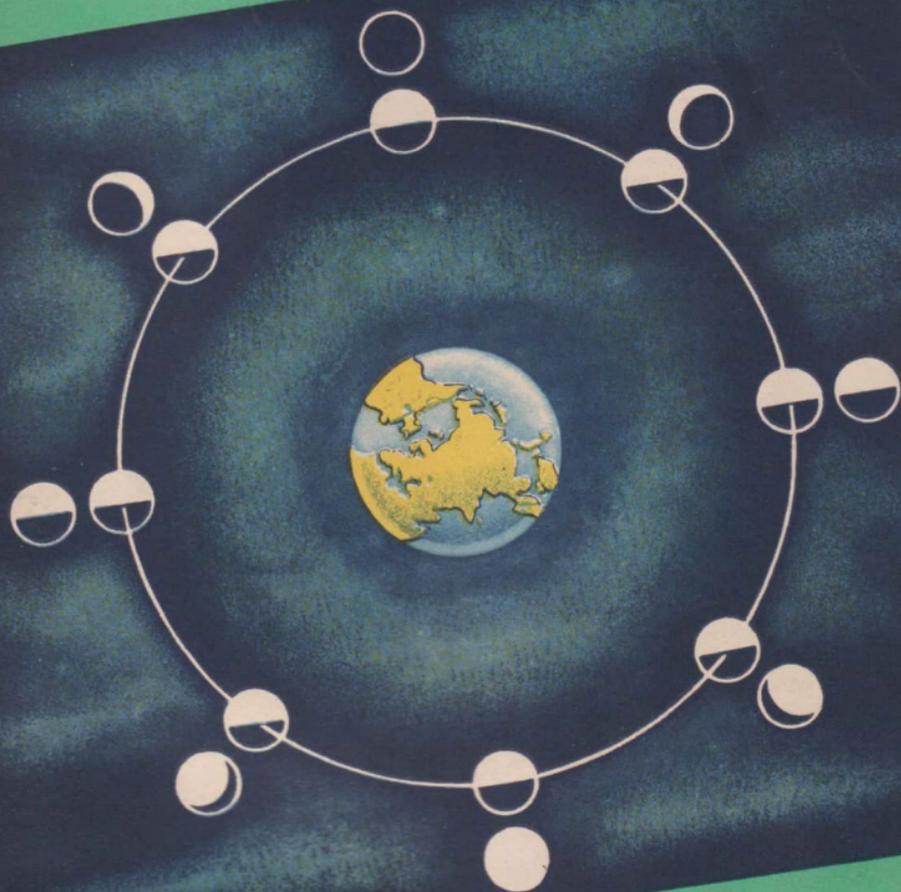


Neue Wissenschaft



A. A. MICHAÏLOW **SONNEN-
UND
MONDFINSTERNISSE**

*Kleine populärwissenschaftliche Bibliothek
Naturwissenschaft*

NEUE WISSENSCHAFT

Kleine populärwissenschaftliche Bibliothek · Grüne Reihe: Naturwissenschaft

Sonnen- und Mondfinsternisse

Von Prof. A. A. Michailow

Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR

VERLAG NEUES LEBEN BERLIN



1954

Inhalt

Einführung

- Seite 4 *Wie entsteht eine Sonnenfinsternis?*
5 *Die Ursache von Sonnenfinsternissen*
8 *Die Mondphasen*
10 *Die scheinbaren Bewegungen des Mondes und der Sonne*
13 *Wie häufig kommen Sonnenfinsternisse vor?*
14 *Die drei Arten von Sonnenfinsternissen*
17 *Der Turnus der Finsternisse*
18 *Die Voraussage von Finsternissen*
22 *Die Beobachtung totaler Sonnenfinsternisse*
25 *Was ist bei einer totalen Sonnenfinsternis in der Umgebung
der Sonne zu sehen?*
28 *Der Einfluß der Sonnenerscheinungen auf die Erde*
30 *Die Ablenkung der Lichtstrahlen*
32 *Wie die Wissenschaftler die Sonnenfinsternisse beobachten*
33 *Mondfinsternisse*

Anhang:

- 38 *Totale Sonnenfinsternisse vom Jahre 1950 bis zum Jahre 2000*
39 *Totale Mondfinsternisse vom Jahre 1950 bis zum Jahre 2000*

Titel der russischen Originalausgabe: Солнечные и лунные затмения

Ins Deutsche übertragen von Hellmut Heine

Einführung

In alten Zeiten setzten Sonnen- und Mondfinsternisse die Menschen in Schrecken, denn man kannte weder die Ursachen dieser ungewöhnlichen Naturerscheinungen, noch wußte man die Zeit ihres Eintretens. Weil nun viele Menschen außerstande waren, die Ursachen von Finsternissen zu erklären, betrachteten sie diese als Wunder, als unverständliche, geheimnisvolle Zeichen. Finsternisse sind in Wirklichkeit keine Wunder; sie sind keineswegs geheimnisvoll. Schon seit langer Zeit wissen die Gelehrten, daß die Finsternisse eine ebenso natürliche Erscheinung sind wie der Wechsel von Tag und Nacht; und seit langem schon können sie das Eintreten und den Ablauf der Finsternisse genau voraussagen.

In unserer Zeit gibt es keine Sonnen- oder Mondfinsternis, die der Bevölkerung nicht rechtzeitig durch Zeitungen oder Rundfunk angekündigt wird. Beginn und Ende der Sichtbarkeit der Sonnenfinsternisse werden schon mehrere Jahre vor ihrem Eintreten mit einer Genauigkeit von drei bis vier Sekunden errechnet.

Die Astronomen stellen einen Terminplan der Finsternisse für viele Jahre im voraus auf. Am Ende dieses Büchleins befinden sich zwei Tabellen, aus denen der Leser ersehen kann, welche totalen Sonnen- und Mondfinsternisse bis zum Jahre 2000 stattfinden werden, von welchen Ländern aus sie zu beobachten sind und wie lange sie andauern werden.

Um einen solchen Plan aufstellen zu können, mußten die Gelehrten eingehend die Naturgesetze, nach denen die Bewegung der Himmelskörper vor sich geht, studieren. Viele Jahrhunderte lang mußte man die Finsternisse beobachten und genau beschreiben, um dann die Ergebnisse dieser Beobachtungen verarbeiten zu können. Nur auf der Grundlage der richtig verstandenen Naturgesetze und der richtigen Schlußfolgerung aus den Beobachtungen von Finsternissen lernten die Astronomen, ihr Eintreten vorzuberechnen. All das zeigt anschaulich die Macht der modernen Wissenschaft und beweist, daß die Menschen die Bewegungsgesetze der Himmelskörper ergündet und richtig verstanden haben; für sie gibt es keine Himmelserscheinungen mehr, die sie nicht richtig zu verstehen und zu erklären imstande wären.

Wie entsteht eine Sonnenfinsternis?

Heute ist ein klarer Tag. Die Sonne strahlt vom wolkenlosen Himmel, und nichts deutet eine bevorstehende besondere Himmelserscheinung an. Aber plötzlich werden die Sonnenstrahlen schwächer, die Sonne wärmt nicht mehr so stark, ihr Licht wird trübe. Auch das Aussehen der Sonne selbst verändert sich. Aus der sonst blendenden Scheibe wird eine Art Sichel, wie wir sie beim Mond vor der Neumondphase kennen. – Eine teilweise (partielle) Sonnenfinsternis hat begonnen (siehe Abb. 1).

Auch in der Natur zeigen sich Veränderungen. Ringsum herrscht eine eigenartige Stille. Vögel und andere Tiere sind unruhig geworden. Es wird merklich dunkler. Das Sonnenlicht wärmt nicht mehr, es hat eine unheilverkündende bräunliche Färbung angenommen. Matt schimmern die sonst hellen Farben. Die Sonne hat sich in eine schmale Sichel verwandelt; die sich plötzlich in einige grelle, schnell verschwindende Punkte auflöst. Ein finsterner Schatten zieht über die Erde, und es wird plötzlich dunkel wie am späten Abend. Der Himmel sieht aus wie bei Nacht, und hell erstrahlen die Sterne. Dort, wo die Sonne leuchtete, steht eine von silbernem Schein umgebene schwarze Scheibe am Himmel. Die Natur wirkt erstarrt. Die totale Finsternis ist eingetreten.

Zwei, drei, manchmal auch fünf Minuten dauert diese ungewöhnliche Dunkelheit. Schließlich zeigt sich an der rechten Seite der schwarzen Scheibe, die statt der Sonne zu sehen ist, ein rötlicher Saum, und plötzlich flammen blendendhelle Sonnenstrahlen auf. Die Natur scheint aufzuatmen. Das nächtliche Dunkel ist verschwunden, es ist wieder hell geworden. Die totale Finsternis ist vorüber, und die Sonne scheint wieder, vorläufig aber noch als schmale Sichel, wie die des zunehmenden Mondes kurz nach dem Neumond. Allmählich wird die Sonnensichel breiter, und etwa eine Stunde nach der totalen Finsternis hat die

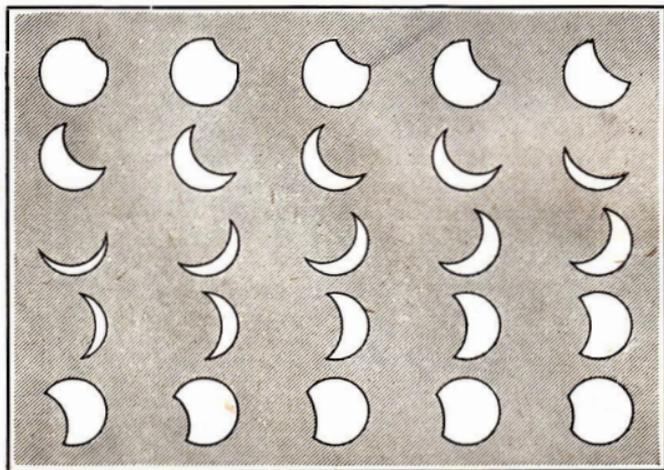


Abb. 1. Verlauf einer partiellen Sonnenfinsternis. Die Zeichnung zeigt (von links nach rechts) 25 Lichtbildaufnahmen von einer partiellen Sonnenfinsternis, die in Abständen von je 5 Minuten photographiert wurden.

Sonne ihre gewöhnliche runde Form wieder angenommen; die partielle Finsternis geht zu Ende. Schon lange vorher aber sind die sichtbaren Merkmale der Finsternis in der Natur verschwunden. Die Sonnenstrahlen haben wieder zu wärmen begonnen, Tiere und Vögel haben sich von ihrem Schrecken erholt, die Farben sind wieder leuchtend und hell geworden. Nichts erinnert mehr an die ungewöhnliche Naturerscheinung.

Aber nicht nur die Tiere zeigen Unruhe und Furcht während einer totalen Sonnenfinsternis, sondern auch rückständige Menschen, welche die Ursachen der Finsternis nicht kennen und nicht vorher über das zu erwartende Ereignis informiert wurden. Die Bestürzung, die durch Sonnenfinsternisse hervorgerufen wurde, war in alten Zeiten so stark, daß Historiker und Chronisten in ihren Aufzeichnungen die beobachteten Finsternisse beschrieben. Das brachte der Astronomie und der Geschichte großen Nutzen, wovon noch die Rede sein wird.

In chinesischen Chroniken gibt es viele Hinweise auf verschiedene Sonnenfinsternisse. Die früheste Aufzeichnung bezieht sich auf das Jahr 2136 vor unserer Zeitrechnung, als während der Regierungszeit des Kaisers Tschung Kang eine Sonnenfinsternis stattfand, die allerdings von den beiden Hofastronomen Hi und Ho weder vorausgesagt noch beobachtet wurde, denn sie waren während der Finsternis betrunken.

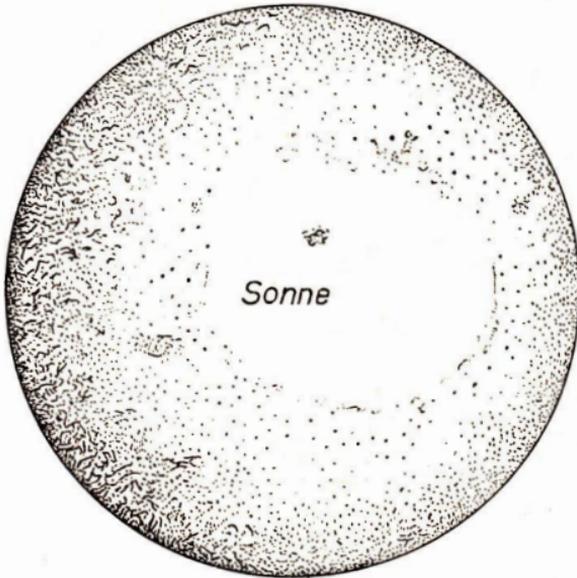
Lehmtafeln mit Aufzeichnungen über sechs weitere Finsternisse, die bei den Ausgrabungen von Babylon und Ninive (antike Städte in Kleinasien) gefunden wurden, gelangten in unsere Hände. Die erste registrierte Finsternis fand im Jahre 911 vor unserer Zeitrechnung statt. – Im Jahre 585 vor unserer Zeitrechnung lieferten sich in Kleinasien Lyder und Meder eine Schlacht; da trat plötzlich am hellen Tage nächtliche Dunkelheit ein. Voller Furcht warfen die Kämpfenden die Waffen weg und liefen auseinander. So führte eine Himmelserscheinung zum Friedensschluß zwischen den streitenden Völkern.

Ogleich im Mittelalter die Ursache der Sonnenfinsternisse schon bekannt war, riefen sie immer noch große Furcht bei den Menschen hervor. Wir lesen von Menschen, die sich während der Finsternisse in Kellern verbargen, von Frauen, die in Ohnmacht fielen; und der deutsche Kaiser Ludwig I. ist sogar während einer totalen Sonnenfinsternis im Jahre 840, die etwas über fünf Minuten dauerte, vor Schreck gestorben.

Die Ursache von Sonnenfinsternissen

Wodurch werden nun Sonnenfinsternisse hervorgerufen? Die Antwort auf diese Frage ist nicht schwer, man muß seine Aufmerksamkeit auf folgende Tatsachen richten: erstens kommen Sonnenfinsternisse

Abb. 2. Vergleich der Ausmaße zwischen Sonne und Erde.



nur in der Zeit des Neumondes vor, also dann, wenn der Mond nachts überhaupt nicht am Himmel scheint; zweitens sieht die Sonne während der partiellen oder teilweisen Finsternis so aus, als ob ein Teil von ihr mit einem runden Körper bedeckt wäre, der fast ebensolche Ausmaße zu haben scheint wie sie selbst. Schon lange vermuteten Gelehrte, daß dieser Körper der Mond sei, der wie ein Schirm die Sonne verdeckt und so die Finsternis hervorruft. Um diese Vermutung begründen und alle Umstände der Finsternis erklären zu können, müssen wir uns etwas ausführlicher damit beschäftigen, was die Erde, der Mond und die Sonne eigentlich sind und wie sie sich bewegen.

Heute wissen wir auf Grund genauer Messungen, daß der Durchmesser des Erdballs 12756 Kilometer beträgt, während er einen Umfang von 40000 Kilometern hat. Die Länge eines Kilometers wurde vor anderthalb Jahrhunderten bestimmt; sie ist der 10000. Teil des Erdmeridianquadranten (des 4. Teiles des Erdumfanges).

Die Erdkugel dreht sich um eine gedachte Linie, eine Achse, die durch ihren Mittelpunkt und die beiden Pole verläuft. Im Verlauf von 24 Stunden dreht sich die Erde einmal um ihre eigene Achse, und daraus ergibt sich der Wechsel von Tag und Nacht. Während die Erde sich dreht, bewegt sie sich auf einem leicht gestreckten Kreis, dessen ungefährer Mittelpunkt die Sonne bildet. Ihren Weg um die Sonne

vollendet die Erde im Laufe eines Jahres, und damit hängt der Wechsel der Jahreszeiten zusammen. Die Entfernung der Erde von der Sonne beträgt im Durchschnitt 150 Millionen Kilometer. Da der Weg der Erde um die Sonne oder, wie man auch sagt, die Erdbahn nicht genau kreisförmig ist und die Sonne sich nicht genau im Mittelpunkt des Kreises befindet, ist die Entfernung der Erde von der Sonne zu verschiedenen Jahreszeiten verschieden groß. Im Sommer ist der Abstand um 2500000 Kilometer größer und im Winter um ebensoviel kleiner als die genannte Durchschnittsentfernung.

Es mag befremden, daß die Sonne uns im Winter näher ist. Aber das ist eine feststehende Tatsache, die mit Hilfe einer Photographie leicht nachgeprüft werden kann. Wenn man die Sonne mit einem entsprechenden Apparat in vielfach vergrößertem Maßstab zu verschiedenen Jahreszeiten photographiert, so stellt man beim Vergleich verschiedener Aufnahmen fest, daß der Durchmesser der Sonne im Januar um ein Dreißigstel größer ist als im Juli.

Die Jahreszeiten werden nicht durch die Veränderung der Entfernung der Erde von der Sonne hervorgerufen, sondern durch die Neigung der Erdachse. Durch die Schräge der Achse neigt sich der Erdball der Sonne zu und setzt bald die nördliche, bald die südliche Halbkugel mehr ihren Strahlen aus. Wenn daher im Dezember auf der nördlichen Halbkugel Winter herrscht, ist auf der südlichen Halbkugel zu dieser Zeit Sommer, während der Winter dort im Juni beginnt.

Die Sonne hat ebenso wie die Erde die Form einer Kugel, allerdings ist sie viel größer. Der Durchmesser des Sonnenballs beträgt 1390000 Kilometer, er ist also 109mal größer als der Durchmesser der Erde (siehe Abb. 2).

Die Erde zieht ihre jährliche Bahn um die Sonne in Begleitung ihres Weggefährten, des Mondes. Er kreist in einer durchschnittlichen Entfernung von 384000 Kilometern (das ist etwa der 400. Teil des Abstandes unseres Planeten von der Sonne) um die Erde. Der Mond hat ebenfalls die Form einer Kugel. Sein Durchmesser beträgt 3480 Kilometer, er ist also fast nur ein Viertel des Erddurchmessers (siehe Abb. 3) und annähernd der 400. Teil des Durchmessers der Sonne.

Je näher uns ein Gegenstand ist, desto größer erscheint er uns. Darum kommt uns



Abb. 3. Vergleich der Ausmaße zwischen Erde (oben) und Mond (unten).

der Mond, dessen Abstand von der Erde ja nur $\frac{1}{400}$ der Entfernung unseres Erdballs von der Sonne beträgt und dabei nur etwa den 400. Teil ihres Durchmessers hat, fast ebenso groß vor wie sie. Das Zusammenreffen der scheinbaren Ausmaße von Sonne und Mond ist freilich Zufall. Da die Entfernungen der Erde von der Sonne und des Mondes von der Erde geringfügigen Veränderungen unterworfen sind, kann der Mond uns manchmal auch kleiner als die Sonne erscheinen. Wir werden noch sehen, welchen Einfluß das auf die Finsternis ausübt.

Die Mondphasen

Die auffälligsten Erscheinungen beim Mond sind seine Phasen. So nennt man die verschiedenen Formen, in denen der Mond sichtbar ist. Zuweilen ist der Mond einige Tage überhaupt nicht zu sehen; das ist die Zeit des Neumondes (siehe Abb. 4).

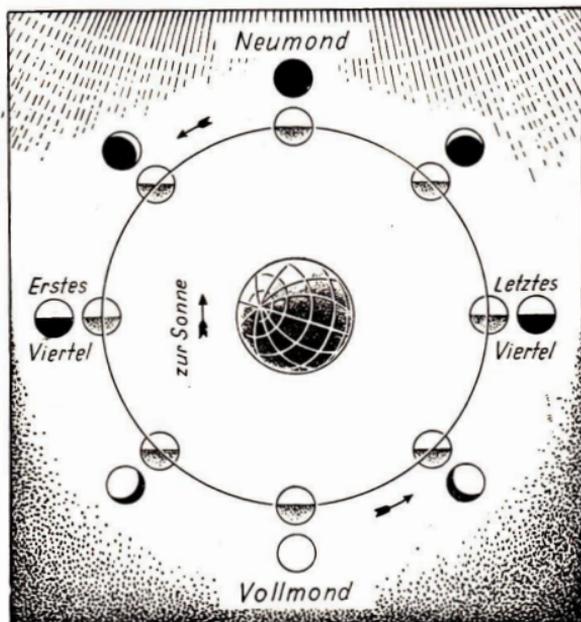
Zwei bis drei Tage nach Neumond erscheint der Mond als schmale Sichel am abendroten Himmel und geht bald nach der Sonne unter. Mit jedem Tag nimmt die Breite der Mondsichel zu. Sieben Tage nach Neumond nimmt der Mond die Form eines leuchtenden Halbkreises an, dessen gewölbter Teil zur Sonne, in unserem Blickfeld nach rechts unten, gewandt ist. Das ist das erste Viertel des Mondes. Er wird jetzt immer größer und voller und bildet vierzehn Tage nach Neumond, oder sieben Tage nach dem ersten Viertel, einen vollen leuchtenden Kreis. Der Mond geht am östlichen Himmel, also auf der der Sonne gegenüberliegenden Seite bei Sonnenuntergang, auf. Das ist der Vollmond. Bald jedoch beginnt er auf seiner rechten Seite wieder abzunehmen, und eine Woche nach Vollmond erlangt er erneut die Form eines Halbkreises, der aber nach der anderen Seite, nach links gewölbt ist. Das ist das letzte Viertel.

In dieser Zeit geht der Mond nachts auf und bleibt bis zum Morgen am Himmel; oft ist er sogar vormittags noch rechts von der Sonne zu sehen. Dann verwandelt sich der Halbkreis des Mondes in eine Sichel, die immer schmäler wird und immer später, immer kürzere Zeit vor Anbruch des Morgens, aufgeht. Schließlich verschwindet die schmale Sichel, und es treten erneut mondlose Nächte ein – die Zeit des Neumondes (siehe Abb. 4).

Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Neumonden (oder Vollmonden) vergehen im Durchschnitt 29 Tage und 13 Stunden – ein Zeitraum, der synodischer Monat genannt wird.

Die Mondphasen sind dadurch zu erklären, daß der Mond eine dunkle, nicht selbst leuchtende Kugel ist. Wir sehen also nur den Teil der Mondoberfläche, der uns zugewandt ist und von der Sonne

Abb. 4. Erklärung der Mondphasen. Die Sonne befindet sich hier oberhalb des Bildes, der Mond ist auf seiner Bahn in den verschiedenen Stellungen zur Erde dargestellt; jeweils ist die der Sonne zugewandte Mondhalbkugel beleuchtet. Außerhalb der Bahn sind die verschiedenen Mondphasen zu erkennen, wie sie von der Erde aus gesehen werden.



beleuchtet wird. Je nach der Stellung des Mondes zur Sonne sehen wir einen größeren oder kleineren Teil des angestrahlten Mondes. Die Sonne beleuchtet stets nur die Hälfte der gesamten Oberfläche des Mondes, nur fällt die der Erde zugewandte Hälfte nicht immer mit der beleuchteten Hälfte zusammen. Während des Neumondes befindet sich der Mond zwischen der Erde und der Sonne. Es ist also verständlich, daß in dieser Zeit die unbeleuchtete dunkle Halbkugel des Mondes der Erde zugewandt ist, wie aus Abbildung 4 oben hervorgeht. Nach einigen Tagen hat sich der Mond weiterbewegt, und von der Erde aus ist der Rand der beleuchteten Halbkugel zu sehen – der Mond zeigt sich uns als schmale Sichel.

Ohne bei den Zwischenphasen zu verweilen, gehen wir sogleich zum Vollmond (Abb. 4 unten) über. In dieser Zeit befindet sich der Mond von der Sonne aus gesehen jenseits der Erde, und die von der Sonne vollständig beleuchtete Mondhalbkugel ist der Erde zugewandt; darum ist der Mond auch als volle, gleichmäßig beleuchtete runde Scheibe zu sehen.

Wenn man von Sonnenfinsternissen spricht, ist es zunächst wichtig, festzustellen, daß der Mond bei Neumond zwischen Sonne und Erde

hindurchgeht. Folglich kann er gerade in dieser Zeit für den Beobachter, der auf der Erde steht, die Sonne verdecken und dadurch eine Sonnenfinsternis hervorrufen. Darum findet eine Sonnenfinsternis nur bei Neumond statt. Jedoch ist keineswegs jeder Neumond Anlaß zu einer Sonnenfinsternis. Die Ursachen wollen wir nun ergründen.

Die scheinbaren Bewegungen des Mondes und der Sonne

Der Weg des Mondes um die Erde – Mondbahn genannt – kommt der Kreisform sehr nahe, aber seine Ebene fällt nicht mit der Ebene der Bahn zusammen, auf der die Erde um die Sonne kreist. Die Mondbahn weist gegenüber der Bahn, auf der die Erde sich bewegt, eine gewisse Neigung auf. Diese Neigung der Bahnen gegeneinander ist allerdings nicht groß, sie beträgt fünf Grad, diese aber genügen, um zu bewirken, daß die meisten Neumonde nicht von Sonnenfinsternissen begleitet werden.

Seit Kopernikus (er lebte von 1473 bis 1543) wissen wir, daß die alte Vorstellung, nach der die Erde unbeweglich im Mittelpunkt des Weltalls steht und alle Himmelskörper, einschließlich der Sonne, sich um sie bewegen, falsch ist. Der Himmel stellt sich uns vielmehr als Kugel dar, in deren Mittelpunkt sich die Erde befindet. Es scheint uns, als ob die Himmelskugel sich gleichmäßig drehe, so daß wir Auf- und Untergang der Sterne sehen; sie erwecken den Eindruck, als seien sie an der inneren Fläche der Himmelskugel befestigt und drehten sich zusammen mit ihr um die Erde. Außer diesen „am Himmel befestigten“ Sternen, die „Fixsterne“ genannt werden und die die Gestalten der unveränderlichen Sternbilder bilden, gibt es einige bewegliche Sterne, die langsam aus einem Sternbild in das andere hinüberwandern. Diese Himmelskörper werden Planeten genannt; das Wort bedeutet, aus dem Griechischen kommend, „wandelnde Sterne“. Zu ihnen wurden im Altertum auch Sonne und Mond gerechnet.

Die Bewegung des Mondes am Sternenhimmel ist leicht zu verfolgen. Wenn man sich neben dem Mond einen hellen Stern merkt, so zeigt sich schon nach einigen Stunden, daß der Mond sich von rechts nach links von dem Stern fortbewegt. Wenn man nun Tag um Tag die Stellung des Mondes gegenüber den Sternen verfolgt, so stellt man fest, daß er im Laufe eines Monats einen vollen Umlauf am Himmel beschreibt, und zwar verläuft sein Weg dabei stets von rechts nach links.

Viel schwerer ist es, die Bewegung der Sonne am Sternenhimmel zu verfolgen, weil die Sterne am Tage nicht sichtbar sind und es in der Nähe der Sonne am Himmel keine Anhaltspunkte gibt, mit deren Hilfe

man die Position der Sonne an den verschiedenen Tagen feststellen könnte. Und trotzdem ist es gelungen. Schon den alten Ägyptern war bekannt, daß auch die Sonne sich im Kreise bewegt und im Laufe eines Jahres auf einer Kreisbahn über den ganzen Himmel wandert. Diese Bahn erhielt die Bezeichnung Ekliptik (Finsternislinie).

Wenn wir von der Bewegung des Mondes und der Sonne am Himmel sprechen, so meinen wir damit die Veränderung ihres Standortes gegenüber den „Fixsternen“, ihre Wanderung von einem Sternbild in ein anderes, nicht aber ihre tägliche Bewegung, die Aufgang und Untergang einschließt, an der alle Himmelskörper teilnehmen.

Kopernikus hat gezeigt, daß in Wirklichkeit nicht die Himmelskugel, sondern die Erdkugel sich dreht, und daß nicht die Sonne sich um die Erde, sondern die Erde sich um die Sonne bewegt. Und auch einen kugelförmigen Himmel gibt es nicht; es gibt nur den unendlichen Raum, der die Erde von allen Seiten umgibt. Wir, die wir uns auf der Erde befinden, bemerken jedoch deren Bewegung nicht. Wir sehen nur, wie sich die Stellung der Sonne und der Sterne gegenüber der Erde verändert, und schreiben deshalb diesen Himmelskörpern eine Bewegung zu, nicht aber der Erde.

Die Lehre von Kopernikus wurde von Vertretern der Kirche heftig angegriffen. Die Nachfolger des großen Gelehrten wurden verfolgt, und einer von ihnen, der Italiener Giordano Bruno, wurde im Jahre 1600 auf Grund des Urteils eines Kirchengerichts auf dem Scheiterhaufen verbrannt.

Um einige mit den Finsternissen verbundene Erscheinungen zu veranschaulichen, sprechen wir besser von der scheinbaren Bewegung der Sonne und des Mondes am Himmel, so wie wir sie wahrnehmen, und nicht von der wirklichen Bewegung der Erde.

Nicht zufällig waren die scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper schon zur Zeit der alten Griechen bekannt, während die tatsächliche Bewegung der Erde und der anderen Planeten im Raum um die Sonne erst im sechzehnten und siebzehnten Jahrhundert erkannt wurde.

Die Sonne scheint also während eines Jahres einmal um die Erde zu kreisen, dabei passiert sie auf der Ekliptik zwölf Sternbilder. In jedem dieser Sternbilder verweilt sie etwa einen Monat. Die Mondbahn erstreckt sich ebenfalls kreisförmig um den ganzen Himmel, fällt jedoch nicht mit der Ekliptik zusammen. Sie hat gegenüber der Ekliptik, wie schon gesagt, eine Neigung von fünf Grad. Die Mondbahn schneidet die Ekliptik an zwei einander gegenüberliegenden Punkten, die als Knoten der Mondbahn oder einfach als Mondknoten bezeichnet werden. In den Knoten kreuzen sich die Bahnen von Sonne und Mond, entfernen sich dann wieder und sind in der Mitte zwischen den Knoten am weitesten voneinander entfernt. Ihr Abstand beträgt

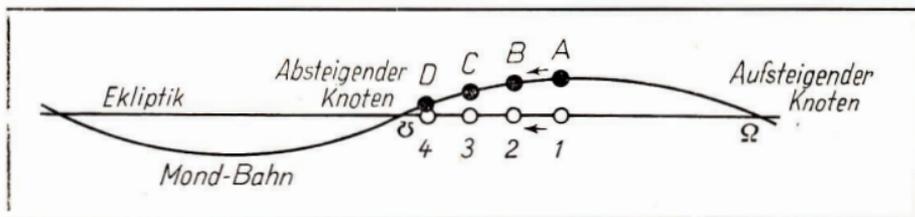


Abb. 5. Die Mondbahn und die Ekliptik.

hier fünf Grad. Wenn man die Ekliptik als eine gerade Linie darstellt (wie den Erdäquator auf einigen geographischen Karten), so nimmt die Mondbahn die auf Abbildung 5 gezeigte Form an.

Angenommen, die Sonne befindet sich in der Stellung 1. Wenn der Mond, der sich auf seiner Bahn bewegt, den Punkt *A* passiert, tritt Neumond ein. Hier beträgt der Abstand zwischen den Mittelpunkten des Mondes und der Sonne fünf Grad, während die Halbmesser des Mondes und der Sonne nur jeweils einem viertel Grad gleichkommen. Darum bleibt zwischen den Rändern des Mondes und der Sonne in ihrer scheinbaren Stellung am Himmel ein großer Zwischenraum. Der Mond kann die Sonne nicht verdecken, und es findet keine Finsternis statt. Man kann sagen, daß der Mond in dieser Neumondperiode über die Sonne hinwegzieht.

Nach einem Monat gelangt die Sonne in die Stellung 2 und hat unterdessen etwa den zwölften Teil der Ekliptik oder ein Sechstel der Entfernung bis zum nächsten Knoten durchlaufen. Der Mond hat in dieser Zeit seine ganze Bahn durchgemessen, holt die Sonne ein und bewegt sich aufs neue durch den Punkt *A* in Richtung auf den Punkt *B*. Wenn der Mond durch den der Sonne am nächsten gelegenen Punkt wandert, tritt wieder Neumond ein, aber auch dieses Mal gibt es noch keine Finsternis. Nach einem weiteren Monat wird die Sonne in der Neumondperiode in der Stellung 3 und der Mond im Punkt *C* stehen. Der Abstand zwischen ihnen ist wohl kleiner geworden; er ist aber für eine Finsternis immer noch zu groß. Erst in der folgenden Neumondperiode mit der Sonne in Stellung 4 und dem Mond im Punkt *D* wird eine Finsternis eintreten, obgleich es keine totale, sondern nur eine partielle Finsternis sein wird, bei der der Mond den oberen Rand der Sonne verdeckt. Wenn sich nun die Sonne während der Neumondperiode noch näher am Knoten befindet, so kommt es zu einer totalen Sonnenfinsternis.

Eine Finsternis kann also nur in der Neumondzeit eintreten, und zwar, wenn die Sonne dem Knoten nahe genug ist.

Den Chinesen war in alter Zeit die wirkliche Ursache der Finsternisse unbekannt; sie glaubten, die Sonne verfinstere sich durch den

Angriff eines grimmigen Drachen, der sie zu verschlingen beginne. Um den Drachen zu erschrecken und ihn von der Sonne fortzujagen, vollführten sie einen ohrenbetäubenden Lärm und schlugen die Trommeln. Allerdings war es ihnen schon bekannt, daß die Finsternis nur in der Nähe des Mondknotens vor sich gehen kann, und deshalb glaubten sie, dort sei die Höhle des Drachen. Überreste dieses Aberglaubens haben sich bis in die heutige Zeit erhalten: Der Knoten wird in der Astronomie durch ein besonderes Zeichen dargestellt (siehe Abb. 5), das das vereinfachte Bild eines zum Sprung ansetzenden Drachen darstellt. Der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen des Mondes durch den gegebenen Knoten wird drakonitischer Monat oder Drachensmonat genannt.

Wie häufig kommen Sonnenfinsternisse vor?

Die Sonne kann den Knoten nicht passieren, ohne daß eine Finsternis stattfindet. Es kann sogar vorkommen, daß in zwei aufeinanderfolgenden Neumondphasen Finsternisse beobachtet werden, die allerdings beide partiell sind, bei denen also nur ein kleiner Teil der Sonne durch den Mond verdeckt wird. Die erste dieser Finsternisse muß stattfinden, wenn die Sonne eben erst in das Gebiet der Finsternisse gelangt ist, und die zweite wird kurz vor dem Heraustreten der Sonne aus diesem Gebiet eintreten.

Wenn eine totale oder zwei aufeinanderfolgende partielle Finsternisse stattgefunden haben, können die nächstfolgenden Neumondperioden nicht mehr von Finsternissen begleitet sein, und man muß ungefähr ein halbes Jahr warten, bis nämlich die Sonne zum nächsten Knoten gelangt ist. Hier wiederholt sich das, was wir beim ersten Knoten gesehen haben. Also muß es in jedem Jahr zwei ungefähr ein halbes Jahr auseinanderliegende Perioden geben, in denen eine oder zwei Finsternisse stattfinden.

Das Ganze wird jedoch dadurch kompliziert, daß die Knoten der Mondbahn nicht fest auf dem gleichen Punkt der Ekliptik liegen, sondern sich langsam von links nach rechts der Sonne entgegen bewegen und dabei innerhalb von neunzehn Jahren einen vollen Umlauf auf der Ekliptik zurücklegen. Darum braucht die Sonne von einem Knoten bis zum anderen nicht genau ein halbes Jahr, also nicht 183 Tage, sondern ein Neunzehntel weniger, das sind 174 Tage. So lang ist demnach auch im Durchschnitt der Abstand der Finsternisperioden voneinander. Mindestens zwei Sonnenfinsternisse gibt es jährlich, nämlich eine bei jedem Knoten. So gab es im Jahre 1945 zwei Finsternisse, und zwar eine am 14. Januar (partiell) und eine am 9. Juli (total). Die Höchstzahl von

Finsternissen in einem Jahr ist fünf. Dazu muß die erste Finsternis am Anfang des Jahres in die ersten Januartage fallen, wenn die Sonne in das Gebiet der partiellen oder teilweisen Finsternis bei einem der Knoten tritt. Die zweite Finsternis vollzieht sich nach einem Monat bei dem gleichen Knoten. Dann folgt eine Pause von fünf Monaten, in deren Verlauf sich die Sonne zum anderen Knoten bewegt, wo wiederum zwei aufeinanderfolgende Finsternisse stattfinden. Schließlich kann am Ende des Jahres, im Dezember, noch eine Finsternis, und zwar wieder am ersten Knoten, eintreten. So ergeben sich im Verlaufe eines Jahres insgesamt fünf Finsternisse, die aber alle, besonders die ersten vier, klein und partiell sind. Dieser Fall trat im Jahre 1935 ein; es gab fünf Finsternisse: am 5. Januar, am 3. Februar, am 30. Juni, am 30. Juli und am 25. Dezember.

In keinem Falle gibt es weniger als zwei Sonnenfinsternisse im Jahr. Der Leser wird nun verwundert fragen, warum wir sie so selten wahrnehmen. Das wollen wir jetzt erklären.

Die drei Arten von Sonnenfinsternissen

Stellen wir uns vor, es ist Neumond, und eine Sonnenfinsternis ist eingetreten, das heißt, die Mittelpunkte der Sonne, des Mondes und der Erde liegen in einer geraden Linie, so daß der Mond von der Erde aus gesehen die Sonne verdeckt. Wir wissen schon, daß der Mond dank seiner Nähe zur Erde fast die gleichen Ausmaße wie die Sonne zu haben scheint.

Infolge der (wenn auch geringen) Veränderung der Entfernungen zwischen Erde und Sonne und zwischen Erde und Mond erscheinen uns jedoch die Himmelskörper nicht immer gleich groß. Wenn der Mond der Erde so nahe und die Sonne ihr so fern wie möglich ist (das letztere ist im Sommer der Fall), so wirkt der Mond größer als die Sonne und kann sie während der Finsternis vollkommen verdecken. Das ist dann eine totale Finsternis. Wenn aber der Mond und die Sonne in mittlerer Entfernung stehen oder wenn sogar der Mond der Erde am fernsten und die Sonne (im Winter) ihr am nächsten ist, so scheint uns der Mond kleiner als die Sonne zu sein und kann keine totale Finsternis hervorrufen. In solchem Falle bleibt, wenn die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes für den Beobachter in eine Linie fallen, ein schmaler, heller Ring der Sonne frei. Eine solche Finsternis nennt man eine ringförmige.

Wenn der Mond seitlich an der Sonne vorbeizieht, so daß er nur einen Teil von ihr verdeckt, wobei die Sonne sichelförmig aussieht (siehe Abb. 1), findet eine partielle (teilweise) Finsternis statt.

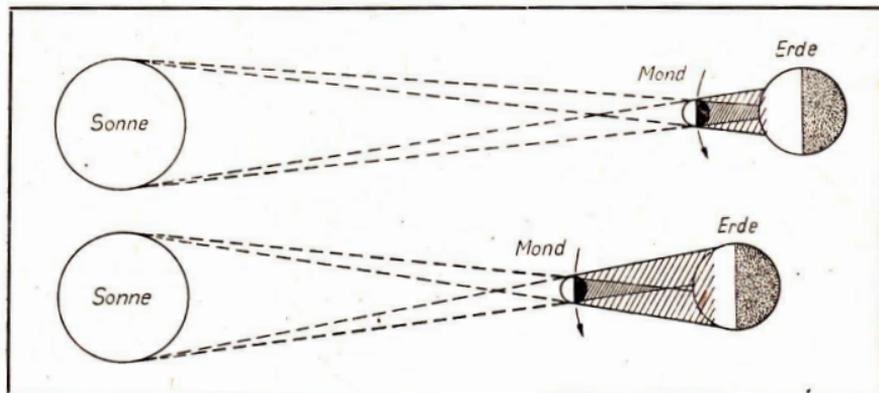


Abb. 6. Schemen der Sonnenfinsternisse: Oben - totale Finsternis (die Erde befindet sich weit weg von der Sonne, und der Mond steht näher zur Erde); unten - ringförmige Finsternis (die Erde befindet sich näher zur Sonne, und der Mond steht weiter weg von der Erde).

Vor dem Eintritt einer totalen oder einer ringförmigen Finsternis, wenn der Mond sich noch auf den Mittelpunkt der Sonne zu bewegt, ist die Finsternis ebenfalls partiell; und so ist es auch nach ihrem Ende.

Diese drei Arten von Finsternissen lassen sich auch noch anders erläutern. Der Mond wirft wie jeder undurchsichtige Gegenstand, wenn er von der Sonne beschienen wird, einen Schatten. Dort, wohin der Schatten des Mondes fällt, tritt eine totale Sonnenfinsternis auf. Wenn die Sonne ein leuchtender Punkt wäre, so wäre der Mondschatten scharf umrissen. Sie stellt jedoch einen strahlenden Kreis, eine Scheibe von erheblichem Ausmaß dar. Bekanntlich wirft eine Lampe mit einem großen matten Schirm oder mit einer Milchglaskugel keine scharfen Schatten. Stellt man vor eine solche Lampe einen undurchsichtigen Gegenstand, so besteht zwischen dem Kernschatten, in dem die Lampe überhaupt nicht sichtbar ist, und den vollbeleuchteten Stellen ein Gebiet, aus dem die Mattlampe nur teilweise zu sehen ist. Dieses Gebiet wird Halbschatten genannt. Wenn der schattenwerfende Gegenstand kleiner als die Lampe ist, verengt sich der Schatten kegelförmig. Das alles trifft in vollem Umfange auf den Mondschatten zu, wie die Abbildung 6, die Sonne und den Mond mit seinem Schatten und Halbschatten auf der Erde darstellend, zeigt.

Der Mond wirft einen sich verjüngenden Schatten, der also die Form eines spitz zulaufenden Kegels hat. Innerhalb dieses Schattenkegels (auf beiden Abbildungen eng schraffiert) ist die Finsternis total. Jenseits des Scheitelpunktes des Kegels befindet sich der Gegenkegel (untere Abb.), wo eine ringförmige Finsternis auftritt, weil die Sonne von hier

aus größer erscheint als der Mond. Der breite Kegel des Halbschattens (auf beiden Abbildungen weit schraffiert) zeigt das Gebiet, in dem die Finsternis partiell und um so geringer ist, je näher man sich am äußeren Rand des Kegels befindet. Außerhalb dieser Kegel wird überhaupt keine Finsternis wahrgenommen.

Die Entfernungen und die Größenverhältnisse der Sonne und des Mondes sind so, daß die Erde in den Teil des Schattenkegels gelangen kann, der sich in der Nähe seines Scheitelpunktes befindet, wobei sie entweder in das Gebiet der totalen Finsternis gerät (obere Abb.) oder in das Gebiet der ringförmigen Finsternis (untere Abb.). Bei dem tiefsten Eindringen in den Schatten des Mondes kann der Durchmesser des Schattens, der auf die Erdoberfläche fällt, im Höchsthalle 270 Kilometer betragen.

Der Mond bewegt sich auf seiner Bahn um die Erde mit einer Geschwindigkeit von ungefähr einem Kilometer in der Sekunde und übertrifft damit die Fluggeschwindigkeit einer Gewehrkuugel. Die Erdkugel dreht sich um ihre Achse und bietet dabei dem schnell über die Erdoberfläche gleitenden Mondschatten ihre verschiedenen Seiten dar. Dort, wo er die Erde bedeckt, tritt eine totale Finsternis ein. Wenn der Schatten vorübergezogen ist, endet die Finsternis. Die geringen Ausmaße des Schattens und die große Geschwindigkeit seiner Bewegung bewirken, daß er an keinem Ort der Erde lange verweilt. Darum dauert eine totale Finsternis in keinem Falle länger als acht Minuten, meistens geht sie sogar viel rascher vorüber. Bei seiner Bewegung über die Erde beschreibt der Mondschatten eine schmale, lange Bahn, auf der nacheinander die totale Sonnenfinsternis beobachtet wird; sie beginnt im westlichen Teil des Streifens und wandert hinüber in den östlichen Teil, weil der Mond und ebenso sein Schatten sich in dieser Richtung bewegen.

Ebenso verläuft auch die ringförmige Finsternis bei Eintritt der Erde in den entsprechenden Teil des Schattens. Sie wird gleichfalls auf einem schmalen, langen Streifen beobachtet, dessen Breite in seltenen Fällen bis zu 450 Kilometer betragen kann.

Der Kegel des Halbschattens des Mondes wird breiter, und dort, wo er auf die Erde fällt, beträgt sein Durchmesser fast 7000 Kilometer, so daß also der Halbschatten einen beträchtlichen Teil der Erdoberfläche bedecken kann. Jedoch hat die partielle Finsternis nur in der Tiefe des Halbschattens, in der Nähe seines Mittelpunktes, größere Wirkung; an den Rändern des Halbschattens ist nur ein unbedeutender Rand der Sonne vom Mond bedeckt. Eine solche Finsternis kann unbemerkt bleiben, wenn man nicht vorher weiß, wann sie stattfinden wird.

Darum werden auch Sonnenfinsternisse so selten beobachtet, obgleich es jährlich mindestens zwei gibt. Vor allem sind nicht sämtliche Finsternisse total, sondern etwa nur ein Drittel, ein weiteres Drittel ist

ringförmig und der Rest nur partiell. Außerdem werden die Finsternisse nicht auf der ganzen Erde beobachtet, sondern nur auf einem kleinen Teil ihrer Oberfläche, wobei die Bahn der totalen Finsternis einen zwar langen (manchmal mehr als 10000 Kilometer), aber schmalen Streifen, kaum 270 Kilometer breit, bildet. Die Bahnen der totalen Finsternisse berühren ein und denselben Ort im Durchschnitt einmal in 400 Jahren. Wenn der Beobachter aber nicht wartet, bis die totale Finsternis dort, wo er sich befindet, auftreten wird, sondern sich vorher dorthin begibt, wo die totale Finsternis sichtbar sein wird, kann sie durchschnittlich alle $1\frac{1}{2}$ Jahre beobachtet werden.

Der Turnus der Finsternisse

Die moderne Wissenschaft kann die Finsternisse für viele Jahre im voraus errechnen. Es ist leicht, das Datum einer Finsternis ungefähr vorauszusagen, nicht jedoch die genaue Zeit und den genauen Ort ihrer Sichtbarkeit. Wie wir wissen, müssen für das Auftreten einer Finsternis zwei Umstände zusammentreffen: Es muß Neumond sein, und außerdem muß sich der Mond (ebenso wie die Sonne) in der Nähe des Knotens seiner Bahn befinden. Auf Grund jahrhundertelanger Beobachtungen der Mondbewegung weiß man, daß die Neumonde durchschnittlich nach Ablauf eines synodischen Monats, dessen Dauer 29 Tage, 12 Stunden, 44 Minuten und 5 Sekunden beträgt, aufeinander folgen und daß der Mond zu dem gleichen Knoten jeweils nach Ablauf eines drakonitischen Monats zurückkehrt, der 27 Tage, 5 Stunden, 5 Minuten und 36 Sekunden währt.

Nach Ablauf eines Zeitraums, in dem die Zahl der synodischen und der drakonitischen Monate aufgeht, gelangen der Mond, die Sonne und die Knoten wieder in die ursprüngliche Lage zueinander, und alle Finsternisse, die im Verlauf dieses Zeitraumes stattgefunden haben, werden sich aufs neue in der früheren Reihenfolge wiederholen. Ein solcher Zeitraum wird so bestimmt wie in der Arithmetik das kleinste gemeinsame Vielfache, der Hauptnenner. Nun sind 223 synodische Monate 6585 Tage, 7 Stunden und 43 Minuten, während 242 drakonitische Monate 6585 Tage, 8 Stunden und 34 Minuten dauern, also nur 51 Minuten länger sind. Dieser Zeitraum enthält 18 Jahre und $11\frac{1}{3}$ Tage und ist unter der chaldäischen Benennung „Saros“, was soviel wie Wiederholung bedeutet, bekannt. Schon vor mehr als zweieinhalbtausend Jahren wußten in Griechenland und Chaldäa die Gelehrten und Priester vom Bestehen des Saros und sagten so die Finsternisse voraus. Es genügt, die Liste aller Finsternisse im Verlauf eines Saros aufzustellen, um die

Finsternisse für eine Reihe von künftigen Sarosperioden voraussagen zu können. Es hat sich gezeigt, daß es im Verlauf eines Saros-Zyklus 43 Finsternisse gibt, von denen 15 partiell, 15 total und 13 ringförmig sind.

Zur genauen Voraussage der Finsternisse mit Angabe des Ortes und der Stunde ihrer Sichtbarkeit genügt jedoch der Saros nicht.

Die Voraussage von Finsternissen

Mit Hilfe des Saros-Zyklus kann man also eine bevorstehende Finsternis nur annähernd voraussagen; man kann den Tag angeben, den Ort aber, von dem aus sie zu sehen sein wird, nur sehr ungenau bestimmen. Den Weg, den der Mondschatten auf der Erdoberfläche nehmen wird, kann man mit Hilfe des Saros-Zyklus gar nicht bestimmen. Zur genauen Voraussage der Finsternisse war eine gewaltige jahrhundertelange Arbeit von Astronomen und Mathematikern erforderlich. Sie mußten dazu die Gesetze kennen, nach denen sich die Bewegungen der Erde um die Sonne und des Mondes um die Erde vollziehen. Betrachten wir die wichtigsten Fortschritte der Wissenschaft in dieser Richtung. Kopernikus wies in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts nach, daß die Erde sich um die Sonne bewegt, nicht aber umgekehrt. Kepler stellte Anfang des 17. Jahrhunderts drei Grundgesetze auf, nach denen die Planeten, unter ihnen auch die Erde, sich bewegen. Newton entdeckte Ende des 17. Jahrhunderts die im Weltall waltende Anziehungskraft, die die Bewegung aller Himmelskörper beeinflußt, und fand das Wirkungsgesetz dieser Kraft. Die Mathematiker des 18. und 19. Jahrhunderts entwickelten Newtons Theorie weiter und berechneten auf Grund des Gesetzes der Anziehung der Planeten durch die Sonne und untereinander die tatsächlichen Bewegungen der Planeten und des Mondes. Die Theorie allein ist jedoch ohne Kraft; sie erfordert, um die allgemeinen Bewegungsgesetze zu ergründen, auf die Bewegungen der Planeten sich beziehende Zahlenangaben zu präzisieren, Beobachtungen der Sonne und des Mondes. In dieser Hinsicht waren die Beobachtungen der Finsternisse im frühen Altertum von großem Nutzen.

Wenn ein assyrischer Chronist vermerkte, daß „während der Regierungszeit des Gouverneurs Gosan in der Hauptstadt (Ninive) im Monat Siwan ein Aufstand stattfand und die Sonne sich verfinsterte“, so können wir ersehen, daß sich also in ferner Vergangenheit der Mond so bewegte, daß sein Schatten während der erwähnten Finsternis über Ninive hinwegzog. Es gelang festzustellen, daß diese Finsternis am 15. Juni des Jahres 763 vor unserer Zeitrechnung stattgefunden hat.

Die Aufzeichnungen über Finsternisse im Altertum sind nicht nur für die Astronomie von Bedeutung, also für die genaue Feststellung der Bewegung des Mondes und der Sonne vor einigen Jahrtausenden, sondern auch für die Geschichte und die Zeitrechnung. Die einzelnen Völker sind nämlich bei ihrer Zeitrechnung von verschiedenen, für ihr Leben bedeutsamen Ereignissen ausgegangen. So zählte man in China zum Beispiel nach Kaiserdynastien, im alten Rom begann man die Zeitrechnung mit der Gründung der Stadt Rom, und im alten Griechenland zählte man nach Olympiaden. Die Monate und Tage wurden auch auf verschiedene Art, und anders als in unserem heutigen Kalender, gezählt. Es wäre unmöglich, sich in diesem Wirrwarr zurechtzufinden und alle in den Chroniken erwähnten Ereignisse auf unsere heutige Zeitrechnung zu übertragen, wenn uns die Hinweise auf die Finsternisse im Altertum nicht helfen würden. So ist aus der alten Geschichte bekannt, daß in dem ersten Jahr des Peloponnesischen Krieges zwischen Sparta und Athen um die Vorherrschaft in Griechenland eine ringförmige Sonnenfinsternis stattfand. Die Astronomen stellten fest, daß in jener Zeit nur eine ringförmige Sonnenfinsternis in Griechenland sichtbar gewesen ist, und zwar am 3. August 431 vor unserer Zeitrechnung. Daraus konnte man schließen, daß der Peloponnesische Krieg im Jahre 431 vor unserer Zeitrechnung begonnen hat.

Im Hinblick auf die Bedeutung der Finsternisse für die Astronomie und die Geschichte wurden am Ende des vorigen Jahrhunderts alle Sonnen- und Mondfinsternisse vom Jahre 1207 vor unserer Zeitrechnung bis zum Jahre 2161 unserer Zeitrechnung, insgesamt 8000 Sonnen- und 5200 Mondfinsternisse, errechnet. Die Sichtbarkeitslinien der totalen und ringförmigen Finsternisse werden auf Karten eingetragen, aus denen zu ersehen ist, wie die Sichtbarkeitsgrenzen der Finsternisse verlaufen.

Für die in russischen Chroniken erwähnten Finsternisse wurden genaue Berechnungen und Karten von M. A. Wiljew aufgestellt. So lesen wir zum Beispiel in der Ipatjew-Chronik über die Finsternisse, von der im Igorlied die Rede ist: „Swjatoslawitsch Igor, Enkel des Oleg, verließ Nowgorod am 23. Tage des April, einem Dienstag, mit seiner Mannschaft. Als er zum Fluß Donez kam, sah er in der Abendstunde zum Himmel und erblickte die Sonne, die wie der Mond stand; er sagte seinen Rittern und Mannen: ‚Seht, was ist das für eine Erscheinung?‘“ Aus den Karten Wiljews ist ohne Schwierigkeiten zu ersehen, daß von der Finsternis am 1. Mai 1185 die Rede ist, die tatsächlich in den Abendstunden beobachtet wurde. Sie war total in Nowgorod, Wologda und Jaroslawl. Igor war zu jener Zeit am Donez, wo die Finsternis zwar partiell, aber sehr auffällig stattfand. Die Worte des Chronisten „die Sonne, die wie der Mond stand“, das heißt also sichelförmig, beschreiben sehr genau diese Erscheinung.

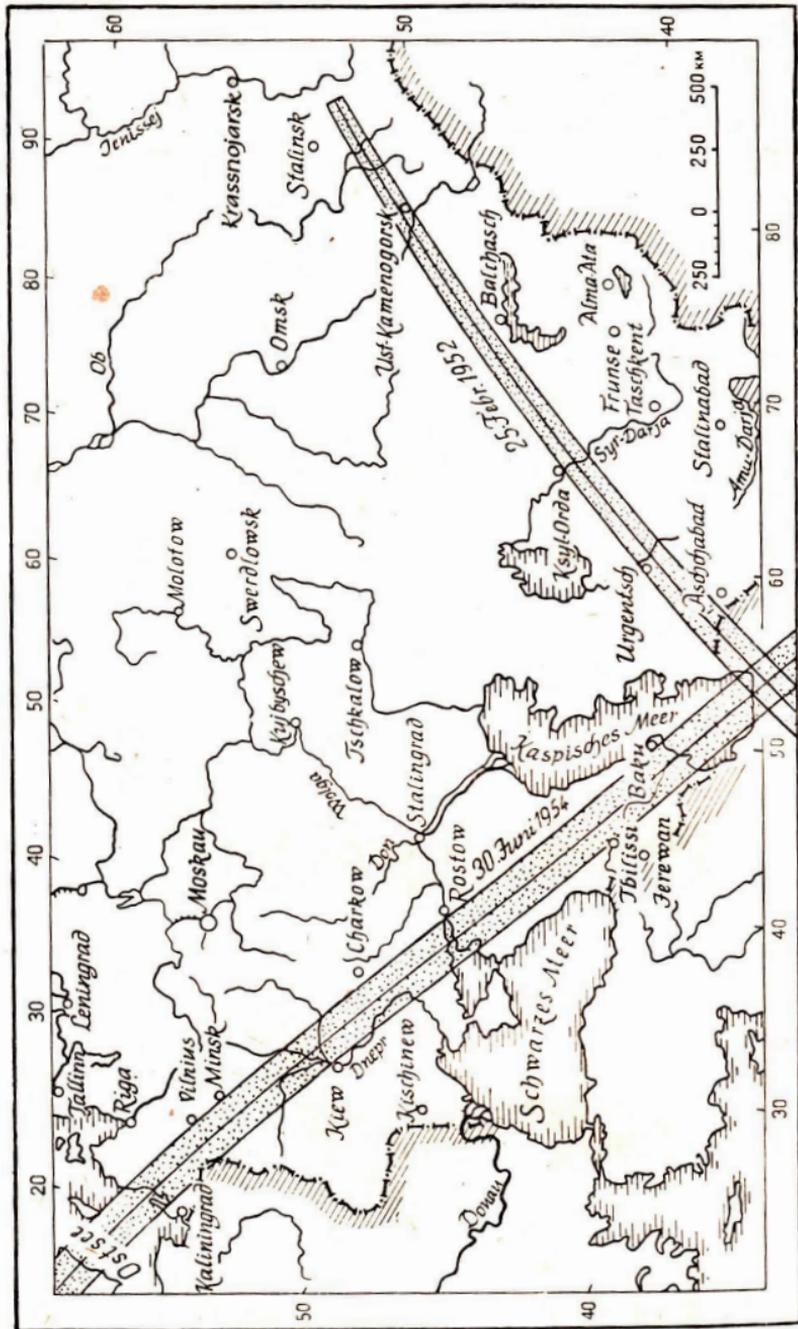


Abb. 7. Karte der Sichtbarkeit der totalen Sonnenfinsternisse am 25. Februar 1952 und am 30. Juni 1954.

Mit Hilfe der gleichen Karten kann man weiter feststellen, daß über Moskau in den letzten tausend Jahren totale Finsternisse am 11. August 1124 und am 20. März 1140 stattgefunden haben, obgleich in den Chroniken das Wort „Moskau“ noch nicht genannt wurde; sodann am 7. Juni 1415 und am 25. Februar 1476. Die nächste totale Finsternis wird in Moskau am 16. Oktober 2126 sichtbar sein. Aber seit 1476 gab es in der Nähe von Moskau viele Finsternisse, und bis 2126 werden dort noch viele totale Finsternisse zu beobachten sein. So wurde zum Beispiel die totale Finsternis vom 19. August 1887 in den nördlichen Vorstädten beobachtet.

Wir haben aber noch immer nicht erklärt, wie nun Finsternisse genau vorausgesagt werden können. Nachdem mit Hilfe des Saros-Zyklus der von einer Finsternis begleitete Neumond gefunden ist, wird für jede der vier dem Neumond vorangehenden und auf den Neumond folgenden Stunden berechnet, in welcher Richtung und Entfernung sich Sonne und Mond von der Erde befinden werden. Das geschieht mit Hilfe besonderer Tafeln, die auf der Grundlage der ausgearbeiteten mathematischen Theorie und der seit mehr als 200 Jahren vorgenommenen Beobachtungen der Sonne und des Mondes und unter Berücksichtigung der Finsternisse im Altertum zusammengestellt wurden. Nachdem die Richtung und Entfernung festgestellt ist, berechnet man den Verlauf des Mondschattens, auf welchen Ort der Erde der Schatten fallen und wie er sich über die Erdoberfläche bewegen wird. Mit Hilfe mathematischer Berechnungen verfolgt man die Bewegung des Schattens und des Halbschattens und trägt sie auf eine geographische Karte ein. Wenn man eine bestimmte Stadt oder einen bestimmten Ort auf der Erde auswählt, so kann man berechnen, wann der Mondschatten dorthin gelangen und wann also dort eine Finsternis eintreten wird, wie weit dieser Ort überschattet wird und wie lange die Finsternis anhält.

Diese Berechnungen erfordern sehr viel Arbeit. Es genügt zu sagen, daß man für die genaue Voraussage der Finsternis am 9. Juli 1945 allein für das Territorium der UdSSR ungefähr 200 Seiten mit etwa 300 000 kleinen Ziffern beschreiben mußte. So wurde ermittelt, wo, wann und wie diese Finsternis sichtbar sein würde. Fast ebensoviel Mühe kostete die Berechnung der in der UdSSR sichtbaren Finsternisse der Jahre 1952 und 1954 (siehe Abb. 7).

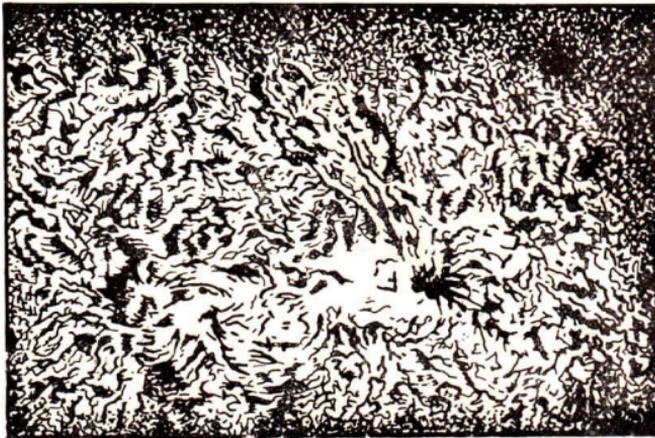
Die Genauigkeit, mit der der Augenblick des Beginns und des Endes der totalen oder partiellen Finsternis für einen bestimmten Ort vorausgesagt wird, ist in der Tat verblüffend, die Abweichung in der Zeitberechnung beträgt höchstens drei bis vier Sekunden, während die Abweichung der Lage des Mondschattens auf der Erde selten einen Kilometer übersteigt. Ein großer Teil dieser Fehler erklärt sich nicht aus der Ungenauigkeit der Berechnung, sondern daraus, daß man bei der

Zusammenstellung der bereits erwähnten Tabellen annahm, die Erdkugel drehe sich vollkommen gleichmäßig um sich selbst. Es zeigte sich aber, daß die Geschwindigkeit der Erdumdrehung zeitweilig aus noch nicht geklärten Ursachen gewisse Veränderungen aufweist, die auf unsere Zeitmessung einwirken, da wir die Angaben der Uhr auf die Erdumdrehung abstimmen. Die Berechnung der Finsternisse erfolgt unter der Voraussetzung, daß die Erdumdrehung völlig gleichmäßig ist; daher ergibt sich der erwähnte Unterschied von einigen Sekunden. So hilft die Beobachtung der Finsternisse, das heißt die genaue Bestimmung des Zeitpunktes der totalen oder partiellen Finsternis, interessante Eigentümlichkeiten der Erdumdrehung festzustellen, die vielleicht mit Erdbeben oder anderen Naturkatastrophen zusammenhängen.

Die Beobachtung totaler Sonnenfinsternisse

Um eine totale Sonnenfinsternis zu beobachten, reisen wissenschaftliche Expeditionen rechtzeitig in die betreffende Gegend. Wir wollen uns nun über die Beobachtungen unterhalten, die während totaler Sonnenfinsternisse angestellt werden und große wissenschaftliche Bedeutung haben. Dazu müssen wir uns jedoch zunächst mit einigen Erscheinungen beschäftigen, die auf der Sonne vor sich gehen.

Bei der Beobachtung der Sonne durch ein Fernrohr mit dunklen Gläsern zeigt sich, daß ihre Oberfläche nicht gleichmäßig hell, sondern überall von kleinen Narben und dunklen Tupfen bedeckt ist, die sich ständig bewegen und verändern. Diese so winzig erscheinenden Punkte haben in Wirklichkeit Ausmaße von 500 bis 1000 Kilometern. Zuweilen



*Abb. 8.
Wirbel glühenden
Wasserstoffes um
Sonnenflecken.*



Abb. 9. Sonnenprotuberanzen.

kommt es vor, daß ein dunkler Tupfen wächst und zu einem großen dunklen Fleck wird. Ein solcher Fleck, der manchmal weit größer ist als die Erdkugel, kann einige Tage, Wochen und oft sogar Monate bestehen. Danach löst er sich auf oder zerfällt in mehrere Teile, die dann schließlich auch verschwinden. Es ist festgestellt worden, daß die Zahl der Sonnenflecke alle elf Jahre zunimmt und sich dann wieder verringert, um nach weiteren elf Jahren wiederum größer zu werden. Weiter wurde beobachtet, daß es auf der Sonne keine feste Oberfläche wie auf der Erde und dem Mond gibt; sie besteht vielmehr aus glühenden Gasen, die an der Oberfläche eine Temperatur bis zu 6000 Grad aufweisen. Im Mittelpunkt der Sonne schätzt man die Temperatur auf 20 Millionen Grad. Die Gase an der Außenschicht der Sonne bestehen hauptsächlich aus Wasserstoff, dem leichtesten aller Stoffe, aus Helium, über das wir noch ausführlicher sprechen werden, aus glühenden Dämpfen des Metalls Kalzium und anderen. Manchmal entstehen in diesen Gasen Strudel oder Wirbel (siehe Abb. 8) in der Art der Windhose, wie wir sie auf unserer Erde kennen.

In diese Wirbel werden Gase aus den höheren und folglich auch kühleren Schichten der Sonnenatmosphäre hineingezogen; dadurch geht eine örtliche Abkühlung vor sich. Die Temperatur fällt von 6000 auf 4500 Grad. Eine solche Stelle erscheint uns im Vergleich zu den sie umgebenden Gasen dunkel und bildet dann den Sonnenfleck.

Die Gase der Sonnenatmosphäre sind nicht vollständig miteinander vermischt, wie zum Beispiel Stickstoff und Sauerstoff in der Lufthülle der Erde. In der Sonnenatmosphäre schweben die Gase in einzelnen Wolken. Die Ausmaße dieser Wolken sind nicht nur gewaltig im Vergleich zu unseren Wolken, sondern oft sind sie sogar größer als unsere ganze Erde. An einigen Stellen sammeln sich auf der Sonne diese Wolken an, nehmen ungeheure Räume ein und steigen sehr hoch. Es gibt Wolken, die durch mächtige Explosionen aus den tieferen Schichten der Sonne Zehntausende und Hunderttausende von Kilometern hochgeschleudert werden (siehe Abb. 9).

Wenn die Explosion in der Nähe des Sonnenrandes erfolgt, kann sie als feurige Fontäne beobachtet werden, die manchmal recht merkwürdige Formen annimmt und über den Sonnenrand hinaustritt, deshalb wird sie auch Protuberanz genannt.

Wir haben eben gesagt, diese Fontänen können beobachtet werden. Wenn wir aber durch das stärkste und beste Fernrohr schauen (natürlich durch dunkle Gläser geschützt, um den Augen nicht zu schaden) oder die Sonne mit dem vollkommensten photographischen Apparat aufnehmen, so werden wir nur dunkle Flecken und kleine Tupfen auf ihr feststellen. Weder Wolken aus verschiedenen Gasen noch Protuberanzen und Ausbrüche können wir entdecken. Erst durch die Beobachtungen der Sonnenfinsternisse konnte das erforscht werden.

Die glühenden Wolken und Protuberanzen auf der Sonne haben eine geringere Temperatur als die unter ihnen liegenden tieferen und darum heißeren Schichten. Auf der Sonne gibt es, wenn auch aus anderen Ursachen, die gleichen Erscheinungen wie auf der Erde; je höher, desto kälter.

Es ist uns bekannt, daß die Leuchtkraft eines glühenden Körpers vom Grad seiner Erhitzung, das heißt von der Temperatur, abhängt. So erscheint uns bei der verhältnismäßig niedrigen Temperatur von 700 bis 800 Grad ein Stück Eisen dunkelrot, über 800 Grad wird es gelb, und bei 1000 Grad tritt Weißglut ein. Nach einem wohlfundierten und erprobten physikalischen Gesetz kann man also aus der Leuchtkraft auf die Temperatur, umgekehrt aus der Temperatur auf die Helligkeit und das Licht eines erhitzten Stoffes schließen.

Die glühende Oberfläche der Sonne, Photosphäre genannt, hat eine Temperatur von etwa 6000 Grad und ist darum von einer blendenden Helligkeit. Die höher liegenden Gaswolken und Protuberanzen sind nur auf 4500 bis 5000 Grad erhitzt; sie leuchten viel schwächer und sind auf dem Hintergrund der strahlenden Photosphäre oder des lichten Tageshimmels am Sonnenrand vollkommen unsichtbar.

Wir wissen, daß der klare Himmel am Tage eine dunkelblaue Farbe hat und daß die Sterne auf ihm nicht sichtbar sind, während der Himmel nachts schwarz und von zahllosen Sternen übersät ist. – Woher kommt nun dieser dunkelblaue Farbton? Die Erdkugel ist von Luft umgeben. Am Tage wird diese Luft von der Sonne beleuchtet; sie zerstreut die Sonnenstrahlen, sendet sie in alle Richtungen und scheint uns deshalb hell. Im weißen Sonnenlicht sind alle Regenbogenfarben enthalten. Die Luft zerstreut aber violette und blaue Strahlen stärker als rote und gelbe, die sie fast ungehindert hindurchläßt. Aus diesem Grunde hat die Luft eine blaue Farbe, und die Sonne erscheint uns gelb oder beinahe rot, wenn wir sie abends in der Nähe des Horizonts durch dichte Schichten der Erdluft erblicken.

Am Tage sehen wir keine Sterne, und doch sind sie am Himmel. – Wie kommt das? Das schwache Licht der Sterne wird durch die hell erleuchtete Luft überstrahlt. Mit gewaltigen Fernrohren, die das Licht der Sterne verstärken, kann man sie übrigens auch am Tage sehen. Nachts ist die Luft dunkel, und wir können fast ungehindert das schwache Sternenlicht erkennen. – Wenn also Sonnenprotuberanzen auch nachts beobachtet werden könnten, so hätten wir keine Schwierigkeiten, sie am nächtlichen Himmel zu sehen. Am Tage jedoch wird ihr schwaches Licht durch das Licht des hellen Himmels, also der von der Sonne erleuchteten Luft, aufgesogen.

Man könnte denken, die Protuberanzen müßten zu erkennen sein, wenn die leuchtende Sonne mit einer undurchsichtigen Scheibe verdeckt würde, so daß sie das Auge nicht blendet. Das ist jedoch ein Irrtum, denn wenn wir auch unser Auge vor der direkten Wirkung der Sonnenstrahlen schützen, so erhellen sie doch die Luftschicht um unsere Erde. Sie bleibt erleuchtet und erlaubt es nicht, die schwachen Protuberanzen am Sonnenrande zu erkennen. Um sie zu beobachten, müßte man die Sonne nicht unmittelbar am Auge, sondern jenseits der Erdatmosphäre verdecken, damit nicht nur unser Auge, sondern vor allem die Luft gegen die Sonnenstrahlen abgeschirmt ist. Dann würde sich der Himmel fast wie in der Nacht oder am späten Abend verfinstern, und man könnte tatsächlich die nähere Umgebung der Sonne beobachten.

Das, was wir soeben beschrieben haben, geschieht auch in Wirklichkeit: Der Mond verdeckt die Sonne während einer totalen Sonnenfinsternis. Er ist gerade groß genug, die Sonnenscheibe abzuschirmen, kann aber ihre Umgebung nicht mehr verdecken und läßt alles offen, was den Sonnenball umgibt. Leider bewegt sich diese „Abdeckplatte“ zu schnell weiter und läßt uns nicht viel Zeit, die Vorgänge im Umkreis der Sonne zu beobachten. Wir wissen, daß die totalen Finsternisse infolge der raschen Bewegung des Mondes nicht länger als acht Minuten dauern, ja, daß sie meist sogar nur zwei bis drei Minuten oder noch kürzere Zeit anhalten. Darum muß man sich lange und sorgfältig auf die Beobachtung totaler Sonnenfinsternisse vorbereiten, um diese kostbaren Minuten möglichst nutzbringend und vielseitig auszunutzen.

Was ist bei einer totalen Sonnenfinsternis in der Umgebung der Sonne zu sehen?

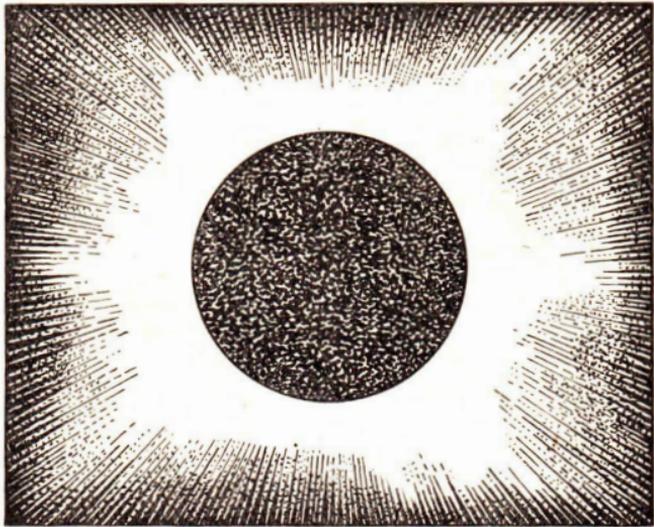
Bei aufmerksamer Betrachtung einer totalen Sonnenfinsternis, besonders mit Hilfe eines Fernglases oder Fernrohres, kann man großartige Erscheinungen feststellen, die von einem Astronomen, der die

Finsternis vom 8. Juli 1842 aus dem Fenster beobachtete, wie folgt beschrieben worden sind:

„Im Augenblick des Eintritts der totalen Sonnenfinsternis war ich überrascht von den lauten Begeisterungsrufen, die von der Straße heraufdrangen, und im gleichen Augenblick sah ich eine der bemerkenswertesten und großartigsten Erscheinungen, die man sich nur vorstellen kann. In diesem Moment war der dunkle Körper des Mondes plötzlich von einer Korona, von einem Strahlenschein umgeben . . . Ich hatte das Auftreten eines hellen Ringes um den Mond während der totalen Finsternis erwartet, nahm aber nicht an, Augenzeuge eines so großartigen Schauspiels zu werden. Die Breite der Korona, um den Mondrand schien mir fast dem Halbmesser des Mondes gleichzukommen. Es war ein Bild leuchtender Strahlen, ihr Licht war vollkommen weiß. . . Diese Erscheinung war so großartig und überwältigend und mußte bei jedem Beschauer Entzücken hervorrufen . . . Das bemerkenswerteste Ereignis aber war das Auftreten von drei großen Protuberanzen, die vom Rande des Mondes auszugehen schienen, in Wirklichkeit jedoch einen Teil der Korona bildeten. Diese Protuberanzen waren rosa gefärbt und ließen sich leicht von dem reinen weißen Licht der Korona selbst unterscheiden. Alle drei Protuberanzen waren bis zum letzten Augenblick der totalen Finsternis sichtbar. Als aber der erste Lichtstrahl der Sonne erschien, verschwanden sie sofort gemeinsam mit der Korona, und das Tageslicht überflutete alle die Erscheinungen.“

Die Sonnenkorona und die Protuberanzen stellten seit jener Zeit den Hauptgegenstand der Beobachtungen und Forschungen der Gelehrten dar. In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde ein hervorragendes Beobachtungsverfahren erfunden, das auf der Zerlegung des Lichts in seine Bestandteile beruht. Das weiße Licht, das durch ein geschliffenes Prismenglas fällt, zerfällt in sieben Regenbogenfarben. Den Regenbogenstreifen, Spektrum genannt, kann man sehen, indem man ihn auf eine weiße Fläche fallen läßt oder ihn durch eine Konvexlinse beobachtet. Es zeigt sich, daß die Verteilung der Regenbogenfarben im Spektrum (ihre Helligkeit und die Lage der dunklen und hellen Linien) von verschiedenen Bedingungen abhängt, nämlich davon, welcher Körper oder Stoff das Licht ausstrahlt, wie hoch die Temperatur der Lichtquelle ist, welche Stoffe sich in glühendem Zustand in der Lichtquelle befinden und welche Stoffe das Licht auf seinem Wege durchdringt.

Bei der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 18. August 1868 wurde festgestellt, daß die Protuberanzen kein weißes Licht ausstrahlen, das alle Regenbogenfarben in sich enthält, sondern nur Strahlen von Tönungen, wie sie von erhitztem Wasserstoffgas und von glühenden Kalziumdämpfen ausgehen. Daraus konnte man auf die chemische



*Abb. 10. Ansicht
einer Sonnenkorona.*

Zusammensetzung der Protuberanzen schließen. Außer den Strahlen des Wasserstoffs und Kalziums wurden noch helle gelbe Strahlen entdeckt, die von keinem der auf der Erde bekannten Stoffe herrühren konnten. Man schloß daraus, daß auf der Sonne ein für uns neuer Stoff vorhanden war, den man Helium nannte (Helios kommt aus dem Griechischen und bedeutet Sonne). Viele Jahre später, im Jahre 1894, wurde Helium auf der Erde entdeckt. Es ist ein nicht brennbares und sehr leichtes Gas, das in bezug auf die Leichtigkeit nur vom Wasserstoff übertroffen wird.

Die von den Sonnenprotuberanzen ausgehenden Strahlen erwiesen sich als so hell, daß die Hoffnung bestand, sie auch ohne Finsternis zu sehen. Dazu aber durfte man sie nicht einfach mit dem Auge suchen, auch wenn man ein starkes Fernrohr zu Hilfe nahm, sondern mußte außer dem Fernrohr noch einen Prismenapparat (Spektroskop) verwenden, denn die Sonnenprotuberanzen senden nur Strahlen aus, deren Tönung ihren Gasen eigen ist. So sendet zum Beispiel der in ihnen enthaltene Wasserstoff hellrote Strahlen. Der helle Hintergrund des Himmels weist alle möglichen Farben auf, und in diesem Wirrwarr würden sich natürlich die roten Strahlen der Protuberanzen verlieren. Das Prisma des Spektroskops ermöglicht es uns, aus all diesen Farben nach Wahl eine Farbe herauszutrennen. Wenn wir die roten Strahlen wählen, die vom Wasserstoff ausgehen, so fällt das Protuberanzenlicht dieser

Färbung ohne Schwächung auf unser Auge. Das Licht des Himmels aber wird in dem gleichen Maße abgeschwächt, in dem die ausgesandten, aber nicht mehr in unser Auge gelangenden Strahlen die durch das Prisma abgesonderten roten Strahlen an Intensität übertreffen.

So wurde es möglich, nicht nur Protuberanzen am Sonnenrand zu sehen und sogar zu photographieren, sondern auch die Verteilung der glühenden Wolken verschiedener Stoffe auf der Sonne selbst zu beobachten. Allmählich lernte man, die in der Sonnenatmosphäre in verschiedenen Höhen schwebenden Wolken zu finden und nicht nur die Zusammensetzung der Stoffe zu bestimmen, sondern sogar festzustellen, welche Mengen dieser Stoffe die betreffende Wolke bilden.

Über den Schichten der Sonnenatmosphäre, in denen die beschriebenen Erscheinungen beobachtet werden, befindet sich die Sonnenkorona. Das ist der äußere, verdünnte Teil der Sonnenatmosphäre, der die Sonne mit einem weißen strahlenden Schein umgibt (siehe Abb. 10).

Der innere, hellere und dichtere Teil der Korona geht in bizarre Strahlen über, die oftmals das Aussehen von Blütenblättern haben und eine Länge von mehr als 1 Million Kilometern erreichen. Der Astronom A. P. Hansky am Pulkowo-Observatorium entdeckte, daß der Gesamtanblick der Sonnenkorona sich mit der Zahl der Sonnenflecken verändert.

Die Korona selbst besteht aus Gasen; darunter befinden sich infolge hoher Temperatur gasförmig gewordenes Eisen sowie Staub und kleinste elektrische Teilchen.

Der Einfluß der Sonnenerscheinungen auf die Erde

Meteorologen sind Wissenschaftler, die das Wetter eingehend beobachten, um es voraussagen zu können. Zu diesem Zweck beobachten sie die Erscheinungen in der Erdatmosphäre, die das Wetter bestimmen: die Temperatur, den Wind, die Niederschläge und die Wolkendecke. Die Astronomen dagegen studieren während der Finsternisse die Erscheinungen in der Sonnenatmosphäre. Man kann sagen, daß sie das Wetter auf der Sonne erforschen. Diese Tätigkeit ist weit komplizierter, weil dort die Zusammensetzung der Atmosphäre verschiedenartiger ist und ihre Mächtigkeit die der Erdatmosphäre bedeutend übertrifft. Warum studiert man nun das Wetter auf der Sonne? Es ist erwiesen, daß das Sonnenwetter, das heißt die in der Sonnenatmosphäre vor sich gehenden Bewegungen, nicht nur das Wetter auf der Erde beeinflusst, sondern auch auf viele andere Erscheinungen auf der Erde einwirkt.

Wissenschaftler haben festgestellt, daß auf der Sonne von Zeit zu Zeit gewaltige Explosionen und Ausbrüche stattfinden, bei denen große

Mengen glühender Gase aus dem heißen Innern der Sonne geschleudert werden. Zu diesen Zeiten werden auch erhebliche Veränderungen der magnetischen und elektrischen Eigenschaften der Erde beobachtet. Die Kompaßnadel beginnt auszuschlagen, die Arbeit der Telegraphenapparate und der telephonischen Fernleitungen verschlechtert sich, ja wird sogar manchmal gänzlich unterbrochen, und die Rundfunksendungen werden empfindlich gestört. Vermutlich wirken sich diese Explosionen auf der Sonne auch auf die Bewegung der Luft in der Erdatmosphäre aus, so daß das Wetter dadurch starken Veränderungen hervorgerufen sein kann. Mit den Sonnenerscheinungen hängt auch das Nordlicht zusammen, das in der Regel im hohen Norden und im äußersten Süden beobachtet wird und eine Folgeerscheinung elektrischer Entladungen in den oberen Schichten der Erdatmosphäre ist.

Die Sonne sendet aber nicht nur Licht und Wärme zur Erde, sondern sie stößt auch Ströme kleinster Teilchen aus, die in die Erdatmosphäre eindringen und hier eine Reihe elektrischer Erscheinungen hervorrufen. Die Strahlen der Sonnenkorona stellen den Anfang dieser Ströme oder Ausflüsse dar, und es konnte festgestellt werden, daß ungefähr 24 Stunden vergehen, bis die von der Sonne ausgestoßenen Teilchen zur Erde gelangen. Auf diese Weise war man auch in der Lage, ihre Geschwindigkeit zu errechnen. Sie fliegen mit einer Geschwindigkeit von etwa 1600 Kilometern in der Sekunde. Die Schnelligkeit ist ungeheuer, aber immer noch wesentlich geringer als die größte in der Natur bekannte Geschwindigkeit, die des Lichts, die 300 000 Kilometer in der Sekunde beträgt. Ein Lichtstrahl braucht 8 Minuten und 20 Sekunden, um den Weg von der Sonne bis zur Erde zurückzulegen.

Die von der Sonne ausgesandten Teilchen, die man Korpuskeln nennt, werden während einer durch den Mond hervorgerufenen Finsternis aufgehalten. In ihrem Strom bildet sich eine Art Schatten, der jedoch wegen der unterschiedlichen Geschwindigkeit an anderen Orten auf die Erde fällt als der Schatten von Lichtstrahlen. Eine solche „korpuskulare“ Finsternis verläuft also an einem anderen Ort und zu anderer Zeit als die gewöhnliche Finsternis. Je langsamer der Strom von Korpuskeln fließt, desto stärker unterscheidet sich die korpuskulare Finsternis in Ort und Zeit von der gewöhnlichen Finsternis.

Bei der Beobachtung der korpuskularen Finsternis kann man die Geschwindigkeit und Eigenart dieser Teilchen feststellen. Zu ihrer Beobachtung sind jedoch ganz andere Methoden notwendig als für eine gewöhnliche Finsternis, die schon mit bloßem Auge wahrgenommen wird, während das bei der korpuskularen Finsternis nicht der Fall ist. Man kann sie nur indirekt feststellen, und zwar auf folgende Weise: Durch einen Rundfunksender wird ein Strahl von Radiowellen in die Höhe gesandt. Dieser Strahl trifft gewöhnlich in einer Höhe von etwa

220 Kilometern über der Erde auf eine durch fliegende Korpuskeln elektrisierte Schicht, von der die Radiowellen wie von einem Spiegel zurückgeworfen werden; das kann durch einen in der Nähe aufgestellten Empfänger festgestellt werden. Wo ein korpuskularer Schatten vorhanden ist, verschwindet die elektrische Ladung der Luftschicht, und die Radiowellen werden nicht mehr zurückgeworfen; sie gelangen in den Weltenraum und können durch unseren Empfänger nicht mehr wahrgenommen werden. Untersuchungen dieser Art wurden während der letzten Finsternisse vorgenommen; sie vermitteln uns wichtige Erkenntnisse für die Verbesserung der Radiotechnik.

Die Ablenkung der Lichtstrahlen

Wir gehen gewöhnlich davon aus, daß sich das Licht gradlinig ausbreitet. Um die Qualität eines Lineals zu prüfen, blicken wir mit einem Auge an der Kante entlang und stellen leicht fest, ob sie eine Krümmung aufweist. Auf dem glatten Prinzip des Lichts beruhen alle Zielvorrichtungen, vom einfachen Visier beim Gewehr bis zu den komplizierten Geräten bei der Artillerie und bei Unterseebooten.

Der bekannte Gelehrte Einstein berechnete jedoch im Jahre 1923, daß die Lichtstrahlen, wenn sie an einem schweren Körper vorbeigehen, auf ihrem Wege eine Krümmung erfahren, als ob sie von diesem Körper angezogen würden.

Aber nur theoretisch konnte diese Krümmung ermittelt werden, denn sie ist so winzig, daß sie bei den Körpern, mit denen wir es auf der Erde zu tun haben, experimentell nicht nachgewiesen werden kann. Nur wenn das Licht an einem Körper vorbeifließt, der so schwer ist wie die Sonne, macht sich die Krümmung bemerkbar. Wie ist sie aber zu erkennen? Nur bei totalen Sonnenfinsternissen ist das möglich. Dann sind in der Umgebung der verfinsterten Sonne am dunklen Himmel Sterne sichtbar, die millionenmal weiter als die Sonne von uns entfernt sind, deren Licht jedoch, ehe es die Erde erreicht, unmittelbar an der Sonne vorbeigeht. Weil ihre Lichtstrahlen durch die Wirkung der Sonne eine Krümmung erfahren, so erscheinen uns die Sterne gegenüber ihren sonstigen Standorten ein wenig verschoben. Berechnungen haben ergeben, daß die größten Veränderungen sich in der Position eines solchen Sterns ergeben müßten, dessen Lichtstrahlen den Sonnenball streifen. Die Positionsveränderung eines solchen Sterns würde $1\frac{1}{3}$ Bogensekunden betragen, was der Dicke eines Groschens, aus einer Entfernung von 150 Metern betrachtet, gleichkommt. Das Licht eines solchen Sterns müßte jedoch unmittelbar am Rand des Sonnenballs vorbeistreichen

und könnte folglich nicht beobachtet werden. Im besten Falle kann man im Licht der Korona einen Stern feststellen, der etwa einen scheinbaren Mondhalbmesser weit vom Sonnenrand entfernt ist. Die Veränderung in der Position eines solchen Sterns würde nur halb so groß sein. Diese Theorie konnte zum ersten Male während der totalen Finsternis vom 29. Mai 1919 geprüft werden. Bei sieben sonnennahen Sternen wurde eine Positionsveränderung festgestellt, die mit der von Einstein theoretisch ermittelten fast genau übereinstimmte. Seit jener Zeit wurde „die Einsteinsche Ablenkung“ des Sternenlichts während der Finsternisse in Australien 1922, auf Sumatra 1929 und von der sowjetischen Expedition im Fernen Osten 1936 beobachtet. Das Schutzhaus mit dem Instrument, das zur Beobachtung der Lichtablenkung in der Nähe der Sonne durch die sowjetische Expedition im Jahre 1936 verwendet wurde, zeigt Abbildung 11.

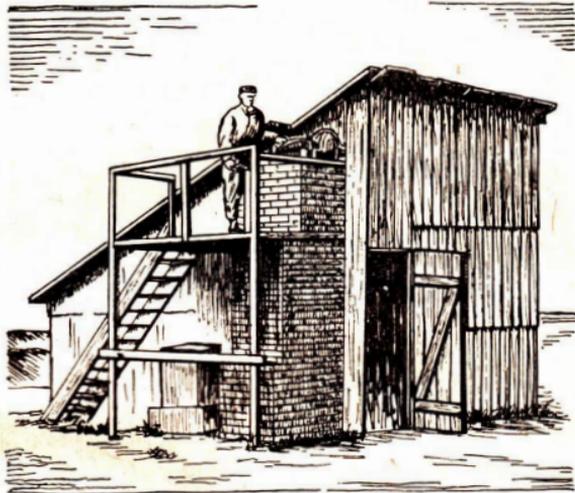


Abb. 11. Schutzhaus mit dem Instrument zur Beobachtung der Lichtablenkung während einer totalen Sonnenfinsternis.

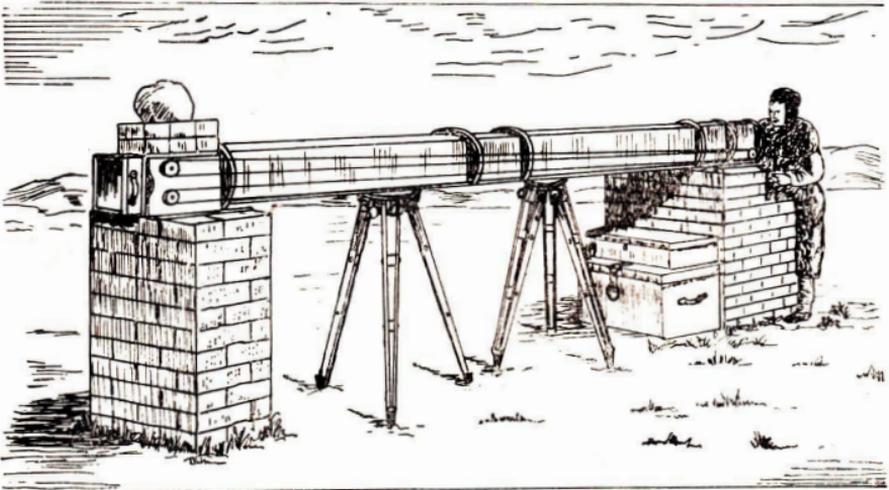
Die letzten Beobachtungen ergaben bedeutend größere Positionsveränderungen, als die Theorie von Einstein annimmt. Worauf das beruht, ist vorläufig noch unbekannt. Um so interessanter ist es für die Wissenschaft, die Positionsveränderungen zu prüfen und während der künftigen Finsternisse ihre Größe genau zu ermitteln.

Wie die Wissenschaftler die Sonnenfinsternisse beobachten.

Die meisten Beobachtungen werden jetzt mit Hilfe der Photographie durchgeführt. Das ist verständlich, denn die Photographie ermöglicht es, innerhalb von wenigen Sekunden viele Einzelheiten festzuhalten. Alle diese Einzelheiten könnte man nur in einer wesentlich längeren Zeit, als sie dem Beobachter zur Verfügung steht, mit dem Auge wahrnehmen und im Gedächtnis behalten. Die Gesamtdauer einer totalen Finsternis beträgt ja nur wenige Minuten. Die während der Finsternis gemachten Lichtbildaufnahmen können später eingehend studiert und nach allen Richtungen hin ausgewertet werden.

Die photographischen Apparate, mit denen die Finsternis aufgenommen wird, sind mehrere Meter lang (siehe Abb. 12), um genügend große Aufnahmen machen zu können. Wenn zum Beispiel der Photoapparat fünf Meter lang ist, so hat trotzdem die Sonne auf dem Bild nur einen Durchmesser von $4\frac{1}{2}$ Zentimetern. Die Arbeit kompliziert sich dadurch, daß der Apparat während der Aufnahme der Sonne entsprechend bewegt werden muß; dazu dienen besondere Uhrmechanismen und Motoren. So große Geräte erfordern eine feste Verankerung auf speziellen Steinfundamenten und müssen auch vor Witterungsschäden geschützt werden. Sie werden rechtzeitig, manchmal bereits einige Wochen vor der Finsternis, aufgestellt. Alle Arbeitsvorgänge, die von den Beobachtern auszuführen sind, werden genau eingeübt, denn während der Finsternis selbst darf man nicht erst nachdenken, wie man sich zu verhalten hat. Jeder Beobachter hat die vorher festgelegten Handgriffe unbedingt

Abb. 12. Photoapparat mit großer Brennweite für die Aufnahme der Sonnenkorona.



und genau auszuführen: Die Verschlüsse der Photoapparate müssen geöffnet und geschlossen, Platten ausgewechselt, Teile der Instrumente gedreht werden. Alles muß reibungslos nach vorher festgelegter Sekundeneinteilung vor sich gehen, und deshalb zählt meist einer der Teilnehmer laut die Sekunden.

Fast alle Beobachtungen können nur bei klarem Himmel durchgeführt werden. Eine Wolke, die sich zufällig vor die verfinsterte Sonne schiebt, kann alle Mühen zunichte machen.

Die Gelehrten, die die Finsternisse beobachten, sind so beschäftigt, ihre Aufmerksamkeit ist so sehr auf die Instrumente konzentriert, daß sie oft keine Zeit oder Möglichkeit haben, das großartige Schauspiel zu genießen. Der Verfasser dieses Büchleins hat drei totale Finsternisse miterlebt. Während der ersten Finsternis, am 29. Juni 1927, mußte er mit dem Rücken zur Sonne am Photoapparat sitzen. Er konnte die Sonnenkorona nur in dem vor ihm befindlichen Spiegel sehen, und das auch nur zehn Sekunden lang, da er sich nicht vom Instrument abwenden durfte. Während der Finsternisse am 19. Juni 1936 und am 21. September 1941 befand er sich in einem dunklen Häuschen, das einen riesigen Photoapparat darstellte, und sah so die Sonnenfinsternis natürlich auch nicht.

Um wieviel glücklicher kann sich der Beobachter schätzen, der nicht Fachastronom ist, da ihn nichts hindert, das ungewöhnliche Schauspiel der Sonnenfinsternis voll auszukosten. Man muß hier jedoch eine ernste Warnung aussprechen: Während der Teilfinsternis, wenn also ein Teil der strahlenden Sonne noch finster ist, darf man sie nicht mit dem bloßen Auge oder mit einem einfachen Fernglas betrachten. Um das Auge nicht zu schädigen, muß man es gegen die hellen Sonnenstrahlen mit dunklen Gläsern schützen, die man anfertigen kann, indem man ein gewöhnliches Glas beruht oder eine Photoplatte am hellen Tage voll belichtet.

Diese Warnung bezieht sich allerdings nur auf die Beobachtung einer partiellen Finsternis. Wenn die schmale Sichel der Sonne verschwunden und ihr letzter Strahl erloschen ist, wenn die totale Finsternis begonnen hat, kann man bedenkenlos durch ein Fernglas ohne dunkle Gläser schauen. Das schwache Licht der Korona ist für das Auge vollkommen ungefährlich.

Mondfinsternisse

Wir wollen uns nun noch den Mondfinsternissen zuwenden. Diese Erscheinungen sind von bedeutend geringerem Interesse als die Sonnenfinsternisse, und wir wollen uns darum kürzer fassen.

Es kommt vor, daß sich der Mond bei Vollmond verfinstert. Die volle helle Scheibe des Mondes beginnt am linken Rande dunkel zu werden. Die Verfinsterung breitet sich allmählich aus und erstreckt sich nach etwa einer Stunde über den ganzen Mond. Der verfinsterte Teil verschwindet nicht vollkommen wie der abgedeckte Teil der Sonne bei einer Sonnenfinsternis, sondern bleibt schwach sichtbar. Er nimmt eine matte braune oder kupferrote Tönung an, gewöhnlich mit einem schwarzblauen Saum. Der Mond bleibt also auch während der totalen Finsternis sichtbar; er wird lediglich dunkel und färbt sich bräunlich (siehe Abb. 13).

Nach einiger Zeit beginnt der linke Rand des verfinsterten Mondes sich aufzuhellen, und von hier aus beginnt er allmählich seine volle Helligkeit wiederzuerlangen.

Die ganze Art der Erscheinung deutet darauf hin, daß ein Schatten auf den Mond fällt, der von links nach rechts über ihn hinwegzieht. Der Rand dieses Schattens ist leicht abgerundet, und wenn man ihn in seinen verschiedenen Stellungen aufmerksam verfolgt, so kann man feststellen, daß er die Form einer Scheibe hat, die wesentlich größer ist als der Mond selbst.

Die Sichtbarkeit der Mondfinsternis nur bei Vollmond und die runde Form des Schattens weisen klar auf die Ursache dieser Erscheinung hin. Bei Vollmond befindet sich die Erde zwischen Mond und Sonne, wirft also in Richtung des Mondes einen Schatten. Dieser Schatten

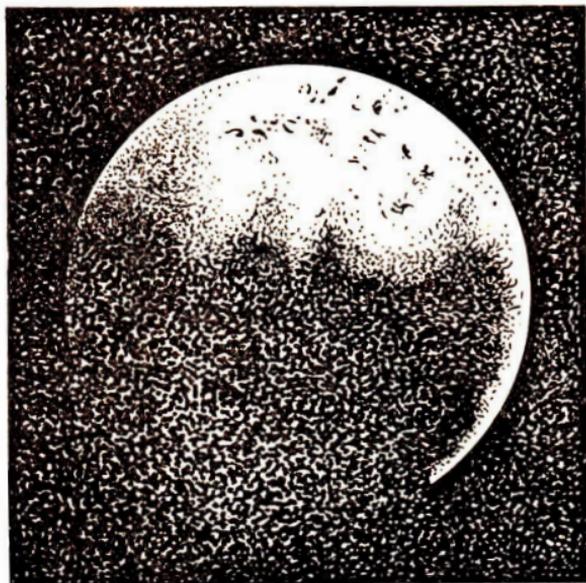


Abb. 13. Ansicht einer partiellen Mondfinsternis.

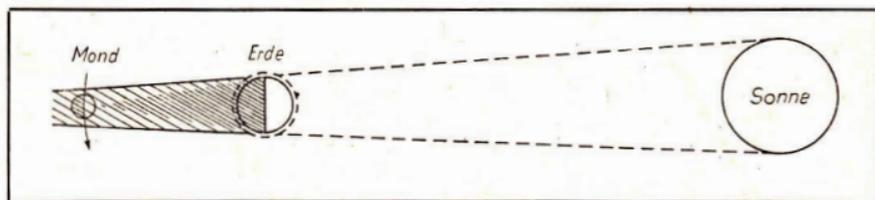


Abb. 14. Schema einer Mondfinsternis.

kann auf den Mond fallen oder, besser gesagt, der Mond kann bei seinem Lauf um die Erde in ihren Schatten geraten. Die Sonnenstrahlen werden dabei von der Erde aufgefangen und können daher den Mond nicht erreichen. Da der Mond nur sichtbar ist, wenn ihn die Sonne bescheint, er also kein eigenes Licht hat, erlischt er in dem Erdschatten, und es tritt eine Mondfinsternis ein.

Die Erde ist, wie wir wissen, im Durchmesser fast viermal größer als der Mond. Obgleich auch der Erdschatten, ebenso wie der Schatten des Mondes, der die Sonnenfinsternis hervorruft, die Form eines spitz zulaufenden Kegels hat, ist er doch in der Entfernung von der Erde, in der sich der Mond befindet, $2\frac{2}{3}$ mal größer als der Mond selbst (siehe Abb. 14).

Gelangt nun der Mond in den Erdschatten, so tritt eine totale Mondfinsternis ein, die bis zu einer Stunde und vierzig Minuten dauern kann. Der Mittelpunkt des Erdschattens verläuft mit der Erde auf der Ekliptik und vollzieht also genau wie die Erde selbst im Jahr einen vollen Umlauf. Solange der Erdschatten auf keinen Körper fällt, ist er nicht sichtbar; bis zu den Planeten reicht er natürlich nicht, da seine Länge nur etwa 1400000 Kilometer beträgt. Der der Erde nächste Planet, der Mars, ist in seiner geringsten Entfernung von der Erde immerhin noch 55 Millionen Kilometer entfernt und kann deshalb nicht verfinstert werden.

Da der Erdschatten auf der Ekliptik verläuft, können Mondfinsternisse nur bei solchen Vollmonden eintreten, bei denen der Mond sich in der Nähe der Ekliptik, das heißt in der Nähe einer seiner Knoten, aufhält. So, wie für eine Sonnenfinsternis ein Neumond in der Nähe des Knotens erforderlich ist, ist auch für eine Mondfinsternis Vollmond in der Nähe des Knotens Voraussetzung.

Das Gebiet, in dem eine partielle Mondfinsternis unumgänglich ist, erstreckt sich etwa über 10 Grad zu beiden Seiten des Knotens, umfaßt also insgesamt 20 Grad. Die Zone der totalen Finsternis ist nur halb so groß, sie umfaßt 10 Grad, je 5 Grad zu jeder Seite des Knotens. Diese Grenzen sind also enger als die für Sonnenfinsternisse, und darum sind Mondfinsternisse auch seltener.

Zwischen zwei Neumonden, und folglich auch zwischen zwei Vollmonden, vergehen $29\frac{1}{2}$ Tage. In diesem Zeitraum eilt die Sonne auf der Ekliptik etwa um 29 Grad vorwärts. Um ebensoviel bewegt sich auch der Erdschatten. Da das mehr ist als der Bereich selbst der partiellen Mondfinsternisse, kann es geschehen, daß zwei knotennahe Neumonde ohne Finsternisse verlaufen, einer vor dem Knoten und der andere dahinter. Es ist durchaus möglich, daß sich dasselbe nach einem halben Jahr wiederholt, wenn nämlich der Erdschatten zum anderen Knoten gelangt. So kann es also Jahre geben, in denen keine Mondfinsternisse stattfinden, wie es zum Beispiel 1944 der Fall war.

Mehr als eine Mondfinsternis in der Nähe eines Knotens kann nicht auftreten, und darum können innerhalb eines Jahres im Höchstfalle drei Mondfinsternisse stattfinden: eine zu Beginn des Jahres bei einem Knoten, eine zweite in der Mitte des Jahres bei dem anderen Knoten, und schließlich eine dritte am Ende des Jahres wiederum bei dem ersten Knoten. Das war im Jahre 1917 der Fall, als drei totale Mondfinsternisse, am 8. Januar, am 4. Juli und am 28. Dezember, stattfanden. Das gleiche wird im Jahre 1982 eintreten, in dem ebenfalls drei totale Mondfinsternisse stattfinden werden.

Bei der Wiederholung der Mondfinsternis spielt der gleiche Zeitraum wie bei den Sonnenfinsternissen eine Rolle, nämlich der Saros-Zyklus. Im Laufe eines Saros-Zyklus treten 28 Mondfinsternisse ein, davon 15 partielle und 13 totale; allerdings können sich diese Zahlen etwas ändern. In der auf Seite 19 erwähnten Aufzählung der Finsternisse sind für einen Zeitraum von 3368 Jahren 8000 Sonnenfinsternisse und nur 5200 Mondfinsternisse angeführt. Während sich die geringste Zahl der Sonnenfinsternisse im Jahre auf zwei beläuft, so gibt es Jahre ohne eine einzige Mondfinsternis. Im Laufe eines Jahres kann es jeweils höchstens fünf Sonnenfinsternisse und nur höchstens drei Mondfinsternisse geben.

Warum sehen wir aber trotzdem Mondfinsternisse ziemlich häufig? Die Antwort auf diese Frage ist sehr einfach: Die Hälfte aller Mondfinsternisse, die überhaupt vorkommen, können wir von jedem beliebigen Ort sehen, weil die Mondfinsternis auf der zu diesem Zeitpunkt dem Mond zugewandten Halbkugel der Erde überall sichtbar ist. Die Sonnenfinsternisse treten hingegen nur in einem verhältnismäßig begrenzten Gebiet auf und die totalen Sonnenfinsternisse sogar nur auf einem schmalen Streifen, und sehr selten verläuft dieser Streifen gerade durch den Ort, an dem wir uns befinden.

Zwischen Sonnen- und Mondfinsternissen besteht ein grundlegender Unterschied: Während der Sonnenfinsternis erlischt die Sonne nicht, sondern wird nur für uns durch den Mond verdeckt. In Wirklichkeit jedoch hört sie nie auf, Licht und Wärme auszustrahlen; nur ihr Schein

gelangt nicht zu uns. Der Mond hingegen wird während der Mondfinsternis tatsächlich dunkel, wenn nämlich der Schatten der Erde auf ihn fällt, wenn die Erde ihm die lichtpendende Sonne verdeckt. Darum tritt die Mondfinsternis überall gleichzeitig ein.

Die Mondfinsternisse werden mit der gleichen Genauigkeit wie die Sonnenfinsternisse vorausberechnet. Infolge der verwaschenen Konturen des Erdschattens ist es jedoch schwierig, ihren Beginn und ihr Ende genauer als auf ein bis zwei Minuten vorzubestimmen. Es erhebt sich nun die berechtigte Frage, warum der Mond bei totaler Mondfinsternis nicht vollkommen dunkel wird und wie sein rötlichbraunes Licht zu erklären ist. Diese Erscheinung rührt von der Wirkung der Lufthülle der Erde her. Ein gewisser Teil der Sonnenstrahlen durchdringt die Erdatmosphäre, wird in ihr gebrochen, gelangt in den Kegel des Erdschattens und fällt auf den Mond. Wir wissen, daß die Erdluft vorwiegend rote Strahlen hindurchläßt, die nun den Mond während der totalen Finsternis erreichen und ihm die bekannte braune beziehungsweise kupferrote Tönung geben. Die Menge der Strahlen, die so den Mond beleuchten, hängt von dem Wetter in jenen Teilen der Erde ab, in denen diese Strahlen die Erdatmosphäre durchdringen müssen, um an der Erde vorbei auf den Mond zu gelangen. Bei klarem Wetter können die Strahlen ungehindert durch die Luftmasse hindurchdringen, und der Mond wird hell und rot. Eine hohe Wolkendecke über der Erde fängt die Strahlen auf, die sonst durch die tiefen Teile der Atmosphäre gehen würden; die Strahlen passieren dadurch nur die oberen Luftschichten und werden schwächer gebrochen. Dann wird der Mond dunkel und nicht so rot sein wie bei klarem Wetter. Es gab Fälle, in denen der Mond bei totaler Finsternis fast völlig unsichtbar wurde.

Die Beobachtung des Mondlichts während der Finsternis und die Verteilung der verschiedenen Tönungen an ihm erlauben es, den Grad der Klarheit und die Streuung des Lichts in den verschiedenen Schichten der Erdatmosphäre zu bestimmen.

Totale Sonnenfinsternisse vom Jahre 1950 bis zum Jahre 2000

Mitte der totalen Finsternis in Mitteleuropäischer Zeit			Längste Dauer der totalen Finsternis in Min.	Wo wird die totale Finsternis sichtbar sein?
Jahr	Tag und Monat	Stunde		
1950	12. Sept.	5	2	Arktis, Tschuktschen-Halbinsel
1952	25. Febr.	10	3	Nubien, Iran, Sibirien
1954	30. Juni	13	2	Kanada, Skandinavien, UdSSR, Iran
1955	20. Juni	5	7	Ceylon, Siam, Philippinen
1956	8. Juni	22	5	Stiller Ozean
1958	12. Okt.	22	5	Chile, Argentinien
1959	2. Okt.	14	3	Kanarische Inseln, Zentralafrika
1961	15. Febr.	9	3	Frankreich, Italien, Ungarn, UdSSR
1962	5. Febr.	1	4	Neuguinea
1963	20. Juli	22	1	Alaska
1965	30. Mai	22	5	Stiller Ozean
1966	12. Nov.	15	2	Bolivien, Argentinien, Brasilien
1968	22. Sept.	12	1	Arktis, Sibirien, China
1970	7. März	19	3	Mexiko, Florida
1972	10. Juli	21	3	Nordostasien, Kanada
1973	30. Juni	13	7	Südamerika, Afrika
1974	20. Juni	6	5	Australien
1976	23. Okt.	6	5	Afrika, Australien
1977	12. Okt.	22	3	Venezuela, Stiller Ozean
1979	26. Febr.	18	3	USA, Kanada
1980	16. Febr.	10	4	Afrika, Indien
1981	31. Juli	5	2	Stiller Ozean, Sibirien
1983	11. Juni	6	5	Java, Stiller Ozean
1984	23. Nov.	0	2	Patagonien, Stiller Ozean
1985	12. Nov.	15	1	Antarktis
1986	3. Okt.	20	2	Grönland
1987	29. März	14	0	Afrika
1988	18. März	3	4	Stiller Ozean, Sumatra
1990	22. Juli	4	3	Finnland, Nordsibirien
1991	11. Juli	20	7	Stiller Ozean, Mittelamerika
1992	30. Juni	13	5	Atlantischer Ozean
1994	3. Nov.	15	4	Stiller Ozean, Südamerika
1995	24. Okt.	6	2	Stiller Ozean
1997	9. März	2	3	Ostsibirien
1998	26. Febr.	18	4	Stiller Ozean, Mittelamerika
1999	11. Aug.	12	3	Westeuropa, Iran, Indien

Totale Mondfinsternisse vom Jahre 1950 bis zum Jahre 2000

Jahr	Tag und Monat	Beginn der totalen Finsternis in Mitteleuro- päischer Zeit	Ende der totalen Finsternis in Mitteleuro- päischer Zeit	Sichtbarkeit in Deutschland
1950	2./3. April	21 Uhr 25 Min.	22 Uhr 3 Min.	ja
1950	26. Sept.	4 " 53 "	5 " 37 "	ja
1953	30. Jan.	0 " 09 "	1 " 31 "	ja
1953	26. Juli	12 " 27 "	14 " 01 "	nein
1954	19. Jan.	3 " 15 "	3 " 53 "	ja
1956	18. Nov.	7 " 08 "	8 " 26 "	nein
1957	13. Mai	22 " 52 "	0 " 12 "	ja
1957	7. Nov.	15 " 12 "	15 " 44 "	nein
1960	13. März	8 " 42 "	10 " 18 "	nein
1960	5. Sept.	11 " 38 "	13 " 08 "	nein
1961	26. Aug.	4 " 01 "	4 " 15 "	nein
1963	30. Dez.	11 " 25 "	12 " 49 "	nein
1964	25. Juni	1 " 18 "	2 " 56 "	ja
1964	19. Dez.	2 " 03 "	4 " 07 "	ja
1967	24. April	12 " 26 "	13 " 48 "	nein
1967	18. Okt.	10 " 48 "	11 " 44 "	nein
1968	13. April	5 " 21 "	6 " 17 "	nein
1968	6. Okt.	12 " 10 "	13 " 12 "	nein
1971	10. Febr.	8 " 03 "	9 " 21 "	nein
1971	6. Aug.	19 " 53 "	21 " 35 "	ja
1972	30. Jan.	11 " 32 "	12 " 14 "	nein
1974	29. Nov.	15 " 38 "	17 " 54 "	ja
1975	25. Mai	6 " 01 "	7 " 31 "	nein
1975	18. Nov.	23 " 01 "	23 " 47 "	ja
1978	24. März	16 " 40 "	18 " 10 "	ja
1978	16. Sept.	19 " 22 "	20 " 44 "	ja
1979	6. Sept.	11 " 28 "	12 " 20 "	nein
1982	9. Jan.	20 " 14 "	21 " 38 "	ja
1982	6. Juli	7 " 39 "	9 " 21 "	nein
1982	30. Dez.	11 " 53 "	12 " 59 "	nein
1985	4. Mai	20 " 22 "	21 " 32 "	ja
1985	28. Okt.	18 " 22 "	19 " 04 "	ja
1986	24. April	13 " 10 "	14 " 18 "	nein
1986	17. Okt.	19 " 42 "	20 " 56 "	ja
1989	20. Febr.	15 " 59 "	17 " 15 "	ja
1989	17. Aug.	3 " 15 "	4 " 53 "	nein
1990	9. Febr.	19 " 49 "	20 " 35 "	ja
1992	10. Dez.	0 " 06 "	1 " 20 "	ja
1993	4. Juni	13 " 11 "	14 " 49 "	nein
1993	29. Nov.	7 " 01 "	7 " 51 "	nein
1996	4. April	0 " 27 "	1 " 51 "	ja
1996	27. Sept.	3 " 17 "	4 " 29 "	ja
1997	16. Sept.	19 " 14 "	20 " 20 "	ja

2., unveränderte Auflage · 21.–30. Tausend

Alle Rechte vorbehalten · Lizenz Nr. 303 (305/190/54)

Redakteur: Hans Reichenbach-Hoffmann

Künstlerische Gestaltung: Gerhard Schulz · Hersteller: Günter Kleiber

Satz und Druck: Druckhaus Einheit Leipzig III/18/211

In unserem Verlag erscheint die „Kleine populärwissenschaftliche Bibliothek“ in den Reihen „Naturwissenschaft“ und „Technik.“

Durch das Studium dieser allgemeinverständlichen Schriften haben alle Jugendlichen die Möglichkeit, ihr Wissen zu vertiefen.

Es erschienen bisher:

NATURWISSENSCHAFT

Fedynski	Himmelssteine - Meteorite und Meteore
Kunitzki	Tag und Nacht und die Jahreszeiten
Shewljakow	Gab es einen Anfang der Welt und wird es ein Ende geben ?
Subbotin	Entstehung und Alter der Erde
Suworow	Was uns der Lichtstrahl erzählt
Sytinskaja	Gibt es Leben auf anderen Planeten ?
Woronzow/Weljaminow	Aufbau des Weltalls

TECHNIK

Gaponow	Elektronen
Gladkow	Fernsehen
Karpow/Fandejew	Stauwerke
Mesenzew	Das elektrische Auge
Peterson	Die Radioröhre
Shdanow	Röntgenstrahlen
Suchorukich	Mikroskop und Teleskop

Zum Preise von 0,80 DM an durch jede Buchhandlung und den Postzeitungsvertrieb zu beziehen. Die Reihen werden fortgesetzt.



VERLAG NEUES LEBEN BERLIN

Der Verlag der jungen Generation