des Radiums getroffen würden. Dieser phosphoreszierende Schein erhebt sich als leuchtender Bogen in ungefähr 400 km Höhe (nach Paulsens Messungen), und der Scheitel dieses Bogens scheint jedesmal dort zu liegen, wo der Maximumgürtel dem Beobachtungsort am nächsten ist, was ziemlich nahe mit der Richtung der Magnetnadel zusammenfällt.

Ganz anders verhält sich die Sonnenkorona während eines Sonnenfleck-Maximaljahres. (Fig. 31.) Ihre Strahlen gehen von der Sonne nach fast allen Richtungen geradeaus, und wenn einige Richtungen bevorzugt scheinen, so liegen sie gerade über den Sonnenfleckgürteln. Die Geschwindigkeit des Sonnenstaubs ist offenbar viel zu groß, als daß seine Ausströmungsrichtung in merkbarem Grad von den magnetischen Kraftlinien der Sonne abgelenkt werden könnte. In folgedessen wird dieser geladene Sonnenstaub auch nicht erheblich von den Kraftlinien des Erdmagnetismus beeinflusst, sondern er wird hauptsächlich geradeswegs dort in der Atmosphäre niederfallen, wo überhaupt die stärkste Bestrahlung stattfindet. Da diese harten Sonnenstrahlen\*) von den Sonnenfackeln auszugehen scheinen, und diese am häufigsten in Jahren mit vielen Sonnenflecken auftreten, so treten auch Polarlichter in Gegenden auf, die weitab von den Maximalgürteln der Polarlichter liegen, namentlich dann, wenn die Zahl der Sonnenflecken groß ist. Umgekehrt ist das Verhältnis bei den „weichen“ Sonnenstaubstrahlen, die im

---

\*) Die Bezeichnung „harte“ und „weiche“ Sonnenstaubstrahlen entspricht den gleichartigen Bezeichnungen bei den Kathodenstrahlen. Die „weichen“ Strahlen haben geringere Geschwindigkeit und werden daher von äusseren, z. B. magnetischen Kräften stärker abgelenkt.

Maximumgürtel des Polarlichts einfallen. Diese Strahlen kommen am häufigsten bei geringer Anzahl von Sonnenflecken vor, wie die Beobachtungen an der Sonnenkorona zeigen. (Möglicherweise werden sie in Maximaljahren von den härteren Strahlen mitgerissen.) Die diesen Strahlen entsprechenden Polarlichter erreichen daher ein Maximum bei wenig Sonnenflecken. Natürlich kommen „harte“ und „weiche“ Staubstrahlen gleichzeitig vor, aber die ersteren sind vorherrschend in Sonnenfleck-Maximaljahren, die letzteren in Minimaljahren.

Daß die Periodizität der Polarlichter in nichtarktischen Gegenden sehr genau der der Sonnenflecken folgt, ist bekannt seitdem Fritz 1863 dieses Verhältnis nachwies. Die Periodenlänge ist ziemlich wechselnd, zwischen 7 und 16 Jahren, durchschnittlich umfaßt sie 11,1 Jahre. Die Jahreszahlen für Maxima und Minima der Sonnenflecken und Nordlichter sind folgende:

Maximaljahre:

Sonnenflecken	1728	39	50	62	70	78	88	1804	16	30	37	48
	1860	71	83	93	1905.							
Nordlichter	1730	41	49	61	73	78	88	1805	19	30	40	50
	1862	71	82	93	1905.							

Minimaljahre:

Sonnenflecken	1734	45	55	67	76	85	98	1811	23	34	44	56
	1867	78	89	1900.								
Nordlichter	1735	44	55	66	75	83	99	1811	22	34	44	56
	1866	78	89	1900.								

Außerdem gibt es, wie schon De Mairan in seiner klassischen Arbeit vom Jahr 1746 nachwies, längere Perioden, die sich sowohl in der Anzahl der Sonnenflecken wie in der der Nordlichter wiederfinden. Nach Hansky ist die Länge dieser Perioden 72, nach Schuster 33 Jahre. Stark ausgeprägte Maxima kommen zu Anfang und Schluß des 18. Jahrhunderts vor, das letzte im Jahre 1788, nach welchem die Nordlichter in den Jahren 1800–1830, wie auch eine Zeitlang in der

Mitte des achtzehnten Jahrhunderts, sehr selten waren. 1850 und besonders 1871 waren starke Maxima; seitdem fehlen solche wieder.

In bezug auf die Höhe der Polarlichter finden wir in der Literatur sehr ungleiche Angaben. Im allgemeinen scheint sie desto größer zu sein, je näher der Beobachtungsort am Äquator liegt, was ja besonders gut übereinstimmt mit der geringen Ablenkung der Kathodenstrahlen gegen die Erdoberfläche in den weiter ab vom Pol gelegenen Gegenden. Gyllenskiöld fand auf Spitzbergen eine mittlere Höhe von 55 km, Bravais im nördlichsten Norwegen 100—200 km, De Mairan für Zentraleuropa 900 km, Galle wieder 300 km. Paulsen hat auf Grönland sehr niedrige Nordlichter beobachtet. Auf Island fand er für den Gipfelpunkt der Nordlichtbögen, den man wohl als den Ausgangspunkt des Nordlichts betrachten darf, etwa 400 km. Diese Höhen, von denen die nach älteren Bestimmungen wohl etwas unsicher sein dürften, entsprechen ungefähr der ermittelten Größenordnung, die man für die Höhe, in welcher der Sonnenstaub von der Erdatmosphäre aufgehalten wird, vermuten konnte.

Die Polarlichter besitzen auch eine ausgeprägte jährliche Periodizität, die mit Hilfe der Sonnenstaubtheorie leicht erklärt werden kann. Wie wir oben sahen, kommen Sonnenflecken nur selten in der Nähe des Sonnenäquators vor, und dasselbe gilt für die Fackeln. In höheren Sonnenbreiten nehmen sie rasch zu und erreichen ein Maximum bei ungefähr  $15^\circ$  Sonnenbreite. Die Äquatorialebene der Sonne ist etwa  $7^\circ$  gegen die Erdbahnebene geneigt. Die Erde befindet sich in der Sonnenäquatorialebene am 6. Dezember und 4. Juni, und am weitesten davon entfernt 3 Monate später. Man darf daher ein Minimum der die Erde treffenden Sonnenstaubpartikeln erwarten, wenn sich die Erde im Dezember und Juni in ihrer Äquatorialebene befindet, und Maxima im März und September. Diese Verhältnisse werden etwas gestört von dem Dämmerlicht, das in den hellen Sommernächten die Beobachtung der Nordlichter in den Polargegenden verhin-

dert, während die dunklen Winternächte die Beobachtung dieser schwachen Lichtphänomene begünstigen. Die Verteilung der Polarlichter auf die verschiedenen Zeiten des Jahres geht aus folgender von Ekholm und mir aufgestellten Tabelle hervor.

	Schweden 1883—96	Norwegen 1861—95	Island und Grönland 1872—92	Nordamerika Ver. Staaten 1871—93	Südlicher 1856—94
Januar	1056	<b>251</b>	804	1005	56
Februar	1173	331	734	1455	126
März	<b>1312</b>	<b>335</b>	613	1396	<b>183</b>
April	568	90	128	<b>1724</b>	148
Mai	170	6	1	1270	54
Juni	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1061</b>	40
Juli	54	0	0	1233	<b>35</b>
August	191	18	40	1210	75
September	1055	209	455	<b>1735</b>	120
Oktober	<b>1114</b>	<b>353</b>	716	1630	<b>192</b>
November	1077	326	811	1240	112
Dezember	<b>940</b>	260	<b>863</b>	<b>912</b>	81
Mittlere Zahl	727	181	430	1322	102

In Gegenden, wo der Unterschied zwischen Tag- und Nachtlänge zu verschiedenen Jahreszeiten nicht allzugroß ist, wie in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, und in Gegenden (in durchschnittlich etwa 40° südlicher Breite), wo Südlicht beobachtet wird, fällt das Hauptminimum in den Winter: auf der nördlichen Halbkugel in den Dezember, auf der südlichen in den Juni oder Juli. Ein schwächer ausgeprägtes Minimum tritt im Sommer ein. Von den Zeiten, während deren die Erde durch die Ebene des Sonnenäquators geht, und ein Minimum von Sonnenstaub zur Erde fällt, sind diejenigen durch eine größere Polarlichtfrequenz ausgezeichnet, die den höchsten Stand der Sonne am Himmel aufweisen. Man kann das wohl erwarten, denn der meiste Sonnenstaub fällt auf die Erdteile nieder, über welchen die Sonne um die Mittagszeit am höchsten steht. Die beiden Maxima im März oder April, und September oder Oktober, wenn die Erde von der Sonnenäquatorialebene am weitesten entfernt ist, sind in allen Serien stark ausgeprägt,



ausgenommen die der Polarländer Island und Grönland. Dort wird die Polarlichtfrequenz nur von der Stärke des Dämmerungslichtes bestimmt, so daß ein einziges Maximum in den Dezember, das entsprechende Minimum in den Juni fällt. Neuere Statistik (1891—1903) ergibt jedoch ein Minimum im Dezember. Aus der gleichen Ursache wird das Sommerminimum der auf hohem Breitengrad liegenden Länder, wie Schweden und Norwegen, sehr niedrig.

Aus ähnlichen Gründen ist es für die meisten Orte besonders schwer, die tägliche Periode des Polarlichts anzugeben. Der meiste Sonnenstaub fällt um Mittag, und die meisten Polarlichter müßten einige Stunden danach erscheinen, sowie die höchste Tagestemperatur etwas nach Mittag eintritt; wegen der starken Sonnenbeleuchtung unter tags kann man dieses Maximum nur in der Winternacht der Polarregionen beobachten, und da auch erst, wenn man eine Korrektur des störenden Einflusses des Dämmerungslichtes vornimmt. Auf diese Weise fand Gyllenskiöld für Kap Thorsen auf Spitzbergen ein Nordlichtmaximum 2 Uhr 40 nachm. Das entsprechende Minimum trat 7 Uhr 40 vorm. ein. An andern Orten kann man nur konstatieren, daß das Polarlicht kräftiger und häufiger vor, als nach Mitternacht ist. Das Maximum tritt in Mitteleuropa etwa um 9 Uhr abends, in Schweden und Norwegen (60° nördlicher Breite)  $\frac{1}{2}$ —1 Stunde später ein.

Bei den Polarlichtern hat man auch einige andere Perioden von etwa Monatslänge gefunden, die eine, 25,93 Tage dauernde, tritt besonders beim Südlicht hervor, wo das Maximum 44 % über der Durchschnittszahl liegt; für das Nordlicht in Norwegen ist die Zahl 23 %, für das in Schweden nur 11 %.\*) Diese Periode war früher schon nach-

---

\*) Das kommt daher, dass in den südlichen Gegenden nur sehr wenige und hauptsächlich starke Polarlichter registriert werden. Beobachtet man in einem grossen Lande sehr fleissig und an verschiedenen Stellen, so kann man fast jede Nacht Polarlicht finden. Dadurch wird der besprochene Wechsel zum grossen Teil wieder verwischt.

gewiesen bei einer ganzen Reihe anderer, besonders magnetischer Erscheinungen, die, wie wir unten sehen werden, in engstem Zusammenhang mit den Nordlichtern stehen, aber sie ist auch bei Gewittern und Luftdruckverhältnissen beobachtet worden. Man hat diesen Wechsel lange mit der Achsendrehung der Sonne in Zusammenhang gebracht. Der Österreicher Hornstein ging sogar so weit, daß er vorschlug, die Länge dieser Periode zu bestimmen, weil sie „einen genaueren Wert der Umlaufszeit der Sonne geben würde, als die direkten Bestimmungen“. Wir wissen heute, daß diese auf verschiedenen Breiten verschieden ist, ein Umstand, der schon Carrington und Spörer aus der Bewegung der Sonnenflecken auf verschiedenen Breiten wohlbekannt war, der aber ganz sicher festgestellt wurde durch Dunér's spektroskopische Messungen der Bewegung der Sonnenphotosphäre. Dunér fand für gegebene Breiten auf der Sonne folgende siderische Umlaufzeiten, denen die danebenstehenden synodischen Umlaufzeiten entsprechen. (Unter siderischer Umlaufszeit eines Punktes auf der Sonne versteht man die Zeit, die zwischen den zwei Augenblicken vergeht, in welchen ein gegebener Stern durch die Meridianebene des Punktes, das heißt, die durch die Sonnenpole und den genannten Punkt gehende Ebene geht. Die synodische Umlaufszeit wird durch die Passage der Erde durch besagte Meridianebene bestimmt. Wegen der Bewegung der Erde auf ihrer Bahn ist die synodische Umlaufszeit länger als die siderische.)

Breitengrad auf der Sonne	0	15	30	45	60	75 Grad.
Siderische Umlaufszeit	25,4	26,4	27,6	30,0	33,9	38,5 Tage.
Synodische Umlaufszeit	27,3	28,5	29,9	32,7	37,4	43,0 Tage.

Daß die Umlaufzeiten der Sonnenphotosphäre, und ähnlich auch die der Flecken, Fackeln und Protuberanzen, mit der Breite bedeutend zunehmen, ist eine der rätselhaftesten Erscheinungen in der Physik der Sonne. Etwas Ähnliches gilt auch für die Wolken des Jupiter, aber der Unterschied ist dort bedeutend geringer, nur etwa 1 %. Die Wolken der

Erdatmosphäre verhalten sich ganz entgegengesetzt, was sich aus der atmosphärischen Zirkulation auch leicht erklärt.)\*

In unserm vorliegenden Fall kann natürlich nur die Stellung der Sonne zur Erde, das heißt die synodische Umlaufzeit, von Bedeutung sein. Wir sehen da, daß die Periodenlänge von 25,93 Tagen durchaus nicht mit irgendeiner Umlaufzeit der Sonnenphotosphäre übereinstimmt. Der geringste Unterschied trifft auf den Sonnenäquator, und es wäre angezeigt, daß wir mit diesem rechnen, da die Erde sich ja nie sehr weit von der Sonnenäquatorialebene entfernt, und im übrigen periodisch zweimal jährlich dorthin zurückkehrt.

Nun tritt aber noch eine andere Eigentümlichkeit ein, nämlich: je höher oben in der Sonnenatmosphäre ein Punkt gelegen ist, desto kürzer ist seine Umlaufzeit. So ist die synodische Umlaufzeit der Fackeln am Sonnenäquator im Durchschnitt 26,06, der Flecken 26,82, und der Photosphäre 27,3 Tage. Höher liegende Fackeln rotieren noch rascher, und wir kommen also zu dem Schluß, daß die genannte Periodenlänge übereinstimmt mit der Umlaufzeit der höher liegenden Fackeln in der Äquatorialgegend der Sonne und wahrscheinlich auch durch diese bedingt ist. Das stimmt vollständig zu unseren Vorstellungen von der Physik der Sonne. Denn in den aufsteigenden Gasströmen werden die Fackeln gebildet, und zwar in etwas geringerer Höhe, als die vom Strahlungsdruck fortgetriebenen Tröpfchen. Der Strahlungsdruck ist eben in der Nähe der Fackeln am kräftigsten.

Aus demselben Grund wird die Abstoßung von Sonnenstaub besonders kräftig, wenn die Sonnenfackeln sich stark entwickeln, das heißt eben in Zeiten von großer eruptiver Tätigkeit auf der Sonne, wobei dann auch viele Sonnenflecken aufzutreten pflegen.

---

\*) Vielleicht machen die höchsten Luftschichten (20—80 km Höhe) eine Ausnahme in dieser Hinsicht. Die leuchtenden Nachtwolken, die in den Jahren 1883—1892 in Berlin (nach dem Ausbruch des Krakatoa) beobachtet wurden und so hoch schwebten, zeigten, relativ zur Erdoberfläche, eine umgekehrte Richtung wie die Cirrus-Wolken, die nach Osten gehen.

Wir können uns nicht anders vorstellen, als daß bei Gelegenheit solch starker eruptiver Tätigkeit auch die Strahlung der Sonne stärker ist, als bei geringer Fleckenzahl. Das scheinen auch einige direkte Beobachtungen über die Stärke der Sonnenstrahlung zu bestätigen, die von Saveljeff in Kiew ausgeführt wurden. Dagegen scheint indessen wieder eine andere, von Köppen untersuchte Erscheinung zu sprechen. Dieser fand, daß in tropischen Gegenden die Temperatur bei Sonnenfleckmaxima  $0,32^{\circ}$  niedriger als im Durchschnitt ist, dagegen fünf Jahre später, ein Jahr vor dem Sonnenfleckminimum, ihren höchsten Wert,  $0,41^{\circ}$  über dem Durchschnitt, erreicht. Auch in andern Gegenden findet sich eine ähnliche Eigentümlichkeit, aber wegen störender Umstände tritt sie viel weniger regelmäßig hervor, als in den Tropen. Ein französischer Physiker, Nordmann, hat die Beobachtungen Köppens vollauf bestätigt. Dagegen fand Very, ein amerikanischer Astronom, daß die Temperatur in sehr trockenen (Wüsten-) Gegenden in den Tropen (Port Darwin,  $12^{\circ}$ ,  $28'$  südliche Breite und Alice Springs,  $23^{\circ}$ ,  $38'$  südlicher Breite, beide in Australien) bei Sonnenfleckmaxima höher ist, als bei Minima. (Very hielt sich bei seiner Untersuchung nur an die Angaben der Maximum- und Minimumthermometer.) Es scheint daher, nach Verys Untersuchung, als ob die Sonnenstrahlung bei höherer Sonnenfleckzahl wirklich größer wäre.\*) Das tritt allerdings nur in äußerst trockenen Gegenden hervor, in denen keine nennenswerte Wolkenbildung stattfindet; in andern Gegenden stört stärkere Wolkenbildung bei Fleckenmaxima das einfache Phänomen. Die abkühlende Wirkung der Wolkenbildung scheint in solchen Fällen die direkte Wärmewirkung der Sonnenstrahlen bedeutend zu übertreffen, und auf diese Weise wird Köppens Resultat erklärlich. Wenn man die Temperatur in Luftschichten über den Wolken

---

\*) Nach Memery (Bull. Soc. Astr. 7. März 1906 p. 168) folgt jedesmal, wenn ein Sonnenfleck auftritt, eine augenblickliche Temperatursteigerung; wenn er verschwindet, ein Sinken der Temperatur.

beobachten könnte, würde ihre Änderung zweifellos ebenso ausfallen wie in der Wüste.

Schließlich haben wir noch eine andere Periode bei dem Polarlichtphänomen zu verzeichnen, nämlich den sogenannten tropischen Monat, dessen Länge 27,3 Tage ist. Die Natur dieser Periode ist weniger bekannt; möglicherweise beruht sie auf der elektrischen Ladung des Mondes. Die Periode hat die Eigentümlichkeit, daß sie auf der nördlichen und südlichen Halbkugel in entgegengesetzter Richtung wirkt. Wenn der Mond über dem Horizont steht, scheint er das Polar-

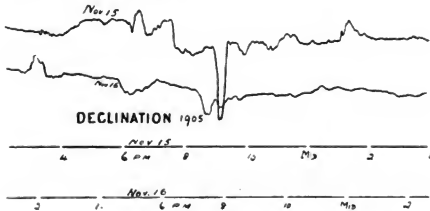


Fig. 42.

Gang der Deklination in Kew bei London am 15. und 16. November 1905. Eine heftige Störung am 15. November, 9 Uhr N.-M., entspricht der größten Stärke des Nordlichtes. Vergl. die nächste Figur.

licht zu verhindern. In diesem Fall müssen die vom Mondlicht verursachten Störungen berücksichtigt werden.

Man weiß lange, seit Celsius' und Hiorters Beobachtungen im Jahre 1741, daß das Nordlicht Einfluß auf die Stellung der Magnetnadel hat, und hat aus diesem Umstand den Schluß gezogen, daß die Polarlichter auf elektrischen Entladungen beruhen, die auch auf die Magnetnadel wirken. Diese magnetischen Wirkungen haben vor den Nordlichtern den großen Vorteil, daß ihre Beobachtung nicht von Sonnenlicht und Mondschein gestört werden kann. Wie oben gesagt, besitzt nur das „strahlende“ Nordlicht diese magnetische Eigenschaft (vgl. Fig. 42 und 43).

Diese magnetischen Variationen haben ganz dieselben

Perioden wie Nordlicht und Sonnenflecken. Was zunächst die lange Periode von 11,1 Jahren betrifft, so zeigen die Beobachtungen, daß die sogenannten Störungen, — plötzliche Änderungen in der Stellung der Magnetnadel, — getreulich die Variationen der Sonnenflecken abspiegeln. Dieser Zusammenhang wurde schon 1852 von Sabine in England, Wolf in der Schweiz, und Gautier in Frankreich entdeckt. Aber auch die gleichmäßige tägliche Variation in der Stellung der Magnetnadel ist derselben Periode unterworfen. Eine Magnetnadel zeigt mit ihrem Nordende nach Norden, in unsern Gegenden mit kleiner Abweichung nach Westen. Die

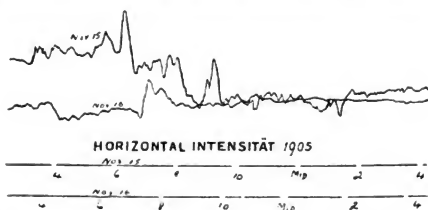


Fig. 43.

Gang der Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus am 15. und 16. November 1905 in Kew bei London. Am 15. November wurde ein außerordentlich prachtvolles Nordlicht in Galizien, Deutschland, Frankreich, Norwegen, England und Irland, sowie Neuschottland (West-Kanada) beobachtet mit einem Maximum um etwa 9 Uhr N.-M. Schon um 6 Uhr N.-M. entwickelte sich das Nordlicht mit ungewöhnlicher Stärke.

westliche Abweichung ist kurz nach Mittag, etwa um 1 Uhr, am größten. Dieser tägliche Wechsel ist im Sommer größer als im Winter, und die Änderung im Stand der Magnetnadel bei Tag beträchtlicher als bei Nacht. Es ist also offenbar, daß hier eine Sonnenwirkung vorliegt. Das wird noch deutlicher, wenn man die Änderung der täglichen Variation mit der Anzahl der Sonnenflecken beachtet. In untenstehender Tabelle ist diese Änderung der Deklination in Prag für die Jahre 1856—1889 angegeben, wobei nur Jahre mit Maxima und Minima von Sonnenflecken und von magnetischer Variation aufgenommen sind.

Jahr	1856	1860	1867	1871	1879	1884	1889
Sonnenfleckzahl	4,3	95,7	7,3	139,1	3,4	63,7	6,3
Jahr	1856	1859	1867	1871	1878	1883	1889
Tägl. Var. in Dekl.	} beob. 5,98 ber. 6,08	10,36	6,95	11,43	5,65	8,34	5,99
		10,20	6,22	12,15	6,04	8,76	6,17

Wie man sieht, fallen die Jahre für Maxima und Minima bei beiden Phänomenen sehr nahe zusammen. Die Übereinstimmung ist so handgreiflich, daß man die tägliche Variation als proportional der Sonnenfleckenzahl wachsend berechnen kann, was aus den zwei letzten Reihen der Tabelle hervorgeht.

Die jährliche Variation ist ganz dieselbe wie die der Polarlichter, was folgende Tabelle zeigt, die die Störungen in magnetischer Deklination, Horizontalintensität und Vertikalintensität in Toronto, Kanada, und die Durchschnittszahl für diese drei Größen für Greenwich angibt. Als Einheit wurde die Durchschnittsvariation im Jahr genommen.

Monat	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov	Dez.
Toronto, Dekl.	0,57	0,84	1,111	1,420	0,980	0,530	0,941	1,16	1,621	3,10	780	76
„ Horiz.	0,56	0,94	0,941	1,500	0,900	0,360	0,610	0,75	1,711	4,80	980	58
„ Vert.	0,57	0,74	1,08	1,491	1,20	0,500	0,711	0,8	1,611	2,90	750	61
Greenwich, Mittl.	0,931	1,23	1,22	1,09	0,810	0,710	0,810	0,90	1,151	1,18	1,020	83

Die tägliche Variation der Störungen ist von van Bemmelen für die Zeit 1882—1893 und den Beobachtungsort Batavia auf Java berechnet worden. Das Maximum trifft um 1 Uhr nachm. ein und ist 1,86 mal so groß als die Durchschnittszahl für den Tag; das Minimum 0,48 tritt abends 11 Uhr ein. Von 8 Uhr abends bis 3 Uhr morgens sind die Störungen fast ebenso selten wie um 11 Uhr abends.

Die Variation ist am größten bei der Deklination, die das Maximum 3,26 um 12 Uhr mittags, das Minimum 0,14 um 11 Uhr abends erreicht.

Auch die von Hornstein zuerst untersuchte Periode von fast 26 Tagen ist von mehreren Forschern wie Broun, Liznar und C. A. Müller an den magnetischen Variationen und Störungen nachgewiesen worden. Schuster hält allerdings das Beweismaterial noch für viel zu gering.

Auch der Mond hat einen, wenn auch unbedeutenden, Einfluß auf die Magnetnadel, wie Kreil schon 1841 nachwies. Die Wirkung hat verschiedene Richtung auf der nördlichen und südlichen Halbkugel und entspricht einer Art Ebbe- und Flutphänomen.

Die ultravioletten Strahlen der Sonne werden in der Luft stark absorbiert und bewirken dadurch eine Ionisation der Luftmoleküle. Diese Ionisierung ist im allgemeinen in größerer Höhe stärker. Die aufsteigenden Luftströme führen Wasserdampf mit sich, der sich vorzugsweise an den negativen Ionen kondensiert. Auf diese Weise werden die meisten Wolken negativ geladen, was schon Franklin durch seinen Versuch mit dem Drachen bewies. Nachdem die Regentropfen niedergefallen sind, bleibt die rückständige Luftmasse positiv geladen, wie man bei Ballonaufstiegen gefunden hat. Die Wolken, die sich in der größten Höhe bilden, werden am stärksten geladen; daher kommen Gewitter über Land meist im Sommer vor. Auch die Gewitter zeigen die 26-Tagesperiode, wie Bezold (für Süddeutschland), Ekholm und ich (für Schweden) nachwiesen.

Auf diesem Gebiet, und besonders über magnetische Phänomene, ist von den verschiedenen meteorologischen Stationen ein ungeheuer großes Material gesammelt worden, das der Bearbeitung harret.

Obgleich einige Beobachter wie Sidgreaves an dem nahen Zusammenhang zwischen Sonnenflecken und Nordlicht oder magnetischen Störungen zweifeln, indem starke Flecken auf der Sonnenscheibe beobachtet worden sind, ohne daß sie, als die Erde am nächsten war, irgendwelchen magnetischen Effekt zustande brachten, so dürfte doch die Mehrzahl der Ansicht sein, daß die magnetischen Störungen von Sonnenflecken verursacht werden, wenn diese den der Erde gegenüber liegenden Sonnenmeridian passieren. So beobachtete Maunder den magnetischen Sturm und das Nordlicht, die dem Durchgang eines großen Sonnenflecks am 8.—10. September 1898 durch den zentralen Sonnenmeridian



folgten. Der magnetische Effekt erreichte sein Maximum etwa 21 Stunden nach der Meridianpassage.

Auf ähnliche Weise fand Riccò für 10 Fälle, in denen eine genaue Bestimmung möglich war, eine Zeitdifferenz von durchschnittlich 45,5 Stunden zwischen der Meridianpassage eines Flecks und dem größten magnetischen Effekt. Riccò berechnete auch die Fälle, die Ellis gesammelt und Maunder untersucht hat. Er fand für diese Fälle im Durchschnitt fast genau dieselben Zahlen; der Zeitunterschied betrug nämlich 42,5 Stunden. Das entspricht einer mittleren Geschwindigkeit des Sonnenstaubs von 910 und 980 km pro Sekunde. Auf der andern Seite macht es nicht die geringste Schwierigkeit, die Zeit zu berechnen, die ein Tropfen von 0,00016 mm Durchmesser (diese Tropfen bewegen sich am schnellsten) und dem spezifischen Gewicht des Wassers braucht, um unter dem Einfluß der Schwerkraft der Sonne und des 2,5 mal größeren Strahlungsdruckes von der Außenseite der Sonne zur Erde zu gelangen. Die berechnete Zeit, 56,1 Stunden, entspricht einer mittleren Geschwindigkeit von 740 km per Sekunde. Damit der Sonnenstaub sich mit den von Riccò berechneten Geschwindigkeiten vorwärts bewegen kann, müßte sein spezifisches Gewicht weniger als 1, nämlich 0,66 und 0,57 sein. Dieser Wert ist durchaus nicht unwahrscheinlich, wenn wir annehmen, daß die Tropfen aus Kohlenwasserstoffen bestehen und Wasserstoffgas, Helium und andere Edelgase enthalten. Natürlich kann man, ebenso wie es oben betreffs der Kometenschweife bemerkt wurde, größere Geschwindigkeiten des Sonnenstaubs erhalten, wenn man annimmt, daß derselbe aus verfilzten Margariten von Kohle oder Silikaten, oder Eisen besteht, welche Stoffe die Hauptbestandteile der Meteoriten bilden.

Es verdient vielleicht erwähnt zu werden, daß man die stärkste Spektrallinie des Nordlichts als dem Edelgase Krypton zugehörig fand. Da dieses Gas nur in sehr geringer Menge in der Atmosphäre vorkommt, ist es nicht unwahrscheinlich, daß es von dem Sonnenstaub mitgeführt wird, und daß sein

Spektrum daher bei dessen Entladung hervortritt. Die übrigen Nordlichtlinien gehören den Spektren des Stickstoffs, Argons und der anderen Edelgase an. Die Mengen an Edelgasen, die auf diese Weise der Erdatmosphäre zugeführt werden, sind auf jeden Fall verschwindend klein.

Die elektrischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre haben für das organische Leben, und dadurch auch für den Menschen, ziemlich große Bedeutung. Durch die elektrischen Entladungen wird der Stickstoff der Luft zum Teil mit Wasserstoff und Sauerstoff verbunden und bildet so die für das Wachstum wichtigen Ammoniakverbindungen, sowie Nitrite und Nitrate. Die Ammoniakverbindungen, die eine Hauptrolle in den gemäßigten Klimaten spielen, scheinen sich besonders bei den sogenannten stillen Entladungen zu bilden, die dem Nordlicht entsprechen; die in den Tropen überwiegenden sauerstoffhaltigen Produkte dagegen bei Gewittern. Sie werden mit den Niederschlägen zur Erde gebracht und kommen den Pflanzen zugute.

Die Zufuhr so gebundenen Stickstoffs zur Erde erreicht jährlich ca. 1,25 g pro Quadratmeter in Europa und beinahe das Vierfache in den Tropen. Nimmt man als wahrscheinliche Durchschnittszahl 3 g für die ganze feste Erdoberfläche an, so entspricht das 3 Tonnen für den Quadratkilometer und für die feste Erdoberfläche (136 Millionen Quadratkilometer) ungefähr 400 Millionen Tonnen jährlich. Ein ganz geringer Teil davon, vielleicht ein Zwanzigstel, fällt auf bebaute Erde; aber auch das Übrige vermehrt die Lebensfähigkeit auf der Erde, in den Wäldern und auf den Grassteppen. Zum Vergleich mag erwähnt werden, daß der Stickstoff im geförderten Chilesalpeter, der 1880 sich auf rund 50000, 1890 120000 und 1900 210000 Tonnen belief, im Jahre 1905 260000 Tonnen betrug. Der von den Gaswerken in Europa in Form von Ammoniaksalzen produzierte Stickstoff beläuft sich auf ungefähr ein Viertel des letztgenannten Betrages. Dieser Zahl muß natürlich die amerikanische Produktion hinzugefügt werden; aber man sieht doch, daß die

künstliche Stickstoffzufuhr zur Erde nicht mehr als etwa den tausendsten Teil der natürlichen beträgt.

Der Stickstoffgehalt der Luft beträgt 3980 Billionen Tonnen. Man ersieht daraus, daß nur etwa ein Teil von je drei Millionen des Luftstickstoffs durch elektrische Entladungen jährlich verbraucht wird, vorausgesetzt daß die Stickstoffzufuhr zum Meer pro Quadratkilometer ebenso groß ist, wie zum Land. Der so gebundene Stickstoff kommt den Pflanzen auf dem Lande und im Meer zugute und geht durch die Lebendigkeit der Pflanzen oder nach ihrer Vermoderung an die Atmosphäre zurück oder ins Meer, dessen Stickstoffgehalt durch Absorption im Gleichgewicht mit dem der Luft steht. Nennenswerte Verarmung an Stickstoff der Luft haben wir daher nicht zu befürchten und das stimmt auch damit überein, daß eine nennenswerte Anhäufung gebundenen Stickstoffs in den festen und flüssigen Teilen der Erde nicht stattgefunden zu haben scheint.

Zum Vergleich mag angeführt werden (vgl. S. 51), daß während der jährlichen Zirkulation in der Vegetation nicht weniger als ein Fünfzigstel des atmosphärischen Kohlensäuregehaltes aufgebraucht wird. Da aus dieser Kohlensäure Sauerstoff gebildet wird, und sich in der Luft etwa 700mal so viel Volumprozent Sauerstoff als Kohlensäure finden, so ist der Umsatz des Luftsauerstoffs ungefähr eins auf 35000. Mit andern Worten, der Sauerstoff der Luft beteiligt sich ungefähr 100 mal so lebhaft am Vegetationsprozeß wie der Stickstoff, was auch mit der großen chemischen Aktivität des Sauerstoffs übereinstimmt.

Ehe wir dieses Kapitel verlassen, wollen wir in Kürze an ein eigentümliches Phänomen, das Zodiaklicht, erinnern, das man in den Tropen in jeder sternklaren Nacht einige Stunden nach oder vor Sonnenaufgang beobachten kann. Bei uns wird es nur selten wahrgenommen, am besten bei der Frühlings- oder Herbst-Tag- und Nachtgleiche. Es wird gewöhnlich als ein Lichtkegel beschrieben, dessen Basis unten und dessen Mittellinie längs des Tierkreises (Zodiacus) liegt,

wovon es seinen Namen erhielt. Sein Spektrum ist, nach Wright und Liais, kontinuierlich. Es wird angegeben, daß sein Licht in den Tropen ebenso stark sei, wie das der Milchstraße.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieses Licht von



Fig. 44. Zodiakallicht in den Tropen.

sonnenbelegten Staubpartikeln herrührt. Man hat daher geglaubt, daß dieser Staub in einem Ring um die Sonne liegt und einen Rückstand jenes Urnebelstücks bedeutet, aus welchem sich nach der Kant-Laplaceschen Hypothese das Sonnensystem kondensiert hat (vgl. Abt. VII).

Von der Spitze des Zodiakallichtkegels scheint mitunter

ein schwach leuchtendes Band auszugehen, das sich quer über den Nachthimmel in der Ebene der Ekliptik erstreckt. In der Himmelsgegend, die der Sonne gerade gegenüber liegt, verbreitert es sich zu einem größeren, diffusen, schwach ausgeprägten Lichtfleck, von ungefähr zwölf Bogengraden Breite und neun Grad Höhe, Gegenschein genannt, zuerst von Pezenas (1780) beschrieben.

Die wahrscheinlichste Annahme über die Natur dieses Gegenscheins ist, daß er von kleinen, aus dem Raum gegen die Sonne fallenden, aufglühenden Meteoriten oder Staubpartikeln herrührt. Wie die Lage der Nordlichtkorona, scheint auch diejenige des Gegenscheins auf einer perspektivischen Wirkung zu beruhen, indem die Bahnen der kleinen Teilchen gegen die Sonne gerichtet sind und daher von einem ihr gerade gegenüberliegenden Punkt auszugehen scheinen.

Wir wissen noch sehr wenig über diese Erscheinung. Sogar die Lage des Zodiakallichtes am Tierkreis entlang, die Anlaß zu seinem Namen gegeben hat, ist in Zweifel gezogen worden, da neuere Untersuchungen darauf hindeuten, daß es sich in der Ebene des Sonnenäquators befindet. Wie es sich damit nun auch verhalten mag, so dürfte doch allgemein die Ansicht Geltung finden, daß der betreffende Schein von Partikelchen herrührt, die in die Sonne ein- und von ihr ausströmen. Wir erhalten dadurch eine Bestätigung, daß die Sonnenstaubmasse nicht unbedeutend ist, sondern daß man sie sich wohl als Ursache der oben besprochenen Erscheinungen denken kann.

## VI.

# Untergang der Sonne. Entstehung der Nebelflecken.

Wir haben im vorhergehenden gesehen, daß die Sonne jährlich beinahe unfaßbare Mengen Wärme verschwendet; 3,8.10<sup>33</sup> Grammkalorien, entsprechend zwei Grammkalorien für jedes Gramm ihrer Masse. Wir haben auch eine Vorstellung davon bekommen, wie das wegen des ungeheuren Wärmevorrates der Sonne Billionen von Jahren andauern kann. Aber schließlich muß doch der Zeitpunkt kommen, wo die Sonne erkaltet, und, wie es die Erde und auch die jetzt gasförmigen Planeten lange vor der Sonne taten, sich mit einer festen Rinde überzieht. Kein lebendes Wesen wird auf den kreisenden Planeten in Verzweiflung dem Erlöschen der Sonne zusehen können, denn lange vorher wird, trotz aller Erfindungen, das Leben auf den Gefährten der Sonne aus Mangel an Sonnenwärme und Licht erstorben sein.

Die Entwicklung der Sonne wird dann der gegenwärtigen der Erde gleichen, nur daß sie die lebenspendende zentrale Licht- und Wärmequelle entbehren wird. Im Anfang wird die dünne Rinde immer und immer wieder durch die dem Sonnennern entströmenden Gas- und Lavamassen gesprengt werden. Aber nach kurzer Zeit werden die mächtigen Ausflüsse erstarrt sein, und fester als vorher werden sich die alten Bruchstücke zusammenschließen. Nur auf einigen alten Spalten werden sich Vulkane erheben, welche die durch Abkühlung des Sonnennern freigewordenen Gasmassen entführen, besonders Wasser und in geringerem Maße Kohlensäure.

Dann wird das Wasser sich kondensieren, Weltmeere werden auf der Sonne entstehen, und sie wird kurze Zeit in gewisser Hinsicht unserer Erde in ihrem gegenwärtigen Zustand ähnlich sein; aber doch mit einem ganz beträchtlichen Unterschied. Die erloschene Sonne empfängt nicht wie die Erde belebende Wärme von außen, ausgenommen die geringe Strahlung vom Raum und die beim Fall der Meteoriten erzeugte Wärme. Deshalb sinkt die Temperatur rasch auf der erlöschenden Sonne. Die Wolken ihrer Atmosphäre werden immer dünner und bilden bald keinen Schutz mehr gegen die Ausstrahlung. Das Weltmeer auf der Sonne wird sich mit einer Eiskruste überziehen. Dann wird die Kohlensäure anfangen, sich aus der Sonnenatmosphäre als dünner Schnee auszuscheiden. Schließlich werden bei ungefähr  $-200^{\circ}$  infolge der Kondensation der eigentlichen Luftgase, besonders des Stickstoffs neue Weltmeere sich zu bilden beginnen. Noch ein solches Sinken der Temperatur um etwa  $20^{\circ}$ , und die Energie der niederstürzenden Meteore wird den weitem Wärmeverlust gerade decken. Dann besteht die Sonnenatmosphäre hauptsächlich aus Helium und Wasserstoff, den zwei am schwersten zu kondensierenden Gasen, sowie etwas Stickstoff.

In diesem Stadium wird der Wärmeverlust der Sonne fast unmerklich sein. Durch jede Quadratmeile der Erdrinde entweicht infolge ihrer geringen Wärmeleitung kaum ein Milliardstel der Wärme, die die Sonne von ebensoviel Oberfläche ausstrahlt, und einst, wenn die Sonnenrinde eine Dicke von etwa 60 km erreicht haben wird, wird ihr Wärmeverlust auf den gleichen Grad gesunken sein. Die Temperatur an ihrer Oberfläche wird vielleicht  $50-60^{\circ}$  über dem absoluten Nullpunkt liegen und nur für kurze Zeit und innerhalb kleiner Gebiete bei vulkanischen Ausbrüchen steigen. In ihrem Innern wird fortwährend eine Temperatur von beinahe derselben Höhe wie jetzt herrschen, nämlich mehrere Millionen Grade, und es werden daselbst die gleichen ungeheuer explosiven Verbindungen wie heute vorhanden sein. Wie ein

unendliches Dynamitmagazin wird die dunkle Sonne im Raum daherschweben, ohne in Billionen von Jahren eine bemerkenswerte Menge an Energie einzubüßen. Unveränderlich wie eine Dauerspore, wird sie ihre ungeheure Kraft behalten, bis sie von äußeren Umständen zu neuem, dem früheren ähnlichen, Leben geweckt wird. Ein langsames Schrumpfen der Oberfläche, durch den fortschreitenden Wärmeverlust des Kerns und damit verbundene Zusammenziehung, wird die Sonnenoberfläche mit ihren Altersrunzeln versehen.

Angenommen, die Kruste der Sonne sowie diejenige der Erde hätten dieselbe Leitfähigkeit für Wärme wie Granit, der nach Bestimmungen von Homén durch eine 1 cm dicke Schicht, deren beide Seitenflächen eine Temperaturdifferenz von  $1^{\circ}\text{C}$  aufweisen, in der Minute pro Quadratcentimeter 0.582 Kalorien durchläßt, so würde die Erdkruste, da ihre Temperatur um  $30^{\circ}\text{C}$  pro Kilometer nach innen zunimmt, pro Minute und Quadratcentimeter  $1.75 \cdot 10^{-4}$  Kalorien hindurchfließen lassen, (dies ist der 3580ste Teil der mittleren Wärmezufuhr zur Erde — 0.625 Kalorien pro Minute und Quadratcentimeter), während die Sonne bei einer ebenso dicken Kruste wie die der Erde und bei dem 108.6mal größeren Durchmesser, 3.3mal mehr Wärme pro Minute verlieren würde als die Erde jetzt von ihr erhält. Die Sonne verliert jetzt 2260 Millionen mal mehr Wärme als die Erde erhält, folglich würde sich der Wärmeverlust auf einen 686 Millionen mal geringeren Betrag als den jetzigen vermindern. Wenn die Dicke der Sonnenkruste den 140sten Teil des Sonnenhalbmessers ausmache, d. h. denselben Bruchteil wie die Erdkruste vom Erdhalbmesser einnimmt, so würde die Sonne in 74500 Millionen Jahren nicht mehr Wärme verlieren als jetzt in einem einzigen. Diese Zahl ist wegen der kälteren Oberfläche, die die Sonne in der betreffenden Zeit haben wird, auf etwa 60000 Millionen Jahre zu reduzieren. Da die mittlere Temperatur der Sonne wohl etwa fünf Millionen Grad Celsius beträgt, so würde, falls ihre mittlere spezifische Wärme so groß wie diejenige des Wassers wäre, die Ab-



kühlung auf  $0^0$  150 000 Billionen Jahre in Anspruch nehmen. Während dieser Zeit würde die Dicke der Kruste zunehmen und die Abkühlung jedenfalls viel langsamer verlaufen. Auf alle Fälle könnte unter diesen Umständen der Totalverlust an Energie während 1000 Billionen Jahren als nur ein verschwindender Bruchteil der totalen Energiemenge angesehen werden.

Unter welchem kleinem Gesichtswinkel die Sterne auch erscheinen, so ist er doch nicht absolut null. Wenn sich daher ein erloschener Stern während unendlicher Zeiträume vorwärts bewegt, wird er zum Schluß gegen einen andern, leuchtenden oder erloschenen stoßen. Dabei wächst die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes ganz bedeutend durch die Ablenkung, die seine Bahn durch die Anziehungskraft der beiden sich nähernden Himmelskörper erleidet. Die nächsten Sterne liegen so weit ab von uns, daß das Licht im Durchschnitt 10 Jahre braucht, um von der Sonne zu ihnen zu gelangen. Damit die Sonne mit ihren gegenwärtigen Dimensionen und ihrer Geschwindigkeit von 20 km pro Sekunde mit einem andern Stern von gleicher Eigenschaft zusammenstoße, brauchte es 100 000 Billionen Jahre. Nehmen wir nun an, daß es hundertmal mehr erloschene als leuchtende Sterne gibt, welche Annahme gar nicht so unberechtigt ist, so würde die wahrscheinliche Zeit bis zum nächsten Zusammenstoß etwa 1000 Billionen Jahre betragen. Die Zeit, während welcher eine Sonne leuchtet, wäre ungefähr ein Hundertstel der obigen, das heißt 10 Billionen Jahre. Das ist nicht ungereimt, denn das Leben besteht etwa seit einer Milliarde Jahre auf der Erde, und diese Zeit bedeutet natürlich nur einen kleinen Bruchteil derjenigen, während welcher die Sonne Licht ausgesandt hat und aussenden wird. Natürlich besteht noch eine viel größere Wahrscheinlichkeit, daß die Sonne mit einem Nebelfleck zusammenstoßen wird, denn diese haben weit größere Ausdehnung im Raum. Aber in solchem Fall ist es nicht unwahrscheinlich, daß es sich ebenso wie bei der Passage eines Kometen durch die Sonnen-

korona verhalten wird, wobei man keine nennenswerte Wirkung des Zusammenstoßes beobachtet, wegen des geringen Gehalts an Materie in der Korona. Nichtsdestoweniger beschleunigt solcher Eintritt in den Nebelfleck vermutlich den Zusammenstoß mit einer andern Sonne ganz bedeutend, denn in den Nebelflecken sind, wie unten besprochen werden wird, dunkle und leuchtende Himmelskörper angehäuft.

Wir sehen am Himmel zuweilen neue Sterne plötzlich aufleuchten, die nachher an Glanz abnehmen und erlöschen oder doch bis zu sehr unbedeutender Leuchtkraft herabsinken. Der merkwürdigste dieser höchst interessanten Fälle trat im Februar 1901 ein, als ein neuer Stern erster Größe im Sternbild des Perseus erschien. Dieser Stern wurde von dem Schotten Anderson am Morgen des 22. Februar 1901 entdeckt; er war da etwas leuchtender, als ein Stern dritter Größe.\*) Auf einer nur 28 Stunden vor seiner Entdeckung gemachten photographischen Aufnahme erscheint der Stern noch gar nicht, obgleich Sterne zwölfter Größe auf dieser Platte sichtbar sind. (Danach scheint sich die Leuchtkraft des neuen Sterns in dieser kurzen Zeit um mehr als das Fünftausendfache vermehrt zu haben.) Am 23. Februar übertraf er alle andern Sterne, außer dem Sirius, am 25. war er erster, am 27. Februar zweiter, am 6. März dritter, und am 18. März vierter Größe. Darauf wechselte seine Helligkeit periodisch bis zum 22. Juni mit einer Periodenlänge von zuerst drei, dann fünf Tagen, während die mittlere Lichtstärke langsam sank; am 23. Juni war er sechster Größe. Dann nahm die Lichtstärke gleichmäßiger ab; im Oktober 1901 war der Stern siebenter, im Februar 1902 achter, Juli 1902 neunter, Dezember 1902 zehnter Größe, und nachher ist er allmählich zur zwölften

---

\*) Die Sterne werden nach ihrer Lichtstärke in „Größen“ von verschiedenen Ordnungsnummern eingeteilt, die stärksten haben die niedrigste Nummer. Ein Stern erster Größe ist 2,52 mal leuchtender als einer der zweiten; dieser 2,52 mal leuchtender als einer dritter Größe u. s. w. Alles für den Beschauer auf der Erde.

Größe herabgesunken. Als der Stern am hellsten leuchtete, hatte er blauweißes Licht. Das ging später in gelbes, Anfang März in rötliches über. Während des periodischen Lichtwechsels war der Stern weißgelb als er am stärksten, rötlich als er am schwächsten leuchtete. Darauf änderte sich die Farbe allmählich zu rein weiß.

Das Spektrum des Sterns zeigte größte Übereinstimmung mit dem des neuen Sterns im Fuhrmann. (Nova Aurigae im Jahre 1892, siehe Fig. 45.)

Im allgemeinen ist es charakteristisch für neue Sterne, daß ihre Spektrallinien doppelt sind, dunkel auf der violetten, hell auf der roten Seite. Im Spektrum der Nova Aurigae ist diese Eigentümlichkeit unter andern auffallend an den

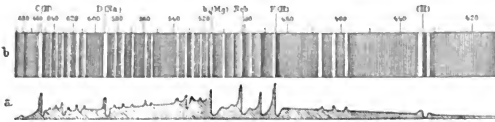


Fig. 45. Spektrum des neuen Sterns im „Fuhrmann“ vom Jahre 1892.

drei Wasserstoffgaslinien C, F und H, an der Natriumlinie, den Linien der Nebelflecke und auch an der des Magnesiums. Bei der Nova Persei ist die Verschiebung der Wasserstoffgaslinien nach der violetten Seite so groß, daß man danach berechnete, daß das lichtabsorbierende Wasserstoffgas sich mit einer Geschwindigkeit von 700 oder mehr Kilometer pro Sekunde auf uns zu bewege. Auch einige Calciumlinien zeigten eine derartige Verschiebung; bei andern Metalllinien war sie geringer. Das deutet darauf hin, daß aus dem Stern relativ kalte Gasmassen mit enormer Geschwindigkeit gegen uns strömten. Die leuchtenden Partien des Sterns standen entweder still, oder bewegten sich von uns weg. Die einfachste Erklärung erhält man durch die Annahme, daß der Stern beim Aufleuchten infolge hoher Temperatur und hohen Druckes verbreiterte Spektrallinien zeigte, deren violetter Teil von gegen uns strömenden, durch die intensive Ausdehnung

stark abgekühlten Gasmassen, absorbiert wurde. Natürlich strömten diese Gase von dem Stern nach allen Richtungen aus, aber wir konnten keine andern beobachten, als die, welche das Licht des Sterns absorbierten, das heißt, die zwischen Stern und Erde lagen, folglich nach der Erde zu strömten. — —

Allmählich verminderte sich das Licht der Metalllinien und des kontinuierlichen Spektralgrundes, zuerst im Violett, während die Wasserstoffgas- und Nebelflecklinien noch immer deutlich blieben; der Stern zeigte, gleich andern neuen Sternen, nach einiger Zeit das Nebelfleckspektrum. Diese merkwürdige Tatsache wurde zuerst von H. C. Vogel bei dem neuen Stern im Schwan (Nova Cygni 1876) erkannt. Der Stern P im Schwan, der im Jahre 1600 aufleuchtete, zeigt immer noch ein Spektrum, das Ausströmung von Wasserstoffgas andeutet. Es ist nicht unmöglich, daß dieser „neue“ Stern sein Gleichgewicht noch nicht erreicht hat, sondern noch fortwährend kalte Gasströme aussendet. Zur Bildung des Absorptionsspektrums bedarf es nur unbedeutender Gasmenngen, so daß der Gasverlust lange Zeit andauern kann, ohne daß deshalb der Vorrat erschöpft zu werden braucht.

Von den eigenartigen Lichtwolken, die um Nova Persei beobachtet wurden, haben wir schon früher gesprochen (S. 106). Zwei ringförmige Wolken bewegten sich von dem Stern weg mit einer Geschwindigkeit von 1,4 und 2,8 Bogensekunden pro Tag (während der Zeit vom 29. März 1901 bis Februar 1902). Berechnet man hieraus die Zeit rückwärts, die seit ihrem Austritt aus dem Stern verflossen sein muß, so findet man den 8. und 16. Februar 1901, ganz nahe übereinstimmend mit der Zeit der größten Helligkeit des Sterns: dem 23. Februar. Es scheint also ganz unzweifelhaft, daß sie ursprünglich von dem Stern ausgingen und auf Strahlungsdruck beruhen. Ihr Licht zeigt keine merkliche Polarisation, kann also nicht reflektiert sein, sondern beruht vermutlich auf elektrischen Entladungen zwischen Staubpartikeln, wobei die absorbierten Gase leuchten.

In diesem Falle waren wir offenbar Zeugen von dem großartigen Abschluß der Existenz eines Himmelskörpers als selbständiges Wesen, durch einen Zusammenstoß mit einem andern, gleichartigen. Die zusammenstoßenden Körper waren beide dunkel oder sandten nur so wenig Licht aus, daß sie zusammen nicht einmal so stark wie ein Stern zwölfter Größe leuchteten. Da sie nach dem Zusammenstoß einen größeren Glanz, als Sterne erster Ordnung hatten, obgleich ihr Abstand auf mindestens 120 Lichtjahre\*) be-

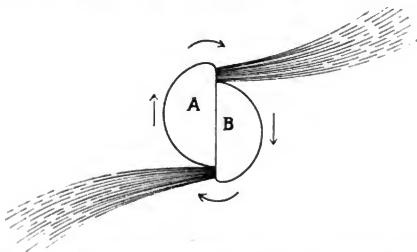


Fig. 46. Schematische Zeichnung, die Folgen andeutend von einem Zusammenstoß zwischen zwei erloschenen Sonnen A und B, welche in der Richtung der geraden Pfeile relativ zu einander sich bewegen. Eine heftige Drehung in der Richtung der gekrümmten Pfeile von A B kommt zu Stande und zwei kräftige Büschel stürzen heraus Infolge der Zersetzung der in tieferen Schichten von A und B befindlichen, durch den Zusammenstoß zur Oberfläche gebrachten Explosivstoffe.

stimmt wurde, so muß ihre Strahlung diejenige unserer Sonne mehrere tausendmal übertroffen haben. Unter solchen Umständen muß auch der Strahlungsdruck dort viele Male größer als an der Sonnenoberfläche gewesen sein, und die Staubmassen, die von dem neuen Stern ausgestoßen wurden, müssen eine viel größere Geschwindigkeit als der Sonnenstaub besessen haben. Jedoch muß diese Geschwindigkeit geringer gewesen sein, als die des Lichts, welche durch Strahlungsdruckwirkung niemals voll erreicht werden kann.

\*) Ein Lichtjahr entspricht 9,5 Billionen km und ist der Weg, den das Licht im Raum in einem Jahr zurücklegt.

Es ist nicht schwer, sich die ungeheure Gewalt vorzustellen, mit der dieser „Zusammensturz“ stattgefunden haben mag. Ein fremder Körper, z. B. ein Meteor, das vom Universum aus in die Sonne stürzt, hat beim Zusammenstoß eine Geschwindigkeit von 600 km pro Sekunde und von derselben Größenordnung muß auch die Geschwindigkeit der beiden aufeinander stürzenden Sterne sein. Der Stoß ist im allgemeinen ein sogenannter schräger Stoß, und obgleich ein Teil der Energie in Wärme umgesetzt wird, so muß der Rückstand an Bewegungsenergie eine Rotations-Geschwindigkeit von Hunderten von Kilometern in der Sekunde ergeben. Im Vergleich damit ist die gegenwärtige Umdrehungsgeschwindigkeit der Sonne, 2 km pro Sekunde am Äquator, verschwindend klein; noch mehr ist das der Fall bei der Erde mit ihren 0,465 km pro Sekunde am Äquator. Wir werden daher keinen merklichen Fehler begehen, wenn wir die beiden zusammenstürzenden Himmelskörper als rotationslos vor dem Zusammenstoß ansehen. Bei dem Zusammenstoß wird aus den beiden Himmelskörpern senkrecht zu ihrer relativen Bewegungsrichtung Materie herausgeschleudert in Form von zwei kräftigen Büscheln, die in derjenigen Ebene liegen, in welcher die einander sich nähernden Himmelskörper sich bewegen (vgl. Fig. 46) und zu deren Ausströmungsgeschwindigkeit auch die Rotation des Doppelsystems beiträgt, die aber dadurch vermindert wird. Wir erinnern uns nun, daß, wenn Materie vom Sonneninnern an die Oberfläche gebracht wird, sie sich wie ein ungeheuer kräftiger Explosivstoff verhält. Die ausgeworfenen Gase werden in gewaltsamem Flug um die heftig rotierende zentrale Partie getrieben, und wir können eine wenn auch unvollkommene Vorstellung von den so entstehenden Gebilden bekommen, wenn wir ein schnell rotierendes Rad betrachten, das an beiden Enden eines Durchmessers zwei Feuerwerkskörper hat, die in der Richtung des Radius Feuerbüschel auswerfen. Je weiter vom Rad entfernt, desto geringer wird die Geschwindigkeit und auch die Winkel-

bewegung der Feuerbüschel. Ähnlich bei den Sternen. Die Büschel werden bei der starken Ausdehnung der Gase rasch abgekühlt und enthalten auch feinen Staub, vermutlich meist von Kohlenstoff, der in den Explosivstoffen gebunden war. Die Wolken feinen Staubs beschatten den „neuen Stern“ immer mehr und bewirken, daß sein strahlend weißer Glanz immer mehr ins Gelbe und Rötliche umschlägt, weil eben feiner Staub blaue und grüne Strahlen mehr abschwächt, als gelbe und rote. Zu Anfang lagen die Wolken dem Stern so nahe, daß sie eine sehr große Winkelgeschwindigkeit hatten, und ihn daher ganz zu umgeben schienen, aber seit nach dem 22. März 1901 die äußersten Teile der Büschel weiter hinausgelangt waren und eine längere Umlaufzeit (6 Tage) bekommen hatten, wurde der Stern stärker verdunkelt, wenn die äußersten Staubwolken der Büschel sich während ihrer Drehung zwischen ihn und uns schoben. In dem Maße, wie die Staubbüschel weiter hinausgelangten, vermehrte sich ihre Umlaufzeit allmählich bis zu 10 Tagen. Der Stern wurde daher periodisch mit einer langsam zunehmenden Periodenlänge und sein Schein war röter beim Lichtminimum als beim Lichtmaximum. Gleichzeitig verminderte sich auch das Absorptionsvermögen der Randteile der Büschel, teils durch ihre wachsende Ausdehnung, teils dadurch, daß der Staub allmählich zu gröberen Teilchen zusammensinterte, — die kleinsten Partikeln vielleicht auch vom Strahlungsdruck einigermaßen weggetrieben wurden. Die sichtende Wirkung des Staubs auf das Licht, wobei die roten und gelben Strahlen reichlicher durchgelassen werden, als die blauen und grünen, ging deshalb allmählich verloren, die Farbe des Lichtes wurde immer grauer und der Stern erschien daher nach Verlauf einer gewissen Zeit wieder weiß. Diese weiße Farbe zeigt an, daß auf dem Stern jetzt noch eine sehr hohe Temperatur herrscht. Durch das andauernde Ausstoßen stauberfüllter Gasmassen, mit wahrscheinlich etwas abnehmender Heftigkeit, wird nach und nach die Helligkeit des Sterns (von der Erde aus gesehen)

vermindert und der leuchtende Kern immer gleichförmiger von den Staubschichten umgeben. Wie gewaltsam die Explosion war, wird daraus ersichtlich, daß die zuerst ausgeworfenen Wasserstoffgasmassen auf den Beschauer auf der Erde mit einer Geschwindigkeit von mindestens 700 km pro Sekunde zurasten. (Diese Geschwindigkeit ist von gleicher Größenordnung wie die der schnellsten von der Sonne ausgestoßenen Protuberanzen.)

Wir ersehen, daß die von uns angewendete Vorstellungsweise ein auch in den Details recht getreues Bild des wirklichen Verlaufs gibt, und es ist darum höchst wahrscheinlich, daß sie in der Hauptsache richtig ist. Was ist denn nun aber aus dem neuen Stern geworden? Die Spektralanalyse deutet an, daß er wie andere neue Sterne in einen Sternennebel verwandelt worden ist. Das kontinuierliche Licht vom Zentralkörper ist durch die umliegenden Staubmassen allmählich abgeschwächt worden; diese werden vom Strahlungsdruck gegen die äußeren Partien der herumliegenden Gasmassen (hauptsächlich Wasserstoffgas, Helium und „Nebelfleckstoff“) getrieben, wo der Staub seine negativen Elektrizitätsmengen entlädt, und wo auf diese Art ein Licht zustandekommt, das vollkommen dem der Nebelflecke gleicht.

Dazu kommt, daß durch die unerhört heftige Rotation die zentrale Hauptmasse der zwei zusammengestoßenen Sterne in ihren äußeren Teilen einer außerordentlich starken Zentrifugalkraft ausgesetzt wird, die diese Masse zu einer großen rotierenden Scheibe verbreitert.\*) — Da der Druck in deren äußeren Teilen verhältnismäßig gering ist, so wird dort auch die Dichte der Gase sehr herabgesetzt. Die starke Ausdehnung und in noch höherem Grad die starke Wärme-

---

\*) A. Ritter hat berechnet, dass, wenn zwei gleich grosse Sonnen aus unendlicher Entfernung aufeinander zustürzen, die Energie des Zusammenstosses nicht grösser ist als genügend, das Volumen der Sonnen auf den vierfachen Betrag des ursprünglichen zu vergrössern. Der grösste Teil der Masse bleibt demnach wahrscheinlich im Zentrum und nur leichte Gasmassen werden hinausgeschleudert.



strahlung setzen die Temperatur rasch herab, so daß wir einen großen Zentralkörper vor uns haben, dessen innere Teile eine höhere Dichte zeigen und der Materie in den Sonnen gleichen, dessen äußere Teile dagegen verdünnt und nebfleckartig sind. Um diesen Zentralkörper herum erscheinen die Reste der zwei Gasbüschel, die unmittelbar nach



Fig. 47. Spiral-Nebel in den „Jagdhunden“ Messier 51. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte vom 3. Juni 1902. Skala 1 millim. = 13,2 Bogensek.

dem heftigen Zusammenstoß der beiden Himmelskörper ausgestoßen wurden. Ein nicht unbeträchtlicher Teil der Materie in diesen spiralig gewundenen Außenpartien entfernt sich wahrscheinlich in den unendlichen Raum hinaus, um zuletzt sich an fremde Himmelskörper anzugliedern oder um Teile der großen unregelmäßigen Nebelflecke zu bilden, die sich als dichte Nebel um die Sternhaufen lagern. Ein anderer

Teil, nicht imstande, sich vom Zentralkörper zu entfernen, verbleibt in kreisender Bewegung um denselben. Infolge dieser äußerst langsamen kreisenden Bewegung werden die Konturen der beiden Spiralen allmählich verschwommen und



Fig. 48. Spiral-Nebel im „Dreieck“, Messier 33. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte vom 4. und 6. September 1902. Skala 1 millim. = 30,7 Bogensek.

diese nehmen immer mehr die Form von Nebelringen um die Zentralmasse an.

Diese spiralige Form (Fig. 47 u. 48) der äußeren Teile

des Nebelflecks hat schon lange im höchsten Grad die Aufmerksamkeit erregt; man hat fast immer beobachtet, daß zwei Spiralarme sich um den Zentralkörper schlängeln.



Fig. 49. Der große Nebel in „Andromeda“ nach Aufnahme der Yerkes-Sternwarte vom 18. September 1901. Skala 1 millim. = 54,6 Bogensek.

Das deutet darauf hin, daß sich die Materie in rotierender Bewegung um eine Achse in Mitte der Spirale befindet, von welcher sie nach zwei entgegengesetzten Seiten hin ausge-

strömt ist. Zuweilen erscheinen sie spulenförmig, — von diesen ist der große Nebelfleck in der Andromeda am bekanntesten. (Fig. 49.) Eine genauere Betrachtung mit schärferen Instrumenten zeigt indessen, daß auch sie spiralförmig sind, uns aber spulenförmig erscheinen, weil wir sie von der Seite sehen. Der berühmte amerikanische Astronom Keeler, der sich mehr als irgend ein anderer mit Nebelflecken beschäftigte, hat große Mengen von solchen aus allen Teilen der Himmelsgegend, die seinem Instrumente zugänglich waren, verzeichnet

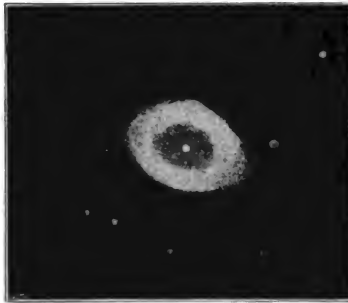


Fig. 50.

Ringförmiger Nebel in der Leier nach Aufnahme der Yerkes-Sternwarte.

und gefunden, daß diese Gebilde ganz überwiegend spiralförmiger Natur sind.

Einige, die sogenannten planetarischen Nebelflecke, sehen mehr wie leuchtende Kugeln aus; wir können in diesem Fall annehmen, daß die Explosion weniger gewaltsam war, die Spiralen daher so dicht an einander liegen, daß sie wie ineinander geflossen aussehen. — Möglicherweise sind auch Ungleichheiten in ihrer Entwicklung im Laufe der Zeiten ausgeglichen worden. Einige wenige sind ringförmig, wie der bekannte Ring-Nebelfleck in der Leier (siehe Fig. 50). Diese können auch aus spiralförmigen Nebelflecken entstan-

den sein, bei denen die Spiralen durch Rotation allmählich ausgeglichen wurden und die zentrale Nebelmaterie sich auf um den Zentralstern wandernden Planeten verdichtete. Schaeberle, ein hervorragender amerikanischer Astronom, hat auch bei diesem Nebelfleck Spuren von Spiralform beobachtet.

Eine andere Art von Nebelflecken sind die gewöhn-

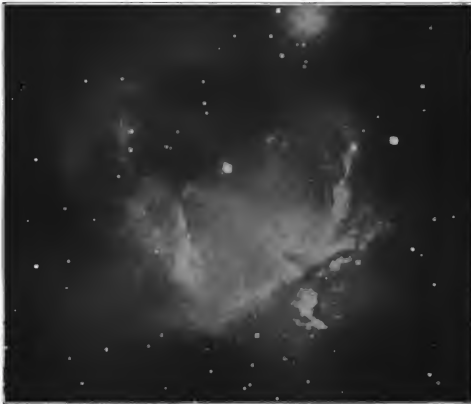


Fig. 51. Der zentrale Teil des großen Nebels im Orion nach Aufnahme der Yerkes-Sternwarte. Skala 1 millim. = 12 Bogensek.

lich sehr ausgedehnten, unregelmäßig geformten und offenbar aus äußerst dünner Materie bestehenden, von denen die bekanntesten im Orion, um die Plejaden und im Schwan liegen (Fig. 51, 52 u. 53.) Auch in diesen hat man oft Partien mit Spiralstruktur gefunden.

Wie gesagt, muß das nach dem Zusammenstoß zweier Himmelskörper entstehende Gebilde in der Regel die Form einer Spirale mit zwei Flügeln erhalten. Ist der Stoß derart,

daß die Mittelpunkte der beiden Himmelskörper ganz gerade gegeneinander stürzen, so bildet sich natürlich keine Spirale, sondern eine Scheibe, oder, wenn der eine Stern klein ist,



Fig. 52.

Nebelstreifen an den Sternen der „Plejaden“. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte vom 19. Oktober 1901. Skala 1 millim. = 42,2 Bogensek.

möglicherweise ein Kegel, wegen der gleichmäßigen Ausbreitung der Gase nach allen Seiten rund um die Stoßrichtung. Natürlich ist solch vollkommen zentraler Stoß etwas äußerst

Seltenes, aber es können leicht Fälle eintreten, die sich diesem Grenzfall mehr oder weniger nähern, besonders wenn die relative Geschwindigkeit der beiden Körper gering ist. Außer-



Fig. 53. Nebelstreifen im „Schwan“. Neuer General-Katalog 6992. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte vom 5. Oktober 1901. Skala 1 millim. = 41 Bogensek.

dem kann durch langsame Diffusion eine schwach entwickelte Spirale in ein rotierendes, scheibenförmiges Gebilde verwandelt werden. Wie groß die Ausdehnung des nebelfleckartigen

Gebildes wird, hängt ab von dem Verhältnis zwischen der Masse des Systems und der Ausströmungsgeschwindigkeit der Gase. Wenn beispielsweise zwei erloschene Sonnen von gleicher Ausdehnung und Masse wie unsere Sonne zusammenprallen, so würden Gasmassen, die mit mehr als zirka 900 km Geschwindigkeit pro Sekunde ausgeschleudert werden, sich in den unendlichen Raum ausbreiten, während andere Partien, die sich mit geringerer Geschwindigkeit nach außen bewegten, in der Umgebung des Zentralkörpers, und zwar je geringer die Geschwindigkeit, desto näher demselben bleiben würden. Von da würden sie wieder auf den Zentralkörper zurückfallen, ihm wieder einverleibt werden, wenn nicht zwei Umstände das verhinderten. Der eine ist der gewaltige Strahlungsdruck der glühenden Zentralmasse; durch ihn würden eine Menge Staubpartikeln schwebend erhalten werden, und mit ihnen durch Reibung auch die nächst umliegenden Gasmassen. Wegen der Absorption der Strahlung in den Staubmassen würden weiter außen im Nebelfleck nur feinere Partikeln emporgetragen werden können, und am äußersten Rand des Nebelflecks könnte wegen der stark abnehmenden Strahlung auch der feinste Staub nicht schwebend erhalten werden. Dadurch würde der Nebelfleck eine äußere Begrenzung erhalten. Der andere Umstand ist die heftige Drehung, in die der Zentralkörper durch den Stoß versetzt wird. Durch sie würde eine scheibenförmige Ausbreitung des ganzen Zentralkörpers infolge der Zentrifugalkraft zustandekommen. In den dichteren Partien würde, durch molekulare Zusammenstöße und durch Gezeitenwirkung, die Winkelgeschwindigkeit trachten, überall gleichförmig zu werden, so daß das Ganze wie ein zusammengedrückter Gasball rotieren, und die Spiralstruktur dort allmählich verschwinden würde. In weiter hinaus gelegenen Teilen würde die Geschwindigkeit nur so weit wachsen, daß sie der eines in gleichem Abstand sich bewegenden Planeten gleichkäme, das heißt, die Schwere gegen den Zentralkörper würde von der Zentrifugalkraft genau aufgewogen werden



und in den weitesten Abständen würden die molekularen Zusammenstöße sowie auch die Gravitation gegen das Zentrum, von so verschwindender Bedeutung werden, daß die daselbst befindlichen Massen ihre ursprüngliche Form fast unbegrenzte Zeiten beibehalten würden.

Inmitten dieses Systems würde sich die Hauptmasse als äußerst lebhaft glühende Sonne befinden, deren Lichtstärke jedoch infolge der heftigen Strahlung verhältnismäßig rasch sinken würde.

Ein solch ausgedehntes Nebelflecksystem, in welchem die Schwerkraft wegen der ungeheuer großen Weiten nur sehr schwach wirkt und merkbare Wirkungen nur äußerst langsam zustande bringt, vermag, trotz der außerordentlich großen Verdünnung der Materie in seinen Außenteilen, gerade infolge seiner großen Ausdehnung die Bewegung der Partikeln eines hinein gelangenden Sonnenstaubregens aufzuhalten. Damit die Nebelfleckgase in diesen äußersten Partien trotz der ungeheuer geringen Schwerkraftwirkung nicht in den Raum hinaus entweichen, müssen ihre Moleküle nahezu stillstehen, oder mit andern Worten, die Temperatur darf sich nur um einige wenige (vielleicht 50 bis 60) Grade über den absoluten Nullpunkt erheben. Bei solch niederen Temperaturen spielt die sogenannte Adsorption eine enorm große Rolle (Dewar). Die kleinen Staubpartikelchen bilden Zentren, um welche die rings herumliegenden Gase sich in hohem Grade verdichten. Die äußerst geringe Dichte des Gases verhindert das nicht, denn das Adsorptionsphänomen folgt einem Gesetz, wonach die verdichtete Gasmenge erst dann um etwa ein Zehntel abnimmt, wenn sich die Dichte des umgebenden Gases um ein Zehntausendstel verringert. Dadurch wird die Masse der Staubkörnchen vermehrt und wenn sie zusammenstoßen, werden sie von ihren flüssigkeitsähnlichen Hüllen aneinander gekittet. Es muß daher eine relativ starke Bildung von Meteoren in den Nebelflecken, besonders in den inneren Teilen stattfinden. Nun kommen auch Sterne und ihre Begleiter wandernd durch den Raum und geraten in die

Gase und Meteorschwärme der Nebelflecke hinein. Die größeren und schnelleren Himmelskörper schlagen sich durch die verhältnismäßig dünne Materie hindurch, die zu passieren

Fig. 54. Nebelfleck und Sternhöhe in der Milchstraße, im „Schwan“, nach Aufnahme von M. Wolf, Königstuhl bei Heidelberg.



sie jedoch wegen der großen Ausdehnung Tausende von Jahren brauchen.

Eine außerordentlich interessante Photographie von dem

berühmten Prof. M. Wolf in Heidelberg zeigt uns einen Teil eines Nebels im Schwan, in welchen ein Stern von außen eingedrungen ist. Dabei hat der Einwanderer die Nebelmaterie auf seinem Weg um sich gesammelt und auf diese Weise einen leeren Kanal hinter sich als Spur gelassen. Ähnliche an Nebelmaterie relativ freie Stellen kommen sehr



Fig. 55. Großer Nebel neben Rho im „Schlangenträger“ nach Photographie von E. E. Barnard (Lick-Sternwarte). Im Nebel sind mehrere leere Stellen und „Wege“ in der Nähe der größeren Sterne erkennbar.

häufig in den weit ausgedehnten unregelmäßigen Nebeln vor und werden häufig Risse (engl. Rifts) genannt, weil sie meistens eine langgezogene Form haben. Man hat schon lange vermutet, daß diese Risse Spuren von großen Himmelskörpern sind, die sich durch die außerordentlich weit ausgedehnte Nebelmasse durchgeschlagen haben. (Fig. 54.)

Die kleineren und langsameren Einwanderer dagegen werden von den Partikelchen in den Nebelflecken aufgehalten. Man sieht daher die Sterne auch spärlicher in der nächsten Umgebung des Nebelflecks, während sie in den Nebelflecken stärker angehäuft scheinen. Das ist schon Herschel bei seinen Beobachtungen der Nebelflecke aufgefallen. Auf diese



Fig. 56. Sternhaufen im „Herkules“, Messier 13.  
Nach Aufnahme der Yerkes-Sternwarte. Skala 1 millim. — 9,22 Bogensek.

Weise entstehen im Nebelfleck eine Menge Anziehungszentren, die die ringsumher liegenden Nebelfleckgase verdichten, und umherstreifende Meteore in den Nebelflecken, besonders in den inneren Teilen einfangen. Man kann auch häufig beobachten, wie die Nebelmaterie in einem Ring um die leuchtenden Sterne in den Nebelflecken herum verdünnt ist. (Vgl. Fig. 52 u. 55.) Schließlich verwandelt sich

der Nebelfleck in einen Sternhaufen, der die charakteristischen Formen des Nebelflecks beibehält, unter denen die Spirale die gewöhnlichste ist, aber auch die Keilform (aus dem konischen Nebelfleck entstanden) und die Kugelform vorkommen. (Vgl. Fig. 55, 56 u. 57.)

Das ist genau die Entwicklung, die Herschel, gestützt



Fig. 57. Sternhaufen im „Pegasus“, Messier 15.  
Aufnahme der Yerkes-Sternwarte. Skala 1 millim = 6,4 Bogensek.

auf seine Beobachtungen, für die Nebelflecke vermutete. Jedoch dachte er, daß die Nebelmaterie direkt zu Sternen kondensiert wird, ohne Beihilfe fremder, einwandernder Himmelskörper.

Es ist schon seit uralten Zeiten bekannt und durch Messungen von Herschel und anderen in überzeugender Weise bestätigt, daß die Sterne sich um die Mittellinie der

Milchstraße stark zusammenhäufen. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß ursprünglich in der Ebene der Milchstraße ein weitausgedehnter Nebel, vielleicht durch Zusammenstoß zweier Riesenonnen wie Arctur entstanden, gelegen hat. Dieser Riesennebel hat dann die kleineren herumwandernden Himmelskörper in sich gesammelt, welche die Nebelmaterie auf sich kondensiert haben und dadurch glühend geworden sind, falls sie es nicht schon vorher waren. Die drehende Bewegung in diesen vom Zentrum der Milchstraße weit entfernten Gegenden kann vernachlässigt werden. Zwischen den

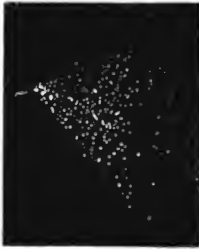


Fig. 58. Keelförmiger Sternhaufen in den „Zwillingen“.

Einzelsternen, die so gesammelt wurden, sind später Zusammenstöße erfolgt und darum sind Gasnebel und Sternhaufen sowie neue Sterne in der Milchstraßen-Ebene verhältnismäßig sehr häufige Erscheinungen.

Diese Auffassung wird einst in hohem Grade bestätigt werden, wenn es gelingt, einen Zentralkörper der Milchstraße, beispielsweise aus der Krümmung der Bahn der Sonne oder anderer Sterne, nachzuweisen.

Was den Ringnebel in der Leier betrifft, so haben die in neuester Zeit von Newkirk gemachten Messungen das Resultat ergeben, daß der in seiner Mitte sichtbare Stern von uns in einem Abstand von 32 Lichtjahren liegt. Da es unzweifelhaft scheint, daß dieser Stern den Zentralkörper des genannten Nebelflecks bildet, so ist auch der Abstand des letztern 32 Lichtjahre. Aus dem Durchmesser des Nebelrings von etwa 1 Bogenminute berechnete Newkirk, daß er vom Zentralkörper ungefähr 300 Erdbahnradien entfernt liegt, das heißt etwa 10mal so weit, als der Neptun von der Sonne. Auch innerhalb des leuchtenden Ringes beobachtet man ein schwaches Nebellicht. Wahrscheinlich ist dort die

Nebelmaterie ursprünglich konzentrierter gewesen, als in dem weiter außen liegenden Ring, aber sie wurde auf von außen eingewanderten Meteoriten kondensiert, und indem letztere sich zusammenballten, sind dunkle Planeten entstanden, die sich um den Zentralkörper bewegen und die Gase in ihrer Nähe größtenteils aufgesammelt haben. Wenn der Zentralkörper ebenso schwer wäre, wie unsere Sonne, so würde die Ringmaterie eine Umlaufszeit von etwa 5000 Jahren um ihn haben. Diese Rotation genügte, um die ursprüngliche Spiralförmigkeit zum größten Teil zu verwischen, aber so viel ist doch davon übrig, daß man deutlich bemerken kann, daß die Spirale zwei Flügel hatte. Der Zentralkörper des Ringnebels gibt ein kontinuierliches Spektrum mit hellen Linien, welches nach der blauen Seite zu stark entwickelt ist. Er scheint daher viel jünger und heißer als unsere Sonne zu sein, weshalb auch sein Strahlungsdruck intensiver und die Umlaufszeit des Nebelringes vielleicht bedeutend länger geschätzt werden muß.

Aus der Eigenbewegung von 168 Nebeln hat der hervorragende holländische Astronom Kapteyn abgeleitet, daß ihre mittlere Entfernung von der Erde etwa 700 Lichtjahre beträgt oder so viel wie diejenige der Sterne 10. Größe. Die alte Vorstellung, daß die Nebel unvergleichlich viel weiter von uns liegen, als die schwächeren Sterne, scheint demnach nicht zutreffend zu sein.

Die „neuen Sterne“ bilden eine Gruppe unter den merkwürdigen Himmelskörpern, die wegen ihrer veränderlichen Lichtstärke den Namen „veränderliche Sterne“ erhielten, und von welchen einige typische Fälle wegen des großen wissenschaftlichen Interesses erwähnt zu werden verdienen. Welche Schicksale ein Stern durchzumachen hat, der in einen mit eingewanderten Himmelskörpern gefüllten Nebelfleck geraten ist, zeigt einer der eigentümlichsten veränderlichen Sterne, Eta im Argus. Dieser Stern scheint durch eine der größten Nebelwolken am Himmelsgewölbe; ob er in irgendwelchem physischen Zusammenhang mit dieser seiner Umgebung steht, kann man ohne nähere Untersuchung nicht angeben; er

könnte ja zum Beispiel weit vor dem Nebel, zwischen diesem und uns stehen. Sein häufiger Lichtwechsel deutet indessen auf eine Serie von Zusammenstößen, die uns natürlich erscheinen unter der Annahme, daß der Stern sich in einer Nebelmasse befindet, die voll eingewandeter Himmelskörper ist.

Da dieser Stern dem südlichen Sternenhimmel angehört, wurde er nicht eher beobachtet, als bis die Astronomen angingen, die südliche Halbkugel zu besuchen. 1677 wurde er vierter Größe geschätzt, zehn Jahre später war er zweiter Größe, ebenso 1751. 1827 war er dagegen erster Größe, und man fand ihn veränderlich, das heißt er zeigte wechselnde Helligkeit. Herschel fand, daß er zwischen erster und zweiter Größe schwankte, 1837 aber an Helligkeit zunahm, so daß er 1838 von der Größe 0,2 war. Danach nahm er an Lichtstärke ab bis zum April 1839, wo er die Größe 1,1 hatte, blieb vier Jahre nahe an dieser Lichtstärke, worauf er 1843 rasch zunahm und alle Sterne außer Sirius (Größe — 1,7) übertraf. Dann nahm seine Helligkeit langsam ab, so daß er dem bloßen Auge grade noch sichtbar blieb (sechste Größe); im Jahre 1869 war er unsichtbar. Seither hat er zwischen der 6. und 7. Größenordnung gewechselt.

Die letzten Wechsel in der Lichtstärke dieses Sterns erinnern lebhaft an das Verhalten des neuen Sterns im Perseus, nur daß dieser später seine leuchtende Bahn viel rascher durchlaufen hat. Es scheint indessen offenbar, daß Eta im Argus von Anfang an weit heller war als Nova Persei, und daß jener wenigstens einmal vor dem großen Zusammenstoß im Jahr 1843 (nach welchem er mit verdunkelnden Wolken von zunehmender Undurchsichtigkeit umgeben wurde), nämlich im Januar 1838, einer kleineren Kollision von rasch vorübergehender Wirkung ausgesetzt war. Diese kleinere Kollision war wohl derart, wie Mayer sie sich zwischen Erde und Sonne vorstellte; dabei würde eine Wärmeentwicklung stattfinden, die der Wärmeabgabe der Sonne in ungefähr 100 Jahren entspräche. Da man beobachtete, daß der



Stern schon früher in unregelmäßiger Weise veränderlich war, ist er vielleicht auch früher einmal einem solchen Zusammenstoß ausgesetzt gewesen.

Nach einer Beobachtung des Studenten Borisiak in Kiew soll auch der neue Stern im Perseus am Abend des 21. Februar 1901 von der Größenordnung 1,5 gewesen sein, während er einige Stunden vorher weniger als zwölfter, und am folgenden Abend von der Größe 2,7 gewesen war, worauf seine Helligkeit zunahm bis zum darauffolgenden Abend, so daß der Stern da alle anderen am nördlichen Himmel überstrahlte. Wenn diese Angabe nicht auf einer falschen Beobachtung beruht, ist der neue Stern, zwei Tage vor seinem Zusammenprall mit der andern Sonne am 23. Februar einer kleineren Kollision ausgesetzt gewesen, entweder mit dieser Sonne oder mit einem kleinen Planeten in ihrer Umgebung, und dadurch auf kurze Zeit zu großer Lichtstärke gebracht worden.

Die neuen Sterne sind durchaus nicht so selten, wie man vielleicht glauben möchte. Fast jedes Jahr wird ein neuer Stern bemerkt. Die weitaus meisten treten in der Nähe der Milchstraße auf, wo die sichtbaren Sterne ungewöhnlich dicht beisammen sind, und daher ein für uns bemerkbarer Zusammenstoß zwischen zwei Himmelskörpern am leichtesten stattfinden kann.

Aus ähnlichen Gründen findet man dort auch die meisten gasförmigen Nebel.

Ebenso gibt es auch die meisten Sternhaufen in der Nähe der Milchstraße. Es ist das ja nur eine Folge davon, daß die Nebelmassen, die beim Zusammenstoß zweier Sonnen entstehen, bald von wandernden Himmelskörpern, die hier verhältnismäßig reichlich vorhanden sind, durchsetzt werden und sich durch die kondensierende Wirkung der Eindringlinge in Sternhaufen verwandeln. In Himmelsgegenden, wo die Sterne verhältnismäßig selten sind (wie in großer Entfernung von der Milchstraße), beobachtet man die meisten Nebelflecke mit Sternspektren. Sie sind nichts anderes als Sternhaufen, die so weit entfernt sind, daß man die einzelnen

Sterne nicht unterscheiden kann. Daß einzelne Sterne und Gasnebelteile in diesen Himmelsgegenden so selten wahrgenommen werden, liegt zweifellos an ihrer großen Entfernung von uns.

Unter den veränderlichen Sternen gibt es eine ganze Menge, die große Unregelmäßigkeit im Lichtwechsel zeigen, und sehr stark an die neuen Sterne erinnern. Dazu gehört der eben genannte Stern Eta im Argus. Ein anderer (der erste als „veränderlich“ erkannte) ist Mira Ceti, oder übersetzt: „der wunderbare Stern im Walfisch“. Diese rätselhafte Erscheinung wurde von dem frösischen Priester Fabricius am 12. August 1596 zuerst als Stern zweiter Größe beobachtet. Der sternkundige Priester hatte den Stern früher nicht gesehen, und suchte ihn auch nachher im Oktober 1597 vergebens. In den Jahren 1638 und 1639 wurde die Veränderlichkeit des Sterns erkannt und man fand bald, daß sie sehr unregelmäßig ist. Die Periodenlänge ist ungefähr 11 Monate, schwankt aber unregelmäßig um diese Zeit als Mittelwert. Zur Zeit seines größten Glanzes strahlt er als Stern erster bis zweiter Ordnung; bisweilen ist er auch schwächer, aber immer über fünfter Größe. Zehn Wochen nach dem Maximum ist der Stern nicht mehr sichtbar, seine Helligkeit kann bis zu der eines Sterns von der Größenordnung 9,5 heruntergehen. Mit andern Worten, seine Lichtstärke wechselt ungefähr wie 1 zu 1000 (oder vielleicht noch etwas mehr). Nach dem Minimum nimmt die Helligkeit wieder zu, der Stern wird sichtbar, d. h. er erreicht die sechste Größe, und nach weiteren sechs Wochen sein Lichtmaximum. Offenbar haben wir hier mehrere Perioden, die sich sozusagen übereinander lagern.

Dieser Stern hat ein ziemlich eigentümliches Spektrum. Er gehört zu den roten Sternen mit Bandenspektrum, das von leuchtenden Wasserstofflinien durchzogen ist. Mit einer Geschwindigkeit von nicht weniger als 63 km in der Sekunde entfernt er sich von uns. Die leuchtenden Wasserstofflinien, die ja dem Spektrum der Nebelflecke entsprechen, teilen sich

zuweilen in drei Komponenten, von welchen die mittelste ungefähr der mittleren Geschwindigkeit, 60 km, entspricht, die beiden andern aber wechselnde Geschwindigkeit haben, zum Beispiel 35 und 82 km von uns weg, das heißt 20—25 km weniger oder mehr, als die mittlere Geschwindigkeit. Der Stern ist offenbar von drei Nebelmassen umgeben; die eine konzentriert um sein Zentrum, die zwei anderen bilden an den Enden zweier Büschel oder vielleicht richtiger: an zwei entgegengesetzten Seiten einen Ring, ähnlich dem Ringnebel in der Leier, der sich um den Stern mit einer Geschwindigkeit von etwa 23,5 km in der Sekunde bewegt. Da diese Umwälzung in elf, oder richtiger gesagt in zweiundzwanzig Monaten stattfindet, weil doch zwei Maxima und zwei Minima während der Rotation des Ringes hervortreten müssen, so ist die ganze Peripherie des Ringes  $23,5 \times 86400 \times 670 = 1361$  Millionen, und der Bahnradius 217 Millionen Kilometer, oder 1,45mal größer, als der der Erdbahn. Nun ist die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn 29,5 km in der Sekunde: ein Planet, der sich in 1,45mal größerem Abstand von der Sonne befände, würde eine 1,203mal geringere Geschwindigkeit haben, das heißt, 24,5 km pro Sekunde, oder sehr nahe derjenigen des vermutlichen Ringes um Mira Ceti. Hieraus schließen wir, daß die Masse der Zentralsonne in Mira Ceti derjenigen unserer Sonne ziemlich nahekommt; die Rechnung sagt uns, daß Mira um 8% kleiner sein würde, aber das fällt ganz und gar in den Bereich der möglichen Fehler.

Eine sehr auffallende Regelmäßigkeit hat Chandler bei diesen Sternen nachgewiesen, nämlich, daß je länger die Periode ihres Lichtwechsels, desto röter im allgemeinen ihre Farbe ist. Das ist leicht zu verstehen. Je dichter die ursprüngliche Gasatmosphäre gewesen ist, desto weiter hat sie sich auch im allgemeinen vom Stern aus erstreckt, und desto mehr Staub ist von ihr eingefangen oder ausgeschieden worden. — Wie wir gesehen haben, hat der Sonnenrand ein rötliches Licht wegen der Staubmengen, die sich in der Sonnenatmosphäre befinden. Das beruht hauptsächlich auf

Absorption des blauen Lichtes durch den Staub, aber zum Teil mag es auch daher kommen, daß der Staub durch die Sonnenstrahlung glühend wird, aber, da er außerhalb der Sonne liegt, eine niedrigere Temperatur als die Photosphäre hat und deshalb also ein verhältnismäßig rotes Licht ausstrahlt. — Je mehr Staub sich im Nebelfleck befindet, desto röter wird auch das Licht des Sterns in demselben. Da sich die Staubmenge mit der Ausdehnung des Nebelflecks im allgemeinen vermehrt, so muß natürlich auch der Stern im allgemeinen desto röter werden, je weiter sich die Nebelringe von ihm aus erstrecken; aber je größer ihr Abstand, desto länger ist auch im allgemeinen ihre Umlaufszeit.

Diese sogenannten roten Sterne zeigen außer hellen Wasserstofflinien auch Bandenspektren, die die Anwesenheit chemischer Verbindungen andeuten. Das wurde früher als Beweis dafür angeführt, daß solche Sterne eine niedere Temperatur haben. Aber dieselbe Eigentümlichkeit wird auch bei den Sonnenflecken beobachtet, obgleich diese wegen ihrer Lage eine höhere Temperatur, als die umgebende Photosphäre haben müssen. Das Vorhandensein von Banden im Spektrum deutet dagegen sicher auf hohen Druck. Die roten Sterne werden offenbar von einer sehr ausgedehnten Gasatmosphäre umgeben, in deren innerem Teil der Druck sehr hoch ist und die Atome daher so zusammengepreßt werden, daß sie chemische Verbindungen bilden. Überhaupt zeigen die Spektren der roten Sterne eine auffallende Ähnlichkeit mit denjenigen der Sonnenflecke. Der violette Teil des Spektrums ist abgeschwächt infolge von Staubmassen, die dieses Licht auslöschen. Wegen der großen Gasmassen, die längs der Gesichtslinie liegen, sind die Spektrallinien in beiden Fällen stark verbreitert, und zuweilen von leuchtenden Linien begleitet.

Eine andere Klasse von Sternen, die leuchtende Linien zeigen, sind die von Wolf und Rayet studierten und nach ihnen benannten. Diese zeichnen sich durch eine ungeheuer ausgebreitete Wasserstoffatmosphäre aus, deren Ausdehnung

in einzelnen Fällen, der Rechnung nach, so groß ist, daß sie die Bahn des Neptun ausfüllen könnte. Diese Sterne sind offenbar heißer (und stärker strahlend), als die roten Sterne, oder es befindet sich nicht so viel Staub in ihrer Nähe — er kann möglicherweise durch den starken Strahlungsdruck abgestoßen worden sein —, sie gehören deshalb zu den gelben und nicht zu den roten Sternen. Obgleich alles darauf hindeutet, daß ihre Zentralkörper wenigstens ebenso heiß sind, wie die der weißen Sterne, vermag gleichwohl der Staub in ihrer weit ausgedehnten Atmosphäre die Farbe auf gelb herabzusetzen.

Die ungleichen Perioden bei den Mira-Sternen erklären sich leicht durch die wahrscheinliche Annahme, daß sich in ihrer Nähe mehrere Staubringe um sie herum bewegen, ganz wie um den Planeten Saturn. Die innersten Ringe mit kurzer Umlaufzeit haben wahrscheinlich Zeit gefunden, während ihrer unzähligen Umläufe die Staubverteilung auszugleichen, so daß in ihnen keine nennenswerten Knoten, wie wir sie in den Kometenschweif beobachten, vorkommen. Sie tragen also nur dazu bei, dem Stern einen gleichmäßig roten Farbenton zu geben. In den äußeren Ringen ist dagegen die Verteilung des Staubs ungleichförmig. Einer der Ringe, der den größten Einfluß hat, mag die eigentliche Hauptperiode bedingen. Durch Mitwirkung anderer, weniger bedeutender Staubringe kann das Maximum oder Minimum, wie man leicht einsehen wird, etwas verschoben, und also die Zeit zwischen Maxima und Minima verrückt werden. Für einige Sterne ist diese Verrückung der Periodenlänge so stark, daß es noch nicht geglückt ist, irgendeine einfache Periode nachzuweisen. Der bekannteste Stern dieser Art ist der helle rote Stern Beteigeuze im Sternbild des Orion. Die Helligkeit dieses Sterns wechselt unregelmäßig zwischen den Größenordnungen 1,0 und 1,4.

Die allermeisten veränderlichen Sterne gehören zum Mira-Typus. Andere gehören dem nach dem veränderlichen Stern Beta im Sternbild der Leier benannten Lyra-Typus an.

Bei vielen von diesen hat man aus der Veränderlichkeit ihrer Spektren nachgewiesen, daß sie sich um einen dunklen Stern als „Begleiter“, oder richtiger, um den mit ihm gemeinsamen Schwerpunkt bewegen. Man erklärt ihren Lichtwechsel gewöhnlich durch die Annahme, daß der helle Stern zuweilen von dem dunkeln Begleiter teilweise verdeckt wird. Aber viele Unregelmäßigkeiten in ihren Perioden, sowie andere Umstände, deuten an, daß diese Erklärung nicht ausreichend ist. Es ist klar, daß wir uns durch die Annahme von um die Sterne kreisenden Staubringen neben den größeren Kondensationszentren, einen Begriff vom Lichtwechsel dieser Sterne bilden können. Sie gehören zu den weißen oder gelben Sternen, in deren Umgebung der Staub keine so große Rolle spielt, wie in derjenigen der Mira-Sterne. Die Periode ihrer Lichtvariation ist auch weit kürzer, gewöhnlich nur einige wenige Tage (die kürzeste bekannte nur 4 Stunden), während die Periode der Mira-Sterne wenigstens 65 Tage beträgt und auch zwei Jahre erreichen kann — wahrscheinlich gibt es solche mit noch längeren Perioden, wenn sie auch noch nicht untersucht worden sind.

Den Lyra-Sternen kommen die Algol-Sterne nahe, deren Lichtwechsel mit Hilfe der Annahme erklärt werden kann, daß ein anderer (heller oder dunkler) Stern sich in ihrer Nähe bewegt und mitunter ihr Licht uns teilweise entzieht. In diesem Fall ist der Staub fast ganz fort, die Spektren dieser Sterne gehören auch zur ersten Klasse, d. h. zu der der weißen Sterne, soweit sie untersucht worden sind.

Für all die veränderlichen Sterne müssen wir annehmen, daß die Sehlinie zwischen dem Beobachter und dem betreffenden Stern in die Bahnebene ihrer Staubringe oder ihrer Begleiter fällt. Wäre das nicht der Fall, so würden sie uns wie ein Nebelfleck mit zentraler Verdichtung oder, soweit es Algol-Sterne betrifft, wie sogenannte spektroskopische Doppelsterne erscheinen, deren umeinander kreisende Bewegung aus der Verschiebung der Spektrallinien erkannt wird.

Die Entwicklung der Sterne aus dem Nebelfleckstadium wird von dem berühmten Vorstand des Lick-Observatoriums in Kalifornien, W. W. Campbell, wie folgt geschildert (vgl. hierzu die Spektren der Sterne 2., 3. und 4. Klasse, Fig. 59 und 60):

„Es fällt nicht schwer, eine lange Reihe wohlbekannter Sterne herauszugreifen, deren Zustand sich nicht besonders von dem der Nebelflecke unterscheiden kann. Die Spektren dieser Sterne enthalten die hellen Linien sowohl des Wasserstoffs, wie des Heliums. Gamma Argus und Zeta Puppis

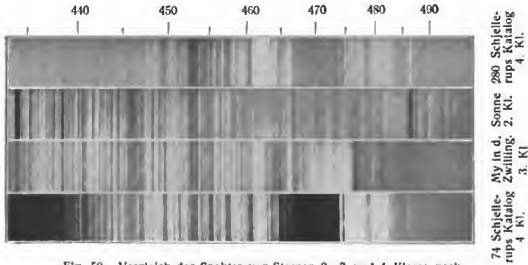


Fig. 59. Vergleich der Spektren von Sternen 2., 3. und 4. Klasse nach photographischer Aufnahme von der Yerkes-Sternwarte. Blauer Teil des Spektrums. Die Wellenlängen sind in Millionstel Millimeter angegeben.

gehören zu dieser Klasse. Ein anderer hierher gehöriger Stern (D. M. + 30°, 3639) ist mit einer Wasserstoffatmosphäre von etwa fünf Bogensekunden Durchmesser umgeben. Etwas mehr entfernt vom Nebelfleckstadium scheinen solche Sterne zu sein, die sowohl helle wie auch dunkle Wasserstofflinien aufweisen; diese Sterne werden gerade dann beobachtet, wenn sie sozusagen im Begriff sind, das Erscheinen heller mit dem dunkler Linien zu vertauschen. Gamma in der Cassiopeja, Pleione und My im Centauren sind Beispiele davon. Nahe verwandt mit den genannten sind die Heliumsterne. Ihre dunklen Linien entsprechen denen des Wasserstoffes,

und zwanzig oder mehr der hervorragendsten Heliumlinien, sowie einigen schwachen Metalllinien. Die weißen Sterne im Orion und in den Plejaden sind typisch für diese Klasse.“

„Daß diese Sternklassen einem frühen Entwicklungsstadium entsprechen, wurde zuerst durch Beobachtung ihrer Spektren als wahrscheinlich hingestellt. Mit Hilfe der Photographie entdeckte man Nebelfleckmassen in der Nähe der Sterne mit hellen Linien und der Heliumsterne, und diese

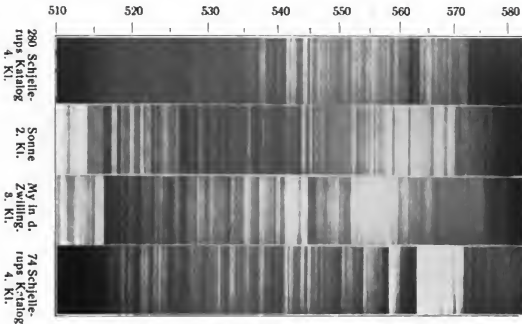


Fig. 60. Vergleich der Spektren von Sternen 2., 3. und 4. Klasse nach photographischer Aufnahme von der Yerkes-Sternwarte. Grüner und gelber Teil des Spektrums. Die Wellenlängen sind in Millionstel Millimeter angegeben.

Entdeckung bestätigt ihre Jugend in eklatanter Weise. Kann wohl jemand, der den Nebelfleck im Hintergrund des Orion-Sternbildes (Fig. 51) oder die Reste von Nebelfleckmaterie, in die die Sterne der Plejaden (Fig. 52) eingehüllt sind, gesehen hat, daran zweifeln, daß diese Sterngruppen jungen Datums sind?

„Im Laufe der Zeiten strahlt die Sternenwärme in den Raum hinaus, und ist für die Sterne selbst verloren. Andererseits wächst die Schwerkraft an ihrer Oberfläche durch die Zusammenziehung. Gewisse von Pickering ent-



deckte Wasserstofflinien verschwinden, während die gewöhnlichen kräftiger hervortreten, alle als dunkle Linien. Die dunklen, zum Helium gehörigen Linien werden undeutlich, während dunkle Kalk- und Eisenlinien auftreten. Vega und Sirius sind typische Beispiele von Sternen dieses Entwicklungsstadiums. Wenn die Sterne altern, vermindert sich die Stärke der Wasserstofflinien, die Calcium- und Metalllinien werden kräftiger, die blauweiße Farbe geht ins gelbliche über, und nachdem mehrere wohlbekannte Stadien durchlaufen sind, wird der Zustand erreicht, der auf der Sonne herrscht. In den Spektren der entsprechenden Sterne wird der Wasserstoff nur durch vier oder fünf dunkle Linien von mäßiger Stärke angedeutet (die Heliumlinien fehlen), die Calciumlinien treten äußerst prägnant hervor, und etwa zwanzigtausend Metalllinien erscheinen. Die Sterne vom Sonnentypus scheinen nahe am Höhepunkt der Sternentwicklung zu liegen. Die mittlere Temperatur dieser Sterne muß nahe an einem Maximum sein, denn das niedrige spezifische Gewicht deutet auf einen gasförmigen Zustand der Sternenmasse.“ (Vgl. Abt. VII.)

„Mit der Zeit sinkt die Temperatur noch weiter. Die Farbe des Sterns geht von gelb in rot über, infolge der sinkenden Temperatur und stärkeren Lichtabsorption in der Sternatmosphäre. Die Wasserstofflinien werden undeutlich, die Metalllinien treten stark hervor, und breite Absorptionsbanden zeigen sich. In einer Klasse (Secchis Typ III), zu welcher Alpha im Herkules gehört, sind diese Banden unbekanntes Ursprungs; in einer andern Klasse (Secchis Typ IV), von Stern 19 in den Fischen repräsentiert, sind sie endgültig als zu den Kohlenstoffverbindungen gehörig erkannt worden.

„Es kann kaum ein Zweifel darüber herrschen, daß diese Art Sterne (Typ IV) sich dem letzten Stadium ihrer Entwicklung nähern. Die Temperatur ihrer äußeren Teile ist so gesunken, daß zusammengesetztere chemische Verbindungen in ihnen vorkommen können, als an den Außenrändern der Sonne.

„Secchis Typ III umfaßt verschiedene Hunderte von Ster-

nen derselben Art wie Mira Ceti, mit Lichtwechselln von langen Perioden. Wenn diese Sterne in ihrem stärksten Glanz leuchten, zeigen sie verschiedene helle Linien von Wasserstoff und andern chemischen Grundstoffen.\*) Es ist auffallend, daß die dunkelroten Sterne sämtlich sehr schwach sind (Secchis Typ IV) — keiner übersteigt die Größe  $5\frac{1}{2}$ . Ihre effektive Strahlungskraft ist zweifellos sehr gering.“

Das Entwicklungsstadium, welches folgt, nachdem der Stern das Stadium passiert hat, welches Secchis Typ IV entspricht, wird von uns naheliegenden Beispielen verdeutlicht, nämlich von den Planeten Jupiter und der Erde; sie würden unsichtbar sein, wenn sie nicht mit geborgtem Licht beleuchtet wären.

Jupiter ist nicht so weit vorgeschritten wie die Erde. Jupiters spezifisches Gewicht ist etwas niedriger, als das der Sonne (1,27 resp. 1,38), und dieser Planet ist wahrscheinlich, abgesehen von den Wolken in seiner Atmosphäre, ganz und gar gasförmig, während die Erde, die eine mittlere Dichte von 5,52 hat, eine feste, kalte Rinde besitzt, die ihr glühend-heißes Innere einschließt. Dieser Zustand entspricht dem letzten Entwicklungsstadium der Sterne.

Von den bei einem Zusammenstoß aus den Sternen ausgeworfenen Gasmassen werden die metallischen infolge der Abkühlung rasch kondensiert; nur Helium und Wasserstoff bleiben im Gaszustand und bilden nebelleckartige Massen um den Zentralkörper. Diese Nebelmassen geben leuchtende Linien. Ihre Leuchtkraft beruht auf den negativ geladenen Partikeln, die infolge des Strahlungsdrucks von naheliegenden Sternen, besonders vom Zentralkörper des Nebelflecks, in

---

\*) Dieser Umstand deutet darauf hin, dass die rote Farbe dieser Sterne, wie oben bezüglich Mira Ceti bemerkt wurde, nicht auf niedrige Temperatur, sondern vielmehr auf umgebenden Staub zurückzuführen ist. Die ganz ausserordentliche Lichtstärke einiger Sterne wie Arktur und Beteigeuze, die röter sind als die Sonne und deren Spektra, nach den Untersuchungen von Hale, Ähnlichkeit mit denjenigen der Sonnenflecken aufweisen, setzt eine sehr hohe Temperatur voraus. Die charakteristischen Spektrallinien werden von relativ kühlen Dämpfen in ihren äussersten Teilen verursacht.

sie fallen. Bei den neuen Sternen, die bis jetzt beobachtet worden sind, vermindert sich dieser Druck der Strahlung bald, und das Nebelflecklicht nimmt deshalb in diesen Fällen rasch ab. In andern Fällen, wie bei den Sternen mit hellen Wasserstoff- und Heliumlinien, scheint sich die Strahlung des Zentralkörpers oder naheliegender Sterne lange Zeit bei voller Kraft zu erhalten.

Die nebelfleckartigen Ansammlungen von Helium und Wasserstoff entweichen allmählich und kondensieren sich unter Bildung von „explosiven“ Verbindungen in naheliegenden Sternen. Dabei scheint das Helium den stärksten Verbindungsdrang zu haben, es verschwindet zuerst aus der Sternatmosphäre. Daß Helium bei hoher Temperatur chemische Verbindungen eingeht, scheint aus den Untersuchungen von Ramsay, Cooke und Kohlschütter hervorzugehen.

Nachher wird der Wasserstoff absorbiert, und das Licht des Zentralkörpers zeigt das überwiegende Vorkommen von Calcium- und andern Metalldämpfern in seiner Atmosphäre an. Gleichzeitig mit diesen treten schließlich chemische Verbindungen auf, unter denen Kohlenstoffverbindungen eine Hauptrolle spielen: in den äußeren Teilen der Sonnenflecke, in den Sternen von Secchis Typ IV, wie in den Gashüllen der Kometen.\*)

Zuletzt bildet sich eine feste Rinde; der Stern ist erloschen.

---

\*) Die Anwesenheit von Kohlenstoff-Banden in dem Spektrum braucht nicht als Anzeichen einer niedrigen Temperatur angesehen zu werden. Crew und Hale fanden, dass diese Banden aus dem Spektrum eines Lichtbogens allmählich verschwanden, wenn dessen Temperatur durch Herabsetzung der Stromstärke vermindert werde.

## Nebelfleckzustand und Sonnenzustand.

Wir wollen nun die chemischen und physikalischen Verhältnisse genauer betrachten, die die Nebelflecke zum Unterschied von den Sonnen wahrscheinlich kennzeichnen, und die in vieler Beziehung wesentlich verschieden sind von denen, die wir bei der von uns untersuchten, verhältnismäßig kondensierten Materie zu finden gewohnt sind.

Wie durchgreifend dieser Unterschied sein muß, geht daraus hervor, daß das Motto von Clausius, das die Summe unseres Wissens von der Natur der Wärme umfaßt, für die Nebelflecke ungültig sein muß. Dieses Motto lautet:

„Die Energie der Welt ist konstant; die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.“

Was mit Energie gemeint ist, dürfte jedermann bekannt sein. Energie gibt es in vielen Formen; die wichtigsten sind: Energie der Lage: ein schwerer Körper hat größere Energie, wenn er zu einer gewissen Höhe über der Erdoberfläche gehoben ist, als wenn er auf derselben liegt; Bewegungsenergie: eine abgeschossene Gewehrkuugel hat eine Energie, die proportional der Masse der Kugel und dem Quadrat ihrer Geschwindigkeit wächst; Wärmeenergie: man betrachtet sie als Bewegungsenergie der kleinsten Teile eines Körpers; elektrische Energie: solche kann beispielsweise in einer Akkumulatorenbatterie gesammelt und wie alle andern Energieformen in Wärmeenergie verwandelt werden; und chemische Energie: Diese kommt zum Beispiel vor bei einer Mischung von acht Gramm Sauerstoff und einem Gramm Wasserstoff, die unter starker Wärmeentwicklung in Wasser verwandelt werden kann. Daß die Energie bei einem System, dem von außen

keine Energie zugeführt wird, konstant ist, bedeutet bloß, daß die verschiedenen Energieformen der einzelnen Teile dieses Systems in andere Energieformen umgesetzt werden können, aber daß die Summe der verschiedenen Energien dabei immer unverändert bleibt. Clausius hat die Geltung dieses Satzes auch auf den unendlichen Weltenraum ausgedehnt.

Unter Entropie versteht man die Wärmemenge eines Körpers dividiert durch seine absolute Temperatur. Wenn daher eine Wärmemenge  $Q$  Kalorien von einem Körper von  $100^{\circ}$  (absolute Temperatur  $373^{\circ}$ ) zu einem Körper von  $0^{\circ}$  (absolute Temperatur  $273^{\circ}$ ) übergeht, so ist die Entropie von beiden zusammen um  $\frac{Q}{373}$  verkleinert und um

$\frac{Q}{273}$  vergrößert worden. Da die letztere Quantität größer ist, so hat also die Entropie im ganzen zugenommen. Wir wissen nun, daß Wärme immer „von selbst“ durch Leitung oder Strahlung von Körpern von höherer auf solche von niedrigerer Temperatur übergeht. Dabei wächst offenbar die Entropie. Das ist ein Beweis für die Richtigkeit von Clausius' Satz, daß die Entropie danach strebt, sich zu vermehren.

Der einfachste Fall von Wärmegleichgewicht tritt ein, wenn wir in einen Raum, der von außen keine Wärme empfängt und keine nach außen abgibt, eine Anzahl Körper von ungleicher Temperatur legen. Die Wärme wird da auf irgendeine Art, gewöhnlich durch Leitung oder Strahlung, von den heißeren zu den kälteren Körpern übergehen bis zuletzt, wenn alle Körper die gleiche Temperatur haben, Gleichgewicht eingetreten ist. Einem solchen Gleichgewicht strebt, nach Clausius, das Weltall zu. Wenn es je eintritt, hören alle Quellen der Bewegung und damit des Lebens auf. Der sogenannte „Wärmetod“ ist gekommen.

Wenn Clausius indessen recht hätte, so müßte dieser Wärmetod in der unendlich langen Zeit seit dem Bestehen der Welt schon eingetreten sein, was durchaus nicht der Fall ist. Oder auch, die Welt hat nicht unendlich lange bestanden, son-

dern hat einen Anfang gehabt, was aber dem ersten Teil des Clausiusschen Satzes widerspricht, daß die Weltenergie konstant sei, denn dann wäre alle Energie im Schöpfungsaugeblick entstanden. Das ist uns ganz unbegreiflich und wir müssen daher einen Fall aufsuchen, für den der Clausiussche Entropiesatz nicht gilt.

Der berühmte schottische Physiker Maxwell hat sich einen solchen Fall gedacht. Wir können uns ein Gefäß vorstellen, das mit einem Gase von überall gleicher Temperatur gefüllt und in zwei, durch eine Wand getrennte Räume geteilt ist. Diese Wand habe eine Anzahl so kleiner Löcher, daß durch jedes nur ein Gasmolekül auf einmal hindurchgehen kann. An jedes Loch denkt sich Maxwell ein kleines intelligentes Wesen gestellt, das alle Moleküle, die sich in das Loch drängen und eine größere Geschwindigkeit als die Mittelgeschwindigkeit der gesamten Moleküle besitzen, nach der einen Seite hindurchläßt, dagegen alle, die weniger als die Mittelgeschwindigkeit haben, nach der andern Seite. Allen übrigen verwehrt es den Weg durch die Löcher mit Hilfe einer Klappe, die es ihnen in den Weg stellt. Auf diese Weise werden alle Moleküle mit großer Geschwindigkeit in der einen, alle mit geringer in der andern Abteilung des Gefäßes vereinigt. Mit andern Worten, Wärme (denn diese besteht in Bewegung der Moleküle) geht von der einen, sich beständig abkühlenden Seite über zu der andern, sich beständig erwärmenden und diese muß daher wärmer als die erstere werden.

In diesem Fall geht also Wärme von einem kälteren zu einem wärmeren Körper über, und die Entropie sinkt.

Nun gibt es solche intelligente Wesen natürlich nicht in der Natur. Aber nichtsdestoweniger tritt ein ähnlicher Fall bei den gasförmigen Himmelskörpern ein. Wenn die Gasmoleküle in der Atmosphäre eines Himmelskörpers genügende Geschwindigkeit haben, — für die Erde beträgt diese 11 km in der Sekunde — und sich nach außen in die äußersten Gasschichten bewegen, so gehen sie aus dessen

Anziehungskreis weg in den unendlichen Raum hinaus, ganz so wie ein Komet, der in der Sonnennähe genügende Geschwindigkeit hat, aus dem Sonnensystem entweichen muß. Auf diese Weise hat, nach Stoneys Ansicht, der Mond seinen ursprünglichen Luftkreis verloren. Dieser Gasverlust ist bei der Sonne und so großen Planeten, wie unserer Erde, gewiß unmerklich; dagegen dürfte er eine bedeutende Rolle im Haushalt der Nebelflecke spielen, wo alle Strahlung aus den heißen Himmelskörpern aufgesammelt wird, und wo wegen der ungeheuren Entfernungen die zurückhaltende Schwerkraft äußerst gering ist. So verlieren die Nebelflecke in ihren äußeren Teilen die am raschesten dahineilenden Moleküle und werden dadurch in den Außenschichten abgekühlt. Wenn es nun im ganzen Universum nur gleichartige Nebelflecke gäbe, so würden die abgetrennt umherirrenden Moleküle schließlich in einem andern Nebelfleck landen, und es würde so Wärmegleichgewicht zwischen den verschiedenen Nebelflecken bestehen, und der Wärmetod verwirklicht sein. Aber, wie wir schon zu bemerken Gelegenheit hatten, in den Nebelflecken befinden sich vielfach eingewanderte Himmelskörper, die die Gase ihrer Umgebung um sich herum kondensiert und dabei eine höhere Temperatur bekommen haben.

Die umherirrenden Gasmoleküle können auch in die vermutlich sehr ausgebreitete Atmosphäre dieser wachsenden Sterne geraten, wodurch die Kondensation unter beständigem Sinken der Entropie beschleunigt würde. Durch solche Prozesse kann das Uhrwerk des Weltsystems fortwährend im Gang erhalten werden, ohne daß es abläuft.

Um die in den Nebelfleck eingewanderten Körper und um die Reste des „neuen Sterns“, die inmitten des Nebelflecks liegen, sammeln sich also die Gase, die früher in den äußeren Teilen des Nebelflecks zerstreut gewesen waren. Diese Gase stammen von den Explosivstoffen, die sich im Innern des neuen Sterns befunden hatten. Wahrscheinlich spielen Wasserstoff und Helium die Hauptrolle unter ihnen, denn sie sind

am schwersten zu verdichten und können auch bei außerordentlich niedriger Temperatur (wie sie in den äußersten Teilen des Nebelflecks vorherrschend sein muß), in nennenswerter Menge vorkommen, während Gase aus andern Stoffen dort kondensiert sein müßten. Auch wenn der Nebelfleck eine absolute Temperatur von  $50^{\circ}$  ( $-223^{\circ}$  C) hätte, würde der Dampf des flüchtigsten aller Metalle, des Quecksilbers, selbst im Zustand der Sättigung, sich in so geringer Menge vorfinden, daß ein einziges Gramm den Raum eines Würfels einnähme, dessen Seite ungefähr 2000 Lichtjahren entspräche, das heißt dem 450fachen des Abstandes der Erde vom nächsten Fixstern. Bei Natrium, das auch ein sehr flüchtiges Metall ist, und eine verhältnismäßig große Rolle in der Zusammensetzung der Fixsterne spielt, würde die Seite des Würfels von einem Gramm Inhalt etwa eine Milliarde mal größer werden. Noch unfafßbarere Zahlen erhalten wir für Magnesium und Eisen, die ja in den Fixsternen häufig vorkommen, und weniger flüchtig als die ebengenannten Metalle sind. Hieraus sehen wir, wie kräftig aussondernd die niederen Temperaturen auf alle Stoffe wirken, die nicht wie Helium und Wasserstoff außerordentlich schwer kondensierbar sind. Da wir nun wissen, daß in den Nebelflecken noch ein Stoff, oft Nebulium genannt, vorkommt, der durch zwei charakteristische Spektrallinien gekennzeichnet ist, die sich bei keinem irdischen Stoff wiederfinden, so müssen wir daraus schließen, daß dieser im übrigen unbekannte Grundstoff Nebulium fast ebenso schwer kondensierbar sein muß, wie Wasserstoff und Helium. Sein Siedepunkt liegt wahrscheinlich gleich dem dieser beiden Gase unter  $50^{\circ}$  absoluter Temperatur. —

Daß also Wasserstoff und Helium, sowie Nebulium allein in den stark ausgebreiteten Nebelflecken vorzukommen scheinen, beruht wahrscheinlich nur auf ihrem niedrigen Siedepunkt. Eine Annahme, daß sich alle andern Stoffe bei äußerster Verdünnung zu Wasserstoff und Helium zersetzen (gemäß Lockyers Auffassung), ist ganz unbegründet.



In etwas tieferen Schichten der Nebelmasse, wo dieselbe mehr der Scheibenform entspricht, dürften andere schwer kondensierbare Stoffe, wie Stickstoff, Kohlenwasserstoffe von einfacher Zusammensetzung und Kohlenoxyd, noch tiefer Cyan, Kohlensäure usw. und nahe dem Mittelpunkt Natrium, Magnesium und sogar Eisen, in Gasform vorkommen. Diese weniger flüchtigen Bestandteile kommen in den äußeren Schichten in Form von Staub vor, welcher verhindert, daß ihr Spektrum sichtbar wird. In den stark entwickelten Spiralnebeln scheinen die äußeren Schichten, die den Zentralkörper decken, wegen der sehr flachen Form sehr dünn zu sein, so daß der in ihnen schwebende Staub nicht das Spektrum der Metallgase zu verdecken vermag. Das Spektrum des Nebels sieht denn wie ein Sternspektrum aus, indem die tiefsten Schichten glühende Staubwolken enthalten, deren Licht durch die umgebenden Gasmassen gesiebt wird.

Man hat die Beobachtung gemacht, daß die verschiedenen Linien in den Spektren der Nebelflecke nicht dieselbe Ausbreitung innerhalb des Nebelfleckbezirks haben. So fand zum Beispiel Campbell bei der Untersuchung eines kleinen, planetarischen Nebelflecks in der Nähe des großen Orion-Nebels, daß das Nebulium in diesem Objekt nicht dieselbe Ausdehnung hatte, wie der Wasserstoff. Das Nebulium, das in der Mitte des Nebelflecks konzentriert war, hat daher wahrscheinlich einen höheren Siedepunkt als Wasserstoff, und kommt deshalb in merkbarer Menge in den inneren, heißeren Partien des Nebelflecks vor. Systematische Untersuchungen dieser Art können uns zu tieferer Erkenntnis der Temperaturverhältnisse in diesen merkwürdigen Himmelsobjekten führen.

Ritter und Lane haben interessante Berechnungen über die Gleichgewichtsverhältnisse in einem gasförmigen Himmelskörper gemacht, der von so geringer Dichte ist, daß die Gasgesetze darauf angewendet werden können. Das ist nur für Gase oder Gasmischungen gestattet, deren Dichte ein Zehntel von der des Wassers, oder ein Vierzehntel von der gegen-

wärtigen Dichte der Sonne nicht übersteigt. Natürlich wird der Druck in den zentralen Teilen einer solchen Gasmasse größer sein, als in den äußeren Teilen, aus demselben Grund, aus dem die Dichte der Erdatmosphäre von oben nach unten zunimmt. Wenn nun eine Luftmasse in der Erdatmosphäre um 1000 m nach oben versetzt wird, so vergrößert sich ihr Volumen, und die Temperatur sinkt um  $9,8^\circ$ . Wenn äußerst heftige vertikale Bewegungen in den Luftmassen stattfänden, würde sich ihre Temperatur auf diese Weise mit der Höhe ändern; aber die Wärmestrahlung ist bestrebt, so entstehende Temperaturunterschiede auszugleichen. Folgende Berechnung von Schuster über die Verhältnisse einer Gasmasse von der Größe der Sonne, stützt sich auf Ritters Untersuchung. Sie ist unter der Voraussetzung gemacht, daß die Wärmeverhältnisse der Gasmasse nur von der Bewegung in derselben, nicht von der Strahlung bestimmt werden. Die Berechnung gilt für einen Stern, der dieselbe Masse wie die Sonne hat ( $1,9 \times 10^{33}$  g oder das 324 000fache der Erdmasse) und einen Radius vom Zehnfachen der Sonne ( $10 \times 690\,000$  km), oder dessen mittlere Dichte 1000mal kleiner als die der Sonne ist (oder 0,0014mal die Dichte des Wassers bei  $4^\circ$  C). In folgender Tabelle wird zunächst der Abstand vom Mittelpunkt des Sterns in Bruchteilen seines Radius angegeben. Die Dichte wird wie gewöhnlich in derjenigen des Wassers als Einheit ausgedrückt. Der Druck ist in Tausenden Atmosphären, die Temperatur in Tausenden Celsiusgraden angegeben; diese ändert sich proportional dem Molekulargewicht des Gases, aus dem der Stern besteht; die in der vierten Reihe der Tabelle angeführten Temperaturen gelten für ein Gas vom Molekulargewicht 1, das heißt für in Atome zerlegtes Wasserstoffgas, so wie es unzweifelhaft auf der Sonne und auf den Sternen ist. Angenommen, der Stern bestehe aus Eisen, so müßte man die letztgenannten Zahlen mit dem Molekulargewicht des Eisens, 56, multiplizieren. Die entsprechenden Zahlen stehen in der 5. Reihe.

Abstand vom Mittelpunkt	Spezifisches Gewicht	Druck in		Temperatur in 10 <sup>3</sup> C.	
		10 <sup>3</sup>	Atmosph.	in Wasserstoffgas	in Eisengas
0	0,00844	852		2,460	137,500
0,1	0,00817	807		2,406	134,600
0,2	0,00739	683		2,251	126,100
0,3	0,00623	513		2,007	112,400
0,4	0,00488	342		1,707	95,600
0,5	0,00354	200		1,377	77,100
0,6	0,00233	100		1,043	58,400
0,7	0,00136	40		728	48,800
0,8	0,00065	12		445	24,900
0,9	0,00020	1,7		202	11,300
1,0	0,00000	0		0	0

Schusters Berechnung ist eigentlich für die Sonne gemacht, das heißt für einen Himmelskörper, dessen Durchmesser 10mal kleiner, und dessen spezifisches Gewicht folglich 1000mal größer ist, als die hier oben gegebenen Werte. Nach dem Gravitationsgesetz und den Gasgesetzen muß der Druck dort 10000mal, und die Temperatur 10mal höher sein, als in obiger Tabelle angegeben. Die Dichte wird indessen in den innern Teilen dort viel zu hoch, als daß die Gasgesetze Anwendung finden könnten. Ich habe daher die Berechnung so geändert, daß sie für einen Himmelskörper gilt, dessen Radius 10mal so groß ist als der der Sonne, oder 1080mal so groß als der der Erde ist und daher dem Zweiundzwanzigstel des Abstandes vom Sonnenmittelpunkt bis zur Erdbahn gleich kommt, einen Himmelskörper also, der trotzdem im Vergleich mit den Nebelflecken eine äußerst geringe Ausdehnung besitzt.

Auffallend ist der außerordentlich hohe Druck in den inneren Teilen des Himmelskörpers, was auf der großen Masse und den geringen Abständen beruht. Im Mittelpunkt der Sonne würde der Druck 8520 Millionen Atmosphären betragen, da der Druck im umgekehrten Verhältnis zur vierten Potenz des Halbmessers wächst. In der Tat ist auch der Druck am Sonnenmittelpunkt beinahe von dieser Größenordnung. Würde die Sonne sich zu einem kugelförmigen (planetarischen) Nebelfleck von 1000mal ihrer gegenwärtigen linearen Dimension ausbreiten (das heißt, den Raum bis zur Jupiterbahn fast füllen), so würde das spezifische Gewicht

in ihrem Mittelpunkte auf ein Millionstel des obengenannten Wertes herabsinken, das heißt, auch da, wo die Materie in diesem Nebelfleck am stärksten konzentriert wäre, würde sie doch nicht dichter sein, als in den stärkst ausgepumpten Vakuumröhren, die wir bei gewöhnlicher Temperatur zustandebringen. Auch der Druck würde bedeutend vermindert sein, nämlich auf nur etwa 6 mm im Mittelpunkt der Gasmasse. Aber die Temperatur würde im Mittelpunkt ziemlich hoch sein, nämlich  $24600^{\circ}$ , wenn der Nebelfleck aus Wasserstoffgas im Atomzustand, und 56mal so hoch, wenn er aus Eisengas bestünde. Ein solcher Nebelfleck würde nur halb so kräftig wie die Erde Gase zurückhalten; Gasmoleküle, die sich nach außen mit ungefähr 5 km Geschwindigkeit pro Sekunde bewegten, würden für immer aus seiner Atmosphäre verschwinden.

Die Berechnung der Temperaturen in diesen Gasmassen ist gewiß etwas unsicher. Man setzt dabei nämlich voraus, daß Strahlung und Wärmeleitung keinen besonderen Einfluß auszuüben vermögen. Das dürfte wohl für die Wärmeleitung richtig sein, aber die Strahlung dürfte man doch nicht vernachlässigen können. Daher werden die Temperaturen im Innern des Nebelflecks niedriger sein, als die Rechnung zeigt. Doch ist es schwer, den Einfluß dieses Faktors zu schätzen.

Wenn die Masse des Himmelskörpers eine andere als die oben vorausgesetzte ist, z. B. doppelt so groß, so hat man nur den Druck und die Dichte jeder Schicht im gleichen Verhältnis zu ändern, z. B. den oben angegebenen zu verdoppeln. Die Temperatur bleibt unverändert. Wir haben also die Möglichkeit, uns eine Vorstellung von dem Zustand in einem Nebelfleck zu machen, welche Ausdehnung und Masse er auch haben mag.

Wie Lane bewiesen hat und wie bei obigen Berechnungen angedeutet wurde, nimmt die Temperatur eines solchen Nebelflecks zu, wenn er sich infolge von Wärmeverlust zusammenzieht. Wird dagegen Wärme von außen zugeführt, so dehnt

er sich unter Abkühlung aus. Vermutlich verliert ein Nebelfleck dieser Art Wärme und steigert allmählich seine Temperatur, bis er sich in einen Stern mit anfänglich starker Helium- und Wasserstoffatmosphäre verwandelt, gleich der der jüngsten Sterne (mit weißem Licht). Nach und nach bilden sich bei der Steigerung der Temperatur die außerordentlich energischen chemischen Verbindungen, die das Sonneninnere charakterisieren, indem Helium und Wasserstoff, — bei Neubildung des Nebelflecks frei geworden und in den Raum hinausgestürzt, — wieder ins Innere des Sterns diffundieren, wo sie bei der Bildung genannter Verbindungen gebunden werden. Die starke Wasserstoff- und Heliumatmosphäre verschwindet (das Helium zuerst), der Stern zieht sich immer mehr zusammen, der Druck wächst ungeheuer, und ebenso die Strömung in den Gasmassen. In der Atmosphäre des Sterns findet starke Wolkenbildung statt, und er erhält allmählich die Eigenschaften, die unsere Sonne charakterisieren. Diese verhält sich ganz anders als die Gasnebeflecke, für welche die Rechnungen von Lane, Ritter und Schuster gelten. Wenn nämlich die Zusammenziehung eines Gases bis zu einem gewissen Grad vor sich gegangen ist, nimmt der Druck im Verhältnis von 1 zu 16 zu, während das Volumen im Verhältnis von 8 zu 1 abnimmt, wenn dabei keine Temperaturänderung stattfindet. Wenn das Gas diesen Punkt erreicht hat und weiter zusammengedrückt wird, so erhält sich die Temperatur unverändert im Gleichgewicht. Bei noch höherem Druck dagegen muß sich die Temperatur erniedrigen, damit das Gleichgewicht beibehalten werden kann. Nach Amagats Untersuchungen tritt das bei  $17^{\circ}$  ein bei Gasen, die bei dieser Temperatur weit über ihrem kritischen Punkt sind, wie Wasserstoff und Stickstoff, bei einem Druck von 300 und 250 Atmosphären. Bei doppelt so hoher absoluter Temperatur ( $307^{\circ}$  C) ist ungefähr doppelt so großer Druck nötig usw.

Wir können nun für unsern Nebelfleck berechnen, wann er dieses kritische Stadium durchläuft, dem ein Sinken der Temperatur folgen muß. Unter Anwendung obiger Zahlen fin-

den wir, daß die halbe Masse des Nebelflecks eine Kugel erfüllt, deren Radius 0,53 von dem des Nebelflecks beträgt; wenn aber die Masse überall von gleicher Dichte wäre, so würde ihre Hälfte den Raum von 0,84 dieses Radius einnehmen. Wann überschreitet nun die innere Masse das obengenannte Grenzstadium, während der außerhalb gelegene Teil noch unter diesem verbleibt? Das tritt ungefähr ein, wenn der Nebelfleck in seiner Totalität durch seine Maximaltemperatur geht. Wir rechnen nun mit den Temperaturen, die für gasförmiges Eisen gelten, denn im Innern des Nebelflecks dürfte das mittlere Molekulargewicht wohl mindestens 56 (Molekulargewicht des Eisengases) betragen, und finden, daß der Druck im Abstand 0,53 ungefähr 177000 Atmosphären und die Temperatur etwa 71 Millionen Grade beträgt, das heißt, 245000mal höher ist als die absolute Temperatur bei Amagats Versuch. Das genannte Stadium würde dann erreicht werden, wenn der Druck ungefähr 245000 mal größer wäre als 250 Atmosphären, das heißt, 61 Millionen Atmosphären betrüge. Da nun der Druck nur 177000 Atmosphären ist, so ist der betrachtete Nebelfleck noch weit von jenem Entwicklungsstadium, wo die Abkühlung anfängt, entfernt. Es ist leicht auszurechnen, daß das eintritt, wenn der Nebelfleck sich zu einem etwa das Dreifache der Sonne betragenden Volumen zusammengezogen hat. Die oft ausgesprochene Behauptung, daß die Sonne in der Zukunft möglicherweise höhere Temperatur bekommen könnte, ist also unhaltbar; dieser Himmelskörper hat schon lange den Höhepunkt seiner Temperaturentwicklung durchlaufen und ist nun in der Abkühlung begriffen. Da die von Schuster berechneten Temperaturen ohne Zweifel viel zu hoch sind, so muß die Abkühlung in einem noch früheren Stadium eingetreten sein. Aber Sterne wie der Sirius, deren Dichte vermutlich nicht mehr als etwa ein Prozent der Sonnendichte beträgt, befinden sich wahrscheinlich noch in Temperatursteigerung; der Zustand dieser Sterne entspricht ungefähr dem der als Beispiel oben angeführten Gasmasse.

Noch unendlich viel voluminöser sind die planetarischen

Nebelflecke. Welch ungeheure Größe diese Himmelskörper zuweilen besitzen, geht daraus hervor, daß der größte unter ihnen, Nr. 5 in Herschels Katalog, nahe dem Stern B im Großen Bären gelegen, einen Durchmesser von 2,67 Bogenminuten hat. Wenn er uns auch so nahe wie der nächste Stern läge, so würde sein Durchmesser doch mehr als das Dreifache desjenigen der Neptunbahn betragen. Er ist zweifellos viele hundert Male größer. Dadurch bekommen wir eine Vorstellung von der ungeheuren Verdünnung in einem solchen Gebilde. Auch wo es am dichtesten ist, beträgt seine Dichte wahrscheinlich nicht mehr als etwa ein Billionstel der Dichte der Luft. In den äußeren Teilen dieser Nebelflecke muß auch die Temperatur ganz niedrig sein; andernfalls könnten sie nicht zusammengehalten werden, und daher kann nur Wasserstoffgas und Helium (in Gasform) in ihnen vorkommen.

Die Dichte und Temperatur dieser Himmelskörper dürfen wir indessen als riesengroß ansehen im Vergleich mit denen der Gase in den Spiralen der Nebelflecke. In diesen herrscht niemals Gleichgewicht, und nur weil die wirkenden Kräfte so außerordentlich klein sind, können diese Gebilde ihre Formen während langer Zeiten verhältnismäßig ohne merkliche Veränderung behalten. Es sind wohl hauptsächlich diese Partien, in denen die kosmischen Staubmassen in ihrer Bewegung aufgehalten werden, durch deren Zusammenschließung dann allmählich Meteoriten und Kometen entstehen. Solche wandern dann in die mehr zentralen Teile des Nebels hinein, in welche sie wegen ihrer größeren Masse recht tief eindringen, um die Keime für die Entstehung von Planeten und Monden zu bilden. Sie nehmen allmählich durch Zusammenstoß mit den begegnenden Gasmassen ihre kreisende Bewegung um die Drehungachse des Nebels an, kondensieren dabei einen Teil dieser Gasmassen an ihrer Oberfläche und erreichen dadurch eine hohe Temperatur, die sie jedoch durch Ausstrahlung verhältnismäßig rasch wieder verlieren.

Soviel man weiß, zeichnen sich die Spiralnebel Flecke durch kontinuierliche Spektren aus. Der Glanz der in ihnen befindlichen Sterne überstrahlt vollständig das schwache Licht der Nebelmassen. Unzweifelhaft befinden sich diese durch Kondensation entstandenen Sterne in einem frühen Entwicklungsstadium und entsprechen daher weißen Sternen, wie der neue Stern im Perseus und der Zentralstern im Ringnebel der Leier. Dessenungeachtet hat man gefunden, daß das Spektrum des Andromedanebels ungefähr dieselbe Ausdehnung hat wie das der gelben Sterne. Das dürfte vielleicht daher rühren, daß das Licht der Sterne in diesem Nebelfleck, den wir fast nur von der Seite sehen, teilweise von Staub in seinen äußeren Teilen ausgelöscht wird, wie es mit dem Licht des neuen Sterns im Perseus der Fall war, in der Periode seiner wechselnden Helligkeit.

Unsere Betrachtungen führen uns zu dem Schluß, daß um den Zentralkörper eines Nebelflecks eine ungeheure, gewöhnlich um ihre Achse rotierende Gasmasse gelagert ist und daß sich außerhalb derselben die übrigen Kondensationszentren mit den um sie herum angehäuften Gasmassen um den Zentralkörper bewegen. Durch die Reibung zwischen diesen eingewanderten Massen und der ursprünglichen Gasmasse, die in der Äquatorialebene des Zentralkörpers kreist, haben sich jene immermehr dieser letzteren genähert, die sich deshalb wenig von der Ekliptik unterscheidet. So erhalten wir ein richtiges Planetensystem, in dem die Planeten von kolossalen Gaskugeln umgeben sind, wie die Sterne in den Plejaden (Fig. 52). Wenn nun, wie im Sonnensystem, die Planeten im Vergleich mit dem Zentralkörper sehr geringe Masse haben, so kühlen sie sich unendlich viel rascher ab als dieser. Ihre Gasmassen sinken bald zusammen, dabei verringert sich ihre Rotationszeit, die, wenigstens bei den nahe der Mitte gelegenen Planeten, sich ursprünglich wegen der Gezeitenwirkung in der Gasmasse wahrscheinlich wenig von der des Zentralkörpers unterscheidet. Infolge der stets sehr großen Ausdehnung des Zentralkörpers üben die herumwandernden Planeten



eine sehr starke Gezeitenwirkung auf ihn aus. Seine Umdrehungsgeschwindigkeit nimmt ab, und die Umlaufszeit der Planeten strebt danach, sich zu vergrößern. Dadurch wird das Gleichgewicht gestört, das aber wieder hergestellt wird, indem der Planet sozusagen von der Sonne weggehoben wird, wie G. H. Darwin es so sinnreich am Verhalten des Mondes zur Erde gezeigt hat. Ähnliche Verhältnisse machen sich in der Umgebung der Planeten geltend, die auf solche Weise ihre Monde erhalten. So erklärt sich auch der merkwürdige Umstand, daß sich alle Planeten fast in derselben Ebene, der sogenannten Ekliptik, auf Bahnen bewegen, die nahezu kreisförmig sind, daß sie sich alle in der gleichen Richtung bewegen und nebst ihren Monden dieselbe Umlaufsrichtung haben, wie der Zentralkörper, die Sonne. Nur die äußersten Planeten, die einer geringeren Gezeitenwirkung ausgesetzt gewesen sind, wie Uranus und Neptun, machen hiervon eine Ausnahme. Zur Erklärung dieser Verhältnisse ist von verschiedenen Denkern und Astronomen eine Hypothese aufgestellt worden, die nach ihren hervorragendsten Vertretern die Kant-Laplacesche Hypothese genannt wird. Bei Swedenborg findet man Ansätze in dieser Richtung (1734). Er nahm an, daß unser Planetensystem sich unter Wirbelbildung aus einer Art Chaos — „chaos solare“ — entwickelt habe, das unter dem Einfluß von innenwohnenden, den magnetischen ähnelnden Kräften in eine immer heftigere kreisende Bewegung um die Sonne geriet. Zuletzt schnürte sich ein Ring am Äquator ab und zerfiel in einzelne Massen, aus denen die Planeten entstanden. Buffon führte die Schwerkraft als zusammenhaltendes Prinzip ein.

In seinem geistreichen Aufsätze „Formation des Planètes“ (1745) nimmt er an, daß die Planeten sich aus einem „Strom“ von Materie gebildet haben, welche durch einen einstürzenden Kometen von der Sonne weggeschleudert wurde. Kant setzte ein ursprüngliches Chaos von unbewegtem Staub voraus, welcher sich unter dem Einfluß der Schwerkraft zu einem Zentralkörper mit rund darum wirbelnden Staubringen, die sich später zu Planeten zusammenballten, ordnete. Die Mecha-

nik lehrt aber, daß eine derartige Drehung einer von Anfang an nicht kreisenden Masse unter Einwirkung einer Zentralkraft wie der Schwere nicht entstehen kann. Laplace nahm deshalb wie Swedenborg an, daß der Urnebel, aus dem sich unser Sonnensystem entwickelte, um eine Achse in seiner Mitte rotierte. Nach Laplace würden sich bei der Zusammenziehung des Systems Ringe, ungefähr wie die um den Saturn, abgeschnürt, und aus denselben sodann Planeten und ihre Monde (und Ringe) gebildet haben. Auf solche Weise können aber, wie man jetzt allgemein annimmt, nur um die Sonne kreisende Meteore und kleine Planeten entstanden sein, aber keineswegs die großen Planeten. In der Tat sehen wir solche Staubringe, die sich um den Saturn drehen, die innersten schneller, die äußersten langsamer, ganz wie eine Anhäufung äußerst kleiner Monde.

Viele andere Einwände sind von Babinet, und besonders in späterer Zeit von Moulton und Chamberlin gegen die Laplacesche Hypothese gemacht worden. Diese Hypothese scheint in ihrer ursprünglichen Form durchaus nicht haltbar zu sein. Ich habe sie daher durch die oben gegebene Entwicklungshypothese ersetzt. Ziemlich auffallend ist, daß die Monde der äußersten Planeten, Neptun und Uranus, sich nicht in Ebenen nahe der Ekliptik bewegen; ihre Monde haben sogar sogenannte „retrograde“ Bewegung, das heißt, sie bewegen sich in der der Laplaceschen Annahme entgegengesetzten Richtung. Dasselbe scheint auch der Fall zu sein bei einem im Jahr 1898 von Pickering entdeckten, um den Saturn gehenden Mond. Alle diese Dinge waren (1776) Laplace unbekannt, der, wenn er sie gekannt hätte, kaum mit seiner Hypothese hervorgetreten wäre, zum mindesten nicht in der Form, die er ihr gab. Die Erklärung dieser Tatsachen bereitet keinerlei Schwierigkeit. Man darf annehmen, daß die Materie in den äußeren Teilen des Urnebels so stark verdünnt war, daß der eingewanderte Planet nicht genügendes Volumen erreichte, um von der Gezeitenwirkung auf die große gemeinsame Rotation in der Äquatorialebene der Sonne

eingestellt zu werden. Der Planet und sein Mond gingen im Gegenteil innerhalb des kleineren Bezirks, in dem sie rotieren, als Sieger hervor, wegen der geringen Menge Materie, die sie auf ihrem Weg trafen. Nur die langsame Bewegung in der Bahn um die Sonne wurde beeinflusst, so daß sie die gemeinsame Richtung und Kreisform annahm. Es ist nicht undenkbar, daß es weiter draußen im Raum Planeten im Sonnensystem gibt, die wir nicht kennen, und die sich in vollkommen unregelmäßigen Bahnen bewegen wie die Kometen. Diese sind wahrscheinlich, wie Laplace annimmt, in späterer Zeit ins Sonnensystem eingewandert, als die Kondensation so weit gediehen war, daß die Hauptmasse der Nebelmaterie aus dem interplanetaren Raum verschwunden war.

Chamberlin und Moulton haben zu zeigen versucht, daß man die Schwierigkeiten, die der Laplaceschen Hypothese anhaften, vermeiden kann, wenn man annimmt, daß das Sonnensystem sich aus einem Spiralnebel entwickelt hat, in den fremde Körper eingewandert sind und die Nebelmaterie in ihrer Umgebung um sich verdichtet haben. Man sieht auch oft, wie der Nebel in der Nähe der in den Nebelflecken befindlichen Sterne (die werdenden Planeten entsprechen) verschwindet.

Als Schluß dieser Betrachtung können wir folgenden Vergleich anstellen zwischen den Ansichten, die noch vor kurzer Zeit galten, und den Aussichten, die sich vor unserem Blick nach den Entdeckungen der letzten Zeiten öffnen.

Infolge der Newtonschen Schwerkraft, die bis zum Anfang dieses Jahrhunderts die Bewegungen und die Entwicklung der materiellen Welt zu beherrschen schien, müßten die Himmelskörper danach streben, sich zu immer größeren Massen zusammen zu ballen. Im unendlichen Laufe der Zeiten müßte die Entwicklung so weit fortgeschritten sein, daß nur noch große Sonnen, leuchtende oder erloschene, existierten. Alles Leben würde unter solchen Verhältnissen unmöglich sein.

Und doch sehen wir in der Nähe der Sonne eine ganze

Menge dunkler Körper, die Planeten, und dürten mit Recht annehmen, daß es auch in der Nähe anderer Sterne dunkle Himmelskörper gibt, denn auf andere Weise könnten wir uns die eigentümlichen hin- und hergehenden Bewegungen dieser Sterne nicht erklären. Ebenso beobachten wir, daß eine ganze Menge kleiner Himmelskörper als Meteoriten oder Sternschnuppen auf die Erde stürzen, die aus den entlegensten Teilen des Weltenraumes zu uns kommen.

Die Erklärung für diese Abweichungen von dem, was wir als Folge der ausschließlichen Wirkung der Schwerkraft erwarten könnten, liegt in zwei Umständen: in der Wirkung des Strahlungsdrucks und in der der Zusammenstöße zwischen Himmelskörpern. Durch letztere entstehen große Gaswirbel um nebelleckartige, gasförmige Gebilde. Durch den Strahlungsdruck wird kosmischer Staub, der teilweise zu Meteoriten und Kometen zusammengewachsen sein kann, in die Gaswirbel hineingeführt, und bildet da, zusammen mit Kondensationsprodukten aus den umgebenden Gasmassen, Planeten und diesen folgende Monde. — —

Die ausbreitende Wirkung des Strahlungsdruckes hält also dem Bestreben der Schwerkraft, die Materie immer mehr zu sammeln, das Gleichgewicht. Die Gaswirbel in den Nebelhüllen dienen nur dazu, die Lage des durch Strahlungsdruck von den Sonnen abgestoßenen Staubs zu fixieren.

Die Gasmassen in den Nebelflecken bilden die wichtigsten Sammelstellen für den Staub, den die Sonnen durch Strahlungsdruck wegstoßen. Wenn die Welt, wie man früher annahm, begrenzt wäre, das heißt, wenn die Sterne in einen großen Haufen zusammengeballt lägen, und es außerhalb davon nur den unendlichen leeren Raum gäbe, so würden die von den Sonnen während unbegrenzter Zeiten durch die Wirkung des Strahlungsdrucks abgestoßen Staubmassen in dem unendlichen Raum verloren worden sein, so wie man es gewöhnlich von der Strahlungsenergie der Sonnen annimmt.

Die Weltenentwicklung müßte dann schon lange zu einem Ende gekommen sein, zu einer Art Vernichtung aller Materie und aller Energie. Daß diese Anschauung durchaus nicht befriedigend ist, hat unter anderen Herbert Spencer dargelegt, der hervorhob, daß ein Kreislauf in der Weltentwicklung stattfinden muß. Das ist offenbar unumgänglich nötig, wenn ein System dauernd bestehen soll. In den dünneren, gasförmigen, kalten Teilen der Nebelflecke haben wir den Teil der Weltmaschinerie, der der Verschwendung der Sonnen an Materie, und noch mehr an Kraft, das Gleichgewicht hält. Die eingewanderten Staubpartikeln nehmen die Sonnenstrahlung auf und geben ihre Wärme an die einzelnen Gasmoleküle ab, die gegen sie stoßen. Die ganze Gasmasse dehnt sich durch diese Wärmeaufnahme aus und kühlt sich ab. Die energiereichsten Moleküle gehen fort und werden von neuen aus den inneren dichteren Teilen des Nebelflecks ersetzt, die sich auch durch Ausdehnung abkühlen. So wird jeder von den Sonnen ausgesandte Wärmestrahle aufgenommen, und seine Energie durch die Gasteile des Nebelflecks zu den in Bildung begriffenen Sonnen übergeführt, die sich in der Nähe des Nebelflecks oder in dessen innern Teilen befinden, und um eingewanderte Attraktionszentren oder Reste der ursprünglich zusammengestoßenen Himmelskörper kondensiert. Die Materie kann sich bei der dort herrschenden starken Kälte wieder zusammenballen, während der Strahlungsdruck, wie Poynting zeigte, hinreicht, um Körper von  $15^{\circ}$  C und einem Durchmesser von 3,4 cm auseinander zu halten, wenn ihr spezifisches Gewicht ebenso groß wie das der Erde (5,5) ist. Bei der Neptunbahn, wo eine Temperatur von etwa  $50^{\circ}$  absolut herrscht, das heißt ungefähr so wie in den Nebelflecken, geht diese Größe bis auf zirka 1 mm herab. Wie oben angedeutet, spielen vermutlich Capillarkräfte, die sich unter Mitwirkung der auf den Staubkörnern kondensierten Gase geltend machen, und nicht die Schwerkraft eine Hauptrolle bei der ersten Zusammenballung der kleinen Teilchen. Ebenso kann sich die Energie dort anhäufen,

entgegen dem Gesetz von der beständigen Zunahme der Entropie.

Bei dieser konservierenden Wirksamkeit werden die Gasschichten rasch verdünnt, aber durch neue Massen aus den inneren Teilen des Nebelflecks ersetzt, bis diese entleert sind, und der Nebelfleck in einen Sternhaufen oder ein Planetensystem, das um eine oder mehrere Sonnen kreist, verwandelt ist. Durch deren Zusammenstoß entstehen neue Nebelflecke.

Eine Hauptrolle bei der Entwicklung aus dem Nebelfleck- zum Sternstadium, und bei Neubildung von Nebelflecken nach dem Zusammenstoß von zwei dunklen oder hellen Himmelskörpern, spielen die Explosivstoffe, die wahrscheinlich Wasserstoff und Helium (und vermutlich auch Nebulium) in Verbindung mit Kohlenstoff und Metallen enthalten. Die Hauptsätze der Wärmelehre führen zu der Annahme, daß diese Explosivstoffe bei der Entwicklung der Sonnen gebildet, bei deren Zusammenstoß zerstört werden. Die ungeheure Energiemenge, die in diesen Körpern angehäuft liegt, entspricht kräftig wirkenden Schwungrädern in der Weltmaschinerie, die deren Gang regeln und es zuwege bringen, daß die pendelnde, hin- und hergehende Bewegung vom Nebelfleck- zum Sonnenstadium, und umgekehrt, in gleichmäßigem Rhythmus stattfindet, während der unübersehbaren Epochen, die wir als charakteristisch für die Weltentwicklung annehmen müssen.

Durch dieses kompensierende Zusammenwirken von Schwerkraft und Strahlungsdruck, sowie von Temperaturausgleich und Wärmekonzentration, wird es möglich, daß sich die Weltentwicklung in einem fortwährenden Kreislauf bewegt, bei dem wir weder Anfang noch Ende wahrnehmen können, und bei dem auch das Leben Aussicht hat, beständig und unvermindert weiter zu bestehen.

## VIII.

# Ausbreitung des Lebens durch den Weltenraum.

Wir haben soeben gesehen, wie wahrscheinlich die Annahme ist, daß Sonnensysteme sich aus Nebelflecken entwickeln und Nebelflecke durch Zusammenstoß von Sonnen entstehen. Wir haben auch als wahrscheinlich angenommen, daß um die neugebildeten Sonnen kleinere Himmelskörper kreisen, die sich rascher abkühlen als die Zentralsonne. Nachdem sie sich mit einer festen, teilweise von Meer bedeckten Rinde überzogen haben, können sie unter günstigen Bedingungen, gleich der Erde und wahrscheinlich auch Mars und Venus, organisches Leben beherbergen und uns dadurch größeres Interesse abgewinnen, als wenn wir sie uns als ausschließlich aus lebloser Materie bestehend denken müßten.

Da entsteht natürlich die Frage, ob man annehmen darf, daß das Leben wirklich seinen Einzug auf einem Himmelskörper halten kann, sobald die Umstände dort seiner Entwicklung und Ausbreitung günstig sind. Diese Frage soll uns in diesem letzten Kapitel beschäftigen. — —

Schon in frühester Zeit muß das Nachdenken über die Erscheinungen des organischen Lebens den Menschen darauf aufmerksam gemacht haben, daß alle lebenden Wesen erzeugt werden und nach einer gewissen, kürzeren oder längeren Lebenszeit sterben. Etwas später, aber doch auch in einem ganz frühen Stadium, muß man die Erfahrung gemacht haben, daß Organismen einer Art nur andere Organismen der gleichen Art hervorbringen können; oder daß, wie

man das nennt: die Arten unveränderlich sind. Man stelle sich vor, daß alle Arten ursprünglich aus der Hand des Schöpfers in ihrer gegenwärtigen Beschaffenheit hervorgegangen seien. Diese Anschauungsweise entspricht wohl noch der allgemeinen, sozusagen orthodoxen Vorstellung.

Diese Auffassung wird oft die Linnésche genannt, weil Linné in der fünften Auflage seiner „Genera plantarum“ sich streng an sie hält: „Species tot sunt, quot diversas formas ab initio produxit Infinitum Ens, quae deinde formae secundum generationis inditas leges produxere plures, at sibi semper similes, ut species nunc nobis non sint plures quam fuerunt ab initio,“ oder: „Es gibt so viel verschiedene Arten, als das unendliche Wesen im Anfang verschiedene Formen gebildet hat. Nachher haben diese Formen nach den Gesetzen der Vererbung weitere Wesen erzeugt, die ihnen immer gleichen, so daß wir gegenwärtig nicht mehr Arten besitzen, als es von Anfang an gab.“ Die Zeit war jedoch jetzt schon reif für eine weniger starre Auffassung der Natur, die unsern jetzigen Ansichten entspricht. Die ersten Grundlagen der Evolutionslehre in den biologischen Wissenschaften wurden von Larnarck (1794), Trevianus (1809), Goethe und Oken (1820) gegeben. Es kam aber eine Reaktion, indem Cuvier durch seine Autorität die allgemeine Meinung auf ihren alten Standpunkt zurückführte und annahm, daß die aus vergangenen geologischen Epochen bekannten, nun ausgestorbenen Wesen durch Naturrevolutionen vernichtet worden seien, worauf neue Arten durch neue Schöpfungsakte entstanden wären.

Eine Umwälzung in der allgemeinen Anschauungsweise hat sich indessen in den letzten Jahrzehnten sehr rasch vollzogen durch die große Verbreitung der Evolutionslehre, besonders seit der unsterbliche Charles Darwin sie in seinen bahnbrechenden Arbeiten entwickelt hat.

Nach dieser Lehre passen sich die Arten im Lauf der Zeiten den äußeren Verhältnissen an, und allmählich kann die Veränderung so groß werden, daß man sagen kann, es



sei eine neue Art aus einer alten entstanden. Diese Ansicht ist sogar in der letzten Zeit, durch die Arbeiten von De Vries, dahin verschärft worden, daß wir nun sagen, es kommen Fälle vor, wo unter unsern Augen gradezu sprungweise neue Arten aus älteren entstehen. Diese Lehre wird die Mutations-theorie genannt.

Wir stellen uns daher jetzt vor, daß die lebenden Organismen, die wir um uns beobachten, alle von älteren, ihnen ziemlich ungleichen Organismen herstammen, von welchen wir Spuren und Reste in geologischen Ablagerungen finden, die sich vor Millionen und aber Millionen von Jahren abgesetzt haben. Nach dieser Ansicht können möglicherweise alle jetzt lebenden Organismen von einem einzigen, äußerst einfachen Wesen abstammen; aber wie das zustande kam, bleibt noch zu beweisen.

Die allgemein übliche Vorstellung, der auch schon die Alten huldigten, ist wohl die, daß sich niedrig stehende Organismen ohne Samen entwickeln können. Man beobachtete nämlich, daß niedrig stehende Organismen, Larven usw. auf faulendem Fleisch entstehen, wie Virgil in seinen *Georgica* beschreibt. Diese Ansicht erhielt sich allgemein bis ins 17. Jahrhundert, wurde aber durch zahlreiche Versuche, unter andern von Swammerdam und Leuwenhoek, widerlegt. Die Lehre von der sogenannten „generatio spontanea“ oder Urzeugung erblühte indessen zu neuem Leben, als man die sogenannten Infusionstierchen, die kleinen Organismen entdeckte, die, ohne daß man irgendwelche Ursache wahrnimmt, in Abkochungen und Aufgüssen entstehen. Spallanzani wies jedoch nach (1777), daß, wenn die Abgüsse und das sie enthaltende Gefäß und die Luft darüber genügend erwärmt wurden, um alle Keime zu töten, die Infusionen steril blieben, d. h. sich keine lebenden Wesen darin entwickelten. Auf dieser Tatsache beruht die Methode, Konserven herzustellen. Man erhob freilich Einwände gegen diese Beweisführung, und sagte, daß die Luft sich bei der Erhitzung so verändere, daß die Entwicklung der kleinen Organismen

unmöglich gemacht würde. Es wurde indessen auch dieser letzte Einwand von den Chemikern Chevreul und Pasteur, sowie von dem Physiker Tyndall in den sechziger und siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts widerlegt, die zeigten, daß sich auch in Luft, die auf andere Weise als durch starke Erhitzung (z. B. durch Baumwollfiltrierung) von den kleinsten Keimen befreit wurde, keine Organismen entwickeln. Besonders die Arbeiten Pasteurs und die durch sie begründeten Sterilisierungsmethoden, die in den bakteriologischen Laboratorien täglich angewendet werden, haben uns immer mehr zu der Annahme gezwungen, daß der Keim zur Entstehung des Lebens notwendig ist.

Und doch greifen immer wieder hervorragende Forscher zur Feder, um die Möglichkeit der *generatio spontanea* zu beweisen. Sie wenden dabei nicht die sichere naturwissenschaftliche Methode, sondern vielmehr eine philosophische Betrachtungsweise an. „Das Leben,“ sagen sie, „muß einmal einen Anfang gehabt haben, deshalb müssen wir glauben, daß die ‚*generatio spontanea*‘, wenn sie auch unter gegenwärtigen Verhältnissen nicht realisiert werden kann, einmal stattgefunden hat.“ Großes Aufsehen erregte es, als der große englische Physiologe Huxley in vom Meeresboden heraufgeholtem Schlamm einen eiweißartigen Körper zu finden glaubte, den er „*Bathybius Haeckelii*“ nannte, zu Ehren des eifrigen deutschen Darwinisten Haeckel. In diesem „*Bathybius*“ (Tiefen-Organismus) glaubte man eine Zeitlang den aus unorganischer Materie entstandenen „Urschleim“ gefunden zu haben, aus dem alle Organismen sich entwickelt haben konnten, und von dem Oken geträumt hatte. Aber nähere Untersuchungen des Chemikers Buchanan haben dargetan, daß der Eiweißkörper in diesem „Urschleim“ aus durch Alkoholzusatz gefällten Gipsflocken bestand.

Nun nahm man seine Zuflucht zu sehr phantastischen Erklärungen. Man sagte, daß das Leben möglicherweise seinen Ursprung in der glühenden Masse des Erdinnern haben könnte. Bei hoher Temperatur könnten sich vielleicht or-

ganische Verbindungen (Cyanverbindungen und ihre Derivate) bilden, welche Träger des Lebens wären. (Pflüger.) Indessen dürfte man wenig Veranlassung haben, auf diese Spekulationen einzugehen, ehe sie nicht eine experimentelle Grundlage haben. — —

Fast jedes Jahr taucht in der biologischen Literatur eine Angabe auf, daß es endlich gelungen sei, tote Materie zu beleben. Unter den in letzter Zeit veröffentlichten erweckte eine Mitteilung von Dr. Burke die größte Aufmerksamkeit. Er behauptete, es sei ihm mit Hilfe des Wunderstoffes Radium geglückt, in leblosen Stoff, eine Gattinlösung, Leben hinzuzubringen. Die nüchterne Kritik hat aber diese Angabe, wie alle anderen ähnlichen, ins Land der Märchen verwiesen.

Wir müssen uns daher dem Urteil anschließen, das der große Physiker Lord Kelvin mit folgenden Worten über diese Ansicht fällt: „Eine sehr alte Ansicht, der sich noch viele Naturforscher anschließen, ist die, daß unter meteorologischen Verhältnissen, die den gegenwärtig herrschenden sehr unähnlich sind, tote Materie zu „Lebensamen“, oder „organischen Zellen“, oder „Protoplasma“ „kombiniert“, oder „kristallisiert“, oder „vergoren“ worden sein kann. Die Wissenschaft liefert indessen ein ungeheures Material an induktiven Beweisen gegen diese „generatio spontanea“. Leblose Materie kann nicht in lebendige übergehen, außer unter dem Einfluß lebender Substanz. Das scheint mir ein ebenso sicherer Lehrsatz zu sein, wie wohl das Gesetz von der allgemeinen Gravitation.“

Ogleich diese letzte Äußerung etwas übertrieben scheinen mag, zeigt sie doch, wie zwingend manchen Forschern die Notwendigkeit erscheint, einen andern Ausweg aus den Schwierigkeiten zu suchen. Einen solchen gibt es wirklich in der Theorie von der sogenannten „Panspermie“, nach welcher Lebensamen in den Räumen des Weltalls umherirren, die Planeten treffen und deren Oberfläche mit Leben erfüllen, sobald die Bedingungen für das <sup>S</sup>Be<sub>^</sub>ten der Organismen dort erfüllt werden.

Diese Anschauung hat wahrscheinlich alte Vorläufer. Deutliche Aussprüche nach dieser Richtung finden sich bei dem Franzosen Sales-Guyon de Montlivault (1821), der annahm, daß Samen vom Mond das erste Leben auf der Erdoberfläche erweckt habe. Ein deutscher Arzt, Dr. H. E. Richter, suchte die Darwinsche Lehre durch Hinzufügen der Idee der Panspermie zu vervollkommen (1865). Flammarions Buch über die Mehrzahl der bewohnten Welten brachte ihn auf den Gedanken, daß Samen von irgendeiner andern bewohnten Welt zur Erde gekommen sei. Er betont, daß man in Meteoriten, die ja ähnliche Bahnen haben, wie die im Raum umherstreichenden Kometen, Kohle gefunden hat, die er als Reste von Organismen ansieht. Diese letzte Annahme ist aber ganz unbewiesen; die in den Meteoriten gefundene Kohle hat niemals Spuren organischer Struktur gezeigt, und man kann sich sehr wohl Kohle unorganischen Ursprungs denken, wie sie sich beispielsweise auf der Sonne findet. Noch abenteuerlicher ist seine Idee, daß hoch oben in der Luft schwebende Organismen durch Anziehung von einem vorbeifliegenden Meteoriten eingefangen, auf diese Weise in den Weltenraum hinausgebracht und zu andern Himmelskörpern getragen werden können. Die Oberfläche der Meteoriten wird nämlich bei ihrem Flug durch die Atmosphäre glühend und müßte daher die Keime, die man sich möglicherweise von ihnen eingefangen denken könnte, vernichten. Und wenn ein Meteorit, trotz allem, lebenskräftige Keime an seiner Oberfläche tragen könnte, so würden diese beim Niederfallen auf die Erde oder einen ähnlichen Planeten in der Atmosphäre verbrennen.

Aber in einem Punkt müssen wir Richter recht geben; es ist volle Logik in seinem Satz: „Der Weltenraum ist angefüllt mit (oder richtiger er enthält) werdenden, reifen und sterbenden Weltkörpern, wobei wir unter reifen solche verstehen, die die Fähigkeit haben, lebende Organismen zu beherbergen. Wir sehen daher die Existenz des organischen Lebens in der Welt als ewig an; es ist immer gewesen, hat

sich beständig fortgepflanzt, immer in Form von lebenden Organismen, von Zellen und von aus Zellen zusammengesetzten Individuen.“ Wie die Menschen früher über die Entstehung der Materie spekulierten, das aber aufgegeben haben, seit die Erfahrung gezeigt hat, daß die Materie unzerstörbar ist und nur umgewandelt werden kann, und wie wir aus ähnlichen Gründen niemals die Frage nach dem Ursprung der Bewegungsenergie stellen, ebenso können wir uns wohl an den Gedanken gewöhnen, daß das Leben ewig, und es deshalb zwecklose Arbeit ist, nach seinem Ursprung zu forschen.

Richters Gedanken wurden sodann in einem populären Vortrag im Jahr 1872 von dem berühmten Botaniker Ferdinand Cohn aufgenommen. Vielleicht am bekanntesten unter derartigen Äußerungen ist die des großen Physikers Sir William Thomson, jetzt Lord Kelvin, der in seiner Präsidialrede vor der britischen Naturforscherversammlung in Edinburgh im Jahr 1871 unter anderm sagte: „Wenn zwei Himmelskörper im Raum zusammenstoßen, so schmilzt sicher ein großer Teil derselben, aber es scheint ebenso sicher, daß in vielen Fällen eine Masse Splitter nach allen Richtungen hinausgeschleudert werden, unter denen viele vielleicht keinen größeren Schaden erleiden, als Felsstücke bei einem Erdsturz oder bei einer Bergsprengung mit Pulver. Würde unsere Erde in ihrem gegenwärtigen Zustand, mit ihrer Vegetationsdecke, mit einem ungefähr gleich großen Himmelskörper zusammenstoßen, so würden viele große und kleine Bruchstücke, die Samen, lebende Pflanzen und Tiere trügen, zweifellos in den Raum hinaus zerstreut werden. Da es nun ohne Zweifel seit unendlichen Zeiten lebentragende Welten gegeben hat, so müssen wir es als höchst wahrscheinlich ansehen, daß es unendlich viele samentragende Meteorsteine gibt, die im Raum umherirren. Wenn es nun auf der Erde kein Leben gäbe, würde ein solcher Meteorstein, wenn er auf sie niederfiel, bewirken können, daß sie sich mit Leben bedeckte. Ich weiß sehr wohl, daß viele wissenschaftliche Einwände gegen diese Hypothese erhoben werden können; ich will Ihre Ge-

duld in dieser Stunde nicht dadurch ermüden, daß ich sie diskutiere; alles, was ich sagen kann, ist, daß ich glaube, sie können zurückgewiesen werden."

Leider können wir Lord Kelvins Optimismus in diesem Punkt nicht teilen. Zunächst ist es zweifelhaft, ob lebende Wesen den gewaltsamen Stoß beim Zusammensturz zweier Weltkörper aushalten können. Weiter wissen wir, daß ein auf die Erde fallender Meteorit durch Reibung in der Atmosphäre an seiner ganzen Oberfläche glühend wird, so daß alle Samen auf demselben ihre Keimkraft verlieren müssen. Außerdem sind die Meteoriten ganz anders zusammengesetzt, als ein Bruchstück von der Oberfläche eines erdähnlichen Planeten. Die Pflanzen entwickeln sich fast ausschließlich in den lockeren Erdschichten, und ein Erdklumpen, der in die Erdatmosphäre niederfiel, würde zweifellos vom Luftwiderstand in eine Masse kleiner Stückchen zermahlen werden; diese würden, jedes für sich, in Gestalt einer Sternschnuppe aufglühen, und die Erdoberfläche nie anders, als in Form von verbranntem Staub erreichen. Eine andere Schwierigkeit besteht darin, daß derartige Kollisionen, die, wie man glaubt, dem Aufleuchten der sogenannten neuen Sterne entsprechen, recht seltene Erscheinungen sind, so daß wenig Wahrscheinlichkeit besteht, daß lebender Samen auf diese Weise zu einem bestimmten Platz, wie zur Erde, hingeführt wird.

Indessen ist die Frage in ein weit günstigeres Stadium getreten, seit man Kenntnis vom Strahlungsdruck hat.

Die Körper, die nach den Berechnungen Schwarzschilds die stärkste Einwirkung von dem Strahlungsdruck der Sonne erfahren würden, müßten, wenn sie kugelförmig wären, einen Durchmesser von 0,00016 mm haben. Nun ist die erste Frage: gibt es wohl lebenden Samen von solch außerordentlicher Kleinheit? Darauf antworten die Botaniker, daß die sogenannten Dauersporen vieler Bakterien eine Größe von 0,0003 bis 0,0002 mm haben und es ohne Zweifel noch kleinere gibt, wenn wir sie auch mikroskopisch nicht entdecken können. So sind zum Beispiel das gelbe Fieber beim Men-

schen, die Wasserscheu beim Hund, Maul- und Klauenseuche beim Rindvieh, und die in Niederländisch-Indien häufige, auch bei uns mitunter vorkommende Mosaik-Krankheit auf den Tabaksblättern zweifellos parasitäre Erkrankungen; aber die entsprechenden Organismen konnten, vermutlich weil sie zu klein und daher unter dem Mikroskop nicht sichtbar sind, nie entdeckt werden.\*) Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß es so kleine lebende Organismen gibt, daß der Strahlungsdruck der Sonne sie in den Raum hinaustreiben könnte, wo sie auf Planeten, die ihrer Entwicklung günstigen Platz böten, Leben erwecken könnten. Wir wollen nun zunächst eine Überschlagsrechnung machen, wie es zugehen müßte, wenn ein solcher Mikroorganismus sich von der Erde loslösen und vom Strahlungsdruck der Sonne hinaus in den Raum getrieben würde. Er würde da zuerst die Bahn des Mars passieren, dann die der kleinen und der äußeren Planeten, und nachdem er an der letzten Station des Sonnensystems, an der Neptunbahn, vorbeigekommen wäre, weiter ins Unendliche, zu anderen Sonnensystemen hin, getrieben werden. Es ist nicht schwer, die Zeit zu berechnen, die die schnellsten kleinen Körperchen zu dieser Fahrt brauchen. — Setzt man ihr spezifisches Gewicht dem des Wassers gleich, was recht nahe mit der Wirklichkeit übereinstimmt, so überschreiten sie die Marsbahn schon nach 20 Tagen, die Jupiterbahn nach 80 Tagen, und die Neptunbahn nach 14 Monaten. Das nächste Sonnensystem, Alpha Centauri, wird nach 9000 Jahren erreicht. (Diese Berechnungen sind unter der Voraussetzung gemacht, daß der Strahlungsdruck die Schwerkraft bei der Sonne viermal übertrifft, was nach Schwarzschilds Zahlen ungefähr richtig sein dürfte.\*\*)

---

\*) Inzwischen ist mit Hilfe des Ultramikroskops eine grosse Zahl von in gewöhnlichen Mikroskopen unsichtbaren Organismen nachgewiesen, u. a. auch der vermutliche Erreger der Klauenseuche.

\*\*) Der Strahlungsdruck ist hier etwas grösser als oben (S. 93) angenommen, weil hier die Sporen als undurchsichtig, dagegen dort die Kohlenwasserstofftropfen als für leuchtende Strahlen durchsichtig angesehen werden.

Die Zeiten zur Erreichung der verschiedenen Planeten unseres Sonnensystems sind nicht so lang, als daß nicht sehr wohl der in Frage kommende Lebenssamen seine Keimkraft behalten könnte. Etwas ungünstiger scheinen die Verhältnisse für die Erhaltung der Keimfähigkeit bei dem mehrere Tausende von Jahren währenden Transport von einem Planetensystem zu einem anderen zu sein. Wie wir aber unten sehen werden, bringt die große Kälte (etwa  $-220^{\circ}$  C) in diesen Teilen des Weltraumes es mit sich, daß da alle chemischen Prozesse, folglich auch das Verschwinden der Keimfähigkeit, fast vollkommen zum Stillstand gebracht werden.

Bezüglich der Dauer der Keimfähigkeit bei gewöhnlicher Temperatur wurde früher häufig behauptet, daß sogenannter „Mumienweizen“, der in den altägyptischen Gräbern gefunden wurde, noch Keimfähigkeit zeige. Die Kritik hat aber gezeigt, daß die Angaben der Araber über die Fundstätte sehr zweifelhaft waren. Ein französischer Forscher, Baudoin, hat angegeben, daß keimfähige Bakterien in einem Römergrab, das sicher während 1800 Jahren unberührt geblieben war, gefunden wurden. Vielleicht muß auch diese Mitteilung mit Vorsicht aufgenommen werden. Sicher ist, daß sowohl Samen von einigen höheren Pflanzen, wie Sporen von einigen Bakterien (z. B. Milzbrandbakterien) mehrere — etwa zwanzig — Jahre ihre Keimfähigkeit erhalten können, also während Zeiten, die viel länger sind, als die oben für den Transport innerhalb eines Planetensystems berechneten.

Auf dem Weg von unserm Planeten würde der Lebenssamen ungefähr einen Monat lang starkem Sonnenlicht ausgesetzt sein, und man hat ja gezeigt, daß die am stärksten brechbaren Strahlen des Sonnenlichts Bakterien und ihre Sporen in verhältnismäßig kurzer Zeit töten. Indessen sind die Versuche mit Sporen gewöhnlich so angestellt worden, daß die Sporen Gelegenheit hatten, auf einer feuchten Unterlage zu keimen. (Marshall-Wards Untersuchungen.) Das entspricht aber durchaus nicht den Verhältnissen der im interplanetarischen Raum schwebenden Sporen. Ferner



hat Roux gezeigt, daß Milzbrandsporen, die bei freiem Luftzutritt vom Sonnenlicht rasch getötet werden, bei Luftabschluß am Leben bleiben. Manche Sporen leiden durch Belichtung wenig oder gar nicht. Das ist nach Duclaux' Untersuchungen zum Beispiel der Fall bei *Tyrothrix scaber*, der in der Milch vorkommt und der einen Monat in intensivem Sonnenlicht weiterleben kann. Alle Botaniker, die ich in dieser Sache um Rat fragte, sind ebenfalls der Meinung, daß man durchaus nicht mit Sicherheit behaupten kann, die Sporen würden während ihrer Wanderung durch den Weltenraum von der Lichtstrahlung zerstört werden.

Man kann weiter einwenden, daß die Sporen bei ihrem Transport durch den Weltenraum während der weitaus längsten Zeit einer ungeheuren Kälte ausgesetzt sind, die sie vielleicht nicht aushalten können. Wenn die Sporen die Neptunbahn passieren, ist ihre Temperatur bis auf  $-220^{\circ}$  gesunken, und weiter draußen geht sie vielleicht noch tiefer herunter. In der letzten Zeit sind am Jenner-Institut in London Versuche mit Bakteriensporen gemacht worden, die man 20 Stunden bei einer Temperatur von  $-252^{\circ}$  (in flüssigem Wasserstoff) hielt. Ihre Keimfähigkeit wurde nicht zerstört.

Noch weiter ging Prof. Macfayden in London, der zeigte, daß Mikroorganismen sechs Monate lang bei etwa  $-200^{\circ}$  (in flüssiger Luft) erhalten werden können, ohne ihre Keimkraft zu verlieren. Nach dem, was man mir bei meinem letzten Besuch in London erzählte, sind derartige Versuche auf noch längere Zeit ausgedehnt worden, mit demselben Resultat. —

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sich die Keimkraft bei niedrigeren Temperaturen viel länger erhält, als bei den auf der Erde gewöhnlichen. Der Verlust der Keimfähigkeit beruht ohne Zweifel auf irgendeinem chemischen Prozeß, und fast alle chemischen Prozesse verlaufen sehr viel langsamer bei niederen, als bei hohen Temperaturen. Die Lebensfunktionen werden etwa im Verhältnis 1 zu 2,5 gesteigert, wenn die Temperatur um  $10^{\circ}$  C erhöht wird. Wenn die Sporen die Neptunbahn erreichen, und ihre Temperatur auf  $-220^{\circ}$  C ge-

sunken ist, würden die Lebensprozesse nach dieser Berechnung mit mehr als einer Milliarde mal geringerer Intensität vor sich gehen, als bei  $10^0$  C. Die Keimkraft der Sporen würde demnach bei  $-220^0$  C während 3 Millionen Jahren nicht mehr verringert werden, als an einem Tag bei  $10^0$  C. Es ist daher durchaus nicht unwahrscheinlich, daß die starke Kälte im Weltenraum sozusagen in hohem Grad konservierend auf die ausgeschleuderten Samen wirkt, so daß sie viel langwierigere Transporte ertragen, als wir nach ihrem Verhalten bei gewöhnlicher Temperatur vermuten sollten.

Ähnlich verhält es sich mit der Austrocknung, die auf Pflanzen schädlich wirkt. Im luftleeren, interplanetarischen Raum herrscht natürlich absolute Trockenheit. Eine Untersuchung von B. Schröder hat gezeigt, daß die allgemein auf Baumstämmen vorkommende grüne Luftalge *Pleurococcus vulgaris* in so gut wie vollkommener Trockenheit (über konzentrierter Schwefelsäure in einem Exsiccator) während zwanzig Wochen aufbewahrt werden kann, ohne das Leben einzubüßen. Noch länger dürften Samen und Sporen Trockenheit aushalten.

Nun nimmt die Dampfspannung, etwa im selben Verhältnis wie die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Prozesse, bei niedriger Temperatur ab. Die Verdunstung des Wassers, d. h. die Austrocknung, schreitet daher bei einer Temperatur von  $-220^0$  C in 3 Millionen Jahren nicht weiter fort, als in einem Tage bei  $10^0$  C. Unter diesen wahrscheinlichen Voraussetzungen kann man annehmen, daß die Sporen, die gegen Austrocknung besonders widerstandskräftig sind, sehr wohl von einem Planeten zu einem andern, sowie von einem Planetensystem zu einem andern bei voller Erhaltung ihres Lebens übergeführt werden können.

Die tötende Wirkung des Lichts auf Sporen beruht, wie die Untersuchungen von Roux zeigen, ohne Zweifel darauf, daß die Lichtstrahlen eine Oxydation durch die umgebende Luft hervorrufen. Im interplanetarischen Raum fällt diese Möglichkeit weg. Außerdem ist die Strahlung der Sonne bei

der Neptunbahn 900mal geringer, als bei der Erdbahn; und auf dem halben Weg nach dem nächsten Fixstern, Alpha Centauri, zwanzig Milliarden mal geringer als bei der Erdbahn. Das Licht dürfte also während des Transports der Sporen ziemlich unschädlich sein.

Wenn also die Sporen der kleinsten Organismen der Erde von dieser loskommen könnten, so würden sie sich nach allen Seiten verbreiten, und das ganze Universum würde sozusagen mit ihnen besät werden. Aber nun ist die Frage: wie können sie gegen die Wirkung der Schwerkraft von der Erde hinausgelangen? Natürlich würden so kleine und leichte Körper von den Luftströmungen mitgeführt werden. Ein kleiner Regentropfen von ein Fünfzigstel Millimeter Durchmesser fällt bei gewöhnlichem Luftdruck 4 cm in der Sekunde. Daraus läßt sich leicht berechnen, daß eine Bakterien-spore von 0,00016 mm Durchmesser nur 83 m in einem Jahre fallen würde. Es ist klar, daß derartig kleine Partikelchen den Luftströmungen unbedingt folgen müssen, bis sie hinauf in äußerst dünne Luft kommen. Von einem Luftstrom mit 2 m Geschwindigkeit in der Sekunde würden sie in eine Höhe emporgehoben werden können, wo der Luftdruck nur 0,001 mm betrüge, also auf etwa 100 km Höhe. Aber von den Luftströmen könnten sie nie aus der Atmosphäre hinausgebracht werden.

Um die Sporen in noch größere Höhen emporzubringen, müssen wir unsere Zuflucht zu andern Kräften nehmen, und wir wissen ja, daß uns die elektrischen Kräfte beinahe aus jeder Schwierigkeit helfen können. In so großen Höhen wie 100 km treten die strahlenden Erscheinungen des Nordlichts auf. Wir glauben nun, daß die Nordlichter auf Entladung großer Mengen negativ elektrisch geladenen, von der Sonne kommenden Staubs beruhen. Wenn daher die in Frage kommende Spore bei einer elektrischen Entladung negative Elektrizität aus dem Sonnenstaub aufnimmt, so kann sie von der Ladung der andern Partikeln hinaus ins Äthermeer getrieben werden.

Wir nehmen jetzt an, daß elektrische Ladungen, ebenso wie die Materie, nicht beliebig geteilt werden können, sondern daß man zuletzt zu einer Mindestladung kommt, und diese ist auf etwa  $3,5 \cdot 10^{-10}$  elektrostatische Einheiten berechnet worden.

Man kann unschwer berechnen, wie stark das elektrische Feld sein muß, um eine so geladene Spore von 0,00016 mm Durchmesser, der Schwerkraft entgegen, aufwärts zu treiben. Dazu bedarf es nur eines elektrischen Feldes von 200 Volt pro Meter. So starke elektrische Felder werden oft — fast normal — bei klarer Luft an der Erdoberfläche beobachtet. Das elektrische Feld in der Nordlichtregion ist wahrscheinlich viel kräftiger und daher ohne Zweifel oft vollständig ausreichend, um gegen die Wirkung der Schwerkraft die von den Luftströmen zu dieser Region emporgehobenen kleinen, elektrisch geladenen Sporen weiter hinaus in den Weltenraum zu befördern.

Es ist also wahrscheinlich, daß Samen der niedrigsten uns bekannten Organismen fortwährend von der Erde und andern von ihnen bewohnten Planeten in den Raum hinausgestreut werden. So wie Samen im allgemeinen, so gehen die weitaus meisten hinausbeförderten Sporen dem Tod entgegen im kalten, unendlichen Weltenraum; aber eine kleine Anzahl fällt auf andere Himmelskörper nieder und ist imstande, dort Leben zu verbreiten, wenn sich günstige äußere Bedingungen finden. In vielen Fällen trifft das nicht zu, manchmal dagegen fallen sie auf guten Boden. Und wenn es auch eine oder mehrere Millionen Jahre dauern sollte von dem Zeitpunkt an, da ein Planet anfangen kann, Leben zu tragen, bis zu dem Augenblick, da der erste Samen auf ihn fällt und aufsprießt, um ihn für das organische Leben in Besitz zu nehmen, so bedeutet das wenig im Vergleich mit dem Zeitraum, währenddessen das Leben auf dem Planeten dann in voller Blüte steht. — —

Die kleinen Samen, die auf diese Weise von den Planeten ausgestreut werden, die ihren Vorfahren zur Wohnstätte

dienten, können nun entweder frei durch den Raum wandern, und, wie oben angedeutet, draußen liegende Planeten, oder um andere Sterne kreisende Planetensysteme erreichen, oder sie können auch größere, nach der Sonne zustürzende Staubpartikeln treffen. In dem Teil des Zodiaklichts, den man „Gegenschein“ nennt, und der in den Tropen regelmäßig, bei uns zuweilen in der der Sonne grade gegenüberliegenden Partie des Nachthimmels beobachtet wird, sehen wir nach Ansicht der Astronomen Ströme feinen Staubs, die infolge der Schwerkraft auf die Sonne zueilen. (Vgl. S. 133.) Angenommen nun, daß ein kleiner Same von 0,00016 mm Durchmesser solch ein Staubkorn, das tausendmal größer ist, d. h. einen Durchmesser von 0,0016 mm hat, trifft und sich an seine Oberfläche heftet, so wird die Spore vom Staubkorn nach der Sonne zu geführt, passiert dabei die Bahnen der inneren Planeten und kann in deren Luftkreis niederfallen. Diese Staubkörnchen brauchen durchaus nicht sehr lange Zeit, um von einer Planetenbahn zur andern zu gelangen. Wenn man ihre Anfangsgeschwindigkeit bei der Neptunbahn gleich Null setzt — in welchem Fall der Same möglicherweise von einem Neptunmond herrühren könnte — denn Neptun selbst, sowie Uranus, Saturn und Jupiter sind wahrscheinlich noch nicht hinreichend abgekühlt, um Leben zu tragen — so würden sie die Uranusbahn in 21, die Merkurbahn in 29 Jahren erreichen. Unter gleichen Verhältnissen (Anfangsgeschwindigkeit Null) würden solche Partikeln zwischen der Uranus- und Saturnbahn 12 Jahre zubringen, zwischen Saturn und Jupiter 4 Jahre, zwischen Jupiter und Mars 2 Jahre, zwischen Mars- und Erdbahn 84 Tage, zwischen Erde und Venus 40, und zwischen Venus- und Merkurbahn 28 Tage.

Wie man aus diesen Zeitangaben sieht, würden die betreffenden Keime, samt den Staubkörnchen, an die sie sich heften, nach der Sonne zu mit 10—20mal geringerer Geschwindigkeit fallen können, ohne daß wir deshalb den Verlust ihrer Keimfähigkeit während des Transports befürchten müßten. Das heißt mit andern Worten, wenn die Samen an

Partikeln festhaften, deren Gewicht vom Strahlungsdruck bis zu 90 oder 95% aufgehoben wird, können sie ziemlich bald in die Atmosphäre der inneren Planeten fallen, und zwar mit mäßigen, einige Kilometer in der Sekunde betragenden Geschwindigkeiten. Es ist leicht auszurechnen, daß, wenn ein solches Partikelchen beim Niederfallen in seiner Bewegung auch schon nach einer Sekunde gehemmt würde, es sich doch wegen der starken Ausstrahlung um nicht mehr als etwa  $100^{\circ}$  über die Temperatur der Umgebung erwärmen würde. Solch hohe Temperatur können Bakteriensporen auch viel länger als eine Sekunde gut aushalten, ohne getötet zu werden. Nachdem die Partikelchen samt den daran haftenden Samen aufgehalten worden, würden sie sanft niedersinken oder unter Umständen von abwärts gehenden Luftströmen zur Oberfläche des neuen Planeten geführt werden.

Auf diese Weise würde das Leben, wie wir sehen, rasch von einem Punkt eines Planetensystems, in dem es Fuß gefaßt hat, zu andern der Lebensentwicklung günstigen Stellen im selben Planetensystem geführt werden.

Die von solchen Partikelchen nicht eingefangenen Samen könnten teilweise zu andern Sonnensystemen geführt und schließlich vom Strahlungsdruck jener Sonnen aufgehalten werden. Sie können nicht weiter vordringen, als bis zu Stellen, wo der Strahlungsdruck ebenso groß ist wie an ihrem Ausgangspunkt. Folglich würden Keime von der Erde, die der Sonne fünfmal näher liegt als Jupiter, sich auch einer anderen Sonne um fünfmal mehr nähern können, als Keime vom Jupiter. — —

In der Nähe der Sonnen, wo die Samen durch den Strahlungsdruck aufgehalten werden und nach dem Raum hinaus umkehren, findet offenbar eine starke Anhäufung derselben statt. Die Planeten, die ihre Bahnen um Sonnen beschreiben, haben daher mehr Aussicht, ihnen zu begegnen, als wenn sie sich nicht in der Nähe einer Sonne befänden. Die Keime haben auch die große Geschwindigkeit, mit der sie von einem Sonnensystem zum andern wanderten, verloren und werden

daher beim Niederfallen in die Atmosphäre der ihnen be-  
gegneten Planeten nicht so stark erwärmt.

In der Nähe der Sonnen treffen die Samen, die dort nach dem Weltenraum umwenden, auf Partikelchen, deren Gewicht etwas geringer ist als die abstoßende Kraft des Strahlungsdrucks, und die sich daher zu den Sonnen zurückwenden. Wie die Keime werden diese Partikeln, auch aus ähnlichen Gründen, in der Nähe der Sonnen konzentriert. Die kleinen Samen haben daher eine verhältnismäßig große Wahrscheinlichkeit, durch Anhaften an solchen Partikelchen an der Rückkehr in den Weltenraum verhindert und statt dessen zu Planeten, die der Sonne näher liegen, geführt zu werden. — —

Auf diese Weise kann das Leben seit ewigen Zeiten von Sonnensystem zu Sonnensystem, oder von Planet zu Planet innerhalb desselben Sonnensystems getragen worden sein. Aber wie unter den Billionen Pollenkörnchen, die der Wind von einem großen Baum, z. B. einer Tanne, entführt, im Durchschnitt nur eines den Ursprung eines neuen Baumes bildet, so kommt auch vermutlich nur einer unter den Billionen, oder vielleicht Trillionen von Keimen, die durch den Strahlungsdruck von einem Planeten in den Raum hinausgetrieben werden, dazu, auf einen vom Leben bisher unberührten Planeten niederzufallen und da der Erzeuger mannigfaltiger Lebewesen zu werden. — —

Schließlich finden wir, daß nach dieser Version der Lehre von der Panspermie alle organischen Wesen im ganzen Universum einander verwandt sind und aus Zellen bestehen, die sich aus Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoff- und Stickstoff-Verbindungen aufbauen. Die Phantasie von andern Welten, bewohnt von Lebewesen, in deren Bau beispielsweise der Kohlenstoff durch Silicium oder Titan ersetzt wäre, fällt daher ins Reich der Unwahrscheinlichkeiten. Das Leben auf andern bewohnten Welten bewegt sich vermutlich in Formen, die den auf der Erde vorhandenen recht nahe verwandt sind.

Und so ziehen wir auch den Schluß, daß das Leben immer wieder aufs neue von seinen allerniedrigsten Formen

aus beginnen muß, so wie jedes Individuum für sich, wie reich entwickelt es auch sein mag, alle Entwicklungsstadien, von der einfachen Zelle herauf, durchlaufen haben muß. — —

All diese Schlüsse stehen in schönster Übereinstimmung mit den allgemeinen das Leben auf Erden kennzeichnenden Eigenschaften, und man kann daher nicht leugnen, daß sich die Lehre von der Panspermie in dieser Form durch die vollkommene Harmonie auszeichnet, die den wichtigsten Prüfstein für die Wahrscheinlichkeit einer kosmogonischen Lehre bildet.

Es besteht wenig Aussicht, daß man die Richtigkeit dieser Lehre direkt durch Untersuchung der aus der Luft niederfallenden Samen wird beweisen können. Denn die Keime, die aus andern Welten zu uns kommen, sind vermutlich äußerst gering an Zahl, vielleicht nur einige wenige im Jahr an der ganzen Erdoberfläche. Und außerdem gleichen sie voraussichtlich sehr den einzelligen Sporen irdischen Ursprungs, die sich in großen Mengen in der Luft schwebend, von den Winden getragen, vorfinden, so daß die „himmlische“ Herkunft dieser Keime schwer oder unmöglich zu beweisen sein dürfte, auch wenn sie gegen alle Vermutung von den Forschern gefunden werden sollten.





UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY,  
BERKELEY

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE  
STAMPED BELOW

Books not returned on time are subject to a fine of  
50c per volume after the third day overdue, increasing  
to \$1.00 per volume after the sixth day. Books not in  
demand may be renewed if application is made before  
expiration of loan period.

JUL 18 1929

OCT 23 1929

JUL 7 1930

MAY 27 1931

50m-7,'27

YC 11491

Q5381

A77

Arrhenius.

181841

