Joh. Müller's Lehrbuch der kosmischen Physik

Müller, Johann Heinrich Jacob

Braunschweig, 1894

42. Entfernung der Sonne von der Erde

urn:nbn:de:hbz:466:1-96939

welchen man sich von der Sonne zur Erde gezogen denken kann, in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt.

Dieses Gesetz der Geschwindigkeiten, welches unter dem Namen des zweiten Kepler'schen Gesetzes bekannt ist, gilt, wie wir im nächsten Capitel sehen werden, in gleicher Weise auch für alle übrigen um die Sonne kreisenden Planeten.

Nach dem ersten Kepler'schen Gesetze ist die Bahn aller Planeten, folglich auch die Bahn der Erde, welche durch Copernicus unter die Planeten eingereiht worden ist, kein Kreis, sondern eine Ellipse, und die Sonne befindet sich in dem einen Brennpunkte derselben.

Die grosse Axe ab, Fig. 73, dieser Ellipse führt den Namen der Apsidenlinie; die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte c ist die Excentricität der Erdbahn; sie beträgt ungefähr $^1/_{60}$ der halben grossen Axe ca, und daraus folgt, dass die Ellipse, welche die Erde innerhalb eines Jahres durchläuft, sehr wenig von der Kreisgestalt

Fig. 72.

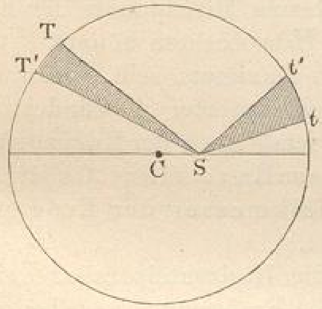
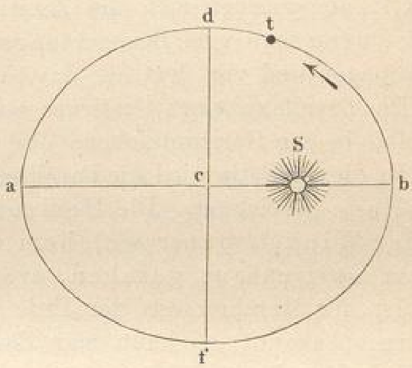


Fig. 73.



abweicht. In unserer Figur ist die Excentricität viel zu gross genommen, damit die elliptische Gestalt deutlicher hervortrete. Die kleine Axe df der Erdbahn verhält sich zur grossen Axe ab wie 0,99986 zu 1.

Wenn sich die Erde in b, dem einen Endpunkte der grossen Axe, befindet, so ist sie in der Sonnennähe, im Perihelium; ihre grösste Entfernung von der Sonne erreicht sie im anderen Endpunkte a der grossen Axe; hier ist die Erde in der Sonnenferne, im Aphelium.

Am 1. Januar ist die Sonne im Perihelium, am 1. Juli ist sie im Aphelium.

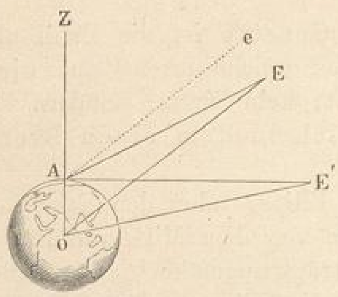
Die Apsidenlinie macht einen Winkel von ungefähr 10 Grad mit der geraden Linie, welche die Solstitialpunkte verbindet.

Im Perihelium ist die fortschreitende Bewegung der Erde in ihrer Bahn am schnellsten, im Aphelium ist sie am langsamsten.

Entfernung der Sonne von der Erde. Wir haben bisher nur das Verhältniss betrachtet, in welchem sich die Entfernung der Sonne 42 von der Erde im Laufe eines Jahres ändert, ohne dass von der absoluten Grösse dieser Entfernung die Rede gewesen wäre.

Zur Bestimmung der Entfernung eines Gestirnes von der Erde werden dieselben Grundsätze in Anwendung gebracht, welche man auch anwendet, um die Entfernung eines unzugänglichen Punktes auf der Erde zu ermitteln. — Wenn man von einem Punkte A der Erdoberfläche aus ein Gestirn E, Fig. 74, beobachtet, so sieht man es nicht genau in derselben Richtung, als wenn man sich im Mittelpunkte O der Erde befände; OE oder die damit parallele Linie Ae macht einen kleineren Winkel mit der Verticalen OAZ als die Visirlinie AE. Der Winkel eAE oder der ihm gleiche Winkel AEO wird nun die Parallaxe des Gestirnes E genannt. Die Parallaxe ist also nichts Anderes als der Winkel, um welchen sich die Zenithdistanz des Gestirnes vermindern würde, wenn man vom Beobachtungsorte A zum Mittelpunkte der Erde herabsteigen und von dort aus das Gestirn E beobachten könnte.

Fig. 74.



Die Parallaxe eines Gestirnes wird ein Maximum sein, wenn sich dasselbe in der Horizontalebene des Beobachtungsortes A befindet, wie E'. In diesem Falle wird die Parallaxe mit dem Namen der Horizontalparallaxe bezeichnet. Die Horizontalparallaxe eines Gestirnes ist der Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erde, von jenem Gestirn aus gesehen, erscheint.

Ist der Durchmesser der Erde und die Horizontalparallaxe eines Gestirnes bekannt, so kann man daraus die Entfernung desselben von der Erde berechnen.

Da der Mittelpunkt der Erde unzugänglich ist, so kann die Horizontalparallaxe auch nicht unmittelbar gemessen werden. Um sie zu finden, muss man gleichzeitig die Zenithdistanz des Gestirnes mit grosser Genauigkeit an zwei Orten der Erde messen, welche bei nahe gleicher geographischer Länge möglichst weit von einander entfernt sind. Aus diesen Messungen lässt sich dann, wie wir bald sehen werden, die Horizontalparallaxe ableiten.

Je weiter ein Gestirn von der Erde entfernt ist, desto kleiner wird seine Parallaxe, und desto schwieriger wird es, sie mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, weil alsdann die unvermeidlichen Beobachtungsfehler einen viel zu bedeutenden Bruchtheil des gesuchten Werthes ausmachen und die geringste Verschiedenheit im Werthe der Horizontalparallaxe schon enorme Veränderungen im Werthe der Entfernung des Gestirnes nach sich zieht. Die Parallaxe der Sonne ist schon viel zu klein, als dass man sie auf dem angedeuteten Wege mit einer Genauigkeit ermitteln könnte, welche auch nur eine angenähert richtige Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde zuliesse; nur auf indirectem Wege lässt sich diese für die Astronomie so wichtige Grösse mit hinreichender Genauigkeit bestimmen und daher kommt es denn auch, dass man noch bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts ganz unrichtige Vorstellungen von der Entfernung der Sonne hatte.

Man nahm diese Entfernung früher stets zu klein an. Aristarch von Samos bestimmte die Horizontalparallaxe der Sonne zu $3'$, wonach ihre Entfernung von der Erde 1146 Erdhalbmesser betragen würde. Kepler war geneigt, die fragliche Parallaxe auf $1'$ zu reduciren und Halley nahm sie nur zu $25''$. Alle diese Werthe waren aber noch zu gross.

Was nun die indirecten Methoden zur Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde betrifft, so gründen sie sich darauf, dass man zunächst die Entfernung solcher Gestirne zu bestimmen sucht, welche entweder, wie der Mond, der Erde stets näher sind als die Sonne, oder welche, wie Mars und Venus, wenigstens in gewissen Zeiten ihr näher kommen, und alsdann von diesen auf die Entfernung der Sonne schliesst.

Fig. 75.

Wie wir im fünften Capitel sehen werden, ist der Mond sehr nahe um 60 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt. Wenn man nun in dem Moment, in welchem der Mond gerade das erste oder letzte Viertel zeigt, wo also die Grenze zwischen dem erleuchteten und dem dunkeln Theile des Mondes genau eine gerade Linie bildet, den Winkelabstand zwischen Sonne und Mond misst, so hat man damit die nöthigen Data, um die Entfernung der Sonne von der Erde zu berechnen. In Fig. 75 sei T die Erde, L der Mond, S die Sonne. In dem besprochenen Zeitpunkte steht die Linie SL rechtwinklig auf LT; da man nun den Winkel STL, den wir mit β bezeichnen wollen, gemessen hat, so ergiebt sich

$$TS = \frac{LT}{\cos \beta}.$$

Auf diesem Wege, der zuerst von Aristarch zur Bestimmung der Sonnenentfernung benutzt wurde, hat in der That Vendelin die Entfernung der Sonne von der Erde annähernd genau bestimmt; einer grösseren Schärfe ist jedoch diese Methode nicht fähig, weil man nicht mit grosser Genauigkeit den Augenblick ermitteln kann, wo jene Lichtgrenze des Mondes eine gerade Linie ist.

Hat man die Horizontalparallaxe des Mars, der Venus oder eines anderen Planeten, also die Entfernung dieser Planeten von der Erde, zur Zeit ihrer Erdnähe ermittelt, so kann man mit Hülfe des im nächsten

Capitel zu besprechenden dritten Kepler'schen Gesetzes die Entfernung der Sonne berechnen. Nach dieser Methode wurde in der That die Entfernung der Sonne angenähert richtig bestimmt. Die Vergleichung der Marsbeobachtungen, welche Richer auf der bereits auf Seite 68 erwähnten Reise angestellt hatte, mit den gleichzeitigen Observationen von Picard und Römer in Paris, ergab für den Mars eine Parallaxe von 25,5″, woraus für die Sonnenparallaxe ein Werth von 9,5″ folgt. Aus später beobachteten Marsoppositionen wurden noch grössere Werthe der Sonnenparallaxe (10″ ja 10,7″) berechnet.

Im Jahre 1862 hat man den Mars zur Zeit seiner Opposition auf verschiedenen Sternwarten der nördlichen und südlichen Hemisphäre (Pulkowa, Greenwich, Washington, Cap der guten Hoffnung, Santiago de Chili u. s. w.) auf das Sorgfältigste beobachtet. Aus der Discussion dieser Meridianbeobachtungen des Mars hat nun der amerikanische Astronom Newcomb den Werth der Sonnenparallaxe zu 8,85 Secunden abgeleitet.

Im Jahre 1691 hatte Halley darauf aufmerksam gemacht, dass die seltene, im nächsten Capitel näher zu besprechende Erscheinung eines Vorüberganges der Venus vor der Sonnenscheibe ein Mittel bietet, die Parallaxe der Sonne weit genauer zu bestimmen, als nach den bisher besprochenen Methoden. Mit Ungeduld erwartete man deshalb die nächste ekliptische Conjunction dieses Planeten, welche am 5. Juni 1761 stattfand, und aus deren Beobachtung sich ein zwischen 8″ und 9″ liegender Werth für die Sonnenparallaxe ergab.

Der nächste Venusdurchgang, welcher am 3. Juni 1769 stattfand, wurde mit möglichster Genauigkeit an verschiedenen, möglichst vortheilhaft gelegenen Orten der Erde beobachtet. Aus einer Combination aller damals gemachten zuverlässigen Beobachtungen leitete Encke 8,6″ als den Werth der Horizontalparallaxe der Sonne ab.

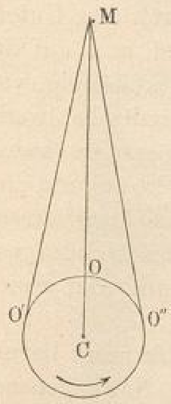
In dem jetzigen Jahrhundert haben zwei Venusdurchgänge stattgefunden, am 8. December 1874 und 6. December 1882, von denen im folgenden Capitel näher die Rede sein wird. Ein definitives Resultat, bei welchem die Gesammtheit der angestellten Beobachtungen berücksichtigt ist, wurde bisher noch nicht abgeleitet, indessen lassen vorläufige Berechnungen darauf schliessen, dass die Sonnenparallaxe sich nahezu zu 8,8″ ergeben wird.

Von Galle ist im Jahre 1872 vorgeschlagen, einige der Asteroïden zwischen Mars und Jupiter zur Bestimmung ihrer eigenen und der Parallaxe der Sonne zu benutzen. Im Durchschnitt ist zwar die Entfernung dieser Himmelskörper von der Erde zur Zeit ihrer Opposition erheblich grösser als die des Mars und der Venus, aber dafür ist ihre Anzahl sehr gross, so dass die Beobachtungen in verhältnissmässig kurzer Zeit sehr vervielfältigt werden können, und ausserdem sind die helleren unter ihnen, weil sie im Fernrohre als vollkommen fixsternartige Punkte ohne merkbaren Durchmesser erscheinen, mit grösserer Genauigkeit als Mars und Venus zu beobachten. So fand Galle aus Beobachtungen der

Flora, die im Jahre 1873 auf nördlichen und südlichen Sternwarten ausgeführt wurden, die Sonnenparallaxe zu 8,87″.

Es ist übrigens leicht zu ersehen, dass die Parallaxe eines Gestirnes bestimmt werden kann, ohne dass es dazu nöthig wäre, gleichzeitige Beobachtungen des Gestirnes an zwei weit von einander entfernten Orten anzustellen, sondern man kann dasselbe durch Beobachtungen an einem einzigen Orte erreichen. Es sei M (Fig. 76) ein Planet, von dem wir der Einfachheit wegen zunächst annehmen wollen, dass er sich in der Nähe des Himmelsäquators befindet, C der Mittelpunkt der Erde, und die tägliche Bewegung der Erde geschehe in der Richtung des Pfeiles. Es stehe nun der Planet für einen Beobachter in O im Zenith, so erscheint er demselben offenbar in derselben Richtung, in welcher er vom Mittelpunkte der Erde aus erscheinen würde. Wenn nun der Beobachtungsort sich in Folge der täglichen Bewegung der Erde nach O' bewegt hat, so wird der Planet im Horizont erscheinen und im Begriffe stehen, unterzugehen. In diesem Falle erscheint er um den Winkel $O'MC$ an einem anderen Orte als vom Erdmittelpunkte aus. Dieser Winkel ist aber nichts Anderes als die Horizontalparallaxe des Planeten. Wenn dann der Beobachtungsort nach O'' gerückt ist, so geht der Planet wieder auf, und erscheint wieder um denselben Winkel verschoben, aber im entgegengesetzten Sinne, so dass der Unterschied der in O' und O'' gesehenen Richtungen gleich dem doppelten Betrage der Horizontalparallaxe ist. Man kann demnach aus genauen Beobachtungen, die an demselben Orte zur Zeit des Auf- und Unterganges des Planeten angestellt werden, den Betrag seiner Horizontalparallaxe finden. Hier haben wir nun vorausgesetzt, dass der Beobachtungsort sich auf dem Aequator der Erde befindet; in anderen Breiten wird der Unterschied der Richtungen beim Auf- und Untergange geringer und in der Nähe der Pole ganz unmerklich — auch können Beobachtungen in der unmittelbaren Nähe des Horizontes nicht mit Sicherheit angestellt werden. Aber wenn auch diese Extreme der Wirkung der Parallaxe, welche eintreten, wenn

Fig. 76.



1) der Planet am Himmelsäquator steht, d. h. seine Declination $= 0^0$ ist,
2) die geographische Breite des Beobachtungsortes $= 0^0$ ist,
3) die Beobachtungen in unmittelbarer Nähe des Horizontes angestellt werden,

nicht erreicht werden können, so werden doch die Beobachtungen in der Nähe des Auf- und Unterganges die Wirkung der Parallaxe ebenfalls, wenn auch in geringerem Maasse, ermitteln lassen. Schon Tycho Brahe und Kepler versuchten sich dieser Methode zu bedienen, um die Parallaxe des Mars zu bestimmen, erhielten aber kein sicheres Resultat wegen der Unvollkommenheit ihrer Instrumente. Cassini fand die Parallaxe des Mars auf demselben Wege schon ziemlich nahe richtig, ebenso später Flamsteed und Bradley, und in neuerer Zeit (im Jahre 1874) ist dieselbe Methode von Lindsay und Gill auf der Insel Mauritius bei dem Planeten Juno, und von Gill 1877 auf der Insel Ascension bei dem Planeten Mars mit Erfolg angewandt worden.

Eine andere ebenfalls recht sichere Methode zur Bestimmung der Sonnenentfernung besteht in genauen Beobachtungen des Mondes. Die Bewegung des Mondes von der Erde erleidet nämlich bedeutende Störungen durch die Anziehung der Sonne, oder vielmehr durch den Unterschied der Anziehungen, welche die Sonne auf den Mond und auf die Erde ausübt. Der Betrag dieser Störungen ist offenbar abhängig von der Entfernung der Sonne, und man kann die letztere ermitteln, wenn die Störungen selbst bekannt sind. Ein Theil dieser Störungen hängt nämlich ab von dem Verhältniss der Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde, und dieses Verhältniss lässt sich aus dem Betrage der Störungen ermitteln. Da nun auch die Entfernung des Mondes von der Erde bekannt ist, so kann man daraus die Entfernung der Sonne von der Erde ableiten.

Eine andere Methode zur Bestimmung der Sonnenentfernung beruht auf der Ermittelung der Geschwindigkeit des Lichtes. Nach neueren Untersuchungen von Cornu ist der Weg, den das Licht in einer Secunde durchläuft, auf sehr sinnreiche Weise zu 298 500 km oder 40 229 geographischen Meilen ermittelt worden (siehe Lehrbuch der Physik, 8. Aufl., Bd. 2, S. 9). Aus dem Phänomen der Jupiterstrabanten-Verfinsterungen (siehe II. Buch, 1. Capitel) kennt man aber auch die Zeit, welche das Licht gebraucht, um die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne zu durchlaufen, und somit kann man auch diese Entfernung selbst ableiten.

Nehmen wir 8,8″ für den mittleren Werth der Horizontalparallaxe der Sonne an, so ist der Abstand der Erde von der Sonne gleich

$$\frac{1}{tang\,8{,}8''} = \frac{1}{0{,}00\,004\,266} = 23\,440 \text{ Erdhalbmessern.}$$

Da der Erdhalbmesser gleich 6378 km ist (S. 62), so beträgt demnach die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne 149,5 Millionen Kilometer oder rund 20 Millionen geographische Meilen.

Um diese Strecke zu durchlaufen, würde eine Kanonenkugel ungefähr 12 Jahre gebrauchen.

43 **Dimensionen der Sonne.** Nach §. 37 erscheint uns der Durchmesser der Sonne, wenn sie sich in ihrer mittleren Entfernung von der Erde befindet, unter einem Winkel von 32′ 3,0″ oder 1923,0″, während umgekehrt, dem vorigen Paragraphen zufolge, die Erde von der Sonne aus gesehen, nur unter einem Winkel von 17,6″ erscheint. Der Durch-