Astronomie und Erdmagnetismus

Lamont, Johann von

Stuttgart, 1851

I. Vorkenntnisse

urn:nbn:at:at-ubi:2-3789

Sätze verwiesen wird, nachsehen kann. Auch die tabellarischen Zusammenstellungen kamen ursprünglich unter verschiedenen Abschnitten vor, wurden aber dann am Ende zusammengetragen, weil sie unabhängig vom Texte manche Anwendung finden können.

Eine kurze Geschichte der Astronomie ist am Ende beigefügt, und dabei vorzugsweise der Zweck im Auge behalten worden, die wichtigsten astronomischen Lehrsätze durch nähere Andeutung der Art und Weise, wie man zu ihrer Entdeckung gelangt ist, zu erklären. Dieser Zweck machte es nothwendig, der Geschichte am Ende und nicht am Anfange ihren Platz anzuweisen.

Die Astronomie bildet jetzt noch, wie es in jedem Zeitalter der Fall war, gewissermaßen eine öffentliche Angelegenheit, und kann nur da gedeihen, wo ihr öffentliche Förderung zu Theil wird: daß also eine richtige Beurtheilung und Würdigung astronomischer Bestrebungen und Anstalten unter dem gebildeten Publikum sich feststelle, liegt im Interesse der Wissenschaft selbst, und man wird, wie ich hoffe, mit Rücksicht auf diesen Umstand, es nicht als ungeeignet betrachten, wenn ich mancherlei hieher gehörige Verhältnisse und Ansichten, die gewöhnlich in astronomischen Lehrgebäuden nicht berücksichtigt zu werden pflegen, im Verlaufe der Darstellung berührt habe.

I. Vorkenntnisse.

1. Uebersicht. Der Astronomie gehört im strengen Sinne nur der Stoff des Weltgebäudes, — die Gestirne —, und deren Anordnung im Raume: in so ferne wäre sie eigentlich blos eine beschreibende Wissenschaft, wie z. B. die Botanik, welche die Pflanzen ihren Eigenschaften nach näher bezeichnet und klassificirt. Die Astronomie bleibt aber nicht gleich der Botanik bei dem Stoffe, wie er gegeben ist, stehen, sondern sie ergründet die Aenderungen, die darin vorgehen, den Zusammenhang und die Gesetze, welche diesen Aenderungen zu Grunde liegen und zieht deßhalb aus der reinen Mathematik, der Mechanik, der Optik eine Menge Sätze, deren sie bedarf, herbei: man kann sogar sagen, daß bei weitem der größte Theil der eben erwähnten Wissenschaften blos für die Astronomie ausgebildet worden ist. Ich setze nicht voraus, daß der Leser in diesen Wissenschaften speciell bewandert sej, und will deßhalb hier einige zum Verständnisse des Folgenden, nöthige Erklärungen geben.

2. Ruhe und Bewegung. Die Untersuchung des Himmels befaßt sich wohl zum größten Theile mit Ruhe und Bewegung. Die Erscheinungen, die uns alle Tage auf der Erde vorkommen, geben uns von beiden eine vollkommen richtige Idee; dessen ungeachtet finden es viele schwer, Ruhe und Bewegung, wie wir am Himmel sie wahrnehmen, zu begreifen, weil die Verhältnisse — und eben so auch der Erfolg — in mancherlei Hinsicht verschieden sind von denen, die wir auf der Erde beobachten. Es scheint nun vor Allem zweckmäßig, diese Verschiedenheiten hervorzuheben. Für's Erste ist es schon ein eigenthümliches Verhältniß, daß die Himmelskörper, ungeachtet sie so gewaltig schwere Massen sind, dennoch frei im Raume schweben können. Auf der Erde sind wir gewohnt, jeden schweren Körper, wenn er nicht unterstützt wird, augenblicklich zu Boden fallen zu sehen. Schon unter den griechischen

Philosophen ist viel hierüber nachgedacht worden, und während einige auf die sonderlichsten Ansichten gekommen sind — Ansichten, die, im Vorübergehen sei es gesagt, noch bis auf Tycho's Zeit sich fortgepflanzt haben — ist von andern ganz richtig erkannt worden, daß die Tendenz, zu Boden zu fallen, nur durch die eigenthümlichen auf der Erde bestehenden Verhältnisse bedingt ist, und jeder Körper, so schwer er auch immer sein möge, schweben müsse, wenn keine Ursache vorhanden wäre, warum er eher nach der einen, als nach der andern Seite sich bewegen sollte. Wir sehen übrigens auch auf der Erde manche analoge Erscheinungen. Eine Metallkugel fällt im Wasser zu Boden, eine hölzerne Kugel bleibt an der Oberfläche oder sucht, wenn sie untergetaucht wird, die Oberfläche zu gewinnen; bringt man aber eine Wachskugel oder auch eine Metallkugel, die so weit ausgehöhlt ist, daß sie genau das specifische Gewicht des Wassers hat, in ein großes mit Wasser gefülltes Gefäß, so bleibt sie überall stehen, wo man sie hinstellt, sie schwebt frei im Wasser und fällt weder zu Boden, noch geht sie in die Höhe, der Oberfläche zu. Durch das Wasser ist die Wirkung der Schwerkraft aufgehoben, und der Erfolg bleibt derselbe, als wenn Wasser und Schwerkraft zugleich verschwänden.

3. Geradlinige Bewegung. Man denke sich nun eine solche Wachs- oder hohle Metallkugel in einer unbegränzten Wassermasse, die Wassermasse vollkommen ruhig, und die Kugel unbeweglich darin schwebend. Man gebe der Kugel einen Stoß nach irgend einer Richtung, so fängt sie an, in gerader Linie sich zu bewegen, kommt indessen bald zur Ruhe, weil der Widerstand des Wassers sie aufhält. Hier haben wir wieder ein Verhältniß, das im Himmelsraume nicht vorkommt: es gibt da keinen Widerstand und folglich auch kein Aufhören der einmal angefangenen Bewegung. Wir mögen auf der Erde einem Körper eine geradlinige Bewegung geben, auf welche Weise wir wollen, so kommt er nicht weit, weil ihn Reibung oder Widerstand bald zur Ruhe bringt: erhält dagegen im leeren Weltraume ein Körper einen Stoß, so geht er in gerader Linie und mit gleichförmiger Geschwindigkeit in alle Ewigkeit fort.

4. Drehung oder Rotation. Eine ähnliche Bewandtniß hat es auch mit der Drehung (Rotations-Bewegung). Es werde unter den oben bezeichneten Umständen eine in einem Wassergefäß frei schwebende Kugel in Drehung versetzt, so ist der Widerstand des Wassers hier wie bei der geradlinigen Bewegung so bedeutend, daß die Rotation bald aufhört. Im Weltraume dagegen, wo der Widerstand wegfällt, ist jede einmal eingerichtete Rotationsbewegung von ewiger Dauer: dieß können wir alle Tage an der Erde sehen, die vom Anfange eine Drehung erhielt, daß sie in 24 Stunden (Sternzeit) einmal herumgeht, und die jetzt schon viele tausend Jahre mit unveränderter Geschwindigkeit ihre Rotation fortsetzt. Dasselbe ist bei der Sonne und allen Planeten der Fall, die sämmtlich, jeder Körper mit der ihm ursprünglich gegebenen Geschwindigkeit sich immer gleichmäßig umdrehen. Ein augenscheinliches Beispiel der Rotationsbewegung gewährt uns unter den Planeten, insbesondere Jupiter, bei welchem ein Fernrohr von mäßiger Größe schon sehr wohl die Umdrehung, die ziemlich schnell vor sich geht, wahrnehmen läßt.

Bemerkenswerth ist das Verhältniß zwischen der Kraft und der davon erzeugten Rotationsgeschwindigkeit. Es ist leicht begreiflich, daß, wenn zwei Massen, eine größere und eine kleinere, durch dieselbe Kraft in Drehung versetzt werden, jene langsamer, diese schneller sich bewegen muß: aus ähnlichem Grunde wird man bei einigem Nachdenken einsehen, daß, unter Anwendung gleicher Kraft, dieselbe Masse schneller sich dreht, wenn sie in eine Kugel zusammengezogen ist, als wenn sie die Form einer ausgedehnten Scheibe hat. Im Allgemeinen gilt es als Regel, daß, je weiter die Theile von der Axe entfernt sind, desto langsamer die Bewegung sein wird; daher kommt es denn auch, daß, wenn derselbe Körper sich während der Drehung ausdehnt oder zusammenzieht, seine Rotationsgeschwindigkeit eine verhältnißmäßige Ab- oder Zunahme erhalten muß. Für unsern Zweck folgt zunächst daraus der wichtige Satz, daß, wenn die Planeten im Verlaufe der Zeit durch Erwärmung oder Erkältung ihre Größe ändern, wenn sie einen Theil ihrer Masse (z. B. das Wasser durch Ausdünstung) verlieren, oder wenn sie aus dem Weltraume neue Massen als Meteorsteine u. s. w. an sich ziehen, dieß Alles an der Rotationszeit — die wir mit großer Schärfe messen können — sich zeigen muß. Ich brauche kaum hier zu bemerken, daß die Axe eines Planeten nur eine imaginäre Linie ist, wie bei der Wachskugel, die im Wasser schwebend sich dreht; die Richtung dieser imaginären Linie erkennt man unmittelbar aus der Bewegung, welche für jeden Punkt der Kugeloberfläche verschieden ist. Zwei Punkte — die Pole — haben gar keine Bewegung; durch diese geht die Axe. Von den zwei Polen anfangend werden die von den einzelnen Punkten der Oberfläche beschriebenen Kreise immer größer, bis zur Mitte der Kugel, zum Aequator.

5. Parallelismus der Rotationsaxen. Es gibt ein Verhältniß bei der Rotationsbewegung, welches unsere besondere Beachtung verdient und in früherer Zeit häufig — sogar noch von Copernicus — nicht gehörig aufgefaßt worden ist. Wenn man, wie oben erwähnt, eine Kugel, die in einem Wassergefäße frei schwebt, in Drehung versetzt, dann das Gefäß aufhebt und damit herumgeht oder sonst seine Lage in beliebiger Weise verändert, so bemerkt man, daß die Drehungsaxe der Kugel beständig nach derselben Weltgegend gerichtet bleibt. Ist z. B. die Drehungsaxe nach Norden gerichtet, so beharrt sie in dieser Richtung, man mag das Gefäß drehen und herumtragen, wie man will. Man könnte sogar, wenn nicht, wie oben bereits bemerkt wurde, durch Widerstand oder Reibung für uns eine dauernde Bewegung unmöglich gemacht wäre, eine Kugel oder Scheibe, die sich so dreht, anstatt eines Schiffscompasses brauchen, und zwar würde man damit weit mehr Sicherheit haben, als mit einem Magnet, weil die Richtung der Drehungsaxe in allen Theilen der Welt gleich bliebe, was bei dem Magnet nicht ganz der Fall ist.

Das Verhältniß, welches eben erwähnt wurde, daß die Rotationsaxe immer nach derselben Gegend gerichtet bleibt, beruht übrigens nicht auf besondern Eigenthümlichkeiten einzelner Körper, sondern ist ein allgemeines Bewegungsgesetz, und eben so nothwendig in der Natur der Dinge überhaupt begründet, wie es ist, daß ein Körper, der gestoßen wird, in gerader Linie und nicht etwa in Zickzack fortgeht. Bei allen Himmelskörpern wird dieses Gesetz streng eingehalten, und wie die Körper auch immer im Raume herumgeführt werden, so bleibt sich die Rotationsaxe stets vollkommen parallel, was in Fig. 1 durch eine Darstellung der Marsbahn verdeutlicht wird. Dieses Gleichbleiben der Axenrichtung ist auch von großer Wichtigkeit. Man denke sich, welche Verwirrung wir auf der Erde hätten, wenn die Erdaxe anstatt beständig gegen den Hauptstern des kleinen Bären (Polarstern) gerichtet zu sein, einmal dahin, einmal dorthin zeigte, und wir die Sonne in unregelmäßigen Perioden bald hoch am Himmel, bald tief in der Nähe des Horizontes erblicken würden.

6. Anziehungskraft oder allgemeine Gravitation. Die gradlinige Bewegung haben wir durch einen Stoß, die Rotation durch eine ähnliche Kraftäußerung, die nur einen Augenblick wirkt und sogleich wieder aufhört, hervorbringen lassen. Wir wollen jetzt eine andere Kraft, nämlich die

sogenannte Anziehung der Körper betrachten, die sich wesentlich von dem Stoße darin unterscheidet, daß sie immerfort wirkt. Die Anziehung, wie sie in der Natur vorkommt, richtet sich nach zwei Gesetzen:

1) Sie ist um so größer, je größer die Massen der Körper;
2) in der Ferne nimmt sie ab, und zwar in demselben Maße, wie die Quadrate der Entfernung zunehmen.

Das erste Gesetz ist an und für sich klar; das zweite bedarf einer Erläuterung. Wenn ich einen Körper A (Fig. 2), dann drei gleiche Körper B, C, D habe, die in der Entfernung 1, 2, 3 sich befinden, so übt A auf C nur $^1/_4$, auf D $^1/_9$ der Auszziehung aus, welche derselbe Körper in der Distanz 1 auf B ausübt. Man sieht daraus, daß die Anziehung in der Ferne ungemein schnell abnimmt. In Folge dieses Verhältnisses ist die Verschiedenheit der Anziehung in unserem Sonnensystem sehr groß, sie ist bei Neptun 6000 mal kleiner, als bei Mercur. Eine Eigenthümlichkeit der Anziehung müssen wir hier besonders hervorheben, daß sie nämlich nicht den Körpern als solchen, sondern jedem einzelnen Theilchen, auch dem kleinsten Atome, eigen ist. Die Vegetationskraft einer Pflanze und die Lebenskraft eines Thieres kommen nur der Pflanze und dem Thiere, so lange sie ein Ganzes bilden, zu; zertheile ich die Pflanze oder das Thier, so hört die Kraft in jedem Theile auf. Ein ähnliches Verhältniß bietet die magnetische Kraft dar; die zwei Hälften einer Magnetnadel von einander getrennt bringen nicht die Wirkung hervor, wie die Nadel, wenn sie ganz ist. Bei der Anziehung der Körper besteht dagegen ein sehr verschiedenes Gesetz. Wenn ich einen Körper in zwei Hälften trenne, so übt jede Hälfte die halbe Anziehung aus, und wenn ich die Theilung so weit fortsetze, als es nur immer physisch möglich ist, so kommt jedem Theilchen seine eigene Anziehungskraft im Verhältnisse seiner Masse zu, und die sämmtlichen Theilchen wieder zusammengelegt üben dieselbe Anziehung aus, wie der Körper, als er noch ganz war.

7. Anziehung der Erde. Die Anziehungskraft der Erde gehört in den Kreis der täglichen Erfahrung; jeder Körper trachtet gegen den Mittelpunkt der Erde hin und es gehört eine gewisse Kraft dazu, ihn aufzuhalten. Ein größerer Körper sucht auch mit größerer Kraft der Erde sich zu nähern, übereinstimmend mit dem ersten der oben angeführten Gesetze, wornach die Kraft in geradem Verhältnisse zu der Masse oder zu dem materiellen Gehalte der Körper ist. Wir haben übrigens keinen Weg, den materiellen Gehalt eines Körpers direkt zu ermitteln, sondern wir bemessen ihn nach der Wirkung, d. h. nach der Größe der Anziehung oder nach der Schwere; demnach kann man die Anziehung durch Gewicht, z. B. nach Pfunden, bestimmen.

Die Anziehung der Erde ist eine sehr bedeutende und leicht wahrnehmbare Kraft, die Erde hat aber auch einen materiellen Gehalt von nicht weniger als $13^1/_2$ Quadrillionen Pfund. Es ist demnach sehr begreiflich, daß ein Körper von nur 1 Pfund Gewicht auch nur einen sehr kleinen Theil der Anziehung der Erde haben könne. In der That ist die Anziehung kleiner Körper so unbedeutend, daß sie, insoferne nicht die feinsten Hülfsmittel angewendet werden, unserer Wahrnehmung gänzlich entgeht. Hält man zwei Steine in einiger Entfernung von einander, so merkt man keine Anziehung; dessenungeachtet ist eine Anziehung vorhanden und kann, wie wir später sehen werden, durch besondere Vorrichtungen sehr wohl augenscheinlich nachgewiesen werden. Beschränkt man sich auf die gewöhnliche Wahrnehmung, so könnte man auch glauben, daß die Entfernung vom Mittelpunkte keinen Einfluß auf die Anziehung der Erde habe, und dieß war auch vor Entdeckung der allgemeinen

Gravitation die Ueberzeugung der Gelehrten, wie der Ungelehrten. Es ist indessen nicht bloß richtig, sondern auch nachweisbar, daß auf der Spitze eines hohen Berges (wenn man von der Anziehung des Berges selbst abstrahirt) die Schwere geringer ist, als auf der Ebene.

8. Die Anziehung nur von der Masse abhängig, Anziehung mehrerer Massen. Eine merkwürdige Bestimmung ist noch die, daß es bei der Schwerkraft nur auf die Masse oder den materiellen Gehalt ankommt und nicht auf die Beschaffenheit des Körpers oder auf den Stoff. Eine gleiche Masse Metall, Wolle, Luft oder Wasser üben alle dieselbe Anziehungskraft aus. Es können deßhalb die Planeten aus ganz andern Stoffen als die Erde zusammengesetzt sein; daß sie so anziehen, wie die Erde, gibt wenigstens keinen Grund zu glauben, daß sie von gleicher Beschaffenheit seien.

Wenn zwei kleine Massen A und B (Fig. 3) eine dritte K anziehen, so ist die Anziehung dieselbe, als wenn die beiden Massen vereinigt in einem Punkte c sich befänden, den wir den Mittelpunkt der Anziehung nennen wollen. Eben so kann man für drei kleine Massen A, B, C (Fig. 4), die eine entfernte Masse K anziehen, einen Mittelpunkt der Anziehung c angeben, wo die sämmtlichen Massen vereinigt gedacht werden können. Jeden größern Körper, dessen Anziehung berechnet werden soll, muß man sich als aus einer Menge kleiner Massen zusammengesetzt denken und den Mittelpunkt der Anziehung, d. h. den Punkt, wo die ganze Masse vereinigt gedacht werden kann, bestimmen. Im Allgemeinen läßt sich indessen ein solcher Punkt nicht angeben, sondern seine Lage wird verschieden sein, je nach der Richtung und Entfernung der angezogenen Masse; nur bei der Kugel besteht das ganz einfache Gesetz, daß sie jeden auf ihrer Oberfläche oder außerhalb befindlichen Punkt so anzieht, als wenn ihre ganze Masse im Mittelpunkt vereinigt wäre.

9. Die Anziehung bedingt die Form der Körper; Anziehung eines Sphäroids. Jede Masse, deren Theilchen feine Beweglichkeit haben, zieht sich, wenn keine andere Kraft als die gegenseitige Anziehung der Theilchen wirksam ist, in Kugelform zusammen; wir sehen dieß an Wassertropfen, Quecksilbertropfen, besonders schön aber an der Oelmasse in dem später (§. 86.) zu erklärenden Experiment von Plateau, welches so angestellt wird, daß man ein großes Glasgefäß mit einer Mischung von Wasser und Weingeist auffüllt, dann Oel (irgend ein fettes Oel) vorsichtig hineingießt. Hat die Mischung genau dasselbe specifische Gewicht, wie das Oel (was man leicht durch Nachgießen von Wasser oder Weingeist bewerkstelligen kann), so bleibt die Oelmasse in der Mitte schwebend und nimmt die vollkommenste Kugelgestalt an. Noch fernere lehrreiche Folgerungen lassen sich darauf begründen. Steckt man nämlich eine Axe, mit einer kleinen Kurbel versehen, durch die Kugel und fängt zu drehen an, so wird die Oelmasse in eine Rotationsbewegung versetzt, verliert aber dann die Kugelgestalt und geht in ein Ellipsoid (Sphäroid) über. Durch die Schwungkraft erhebt sich die Mitte — der Aequator — und an den Polen sinkt die Masse zusammen.

Ein Sphäroid kann gedacht werden, als bestehend aus einer Kugel, welche den Haupttheil bildet, und einer Schichte, welche sich um den Aequator herumzieht (Fig. 5). Soll die Kraft bestimmt werden, womit ein Körper A, der an der Oberfläche eines rotirenden Sphäroids sich befindet, gegen diese Oberfläche gezogen wird, so sind zwei Umstände in Rechnung zu nehmen:

1) die Schwungkraft, welche den Körper A zu entfernen sucht, und
2) die Anziehung der Kugel und der um den Aequator herumgehenden Schichte.

Die Schwungkraft verschwindet an den Polen ganz und wird um so größer, je näher man dem Aequator kommt, wo sie ihren größten Werth erlangt. Die Anziehung der Schichte ist am Aequator am größten, weil da die Schichte selbst am dicksten ist, und wird um so kleiner, je weiter man sich gegen die Pole entfernt. Was die Masse der Kugel betrifft, so kann man sich dieselbe im Mittelpunkte c vereinigt denken (§. 8.) und die Anziehung ist dem Quadrate der Entfernung vom Mittelpunkte umgekehrt proportional.

Die hier angedeuteten Verhältnisse haben wir blos bei der Erde zu betrachten und da trifft es zufällig sehr nahe ein, daß die Schwungkraft und die Anziehung der Aequatorialschichte, die im entgegengesetzten Sinne wirken, sich fast völlig aufheben, und man wird nie von der Wahrheit viel sich entfernen, wenn man die Wirkung der Kugel allein in Rechnung nimmt. Demnach wird die Anziehung der Erde oder die Schwere immer größer, je weiter man sich vom Aequator aus gegen die Pole entfernt, weil man dabei dem Mittelpunkte immer näher kommt.

Den bemerkenswerthen Umstand müssen wir hier noch hervorheben, daß die Richtung der Schwere stets senkrecht auf der Oberfläche der Erde ist, also nur am Pole und am Aequator genau nach dem Mittelpunkte geht, sonst aber mit der Mittelpunktsrichtung einen Winkel cAb (Fig. 4) macht *).

Betrachten wir die Anziehung, die ein Sphäroid A auf einen umkreisenden Körper B ausübt, so gibt es zwei Verhältnisse, die zu unterscheiden sind. Entweder fällt die Bahnebene des Körpers mit der Aequatorebene des Sphäroids zusammen, wie Fig. 6, oder sie machen einen Winkel mit einander, wie Fig. 7. Im ersten Falle erhält man ganz denselben Erfolg, als wenn an der Stelle des Sphäroids eine Kugel von derselben Masse sich befände; im zweiten Falle dagegen sucht der Körper B das Sphäroid zu drehen und den Aequator gegen die Verbindungslinie AB hinzubringen, während das Sphäroid den Körper B abwärts gegen die Aequatorebene zieht. Zwischen den zwei Ebenen besteht demnach eine Tendenz, sich zu nähern, und wären beide Körper in Ruhe, so würde auch eine allmählige Näherung stattfinden. Gibt man aber dem Sphäroid eine Drehung um seine Axe und setzt zugleich den Körper B in seiner Bahn in Bewegung, so wird dadurch (wie weiter unten §. 17. speciell nachgewiesen werden soll) eine Annäherung der beiden Ebenen verhindert, dagegen erfolgt eine allmählige Aenderung in ihrer Lage in solcher Weise, daß die Durchschnittslinie ab langsam zurückweicht. Die Präcession der Tag- und Nachtgleichen und mehrere analoge Wirkungen im Planetensysteme kommen auf solche Weise zu Stande.

10. Maß der Anziehung; Bewegung, die sie hervorbringt. Gesetzt, ein festgemachter Körper A Fig. 2 ziehe einen andern Körper B an, so wird der Körper B, wenn er aufgehalten wird, einen Druck ausüben, oder wenn er frei ist, sich nach der Richtung BA in Bewegung setzen. Den Druck können wir immer nach Pfunden, oder was bequemer ist, nach Tonnen (zu 2000 Pfund) angeben. So wiegt der Mond an und für sich 154300 Trillionen Pfund; in der Entfernung, wo er sich befindet, ist aber seine Anziehung gegen die Erde nur 43 Trillionen Pfund. Die Erde wiegt 6257 Trillionen Tonnen; die Anziehung gegen die Sonne beträgt aber nicht ganz 4 Trillionen Tonnen. Saturn wiegt 123950 Trillionen Tonnen, seine Anziehung beträgt aber nur $\frac{1}{5}$ Trillion Tonnen.

---

*) Wenn man diesen Winkel von der geographischen Breite abzieht, so erhält man die sogenannte verbesserte Breite, wie sie in der letzten Columne der Tab. XII. angegeben wird.

Erfolgt eine **Bewegung**, so ist sie um so größer, je größer die Kraft und je kleiner die zu bewegende Masse ist; die Masse bleibt aber in dem Falle, den wir hier betrachten, aus der Rechnung weg; denn es wird z. B. eine doppelte Masse mit zweifacher, eine dreifache Masse mit dreifacher Kraft angezogen; aber die doppelte Masse mit zweifacher und die dreifache Masse mit dreifacher Kraft werden nicht schneller bewegt, als die einfache Masse mit einfacher Kraft. So kommt es denn auch, daß auf der Oberfläche der Erde ein Centner nicht schneller fällt, als ein Pfund. Was das Verhältniß der Zeit zu dem zurückgelegten Raume betrifft, so läßt sich durch den Kalkul nachweisen, daß die zurückgelegten Räume, wie die Quadrate der Zeit, wachsen, d. h. wenn ein Körper in der ersten Secunde einen bestimmten Raum zurücklegt, so legt er in zwei Secunden den vierfachen, in drei Secunden den neunfachen Raum u. s. w. zurück. Wenn man den Raum kennt, den ein Körper in einer Secunde zurücklegt, so gibt dieß einen Begriff von der Größe der Anziehung und dient gewissermaßen als Maß der Kraft. Auf der Oberfläche der Erde fallen die Körper in einer Secunde 15 Pariser Fuß. Die Erde würde, vermöge der Anziehungskraft der Sonne sich dieser nähern in der ersten Secunde um $3\frac{1}{5}$ Zoll und **Uranus** nur um $\frac{1}{10}$ Pariser Linie. Man sieht, daß ungeachtet der Größe der Maße die Bewegungen nicht bedeutend sind, wegen der ungeheuren Entfernungen.

Oben haben wir den anziehenden Körper als **fest** angenommen; am Himmel kommt aber dieser Fall nicht vor, sondern alle Körper schweben frei im Raume. Die Folge davon ist, daß jeder Körper von jedem andern angezogen und in Bewegung gesetzt wird, immer ist jedoch die Anziehung und Bewegung im Verhältnisse der Maße; je größer die Maße, desto geringer die Bewegung. Die Sonne zieht die Erde in der ersten Secunde, wie eben bemerkt worden ist, $3\frac{1}{5}$ Zoll näher; da nun die Erde um 354936 mal kleiner ist als die Sonne, so bringt sie an der Sonne nur eine Bewegung von $\frac{1}{10000}$ Linie in der ersten Secunde hervor.

11. Bewegung in krummlinigen Bahnen. Aus dem Vorhergehenden läßt sich ersehen, daß der Stoß eine gradlinige und gleichförmige, die Anziehungskraft wieder eine gradlinige und gleichförmig beschleunigte Bewegung hervorbringt; weder durch die eine noch durch die andere Kraft **allein** kann eine krumme Bahn entstehen, sondern es wird hiezu das Zusammenwirken beider erfordert. Auf der Erde kennen wir blos **eine** Art von krummliniger Bewegung, die auf solche Weise zu Stande kommt, nämlich die Parabel oder Wurflinie. Wenn man einen Stein in die Luft schleudert nach der Richtung ab (Fig. 8), so sollte er in dieser Richtung mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich bewegen und in der ersten Secunde einen bestimmten Weg, z. B. ab, in der zweiten den gleichen Weg bc, in der dritten wieder den gleichen Weg cd zurücklegen. Dagegen fällt er gegen die Erde nach einer Secunde um 15 Fuß, was wir durch die Linie be vorstellen wollen, nach 2 Secunden um das vierfache (cf), nach 3 Secunden um das neunfache (dg) und erreicht so (in unserem Beispiele nach 3 Secunden) den Boden. Wäre die Kraft, womit der Stein geschleudert wurde, größer gewesen, so hätte er einen größern Bogen, jedoch von derselben Form beschrieben, aber auch längere Zeit dazu gebraucht.

Die Verhältnisse am Himmel sind verschieden, insofern als Bahnlinien von verschiedener Form entstehen können, je nachdem die Stoßkraft größer oder kleiner ist im Verhältnisse zur Anziehung. Es sei S (Fig. 9) die Sonne, a ein Körper, der in Ruhe ist und einen Stoß erhält nach der Richtung ab. Ist der Stoß sehr stark im Verhältnisse zur Anziehung, so bewirkt die Sonne bloß eine kleine

Krümmung der Bahn; der Körper kommt nach c und geht in den Raum hinaus, um nie wieder zurückzukehren. In diesem Falle wird die Bahn hyperbolisch genannt. Je kleiner die Stoßkraft ist, desto größer wird die Krümmung, und so kann der Körper über c_1, c_2, c_3 ... sich in den Weltraum hinaus bewegen; zuletzt aber bei immer fortgesetzter Abnahme des Stoßes gewinnt die Anziehungskraft der Sonne die Oberhand, und wenn der Körper nach c_4 kommt, so wird er auf dem Wege c_4 de nach a wieder zurückgeführt; er beschreibt eine geschlossene Bahn. Diese Bahnform wird die elliptische genannt. Bei dem Uebergang von der Hyperbel zur Ellipse ist letztere sehr gedehnt, zieht sich aber immer zusammen, je kleiner die Stoßkraft wird, bis zuletzt der Körper nach c_6 herüberkommt und eine Kreisbahn entsteht. Wird der Stoß noch schwächer angenommen, so kommt der Körper nach c_7 und nähert sich immerfort in einer Spirale der Sonne, in welche er zuletzt hineinfallen muß.

12. Bezeichnungen der elliptischen Bewegung. Im Sonnensystem treffen wir streng genommen nur eine einzige von den erwähnten Bahnformen, nämlich die elliptische an. Vor Allem wollen wir bei dieser mehrere häufig vorkommende Bezeichnungen erklären. Es sei ABCD (Fig. 10) eine in's Unendliche ausgedehnte Ebene, in welcher die Sonne S liegt und worauf alle Bewegung bezogen wird, die Ecliptik. Ein Körper beschreibe die Ellipse aebd, so nennt man die beiden Punkte e und d, wo seine Distanz von der Sonne am kleinsten und am größten ist, die Sonnennähe und die Sonnenferne, c die Mitte der Ellipse, S den Brennpunkt oder Focus der Ellipse, cS die Excentricität, de die große Axe, fg die kleine Axe, ec (oder cd) die halbe große Axe oder auch die mittlere Entfernung. Die Punkte a und b, wo die Grundebene durchschnitten wird, heißen die Knoten, und zwar (wenn der Körper in der Richtung des Pfeils herumgeht) a der niedersteigende und b der aufsteigende Knoten. Die Ellipse selbst ist bestimmt durch die mittlere Entfernung und die Excentricität, die Lage der Ellipse gegen die Ecliptik wird bezeichnet durch den Ort der Sonnennähe, den Ort des aufsteigenden Knotens und die Neigung oder den Winkel, den die Bahnebene mit der Ebene der Ecliptik macht. Diese Bestimmungsstücke nennt man die Elemente der Bahn.

13. Gesetze der elliptischen Bewegung. Ein Körper, der einen Kreis um die Sonne beschreibt, bewegt sich in jedem Theile der Bahn gleichförmig, und wenn er in einem gewissen Intervall, z. B. in einem Tage den Bogen ab (Fig. 11) zurücklegt, so werden in den folgenden Tagen die gleichen Bögen bc, cd u. s. w. zurückgelegt werden. Nach der gewöhnlichen Auffassungsweise würde man bei dieser Bewegung bloß die Bögen ab, bc, cd u. s. w. in Betracht ziehen. Es ist aber von Kepler eine andere Auffassungsweise in der Astronomie eingeführt worden; er betrachtet nämlich die Ausschnitte oder Flächen aSb, bSc, cSd ... und sagt, daß im ersten Tage die Fläche aSb, im zweiten die Fläche bSc u. s. w. beschrieben werden. Hiernach kann man die gleichförmige Bewegung im Kreise so ausdrücken: in gleichen Zeiten werden gleiche Flächen beschrieben. Dieses Gesetz erleichtert die Berechnung der Kreisbewegung nicht, die ohnehin einfach genug ist; hat aber dennoch eine große Bedeutsamkeit deßhalb, weil es nicht für den Kreis allein, sondern überhaupt für alle oben angedeuteten krummlinigen Bahnen gilt. Es ist bekannt unter dem Namen des zweiten Kepler'schen Gesetzes, und wurde ursprünglich von Kepler blos als Erfahrungssatz aus der Beobachtung abgeleitet, später aber von Newton als nothwendige Folge des Gravitationsgesetzes nachgewiesen. Zur Erläuterung habe ich in

Fig. 12 die Bahn des Encke'schen Kometen verzeichnet und in sieben gleiche Ausschnittflächen — umfassend die Bahntheile abc, cd, de, ef, fg, gh und ha — getheilt, wovon jede in einem halben Jahre beschrieben wird. Man sieht, daß die in gleicher Zeit beschriebenen Bögen von sehr ungleicher Größe sind, und in der Sonnennähe die Bewegung am schnellsten, in der Sonnenferne am langsamsten ist. Der Unterschied ist in diesem Falle sehr groß, denn der Komet legt die ganze Strecke von a über b nach c in einem halben Jahre zurück, während er in der Sonnenferne nur durch den Bogen ef oder fg in gleicher Zeit sich bewegt. Die Bahn des Kometen durchschneidet die Erdbahn unter einem Winkel von $13^1/_3$ Grad; nur der Theil mbn liegt oberhalb der Erdbahn.

14. Parabolische Bahnen der Kometen. Es ist kaum daran zu zweifeln, daß alle Kometen sich in Ellipsen um die Sonne bewegen, aber in den allermeisten Fällen sind die Ellipsen so gedehnt, daß wir nicht mehr mit Sicherheit angeben können, wie weit sie in den Raum hinausgehen, oder wie lange die Umlaufszeit dauert. Unter solchen Umständen sehen wir die Kometen auch nur ganz kurze Zeit, so lange sie nämlich in mäßiger Entfernung von der Erde sich befinden und den Theil abc (Fig. 13) am Ende der Ellipse beschrieben, wo sie der Sonne am nächsten kommen; die Ellipse selbst geht so weit hinaus, daß wir sie als unendlich gedehnt ansehen können. Das Endstück abc einer unendlich gedehnten Ellipse ist aber eine krumme Linie, die wir eine Parabel nennen. Da die Berechnung der Parabel weit einfacher ist, als die der Ellipse, so werden alle Kometenbahnen (insoferne wir ihre Länge nicht zu bestimmen im Stande sind) als Parabeln betrachtet, und man gibt dann unter den Elementen der Bahn, anstatt der Excentricität und halben großen Axe, nur die kleinste Distanz aS (Perihel-Distanz) an.

15. Berechnung der Bahnen; Problem der drei Körper, Störungen. Wie die Kometenbahnen eine sehr gedehnte Gestalt und große Excentricität haben, so treffen wir bei den Planetenbahnen das andere Extrem an, nämlich Ellipsen von sehr kleiner Excentricität, die fast als Kreise betrachtet werden können. Lagrange, einer der größten Mathematiker, die je gelebt haben, pflegte, wenn er auf diesen Gegenstand zu sprechen kam, in seiner einfachen Weise zu bemerken: „Es scheint, als wenn die Natur die Bahnen der Himmelskörper, so wie sie sind, gerade mit der Absicht eingerichtet hätte, damit wir sie berechnen können. So ist die Excentricität der Planeten sehr klein, jene der Kometen außerordentlich groß. Bestände nicht dieses für unsere Näherungsmethoden so günstige Verhältniß und hätten die Excentricitäten einen mittleren Betrag, so dürften die Mathematiker gleich die Arbeit aufgeben, sie könnten nichts ausrichten."

Die Bemerkung von Lagrange gilt übrigens nicht blos rücksichtlich der Excentricitäten, sondern auch rücksichtlich der Massen; denn hätten wir im Sonnensystem auch nur drei Körper von wenig verschiedener Größe, nämlich die Sonne S (Fig. 14) und die Planeten a und b, die nach den Richtungen ac, bd einen mäßigen Stoß erhielten, so wären alle Hülfsmittel der Mathematik nicht im Stande, die Bahnen genau anzugeben, die sie beschreiben würden. Man hätte nämlich hier nicht blos die Anziehung der Sonne, sondern auch die gegenseitige Anziehung der Planeten selbst in Rechnung zu nehmen, und die Bahnlinien müßten äußerst verwickelt sein.

Dieß ist das berühmte „Problem der drei Körper", dessen Lösung durch die bisherigen Bemühungen der Mathematiker auch nicht einmal in Aussicht gestellt ist, obwohl wir sonst keinen Grund haben, an der Möglichkeit zu zweifeln. Wenn einmal die Beobachtung der Doppel- und mehrfachen Sterne so weit gediehen ist, daß man zu einer vollständigen Theorie ihrer Bewegung die nöthige Grundlage erhält, so wird es dennoch nothwendig werden, irgend ein Mittel zur Lösung jenes Problems zu erdenken, weil es Fälle gibt, wo drei Sterne (Sonnen) von ungefähr gleicher Masse um einander herumgehen. Was aber unser Sonnesystem betrifft, so sind, wie ich oben schon bemerkte, die Verhältnisse so beschaffen, daß wir einer strengen Lösung gar nicht bedürfen: denn die im Vergleich mit der Sonne, ganz kleine Masse oder Anziehung jedes einzelnen Planeten hat auf die Bahn der übrigen nur sehr geringen, und wenn die Entfernung groß ist, gar keinen Einfluß; überdieß sind die durch solchen Einfluß hervorgebrachten Aenderungen nur vorübergehend. Zur Erläuterung wollen wir Venus und die Erde (Fig. 15) betrachten, deren Bahnen so nahe kreisförmig sind, daß man sie in der Zeichnung von Kreisen nicht unterscheiden kann. Es sei S die Sonne, Venus in a, die Erde in b, so zieht die Erde die Venus an, da aber die Masse der Erde nur den 354936sten Theil der Sonnenmasse beträgt, so ist die Anziehung unter sonst gleichen Umständen auch auch in demselben Verhältnisse kleiner. Gleichwohl entsteht eine kleine Beschleunigung der Venus, und sie wird ein wenig über ihre eigentliche Bahn hinausgezogen. Nach und nach holt Venus, die sich schneller bewegt, die Erde ein, und sie kommen in a' und b' in gleiche Linie mit der Sonne zu stehen, d. h. sie kommen in Conjunction. Hier übt die Erde auf die Venus die größte Anziehung aus: diese größte Anziehung beträgt aber nur ungefähr den 135350sten Theil der Sonnenanziehung. Nach der Conjunction eilt Venus vor und gelangt nach a'', wenn die Erde nach b'' kommt. Hier wird wieder die Anziehung der Erde so groß, wie sie in b war, wirkt aber im entgegengesetzten Sinne, und hält die Bewegung der Venus auf. Dasselbe gilt überhaupt für die Theile der Bahn, die vor und nach der Conjunction zurückgelegt werden, und was Venus an Bewegung vor der Conjunction gewonnen hat, verliert sie wieder nach der Conjunction. Freilich, setzen wir hier voraus, daß der Bahntheil, der vor der Conjunction beschrieben wird, dem nachher beschriebenen gleich sei, was nur bei Kreisbahnen der Fall sein würde, bei Ellipsen aber, auch wenn sie nur kleine Excentricität haben, nicht der Fall ist. In Folge dieses Verhältnisses bleibt in der That auch immer etwas von dem Einflusse der Erde übrig: indessen muß bemerkt werden, daß die zwei Planeten bei jedem Umlaufe zusammen kommen, und das Uebriggebliebene bald eine Vermehrung, bald eine Verminderung ist, so daß nach einigen Umläufen die ganze Einwirkung sich aufhebt; dieß ist denn auch der Erfolg, welchen die genaue Rechnung nachweist.

Außer der Erde übt noch Jupiter eine merkliche Anziehung auf die Venus aus; die Anziehung des Mercur, des Mars und Saturn ist kaum merklich und die übrigen Planeten sind sämmtlich zu klein oder zu entfernt, um irgend eine Wirkung hervorbringen zu können. Im Ganzen findet man, daß Venus, in Folge der Anziehung der Planeten, im äußersten Falle etwa um 40 Secunden in Raum, d. h. um den Weg, den sie in 10 Minuten zurückgelegt, in ihrer Bahn voraus oder zurück sein kann. Aehnliches gilt auch von den übrigen Planeten: sie entfernen sich immer nur um einen ganz unbedeutenden Raum von dem Orte, den sie einnehmen würden, wenn die Anziehung der Sonne allein wirksam wäre. Diesem Verhältnisse zu Folge richtet man denn auch die Berechnungen immer so ein, daß man zuerst den elliptischen Ort, — wo der Planet sich einfinden würde, wenn er sich in der rein elliptischen Bahn bewegte, — bestimmt, dann die Größe hinzufügt, um welche er durch die übrigen

Planeten vor- oder rückwärts, hinein gegen die Sonne, oder hinausgezogen wird. Die letztere Größe nennt man „Störung“.

Ich habe im Vorhergehenden einen Begriff von planetarischen Störungen zu geben gesucht, und zwar durch geometrische Betrachtungen, darf indessen nicht vergessen, daß man den Erfolg der Planetenanziehung nur sehr unvollständig auf solche Weise darstellen kann. Die Astronomen gelangen dazu durch analytische Entwickelungen, und erhalten für den Störungsbetrag eine Reihe von Gliedern, welche von den mittlern Bewegungen der Planeten abhängen. Es handle sich z. B. um die Jupitersstörung, so weit sie vom Saturn abhängt, so enthält jedes Glied den Sinus oder Cosinus der Differenz zwischen einem Vielfachen (dem Einfachen, Zweifachen, Dreifachen ..) der Jupitersbewegung und einem Vielfachen der Saturnsbewegung, und der Betrag wird größer oder kleiner, wie die Sinusse oder Cosinusse zu- und abnehmen. Die Ausdrücke, die auf solche Weise erhalten werden, stellen allerdings den Erfolg dar, aber in einer künstlichen, nicht in der natürlichen Form, und wenn man von den Ausdrücken zurückgehen und eine Erklärung davon durch Raisonnement und Construction geben will, so findet man dieß unausführbar. So z. B. findet sich, daß Venus durch die Erde und Jupiter durch Saturn eine Störung erleidet unter nahe gleichen Verhältnissen, indem in beiden Fällen der störende Planet außerhalb des gestörten herumgeht: in beiden Fällen ist das Glied, welches von der zweifachen Bewegung des störenden, weniger der zweifachen Bewegung des gestörten Planeten abhängt, das beträchtlichste (in sofern die Excentricitäten nicht berücksichtigt werden). Hiefür wäre allenfalls noch ein geometrischer Grund zu finden; nun aber wird Venus durch die Erde beschleunigt, und Jupiter durch Saturn aufgehalten. Hier würde man umsonst sich bemühen, durch Raisonnement eine Erklärung zu geben.

Schon Pfaff hat mehrere hierauf bezügliche Gedanken geäußert, und v. Lindenau die Vortheile dargestellt welche die Astronomen dadurch erlangen würden, wenn sie voraussehen könnten, welche Glieder in der Entwickelung die beträchtlichsten wären: es ist indessen bisher kaum etwas Wesentliches geschehen, und man ist eben genöthigt, eine lange Reihe von Gliedern zu entwickeln, und diejenigen herauszuheben, welche von merklichem Betrage sind. Die Arbeit ist so umständlich, und die Berücksichtigung aller vorkommenden Bedingungen so weitläufig, daß selbst Lagrange, der die tiefste Einsicht in diese Verhältnisse besaß, und mehr als irgend ein Mathematiker beigetragen hat, die Methoden zu vereinfachen, die Besorgniß auszudrücken pflegte, es möchte der Weg, den wir jetzt verfolgen, auf eine Art von Willkürlichkeit hinführen.

16. Störungen von langer Periode. Besonders merkwürdig sind die sogenannten Störungen von langer Periode; ich führe sie hier zum Theile auch deßwegen an, weil eine einfache Erklärung sich geben läßt, warum sie so großen Betrag erlangen. Es sei B (Fig. 16) ein Planet, der genau doppelt so schnell sich bewegt als A, so daß er jedesmal zwei Umläufe macht, bis A einmal herumkommt. Setzen wir den Fall, daß die zwei Planeten in der Linie Sa, in Conjunction kommen, so erleidet B in der vorangehenden Bahnhälfte eine Störung, die, wie wir oben gesehen haben, in der folgenden Hälfte nicht ganz aufgehoben wird. Das Uebrigbleibende sollte dadurch sich aufheben, daß die Planeten in verschiedenen Theilen ihrer Bahnen, etwa in Sa_2, Sa_3, Sa_4 . . . . . zusammenkämen. Ist aber, wie wir eben angenommen, die eine Umlaufszeit gerade doppelt so groß, wie die andere, so werden die beiden Planeten jedesmal in derselben Linie Sa_1 zusammenkommen, und anstatt daß die von der ersten Conjunction übrigbleibende Störung aufgehoben würde, wird sie bei der zweiten Conjunction verdoppelt, bei der dritten verdreifacht u. s. w., woraus denn abzunehmen ist, daß wenn die Störung bei jeder einzelnen Conjunction auch nur unbedeutend wäre, sie auf solche Weise nach vielen Jahrhunderten bis zu einem enormen Betrag sich anhäufen würde. Die Vernichtung oder gänzliche Umgestaltung des Systems wäre die nothwendige Folge davon. Unter den verschiedenen Umständen, welche in unserm Planetensysteme vorkommen und die Absicht andeuten, die Dauerhaftigkeit des Systems zu sichern, gehört auch dieser, daß wir nirgends ein Verhältniß obiger Art antreffen. Unterdessen gibt es einzelne Fälle, wo die Vielfachen der Umlaufszeiten wenigstens einander ziemlich nahe kommen. So z. B. sind fünf Umläufe des Jupiter etwas Weniges größer als zwei Umläufe des Saturn, und wenn die erste Conjunction in der Linie Sa_1 stattgefunden hat, so wird die dritte ungefähr 8 Grad weiter vorwärts in b_1, die fünfte in Sb_2 u. s. w. stattfinden. So häuft sich in einer Gegend nach und nach ein bedeutender Störungsbetrag an, der erst aufgehoben wird, wenn die Conjunctionslinie wenigstens einen großen Theil des Umkreises zurückgelegt hat. Die analytische Entwickelung stimmt auch hiemit überein, sie zeigt, daß eine große Störung stattfindet, welche von der fünffachen Bewegung des Jupiter, weniger der zweifachen des Saturn abhängt, und erst in 881 Jahren sich ausgleicht. Noch mehrere ähnliche Verhältnisse werden wir bei Erklärung des Planetensystems anzuführen haben.

17. Bewegung in einer veränderlichen Ellipse: Secularänderungen. Es gibt noch eine andere Weise als die bisher angedeutete, die Störungen in Rechnung zu bringen. Wenn nämlich ein Planet durch die übrigen aus seiner Bahn gezogen wird, so bildet der Weg, den er in jedem Augenblicke beschreibt, ein Stück von einer Ellipse, nur nicht von derselben Ellipse. Man kann deßhalb die Bewegung eines Planeten sich so vorstellen, als wenn er in einer veränderlichen Ellipse, oder in einer Ellipse mit veränderlichen Elementen herumginge. Bei den Kometen berechnet man die Störungen durchgängig nach dieser Methode; auf die Planeten wird die Methode in der Regel nur angewendet, um die sogenannten Säcularänderungen zu bestimmen, deren Entstehung durch folgende Verhältnisse bedingt wird. Entwickelt man die Störung der Excentricität, der Neigung, der Länge des Perihels, so trifft man zuerst auf ein Glied, welches einfach der Zeit proportional ist, und immerfort mit der Zeit zunimmt; dann folgt eine Reihe von periodischen Gliedern, die nach gewissen Zeiträumen sich wieder aufheben, also eine dauernde Aenderung der Bahn nicht bewirken können. Was die mit der Zeit beständig zunehmenden Glieder — Säcularänderungen genannt — betrifft, so sind sie an und für sich alle sehr klein, aber dennoch von großer Wichtigkeit, weil der Betrag sich immerwährend anhäuft. Da wir darauf bei Erklärung des Planetensystems wieder zurückkommen müssen, so will ich hier nur ein paar Bemerkungen über die Entstehung oder Bedeutung der Säcularänderungen beifügen. Betrachtet man drei Körper, die Sonne S (Fig. 17), einen Planeten A, dessen Bewegung zu untersuchen ist, und einen störenden Planeten B und folgt man der Bewegung des Planeten A von a aus, so zeigt die Rechnung, daß er nach einem Umlaufe nicht genau wieder in die alte Bahn bei a hineingeht, sondern in der Nähe bei b vorbeigeführt wird. Auf gleiche Weise kommt er bei dem nächsten Umlaufe bei c vorüber. Hatte demnach die große Axe zuerst die Richtung Sm, so kommt sie bei dem zweiten Umlaufe nach Sm′, bei dem dritten nach Sm″ u. s. w., mit andern Worten: die elliptischen Bahnen der Planeten und Kometen drehen sich um die Sonne. Diese

Bewegung ist übrigens so langsam, daß keine Planetenbahn weniger als 20,000 Jahre braucht, um den ganzen Umkreis einmal durchzumachen. Die Rechnung zeigt, daß die Excentricität mit dieser Bewegung der Bahn zusammenhängt und den ursprünglichen Werth wieder erlangt, so oft die Bahn den ganzen Umkreis zurücklegt, in so ferne die Bahn des störenden Planeten als fix angenommen wird. Die Art und Weise, wie die gegenseitige Anziehung der Planeten diesen Erfolg herbeiführt, genau nachzuweisen, würde kaum durch geometrische Betrachtung gelingen; dagegen glaube ich gar wohl, den Erfolg der Störungen auf die Neigung der Bahnen und den Ort der Knoten geometrisch anschaulich entwickeln zu können; ich wähle als Beispiel Jupiter und Pallas, weil die Neigung der Pallasbahn sehr groß ist ($34\frac{1}{2}$ Grad) und die Wirkung des Jupiter sehr beträchtlich. Es sei (Fig. 18) A B C die Jupiters-, a b c d die Pallasbahn. Je nachdem Jupiter und Pallas in dem einen oder andern Theile ihrer Bahnen gerade sich befinden, wird natürlich die Entfernung und mithin auch die Anziehung sowohl als die Richtung der Anziehung verschieden sein. Nur eine Wirkung gibt es, die immer in einem bestimmten Sinne vor sich geht. Ist nämlich die Pallas oberhalb der Jupitersbahn, so wird sie abwärts, und ist sie unterhalb, so wird sie aufwärts gezogen, und man kann sich die Sache so vorstellen, als befände sich in der Ebene der Jupitersbahn — und zwar verbreitet über diese ganze Ebene — eine gewisse Kraft, welche die Pallas anzieht. Streng genommen ist diese Kraft größer oder kleiner nach der Entfernung der beiden Planeten; in so ferne es uns aber darum zu thun ist, bloß den Totaleffekt zu bestimmen, können wir von der Ungleichheit abstrahiren und uns die Kraft als constant, d. h. dem Durchschnittswerthe gleich, annehmen. Die Wirkung dieser Kraft wollen wir nun betrachten, und vom Punkte b an die Bewegung der Pallas verfolgen. Da sie hier beständig herabgezogen wird, so tritt sie nach und nach aus ihrer Bahn, nähert sich mit beschleunigter Geschwindigkeit der Jupitersebene und durchschneidet diese bei c'. Der Durchschnittspunkt ist also von c nach c' zurückgewichen. Die Pallas geht mit der durch Jupiter erhaltenen Geschwindigkeit auf der untern Seite der Bahn hinaus: von diesem Augenblicke an wirkt aber die Anziehung des Jupiter in entgegengesetztem Sinne, nämlich aufwärts: und die Geschwindigkeit, welche Pallas von b bis c' angenommen hatte, wird, bis sie nach d kommt, vollständig wieder aufgehoben. Die Pallas entfernt sich also von der Jupitersbahn nicht mehr und nicht weniger, als wenn gar keine Anziehung dagewesen wäre. Von d anfangend treten wieder dieselben Verhältnisse, wie bei b ein: die Pallas wird gegen die Jupitersebene von Neuem hingezogen, schneidet früher als sie sonst gethan hätte — nämlich bei a' — die Jupitersebene und verliert von a' bis b' die Geschwindigkeit, die sie von d bis a' gewonnen hatte. Man sieht, daß die äußerste Entfernung der Pallas von der Jupitersebene oben und unten durch die Anziehung nicht vergrößert und nicht verkleinert wird: und da die Neigung von der äußersten Entfernung abhängt, so ergibt sich, daß die Anziehung auch auf diese keinen Einfluß ausübe. Was aber die Durchschnittslinie der beiden Bahnen betrifft, so wird sie nach dem ersten Umlaufe von a c nach a' c', nach dem zweiten Umlaufe nach a'' c'' verlegt und rückt so bei jedem folgenden Umlaufe in gleichem Sinne fort. Durch solche Betrachtungen gelangen wir zu zwei für die Planetenbewegung höchst wichtigen Sätzen:

1) die Durchschnittslinien von je zwei Planetenbahnen weichen bei jedem Umlaufe zurück;
2) die Neigung von je zwei Planetenbahnen gegen einander bleibt stets im Mittel unverändert.

Die hiebei bezeichneten Wirkungen sind, der gegebenen Erklärung zufolge, nur als durchschnittliche zu betrachten, wie sie sein werden, wenn es um Perioden von vielen Umläufen sich handelt: soll gerade für einen einzelnen Umlauf der Weg der Pallas bestimmt werden, so wird allerdings der Einfluß des Jupiter, je nachdem er gerade in einem Theil seiner Bahn sich befindet, etwas größer oder etwas kleiner als der Mittelwerth sein.

Die vorhergehende Entwickelung läßt sich unmittelbar auf den Fall anwenden, wo ein Mond oder Satellit um einen sphäroidisch gestalteten Planeten in kreisförmiger Bahn und unter einem Winkel gegen den Aequator des Sphäroids sich bewegt (§. 5.). Betrachten wir fürs Erste die Bewegung des Satelliten und werfen dabei einen Blick auf die oben schon erläuterte Fig. 7, so ist leicht einzusehen, daß er in jedem Theile der Bahn gegen die Aequatorebene des Sphäroids hingezogen wird, das Sphäroid also eine ganz ähnliche Kraft, wie in dem oben betrachteten Falle Jupiter ausübt. Demnach wird auch ein ähnlicher Erfolg zu Stande kommen, und die Durchnittslinie der Satellitenbahn wird beständig zurückweichen, ohne daß die Neigung sich ändert.

Handelt es sich aber darum, die Rotationsbewegung des Sphäroids zu bestimmen, so müssen wir dem Satelliten die Stelle zuweisen, die im obigen Beispiele Jupiter einnahm, das Sphäroid dagegen müssen wir uns (nach §. 9) vorstellen, als bestehend aus einer Kugel und einer großen Anzahl von Massen, die aneinander angereiht die Aequatorialschichte bilden und wovon jede bei der Umdrehung des Sphäroids eine Kreisbahn beschreibt. Der Erfolg wird sein, wie oben, daß die Durchschnittslinie der Bahn jeder einzelnen Masse, folglich auch die Durchschnittslinie des Aequators auf der Satellitenbahn zurückweicht, während die Neigung unverändert bleibt.

Das Gesagte gibt noch keine vollständige Vorstellung von dem Erfolge der Planetenstörungen, weil wir nicht zwei, sondern acht Hauptplaneten haben, die sich gegenseitig stören, bei dem geringfügigen Betrage der Störung kommt man übrigens der Wahrheit immer hinreichend nahe, wenn man die Gesammtstörung der Summe der Störungen, die jeder einzelne Planet für sich hervorgebracht hätte, gleich setzt.

18. Anwendung physikalischer Lehrsätze in der Astronomie. Sehr viele Gegenstände, welche der Physik im engern Sinne angehören, werden in die Astronomie hineingezogen und da in eigenthümlicher Weise benützt: so kommt z. B. bei den Instrumenten die Elastizität der Metalle, ihre Ausdehnung durch die Wärme und verschiedene ähnliche Verhältnisse in Betracht. Es ist merkwürdig, wie die Astronomie in dieser Hinsicht sich, man möchte fast sagen, von Jahr zu Jahr ausdehnt und immer neue Umstände ausfindig macht, welche auf astronomische Bestimmungen in der einen oder andern Weise Bezug haben. Es gab eine Zeit, — es ist kaum fünfzig Jahre her, — wo die Arbeit des Astronomen viel einfacher war, als jetzt: ein Künstler wurde beauftragt, die Instrumente anzufertigen und aufzustellen, der Astronom beschränkte sich blos auf die Beobachtung. Freilich gab es sonderliche Mißgeschicke bei dieser Einrichtung: unter Andern könnte ein Astronom namhaft gemacht werden, der die geographische Breite seiner Sternwarte um mehr als eine Minute irrig bestimmt hat, weil von dem Künstler der Quadrant unrichtig war aufgestellt worden. Noch häufiger als in Versehen dieser Art lag der Grund ungenauer Bestimmungen in der Natur der Instrumente selbst: so hat man sich wohl hundert Jahre der Fernröhre an Kreisen bedient, bis man darauf kam, daß die Fernröhre vermöge der Schwere sich biegen, und daß diese Biegung auf die Beobachtungen Einfluß hat. Nach und nach haben indessen verschiedene ähnliche Entdeckungen die Astronomen von der Nothwendigkeit sorgfältiger Untersuchung völlig überzeugt, und jetzt trauen sie weder den Künstlern mehr, noch den Materialien, woraus die Instrumente gemacht sind: Alles muß speciell durchforscht und geprüft werden; Messungen und Wägungen, Microscope und Fühlhebel und eine Menge analoger Hülfsmittel, die sonst nur in physikalischen Kabineten vorkamen sind jetzt auf allen Sternwarten einheimisch geworden. Aus diesem Bereiche ließe sich sehr viel für die Astronomie Wichtiges anführen, wenn es nicht aus Gründen, die in der Einleitung erwähnt sind, für den Zweck gegenwärtiger Darstellung geeignet schiene, das Detail der Beobachtungskunst, und die (ganz der Physik angehörenden) Grundsätze der Instrumenten-Construction wegzulassen. Ich werde mich hiernach in den folgenden Blättern darauf beschränken, aus dem Gebiete der Physik nur einige wenige Lehrsätze, die zum Verständnisse später vorkommender Untersuchungen nöthig sind, zu erwähnen.

19. Das Pendel. Zu einer Zeit, wo man von Pendeln und Pendel-Uhren noch nichts gewußt hat, soll Galilei im Dome von Pisa, als Chorknabe, in mathematischer Zerstreuung versunken, die langsamen Schwingungen der von der Decke herabhängenden Kirchenlampe zum Gegenstande der Betrachtung gemacht haben, und dadurch veranlaßt worden sein, die Gesetze der Schwingungen zu suchen. Die Lösung dieser Aufgabe gehört zu den vielen genialen Arbeiten, womit er in der Folge die Wissenschaft bereichert hat. Huyghens führte später das Pendel in die Mechanik und Astronomie ein, und gegenwärtig bildet es ein so wichtiges Hülfsmittel, daß wir nothwendig hier einige darauf bezügliche Bestimmungen erwähnen müssen. Daß ein kurzes Pendel schneller schwingt als ein langes, ist eine Beobachtung, die in unserer Zeit, wo Pendel-Uhren so häufig gebraucht werden, Jeder zu machen Gelegenheit hat: das Verhältniß der Schwingungsdauer läßt sich indessen nicht unmittelbar wahrnehmen, sondern bedarf mathematischer Entwickelung, woraus man findet, daß die Pendellängen wie die Quadrate der Zeiten zunehmen, d. h. ein Pendel von 2 Sekunden Schwingungsdauer 4 mal, und ein Pendel von 3 Sekunden Schwingungsdauer 9mal länger sein muß, als ein Sekunden-Pendel.

Dem Astronomen ist das Pendel in doppelter Beziehung wichtig, einmal, weil er die Zeit, wofür er ein sehr genaues Messungsmittel nöthig hat, damit bestimmt, dann auch, weil er es anwendet, um die Gestalt der Erde zu untersuchen. Der Zusammenhang mit letzterem Zwecke wird sich von selbst ergeben, sobald man bedenkt, daß die Schwingungen des Pendels durch die Schwerkraft der Erde bedingt werden. Wenn ich einen Faden in a (Fig. 19) befestige und eine Kugel an das untere Ende hänge, so wird der Faden in der senkrechten Richtung a c zur Ruhe kommen.

Ziehe ich die Kugel nach b seitwärts und lasse sie dann los, so wird sie durch die Anziehungskraft der Erde veranlaßt, den tiefsten Punkt c wieder zu suchen: sie wird auch um so schneller diesen Punkt erreichen, je beträchtlicher die Anziehungskraft der Erde, oder (um auf die oben entwickelten Verhältnisse mich zu beziehen) je näher das Pendel dem Mittelpunkte der Erde ist. Läßt man also an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche dasselbe Pendel schwingen, so ist man im Stande, aus der Schwingungszeit die relative Entfernung eines jeden Punktes vom Mittelpunkte, mithin die Figur der Erde zu bestimmen. Wir werden später sehen, daß dieses Mittel schon sehr häufige und gelungene Anwendung gefunden hat.

Es kann noch hier bemerkt werden, daß die Pendelschwingungen die Figur der Erde nur dann geben, wenn im Innern die Materie regelmäßig vertheilt ist. Gäbe es in der Erde große hohle Räume, oder Anhäufungen von besonders schweren und compacten Stoffen, so würde dies an der Geschwindigkeit der Pendelschwingungen sich äußern. Es sind Andeutungen dieser Art schon vorhanden und man sieht, wie das Pendel noch das Mittel werden kann, die Tiefen der Erde, wohin uns der Zugang sonst verwehrt ist, zu erforschen.

20. Licht und Wärme, ihr Verhalten im Weltraume. Die Astronomie entlehnt aus der Lehre von der Wärme und dem Lichte mehrere Sätze und macht davon vielfache Anwendung; wir wollen hier die vorzüglichsten anführen. Newton stellte sich das Licht als einen Ausfluß des leuchtenden Körpers — als eine Emission — vor: das Licht wäre hiernach eine — freilich unendlich feine — Substanz, die vom leuchtenden Körper, in geradliniger Richtung ausgesendet wird und in dem Auge die Empfindung des Sehens hervorbringt.

Anstatt der Emission hat man in neuerer Zeit eine andere Vorstellung eingeführt, wornach überall im Raume ein Aether verbreitet sein soll, welcher durch den leuchtenden Körper in Schwingung oder Wellen-Bewegung — Undulation — versetzt wird. Das Licht pflanzt sich dann durch den Aether fort, wie der Schall durch die Luft und regt das Auge an in derselben Weise, wie die Luftvibrationen das Gehör.

Diese letztere Hypothese — die Undulations-Theorie des Lichtes — hat für jetzt entschieden mehr Wahrscheinlichkeit für sich, als die Emissions-Theorie. Man muß übrigens niemals vergessen, daß Hypothesen blos die Bestimmung haben, Thatsachen zu erklären oder vielmehr in Zusammenhang zu bringen. Im Alterthume nahm man an, daß das Licht (d. h. dasjenige, was das Sehen vermittelt) vom Auge ausgehe und den Gegenstand erreiche, und zwar in unmeßbarer Zeit; diese Hypothese zeigte sich zur Erklärung der damals bekannten Thatsachen zureichend; dem jetzigen Stande physikalischer und astronomischer Untersuchung genügt sie nicht mehr: durch die neu hinzugekommenen Thatsachen wurde eine neue Hypothese zum unabweisbaren Bedürfnisse, und so machte sich zuerst die Emissionstheorie, später aber die Undulationstheorie geltend, die selbst wiederum nicht unwahrscheinlich durch die Ergebnisse künftiger Forschung modificirt werden wird. Ich sage dies, um anzudeuten, daß es nothwendig ist, immer die Thatsachen oder Erfahrungssätze festzuhalten und die Hypothesen blos als Zufälliges — als Verbindungsmittel — zu betrachten.

Das Licht braucht Zeit, um von einem Punkte zum andern zu kommen, und zwar legt es in jeder Sekunde 42000 Meilen zurück. Es ist vermuthet worden, daß das Licht verschiedener Gestirne eine ungleiche Geschwindigkeit haben könne, was indessen durch die Beobachtung sich nicht bestätigt hat.

Das Licht erscheint fast immer mit Wärme verbunden; ob die Wärme mit dem Lichte kommt, oder durch das Licht erregt wird, ob sie im ersten Falle schneller oder langsamer als das Licht sich bewegt, ist nicht entschieden; jedoch hat v. Wrede den Untersuchungsgang angegeben und eine Entscheidung in Aussicht gestellt.

Licht und Wärme vertheilen sich im Raume und werden dabei immer schwächer, je weiter man von der Quelle sich entfernt. Von einem leuchtenden Punkte a (Fig. 20) fällt auf die Quadrate A, B, C eine gleiche Lichtmenge, aber wenn die Entfernungen sich wie 1, 2, 3 verhalten, so ist dieselbe Lichtmenge in B auf die vierfache, in C auf die neunfache Fläche vertheilt. Derselbe Flächenraum erhält also in doppelter Entfernung nur $^1/_4$, in dreifacher Entfernung $^1/_9$ des Lichts. Man drückt dies so aus: die Lichtstärke nimmt im Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen ab.

Dasselbe gilt von der Wärme und gilt auch, wie bereits oben erklärt worden ist, von der Anziehungskraft. Wer die Verhältnisse etwas genauer betrachten will, wird leicht einsehen, daß jede Kraft, die von einem Punkte nach allen Richtungen geradlinig ausgeht, auf immer größere Räume sich vertheilt, übereinstimmend mit dem eben ausgedrückten Gesetze. Wenn man sagt, daß eine Kraft in gerader Linie sich fortpflanzt oder wirkt, so ist damit auch gesagt, daß sie nach dem Quadrate der Entfernung abnehmen müsse.

Anziehungskraft, Licht, Wärme zeigen in ihrem Verhalten im Allgemeinen viele Aehnlichkeit, aber auch manchen bemerkenswerthen Unterschied. Die Anziehungskraft durchdringt Alles: so wird der Mond, wenn die Erde zwischen ihm und der Sonne ist, eben so stark von der Sonne angezogen, als wenn die Erde nicht da wäre. Das Licht geht nur durch wenige Körper, — Wasser, Glas, Luft —; verliert aber an Stärke und ändert in der Regel mehr oder weniger seine Richtung. Mit der Aenderung der Richtung ist zugleich das Zerfallen in mehrere Farben (prismatische Farben) verbunden.

Der Wärme — als Begleiterin des Lichtes betrachtet — müssen wir dieselben Eigenthümlichkeiten hinsichtlich der Fortpflanzung, wie sie eben für das Licht angegeben worden sind, beilegen: sie durchdringt mit dem Lichte durchsichtige Körper, ändert mit dem Lichte ihre Richtung, begleitet in bestimmtem Verhältnisse die einzelnen prismatischen Farben. Geht dagegen die Wärme in solche Körper über, welche das Licht nicht zu durchdringen im Stande ist, so hört die geradlinige Bewegung sowohl als die Lichtgeschwindigkeit auf und die Wärme breitet sich langsam nach allen Richtungen gleichmäßig aus.

Die sämmtlichen hier angeführten Sätze finden in der Astronomie gelegenheitliche Anwendung und werden mit der Zeit weit größere Bedeutung erlangen, wenn es gelingen sollte, hinreichend feine Hülfsmittel zur Untersuchung der von den verschiedenen Himmelskörpern ausgehenden Licht- und Wärmestrahlen herzustellen.

21. Messung der Lichtstärke. Die Wärme messen wir mit dem Thermometer: für das Licht haben wir kein geeignetes Messungsmittel, so sehr es auch von Interesse wäre, Bestimmungen darüber zu erhalten. Bisher hat man blos Schätzung angewendet; was man aber auf solche Weise erhält, ist mehr eine Klassification, als eine wirkliche Maßbestimmung. Bei der Schätzung wie bei der Messung bietet die Farbe ein wesentliches Hinderniß dar: so kann man z. B. ein rothes und ein blaues Licht nicht mit einandee absolut vergleichen. Außerdem ist noch ein wichtiger Umstand in Betracht zu ziehen, den man bisher stets übersehen hat. Es ist möglich, daß, wenn man das Licht eines Sternes erster Größe um die Hälfte vermindert, der Eindruck auf das Auge noch halb so stark ist. Es ist möglich, daß dies auch noch bei einem Sterne 5ter Größe der Fall sei: entschieden hört aber das gleichmäßige Fortschreiten bei den Sternen 6ter Größe auf; denn die Hälfte des Lichts eines Sterns 6ter Größe verschwindet dem freien Auge ganz. Mit andern Worten, es ist möglich (aber noch nicht erwiesen), daß der Eindruck, den das Licht auf das Auge macht, bei mittlerer Intensität, der Lichtmenge proportional ist: gegen die Grenzen hin, sowohl bei sehr starkem als bei sehr schwachem Lichte, hört die Proportionalität auf.

22. Das Sehen, scheinbare Größe, und deren Maßangabe. Das Sehen ist eine so einfache und so häufig angewendete Operation, daß wohl Jeder eine richtige Vorstellungen davon haben sollte, und doch liegt gerade in der Unrichtigkeit mancher von Jugend auf angenommenen Vorstellung bezüglich auf das Sehen eine Hauptschwierigkeit, auf welche man stets trifft, wenn man von astronomischen Erscheinungen eine Erklärung geben will. Es wird nämlich bei irdischen Gegenständen mit dem Sehen die Vorstellung von Entfernung unzertrennlich verbunden, und dies hat zwei Folgen, für's Erste, daß wir die Gegenstände anders sehen (oder zu sehen glauben), als sie wirklich sich darstellen, und für's Zweite, daß wir einer Grundlage bei Beurtheilung der Erscheinungen zu entbehren glauben, sobald der Begriff von Entfernung wegfällt. Ob man ein Haus von einer Entfernung von 50 Schritten oder von einer Entfernung von 100 Schritten ansieht, ist nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise gleichgültig: es wird im einen wie im andern Falle als gleich groß beurtheilt, während das Bild, welches sich dem Auge darstellt, im zweiten Falle nur halb so groß ist, wie im ersten: Wir bringen nämlich beim Sehen die Entfernung gleich in Anschlag. So sehr ist man gewohnt, die Entfernung in Anschlag zu bringen, daß Ungeübte auch bei astronomischen Gegenständen eine Entfernung sich denken, und darnach die Größe beurtheilen. Es ist mir nicht selten vorgekommen, daß, wenn Mehrere einen Planeten, z. B. den Jupiter, durch ein Fernrohr ansahen, der Eine den Durchmesser der Scheibe zu einem Zoll angab, während Andere einen Durchmesser von 4 bis 6 Zoll wahrzunehmen glaubten. Offenbar liegt der Grund hievon nur darin, daß der Eine sich den Planeten näher, der Andere entfernter gedacht hat. Beim Sehen mit freiem Auge tritt ebenfalls, wo die Entfernung wegfällt, dieselbe Unsicherheit in der Beurtheilung hervor: so werden Manche den Sonnen-Durchmesser zu 1 Fuß, Andere zu $\frac{1}{2}$ Fuß angeben; Jeder aber fühlt die Unsicherheit und schwankt in seinem Urtheile, sobald er in solchem Falle eine Maßbestimmung aussprechen soll. Gleichwohl unterliegt es keinem Zweifel, daß in der geschichtlichen Vorzeit Längenmaße auf den Himmel überzutragen versucht worden ist; so geben die chinesischen Annalen durchgängig die Länge der Kometen-Schweife, den scheinbaren Zwischenraum zwischen den Kometen und einzelnen Sternen u. s. w. in Fußen und Ellen an. Dem Scharfsinne der Griechen entging es nicht, daß auf solche Weise eine richtige Bestimmung niemals auszuführen sei; sie wählten deßhalb den Umkreis des Himmels (einen größten Kreis um den Himmel gezogen), als Maß, und bestimmten darnach Bewegung und scheinbare Größe. So konnten sie sagen, daß der Mond jeden Tag um $\frac{1}{30}$ des Umkreises fortschreite; daß die Hauptsterne im kleinen Hund und im Adler um die Hälfte des Umkreises von einander abstehen u. s. w. Auf solche Weise machten sie die Angaben unabhängig von Entfernung und allgemein gültig. Die Einrichtung war bequem genug, so lange es um größere Zwischenräume als $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ . . . des Umkreises sich handelte; bei kleineren Angaben wurden die Brüche unbequem; unterdessen setzten die alten Astronomen diese Bruchtheilung sehr weit fort: so gab Aristarchus an, daß der Durchmesser der Sonne $\frac{1}{720}$ des Himmels-Umkreises ausmache, d. h. 720 Sonnen neben einander gestellt, den ganzen Umkreis ausfüllen würden, was gar nicht viel von der Wahrheit abweicht. Von Archimedes, dem Urvater der Meßkunst, sind ähnliche Bestimmungen vorhanden. Eine bequeme Ausdrucksweise führte erst Ptolemäus ein, indem er den ganzen Umkreis in 360 Grade eintheilte, und die Zwischenräume am Himmel in Graden und Brüchen von Graden ($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{6}$) angab. Die Ptolemäische Gradeintheilung ist jetzt noch im Gebrauche: als Unterabtheilungen werden aber in der Regel nicht mehr Brüche, sondern Minuten (60 zu einem Grade) und Sekunden (60 zu einer Minute) gebraucht.

23. Scheinbare Gestalt und scheinbare Bewegung. Wenn die wirkliche Gestalt eines Körpers gegeben ist, so lehrt die Optik, unter welcher Form oder mit welcher Begränzung derselbe gesehen wird. Für die Rechnung ist dies eine, wenn nicht schwierige, doch in den meisten Fällen umständliche Aufgabe; wo es aber nur auf eine Vorstellung überhaupt, nicht auf präcise

Zahlenbestimmungen ankommt, möchte wohl Niemand eine Schwierigkeit darin finden. Gleiches gilt von der scheinbaren Form der Bahn, in welcher sich ein Körper bewegt. Daß z. B. eine Kugel als eine flache Scheibe, daß der Ring des Saturn, der an und für sich rund ist, weil wir ihn von der Seite ansehen, oval erscheint, daß die fast kreisrunden Bahnen der Saturns-Satelliten, die wir ebenfalls schief, nicht senkrecht, sehen, als längliche Ellipsen sich darstellen, daß die Jupiters-Trabanten, deren Bahnebene fast mit der Gesichtslinie zusammenfällt, in gerader Linie hin und her zu gehen scheinen, einmal vor, einmal hinter dem Jupiter — dies Alles begreift Jeder leicht. Dagegen haben wir einen andern Umstand bei den scheinbaren Bewegungen der Gestirne zu erwähnen, welcher unter allen vorkommenden Verhältnissen am meisten dazu beiträgt, die Astronomie für den eigentlichen Beobachter, wie für den bloßen Beschauer des Himmels verwickelt zu machen, ich meine die Bewegung der Erde und die Uebertragung dieser Bewegung auf die Gestirne. Wir sind von Natur aus gewohnt, uns stets unsern eigenen Standpunkt als feststehend und unbeweglich zu denken, und alle Ortsveränderung den Gegenständen außer uns zuzuschreiben. So scheint es demjenigen, der auf einem Schiffe fortgetragen wird, daß die Ufer vorüberziehen, das Schiff dagegen stille stehe; ebenso hat es für uns den Anschein, als wenn der gestirnte Himmel von Osten nach Westen sich bewege, während in der Wirklichkeit unser Standpunkt durch die Umdrehung der Erde in entgegengesetzter Richtung vorübergeführt wird. In gleicher Weise tragen wir die jährliche Bewegung der Erde in ihrer Bahn auf die Sonne und die Planeten über, lassen die Sonne, die in der Wirklichkeit unbeweglich steht, unter den Sternen von West nach Ost fortrücken, und die Planeten in schlangenförmigen Linien sich bewegen, während ihre wahre Bahn eine andere und viel einfachere Form hat. So wenig man sagen kann, daß ein Verhältniß, welches wir von Jugend auf bei irdischen Dingen gewohnt sind, an und für sich schwer begreiflich wäre, so unläugbar ist es auf der andern Seite, daß Niemand im Stande sein wird, die Erscheinungen des Himmels einzusehen, ohne sich mit diesem Verhältnisse und den daraus entstehenden Folgerungen durch ernstes Nachdenken vertraut gemacht zu haben.

24. Modification der einfachen Lichtgesetze. Die Lichtgesetze, die wir im Vorhergehenden angedeutet haben, erleiden unter besondern Umständen mancherlei Modificationen; für unsern Zweck wird es aber ausreichen, ein paar Bestimmungen hier anzuführen, auf welche wir uns später zu beziehen Veranlassung finden werden. Die Strahlen, die von einer begränzten Lichtfläche ausgehen, bringen auf der Netzhaut des Auges ein Bild hervor, dessen Größe, (wenn die nöthigen Data gegeben sind) sich berechnen läßt. Die Erfahrung aber zeigt, daß das Bild immer größer ist, als die Rechnung es gibt. Der Grund dieser Erscheinung liegt zum Theil in der Construction des Auges, welches die Strahlen nicht vollständig sammelt, zum Theile aber auch darin, daß, wenn eine Stelle der Netzhaut angeregt wird, diese Anregung den zunächst liegenden Stellen sich mittheilt. Je heller die Lichtfläche und je empfindlicher die Netzhaut ist, desto weiter geht der Lichteindruck über die eigentlichen Gränzen des Bildes hinaus. Den hier bezeichneten Erfolg nennt man Irradiation; in der weniger wissenschaftlichen Sprache wird er so ausgedrückt, daß man sagt, die Bilder seien mit falschem Lichte umgeben. Gute Fernröhre vermindern gewissermaßen diesen Fehler, indem sie das Bild vergrößern, aber nicht das falsche Licht. Aus dem Vorhergehenden folgt, daß ein Fernrohr bei starker Vergrößerung eine helle Lichtfläche unter kleinerem Winkel zeigt, als wenn eine kleinere Vergrößerung angewendet wird, vorausgesetzt, daß das Fernrohr selbst die Strahlen gehörig sammelt. Nehmen wir beispielsweise an, daß die Irradiation des Sonnenbildes ohne Fernrohr auf der Netzhaut $1/_{10}$ des Durchmessers betrage, so würde aus dem eben Gesagten folgen, daß durch ein Fernrohr mit 10maliger Vergrößerung das Sonnenbild nur um $1/_{100}$ zu groß gesehen wird: bei 100maliger Vergrößerung müßte die Irradiation nur $1/_{1000}$ des Durchmessers betragen.

Hiemit stimmt denn auch die aus vielfacher Beobachtung ermittelte Thatsache überein, daß kleine Fernröhre (bei denen natürlich auch die Vergrößerung kleiner ist) den Durchmesser der Sonne und des Mondes im Winkelmaß größer geben, als Fernröhre mit größeren Dimensionen.

Eine zweite Modification der Lichtgesetze, die für den Astronomen von Interesse ist, besteht darin, daß, wenn ein Lichtstrahl an einer Kante vorbeigeht, eine Ablenkung von der geraden Linie einwärts und auswärts, und dadurch eine Trennung der Farben erfolgt. Der Fall kommt bei Sonnenfinsternissen und Sternbedeckungen vor; unterdessen lassen sich nicht alle hieher bezüglichen Phänomene, welche von den Astronomen beobachtet worden sind, durch die von den Physikern aufgestellten Gesetze befriedigend erklären.

25. Fernröhre. Es ist aus der Optik bekannt, und Jeder kann leicht selbst durch den Versuch sich davon überzeugen, daß eine Glaslinse A B (Fig. 21) in einer gewissen Entfernung auf einem Bogen Papier C D ein kleines, scharf begrenztes, aber verkehrtes Bild der davor befindlichen Gegenstände darstellt. Die Entfernung, in welcher das Bild entsteht, nennt man die Focaldistanz, oder Brennweite der Linse. Läßt man das Bild in der Luft entstehen, und sieht es mit der kleinen Linse (Loupe) a b an, so wird es vergrößert. Damit sind die Bedingungen eines astronomischen Fernrohres ausgedrückt, und so waren auch die Fernröhre von Galilei, Cassini und andern Astronomen des 17. Jahrhunderts construirt. Die Linse A B nennt man das Objectiv, und a b das Ocular. Die Wirkung des Objectivs hängt von zwei Bedingungen ab, — von der Oeffnung (dem Durchmesser A B der Linse), und von der Brennweite. Je größer die Oeffnung, desto mehr Licht geht hinein, desto heller wird das Bild; je länger die Brennweite des Objectivs, desto größer wird das Bild. Die Vergrößerung der Objekte durch das Fernrohr hängt aber nicht vom Objectiv allein, sondern vom Verhältnisse des Objectivs und Okulars ab. Bei Anwendung desselben Objektivs werden die Gegenstände um so größer erscheinen, je mehr das Okular an und für sich vergrößert.

Die Vergrößerung durch das Okular ist nur eine Ausbreitung des Bildes auf eine größere Fläche. Dabei wird begreiflicher Weise das Bild weniger hell; denn wenn man dieselbe Lichtmenge auf eine größere Fläche ausdehnt, so erhält jeder Punkt um so weniger Licht. Man kann an einem Fernrohre mehr oder weniger vergrößernde Okulare anbringen, jedoch nur bis zu einer bestimmten Grenze: über diese Grenze hinaus trifft man auf zweierlei Hindernisse; für's Erste wird das Bild zu dunkel, für's Zweite werden die Unvollkommenheiten des Bildes vergrößert in demselben Maße, wie das Bild selbst und bringen zuletzt eine gänzliche Entstellung zu Stande. Dieß wird begreiflich, wenn man bedenkt, daß keine Objektiv-Linse hinreichend genau geschliffen ist, um ein vollkommenes Bild zu geben: die vorkommenden kleinen Abweichungen werden aber erst wahrgenommen, wenn sie in zu sehr vergrößertem Maßstabe sich darstellen.

Noch ein dritter Umstand kommt bei der Vergrößerung in Betracht, nämlich die Ausdehnung des Gesichtsfeldes. Je stärkere Vergrößerungen angebracht werden, desto weniger sieht man auf einmal. Auch dies ist als ein sehr ungünstiger Umstand zu betrachten.

26. Achromatische Fernröhre. Bei der bisher beschriebenen Einrichtung der Fernröhre tritt der besondere Uebelstand ein, daß das Licht beim Durchgange durch die Objektiv-Linse in Farben zerlegt wird, wie es bei jeder Lichtbrechung der Fall ist. So entstehen, ebenso viele Bilder, als es Farben gibt (nach Newton's Annahme 7), die im Focus nicht vollkommen zusammenfallen, weil sie von merklich verschiedener Größe sind; und zwar ist das rothe Bild das größte, das violette das kleinste. Hievon kann man sich durch vielerlei Erscheinungen leicht überzeugen; so wird man z. B. an einem Bilde der Sonne, welches im Brennpunkte einer einfachen Linse entsteht, bemerken, daß während sich in der Mitte alle Farben zu Weiß verschmelzen, am Rande das rothe Licht merklich heraustritt. Dieses Verhältniß ist ungemein störend, weßhalb Gelehrte und Künstler sich sehr frühzeitig damit beschäftigt haben, Abhülfe dafür zu suchen; ihren Bestrebungen lag durchgängig die Idee zu Grunde, dem Objektiv eine zweite Linse, aus einer verschieden wirkenden Glasart beizugeben, welche die Farben wieder vereinigen sollte. Die Realisirung dieser Idee gelang zuerst dem englischen Künstler Dollond; er wendete dazu indessen drei Linsen an, wovon die mittlere aus Flintglas, die zwei andern aus Kronglas waren. In neuerer Zeit, insbesondere seit Fraunhofer, werden nur zwei Linsen gebraucht, die dicht an einander anliegen: die vordere (äußere) Linse ist von Kronglas, die zweite von Flintglas. Eine solche Verbindung von Linsen heißt eine achromatische (farblose). Wie beim Objektiv, so läßt sich auch bei dem Ocular das Entstehen von Farben verhindern, es ist dies jedoch meines Wissens bisher nur von Amici versucht worden. Gewöhnlich setzt man das Ocular aus zwei Linsen von demselben Glase zusammen und läßt das Bild zwischen den zwei Linsen entstehen: hiebei treten die Farben kaum in wahrnehmbarem Maße hervor.

27. Beurtheilung der Güte eines Fernrohres Wer so weit mit astronomischen Arbeiten sich zu beschäftigen gedenkt, daß er Fernröhre in Anwendung bringt, muß auch über die Güte der Fernröhre ein Urtheil zu fällen im Stande sein: deßhalb halte ich für zweckmäßig, hier die Prüfungsmethode in Kürze anzugeben.

Die fehlerhafte Beschaffenheit der Fernröhre äußert sich vornehmlich durch das Verziehen der Bilder, dann durch unvollständige Vereinigung der Strahlen überhaupt, und der verschiedenfarbigen Strahlen insbesondere. Um hierüber urtheilen zu können, stelle man in einer Entfernung von 80—100 Schritten, eine weiße Tafel mit schwarzen runden und eckigen Figuren etwa nach der Form (Fig. 22) auf*). Verzieht das Fernrohr, so erscheinen die Figuren nach der einen oder andern Richtung verlängert: vereinigt es die Strahlen nicht gehörig, so sieht man die Gränzen (Ränder) der schwarzen Figuren nicht so schwarz, wie die Figur selbst, sondern grau, es kommt nämlich von dem umgebenden weißen Lichte einiges hinein: hebt das Fernrohr die Farben nicht auf,

*) Die Figur ist eine Darstellung (in $\frac{1}{10}$ der wirklichen Größe) einer von Fraunhofer angefertigten und jetzt noch an der hiesigen Sternwarte aufbewahrten Tafel, an welcher er Fernröhre zu prüfen pflegte. In England und, wenn ich nicht irre, auch in Frankreich wird die Ansicht allgemein festgehalten, daß man, um über die Güte eines astronomischen Fernrohres zu urtheilen, die Gestirne damit betrachten müsse; wenn ein Fernrohr die Planetenscheiben ohne Farbensäume und genau begränzt, wenn es die Sterne wie glänzende Punkte zeigt, und nahe Doppelsterne scharf trennt, so wird es für gut erklärt. Fraunhofer, dem man das competentste Urtheil in dieser Hinsicht nicht absprechen kann, zog die oben angegebene Prüfungs-Methode vor, hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Luft äußerst selten hinreichend rein ist, auch nicht so genau entschieden werden kann, wenn das Bild eines Sternes nicht rein erscheint, in wie ferne dies dem Fernrohre und in wie ferne der ungünstigen Luft zuzuschreiben ist. In Deutschland wird die Fraunhofer'sche Methode allgemein als die zweckmäßigste betrachtet.

so bemerkt man an den Gränzen einen farbigen Saum und zwar nach Umständen roth, grün, blau, violett. Eine unvollständige Vereinigung der Strahlen im Focus bemerkt man auch durch Verstellen des Oculars: ist das Objektiv gut, so gibt es nur eine Stellung des Oculars, wo das Bild vollkommen deutlich erscheint; bei einem minder guten Objektiv kann man das Ocular merklich verschieben, ohne sagen zu können, daß das Bild an Deutlichkeit und Schärfe gewinne oder verliere.

Das Bild eines Gegenstandes in einem vollkommenen Fernrohre sollte sich gleich bleiben, gleiche Schärfe der Gränzlinien und Helligkeit erhalten, man mag es in der Mitte des Feldes oder am Rande betrachten. Dasselbe sollte auch hinsichtlich der Farblosigkeit der Fall sein. Ich muß indessen bemerken, daß es unmöglich ist, alle Farben zu heben; und selbst bei den besten Fraunhofer'schen Fernröhren bleibt noch etwas Indigo und Violett übrig, Farben, die Fraunhofer als die unwirksamsten absichtlich vernachlässigt hat, um die übrigen desto genauer vereinigen zu können. Wenn aber ein Fernrohr an den Gränzlinien zwischen weiß und schwarz eine rothe, gelbe, grüne Färbung zeigt, so ist es entschieden nicht zu den bessern zu rechnen.

Die Unvollkommenheiten eines Objektivs treten um so stärker hervor, je mehr man das Bild vergrößert; es ist deßhalb zweckmäßig, bei der Prüfung mit dem schwächsten Oculare anzufangen, und stufenweise zu den stärkern überzugehen.

Ueberhaupt darf man bei Prüfung eines Fernrohres nicht vergessen, daß nirgends Vollkommenheit anzutreffen ist: von den vielen ganz verschiedenartigen Unvollkommenheiten, die vorkommen können, hat jedes Objektiv die eine oder andere in nicht unbeträchtlichem Grade. Man wird hiernach die Unsicherheit begreifen, die sich bei Beurtheilung von Fernröhren gewöhnlich zeigt.

28. Spiegel-Telescope. Es ist sehr schwer, ein Objektiv gehörig zu bearbeiten, noch schwerer die dazu erforderlichen Glasstücke (besonders wenn es um größere Dimensionen sich handelt) herzustellen. Deßhalb hat man in früherer Zeit häufig und auch hie und da in der neueren Zeit zu Metallspiegeln seine Zuflucht genommen. Ein metallener Hohlspiegel bringt im Focus ebenso gut, wie ein Objektiv ein Bild hervor, welches mit einer Loupe angeschaut und vergrößert werden kann: daß das Bild vor dem Spiegel entsteht, und durch ein Prisma oder einen zweiten Spiegel seitwärts oder rückwärts reflectirt werden muß, ist gerade kein wesentliches Hinderniß; ein großer Uebelstand ist es aber, daß die Spiegel nach und nach ihre Reinheit und Politur verlieren, und alle zwei bis drei Jahre einer mehr oder weniger bedeutenden Umarbeitung bedürfen. Allgemein werden sie aus diesem Grunde niemals werden, dagegen können sie in den Händen einzelner Gelehrten, die zugleich technische Geschicklichkeit besitzen, und selbst mit der Verfertigung und Wiederherstellung der Spiegel sich befassen, Außerordentliches leisten, weil man ihnen jede beliebige Größe zu geben im Stande ist. Dem großen (40füßigen) Telescop Herschel's ist an Wirkung noch kein achromatisches Fernrohr gleich gekommen, obwohl es an vielfachen Bemühungen, achromatische Fernröhre von mächtiger Wirkung herzustellen, in dem verflossenen halben Jahrhundert nicht fehlte. Daß auch von Herschel bei weitem das Höchste noch nicht erreicht worden ist, beweisen die neuern Unternehmungen von Lord Rosse, der Herschel's Leistungen in Hinsicht auf Größe der Spiegel noch um das Doppelte übertroffen hat.

29. Raumdurchdringende Kraft der Fernröhre. Es ist eine sehr allgemein verbreitete, aber irrige Ansicht, daß der Zweck der Fernröhre darin bestehe, die Gegenstände zu vergrößern. Die Vermehrung der Helligkeit beachtet man gewöhnlich nicht, obwohl diese Eigenschaft der Fernröhre für den Astronomen eigentlich die wichtigere ist. Von dem Lichte, welches ein entfernter Punkt aussendet, gelangt (bei Beobachtung mit freiem Auge) auf die Netzhaut so viel, als die Oeffnung der Pupille aufnimmt, und erregt daselbst die Empfindung des Sehens. Betrachte ich denselben Punkt durch ein Fernrohr, so gelangt das ganze Licht, welches auf das Objektiv trifft, in's Auge, und die Empfindung wird im Verhältnisse stärker sein; sollte aber die Empfindung dieselbe bleiben, so müßte für das Fernrohr der leuchtende Punkt weiter entfernt werden. Ein Fernrohr macht also Gegenstände sichtbar, die weit jenseits der natürlichen Sehgrenze liegen, und dringt (um Herschel's Ausdruck zu gebrauchen) weiter in den Himmelsraum hinaus, als die natürliche Kraft des Auges.

Will man die „raumdurchdringende Kraft" der Fernröhre durch Zahlenwerthe bestimmen, so muß man berücksichtigen, daß wegen der unvollkommenen Durchsichtigkeit des Glases nur $^8/_{10}$ der Objektivöffnung in Rechnung zu bringen ist, außerdem ist der Himmelsraum selbst nicht vollkommen durchsichtig, und man kann nach Struve annehmen, daß $^8/_{100}$ vom Lichte der Sterne für eine natürliche Sehweite verloren geht. Nimmt man dann die Oeffnung der Augenpupille zu 2 Pariser Linien an, so ergibt sich folgende Zusammenstellung:

			Das	freie	Auge reicht	auf	1	natürliche	Sehweite
Ein	Fernrohr	von	1	Zoll	Oeffnung	〃	$4\frac{1}{5}$	〃	〃
〃	〃	〃	2	〃	〃	〃	$7\frac{1}{3}$	〃	〃
〃	〃	〃	3	〃	〃	〃	10	〃	〃
〃	〃	〃	4	〃	〃	〃	12	〃	〃
〃	〃	〃	5	〃	〃	〃	14	〃	〃
〃	〃	〃	6	〃	〃	〃	$15\frac{3}{4}$	〃	〃
〃	〃	〃	7	〃	〃	〃	17	〃	〃
〃	〃	〃	8	〃	〃	〃	$18\frac{1}{2}$	〃	〃
〃	〃	〃	9	〃	〃	〃	20	〃	〃
〃	〃	〃	$10\frac{1}{2}$	〃	〃	〃	22	〃	〃
〃	〃	〃	12	〃	〃	〃	23	〃	〃
〃	〃	〃	14	〃	〃	〃	$24\frac{4}{5}$	〃	〃

Das größte bisher verfertigte achromatische Fernrohr dringt ungefähr 25 mal, das Riesen-Telescop von Lord Rosse etwa 50 mal weiter in den Himmelsraum vor, als das freie Auge. Es versteht sich übrigens wohl von selbst, daß man diese Zahlen nur als eine Näherung anzusehen habe.

Die hier eingeführte Betrachtungsweise erhält nur insofern eine Bedeutung, als das Sehen zur Schätzung der Entfernung angewendet wird, da wo uns alle andern Anhaltspunkte fehlen. So z. B. kann man (wenn die einzelnen Sterne als eben so viele Sonnen von gleicher Größe angenommen werden) sagen, daß der kleinste Stern, den man mit dem Dorpater oder Berliner Refractor (9 Zoll Oeffnung) noch wahrzunehmen im Stande ist, 20 mal weiter von uns entfernt sei, als die Sterne 6ter Größe. Dieses Princip ist insbesondere von W. Herschel angewendet worden, um die Vertheilung der Sterne im Raume zu bestimmen.