



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1865

Vierte Abtheilung. Verschiedenartige Massenbewegungen.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-75469](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-75469)

Vierte Abtheilung.

Verschiedenartige Massenbewegungen.

Wir haben bereits im zweiten Abschnitte der ersten Abtheilung dieses Werkes von den Bewegungsarten im Allgemeinen und von den sie erzeugenden Kräften, welche nach der Dauer und Stärke ihrer Einwirkung verschieden sein können, gesprochen. Nun wollen wir einzelne besondere Bewegungsarten ganzer Körper und die Bedingungen ihrer Entstehung etwas näher betrachten.

Das freie Fallen.

Es geht die Sage, daß der durch seine Forschungen unsterblich gewordene Newton, als er im Jahre 1666 der Pest wegen sich von Cambridge nach seinem Landgütlein Wootthorpe begeben hatte, durch das Fallen eines reifen Apfels von dem Baume, unter welchem er sich befand, zu den so ungemein wichtig gewordenen Gesetzen des freien Fallens geführt worden sei. Es ist nicht wahrscheinlich, daß ein Forscher, welcher mit bewundernswürdigem Scharfsinne ebenso sehr das unendlich Große, wie das unendlich Kleine durchdrang, einer so unbedeutenden Veranlassung bedurft haben wird, um Gesetze zu entdecken, welche die Weltkörper regieren; es ist vielmehr glaublich, daß Newton der Madam Conduit, seiner freundlichen Wirthin, von welcher die ganze Erzählung herrührt, die Gesetze des Fallens durch das Fallen eines Apfels von einem Baume, aus dessen Holz man nach seinem Umsturz durch den Wind einen heute noch aufbewahrten Stuhl angefertigt hat, anschaulich zu machen suchte und daß diese nachher die gegebene Erläuterung mit der allerdings um diese Zeit stattfindenden Auffindung des Gravitationsgesetzes in Verbindung brachte.

Wir wissen, daß ein Stein, welcher, durch irgend eine Unterlage gestützt, in relativer Ruhe sich befindet, wegen seiner Schwere oder des Bestrebens der Erde, ihn an sich zu ziehen, auf diese Unterlage einen

Druck ausübt; wir wissen es aus den alltäglichsten Erfahrungen, daß der Stein, seiner Stütze beraubt, sich in lothrechter Richtung nach der Erdoberfläche hin bewegt, oder daß er fällt.

Der fallende Körper kommt während des Fallens dem Erdmittelpunkte, als dem Sitze der anziehenden Kraft, immer näher und näher, und insofern wird er, je näher er der Erdoberfläche kommt, immer stärker angezogen; aber weil der Unterschied der Entfernungen des Erdmittelpunktes von verschiedenen Punkten seiner Bahn in Beziehung auf die Größe des Erdradius als verschwindend klein angesehen werden kann, so können wir, ohne einen irgend merklichen Fehler zu begehen, sagen, daß ein an der Erdoberfläche fallender Körper fortwährend von einer sich stets gleichbleibenden Kraft getrieben wird. Ein Stein oder irgend ein anderer Körper wird also auf der Höhe eines Thurmes von der Erde ebenso stark angezogen, als in der Nähe seines Fußes.

Da die Masse irgend eines einzelnen Körpers an der Erdoberfläche, welcher dem Fallen ausgesetzt ist, gegen die ungeheure Masse der ganzen Erde mit einem Gewichte von 123191 Trillionen Zollzentnern als fast verschwindend klein anzusehen ist, so sind alle Körper, ungeachtet der Verschiedenheit ihres Gewichtes und der Beschaffenheit ihres Stoffes, in gleichem Grade der Erdanziehung ausgesetzt und die Erde muß allen, wenn sie von demselben Orte ausgehen, in gleichen Zeiten dieselbe Geschwindigkeit ertheilen oder:

alle Körper fallen gleich schnell.

Da die bestimmte Kraft der Erdanziehung bei einem anzuziehenden Körper von doppelter Masse auch doppelt so viele Angriffspunkte hat, so muß sie die doppelte Masse mit derselben Leichtigkeit in Bewegung setzen, wie die einfache, so daß die Fallgeschwindigkeit von der Masse der Körper in der That ganz unabhängig ist.

Diese soeben ausgesprochene Behauptung möchte vielleicht von Manchem bezweifelt werden: denn wir können es ja alle Tage sehen, daß eine Flaumfeder sehr langsam, ein Stückchen Holz weit schneller und eine Bleikugel noch schneller fällt, wenn man sie auch von gleicher Höhe losläßt. Ebenso fallen die Schneeflocken langsamer, als Regentropfen oder Hagelkörner. Wenn wir aber berücksichtigen, daß der fallende Körper die atmosphärische Luft immerfort aus dem Wege drängen muß, daß also der Erdanziehung ein Widerstand entgegenwirkt, und daß dieser Widerstand von verschiedenen Körpern je nach ihrer Gestalt, ihrem Volumen und Gewichte in einem verschiedenen Grade überwunden wird; so darf uns die Verschiedenheit in der Geschwindigkeit, welche verschiedenartige, aus gleicher Höhe fallende Körper in einem gewissen Punkte erreicht haben, durchaus nicht befremden.

Mittels der Luftpumpe und eines ganz einfachen Apparates läßt sich leicht zeigen, daß nur der Widerstand der Luft der Grund ist von

der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher verschiedenartige Körper in ihr fallen. Man hat zu diesem Zwecke einen hohen Glaszylinder, welchen man mit seiner unteren Oeffnung auf den Teller einer Luftpumpe setzt; durch die Decke desselben geht luftdicht ein verschiebbarer Metalldraht, an dessen unterem, also innerem Ende drei oder vier kurze Querstücke befestigt sind, welche als Stützen für ebenso viele Klappen dienen, auf welche man verschiedene kleine Gegenstände (z. B. eine Feder, ein Korkstück, ein Metallstück) legt. Die Halter müssen so angebracht sein, daß sie alle bei ihrer gleichzeitigen Drehung durch den Draht die Klappen in demselben Augenblicke fallen lassen, wodurch die darauf befindlichen Gegenstände ihrer Stütze beraubt werden und gleichzeitig zu fallen beginnen. Ist die Luft aus dem Glaszylinder gepumpt worden, so kommen alle gleichzeitig am Boden an.

Wir werden später, wenn wir die Erscheinungen des Pendels werden kennen lernen, noch eine andere interessante Bestätigung davon haben, daß die Erde bei ihrer Anziehung gegen die verschiedenen Körper an ihrer Oberfläche durchaus keinen Unterschied in Betreff des Stoffes macht: sie zieht alle Stoffe gleich stark an.

Kann ein Körper an der Oberfläche der Erde ihrer anziehenden Kraft folgen, so muß seine Bewegung eine gleichmäßig beschleunigte sein.

Denken wir uns zunächst die anziehende Kraft in den Anfängen einzelner, sehr kleiner Zeitabschnitte wirksam, so wird sie dem Körper durch ihre andauernd gleichmäßige Einwirkung am Schlusse eines jeden eine gewisse Geschwindigkeit ertheilt oder in ihn das Bestreben gelegt haben, in dem folgenden Zeitabschnitte einen gewissen Weg auch ohne einen neuen Antrieb bloß nach dem Beharrungsvermögen zurückzulegen.

Wenn die am Ende der ersten Sekunde erlangte Geschwindigkeit des Körpers oder die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde a (9,809 Meter oder gegen 30 pariser oder etwa 31 rheinl. Fuß) heißt, so würde er innerhalb der zweiten Sekunde schon bloß nach dem Beharrungsvermögen den Weg a zurücklegen. Da aber die anziehende Kraft der Erde während der zweiten Sekunde denselben beschleunigenden Einfluß äußert, wie während der ersten; so hat er am Schlusse der zweiten Sekunde die Geschwindigkeit $2 \cdot a$. Dieses wäre der Weg während der dritten Sekunde ohne Erdanziehung; aber mit ihrer sich gleichbleibenden Einwirkung, welche dem Körper auch in der dritten Sekunde die Endgeschwindigkeit a ertheilt, ist seine wirkliche Endgeschwindigkeit $3 \cdot a$. Die am Ende der vierten Sekunde würde $4 \cdot a$ u. s. w. sein. Statt der Sekunden können beliebige viel kleinere Zeiteinheiten gedacht werden; so daß wir das gefundene Gesetz allgemein aussprechen können:

Die Endgeschwindigkeiten eines frei fallenden Körpers wachsen wie die Fallzeiten.

Aus den Geschwindigkeiten, welche der fallende Körper am Anfange

und zu Ende einer jeden einzelnen Zeiteinheit besitzt, lassen sich nun die Fallräume für die einzelnen Zeitheile bestimmen.

Die Geschwindigkeit, welche der Körper am Ende einer jeden einzelnen Sekunde besitzt, hat er durch einen während dieser ganzen Zeit vom Anfange bis zu Ende sich fortwährend gleichbleibenden Antrieb erlangt, so daß er sich mit einer stets gleichmäßig wachsenden Geschwindigkeit bewegt hat. Es ist nun für die Beurtheilung der Größe des in der ganzen Sekunde zurückgelegten Weges, d. h. für die Geschwindigkeit, welcher eine gleichmäßige Bewegung zum Grunde liegt, einerlei, ob wir annehmen, daß der Körper sich mit jener gleichmäßig wachsenden oder mit der mittleren Geschwindigkeit aus denen für alle einzelnen, in der Sekunde gedachten gleichen Zeitabschnitte bewegt. Es würde z. B. für einen Landwirth denselben Erfolg haben, wenn er, statt in fünf aufeinander folgenden Jahren von einem Ackerstücke die Erträge von 100, 105, 110, 115, 120 Thalern, in jedem der fünf Jahre eine Einnahme von 110 Thalern hätte, welches entweder der fünfte Theil von der Summe aller Erträge oder die Hälfte der Summe des ersten und letzten Ertrages ist.

Ganz ebenso können wir bei der Bestimmung der Fallräume für einzelne Zeiteinheiten rechnen.

Für die erste Sekunde fing der Körper mit der Geschwindigkeit Null an und erlangte am Schlusse die Geschwindigkeit a . Es ist für die Größe des ganzen in dieser Sekunde zurückgelegten Weges einerlei, ob der Körper mit einer gleichmäßigen Beschleunigung von 0 bis zur Geschwindigkeit a oder mit der gleichmäßigen Bewegung, welche das Mittel von 0 und a ist, nämlich mit der Geschwindigkeit $\frac{a}{2}$ gegangen ist. Da aber die Geschwindigkeit der in der Zeiteinheit zurückgelegte Weg ist, so hat der fallende Körper in der ersten Sekunde den Weg $\frac{a}{2}$ zurückgelegt, wenn a die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde war.

Da die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde zugleich die Anfangsgeschwindigkeit für die zweite ist und die Endgeschwindigkeit dieser letzteren $2 \cdot a$ beträgt; so ist es für die Größe des in der zweiten Sekunde zurückgelegten Weges einerlei, ob der Körper mit der von a bis $2 \cdot a$ gleichmäßig wachsenden Geschwindigkeit gegangen ist, oder ob er mit der mittleren Geschwindigkeit zwischen a und $2 \cdot a$, d. mit $\frac{a + 2 \cdot a}{2} = \frac{3 \cdot a}{2}$ oder $3 \cdot \frac{a}{2}$ gleichmäßig gegangen wäre. Es ist also $3 \cdot \frac{a}{2}$ auch der innerhalb der zweiten Sekunde zurückgelegte Weg.

Ganz ebenso werden die Wege für die folgenden Sekunden bestimmt; er ist also für die dritte Sekunde $\frac{2 \cdot a + 3 \cdot a}{2} = \frac{5 \cdot a}{2} = 5 \cdot \frac{a}{2}$, für die vierte $\frac{3 \cdot a + 4 \cdot a}{2} = \frac{7 \cdot a}{2} = 7 \cdot \frac{a}{2}$ u. s. f., so daß bei $\frac{a}{2}$ oder dem Fallraume der ersten Sekunde als Faktoren der Reihe nach die ungraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9 u. s. f. stehen und sich als Gesetz ergibt:

Die Fallräume der einzelnen Zeiteinheiten wachsen wie die ungraden Zahlen.

Weiß man vom Beginne des Fallens an die Räume für die einzelnen Zeiteinheiten, so darf man diese Räume, immer vom ersten anfangend, nur addiren, um den Raum, durch welchen der Körper in der ganzen für sein Fallen nothwendigen Zeit gegangen ist, zu erhalten. Es ist natürlich der Fallraum für zwei Sekunden die Summe der Räume der beiden ersten, der Fallraum für drei Sekunden die Summe der Räume der drei ersten u. s. w.

Es ergeben sich demnach als Fallräume:

$$\begin{aligned} \text{für 1 Sekunde} & \dots\dots\dots 1 \cdot \frac{a}{2} \\ \text{für 2 Sekunden} & 1 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot \frac{a}{2} = 4 \cdot \frac{a}{2} \\ \text{für 3 Sekunden} & 1 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot \frac{a}{2} + 5 \cdot \frac{a}{2} = 9 \cdot \frac{a}{2} \\ \text{für 4 Sekunden} & 1 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot \frac{a}{2} + 5 \cdot \frac{a}{2} + 7 \cdot \frac{a}{2} = 16 \cdot \frac{a}{2} \\ \text{für 5 Sekunden} & 1 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot \frac{a}{2} + 5 \cdot \frac{a}{2} + 7 \cdot \frac{a}{2} + 9 \cdot \frac{a}{2} \\ & = 25 \cdot \frac{a}{2} \text{ u. s. w.} \end{aligned}$$

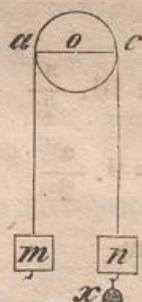
Es stehen also bei $\frac{a}{2}$ oder dem Fallraume der ersten Sekunde der Reihe nach die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25, 36 u. s. w., d. h. die Quadratzahlen der Fallzeiten von 1, 2, 3, 4, 5, 6 u. s. w. als Faktoren und somit gilt als Gesetz:

Die ganzen Fallräume wachsen wie die Quadrate der Fallzeiten.

Dieses letztere Gesetz läßt sich auch nach der Entwicklung des ersten sofort als richtig erkennen, wenn man aus der Anfangs- und der End-

geschwindigkeit für die Anzahl von Sekunden, durch die der Körper gefallen ist, die mittlere Geschwindigkeit aufsucht, und diese mit der betreffenden Anzahl von Fallsekunden multipliziert. Der Fallraum der ersten Sekunde war $\frac{1}{2}a$. — Die Endgeschwindigkeit nach 2 Sekunden war $2a$, die Anfangsgeschwindigkeit 0, das Mittel $2 \cdot \frac{a}{2}$. Geht der Körper mit dieser mittleren Geschwindigkeit 2 Sekunden, so ist der Weg $4 \cdot \frac{a}{2}$. — Das Mittel zwischen der Anfangsgeschwindigkeit 0 und Endgeschwindigkeit nach 3 Sekunden ist $3 \cdot \frac{a}{2}$, also der Weg in 3 Sekunden $9 \cdot \frac{a}{2}$ u. s. w.

Wie sicher auch die bloß durch unfehlbare Schlüsse aus der Natur der Sache erhaltenen obigen Gesetze sind, so schwierig ist es, dieselben durch die Erfahrung unmittelbar zu bestätigen, nicht nur weil der Widerstand der Luft zu berücksichtigen ist, sondern weil ungeachtet dieses Widerstandes, den man durch die Wahl der fallenden Körper freilich wohl theilweise sehr gering machen kann, die Geschwindigkeiten bald so bedeutend werden, daß die zurückgelegten Räume scharfen Beobachtungen sich entziehen. Man hat daher auf Mittel denken müssen, die Bewegungen zu verlangsamen, also nur einen Theil der Erdanziehung zur Wirkung gelangen zu lassen, ohne in der Stetigkeit der Einwirkung der Kraft etwas zu ändern.



Denken wir uns eine Rolle (Fig. 160) um ihre horizontale Ase o außerordentlich leicht drehbar, um diese Rolle in ihrem ausgetieften Umfange eine Schnur gelegt, an deren Enden zwei gleich schwere Gewichte m und n befindlich sind; so ist diese Vorrichtung als eine im Gleichgewichte befindliche Gleichwage anzusehen, deren Arme die horizontalen Strahlen oa und oc sind, wobei die herabhängenden beiden Schnurentheile als gleich schwer angesehen werden müssen. Zieht man das Gewicht n etwas herab oder hinauf, so wird das Gleichgewicht nicht gestört, wenn die Verlängerung oder Verkürzung des betreffenden Schnurentheils einen merklichen, die nicht ausbleibende Reibung der Drehungsaxe nicht übertreffenden Gewichtsunterschied nicht hervorbringt, wie es bei einer sehr zarten Schnur wohl angenommen werden kann.

Wenn man nun an n ein kleines Gewicht x hängt, so stört dieses das Gleichgewicht: n und x fallen, m steigt. Das Uebergewicht x bringt allein die Bewegung der sämtlichen drei Massen m, n und x hervor, wobei es die Masse n abwärts, die Masse m aufwärts zu

bringen hat. Es ist also nicht möglich, daß es mit der ihm allein zukommenden Schwerkraft fallen kann, sondern es muß sovielmal langsamer fallen, als wie oft sein Gewicht in dem Gewichte der Gesamtmasse, deren Beharrung überwunden werden muß, enthalten ist. — Hätten m und n das Gewicht von je 7 Lothen und wäre x nur ein Loth schwer, so würde es fünfzehnmal langsamer fallen, als wenn es sich selbst überlassen wäre. Fiele es also unter diesen Umständen in der ersten Sekunde einen Fuß, so würde es freifallend 15 Fuß zurücklegen, wie es auch so ziemlich der Fall ist, denn zu Paris beträgt der Fallraum der ersten Sekunde 15,598 Fuß, also der der zweiten $3 \cdot 15,598 = 46,794$; der dritten $5 \cdot 15,598 = 77,990$ u. s. w. Der Körper fällt in zwei Sekunden durch 62,392, in 3 Sekunden, durch 140,382 Fuß, durch 10 Sekunden 1559,8 Fuß u. s. w.

Atwood hat zur Bestätigung der obigen Fallgesetze nach den soeben angegebenen Rücksichten, welche die Geschwindigkeit und den durchlaufenen Weg nur von der Zeit abhängig machen, eine besondere und sümreich erdachte Maschine angegeben, bei welcher die Reibung durch sogenannte Friktions- oder Reibungsrollen, welche sich drehen, wenn die Axe der großen Rolle an ihren Umfängen sich bewegt, außerordentlich vermindert ist. Auf einem dreieckigen Brette mit drei Füßen, von denen zwei Schrauben sind, um es horizontal einzustellen, ist lothrecht eine Leiste angebracht, welche eine Eintheilung in etwa 64 Zolle (auch 81 oder 49) enthält; an diese Leiste lassen sich zwei verschiebbare Metallplättchen befestigen (wenn auch nur durch Klemmung), von denen das eine kreisförmig durchbrochen ist, um die zylindrischen Gewichte bequem durchschlüpfen zu lassen. Die Uebergewichte sind doppelt gestaltet; die einen sind kreisförmige Plättchen mit einem Ausschnitte, um sie auf die zylindrischen Gewichte so legen zu können, daß sie mit ihnen durch die Oeffnungen der Scheiben schlüpfen; die anderen bestehen aus Metallstreifen, welche länger sind, als der Durchmesser der Oeffnungen, so daß sie beim Fallen des Gewichtes auf den Scheiben zurückgelassen werden. Nebenbei ist ein Pendel, welches seine Schwingungen durch Schläge bemerklich macht und entweder Sekunden oder andere gleiche Zeittheile angeben kann. Außerdem ist eine Vorrichtung, um die Bewegung in einem bestimmten Augenblicke beginnen zu lassen.

Hat man die Länge des Pendels so eingerichtet, daß es genau 8 Schläge macht, während das mit dem Uebergewichte versehene Gewicht den Raum von Null bis 64 durchläuft; so langt dieses Gewicht nach dem ersten Schläge bei 1, nach dem zweiten bei 4, beim dritten bei 9, beim vierten bei 16 u. s. w. an, so daß die Fallräume der ganzen Zeiten in der That wie die Quadratzahlen der Fallzeiten sich verhalten. Um die Beobachtung selbst genau anzustellen, bringt man die undurchbrochene Scheibe nach und nach in voraus auf die mit 1, 4, 9, 16 bezeichneten Theilpunkte des Maßstabes und hört dann das fal-

lende Gewicht in den richtigen Augenblicken in der That aufschlagen. Es ist natürlich, daß beim Beginne eines jeden Versuches die untere Fläche des Gewichtes genau auf Null stehen muß.

Ist dieses Gesetz bestätigt, so liegt darin auch die Bestätigung der beiden ersten, weil jenes ohne diese nicht stattfinden kann; es kann aber auch noch durch einen besonderen Versuch gezeigt werden, wie groß die Endgeschwindigkeit des fallenden Körpers in jedem beliebigen Punkte ist. Es ist für diesen Fall nothwendig, daß grade in diesem Punkte das Uebergewicht beseitigt wird und das Gewicht mit der bis dahin erlangten Geschwindigkeit gleichmäßig und nicht beschleunigt weiter fortgeht. Zu diesem Zwecke bringt man die durchbrochene Scheibe an den betreffenden Punkt des Maßstabes und gebraucht als Uebergewicht einen Metallstreifen, welcher an diesem Punkte auf der Scheibe liegen bleibt, so daß das Gewicht allein, also ohne Beschleunigung, weiter fortgeht.

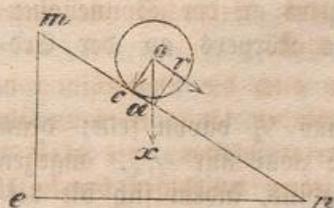
Wenn a die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde oder $\frac{a}{2}$ der Fallraum der ersten Sekunde war, so war die Endgeschwindigkeit der fünften Sekunde $5a$ oder der Körper müßte fortan in jeder folgenden Sekunde ohne Beschleunigung $5a$ zurücklegen. Nehmen wir nun an, der Fallraum der ersten Sekunde sei 1 Zoll, also die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde 2 Zoll, so müßte die Endgeschwindigkeit der fünften Sekunde $5 \cdot 2''$ oder $10''$ sein. Und in der That! Wenn man die durchbrochene Scheibe bei 25, wo das Gewicht am Schlusse der fünften Zeiteinheit anlangt, befestigt, und das Gewicht von Null an losläßt; so geht es, nachdem es an dem Theilpunkte 25 sein Uebergewicht verloren hat, in jeder folgenden Zeiteinheit durch 10, also in fünf Zeithellen durch 50 Theile des Maßstabes.

Es ergibt sich hieraus zugleich, daß ein fallender Körper einen doppelt so großen Weg zurücklegen würde, wenn er mit der am Ende einer gewissen Zeit erlangten Geschwindigkeit gleichmäßig ebensolange fortginge, als es bereits geschehen ist.

Nach diesen Angaben wird es leicht ausführbar sein, für beliebige Uebergewichte die Versuche anzustellen und auch die Größe der Uebergewichte für gewisse Fallräume zu berechnen.

Ein anderes Mittel, durch Beobachtung einer langsamen Bewegung, welche durch eine fortwährend und gleichmäßig wirkende Kraft eine gleichmäßige Beschleunigung hervorbringt, die Geschwindigkeit eines freifallenden Körpers zu ermitteln, besteht in der Anwendung einer recht gut polirten Kugel, welche auf einer ebenso beschaffenen, gegen den Horizont geneigten Ebene herabrollt.

Liegt die Kugel auf einer horizontalen Ebene, so drückt sie auf dieselbe mit ihrem ganzen absoluten Gewichte und würde ohne diese oder eine andere Unterlage auch mit der in diesem Gewichte liegenden Kraft



(Fig. 161.)

fallen; befindet sie sich aber auf der schiefen Ebene mn (Fig. 161), so steht ihre Schwerlinie ox , in deren Richtung die Kraft wirkt, nicht lothrecht auf ihr, sondern bildet schiefe Winkel, wirkt also nicht ganz, sondern nur zum Theil. Nehmen wir die Linie oa als das Maß der absoluten Kraft an, so läßt dieselbe sich in zwei Seitenkräfte auflösen, von denen die eine oc auf die schiefe Ebene mn lothrecht drückend wirkt und durch ihren Widerstand aufgehoben wird, die andere or aber mit ihr parallel, so daß sie ganz zur Geltung kommen kann, da die schiefe Ebene gar keinen Einfluß auf sie hat. Mit der Kraft, welche durch die Linie or ausgedrückt ist, rollt die Kugel auf der schiefen Ebene herab, und da sie kleiner ist, als die oa ; so gibt sie der Kugel eine geringere Geschwindigkeit, als sie im freien Fallen haben würde. Je kleiner der Neigungswinkel n der schiefen Ebene gegen den Horizont, oder je geringer ihre Höhe me bei einer bestimmten Länge mn ist; ein desto kleinerer Antheil ist die or von der oa , desto langsamer also wird die Kugel herabrollen und desto eher werden ihre Wege in bestimmten Zeiten können beobachtet werden.

Es steht die Kraft, mit welcher ein Körper auf der schiefen Ebene herabgeht, zu der, mit welcher er frei fällt, überhaupt in gleichem Verhältnisse der Höhe zur Länge der schiefen Ebene.

Das bei weitem beste und schärfste, wenn auch schwierigste Mittel, die Geschwindigkeit eines an der Erdoberfläche frei fallenden Körpers mittelbar zu bestimmen, besteht in der Beobachtung des Pendels, wovon wir aber erst später das Wesentlichste im Zusammenhange angeben können. Aus diesen Beobachtungen ergibt sich u. a. mit der größten Sicherheit die Gestalt der Erde als einer an beiden Polen abgeplatteten oder zusammengefallenen und am Aequator erweiterten Kugel (die sphäroidische Gestalt) und die Größe dieser Abplattung, d. h. um wie viel die Erdaxe kürzer ist, als der Durchmesser des Aequators. Da ein bestimmtes Pendel unter dem Aequator am langsamsten geht und seine Schwingungen um so mehr beschleunigt, je näher man den Polen der Erde kommt, so ist man dort weiter vom Erdmittelpunkte entfernt, als hier, und dort fällt ein Körper langsamer, als hier.

Wäre der Sonnenradius gleich dem Erdradius, so würde die Sonne zufolge ihrer Masse jeden Körper an ihrer Oberfläche 339000 mal stärker anziehen, als die Erde; da jener aber 112 mal größer, als dieser ist und die anziehende Kraft so abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen, so ist die Kraft der Sonne nur der $112 \cdot 112$ te Theil von 339000, d. h. sie ist $\frac{339000}{112 \cdot 112}$ oder etwa 27 mal größer,

als die der Erde und das Gewicht eines Körpers an der Sonnenoberfläche ist auch das 27fache von dem dieses Körpers an der Erdoberfläche.

An der Mondoberfläche würde es etwa nur $\frac{1}{6}$ davon sein; denn die Masse des Mondes ist von der der Erde zwar nur $\frac{1}{75}$, dagegen ist der Mondradius viel kleiner, als der Erdradius, indem sich die beiden Radien wie 2731 zu 10000 oder nahe wie 3 zu 11 verhalten und daher würde ein Körper an der Oberfläche des Mondes $\left(\frac{11}{3}\right)^2 = \frac{11^2}{3^2} = \frac{121}{9}$ mal stärker angezogen, als an der Erdoberfläche, wenn beide Körper gleiche Massen hätten. Da aber die Mondmasse nur $\frac{1}{75}$ von der Erdmasse beträgt, so ist die Stärke der Anziehungskraft bei jenem $\frac{1}{75}$ von $\frac{121}{9}$, d. i. $\frac{121}{645}$ oder nahe $\frac{1}{6}$ von der der Erde.

Legen wir 15,598 als den Fallraum in der ersten Sekunde zu Paris zum Grunde, so würde der Fallraum in der ersten Sekunde an der Sonne etwas über 421 Fuß und der an der Mondoberfläche fast 2,6 Fuß betragen.

Wenn man auf der Felsenfestung Königstein in Sachsen in den dort befindlichen Brunnen ein Steinchen fallen läßt, so hört man den beim Aufschlagen auf das Wasser erzeugten Schall erst etwa nach zehn Sekunden vom Augenblicke des Loslassens an. Durch ein bis zu gewisser Tiefe hineingehaltenes Licht läßt sich erkennen, in welchem Momente das Steinchen die Wasserfläche trifft und dies gibt die Zeit des Fallens, denn die von da an bis zur Wahrnehmung des Schalles verfließende Zeit gebraucht der Schall, um von unten bis an unser Ohr zu gelangen, welches in diesem Falle ungefähr $1\frac{1}{6}$ Sekunde beträgt, so daß der Körper nur während 8,7 Sekunden fällt und der Brunnen somit eine Tiefe von fast 1180 Fuß hat.

Das Werfen.

Bei dem Werfen sind zwei Kräfte wirksam: 1) die Kraft, mit welcher ein Körper geworfen wird und 2) die Anziehung der Erde. Jene Kraft wirkt nur in einem Augenblicke auf den Körper, gleichgiltig ob das Werfen mit der Hand, durch die Elastizität einer Spiralfeder, einer angespannten Saite, eines gekrümmten Holzes oder eines Stahlstreifens oder durch die augenblickliche Entwicklung eines Gases geschieht; diese Kraft aber wirkt fortwährend mit gleicher Stärke in einerlei Richtung; jene Kraft ertheilt ihm eine gleichmäßige Bewegung, diese eine gleichmäßig beschleunigte.

In Betreff der Richtung des Wurfs können vier Fälle stattfinden: der Wurf geschieht 1) senkrecht abwärts, 2) senkrecht aufwärts, 3) horizontal, 4) unter einem schiefen Winkel gegen den Horizont.

Im ersten Falle wirken die beiden Kräfte in einer graden Richtung mit einander, im zweiten in einer graden Richtung gegen einander, im dritten und vierten Falle unter einem Winkel.

Im ersten Falle werden die Fallräume für die einzelnen Zeiteinheiten um den Raum vergrößert, durch welchen die Wurfkraft den Körper in der Zeiteinheit zu treiben vermochte, also bewegt sich der Körper mit einer gleichmäßig beschleunigten Geschwindigkeit.

Triebe die Wurfkraft den Körper in jeder Sekunde z. B. durch 50 Fuß, so ginge er in der ersten durch $50 + 15,598 = 65,598$; in der zweiten durch $50 + 46,794 = 96,794$; in der dritten durch $50 + 77,990 = 127,990$ Fuß u. s. w.

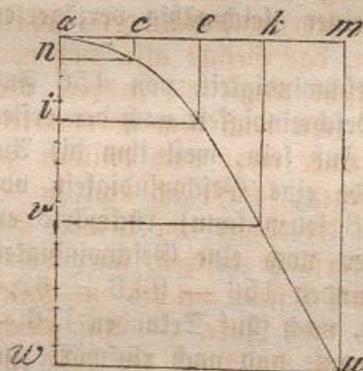
Im zweiten Falle wirken die beiden Kräfte einander in grader Richtung entgegen, denn die Erde zieht den lothrecht aufwärts geworfenen Körper fortwährend lothrecht abwärts mit einer sich gleichbleibenden Kraft; also bewegt sich der Körper mit einer gleichmäßig verzögerten Geschwindigkeit aufwärts.

Wenn man einen Körper mit der Geschwindigkeit von 156 Fuß aufwärts geworfen hätte; so würde seine Geschwindigkeit nach der ersten Sekunde nur noch $156 - 31,2 = 124,8$ Fuß sein, weil ihm die Anziehungskraft der Erde nach einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 31,2 (was man für das Obige $2 \cdot 15,598$ setzen kann) rückwärts ertheilt hat. Nach zwei Sekunden besäße er noch eine Geschwindigkeit von $156 - 62,4 = 93,6$, nach drei Sekunden $156 - 93,6 = 62,4$, nach vier Sekunden $156 - 124,8 = 31,2$, nach fünf Sekunden $156 - 156,0 = 0$, indem die durch die Erde erzeugte und nach rückwärts gerichtete Geschwindigkeit nach 2, 3, 4, 5 Sekunden beziehungsweise $2 \cdot 31,2 = 62,4$; $3 \cdot 31,2 = 93,6$; $4 \cdot 31,2 = 124,8$ und $5 \cdot 31,2 = 156,0$ beträgt. — Bei der hier angenommenen Wurfkraft wird also der Körper durch fünf Sekunden aufwärts gehen, in dem Punkte, welcher $5 \cdot 156 = 780$ Fuß von dem Ausgangspunkte entfernt ist, seine ganze Geschwindigkeit verloren haben und dann den Rückweg antreten, wobei er durch die Erdanziehung in demselben Grade mit beschleunigter Bewegung abwärts geht, mit welcher er aufwärts ging, so daß er mit derselben Geschwindigkeit unten ankommt, mit welcher er geworfen wurde, denn es ist seine Geschwindigkeit nach der ersten Sekunde 31,2, nach der zweiten 62,4, nach der dritten 93,6, nach der vierten 124,8 und nach der fünften 156 Fuß.

Wäre eine senkrecht emporgeschossene Kanonenkugel 40 Sekunden ausgeblieben, bis sie wieder auf die Erde fällt, so wäre sie 20 Sekunden gestiegen und ebenso lange gefallen, hätte also eine Höhe von $20 \cdot 20 \cdot 15,6 = 6240$ Fuß erreicht, wenn man auf den Widerstand

der Luft nicht Rücksicht nimmt. — Man kann aus der Zeit des Ausbleibens der Kugel auf die von ihr erreichte Höhe und auf ihre anfängliche Geschwindigkeit schließen. Es würde ein solcher Versuch also ein Mittel sein, theils um die mittelst eines gewissen Kanonenrohres und eines gewissen Geschosses die Güte des verwendeten Pulvers, theils mittelst einer gewissen Pulverladung entweder die Güte des Rohres oder die des Geschosses zu untersuchen, wenn es auf die Weite, bis zu welcher das Geschosß gehen soll, ankommt.

Der dritte Fall nimmt einen horizontalen Wurf an. Hier wirken die beiden Kräfte, nämlich die Wurfkraft und die Anziehung der Erde fortwährend unter einem rechten Winkel aufeinander ein; denn es gehen zwar die von den verschiedenen Punkten der Bahn des geworfenen Körpers gedachten Falllinien nach dem Erdmittelpunkte zusammen, aber die über die Erdoberfläche bis an die grade Richtungslinie des Wurfs gehenden Theile sind gegen den Erdradius so klein und einander so nahe, daß sie ohne einen Fehler als gleichlaufend und parallel angesehen werden dürfen.



(Fig. 162.)

Denken wir uns einen Körper in a (Fig. 162) zuerst von der nur augenblicklich wirkenden Wurfkraft allein in der horizontalen Richtung getrieben; so geht er in gleichen Zeiten durch die gleichen Wege ac, ce, ek, km; wirkte aber auf ihn die Anziehungskraft der Erde allein, so verhalten sich die Räume der einzelnen Zeiten wie die ungraden Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w. und er würde nach der ersten ebenso großen Zeiteinheit in n, nach der zweiten in i, nach der dritten in v und nach der vierten in w sein.

Wirken nun beide Kräfte gleichzeitig auf a, so folgt er keiner der beiden Kräfte einzeln, sondern schlägt einen Zwischenweg ein, indem er jeder von diesen Kräften genügt. Dieser Zwischenweg würde aus einer gebrochenen Linie bestehen, deren Theile den einzelnen Zeiteinheiten angehörten, wenn die beiden Kräfte stoßweise im Beginne dieser Zeittheile wirkten. Da dieses aber nicht der Fall ist, sondern weil die beiden Kräfte fortwährend wirken, sowohl das Beharrungsvermögen, als auch die Schwere; so ist die Bahn des geworfenen Körpers in der That eine krumme Linie, welche aus unendlich vielen sehr kleinen graden, als den Wegen für unendlich kleine Zeiteinheiten, zusammengefügt angesehen werden darf.

Wird im vierten Falle der Körper in einer Richtung geworfen, welche unterhalb der vom Ausgangspunkte kommenden Horizontalen liegt, so ist die Bahn wesentlich dieselbe, nur daß sie unter gleichen

Umständen schneller sich zur Erde hin krümmt; wird aber der Körper schräge aufwärts von der Horizontalen geworfen, so geht er in einer gekrümmten Linie aufwärts und nach Erreichung des höchsten Punktes auch in einer solchen abwärts. Mit dem Winkel, unter welchem man wirft, ändert sich die Weite des Wurfs; bei einem halben rechten oder 45 Graden ist sie am größten. Bei 30 oder 75 Graden ist die Wurfsweite nur die Hälfte der größten.

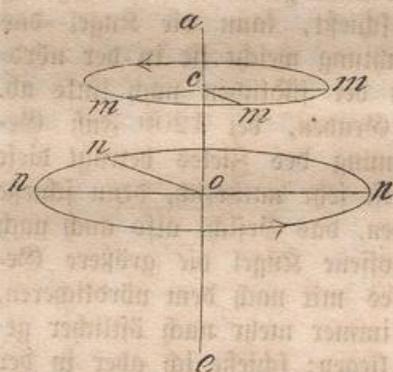
Mit einem 24-Pfünder könnte man unter dem Erhebungswinkel 45° und einer Pulverladung von dem halben Gewichte der Kugel auf eine Entfernung von 15000 Fuß schießen. Für so große Entfernungen des Zieles ist die Axendrehung der Erde von Westen nach Osten nicht ganz ohne Einfluß; denn nur dann, wenn man genau in der Richtung des Parallels des Ausgangspunktes schießt, kann die Kugel das Ziel wirklich treffen, bei jeder anderen Richtung weicht sie in der nördlichen Halbkugel der Erde nach rechts, in der südlichen nach links ab. In einer geographischen Breite von 50 Graden, bei 1200 Fuß Geschwindigkeit der Kugel und 1200 Entfernung des Zieles beträgt diese Abweichung doch etwa $\frac{1}{2}$ Zoll. Dieses ist sehr natürlich, denn schieße ich in der nördlichen Halbkugel nach Norden, das Gesicht also auch nach Norden wendend, so bringt die abgeschossene Kugel die größere Geschwindigkeit des südlicheren Parallels mit nach dem nördlicheren, eilt also nach dem Beharrungsvermögen immer mehr nach östlicher gelegenen Punkten, welche mir zur Rechten liegen; schieße ich aber in der nördlichen Halbkugel nach Süden, so bringt die Kugel eine kleinere Geschwindigkeit mit, als die Punkte der Erdoberfläche besitzen, über welche sie weggeht, letztere eilen also der Kugel nach Osten, welches zur Linken liegt, voraus und die Kugel trifft rechts vom Ziele. — Auf gleiche Weise läßt es sich zeigen, daß in der südlichen Halbkugel der Erde eine abgeschossene Kugel links von dem Ziele, welches man zu treffen beabsichtigt, einschlagen muß. — Es ist klar, daß diese Abweichung vom Ziele um so unbedeutender ist, je schneller die Kugel geht, je näher das Ziel liegt und je weniger die Richtung des Schusses von dem Parallel des betreffenden Ortes abweicht.

Wäre der Widerstand der Luft nicht vorhanden, so würden die Bahnen aller nicht lothrecht geworfenen Körper Parabeln sein und zwar beim horizontal und schräge abwärts geworfenen mit einem Aste, bei dem schräge aufwärts geworfenen mit zwei Ästen, einem aufsteigenden und einem abwärtsgehenden. Die Parabel erhält man als Gränzlinie der Ebene, welche einen Keil so schneidet, daß sie mit einer Seitenlinie parallel ist. Dreht man die Parabelebene um ihre Mittellinie oder Axe, so beschreibt die Parabellinie eine krumme Fläche, welche für viele praktische Fälle von der größten Wichtigkeit ist. Hat man z. B. eine parabolisch gekrümmte Spiegelfläche und bringt man in einen gewissen Punkt, den Brennpunkt, eine Flamme; so gewährt diese auf

sehr große Strecken eine sehr starke Erleuchtung, weil die von der Spiegelfläche (Reverbere) zurückgeworfenen Lichtstrahlen parallel fortgehen. Diese für Straßenbeleuchtung und namentlich für Leuchttürme wichtigen Betrachtungen werden wir in der Lehre vom Lichte noch näher betrachten.

Wird der Widerstand der Luft bei abgeschossenen Kugeln berücksichtigt, so sind die krummen Linien, in welchen die Geschosse sich bewegen, nicht genaue Parabeln, sondern die sogenannten ballistischen Kurven, deren nähere Betrachtung aber unserem Zwecke nicht nahe genug liegt.

Die Axendrehung.



(Fig. 163.)

Wenn man sich durch irgend einen Körper eine grade Linie ae (Fig. 163) denkt und nun den ganzen Körper so um diese feststehende Linie, welche man Axe nennt, bewegt, daß jeder seiner Punkte, wie z. B. m oder n , fortwährend in derselben Entfernung von dieser Linie bleibt, wie cm oder on ; so ist diese Bewegung eine Axendrehung. Jeder Punkt des Körpers beschreibt eine Kreislinie, die um so größer ist, je entfernter der Punkt von der Axe liegt, d. h. je größer die lothrechte Linie von dem Punkte m oder n auf die Axe ae ist; diese lothrechte Linie ist der Strahl des zugehörigen Kreises.

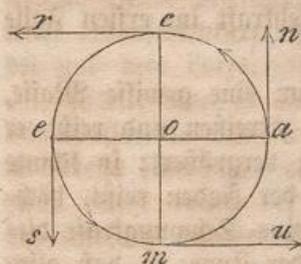
Da bei der Axendrehung alle Punkte des Körpers in derselben Zeit ihre Kreisbahnen zurücklegen und da die Bahnen in demselben Verhältnisse größer werden, in welchem die Strahlen wachsen; so ist die Geschwindigkeit der von der Axe entfernteren Punkte größer, als die der näher liegenden und sie wächst in gleichem Verhältnisse mit den Entfernungen.

Ist cm die Hälfte von on ; so ist auch die von m beschriebene Kreisbahn die Hälfte der von n zurückgelegten Bahn und da beide Punkte m und n in denselben Zeiten diese Wege zurücklegen, so ist die Geschwindigkeit von n das Doppelte der von m .

Hat man eine glatte Kugel an einen Faden gebunden und bewegt man sie auf einem ebenen und horizontalen Billarde im Kreise, so spannt sie bei dieser Bewegung den Faden fortwährend an. Die Kraft, mit welcher diese Spannung geschieht, hängt in gradem Verhältnisse ab von dem Gewichte und von der Geschwindigkeit der Kugel; die Geschwindigkeit aber wächst in gleichem Verhältnisse mit der Länge des Fadens für eine bestimmte Drehungszeit und im umgekehrten Verhält-

nisse der Drehungszeit für eine bestimmte Fadenlänge. Dreht man die Kugel an einem Faden von zwei Ellen in einer Sekunde einmal im Kreise herum, so ist die Geschwindigkeit doppelt so groß als bei einem Faden von einer Elle und derselben Drehungszeit; sie ist aber auch das Doppelte, wenn die Kugel an einem Faden von einer Elle in jeder Sekunde zweimal im Kreise gedreht wird.

Wie groß aber auch die Kraft des gedrehten Körpers sein mag, stets hat er das Bestreben: von jedem Punkte seiner Bahn in der Richtung der durch diesen Punkt zu der krummen Linie gezogenen Berührungslinie oder Tangente sich gradlinig fortzubewegen.



(Fig. 164.)

Gesetzt die Kugel würde um den Punkt o (Fig. 164) von a aus in der Kreisbahn nach der Richtung der Pfeile bewegt, so würde sie beim Loslassen in den Punkten c, e, m, a in der Richtung der Tangenten dieser Punkte, nämlich beziehungsweise in den graden Linien er, es, mu und an sich fortbewegen. Läge die Kreisbahn nicht horizontal, sondern lothrecht, so würde die Kugel von a aus senkrecht aufwärts, von e aus senkrecht abwärts, von c und m aus wie beim horizontalen Wurfe, von jedem anderen Punkte wie bei einem schiefen Wurfe sich bewegen.

Die Kraft, mit welcher ein in einer krummlinigten Bahn sich bewegender Körper das Bestreben hat, in der Tangente eines jeden Punktes der Bahn sich fortzubewegen, heißt die Tangentialkraft.

Die Tangentialkraft ist aber nicht eine Seitenkraft, sondern eine aus zwei anderen Kräften resultirende; denn der Faden, an welchem die Kugel gedreht wird, bleibt stets gespannt, was nicht der Fall sein würde, wenn die Kugel zweien lothrecht auf einander wirkenden Kräften ausgesetzt wäre. Es muß also die eine Seitenkraft den Faden spannen und somit in seiner Richtung wirken und die andere vom Drehungsmittelpunkte aus ihr gradlinig entgegen. Dieser spannenden Kraft, welche auch Fliehkraft (Zentrifugalkraft) heißt, weil sie den Körper fort von dem Mittelpunkte der Bewegung treibt, wirkt als Mittelpunktskraft hier die Kohäsion der Fadentheile vom Drehungsmittelpunkte aus gradlinig entgegen, jene erhält den Faden in grader Richtung und erzeugt mit dieser die resultirende Tangentialkraft oder Schwungkraft, die sich durch ihr eigenes Beharrungsvermögen erhält und von der Masse und Geschwindigkeit des bewegten Körpers abhängig ist.

Die Geschwindigkeit kann vergrößert werden entweder durch Verlängerung des Fadens bei derselben Drehungszeit oder durch Verkürzung

der Drehungszeit mit Beibehaltung der Fadenslänge oder durch Verlängerung des Fadens und gleichzeitige Verkürzung der Drehungszeit.

Dieses läßt sich durch einen einfachen Versuch leicht erkennen. Schwingt man an einem Faden von bestimmter Länge mit der Hand eine Bleifugel, dann eine Holzfugel von gleicher Größe in einer Sekunde einmal im Kreise herum, so haben zwar die beiden Kugeln gleiche Geschwindigkeiten, aber die Fliehkraft der Bleifugel ist größer, als die der Holzfugel und erstere wird weiter fortfliegen, als letztere, wenn man sie in demselben Punkte ihrer Bahnen losläßt. Nimmt man aber nur eine der beiden Kugeln und dreht sie das eine Mal in einer Sekunde einmal, das andere Mal in derselben Zeit zweimal an demselben Faden oder auch das zweite Mal an einem längeren Faden in einer Sekunde auch nur einmal im Kreise herum; so ist die Fliehkraft im ersten Falle geringer, als im zweiten.

Kann ein Faden von der Länge 1 grade nur eine gewisse Masse, z. B. von einem Pfunde Gewicht tragen, ohne zu zerreißen und reißt er wirklich, wenn man die Masse auch nur einwenig vergrößert; so könnte der Körper beim Schwingen im Kreise, ohne daß der Faden reißt, höchstens eine Geschwindigkeit g haben, bei welcher seine Schwingkraft dieselbe Gewalt hat, wie die Schwere beim Drucke oder Zuge, so daß also, wenn die beschleunigende Kraft der Erde $a = 31,1$ Fuß ist, $g^2 = a1$ wäre. — Wäre nachträglich an demselben Faden eine Masse von $\frac{1}{4}$ Pfund Gewicht befestigt, so müßte man ihre Geschwindigkeit verdoppeln, um einen viermal so großen Werth für die Schwingkraft, als beschleunigende Kraft betrachtet, zu erhalten. Diese vierfache Kraft bewirkt, daß $\frac{1}{4}$ Pfund so stark drückt, als 1 Pfund, wenn es der Wirkung der Schwere ausgesetzt ist.

Ist z. B. die Länge des Fadens 1 Fuß, $a = 31,1$, $g = 5,5$ Fuß; so ist $\frac{g^2}{a1} = 0,97$, also fast 1, so daß das mit 5,5 Fuß Geschwindigkeit bewegte ganze Pfund den Faden zerreißt, während $\frac{1}{4}$ Pfund dazu gegen 11 Fuß Geschwindigkeit in 1 Sekunde haben müßte.

Wenn die Fliehkraft hinreichend wächst, so kann sie also die Kohäsion überwinden und der Körper folgt nur der Tangentialkraft, die ihn ohne Mitwirkung irgend einer anderen Kraft in alle Ewigkeit gradlinig forttreiben würde.

Zur Erzeugung der Fliehkraft ist es nicht notwendig, daß eine Masse an einem Faden oder starren linienförmigen Körper um einen gewissen Punkt gedreht werde, sondern es ist die drehende Bewegung allein ohne ein Bindemittel zwischen dem Körper und dem Drehungsmittelpunkte ausreichend. Das zeigt uns u. a. recht auffallend der sogen. Tendenzritt der Kunstreiter. Während das Pferd möglichst rasch in einer nicht großen Kreisbahn rennt, hängt der Reiter seitwärts an

der dem Mittelpunkte der Bahn zugewendeten Hüfte des Pferdes, von wo er unfehlbar herabgleiten würde, wenn das Pferd still stände oder auch, wenn es zu langsam oder in einer graden Linie liefe. Je gewichtiger der Reiter ist, desto schneller muß das Pferd laufen, wenn er durch die Fliehkraft noch an dasselbe gedrückt werden will und das Pferd selbst muß sich dann noch mehr schräge nach der inneren Seite der Bahn legen, um sich auf derselben zu erhalten und nicht nach außen geschleudert zu werden.

Die Schwungkraft läßt sich sehr häufig beobachten.

Schnell gedrehte Schleiffsteine schleudern das Wasser, in welchem sie mit ihrem unteren Theile laufen, von sich fort; ebenso schnell bewegte Räder eines Wagens den Straßenkoth. Ist ein Hammer nur lose an seinem Stiele befestigt, so wird er bei einer bogenförmigen Bewegung leicht losgeschleudert. Ebenso ist sie wirksam bei der eigentlichen Schleuder und dem Lasso.

Stellt man in einen lothrecht hängenden Faßbinderreifen ein Glas mit Wasser, so kann man es leicht dahin bringen, daß man den Reifen im Kreise schwingt, ohne daß auch nur ein Tropfen Wasser verloren geht, selbst wenn der Boden des Glases nach oben liegt. Will man den Versuch weniger ängstlich machen, so schwingt man einen offenen Korb, in welchem etwa Äpfel liegen, im Kreise.

Diese Erscheinung hat Veranlassung gegeben, eine Fahrbahn zu bauen, welche einen lothrecht stehenden Kreis bildet, so daß man in dem oberen Theile derselben, den Kopf nach unten gerichtet hat. Der Wagen mit der Person geht zuerst in einer sehr steilen Bahn abwärts, ehe er in die Kreisbahn kommt, damit die hinreichende Schwungkraft erlangt werde. Ist die Bewegungsgröße des Wagens zu klein, so fällt er von den höheren Punkten des Kreises herab. Je größer die Geschwindigkeit bei bestimmtem Gewichte des Wagens mit der darin sitzenden Person, desto sicherer ist die Fahrt. Die Zentrifugalkraft muß stets größer sein, als das Gewicht des Wagens sammt der Person, welche darin sitzt. Auf der Bahn muß für die Räder des Wagens eine Spur vorhanden sein, damit er nicht seitwärts ausweicht und der herabkommende Theil der kreisförmigen Bahn muß neben dem aufsteigenden liegen. Bei richtigen Verhältnissen dieser Zentrifugalfahrbahn ist durchaus keine Gefahr für die in dem Wagen sitzenden Personen, so gefährlich auch der Versuch Manchem erscheinen mag.

Wenn in einem Flußbette das Wasser plötzlich auf eine Vertiefung kommt und sich an der entgegengesetzten Wand derselben stößt, so bilden sich in ihm drehende Bewegungen oder Wirbel, welche die Oberfläche desselben um so mehr trichterförmig gestalten, je schneller die Drehung stattfindet, indem dann das Wasser um so mehr von der Mitte weggeschleudert wird. Gelangt man beim Baden auf die schiefe Fläche des Wassertrichters, so gleitet man leicht nach der Mitte und in die Tiefe.

Man bekommt auch leicht einen Wassertrichter, wenn man ein zylindrisches Gefäß mit Wasser um seine Aze dreht, wobei das fließende Wasser an den Wänden sich emporstaut.

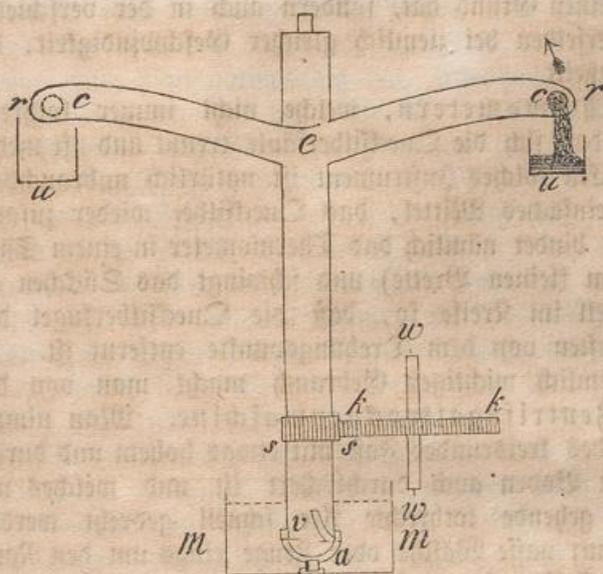
Wenn Eisenbahnen stärkere Krümmungen oder Kurven machen, wie es namentlich in Gebirgen nicht selten nothwendig ist, so muß man den Wirkungen der Schwungkraft entgegen treten. Ginge ein Eisenbahnzug über eine solche Krümmung oder Kurve nicht sehr langsam, so würde er über die Schienen geschleudert werden, wenn beide in derselben horizontalen Ebene lägen. Da das langsame Fahren unter Umständen sehr oft nothwendig werden würde und da eine bedeutende Verminderung der Geschwindigkeit überhaupt sehr störend ist; so legt man an solchen Krümmungen die äußere Schiene der Bahn um so höher gegen die innere, je stärker die Krümmung ist. Je länger der Eisenbahnzug ist, desto langsamer wird man über eine gewisse Krümmung fahren müssen. Als man die Schwungkraft noch gar nicht berücksichtigte, durfte man es nicht wagen, eine Bahn mit so starken Krümmungen anzulegen, wie es jetzt bei Gebirgsbahnen so häufig geschieht.

Die Schwungkraft wird noch in vielen Beziehungen praktisch benutzt.

Werden auf eine kreisförmige und horizontal liegende Scheibe in verschiedenen Entfernungen vom Mittelpunkte Kügelchen, etwa Erbsen, gelegt und die Scheibe anfänglich langsam, dann schneller um ihre Mitte gedreht, so entfernen sich die Kügelchen von ihrem Drehungsmittelpunkte und zwar die von ihm entferntesten zuerst. Wenn daher in einer Mehlmühle die Getreidekörner durch die in der Mitte des oberen und dünneren Steines, welchen man den Laufer nennt, befindliche Oeffnung gefallen sind; so entfernen sie sich mehr und mehr nach dem Umfange der beiden Steine und werden bei der Drehung durch die auf deren Flächen befindlichen Rippen zu Mehl zerrieben. Diese Rippen sind nicht in graden Strahlen, sondern bogenförmig in den Stein gehauen und der Drehung des Steines entgegengesetzt gekrümmt, damit die Körner nicht allzuschuell nach dem Umfange gelangen können.

Wir haben früher erwähnt (S. 114), daß man die Haarröhrchenanziehung eines aus lose nebeneinander liegenden Stricken bestehenden Seiles zur Hebung von Wasser benutzen kann, nämlich durch die Wasserseilmaschine. Hierbei wird das in dem um die beiden Walzen gedrehten Seile befindliche Wasser in dem obersten und am stärksten gekrümmten Theile abgeschleudert und durch ein Gefäß aufgefangen.

Es gibt noch ein anderes Mittel, die Zentrifugalkraft, allein mit Benutzung des Atmosphärendruckes, zur Hebung von Wasser zu verwenden; es sind die Zentrifugalwassermaschinen oder Saugschwungmaschinen. An eine lothrecht stehende Röhre *ae* (Fig. 165) schließen sich oben zwei oder mehre mächtig nach oben gebogene Röhren *er*, welche am Ende seitwärts Ausflußöffnungen *cc* haben. Die lothrecht stehende



(Fig. 165.)

und mit ihrem unteren Theile im Wasser befindliche Röhre hat am Boden ein sich nach innen öffnendes Ventil *v*, und ist um ihre Ase drehbar angebracht. Die Drehung wird bewirkt, indem sie bei *ss* einen Trilling oder ein gezahntes Rad trägt, welches durch die Zähne eines größeren Rades *kk* in schnelle Drehung um die Welle *ww* versetzt wird. Um durch die Maschine Wasser zu fördern, muß zuerst die Röhre *rea* von oben mit Wasser gefüllt werden; wird nun die Röhre gedreht, so entfernt sich das Wasser vermöge der Schwingkraft durch die Oeffnungen *cc* aus den oberen Röhren *er*; es kann aber durch den Abgang des Wassers ein leerer Raum in den Röhren nicht entstehen, weil der auf das Niveau des *mm* von der Atmosphäre ausgeübte Druck durch die ganze Flüssigkeit sich fortpflanzt und das Ventil *v* so lange geöffnet erhält, als der Ausfluß bei *c* stattfindet. Daß die Röhre *ae* nicht eine Höhe haben darf, welche über den Druck der Atmosphäre reicht, ist selbstverständlich.

Die Seitenöffnungen *cc* sind nicht auf der Seite, nach welcher die Bewegung hingehet, sondern auf der Rückseite und das Wasser wird durch einen Trog *uu* aufgefangen.

Wenn in einer schrägen aufwärts gehenden und an beiden Enden geschlossenen Röhre sich Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewichte befinden, ohne daß sie mit einander sich vermischen, z. B. Quecksilber, Wasser, Del, und man dreht die Röhre um eine an dem unteren Ende befindliche Ase; so fängt zuerst die leichteste Flüssigkeit an zu steigen und die schwerste erhebt sich erst bei hinreichender Drehungsgeschwindigkeit. Da aber die Stärke der Fliehkraft von der Masse und Geschwindigkeit abhängt, so ordnen sich die drei Flüssigkeiten endlich in umgekehrter Reihenfolge, so daß das Quecksilber die oberste ist.

Wenn mit Spreu vermengtes Getreide auf der Tenne mittelst einer Schaufel in einem Bogen geworfen wird (das sogen. Wurfen), so fliegen die besten und schwersten Körner am weitesten, die kleineren und leichteren weniger weit und die Spreu geht nur eine kurze Strecke, was nicht bloß in dem verschiedenen Widerstande, welchen die Luft diesen

Körpern entgegengesetzt, seinen Grund hat, sondern auch in der verschiedenen Bewegungsgröße derselben bei ziemlich gleicher Geschwindigkeit, die ihnen die Schaufel mittheilt.

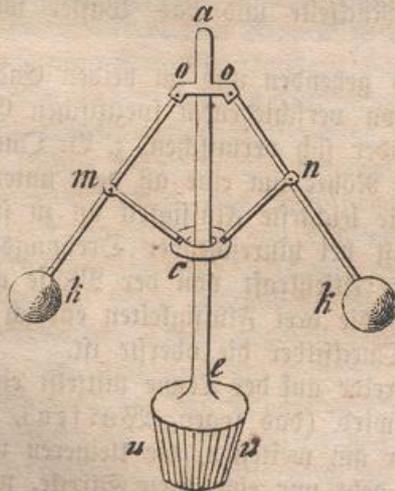
Es kommt bei Thermometern, welche nicht immer lothrecht hängen, bisweilen vor, daß sich die Quecksilbersäule trennt und oft mehre Zwischenräume zeigt. Ein solches Instrument ist natürlich unbrauchbar. Es gibt aber ein sehr einfaches Mittel, das Quecksilber wieder zusammen zu bringen. Man bindet nämlich das Thermometer in einem Säckchen fest (auch auf einem kleinen Brette) und schwingt das Säckchen an einer Schnur recht schnell im Kreise so, daß die Quecksilberkugel des Thermometers am weitesten von dem Drehungspunkte entfernt ist.

Einen technisch ziemlich wichtigen Gebrauch macht man von der Schwungkraft bei der Zentrifugaltrockenmaschine. Man nimmt ein horizontal zu stellendes kreisrundes Faß mit etwas hohem und durchlöchertem Rande, dessen Boden auch durchlöchert ist und welches um eine durch seine Mitte gehende lothrechte Axe schnell gedreht werden kann. Legt man nun ganz nasse Wäsche oder Zeuge rings um den Rand des Fasses und dreht dasselbe, so preßt die Fliehkraft die Wäsche so bedeutend an den Rand, daß sie den größten Theil der Nässe verliert, welche durch den Boden abfließt. Man nennt die Maschine auch Hydroextraktor oder Wasserauszieher. Die Wäsche wird durch diese Vorrichtung weniger verletzt, als durch das mit Drehen verbundene Auswinden, wodurch die Fäden häufig zerdreht werden.

Man hat die Zentrifugalkraft auch benutzt zu Kartoffelschälmaschinen. Ein zylindrisches Gefäß, dessen Innenwände wie ein Reibeisen beschaffen sind, wird mit den darin befindlichen Kartoffeln um seine Axe gedreht. — Befinden sich in rotirenden Fässern unter zerreibbaren Körpern eiserne Kugeln, so kann man jene leicht pulverisiren.

Bei der Bereitung des Paraffin wird die an ihm haftende ölige Flüssigkeit, welche sich bei niedriger Temperatur ausscheidet, durch Zentrifugalkraft abgetrennt.

Eine der wichtigsten und vielseitigsten Anwendungen der Zentrifugalkraft ist in dem Zentrifugalregulator oder kurz Regulator vorhanden. Die Leistung einer Maschine hängt von einem gleichmäßigen Gange, welcher der jedesmaligen Arbeit entsprechen muß, ab. Damit aber der Gang ein gleichmäßiger werde, ist es nothwendig, der wirkenden Kraft, sie mag nun in Dämpfen, einem fließenden Gewässer

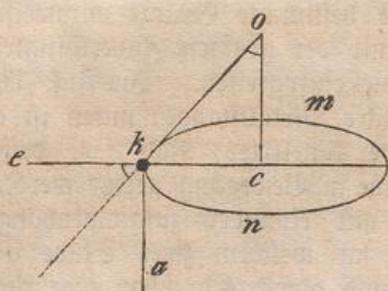


(Fig. 166.)

oder in einer anderen Quelle liegen, eine bestimmte Gränze anzuweisen und dies thut der Regulator von selbst mit der größten Zuverlässigkeit, ohne daß man nothwendig hat, irgendwie einzugreifen. In Fig. 166 ist ae eine um ihre lothrechte Axe drehbare Metallstange, unten ist an derselben ein kegelförmiges, gezahntes (oder kanelirtes) Rad uu , dessen Zähne durch das Schwungrad der Maschine in Bewegung gesetzt werden; so daß die Geschwindigkeit beider innig mit einander zusammenhängt; oben ist bei o ein Metallstück befestigt, an welchem zwei Stäbe om und on in einer lothrechten Ebene auf- und abwärts drehbar angebracht sind; an diesen Stäben befinden sich zwei massive Kugeln k und k und von ihnen gehen noch zwei andere ebenso bewegliche Stäbe mc und nc nach einem Ringe c , durch welchen die Stange ae lose geht. Dieser Ring wird nach unten oder nach oben bewegt, jenachdem die beiden Kugeln zusammenfallen oder auseinander gehen. Ist nun mit dem Ringe ein Gestänge verbunden, welches nach Art der Klingelzüge mit Winkelhebeln in Verbindung steht, so läßt sich durch dasselbe ein Ventil, ein Hahn, eine Klappe, ein Schieber, bei Wassermühlen eine Schütze, hin und her bewegen, um dadurch dem Dampfe, dem Wasser u. s. w. den Zugang zur Kraftmaschine mehr oder weniger zu versperren oder zu gestatten. Ist nämlich der Gang der Maschine rascher, als es angemessen ist, so gehen die beiden Kugeln sofort höher und das Gestänge muß den Kanal, durch welchen der Dampf oder das Wasser strömt, mehr schließen, worauf der langsamere Gang erfolgt und die Kugeln herabgehen; ist der Gang der Maschine aber zu langsam, so fallen die Kugeln herab und das Gestänge öffnet den Kanal mehr.

Es ist natürlich, daß für eine zu erlangende bestimmte Geschwindigkeit die Kugeln bei einer bestimmten Höhe, also auch für eine bestimmte Lage des Ventils ein bestimmtes Gewicht haben müssen, wenn sie an Armen von unveränderlicher Länge angebracht sind. Weil aber der mehr oder minder leichte Gang der Maschine oft von Neben Umständen, welche sich während des Gebrauches ändern, abhängig ist; so bringt man auch die Kugeln an ihren Armen verschiebbar an, um durch Verlängerung der Arme eine Vergrößerung der Fliehkraft zu erlangen. Das Gewicht der Kugeln muß überhaupt derjenigen Kraft proportional sein, welche zur Erzeugung einer Veränderung in den Maschinentheilen erforderlich ist; für Wasserwerke gibt man 60 bis 80 Pfunde an, was oft noch zu wenig ist, um eine schwere Schütze in Bewegung zu setzen, weshalb man den Regulator mit dem Wasserrade auf geeignete Weise kuppelt, damit dieses das Geschäft selbst verrichtet.

Es ist nicht ohne Interesse, hier zugleich zu bemerken, wie in einem gewissen Falle das Gewicht der Kugel durch die Schwungkraft aufgehoben wird. Schwingt man die Kugel k (Fig. 167) an dem Faden ko im Kreise kmn , so daß der Faden den Mantel eines graden Kegels beschreibt; so hat die Kugel das Bestreben, sich von dem Mittel-



(Fig. 167.)

stehende Resultirende den rechten Winkel eka und wenn man dieselbe von k an bis zu der in c lothrecht auf dem Kreise gezogenen co , d. h. bis zur Ase des Kegels verlängert; so ist auch der Winkel o ein halber rechter. Daraus folgt, daß, wenn der Erhebungswinkel der an dem Faden ok hängenden und im Kreise geschwungenen Kugel ein halber rechter ist, die Schwere der Kugel durch ihre Fliehkraft aufgehoben wird.

Dieses Zentrifugal- oder konische Pendel (Kegelpendel) braucht zur Vollendung eines Umlaufes doppelt so viel Zeit, als ein ebenso langes zu einer ganzen Schwingung in einer Ebene, also müßte das konische Pendel nur den vierten Theil der Länge eines gewöhnlichen besitzen, wenn die Schwingungszeit beider gleich sein sollte.

Wirkung der Schwungräder.

Eine ganz andere und für das Maschinenwesen höchst wichtige Art von Regulatoren bilden die Schwungräder. Die oben erwähnten Regulatoren regelten die ursprüngliche bewegende Kraft, die Schwungräder aber erhalten die Maschinentheile selbst in einem gleichmäßigen Gange und bewirken es, daß bei schwingenden und kreisförmigen Bewegungen ein Stillstand in den sogenannten todtten Punkten nicht stattfindet, so daß sie auch eine Umänderung der Bewegungsrichtung erzeugen.

Die Schwungräder sind Räder von verhältnißmäßig großem Durchmesser und vieler Masse an ihrer Peripherie. Es ist natürlich, daß dieselben auch bei einer nicht bedeutenden Drehungsgeschwindigkeit nach dem Beharrungsgesetze ein großes Bestreben zeigen, sich und also auch die mit ihnen verbundenen Maschinentheile in einer gleichmäßigen Bewegung zu erhalten. Dieses Bestreben wird noch vermehrt, wenn die Drehungsgeschwindigkeit eine große ist, wie es zu manchen Zwecken, z. B. bei den Brettschneidemühlen mittelst einer graden Säge nothwendig ist.

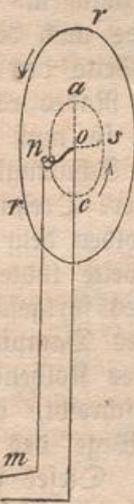
Das Gewicht eines Schwungrades bei großen Dampfmaschinen beträgt gegen 20000 Pfunde und weil sich ein Punkt seines Umfanges oft mit mehr als 300 Fuß Geschwindigkeit in einer Sekunde bewegt,

müssen die Speichen an den Seiten scharf zulaufend gemacht werden, damit sie die Luft besser durchschneiden.

Für die Auffindung seines Gewichtes für einen gewissen Zweck hat man eine praktische Regel aufgestellt: Man multipliziert die Zahl der Pferdekkräfte, welche durch die Maschine ersetzt werden sollen, mit 2000 und dividirt das Produkt durch die Quadratzahl der Geschwindigkeit eines Punktes seiner Peripherie. Wenn z. B. der Durchmesser des Rades 18 Fuß, seine Peripherie also gegen 56 Fuß beträgt; so wird seine Peripherie bei 22 Umläufen in einer Minute die Geschwindigkeit von $\frac{1232}{60} = 20,5$ Fuß in 1 Sekunde haben und somit für eine Maschine von 20 Pferdekkräften das Gewicht des Schwungrades $\frac{20 \times 2000}{20,5^2} = 90,4$ Zentner sein müssen.

Soll das Schwungrad seine höchst wichtigen Zwecke erfüllen, so darf sein Gewicht nicht zu sehr von dem Normalgewichte abweichen; denn bei zu großem Gewichte reißt es zu sehr, bei zu kleinem zu wenig und der Gang der Maschine ist in beiden Fällen ungleich.

Um einen Begriff davon zu geben, wie das Schwungrad geeignet ist, eine gradlinig hin und her gehende Bewegung in eine drehende zu verwandeln und sie zu erhalten, wollen wir zwei der bekanntesten Anwendungen anführen und erläutern: das Spinnrad und die Lokomotive.



(Fig. 168.)

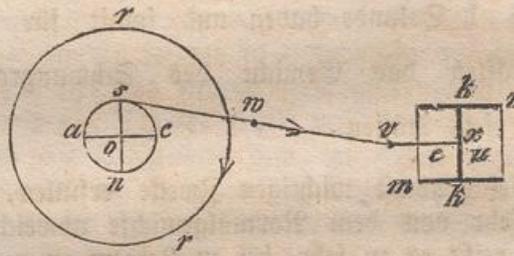
Übt man aber auf k in der ersten Stellung des Rades nicht einen anhaltenden Druck, sondern einen kurzen kräftigen Stoß aus und

Es sei (Fig. 168) rr ein um o drehbares Rad; mit der Achse ist fest verbunden ein mit dem Rade paralleles Querstück on, in dessen Ende ein Stab nm beweglich eingehängt ist; bei m ist beweglich ein Treibbrettchen me, welches um die Kante e drehbar ist, angebracht.

Drückt man mit dem Fuße anhaltend, etwa bei k auf das Brettchen, so wird das Rad in der Richtung des Pfeiles zwar gedreht, bleibt aber stehen, wenn n lothrecht unter die Achse bei c angekommen ist. Ebenso würde die Drehung nicht stattfinden, wenn n genau lothrecht über o in a stände und der Druck bei k ausgeübt würde. Es sind also c und a die todten Punkte, in denen die angewendete Kraft durch den Widerstand der Achse aufgehoben wird.

überläßt das Rad sich selbst, so führt die Schwingkraft des Rades die Bewegung über die beiden todten Punkte in der Richtung des Pfeiles fort und man darf erst dann einen neuen Stoß bei *k* ausüben, wenn das Rad bereits über den Punkt *a* hinaus auf dem Wege nach *a* begriffen ist; nicht aber, wenn es bereits über *c* fortgegangen ist, weil dann eine Zurückdrehung eintreten würde.

Wie die Bewegung dieses Schwungrades weiter benutzt wird, gehört nicht hierher, wird aber bei einer anderen Gelegenheit erörtert werden.



(Fig. 169.)

Etwas Ähnliches findet bei den Lokomotiven statt. Es sei *rr* (Fig. 169) das große Triebrad, mit der Ase *o* ist fest verbunden das Querstück *os*, von seinem Ende *s* geht eine gegliederte Stange *swvx*, beweglich bei *s*, *w* und *v*, an deren Ende der Kolben *kk* in dem Dampfzylinder *mm* sich befindet. Wird der Dampf nach *e* geleitet, so treibt er den Kolben nach *u*, das Gestänge bewegt sich in der Richtung des daran befindlichen Pfeiles und das Rad *rr* wird auch in der ebenso angedeuteten Weise gedreht. Ist der Kolben ans Ende des Zylinders gekommen, so ist *s* in *c* angelangt und ein weiteres Zufließen des Dampfes nach *e* würde das Rad zum Stehen zwingen. Läge dabei *x* in der graden Richtung von *o* und *c*, so würde auch die Leitung des Dampfes nach *u*, also auf die entgegengesetzte Seite des Kolbens ohne Erfolg bleiben, weil der Widerstand der Ase des Rades *rr* die Drehung nicht gestattet. Soll also das Rad sich drehen, so muß *s* etwas über den todten Punkt *c* fortgeführt werden, was die Schwingkraft thut und dann wird der nach *u* geleitete Dampf die weitere Drehung des Rades von *c* über *n* nach *a* bewirken, während der Kolben dem anderen Ende des Zylinders sich nähert. *a* ist aber der zweite todte Punkt, über welchen das Rad ohne Mitwirkung des Dampfes fortgeführt wird.

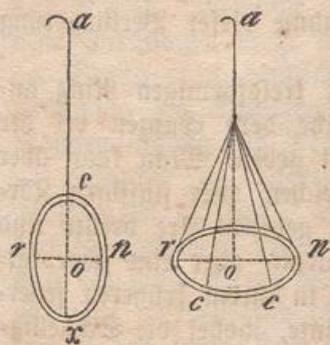
Soll das Verhältniß der inneren Länge des Dampfzylinders dem Triebrade entsprechen, so muß der Spielraum des Kolbens dem Durchmesser des Kreises gleich sein, welchen *s* beschreibt, oder *os* (der Kurbelradius) muß gleich dem halben Wege des Kolbens im Dampfzylinder (der halben Hubhöhe) sein. Dieses ist eine durchgreifende Regel für alle Maschinen, welches auch die wirkende Kraft ist, wenn eine gradlinig schwingende Bewegung in eine drehende oder umgekehrt eine drehende Bewegung in eine gradlinig schwingende verwandelt werden soll.

Abplattung durch die Schwungkraft.

Wichtig und von hohem Interesse ist es zu untersuchen, was geschieht, wenn sich ein Körper, dessen Theile durch die Schwungkraft aus ihrer Lage gebracht werden können, ohne daß dabei ihr Zusammenhang mit dem Ganzen aufhört, um eine bestimmte Aze dreht. Es kann hierbei die Kohäsion und die Gravitation wirksam sein.

Befindet sich in einer hohlen Kugel von weißem Glase etwas gefärbtes Wasser, so bedeckt dieses, wenn die Kugel ruht, den untersten Theil des inneren Raumes. Dreht man nun die Kugel um eine lothrecht durch ihren Mittelpunkt gehende Aze, so erhebt sich das Wasser an der inneren Wand mit wachsender Drehungsgeschwindigkeit mehr und mehr und bildet endlich um den Aequator einen Streifen oder eine Zone. Unterbricht man die Drehung plötzlich, so dreht sich das Wasser wegen des Beharrungsvermögens zwar noch eine kurze Zeit, geht aber wegen der Reibung bald langsamer und sinkt wegen seines Gewichtes herab.

Man könnte wohl auf den Gedanken kommen, daß die bei der Azendrehung der Erde vorhandene Schwungkraft bei der Erscheinung der artesischen Brunnen eine wesentliche Rolle spielt, weil das Wasser in den oberen Theilen des nach dem Erdmittelpunkte gerichteten Rohres eine schnellere Drehungsgeschwindigkeit besitzt, als das in den unteren, und daß somit, wie bei der schon erwähnten Zentrifugalwassermaschine, das Wasser auch nach aufwärts steigen müsse. Hierbei ist aber zu bemerken, daß die Schwere dem Wasser wegen seines Gewichtes für die Herstellung des Gleichgewichtes selbst während der Bewegung der Erde stets eine tiefere Stelle anweist, als daß die Schwungkraft das Gewicht übertreffen könnte.



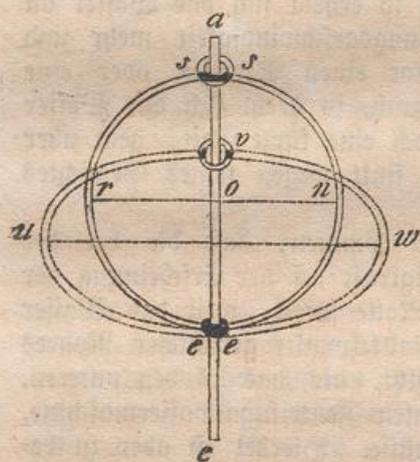
(Fig. 170.)

Hängt (Fig. 170) ein gleichmäßig gearbeiteter Metall- oder Porzellanring *ern* ruhig an einem Faden *ac* (1), so geht dessen Verlängerung *cx* durch den Mittelpunkt *o* des Ringes. Zieht man durch *o* den horizontalen Durchmesser *rn*, so sind seine Endpunkte *r* und *n* weiter von *cx* entfernt, als irgend ein anderer Punkt des Ringes. Wird nun der Faden *ac* um seine Aze gedreht, so dreht sich auch der Ring um *cx* als Aze und wenn *cx* eine feststehende, nicht schwankende Aze wäre, so würde der Ring sich fortwährend in seiner ursprünglichen Lage um sie drehen; da aber der Faden nachgiebig ist, so werden die Punkte *r* und *n*, welche die größte Fliehkraft besitzen, die anderen, mit ihnen zusammenhängenden und der Aze *cx* näher liegenden in den größeren Be-

wegungskreis mit sich ziehen und der ganze Ring wird sich, wie es die zweite Zeichnung andeutet, horizontal stellen, wobei die Verlängerung des graden Fadentheiles durch seinen Mittelpunkt geht.

Wenn man nicht Gelegenheit hat, den Faden an die Drehungsaxe eines Rades oder einer Scheibe bei einer Maschine zu hängen, so reicht es hin, den Faden noch mehr zusammenzudrehen und ihn dann sich selbst zu überlassen, damit er sich frei schwebend zurückdrehe. Je schwerer der Ring, desto schneller muß er gedreht werden, damit er sich horizontal stelle.

Eine der wichtigsten Erscheinungen ist aber die Abplattung.



(Fig. 171.)

Ein um seine Axe drehbarer Stab ac (Fig. 171) geht lose durch eine kleine Scheibe ss und trägt noch eine an ihn befestigte ee ; an den beiden Scheiben ist bei ss und ee ein dünner und leicht nachgebiger Metallstreifen $srens$, welcher eine Kreisgestalt hat, befestigt. Ist ron sein Durchmesser, so sind die Punkte r und n des Streifens weiter von der Drehungsaxe entfernt, als alle übrigen und ihre Fliehkraft ist am größten, da sie mit den anderen gleichzeitig die größten Kreise beschreiben. Die natürliche Folge ist, daß der Streifen durch die Drehung seine Kreisform verliert und die Gestalt der punktierten Linie vuw annimmt. Der auf der Drehungsaxe lothrechte Durchmesser rn hat sich verlängert zu uw und die ursprüngliche Axe se hat sich verkürzt zu ve . Mit zunehmender Drehungsgeschwindigkeit findet auch eine Zunahme dieser Verlängerung und Verkürzung statt.

Statt an die beiden Scheibchen nur einen kreisförmigen Ring anzubringen, können mehre vorhanden sein, welche dem Ganzen bei der Drehung schon mehr das Aussehen einer Kugel geben. Man kann aber auch endlich wirklich eine volle Kugel eines weichen oder flüssigen Körpers nehmen, um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe drehen und findet, daß aus der Kugel (Sphäre) ein Sphäroid oder eine abgeplattete Kugel wird, wie es die Erde ist, welche in ihrem früheren feuerflüssigen Urzustande diese Gestalt annehmen konnte, wobei die Schnelligkeit der Axendrehung den Grad der Abplattung der bestimmten Masse mit ihrer bestimmten Schwere bedingte.

Diese Erscheinung würde sich schon bei einer weichen Thonkugel, welche auf einer Töpferscheibe um ihre Axe gedreht wird, zeigen, aber noch besser, wenn man etwas feines Knochen- oder auch anderes

Del in eine solche Mischung aus Wasser und Alkohol thut, daß das Del in Kugelgestalt unter das Niveau der Mischung sinkt und dann darin schweben bleibt. Bei der Axendrehung des Gefäßes plattet sich die Deltugel ab; ist die Geschwindigkeit hinreichend, so wird sie nicht nur sehr flach, sondern es schleudern sich auch Theilchen in Kugelgestalt ab, welche für sich auch die Drehung in derselben Richtung zeigen. Es ist dies eine förmliche Nachahmung der Bewegungsercheinungen in unserem Sonnensysteme.

Die Weltsysteme mit freier Centralbewegung.

Wir pflegen in der Beschränkung unseres Gesichtskreises die Erde wohl schon die Welt zu nennen, welche ungeachtet der jetzt so schnell fördernden Verbindungsmittel durch ihre Größe auf uns einen überwältigenden Eindruck macht und dennoch ist sie ein verschwindend kleiner Theil des Weltalls, dieses unendlichen Raumes mit den zahllosen Körpern der verschiedensten Art.

Diese Weltkörper sind nicht regellos in den Weltraum hingestreut, wie es beim oberflächlichen Anblicke des gestirnten Himmels erscheinen möchte, sondern sie bilden Systeme verschiedener Art, d. h. Vereinigungen zu Gruppen mit einer gewissen Zusammengehörigkeit, die es nicht zuläßt, daß sich ein Glied vom Ganzen willkürlich absondert.

Vor allen zeichnen sich die Sonnen aus, welche, wie unsere Sonne, ein selbstständiges Licht haben und ihre Stellungen gegen einander an der scheinbaren Himmelstugel nicht zu ändern, also wie daran befestigt zu sein scheinen und deshalb Fixsterne heißen.

Zu unserer Sonne gehören dunkle Körper, welche sich von Westen nach Osten um sie und gleichzeitig auch von Westen nach Osten um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe bewegen. Diese heißen Planeten oder wandelnde Sterne, weil sie zu verschiedenen Zeiten verschiedene Stellungen unter den Fixsternen einnehmen, wie wir es z. B. an der Venus recht deutlich erkennen, indem sie bisweilen nach Sonnenuntergang als Abendstern am westlichen Himmel, zu anderen Zeiten vor Sonnenaufgang als Morgenstern am östlichen Himmel erscheint.

Solcher zu unserer Sonne gehörigen Planeten sind bis jetzt 90 aufgefunden worden. Sie heißen, wenn wir mit den der Sonne am nächsten stehenden beginnen: Merkur, Venus, Erde, Mars; dann kommen die ganz kleinen Planeten oder Planetoiden, deren bis jetzt 82 aufgefunden worden sind (4 zu Anfange dieses Jahrhunderts, die übrigen erst in den letzten drei Jahrzehnten); auf sie folgen Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.

Das Licht, welches uns die Planeten zeigen, ist das von ihnen zurückgeworfene Sonnenlicht und ist sanfter und ruhiger, als das der Fixsterne, welches fortwährend flackert.

Bei vieren von den Planeten, nämlich der Erde, dem Jupiter, Saturn und Uranus finden sich treue Begleiter auf deren Bahnen um die Sonne, welche man Nebenplaneten oder Monde nennt. Die Erde hat nur einen Mond, Jupiter aber vier, Saturn sogar sieben nebst Ringen, welche ihm zunächst sind und frei um seinen Aequator schweben, und Uranus hat sechs Monde.

Auch die Monde und Saturnringe sind dunkle Körper und empfangen ihr uns zugesendetes Licht von der Sonne, bewegen sich um die Planeten, zu welchen sie gehören und wenden ihnen dabei stets dieselbe Seite zu, wenn man von dem zur Erde gehörigen Monde auf die übrigen einen Schluß machen darf. Wenn auch bei ihnen von einer Axendrehung um eine durch sie selbst gehende grade Linie nicht die Rede ist, wie bei den Planeten; so drehen sie sich doch, indem sie den Weg um ihren Planeten zurücklegen, um eine Aze, die aber außer ihnen liegt und durch den Planeten geht. Die einmalige Drehung um ihn ist eine einmalige Axendrehung.

Zu diesen regelmäßigen Begleitern der Sonne gehören auch noch einige sehr zarte Himmelskörper, welche auf ihrer ebenfalls von Westen nach Osten gerichteten Bahn eine aus leuchtenden Theilchen bestehende Spur zurücklassen, welche von dem Hauptkörper, dem stärker leuchtenden Kopfe, wie loses Haar in einem Schweife wegfliegen, weshalb sie auch Schweifsterne, Haarsterne oder Kometen genannt werden. Solcher Kometen kommen aber noch sehr viele andere in unseren Gesichtskreis, wobei zu merken ist, daß manche sich nicht rechtläufig, d. h. von Westen nach Osten, sondern rückläufig, d. i. von Osten nach Westen um die Sonne in Bahnen bewegen, welche nur in der Nähe der Sonne stark gekrümmt sind, in größerer Entfernung aber sich der graden Richtung mehr und mehr nähern.

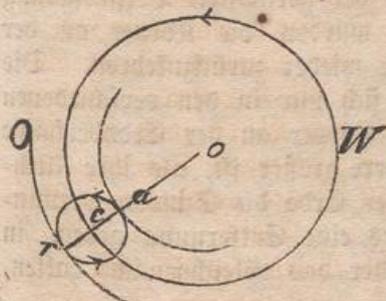
Diese Kometen, und sicher die rückläufigen, sind so recht die Boten aus den fernsten Räumen des Weltalls und zeigen uns, daß in ihm Stoffe vorhanden sind, wie in unserem Systeme, denn es ist in ihrem Aussehn keine Verschiedenheit wahrzunehmen und ihre nicht selbst leuchtenden, sondern von der Sonne beleuchteten Bestandtheile sind bei allen so lose nebeneinander, daß man Fixsterne durch sie wahrnehmen kann. Auf die Uebereinstimmung in dem Wesen des Stoffes verschiedener Weltkörper haben wir gelegentlich bei Erwähnung der Meteore bereits hingewiesen. Sehr wichtig aber ist es, daß durch die Kometen, wie wir in einem späteren Abschnitte ausführen werden, eine Bestätigung für das Vorhandensein eines den ganzen Weltraum einnehmenden Stoffes, des Weltäthers, gewonnen wird, wofür die Physik bereits unmittelbare Beweisgründe hat, welche in die Lehre vom Lichte gehören.

Nicht nur die Uebereinstimmung in dem Wesen des Stoffes verschiedener Himmelskörper, sondern auch und vorzüglich die Art ihrer Bewegung ist ein deutlicher Fingerzeig davon, daß die zu unserer

Sonne sich haltenden früher mit ihr ein Ganzes gebildet haben; denn es ist kein Zufall, daß alle sich in derselben Richtung, nämlich von Westen nach Osten, wie die Sonne selbst, um sie und jeder noch um eine Aze ebenfalls in dieser Richtung sich bewegen. Alle Planeten, Monde und wenigstens diejenigen Kometen, welche jetzt noch um die Sonne sich bewegen, haben ursprünglich mit der Sonne eine einzige lockere, im Weltraume weit verbreitete chaotische Masse gebildet, welche eine Drehung von Westen nach Osten besaß, was wir zur Orientirung nach den jetzigen Begriffen wohl sagen können, obwohl es damals noch kein Osten und Westen gab, weil weder die Sonne noch die Erde als ein selbstständiger Körper bestand, ein Sonnenauf- und Untergang also nicht stattfinden konnte. Durch welche Kraft diese Urmasse unseres Systems von Planeten eine solche Azendrehung erhalten hat, kann allerdings nicht ermittelt werden; sie dürfte wohl aber nicht blos in dieser Urmasse allein, sondern auch und vielleicht vorzüglich in dem Einflusse anderer Himmelskörper zu suchen sein.

Das allgemeine Massenanziehungs-gesetz gestaltete diese lockere Urmasse nicht nur selbst als Ganzes kugelförmig mit wachsender Drehungsgeschwindigkeit, sondern es bildete sich im Mittelpunkte ein festerer Kern, welcher die Erzeugung der Sonne zur Folge hatte. Wie hierbei mit der Verdichtung des Stoffes eine Zunahme der Temperatur verbunden ist, wird in der Lehre von der Wärme noch näher auseinandergesetzt werden.

Es ist bei der ungeheuren Massenhaftigkeit der Sonne natürlich, daß sich der Urstoff zu ihrer Bildung aus einer sehr weiten Entfernung von dem Mittelpunkte um ihn gesammelt haben mußte und daß sich somit in anderen noch entfernteren Stellen leicht andere Sammelpunkte für die Stofftheilchen bilden konnten, zumal in der Gegend des Aequators der sich drehenden Masse, weil dort die Fliehkraft am größten und die Anziehung nach dem Mittelpunkte am kleinsten war, und dieses waren die Anfänge zu den Planeten, welche ihre Bewegung um den ersten Kernpunkt, um die Sonne, beibehalten mußten. Daß aber die Planeten mit ihrer Bildung als selbstständige Körper sofort noch eine Azendrehung erhielten, läßt sich auf folgende Weise erkennen.



(Fig. 172.)

Hat in der um den Sonnenmittelpunkt o (Fig. 172) von W nach O in der Richtung der Pfeile sich drehenden Urmasse durch Verdichtung um c ein selbstständiger Körper sich gebildet, so kann er derselben Drehung nicht entgehen. Da aber bei dieser Drehung alle seine Punkte in gleichen Zeiten ungleiche Bahnen beschreiben mußten: die dem Punkte o näher liegenden, wie a, kleinere, die entfernteren, wie r, größere, als der Mittelpunkt c;

so lag in den beiden Hälften, der dießseits und der jenseits des Mittelpunktes befindlichen, eine ungleiche Bewegungsgröße und zwar in der jenseitigen, worin r sich befindet, eine größere, als in der dießseitigen, worin a liegt. Dieses konnte sich mit dem Zustande des Gleichgewichtes nicht vertragen und es mußte daher die jenseitige Hälfte des Körpers mit der größeren Bewegungskraft die dießseitige überwinden, jene hatte ein größeres Bestreben von Westen nach Osten vorzudringen, als diese, so daß jene, wie es die Pfeile zeigen, vorwärts, diese rückwärts ging, und somit eine Drehung der Kugel um eine Aze erfolgte.

Da die Erde, wie es die Untersuchungen ihrer Rinde und die ziemlich große Anzahl der heute noch thätigen Vulkane unwiderleglich beweisen, in einem feurig-flüssigen Zustande war, so konnte sie bei der Drehung um eine bestimmte Aze keine Kugel bleiben, sondern mußte sich nach den bereits bekannten Gesetzen abplattten: sie wurde an den Polen flacher, um den Aequator runder, die Aze wurde kürzer, der Durchmesser des Aequators größer, als der Durchmesser der eigentlichen Kugel ist, so daß der Unterschied jener beiden gegen $5\frac{1}{10}$ Meilen beträgt.

Da die Drehungsgeschwindigkeit einzelner Punkte der Erdoberfläche von den Polen nach dem Aequator hin zunimmt, so ist dies auch mit ihrer Fliehkraft der Fall. Nun wirkt aber die Schwere der Fliehkraft entgegen, folglich wird sie durch dieselbe von den Polen nach dem Aequator hin schon bei einer genauen Kugelform vermindert, noch mehr aber durch die Abplattung der Erde, wodurch die Punkte um den Aequator von dem Erdmittelpunkte entfernt worden sind. Wenn die Erde als Kugel gedacht wird, so würde die Schwere am Aequator um den 289sten Theil vermindert oder die Fliehkraft beträgt den 289sten Theil der Schwerkraft; wegen der Abplattung in Wirklichkeit den 300sten Theil; sie ist auf dem Gipfel eines Berges geringer, als an dessen Fuße.

Wäre der Erdhalbmesser 289 oder 17. 17 mal größer, als er ist oder drehte die Erde sich etwa 17 mal schneller (nämlich in 1 Stunde $24\frac{1}{2}$ Minuten, was dann die Länge eines Tages sein würde,) um ihre Aze, so würde die Fliehkraft am Aequator auch 289mal größer sein; die Schwere am Aequator wäre Null und bei der geringsten Vergrößerung des Halbmessers oder der Geschwindigkeit würden die Körper an der Oberfläche fortgeschleudert werden, um nie wieder zurückzukehren. Die Stärke und Richtung der Erdschwere kann sich nur in den verschiedenen Punkten der Erdoberfläche ungestört zeigen. Die Körper an der Erdoberfläche bleiben nur deshalb bei ihr, weil die Schwere größer ist, als ihre Fliehkraft. Da sich mit der Entfernung von der Erde die Schwere vermindert, die Fliehkraft vergrößert, so muß es eine Entfernung geben, in welcher die Fliehkraft und Schwere einander das Gleichgewicht halten, und diese beträgt 5860 deutsche Meilen.

Man hat die Frage aufgeworfen, ob die Erde hohl oder voll sei.

Ersteres scheint wahrscheinlicher zu sein, als letzteres. Es fehlt dazu nicht an Grund. Wird ein Eisendraht, durch welchen die Elektrizität diskontinuierlich geht, zu Kügelchen geschmolzen, so zeigen sich dieselben durchgängig hohl. Die Erde war auch in einem feurig-flüssigen Zustande und konnte ebenso gut hohl werden, wobei auch die Schwungkraft die Massentheilen von der Aze entfernte. Dazu kommt noch, daß die Körper der festen Erdrinde meistens ein großes spezifisches Gewicht besitzen, während das spezifische Gewicht des ganzen Erdkörpers doch nur 5,6747 beträgt. Es lagern sich zwar an der Erdoberfläche die verschiedenen Körper, wenn sie sich selbst überlassen bleiben, nach dem spezifischen Gewichte so ab, daß die schwersten unten sich befinden; aber eine weitere Zunahme des Gewichtes der Körper bis zum Erdmittelpunkte läßt sich mit dem spezifischen Gewichte der Erde in Uebereinstimmung nicht bringen.

Man hat in tiefe Schächte der Erde sehr sorgfältig abgedrehte Metallkugeln, deren Schwerpunkt ihr Mittelpunkt war, fallen lassen und hat gefunden, daß sie nicht in dem Punkte unten ankommen, welcher vorher durch ein ruhig herabhängendes kegelförmiges Loth bezeichnet worden ist; sondern in einem etwas mehr nach Osten davon gelegenen Punkte. Um den Versuch recht genau zu machen, nimmt man eine Metallkugel, welche grade durch einen Ring schlüpft, wenn beide einerlei Temperatur haben. Wird aber die Kugel erwärmt, so dehnt sie sich aus und der Ring, auf welchen sie gelegt wird, läßt sie nicht durch; aber bei der allmählichen Abkühlung der Kugel und Erwärmung des Ringes kommt ein Augenblick, in welchem sie ohne allen Seitenstoß durchfällt. Es ist natürlich, daß man das Kegelloth von dem Mittelpunkte desselben feststehenden Ringes herabgelassen hat.

Die Erklärung der Erscheinung ist leicht. Fällt die Kugel von a bis b, so hat a, weil es weiter von der Erdoberfläche und dem Erdmittelpunkte entfernt ist, als b, eine größere von Westen nach Osten gerichtete Geschwindigkeit. Nach dem Beharrungsvermögen behält die von a herabfallende Kugel in allen Punkten ihrer Bahn diese größere Geschwindigkeit und eilt somit allen tiefer liegenden Punkten mehr und mehr nach Osten voran, kommt also östlich von dem Punkte an, den das Loth trifft.

Wenn in der nördlichen Halbkugel der Erde der Wind durch eine Kraft grade von Norden nach Süden getrieben würde, so käme er für einen südlicher gelegenen Bewohner doch nicht grade von Norden, sondern von Nordosten; denn er kommt aus Gegenden von einer größeren geographischen Breite, in denen die Geschwindigkeit bei der Drehung der Erde von Westen nach Osten eine kleinere ist, als in geringeren Breiten, er wird also, seine langsamere Geschwindigkeit beibehaltend, nicht so schnell nach Osten eilen, als die Punkte des Festlandes, über welche er kommt und muß, weil er mehr und mehr nach Westen zurückbleibt, östlicher zu

kommen scheinen. Es wird demnach aus einem Nordwinde in der nördlichen Halbkugel um so mehr ein östlicher (nordnordöstlicher, nordöstlicher, ostnordöstlicher), je rascher er geht. Dies gibt den Nordöstlichen Passat.

Triebte in der südlichen Halbkugel den Wind eine Kraft von Süden nach Norden dem Aequator zu, so müßte wegen der Axendrehung der Erde daraus ein Südostwind werden: der Südostpassat.

Gehen Winde vom Aequator nach den Polen, so wird aus dem Südwinde der nördlichen Halbkugel ein Südwest, aus dem Nordwinde der südlichen Halbkugel ein Nordost; denn in beiden Fällen bringt der vom Aequator kommende Wind eine größere, nach Osten gerichtete Geschwindigkeit, als die Orte, über welche er wegweht; er eilt also diesen Orten nach Osten voraus und erscheint als ein westlicher Wind. Aus dem Süd und West, wird ein Südwest, aus dem Nord und dem West wird ein Nordwest.

Beim sorgfältigen Scheibenschießen kann man wahrnehmen, daß, wenn in unserer nördlichen Halbkugel nicht in ostwestlicher oder westöstlicher Richtung, sondern in einer anderen recht genau nach einer Scheibe geschossen wird, die Mehrzahl der Kugeln rechts vom Ziele einschlägt. Schießt man nämlich von Süden nach Norden, also das Gesicht nach Norden wendend, so bringt die fliegende Kugel eine größere Geschwindigkeit nach Osten, also nach rechts mit, als sie die Scheibe hat oder die Scheibe bleibt gegen die Kugel nach Westen oder nach links zurück; schießt man von Norden nach Süden, also das Gesicht nach Süden wendend, so bringt die Kugel eine kleinere Geschwindigkeit nach Osten, also nach links mit, als sie die Scheibe besitzt oder die Scheibe eilt der Kugel nach Osten voraus, so daß die Kugel auch zu weit rechts einschlägt. — In der südlichen Halbkugel treffen die Kugeln zu weit links vom Ziele. Je entfernter das Ziel bei gleichbleibender Geschwindigkeit der Kugel ist, desto größer die Abweichung vom Ziele.

Diese Betrachtungen gelten nur von Kugeln, deren Schwerpunkte im Mittelpunkte liegen. Ist dieses aber nicht der Fall, so drehen sich die Kugeln, selbst wenn sie aus glatten Läufen geschossen werden und weichen von der vorigen Linie nach der Drehungsrichtung ab.

Bei schnellen Fahrten auf Eisenbahnen, welche in der Richtung eines Meridians angelegt sind, wenn auch nur annähernd, muß in unserer nördlichen Halbkugel bei der Bewegung von Norden nach Süden die westliche Schiene einer größeren Reibung ausgesetzt sein, weil die Schienen, und bei der Bewegung von Süden nach Norden die östliche Schiene, weil die Wagenräder das stärkere Bestreben haben, nach Osten sich zu bewegen. — Ob bei einem Flusse das östliche oder das westliche Ufer mehr abgepült und dadurch steiler wird, hängt wohl von den verschiedenen Krümmungen desselben und von den herrschenden Windrichtungen mehr ab, als von der Axendrehung der Erde; ob aber die größere

Fruchtbarkeit am westlichen Ufer, die Manche als eine durchgreifende ansehen wollen, mit der Aendrehung zusammenhängt und dann als eine Folge der größeren, nach Westen zurückbleibenden Feuchtigkeit aus den Flüssen anzusehen wäre, wollen wir dahingestellt sein lassen. — Auffallend ist der Unterschied der Küstenbildung bei dem wesentlich von Norden nach Süden ausgestreckten Amerika, dessen Westküste oder das östliche Ufer des stillen Ozeans steil, dessen Ostküste aber, als das westliche Ufer des Atlantischen Ozeans, flach gebildet ist: dort staut sich die Fluthwelle, hier aber kann sie frei abfließen und der Bewegung nach Osten ungehindert folgen.

Wie die Schwungkraft eines Punktes der Erdoberfläche mit Zunahme seiner geographischen Breite abnehmen muß, ergibt sich aus der Länge der Kreisbahn, welche derselbe täglich bei der Aendrehung gleichzeitig mit einem Punkte des Aequators vollendet. Zur Beurtheilung der Größe dieser Bahn wollen wir die Länge eines Bogengrades von Parallellkreisen verschiedener Breiten in geographischen Meilen übersichtlich anführen.

Geogr. Br.	Geogr. Meilen eines Grades	Geogr. Br.	Geogr. Meilen eines Grades
0	15,000	45	10,625
5	14,943	50	9,661
10	14,773	55	8,623
15	14,492	60	7,519
20	14,101	65	6,357
25	13,603	70	5,146
30	13,002	75	3,895
35	12,301	80	2,613
40	11,507	85	1,302
		90	0,000

Die Schwungkraft nimmt also mit Zunahme der geographischen Breite rasch ab, so daß sie der Schwere immer weniger entgegentritt.

Die Ungleichheit der Längengrade in verschiedenen geographischen Breiten ist beim Zeichnen von Landkarten um so mehr zu berücksichtigen, als sie mit zunehmender geographischer Breite mehr und mehr hervortritt.

Die Abnahme der Schwungkraft der Erde mit Zunahme der geographischen Breite muß sich auch durch einen Versuch bestätigen lassen, der zugleich ein neuer Beweis für die Aendrehung der Erde sein würde, welchen anzustellen mir aber bisher die Gelegenheit gefehlt hat.

Wenn man nämlich an die beiden Enden einer recht langen Metallschiene, die man zur Vermehrung ihrer Tragfähigkeit auf die hohe Kante stellt, zwei recht schwere Metallkugeln anbringt und nun diese Vorrichtung in ihrem Schwerpunkte im geographischen Meridiane des Beobachtungsortes aufhängt; so besitzt die südliche Kugel eine größere Schwung-

kraft, als die nördliche, sie wird also ein größeres Bestreben haben, nach Osten sich zu bewegen, als die nördliche und wird dieses Bestreben in der That auch dadurch äußern, daß sie mehr nach Osten vorgeht, als die andere, wodurch die Metallschiene endlich die Lage von Osten nach Westen annimmt. Daß hierbei alle sonstigen und störenden Einflüsse, wie Reibung, Luftzug, Drehung der zum Aufhängen verwendeten Seilen oder Drähte möglichst vermieden werden müssen, versteht sich von selbst. Stellte man die ganze Vorrichtung genau von Osten nach Westen, so würde sie in dieser Lage stehen bleiben.

Noch ist bemerkenswerth, daß das in der Natur durchgreifende Bestreben nach Einheit sich sogar in den Bewegungen äußert. Wir werden u. a. in der Elektrizitätslehre erkennen, daß Körper, in denen die Elektrizität dieselbe Richtung verfolgt, einander anziehen. Hier müssen wir erwähnen, daß ein mit der Erde in Verbindung stehender rotirender Körper seine Aze mit der Erdatze parallel zu stellen und in gleichem Sinne sich zu drehen sucht.

Feste und freie Aze der Erde.

Bei der Axendrehung der Erde bietet sich noch eine höchst einfache Thatsache dar, welche aber für das ganze organische Leben der irdischen Körper von der höchsten Bedeutung ist.

Wir begrüßen die lebenerweckende Frühlingssonne mit Entzücken, wir freuen uns der wiederwachenden Natur, wir genießen mit Lust die Früchte ihrer Lebensthätigkeit und gönnen ihr dann wohl, in der Zuversicht, daß der Kreislauf aufsneue beginnen werde, gern die Zeit des Winterschlafes, ohne daran zu denken, daß der Grund für alle die verwickelten Erscheinungen in der Abwechslung der Tageslängen und der Jahreszeiten mit dem ungeheuren Gefolge der davon abhängigen Wirkungen einzig in der einfachen Thatsache besteht, daß die Drehungsaxe der Erde nicht lothrecht auf der Bahn derselben um die Sonne steht, sondern mit ihr einen Winkel von $66\frac{1}{2}$ Grad bildet, daß diese ihre Aze eine **freie** und in dieser Lage eine **feste** ist.

Daß die Lage der Erdatze sich nicht ändert, können wir leicht beobachten. Der Durchmesser der Erdbahn kann im Verhältnisse der Entfernung der Erde von den Fixsternen als verschwindend klein angesehen werden, weshalb sich auch ungeachtet dieser Bewegung eine Veränderung ihrer Lage gegen einander nicht zeigt und wobei alle uns in gleicher Entfernung wie an der Fläche einer Hohlkugel angeheftet zu sein scheinen. Nun zeigt es sich aber bei der durch die Axendrehung hervorgebrachten scheinbaren Drehung der Himmelskugel in entgegengesetzter Richtung, daß einer von den Fixsternen, der Polarstern, zu allen Jahreszeiten in derselben Höhe über dem Horizonte eines bestimm-

ten Ortes sich zeigt. Dieser Stern ist leicht aufgefunden, wenn man von den zwei großen Sternen, welche die Hinterräder im Sternbilde des Wagens bilden oder in den Vorderfüßen des großen Bären liegen, eine grade Linie zieht und diese nach oben so weit verlängert, bis sie ganz in die Nähe eines durch seine Größe von den anderen sich auszeichnenden Sternes kommt und dieser Stern ist der scheinbar feste Angelpunkt, um welchen alle Fixsterne in kreisförmigen Bahnen sich bewegen. Dieser Stern in dem Ende des Schwanzes vom kleinen Bären behält also nur deshalb seine ganz bestimmte Lage, weil die Verlängerung der Erdaxe in allen Punkten ihrer Bahn unverrückt auf diesen Stern zeigt. Änderte sich die Lage der Erdaxe, so würde ihre Verlängerung bei jeder Änderung auf eine andere Stelle der Himmelskugel hinweisen, als auf den Punkt, um welchen die anderen Fixsterne sich drehen würden.

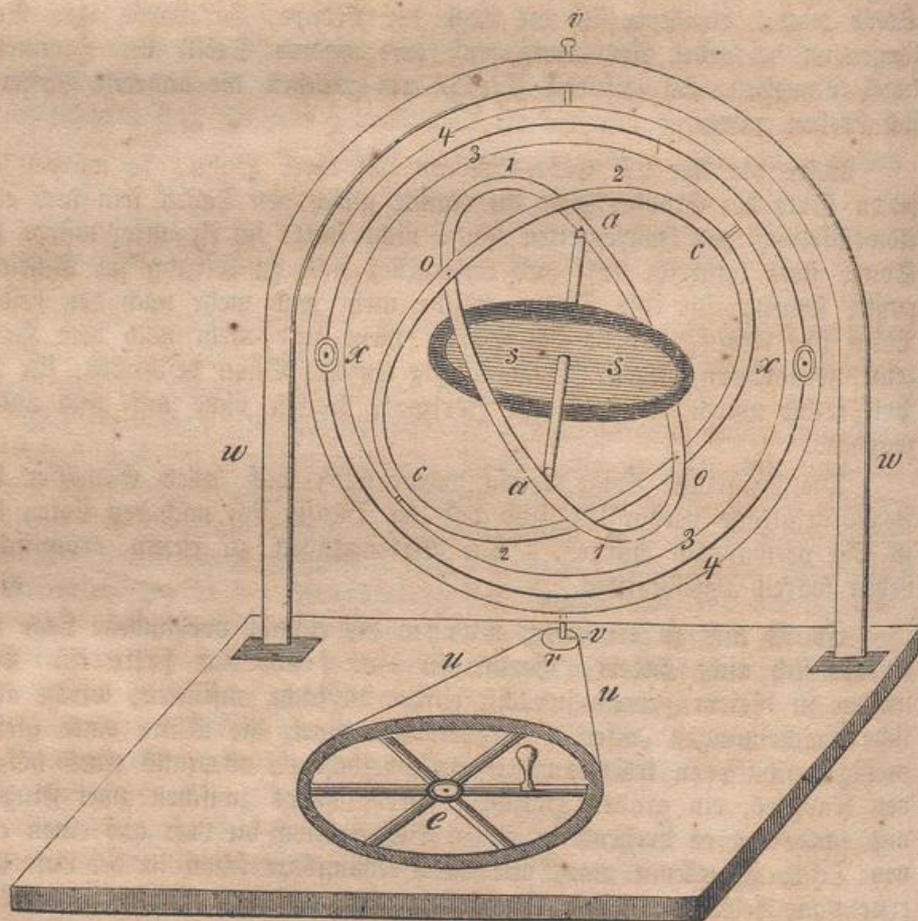
Wäre die Axe der Erde lothrecht auf ihrer Bahn, so würden an jedem Orte der Erdoberfläche die Nächte gleich den Tagen sein und eine Abwechslung von Jahreszeiten fände nicht statt: im Aequator würde die Sonne stets lothrecht auf- und untergehen und zu Mittag im Scheitelpunkte stehen; für die Orte, welche mehr und mehr nach den beiden Polen hin liegen, würde die Sonne mehr und mehr nach dem Horizonte herabrücken, indem sie unablässig dieselbe Bahn beschriebe; für die Pole selbst würde sie stets am Horizonte kreisen ohne auf- und unterzugehen.

Die natürliche Folge davon würde sein, daß alles Gewässer der Aequatorialzone verdunsten, und daß die Dünste sich nach den Polen hin zu Eis verwandeln würden. Die Bedingungen zu einem organischen Leben wären abgesehen.

Es ist nun zu ermitteln, warum die einmal vorhandene Lage der Erdaxe sich nicht ändert, warum sie eine freie und feste ist. Wir wollen zu diesem Zwecke zunächst einige Versuche anführen, welche ähnliche Erscheinungen zeigen. Steckt man durch die Mitte eines gleichmäßig beschaffenen kreisförmigen Holzscheibchens, allenfalls eines hölzernen Knopfes, ein grades Hölzchen, dreht dieses zwischen zwei Fingern und schleudert es drehend in einem Bogen durch die Luft auf einen ebenen Tisch, so erkennt man, wie die Drehungsaxe schon in der Luft ihre erste Lage behält und wie sie dieselbe auch auf dem Tische festzuhalten sucht. Mit noch größerer Sicherheit geschieht dieses unter der Voraussetzung gleicher Drehungsgeschwindigkeit und gleicher Durchmesser, wenn man ein Metallscheibchen nimmt und ganz besonders dann, wenn es an seinem Rande recht viele Masse enthält, der innere Theil der Scheibe aber dünn ist. Hat man einen mehre Pfunde schweren Metallkreisel, welcher sich um eine flache Stahlspitze auf dem Boden eines Glases oder Porzellantellers recht schnell dreht, so ist eine Veränderung der

Lage des Tellers nicht im Stande, die Lage der Axe des Kreifels zu ändern und er erhält sich sehr lange in Bewegung.

Wenn auch die Erscheinung beim tanzenden Kreifel uns schon seine Axe als eine feste kennen lehrt, so ist doch die Lage derselben noch zu sehr abhängig von der sie stützenden Unterlage. Wenn man aber der Axe einer dünnen Metallscheibe mit dickem Rande bei der Drehung jede beliebige Lage geben könnte, so würde die Erscheinung erst den Charakter vollkommener Allgemeinheit haben. Dieser Zweck wird durch die in Fig. 173 angedeutete Einrichtung erreicht.



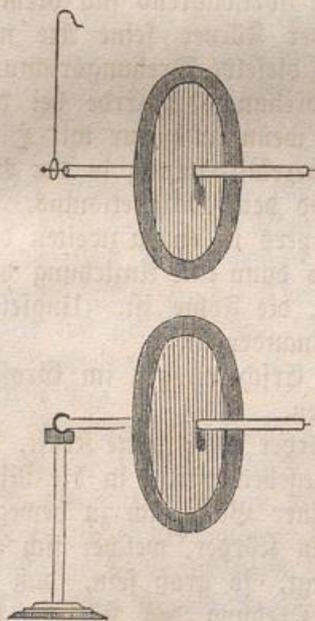
(Fig. 173.)

Die Metallscheibe *ss* ruht mit ihrer Axe *aa* drehbar in dem innersten kreisförmigen Metallringe; dieser erste Metallring ist drehbar um eine zweite Axe *oo* in einem zweiten Ringe, der zweite Ring drehbar um eine dritte Axe *cc* im dritten Ringe und der dritte Ring befindet sich in einem vierten in derselben Ebene liegenden und kann an diesen

mitteltst zweier Schrauben *xx* so befestigt werden, daß dadurch seine Aze jede beliebige Lage gegen das horizontal gestellte Brett des Gestelles *ww* bekommen kann. Von den drei Azen ist jede auf jeder der beiden anderen lothrecht. Die mittelste Scheibe wird durch das Abziehen einer um ihre Aze aufgewickelten dünnen Schnur gedreht und das ganze Ringsystem durch die Drehung der kleinen Scheibe *r* an der Aze *vv* des letzten Ringes mittelst einer größeren *e* und einer um beide gelegten Schnur *uu*. Statt der mittelsten Scheibe kann man auch eine Kugel nehmen. Das Ganze wird durch ein Gestell *ww* auf einem Brette, welches auch die beiden Scheiben *r* und *e* trägt, gehalten.

Mit dieser Vorrichtung im Ganzen, sowie mit einzelnen Theilen, lassen sich höchst überraschende Versuche anstellen.

1) Nimmt man die Scheibe mit ihrer Aze aus den Ringen und setzt sie mittelst einer Schnur in rasche Drehung, so wird sie durch diese Drehung ihre Aze frei in horizontaler Richtung schwebend erhalten, wenn nur das eine Ende derselben, wie Fig. 174 zeigt, in einer



(Fig. 174.)

Schleife hängt oder einen kugelförmigen Knopf trägt, der in eine drehbare Vertiefung auf einem Ständer lose paßt oder durch ein Scharnier mit einem, in einer lothrechten Hülse drehbaren Stabe verbunden ist. Es ist, als wenn die Scheibe sammt ihrer Aze während der Drehung das ganze Gewicht verloren hätte. Zu bemerken aber ist noch, daß die Aze sich horizontal um den Aufhängepunkt in der Richtung, welche der Drehung der Scheibe entgegengesetzt ist, dreht, was durch den Reibungswiderstand am Anhängpunkte bewirkt wird.

2) Bringt man die Scheibe wieder in das Ringsystem, stellt man den dritten Ring lothrecht fest und dreht man dann die Scheibe bei irgend einer Lage ihrer Aze, so verändert die Aze ihre Lage nicht, wenn man auch die ganze Vorrichtung im Kreise oder irgendwie horizontal bewegt. Greift

man aber den ersten Ring an, in welchem die Aze der Scheibe ruht und will man dadurch die Lage der Aze verändern, so empfindet man einen um so größeren Widerstand, je schneller die Drehung geschieht und je massenhafter vorzüglich der Rand des Ringes ist.

Diese Erscheinung läßt sich, wie es bei der letzten Londoner Weltausstellung geschehen ist, zu einem Versuche benutzen, welcher den Unkundigen mit Recht in das größte Erstaunen setzen muß. Schließt man nämlich diese Ringe in eine kugelförmige Kapsel oder auch in ein anderes

Kästchen ein, bringt man die Scheibe in recht rasche Drehung; verschließt dann das Kästchen, so daß man nicht sieht, was darin ist; so wird ein Anderer, welchem man dasselbe überreicht hat, nicht wissen, was für eine zauberhafte lebendige Kraft es verhindert, dem Kästchen mit gleicher Leichtigkeit jede beliebige Lage zu geben. Bei den Bewegungen, welche die Lage der Aze nicht zu ändern streben, hat man es blos mit dem Gemichte des Kästchens zu thun, aber bei anderen ist noch eine andere widerstrebende geheimnißvolle Kraft zu überwinden.

3) Wenn der ganze Apparat so zusammengesetzt ist, wie es Fig. 173 angibt, wenn dabei der dritte Ring an den vierten bei beliebiger Lage seiner Aze festgeschraubt ist, wenn man zuerst die Scheibe auch bei beliebiger Lage ihrer Aze und dann das ganze Ringsystem mittelst des am vierten Ringe befestigten Schelbchens in Drehung versetzt; so ändert sich die Lage der Aze der inneren Scheibe und dann auch ihre Drehungsrichtung, bis endlich ihre Aze mit der des dritten Ringes parallel ist und ihre Drehung in derselben Richtung erfolgt, wie die des dritten Ringes. In gleicher Weise würde ein fortwährend sich drehender und mit der Erde in Verbindung stehender Körper seine Aze mit der Erdaxe nach und nach parallel stellen und dieselbe Drehungsrichtung annehmen, und es ist der Einfluß der Azedrehung der Erde bei der Drehung des Apparates sogar wahrnehmbar, wenn auch nur mit Hilfe eines Mikroskopes. Dieses Streben nach Uebereinstimmung in der Bewegung zeigt sich auch bei der Elektrizität und dem Magnetismus, da eine gewisse Molekularbewegung des einen Körpers in einem zweiten dieselbe Bewegung hervorzubringen sucht, woraus dann eine Anziehung beider oder das Bestreben, ein Ganzes zu bilden, die Folge ist. (Ungleichenamige Pole, gleichgerichtete Ströme ziehen einander an).

Wir wollen nun zeigen, wie alle diese Erscheinungen im Großen und Kleinen auf Naturnothwendigkeiten beruhen.

Wir wissen bereits, daß ein bewegter Körper seine ganze Kraft, die ihm durch seine Masse und Geschwindigkeit gegeben wird, in die Richtung legt, in welcher er auf jedem Punkte seiner Bahn sich zu bewegen strebt. Diese Kraft kann für einen bestimmten Körper, welcher sich als Ganzes fortschreitend, z. B. horizontal, bewegt, so groß sein, daß sie sein Gewicht aufhebt. Aber auch bei der Drehung des Körpers um eine durch ihn gehende Aze kann dieses stattfinden. Wenn wir uns die Lage der Aze so denken, daß in den durch jeden ihrer Punkte lothrecht auf ihr gezogenen graden Linien zu beiden Seiten des betreffenden Punktes gleich viele, gleich schwere und gleichmäßig vertheilte Stofftheilchen vorhanden sind; so wird ein solcher Punkt (Fig. 175) durch je zwei dieser Theile, wie r und v, welche von ihm in gleicher Entfernung liegen, im Gleichgewichte gehalten oder von den beiden gleichen Kräften, welche auf die starre Linie rv bei der Drehung lothrecht und entgegengesetzt wirken, getragen.

Was von dem Punkte o der Aze und den auf ihn wirkenden Kräftepaaren gilt, ist von jedem Punkte der Aze ae , also von der ganzen Aze zu sagen. Da die Punkte der Aze die Schwerpunkte aller solcher Paare von schwer gedachten Punkten sind, in welche wir den ganzen Körper, z. B. einer Kugel, aufgelöst denken können; so wird die ganze Aze frei, ohne irgend eine Stütze, getragen und wird, natürlich nur wenn die Azendrehung für einen bestimmten Körper schnell genug ist, der Einwirkung einer jeden anderen Kraft, auf unserer Erde also ihrer Anziehungskraft, entzogen werden.

Die Erdaxe ist aber nicht bloß eine freie, sondern auch eine feste, d. h. eine solche, welche durch eine gewaltige Kraft in ihrer bestimmten Lage erhalten wird und der Veränderung dieser Lage mit derselben Kraft widerstrebt. Jedes Massentheilchen der Erde hat bei der Azendrehung je nach seiner Geschwindigkeit eine gewisse Kraft, mit welcher es, indem es die Bewegung in der einmal angenommenen Kreisbahn beharrlich fortsetzt, vom Mittelpunkte der Drehung aus fortfliehen will, diesen Punkt also, welcher in der Aze liegt, in der Richtung des Strahles weg nach der Peripherie zieht. In diesem Punkte ziehen die Kräfte aller materiell gedachten Punkte derselben Kreisfläche gleichzeitig nach allen denkbaren Richtungen, wobei aber die in den beiden Strahlen desselben Durchmessers und die in den beiden Halbkreisen wirkenden einander gleich sind. Durch alle diese Kräfte aber wird der betreffende Punkt fest gehalten und kann einer einzelnen dieser Kräfte nicht folgen. Diese Betrachtung gilt von allen Punkten der Aze, also von der ganzen Aze.

Für die Rotationskraft eines Körpers, also für die Kraft eines Körpers, mit welcher er rotirend seine Aze festhält, ist es durchaus nicht gleichgiltig, ob er bei einem bestimmten Gewichte eine massive oder eine hohle Kugel bildet; denn je mehr Masse bei einer bestimmten Drehungszeit in größerer Entfernung von der Drehungsaxe sich befindet, desto größer ist die Kraft, mit welcher die Aze in einer festen Lage erhalten wird.

Die Dichtigkeit der Erde als eines massiven Körpers würde das 5,67fache von dem des Wassers sein; da der feuerflüssig gewesene Erdkörper aber, wie wir bereits angegeben, wahrscheinlich hohl geworden ist, wie die durch Elektrizität aus Eisendraht geschmolzenen Kugeln es thatsächlich sind; so ist die Dichtigkeit der Erdkruste, wie es auch mit der Erfahrung übereinstimmt, größer, also ist auch die Rotationskraft der hohlgedachten Erde größer, als die einer massiven Kugel von demselben Gewichte.

Wenn Archimedes nur einen Stützpunkt verlangte, um die 123191 Trillionen Zollzentner wiegende Erde aus den Angeln heben zu können; so müßte außerdem noch die durch die Rotation vermehrte Kraft der Erde berücksichtigt werden, wenn man dabei die Lage der Aze ändern, sie nicht etwa bloß in ihrer eigenen Richtung bewegen sollte.

Bei der so bedeutenden Masse der Erde und der so großen Rotationsgeschwindigkeit derselben ist also die Kraft, mit welcher sie ihre Aze festhält, eine so ungeheure, daß die Lage derselben und die davon abhängigen Erscheinungen auf die Ewigkeit gesichert zu sein scheinen. Nicht nur die mächtigsten Gewitter, Erdbeben und vulkanischen Erscheinungen, sondern selbst die Annäherung anderer Planeten an die Erde haben darauf nicht den geringsten Einfluß, letztere wohl aber auf die Form ihrer Bahn um die Sonne.

Grund für die Neigung der Erdaxe.

Die in ihren Folgen so unendlich wichtige Thatsache, daß die Drehungsaxe der Erde auf der Bahn um die Sonne nicht senkrecht steht, sondern einen Winkel von $66\frac{1}{2}$ Graden bildet, ist gewiß aus einer Naturnothwendigkeit entsprungen und es ist wohl gestattet, eine Ansicht aufzustellen, zumal man darüber bis jetzt wenig oder gar nichts gesagt findet.

Wenn die im Weltraume um eine Aze sich drehende Urmasse, von welcher die Planeten und Monde sich noch nicht abgelöst hatten und von welcher die jetzige Sonnenmasse den Hauptkern bildete, eine durchgängig gleiche Dichtigkeit besaßen und behalten hätte; so würden die durch die Schwungkraft von den Stellen der größten Geschwindigkeit, also vom Aequator dieser Gesamtmasse, abgeschleuderten einzelnen Massen, nämlich die Urmassen zu den Planeten und deren Monden, eine eigene Drehungsaxe bekommen haben, welche auf dem Aequator der Gesamtmasse hätte senkrecht stehen müssen, weil in der abgelösten Masse jenseits und diesseits des Aequators gleiche Massen mit gleichen Geschwindigkeiten vorhanden waren, so daß also gleiche Bewegungsgrößen in den beiden Hälften zu den beiden Seiten des ursprünglichen Aequators lagen und auch nach der Ablösung liegen geblieben wären. Es würden also unter der obigen Bedingung die Aequatoren aller Planeten in der Ebene des Sonnenäquators liegen und aller Axen würden auf ihm lothrecht stehen.

Die Ablösung der Planeten konnte aber nicht schon entstehen, als die gesammte Urmasse noch nebelartig einen ungeheuren Raum einnahm und nur in träger Bewegung war, sondern erst, als zufolge der vom Mittelpunkte aus wirksamen Massenanziehung die Masse sich verdichtete und die Drehungsgeschwindigkeit eine größere wurde. Dann wurden durch die vermehrte Fliehkraft Massen abgeschleudert, welche selbst schon

eine größere, wenn auch nicht durchweg gleichmäßige Dichtigkeit besaßen.

Wenn nun auf der einen Seite des Aequators mehr Masse lag, als auf der anderen, so hatte die massigere Hälfte des abgeschleuderten Körpers das Bestreben weiter fortzuzugeln, als die mehr lockere und jene zwang also die in ihr liegende Hälfte der Drehungsaxe sich ihr zuzuneigen, so daß die ganze Aze eine Neigung gegen den Sonnenäquator und die Bahn um die Sonne bekam.

Betrachten wir die Erde, so zeigt sich nicht nur die auffallende Thatsache, daß die nördliche Halbkugel bedeutend mehr Festland besitzt, als die südliche, sondern daß gewissermaßen der Schwerpunkt der ganzen Ländermasse der nördlichen Halbkugel, sowohl in der alten, als auch in der neuen Welt, um den 23ten Breitengrad liegt und daher der Neigungswinkel der Aze gegen die Bahn auch $23\frac{1}{2}^{\circ}$ geworden ist.

Wenn auch das über dem Meeresspiegel hervorragende Land diese Vertheilung nicht genau zeigt, selbst mit Berücksichtigung der bedeutender hervorragenden Gebirgsmassen, so kann doch die größere oder geringere Meerestiefe die Ausgleichung hervorbringen, indem zu der geringeren Masse des aus dem Meere hervorragenden Landes eine größere Masse des dem Meeresspiegel näher kommenden Meeresbodens gehört.

Würden von der Hauptmasse einzelne Planetenmassen abgelöst, welche blos auf der einen Seite des Aequators in seiner Nähe lagen, so hätten die ihm näher liegenden Theile eine größere Drehungsgeschwindigkeit, als die entfernteren, und jene besaßen somit eine größere Fliehkraft, als diese, selbst bei durchgängig gleicher Massenbeschaffenheit. Also auch in einem solchen Falle mußte die Drehungsaxe des gebildeten Körpers eine schiefe Lage gegen seine Bahn bekommen.

Es liegen uns nach den bisher angeführten Betrachtungen in dem zu unserer Sonne gehörigen Planetensysteme zwei interessante Thatsachen vor, die uns eine ungleiche Massenvertheilung in dem durch die Fliehkraft abgeschleuderten selbstständigen Körper beweisen: bei der Erde und den anderen Planeten mit schiefer Aze war die ungleiche Vertheilung diesseits und jenseits des Aequators, bei dem Monde unserer Erde und wahrscheinlich auch bei den Monden der übrigen Planeten war die ungleiche Vertheilung diesseits und jenseits eines Meridianes des Mondes.

Wenn auch die Richtung der Erdoze in Beziehung auf die Oberfläche der Erde eine Aenderung nicht erleidet und niemals erlitten hat, wie man früher wohl fabelte, als man im nördlichen Eismeere einen Elephanten eingefroren gefunden hatte, welcher so frisch erhalten war, daß die Hunde der Jakuten das Fleisch noch genießen konnten; so ist sie doch kleinen regelmäßigen Schwankungen ausgesetzt, welche eine Folge der Abplattung und schiefen Lage der Aze gegen die scheinbare Sonnen- und Mondbahn sind.

Nur an den beiden Tag- und Nachtgleichen-Punkten der Ebene der Erdbahn um die Sonne liegt der Sonnenmittelpunkt im Erdäquator; die Verbindungslinie des Mittelpunktes der Sonne mit dem der Erde steht auf der Erdoberfläche lothrecht und die der Sonne zugewendete Hälfte der Erde hat ungeachtet der Abplattung eben so viele Masse, als die abgewendete.

Befindet sich die Erde auf ihrer Bahn für uns im Sommer-Sonnenstillstandspunkte (den 21. Juni) oder beschreibt die Sonne mit ihren lothrechten Strahlen den nördlichen Wendekreis bei der Drehung um ihre Axe; so liegt von der der Sonne zugekehrten Hälfte der Erde der größere Theil der Masse unterhalb der Erdbahn und der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Körper; befindet sich die Erde im Winterstillstandspunkte (am 21. Dabr.) oder beschreibt die Sonne mit ihren lothrechten Strahlen den südlichen Wendekreis, so ist die der Sonne zugekehrte gewichtigere Hälfte der Erde über der Ebene der Erdbahn. Die Anziehung der Sonne strebt aber, die ihr zugewendete größere Masse am Äquator immerfort so zu stellen, wie sie in den Tag- und Nachtgleichen-Punkten steht, es wird also der massenhaftere Äquator durch die Sonne fortwährend zurück gegen die Richtung der Bewegung um die Sonne, also gegen Westen gezogen, so daß die beiden Durchschnittspunkte des Äquators mit der festen Ekliptik (oder scheinbaren Sonnenbahn) jährlich etwa um 50,2 Bogensekunden, in einem Jahrhunderte um 1,39 Grad, von Osten nach Westen wandern und in 25900 Jahren den ganzen Umlauf vollendet haben würden, ohne daß sich dabei die Neigung des Äquators gegen die Ekliptik ändert.

Daß diese Erscheinung, welche man das Vorrücken der Nachtgleichen oder die Präzession nennt, und welche bereits den Alten bekannt war (Timocharis 300, Aristarch 140 vor Chr. G.) mit einer entsprechenden kleinen Bewegung der Erdoberfläche verbunden ist, darf wohl kaum erst erwähnt werden. Es wird hierbei der Pol des Äquators um den festen Pol der Ekliptik von Ost nach West in einem Kreise in derselben Zeit gehen, in welcher die Äquinoktialpunkte ihre Bahn vollenden.

Man kann bei einem tanzenden Kreisel schon sehen, wie der Reibungswiderstand an dem einem Endpunkte der Axe geeignet ist, ihre beiden Theile zur Beschreibung von Kegelmanteln, ihre Endpunkte also zur Zurücklegung von Kreisbahnen zu veranlassen. Auch die in einer Schleife horizontal hängende Axe der gedrehten Metallscheibe (S. 369) beschrieb eine gegen ihre Drehung rückwärts gerichtete Kreisfläche.

Wenn man an den ersten Ring der in dem Ringsysteme sich frei drehenden Scheibe oder Kugel ein Gewichtchen hängt, welches fortwährend einseitig ziehend wirkt, wie die Anziehung der Sonne gegen die sphäroidische Erde, so beschreibt der Endpunkt der Axe auch eine rückläufige Kreisbahn.

mi Daß auch der Mond wegen seiner Nähe und verschiedenen Stellungen gegen den Erdäquator eine periodische Schwankung, Nutation genannt, welche mit dem Vorrücken der Nachtgleichen in genauer Verbindung steht, hat, wollen wir eben nur erwähnen. Der Pol bleibt nämlich nicht genau auf jener Kreislinie, sondern wankt gesetzmäßig in einer Periode von $18\frac{1}{2}$ Jahren von einer Seite derselben auf die andere.

Der Mond.

Wir gehen nun zu den Erscheinungen über, welche der zu unserer Erde gehörige Nebenplanet, der Mond, darbietet, insofern sie physikalischer Natur sind. Was von ihm gesagt wird, gilt aller Wahrscheinlichkeit nach auch von den Monden der übrigen Planeten.

Von welchem Punkte der Erde wir immer den Vollmond anblicken, überall zeigt er uns dasselbe starre, nie alternde Gesicht. Nichten wir in den verschiedensten Zeiten und Orten auf ihn Fernröhre, so beweisen auch sie, daß er uns stets dieselbe Seite zuwendet mit denselben ausgebrannten ringförmigen Vulkanen, aus deren Mitte bisweilen noch ein steiler Kegel hervorragt, mit denselben Rillen, welche als Verbindungslinien der Vulkane erscheinen und mit denselben ebenen Gefilden, aber ohne jede Spur einer organischen Thätigkeit und einer tropfbaren oder luftigen Flüssigkeit. Daß die Mondphasen uns nur Theile von dieser bestimmten Fläche zeigen, darf wohl kaum erst erwähnt werden.

Da der Mond kugelförmig gestaltet ist, so kann er bei seiner Los-trennung von der Erde nicht ein fester Körper gewesen sein, sondern er muß auch Flüssiges in seiner Masse vertheilt enthalten haben und zwar in dem Maße, daß ihm jene Formbildung noch gestattet war. Wir wollen diesen scheinbaren Widerspruch zu lösen und zugleich die Thatsache, daß er unserer Erde stets dieselbe Seite zuwendet, zu erklären suchen.

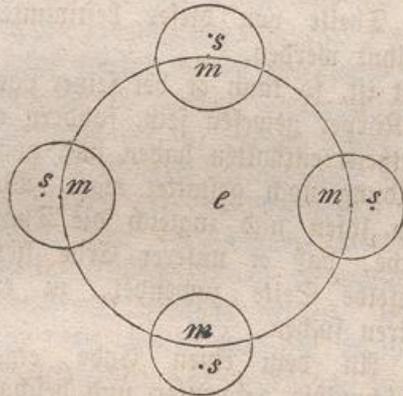


(Fig. 176.)

An dem einen Ende eines gleichmäßig geformten und beschaffenen Stabes hm (Fig. 176), welcher also seinen Schwerpunkt im Mittelpunkte hat, sei eine Holz- an dem anderen eine gleich große Metallkugel, und in der Mitte o eine Schnur befestigt. Legt man den Stab mit diesen Kugeln, von welchen der gemeinschaftliche Schwerpunkt zwischen o und der Metallkugel m liegt, auf die horizontale Diele dd, zieht die Schnur ao

lothrecht zum Stabe an und schwenkt man endlich diese Vorrichtung im Kreise um *a* herum, so daß die Schnur in einer Ebene gespannt bleibt; so fliegt die Metallkugel *m* weiter vom Mittelpunkte der Drehung ab, als die Holzkugel und bleibt auch überall in dieser Lage, wie es die Figur zeigt, so daß der Mittelpunkt *o* der drei verbundenen Körper dem Drehungspunkte *a* stets näher liegt, als der Schwerpunkt.

Weil nun die Planeten bei ihrer allmählichen Abkühlung einen größeren Grad von Festigkeit an ihrer Oberfläche hatten, als nach dem Inneren hin, so mußte beim Abschleudern des Mondes von der Erde der in dem festeren Theile der Masse liegende Schwerpunkt am weitesten hin zu fliegen suchen, so daß bei der stattfindenden Abrundung des Körpers der Mittelpunkt der ganzen Masse dem Erdmittelpunkte näher liegt, als der Schwerpunkt derselben. Wie in dem obigen Versuche der Stab mit den beiden Kugeln durch das sichtbare Band an den Drehungsmittelpunkt gefesselt war, so fesselt die Erde durch das unsichtbare Band der Schwere den Mond an ihren Mittelpunkt; es ist der Mond wie im Mittelpunkte der Erde angehängt und befindet sich fortwährend im stabilen Gleichgewichte, weil sein Schwerpunkt stets die tiefste, d. h. die entfernteste Stelle einnimmt.



(Fig. 177.)

nach Osten in einem Mondmonate so um die Erde, daß er nach 27 T. 7 St. 43 M. 11,5104 Sek. wieder zu demselben Punkte des Himmels zurückgekehrt ist und volle 360 Grade am Himmel zurückgelegt hat.

Weil aber die Erde in dieser Zeit nach Osten vorgerückt ist, so muß der Mond noch länger gehen, ehe er zur Sonne und Erde wieder dieselbe Stellung erlangt hat und uns an einem bestimmten Orte dieselbe Beleuchtung zeigt, nämlich 29 T. 12 St. 44 M. 2,7168 Sek. Jener Mondmonat heißt der siderische, dieser der synodische; außerdem aber spricht man noch von einem Sonnenmonate, welches der

Die Zeichnung Fig. 177 gibt eine Darstellung des Thatbestandes. Es ist *e* der Mittelpunkt der Erde, *m* der des Mondes, *s* der Schwerpunkt desselben; letzterer bleibt in jeder Lage des Mondes der entferntere, so daß der Mond dem *e* stets dieselbe Seite zuwendet, welche erhabener, als die abgewendete ist.

So ist also unser Mond einseitig an seinen Mutterkörper gefesselt und genöthigt mit ihm um die Sonne sich zu bewegen, dabei aber bewegt er sich, treu an seinem Ursprunge haltend, von Westen

zwölfte Theil des tropischen Jahres ist, d. i. die Zeit, in welcher die Sonne in einem der 12 Zeichen des Thierkreises verweilt. Andere kleinere den Mond betreffende Bewegungen müssen wir hier übergehen.

Wie nun aber, daß wir auf dem Monde nichts Flüssiges entdecken können, obwohl er, da er sich kugelförmig gestaltet hat, nicht so fest gewesen sein kann, als wir es jetzt an ihm wahrnehmen? Wie auf der Erde, so wollen auf jedem anderen Himmelskörper die Flüssigkeiten dem Schwerpunkte des Körpers möglichst nahe kommen oder sie gehen, wie wir zu sagen pflegen, nach unten. Da nun der uns zugekehrte Theil der Oberfläche des Mondes weiter von dem Schwerpunkte entfernt, also höher ist, als die Oberfläche des abgewendeten; so mußte alles Flüssige nach jenseits sich begeben und unseren Blicken für immer sich entziehen. Da der Mond von der Erde sich abgelöst hat, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß die Flüssigkeit auch Wasser sein wird, welches jenseits ein Zentralmeer mit Inseln und Buchten bilden mag.

Der Saturn.

Eine der interessantesten Erscheinungen am Himmel bietet uns der Saturn dar. Er führt uns so recht ein in die Entstehungsgeschichte unseres Planetensystems. Dieser Planet hat einen Aequatorialdurchmesser von 17166 geographischen Meilen, welches fast das Zehnfache von dem Durchmesser der Erde ist; dabei nimmt seine Axendrehung nur 16 Stunden 16 Minuten 44 Sekunden in Anspruch, so daß die Schwungkraft am Aequator, welcher eine Ausdehnung von 53929 Meilen hat, eine außerordentlich große, nämlich 11,5 Meilen für die Sekunde ist.

Die natürlichen Folgen davon erkennen wir an den sieben Monden des Saturn und an Ringen, welche frei um ihn lothrecht auf der Axe schweben und, wie die Monde, eine Bewegung um ihn besitzen; wenigstens hat Herschel mit seinem Riesenteleskope bei den äußeren dieses gefunden.

Die Monde entstanden schon, als die Masse des Planeten noch in einem ziemlich flüssigen Zustande war; die Ringe aber lösten sich erst ab, als die Masse schon eine ziemliche Zähigkeit angenommen hatte, welche eine Ablösung in einzelne selbstständige Körper nicht mehr gestattete. Indes zeigt sich auch bei den Ringen noch die Neigung zur Bildung selbstständiger Monde, weil auf ihren Flächen Berge, welche verhältnißmäßig sehr hoch sind, sich vorfinden, wobei einem Berge auf der einen Fläche des Ringes oft ein zweiter auf der anderen gegenüber liegt. Durch das späte Abschleudern der Ringe hat die Oberfläche des Planeten nicht nur parallel mit den Ringen laufende Streifen als die Spuren der Ablösung erhalten; sondern er zeigt sich auch in der Nähe der Ringe oder an seinem Aequator weniger erhaben, als in einer Breite von 43 bis 46 Graden, wo er den größten Durchmesser hat,

und dies gibt ihm bei seiner namhaften Abplattung eine eintigermassen viereckige Gestalt.

Der nächste Ring ist 5720 Meilen von der Oberfläche des Saturn entfernt und hat eine Breite von 3935 Meilen; nach einem Zwischenraume von 568 Meilen folgt der kleinere, welcher 1379 Meilen breit ist. Die Dicke beträgt nur $11\frac{3}{4}$ Meilen. Der innere Ring dreht sich in 4 bis 5, der äußere in $10\frac{1}{2}$ Stunden um den Saturn. Der innere ist wahrscheinlich aus einzelnen zusammengefest.

Es würde zu weit führen, uns ein naturgetreues Bild von den prachtvollen Erscheinungen, welche die Monde und Ringe einem Beobachter auf diesem Planeten darbieten, zu entwerfen.

Die Asteroiden und Meteore.

Die 82 Asteroiden bieten uns eine Thatfache dar, welche auf ihren gemeinsamen Ursprung aus einem Körper hinweist. Berechnet man nämlich ihre Bahnen um die Sonne, so findet sich, daß jeder von ihnen, wie mannigfaltig auch die Lage dieser Bahnen ist, einmal so ziemlich auf denselben Ort im Weltraume kommt; verschiedene natürlich zu verschiedenen Zeiten. Es ist nicht unmöglich, daß dieser Ort die Geburtsstätte ist nicht nur für den Schwarm dieser kleinen Planeten, sondern auch für diejenigen Meteore, welche die Erde als Steinregen heimsuchen. Diese im Ganzen sehr kleinen Massen mußten bei der Zerspaltung des großen Planeten um so weiter in den Weltraum hinausfliegen, je kleiner sie waren. Wenn sie nun auf ihren wenig gekrümmten Bahnen in den Bereich der Anziehungskraft der Erde kommen, so werden sie gezwungen, sich um sie zu bewegen und immer mehr sich verengende Bahnen zu beschreiben. Wenn sie dann bei ihrer schließlich sehr schnellen Annäherung in die Atmosphäre der Erde kommen, so werden sie durch deren Reibung warm, glühend, mit den Zeichen der Schmelzung an ihrer blasigen Oberfläche, zerspringen meistens mit einem Knalle, welcher bei nicht allzugroßer Entfernung einem Kanonenschusse gleicht, und es fallen endlich auf die Erde kleinere und größere, vorzüglich Eisen (Magnesium, Nickel) enthaltende Massen in einer länglichen Bahn, bisweilen noch so heiß, daß sie Gebäude anzuzünden im Stande sind. Auffallend ist es, daß sie, obwohl sie von so bedeutenden Höhen kommen, doch selbst im weicheren Erdboden meist nur wenige Fuß, ja bisweilen nur einige Zolle, aber auch bis zu 3 Klaftern tief einschlagen. Es hat nämlich die nach der Erdoberfläche hin wachsende Dichtigkeit der atmosphärischen Luft die Kraft mit zunehmender Geschwindigkeit des Meteors auch zunehmend gebrochen.

Ein bei Nigle herabfallendes Meteor gab ein Getöse wie von 3 bis 4 Kanonenschüssen und darauf folgendem Kleingewehrfeuer gegen 5 Minuten lang und etwa 2000 Bruchstücke, deren größtes 175 Pfund,

kleinstes 2 Quentchen mog, bedeckten eine Fläche von 2,5 französischen Meilen Länge und 1 Meile Breite.

Die Meteorsteine sind nicht selten von bedeutendem Gewichte: etwa 50 portugisische Meilen von Bahia in Brasilien liegt einer, dessen Masse man auf 14000 Pfunde schätz: und nicht weit davon eine 2000 Pfund schwere ganz vereinzelt Kupfermasse; in Louisiana unter $32^{\circ} 20'$ N. Br. und 97° W. L. liegen zwei Stücke, die man auf 100000 Pfunde schätzt.

Da alle Meteorsteine aus denselben Stoffen bestehen, so ist es keinem Zweifel unterworfen, daß sie alle auf einen gemeinschaftlichen Ursprung zurückgeführt werden müssen. Weil schon so viele Meteorsteine auf die Erde gefallen sind und noch fallen, und zwar durchschnittlich täglich zwei; so ist es wahrscheinlich, daß deren eine sehr große Anzahl im Weltraume herumschwärmen.

Die Kometen.

Es gibt von den vielen Tausenden (5000) von Kometen nur wenige (35 bis 40), welche mit Sicherheit zu unserem Planetensysteme gehören, indem sie in bekannten und kurzen Zeitabschnitten ($3\frac{1}{2}$ bis $7\frac{1}{2}$ Jahren) auch von Westen nach Osten sich um die Sonne bewegen. Bis jetzt sind sieben davon sichtbar wiedergekehrt. Diese rechtläufige Bewegung ist zwar auch den meisten übrigen, uns ganz unerwartet erscheinenden Kometen eigen, so daß ihre Zugehörigkeit dadurch wahrscheinlich wird; aber es besuchen unsere Sonne auch solche Kometen, welche von Osten nach Westen um sie sich bewegen, also rückläufig sind. Die Bahnen der unerwartet erscheinenden Kometen sind nur in der Sonnennähe stark gekrümmt und nehmen mit zunehmender Entfernung von der Sonne mehr und mehr eine grade Richtung an, so daß die Kometen außerordentlich weite Reisen in den Weltraum machen. Wenn sie auf diesen langgestreckten Bahnen einer Sonne sich nähern, so werden sie von ihr genöthigt, sich um sie zu bewegen. Wenn also ein Komet, welcher von einer anderen Sonne zu unserer Sonne auf die westliche Seite kommt, so geht er um sie nach Osten; wenn er aber zu ihr auf die östliche Seite tritt, so geht er um sie nach Westen oder wird rückläufig.

Die Kometen scheinen aus Resten der Urnebelmasse zu bestehen und die rückläufigen legen davon Zeugniß ab, daß die Masse, welche die zu anderen Sonnen gehörigen Systeme gebildet hat, keine andere ist, als die, welche unser System bildet. Hat ja doch die neueste Physik durch die Spektralanalyse den Beweis geführt, daß der Sonnenkörper nur Stoffe enthält, welche sich auch auf der Erde vorfinden, vorzüglich Eisen.

Ueber die Jupitersbahn hinaus ist bis jetzt noch nicht ein Komet gesehen worden. Was die Sonnennähe anlangt, so sind bis jetzt beobachtet worden:

zwischen Sonne und Merkur	19	recht=	und	28	rüchl=	Kometen,
= Merkur und Venus	46	=	=	43	=	=
= Venus und Erde	40	=	=	22	=	=
= Erde und Mars	28	=	=	18	=	=
= Mars und Jupiter	8	=	=	2	=	=

also 141 rechtläufige und 113 rüchläufige.

In Betreff der Umlaufszeit hat die Rechnung u. a. ergeben für den

Kometen vom Jahre	1857 IV.	235	Jahre,
	1843 I.	376	=
	1793 II.	422	=
	1853 II.	785	=
	1807	1725	=
	1811 I.	3066	=
	1825 IV.	4386	=
	1857 VI.	6143	=
	1680	8843	=
	1847 I.	10818	=
	1830 I.	58466	=
	1844 II.	102047	=

Die freie Centralbewegung.

Wir haben nun noch die freie Centralbewegung der Körper unseres Systems um die Sonne etwas näher zu betrachten.

Wenn bei der Umdrehung der ganzen Urmasse unseres Systems ein Planet sich bildete, so war er zweien Kräften unterworfen: der Fliehkraft, welche von dem Mittelpunkte der Sonne in der Richtung der Strahlen ihn zu entfernen strebte und der Anziehungskraft der Sonne, welche ihn nach dem Sonnenmittelpunkte hintrieb. Aus der Fliehkraft und der Zentripetalkraft entstand als Resultat die Tangentialkraft, als ersterer das Gleichgewicht gehalten wurde durch letztere und der Körper ganz wegzuflehen verhindert war. Diese nach der Bildung des selbstständigen Weltkörpers als Resultat erscheinende Tangentialkraft, welche nach dem Beharrungsvermögen in alle Ewigkeit fortwirkt und die in den Mittelpunkt oder das Zentrum zu verlegende Anziehungskraft des Centralkörpers (Zentripetalkraft), welche auch fortwährend wirkt, erzeugen nun die freie Centralbewegung.

Hielten bei zwei Körpern diese beiden Kräfte einander fortwährend das Gleichgewicht, indem sie selbst beständig sich gleich blieben; so würde der Nebenkörper um den Hauptkörper sich in einer Kreisbahn be-

Ferner verhalten sich die Entfernungen zweier Planeten von der Sonne wie umgekehrt die Quadratzahlen ihrer Geschwindigkeiten und die Quadratzahlen der Umlaufzeiten verhalten sich wie die Würfelzahlen (Kubitzahlen) der Entfernungen.

Die Zentrifugalmaschine.

Diese drei von Kepler aus der Beobachtung der Erde und der anderen Planeten aufgefundenen und von Newton durch das Gravitationsgesetz wissenschaftlich bestätigten Gesetze lassen sich auch an einer kleinen Maschine, der Zentrifugalmaschine, erkennen.

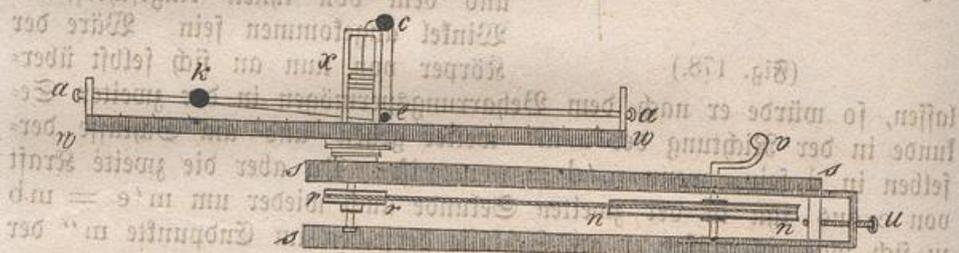


Fig. 179. Eine horizontal zu stellende kreisförmige Holzscheibe ww (Fig. 179) von mindestens 3 Fuß Durchmesser trägt am Ende eines Durchmessers zwei Ständer, an welchen eine gut polirte dünne Stahlstange aa parallel mit der Scheibe befestigt ist. Die lothrechte Ase der Scheibe geht unterhalb durch einen Holzrahmen ssss und ruht mit ihrer abgestumpften Spitze in einer polirten Pfanne o. h. Um die Ase in schnelle Drehung zu versetzen, befinden sich im Rahmen zwei Scheiben, von denen die kleinere rr an ihr befestigt ist und die größere nn durch eine Kurbel vv, deren Ase durch den Rahmen geht, mit der Hand gedreht werden kann. Beide Scheiben sind mit einer mäßig gespannten Schnur umgeben, so daß die Drehung der größeren auf die kleinere übertragen und sovielmal vergrößert wird, wievielmal der Durchmesser der ersten den der zweiten Scheibe übertrifft. Damit der Schnur jederzeit die richtige Spannung gegeben werden kann, läßt die größere Scheibe vermittelst der Kurbelaxe in einem Rahmen durch eine Schraube u sich der kleineren näher bringen oder von ihr entfernen. Auf den Metallstab aa lassen sich in ihrer Mitte durchbohrte Holzfiguren stecken; an den Kugeln befinden sich Häkchen, um daran einen dünnen Seidenfaden zu binden, welcher unter einer Rolle e und über

eine c, die sich an einem aus Metallstäbchen bestehenden und auf der Mitte der Scheibe w w aufgesetzten Rahmen befinden, geleitet wird. Das Ende des Fadens trägt einen Draht zur Aufnahme von kreisförmigen Metallgewichten x.

Mit dieser Vorrichtung lassen sich die Gesetze, welche die Bewegung der Himmelskörper beherrschen, ziemlich annähernd bestätigen.

Ist die Kugel in der Nähe des Ständers, so entfernt sie sich bei der Drehung der Scheibe von ihrer Mitte, spannt den Faden und hebt endlich die Gewichte, welche die Stelle der Anziehungs- oder Zentripetalkraft vertreten, wenn sie bei der Drehung in einer beliebigen Stelle schwebend erhalten werden. Wir wollen einige Versuche anführen.

Bringt man zwei gleich schwere Kugeln auf zwei vom Mittelpunkte der Scheibe gleich weit entfernte Punkte des Stabes, so bleiben sie bei gespanntem Faden stehen, weil ihre Schwungkräfte gleich sind.

Sind die gleichschweren Kugeln in ungleichen Entfernungen angebracht, so zieht die entferntere die nähere mit sich fort.

Sind ungleich schwere Kugeln in gleichen Entfernungen, so hat die schwerere eine größere Schwungkraft und zieht die leichtere mit sich fort.

Ungleich schwere Kugeln werden in ungleichen Entfernungen nur dann einander das Gleichgewicht halten, wenn die Gewichte sich umgekehrt wie die Entfernungen vom Mittelpunkte verhalten. Da es schwierig ist, genau gleiche Entfernungen zu erhalten, zumal die geringste Dehnung des Fadens die Gleichheit stört, so kann man den Versuch so anstellen, daß man zuerst die Entfernung der einen Kugel ein wenig größer nimmt, als sie für das Gleichgewicht sein sollte und es wird dann diese Kugel die andere mit sich fortziehen; dann nimmt man die Entfernung der anderen Kugel auch ein wenig zu groß an und auch sie wird die erste mit sich fortziehen, so daß daraus auf den Zustand des Gleichgewichtes mit Recht geschlossen werden kann, wenn die obige Regel mit Strenge befolgt würde.

Zur unmittelbaren Bestimmung der Fliehkraft wendet man nur eine Kugel und die Gewichte an. Wenn durch eine Kugel von $\frac{1}{2}$ Pfund in einer Entfernung von 1 Fuß vom Drehungsmittelpunkte ein Gewicht von 1 Pfunde, also ein doppelt so schweres Gewicht, sollte gehoben werden, so müßte die Geschwindigkeit der Kugel in einer Sekunde fast 8 Fuß sein, indem $\frac{8 \cdot 8}{31,1 \cdot 1}$ so ziemlich gleich 2 ist.

Hätte eine Kugel von 6 Loth eine Geschwindigkeit von 22 Fuß in einer Sekunde und eine Entfernung von 3 Fuß vom Drehungsmittelpunkte, so würde die Schwungkraft durch ein Gewicht von $\frac{22 \cdot 22}{31,1 \cdot 3} \cdot 6$, d. i. von etwa 31,1 Lothen dargestellt sein.

Beträgt das Gewicht $x \frac{1}{4}$ Pfund und nimmt man die Entfernung einer Kugel vom Mittelpunkte 15 Zolle, so mögen 40 Umdrehungen in 1 Minute genügen, um das Gewicht schwebend zu erhalten; beträgt aber das Gewicht x 1 Pfund oder $\frac{1}{2}$ Pfund und die Entfernung der Kugel nur 10 Zolle, so sind zur Hebung des Gewichtes 73 bis 74 Umdrehungen in der Minute erforderlich. Da sich hier die Radien wie 15 : 10 oder 3 : 2, ihre Quadratzahlen wie 9 : 4 verhalten, so ist dies dem umgekehrten Verhältnisse der Gewichte $\frac{1}{4} : \frac{1}{2}$ gleich und es müssen die Würfelzahlen der Radien sich verhalten wie die Quadratzahlen von 73 und 40, wenn der Versuch mit dem obigen Gesetze übereinstimmen soll und in der That ist dies mit hinreichender Annäherung der Fall, da der Einfluß der Reibung nicht ganz beseitigt werden kann. Unser kleiner Mechanismus ist also denselben Naturgesetzen unterworfen, wie die großartigen Bewegungen im Weltenraume.

Weltenysteme höherer Ordnungen.

Wenn wir bereits einen Einblick gewonnen haben in das Leben der zu unserer Sonne gehörigen Himmelskörper, welches unsere Bewunderung im höchsten Grade erregt, so ist der bisherige Gesichtskreis ungeachtet der für unsere irdischen Anschauungen enormen Ausdehnung desselben von mehr als 800 Millionen Meilen ein äußerst beschränkter.

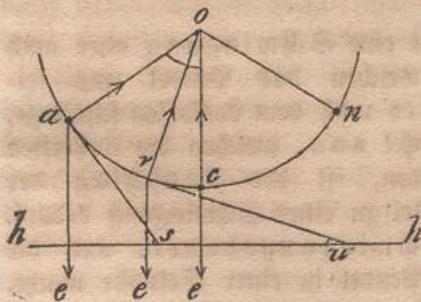
Unsere Sonne steht im Weltraume nicht still, sondern sie bewegt sich außer in $25\frac{1}{2}$ Stunden um ihre Ase mit ihrem ganzen Schwarme von Planeten, Monden, Kometen und selbst Meteoriten in 22 Millionen Jahren um die Plejaden als um eine Zentralgruppe, gehörig zu der ungeheuren Gruppe von Sonnen, welche wir als Fixsterne an unserem Himmel erblicken und von denen die meisten und entferntesten in der Milchstraße enthalten sind. Diese Sonnengruppe enthält gegen 18 Millionen Fixsterne und hat eine mehr schichten- als kugelförmig abgerundete Gestalt, gegen deren Mitte wir uns befinden, weil die Milchstraße die Erde gürtelförmig umgibt. Wären wir gegen die Gränze der Schicht, so würde uns der Sternenhaufen wie ein abbrechender Streifen erscheinen, und wäre der Haufen kugelförmig, so würden wir die gürtelförmige Milchstraße nicht haben, wir selbst möchten uns befinden, wo wir wollten. Es ist auf den ersten Blick sichtbar, daß in diesem Sternenhaufen bis jetzt eine gleichmäßige oder symmetrische Eintheilung noch nicht eingetreten ist.

Dieses ist aber nicht das einzige Sonnenweltenystem, sondern wir bemerken durch die Fernröhre sogenannte Nebelflecken, welche sich durch bessere Instrumente in lauter Fixsterne auflösen (der im Herkules z. B. in etwa 20000), welche durch die Gravitation nicht nur untereinander zu einem Ganzen mit seinen untergeordneten Gliedern verbunden sind, sondern welche auch auf einander ihren Einfluß äußern müssen.

Schon Herschel hat mit seinem Riesenteleskope gegen 3000 solcher Sternenhaufen erkannt, von denen aber viele, und selbst sehr große, sich nicht mehr in Sterne auflösen ließen, nicht etwa weil sie nicht aus einzelnen Sternen bestanden, sondern weil sie allzuentfernt und ihre einzelnen Sterne zu lichtschwach waren, um besonders hervorzutreten. Bei der Allgemeinheit der Naturgesetze werden wir uns denken müssen, daß eine gewisse Anzahl solcher eigentlicher Sonnensysteme ein zusammengehöriges Ganzes mit einer Zentralgruppe bilden, welches ein Nebelfleckensystem wäre. In der That besteht jede der beiden sog. magellanischen Wolken, welche in der südlichen Halbkugel sichtbar sind, aus mehreren Hundert Nebelflecken von verschiedener Form und Größe und zwischen ihnen Sterne und Sternenhaufen in großer Fülle. Ebenso im nördlichen Theile der Jungfrau. Es ist ferner denkbar, daß solche Nebelfleckensysteme wieder neuen Systemen von noch höherer Ordnung angehören u. s. f. in dem unendlichen Raume des Weltalls, wohin zwar der irdische Blick des Forschers nicht mehr dringen kann, wohin aber seinem geistigen zu schweifen vergönnt ist durch die wunderbare Kraft seines Verstandes, der das starre, dumpfe und bewußtlose Hinbrüten im ungläubigen Glauben verschmäht.

Unser erstauntes Auge zeigt uns aber nicht, was jetzt vorgeht in jenen Räumen des Weltalls, sondern wie es vor Millionen von Jahren gewesen ist, denn diese Weltkörper sind so weit von uns entfernt, daß ihr Licht, wie schon der ältere Herschel berechnet hat, 2 Millionen Jahre auf seinem Wege zu uns gebraucht, obwohl es bei seiner Geschwindigkeit von 42000 Meilen in 1 Sekunde in einem Jahre einen Weg von etwa $1\frac{1}{2}$ Billionen Meilen zurücklegt.

Die Pendelbewegung.



(Fig. 180.)

Hängt man an einem Faden oo (Fig. 180) eine Metallkugel oder an einem Stabe eine Metallscheibe um einen Punkt o beweglich auf, so heißt diese Vorrichtung ein physisches Pendel. Die Kugel oder Scheibe wird dann in Ruhe sein, wenn ihr Schwerpunkt lothrecht unter dem Aufhängepunkte sich befindet. Hat man die Kugel von c nach a gebracht und läßt sie los, so bewegt sie sich mit ungleichmäßiger Beschleunigung bis c , denn die Anziehungskraft der Erde wirkt zwar fortwährend anziehend auf sie ein, aber von a an bis c immerfort abnehmend. Dieses läßt sich leicht erkennen. In jedem Punkte der Bahn wirken auf die Kugel zwei Kräfte: die Kohäsionskraft

des Fadens zieht sie stets nach dem festen Punkte o und die Anziehungskraft der Erde stets in einer zum Horizonte hh lothrechten Richtung. In dem höher gelegenen Punkte a bilden diese beiden Kräfte den Winkel oae , in dem tiefer liegenden Punkte r den größeren Winkel ore . Die aus den beiden Seitenkräften sich ergebende Mittelkraft ist also im ersten Falle größer, als im zweiten, also je näher die Kugel dem tiefsten Punkte c kommt, desto kleiner wird die sie bewegende Kraft und daher wird zwar eine Beschleunigung stattfinden, aber eine ungleichmäßige. Wenn wir uns durch die Punkte, in denen die Kugel sich grade befindet, z. B. durch a und r die Berührungslinien as und ru ziehen, so haben wir schiefe Ebenen, deren Neigung gegen den Horizont um so kleiner wird, je näher der betreffende Punkt dem tiefsten liegt. Da wir uns die bogenförmige Bahn in lauter außerordentlich kleine Theile zerlegt denken und diese, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, als die Anfänge dieser schiefen Ebenen ansehen können; so ist auch daraus ersichtlich, daß die Kraft, welche die Kugel auf dem Bogen herabtreibt, um so kleiner wird, je näher sie dem tiefsten Punkte ist; denn je mehr sich eine schiefe Ebene der horizontalen Lage nähert, desto langsamer bewegt sich ein Körper auf ihr.

Ist die Kugel bis zum tiefsten Punkte c gelangt, so hat sie eine gewisse Kraft, die Schwingungskraft, erlangt, mit welcher sie nach dem Beharrungsvermögen in gleichmäßiger Geschwindigkeit fortgehen will. Da aber die Erde in demselben Maße, mit welchem sie auf dem ersten Theile der Bahn die Kugel beschleunigte, jetzt verzögernd auf sie einwirkt; so kann sie jenseits des Punktes c als höchsten Punkt nur n erreichen, wenn cn gleich ca ist. In n ist nämlich die Schwingungskraft durch die Schwerkraft endlich aufgehoben worden.

Daß die Kugel von n an den Rückweg bis c mit ungleichmäßiger Beschleunigung, von c bis a mit ungleichmäßiger Verzögerung zurücklegt, ist aus dem Gesagten klar.

Der ganze Hin- und Rückweg heißt eine Schwingung oder auch ein Stoß. Der Winkel coa , um welchen das Pendel aus seiner Ruhelage bewegt worden ist, damit es nach dem Loslassen schwinde, heißt der Erhebungswinkel, der Winkel aon , welchen die äußersten Lagen des Pendels mit einander bilden, ist der Ausschlag der Schwingung; die Zeit, welcher das Pendel zu einer Schwingung bedarf, die Dauer einer Schwingung oder Schwingungsdauer, und die Anzahl der Schwingungen, welche das Pendel in einer Sekunde macht, die Schwingungszahl.

Es ist klar, daß die Schwingungsdauer im umgekehrten Verhältnisse von der Schwingungszahl abhängig ist: bei der doppelten Anzahl von Schwingungen in einer gewissen Zeit ist die Dauer jeder einzelnen nur die Hälfte, bei der dreifachen Schwingungszahl nur der dritte Theil u. s. w.

Da das Pendel nicht nur zur genauen Eintheilung der Zeit, sondern auch in anderen Beziehungen ein außerordentlich wichtiges Instrument ist, so wollen wir die von ihm geltenden Gesetze, wenn auch nur kurz, anführen und erläutern.

1) Ist der Erhebungswinkel nur klein, höchstens 5 Grade, so macht ein Pendel von bestimmter Länge in einer bestimmten Zeit stets gleichviele Schwingungen und die Dauer einer jeden ist dieselbe. Je kleiner der Winkel ist, mit desto größerer Schärfe gilt dieses Gesetz, ja es ändert sich kaum merklich bis zu einem Winkel von 20 Graden.

2) Die Schwingungsdauer eines Pendels von bestimmter Länge ist weder von dem Gewichte, noch von dem Stoffe desselben abhängig und es schwingen gleichlange Pendel aus verschiedenen Stoffen unter dem leeren Rezipienten der Luftpumpe gleich schnell, wie sie auch unter derselben Bedingung gleich schnell fallen.

Da die Erdanziehung die bewegende Kraft ist, so ist dies eine Bestätigung der früher aufgestellten Behauptung, daß alle Körper gleich schwer sind (nicht gleichgewichtig) oder daß die Erde auf alle eine gleiche anziehende und beschleunigende Kraft ausübt.

3) Die Verschiedenheit der Pendellänge ist aber von wesentlichem Einflusse auf die Schwingungszahl, also auch auf die Schwingungsdauer: denn die Pendellängen verhalten sich wie umgekehrt die Quadrate der Schwingungszahlen oder grade wie die Quadrate der Schwingungsdauern (Statt dessen kann man sagen: die Quadratwurzeln aus den Pendellängen verhalten sich wie umgekehrt die Schwingungszahlen und grade wie die Schwingungsdauern.)

Ein Pendel von der vierfachen Länge wird nur halb so viele, eines von der neunfachen Länge nur ein Drittel so viele Schwingungen machen, als eines von der einfachen Länge und das Pendel von der vierfachen Länge macht Schwingungen von doppelter, das von neunfacher Länge macht Schwingungen von dreifacher Dauer u. s. f.

Diese Gesetze gelten in aller Strenge nur von einem Pendel, dessen Linie (Faden, Stab) schwerlos und dessen Körper (Kugel, Scheibe) als schwerer Punkt gedacht wird und welches sich im leeren Raume ohne jeden Widerstand bewegt. Man nennt es ein mathematisches Pendel zum Unterschiede von dem oben angeführten physischen. Um ein physisches Pendel zu erhalten, welches dem mathematischen außerordentlich nahe kommt, wählt man einen spezifisch recht schweren Körper an einem recht leichten und dünnen Faden, wie etwa ein Platinkügelchen an einem Kokonfaden. Um aber den Widerstand der Luft bei der Bewegung des Pendelkörpers möglichst zu vermindern, gibt man ihm die Form einer Kreisscheibe mit zugespitztem Rande, Linse, und zur Verminderung der Reibung am Aufhängepunkte dienen noch verschiedene Vorrichtungen, wovon später die Rede ist.



Wie aber auch das physische Pendel beschaffen sein mag, so wird doch die Anzahl der Schwingungen desselben in einer bestimmten Zeit kleiner sein, als die eines mathematischen von derselben Länge. Denken wir uns oo (Fig. 181) als eine unbiegsame Linie, welche um o schwingt und verschiedene Körper, wie k und c trägt, so wird das dem o nähere k schneller schwingen wollen, als das entferntere c ; jenes wird auf dieses beschleunigend, dieses auf jenes verzögernd einwirken. Ein physisches Pendel kann man sich aber aus sehr vielen schweren Punkten zusammengesetzt denken, von welchen eine Anzahl schneller, die anderen langsamer schwingen wollen, als das Pendel wirklich schwingt. Unter diesen schweren Punkten muß es einen geben, welcher durch jene, dem Mittelpunkte der Schwingung näher gelegenen, weder beschleunigt, noch durch diese entfernter liegenden verzögert wird, und ihn nennt man den Schwingungspunkt; seine Entfernung vom Mittelpunkte ist die eigentliche Länge des Pendels als eines einfachen oder mathematischen. Das physische Pendel ist also stets länger, als das mathematische, welches mit ihm in einer bestimmten Zeit gleichviele Schwingungen machen soll.

Da die gleiche Dauer der Schwingungen eines Pendels von bestimmter Länge bei einem kleinen Ausschlagswinkel das vorzüglichste Mittel ist, die Zeit in beliebig kleine und gleiche Abschnitte zu zerlegen; so hat man sich die größte Mühe gegeben, die Einflüsse der Temperatur auf die Veränderung der Länge des Pendels zu beseitigen und auf diese Weise Uhren herzustellen, welche stets einen gleichmäßigen Gang haben, wie sich auch die Temperatur ändern mag.

Wollte man zur Pendelstange ein einzelnes Metall wählen, so würde dieselbe bei Zunahme der Wärme sich verlängern und langsamere Schwingungen geben, weil der Schwingungspunkt vom Aufhängepunkte sich entfernt hat; dagegen bei Abnahme der Wärme, welche eine Verkürzung der Pendelstange zur Folge hat, würden die Schwingungen von kürzerer Dauer sein. Man setzt also die Pendelstange aus zwei Metallen, welche bei derselben Wärmezunahme in verschiedenem Grade der Länge nach sich ausdehnen, so zusammen, daß die Ausdehnung des einen durch die Ausdehnung des andern nach entgegengesetzter Richtung aufgehoben oder kompensirt wird und daher heißt ein so angefertigtes Pendel ein Kompensationspendel. Man hat zwar verschiedene Kompensationsmittel erdacht, wir begnügen uns hier die durch Metallstäbe hervorgebrachte anzugeben und die so zusammengesetzten Pendel werden Kostonpendel genannt.

Hat eine Eisenstange mit einer Zinkstange dieselbe Längenausdehnung, so verhalten sich ihre Verlängerungen bei derselben Temperaturzunahme wie 7:18. Ist die Länge der Eisenstange vom Aufhängepunkte bis zum Schwerpunkte der Linse eine gewisse, so muß die

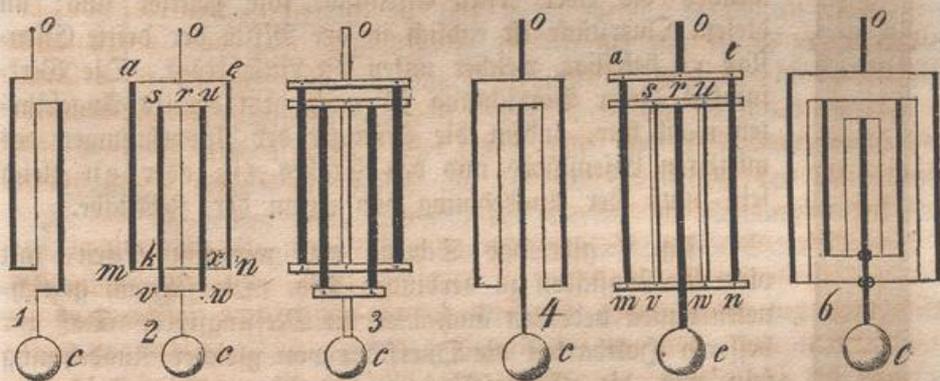
kompensirende Zinkstange offenbar so lang sein, daß ihre Verlängerung durch eine gewisse Zunahme der Verlängerung der Eisenstange gleich ist. Sie kann also in dem Maße kürzer sein, als ihre Ausdehnung stärker ist, als die des Eisens.

Der Festigkeit und Symmetrie wegen nimmt man die Metalle zu beiden Seiten der Pendelstange paarweise: also z. B. zwei Eisenstangen und eine Zinkstange oder vier Eisenstangen und eine Zinkstange oder drei Eisenstangen und zwei Zinkstangen.

Man kann auch Eisen- und Messingstäbe verbinden, wobei zu berücksichtigen ist, daß sich die Ausdehnungen dieser Metalle wie 5 zu 8 verhalten und kann fünf Eisen- mit vier Messingstäben durch Querstäbe auf eine gewisse Weise vereinigen.

In allen Fällen gilt für die Kompensation als Regel:

die Summe der Längen der lothrechten Stäbe eines gegebenen Metalles verhält sich zur Gesamtlänge der lothrechten Stäbe des kompensirenden Metalles wie umgekehrt ihre Ausdehnungen nach der Länge.



(Fig. 182.)

Wir wollen für die obigen Beispiele die Zusammensetzung der Krostpendel angeben. In den Fig. 182 bedeuten die stark gezeichneten Linien Eisen-, die schwach gehaltenen Zink- oder Messingstäbe. Ueberall liegt der Zweck vor, den Aufhängepunkt *o* in gleicher Entfernung von dem Mittelpunkte der Linse *c* zu erhalten.

In 1 ist der in der Mitte befindliche Zinkstab unten mit dem ersten und oben mit dem zweiten Eisenstabe durch ein Querstück verbunden. Wenn also durch die Ausdehnung des ersten Eisens das untere Querstück, durch die des zweiten die Linse herabbewegt wird, so hebt das Zink das obere Querstück und somit auch die Linse empor.

In 2 und 3 sind vier Eisenstäbe mit einem Zinkstabe verbunden. Von dem oberen Querstücke *ae* gehen die beiden äußeren Eisenstäbe *am* und *en* zu dem unteren Querstücke *mn*, und bilden so einen festen Rahmen; von der Mitte des unteren bis zur Mitte des oberen zweiten Querstückes *su* geht der Zinkstab, welcher *su* frei trägt, so daß also die beiden ersten Eisenstäbe lose durch dasselbe gehen (3). Zu beiden Seiten des Zinkstabes sind an *su* die beiden inneren Eisenstäbe befestigt, welche bei *k* und *x* lose durch den ersten unteren Querstab gehen und darunter den zweiten unteren Querstab *vw* tragen, woran sich die Linse *e* befindet. — Es ist leicht ersichtlich, daß bei der Zunahme der Wärme der an *mn* befestigte Zinkstab sowohl *su* als auch *vw* hebt, während die bei *a*, *e*, *s* und *u* befestigten Eisenstäbe diese beiden Querstücke herabbringen.

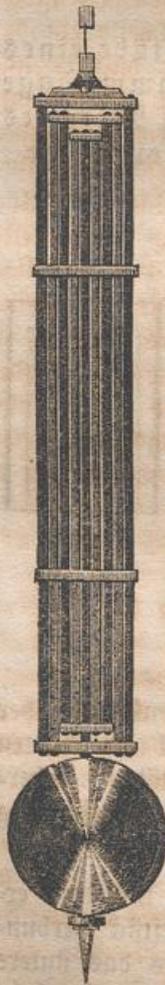
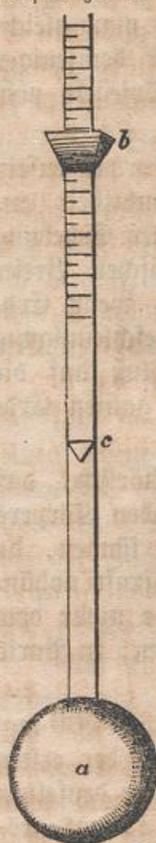


Fig. 4 und 5 zeigen, wie zwei Zinkstäbe mit drei Eisenstäben zu verbinden sind. Die beiden äußeren Eisenstäbe *am* und *en* bilden mit den Querstücken *ae* und *mn* einen festen Rahmen. Auf dem unteren Querstücke *mn* sind zu beiden Seiten innerhalb die zwei Zinkstäbe *vs* und *wu* befestigt und tragen das obere zweite Querstück, durch welches die zwei ersten Eisenstäbe lose geleitet sind; an diesem Querstücke ist endlich in der Mitte der dritte Eisenstab *rr* befestigt, welcher unten die Linse trägt. Die Wirksamkeit dieser Vorrichtung ist nach dem bereits Angeführten wohl klar, indem die Summe der Ausdehnungen des mittleren Eisenstabes und des Stabes *am* oder *en* gleich sein muß der Ausdehnung von einem der Zinkstäbe.

Fig. 6 gibt das Schema an, wie fünf Eisen- mit vier Messingstäben zu verbinden sind. Die schwach gezeichneten Linien bedeuten auch hier die Messingstäbe. Daß zur besseren Haltbarkeit die Querstäbe von gleicher Ausdehnung sein und die Längenstäbe an den hier nicht gezeichneten Stellen lose durch sie gehen müssen, ist wohl selbstverständlich, so wie, daß zur besseren Zusammenfassung längerer Stäbe in der Mitte noch Querstücke angebracht sein können, durch welche alle Stäbe bis auf zwei, aus demselben Metalle bestehenden, lose gehen müssen. Fig. 7 gibt das Kompenstation.

Um nöthigen Falles auch durch die Linse die Länge des Pendels reguliren zu können, ist dieselbe durch eine Schraube mit niedrigen Gewinden dem Drehungsmittelpunkte näher zu bringen, wenn das Pendel zu langsam schwingt, (Fig. 182 [7].) und von ihm zu entfernen, wenn es zu schnell geht.

Man hat das Pendel auch in der Musik angewendet, um den Takt anzugeben. Da aber die verschiedenen Musikstücke eine sehr verschiedene Dauer eines jeden einzelnen Tactes verlangen, so müßte man eigentlich eine große Menge einzelner Pendel von verschiedener Länge haben. Um dieses zu vermeiden, läßt man das Pendel nicht um das obere Ende



(Fig. 183), sondern um einen Punkt *c* schwingen, der zwischen ihm und dem Schwerpunkte des Pendels liegt. Dadurch werden nämlich die Schwingungen der Linse *a* verzögert, weil alle Punkte zwischen *c* und dem unteren Ende des Pendels bei ihrem Herabfallen in ihrem Kreisbogen die Punkte zwischen *c* und dem oberen Ende heben müssen. Schiebt man den Drehungspunkt *c* herab, so hat der untere Theil des Pendels noch mehr zu heben und die Schwingungsdauer ist noch länger. Statt den Drehungspunkt zu verschieben, kann man am oberen Theile ein verschiebbares Gewichtchen *b* anbringen. Je mehr dasselbe nach oben gerückt wird, in einem um so größeren Bogen muß es durch den unteren Theil des Pendels bewegt werden, desto größer ist also der Widerstand und desto langsamer geht das Pendel. Damit man die Schläge desselben höre, schlägt es mit dem oberen Theile an einen festen Körper. Die Stange ist nämlich mit einem zweischenkligen Anker, der Hemmung, verbunden, welcher in die Zähne eines Steigrades eingreift, das durch ein fallendes Gewicht getrieben wird. Bei jedem Hin- und Hergange des Pendels schleift ein Zahn an der schiefen Fläche des einen Ankerarmes fort, wodurch der Verlust an Reibungswiderständen ausgeglichen und die Gleichzeitigkeit der Schwingungen erhalten wird.

Dieses für die Musik eingerichtete Pendel wird Taktmesser oder Metronom genannt. (Fig. 183.)

Das Pendel ist aber nicht bloß für die Eintheilung der Zeit von der größten Wichtigkeit, sondern es dient auch dazu, um die Gestalt, Masse und Axendrehung der Erde zu erkennen. Als ursprünglich bewegende Kraft für das Pendel haben wir nämlich die Anziehung der Erde erkannt, welche von ihrem Mittelpunkte aus wirkt und für Körper an ihrer Oberfläche mit wachsender Entfernung abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung dieser Körper zunehmen. Wenn die auf das Pendel wirkende Bewegungskraft abnimmt, so werden die Schwingungen langsamer, jede einzelne hat eine größere Dauer und ihre Anzahl in einer bestimmten Zeit wird kleiner. Geht man mit einem Pendel von bestimmter Länge, z. B. dem Sekundenpendel zu Paris, welches 3,0596 pariser Fuß oder 38 rheinl. Zolle lang ist, nach dem Aequator hin, so werden seine Schwingungen langsamer und man ist genöthigt,

wie schon Condamine bei seiner Reise nach Cayenne erfuhr, das Pendel zu verkürzen, damit es noch ein Sekundenpendel sei. Je mehr die Anzahl der Schwingungen eines Pendels von bestimmter Länge abnimmt, desto mehr entfernt man sich vom Mittelpunkte der Erde und es läßt sich somit aus Pendelversuchen mit der größten Entschiedenheit auf die sphäroidische Gestalt der Erde ein Schluß ziehen, wenn man gleichzeitig weiß, wie hoch man sich mit seinem Pendel über demjenigen Meeresspiegel befindet, welcher sich als Erweiterung des Spiegels vom benachbarten Meere ergibt.

Das Pendel ist sogar so empfindlich, daß es das Vorhandensein oder den Mangel benachbarter größerer Massen mit Bestimmtheit anzeigt: es schwingt nämlich auf einer Fläche von bestimmter Erhebung über dem Meeresspiegel und in einer bestimmten geographischen Breite schneller, wenn große spezifisch schwere Massen, langsamer, wenn Erdhöhlungen vorhanden sind. Aus dem Verhältnisse der Beschleunigung durch bestimmte bekannte Massen läßt sich sogar ein Schluß auf die Masse und daraus auf das spezifische Gewicht der ganzen Erde machen.

Es ist zwar nicht leicht, aber aus dem Gesagten erklärlich, daß man durch das Pendel die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers oder die beschleunigende Kraft der Erde wird finden können, da die Schnelligkeit der Schwingungen von der Größe dieser Kraft abhängig ist. Demnach wird der Fallraum für die erste Sekunde unter dem Aequator am kleinsten sein und nach den Polen hin zunehmen; in Paris ist er 15,598 Fuß.

Da die Masse der Sonne die der Erde wenigstens 339000 mal übertrifft, so würde an ihrer Oberfläche der Fallraum in der ersten Sekunde das ebenso Vielfache von 15,6 sein, wenn die Sonne denselben Radius wie die Erde hätte; da aber der Sonnenradius 112 mal größer ist, so ist der Fallraum davon nur der 112.112te Theil, also ist er nur etwa 27 mal größer, als an der Erdoberfläche, d. i. $27 \cdot 15,6 = 421$ Fuß.

Dagegen ist die Kraft des Mondes ungeachtet seines kleineren Radius, welcher etwa nur $\frac{1}{11}$ von dem Erdradius ist, doch nur $\frac{1}{6}$ von der der Erde, also der Fallraum in der ersten Sekunde auf ihm $\frac{1}{6} \cdot 15,6$ oder 2,6 Fuß. Die Masse des Mondes ist nämlich nur $\frac{1}{81}$ von der der Erde und er würde, wenn er einen gleichen Radius mit der Erde besäße, einen Körper an seiner Oberfläche 75 mal schwächer anziehen. Da aber sein Radius nur $\frac{1}{11}$ von dem Erdradius ist; so würde die Anziehung des Mondes gegen einen Körper an seiner Oberfläche $\frac{11}{3} \cdot \frac{11}{3} = \frac{121}{9}$ mal stärker sein, als an der Erdoberfläche, wenn beide Körper gleiche Massen hätten. Daraus folgt, daß die

wirkliche Anziehungskraft des Mondes $\frac{1}{7}$, von $\frac{121}{9}$, d. i. $\frac{121}{675}$ oder nahe $\frac{1}{6}$ ist. Wiegt ein Körper an der Erdoberfläche z. B. 100 Pfd., so wiegt er an der Mondoberfläche nur etwa $16\frac{1}{2}$ Pfund und die Länge des Sekundenpendels würde dort nur 6 Zoll betragen.

In neuerer Zeit hat man aus den Beobachtungen des Pendels sogar einen neuen interessanten Beweis für die Axendrehung der Erde gefunden, welcher einen neuen Riß in die leider immer noch sehr spukenden Verdummungsgelüste gewisser Volksbeglückter gemacht hat. Ist mir doch von einem solchen Augenverdreher vor nicht gar langer Zeit gesagt worden: es sei dem Volke vollkommen gleichgiltig und könne es auch dem Lehrer sein, ob die Erde still stehe und die Sonne um sie sich bewege, oder umgekehrt. — Doch das Rad der Zeit wird auch diese Sorte von Leuten endlich zermalmen und dem gesunden Menschenverstande seine Rechte sichern.

Denkt man sich über einem der Erdpole ein Pendel frei aufgehängt und läßt man es schwingen, so werden seine Schwingungen stets in derselben Ebene bleiben und diese Ebene wird stets auf dieselben Fixsterne hinweisen, aber während eines Tages wird diese Ebene über dem Horizonte einen vollen Kreislauf in der Richtung von Osten nach Westen wie der Fixsternenhimmel machen. Diese Drehung der Schwingungsebene ist aber nur scheinbar und rührt von der Axendrehung der Erde her, welche in Wirklichkeit von Westen nach Osten vor sich geht.

An den Polen liegt das ruhige Pendel in der Verlängerung der Erdaxe und es wirken auf dasselbe bei seiner Bewegung nur die Schwere und das Beharrungsvermögen. Geht man mit ihm aber nach dem Aequator hin, so wirkt auf dasselbe noch die durch die Axendrehung der Erde hervorgebrachte Schwingkraft, welcher der Aufhängepunkt mehr ausgesetzt ist, als der Pendelkörper. Um die daraus sich ergebende Erscheinung möglichst auffallend zu machen, wird das Pendel mindestens 50 Fuß lang angenommen und um es recht lange in Bewegung zu erhalten nimmt man als Pendelkörper eine Metallkugel von 30 bis 40 Pfunden. Hierbei zeigt sich nun, daß die Schwingungsrichtung, oder vielmehr die Horizontalprojektion der Schwingungsebene, eine Drehung in der scheinbaren Bewegung des Fixsternenhimmels macht oder von dem jedesmaligen Ausgangspunkte des Pendels nach links, und daß die Lothrechte des Pendels mit abnehmender geographischer Breite einen stets offneren Winkel beschreibt, wodurch sich die scheinbare Bewegung der Schwingungsrichtung verzögert, bis sie unter dem Aequator Null ist, um in der anderen Halbkugel eine entgegengesetzte Richtung anzunehmen.

Die nach demselben Punkte anfänglich, z. B. einem im Meridiane stehenden Fixsterne, gerichtete Schwingung beschreibt also in einer gewissen Zeit einen Winkel, für welchen der Bogen am Horizonte zwischen

dem Meridiane des Beobachtungsortes und dem Höhenkreise (welcher senkrecht auf dem Horizonte durch den Stern geht) desselben Gestirnes das Maß ist.

Es ist nicht gleichgiltig, ob das Pendel in der Richtung des Meridianes des Beobachtungsortes, darauf senkrecht oder in einer anderen Richtung schwingt. Im ersten Falle macht zu Paris das Pendel eine Drehung von 25 Graden in 2,376, im zweiten Falle aber schon in 2,101 Stunden.

Bei 51° Breite dreht sich die Schwingungsebene in einer Stunde etwa um $11,7$ Grade, bei 48° um $11,25^\circ$, bei 30° nur um $7,5^\circ$. Für 51° Breite dreht sich die Schwingungsebene um 360° oder einmal vollständig in 30 Stunden 54 Minuten, für Berlin in einer Breite von $52^\circ 30' 16,7''$ beträgt die Drehungszeit 30 Stunden 10 Minuten 0,73 Sekunden.

Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß man eine, freilich bis jetzt, so viel mir bekannt, noch nicht praktisch untersuchte Bestätigung der Axendrehung der Erde auch erhalten würde, wenn man an eine horizontale, um ihren Schwerpunkt leicht drehbare und recht lange Stange, an deren Enden zwei schwere Metallkugeln angebracht wären, beobachtete. Hinge sie in ostwestlicher Richtung, so hätten beide Kugeln, weil sie in demselben Parallelkreise liegen, dieselbe Geschwindigkeit, also auch dieselbe Bewegungsgröße; hinge aber die Stange in nord-südlicher Richtung, so besäße die an dem nördlichen Ende befindliche Kugel eine geringere Bewegungskraft nach Osten, als die an dem Südennde angebrachte, weil diese bei der Drehung der Erde einen größeren Kreis beschreibt, als jene. Die natürliche Folge davon würde sein, daß die südliche Kugel stärker und also mehr nach Osten eilte, als die nördliche, daß diese also nach Westen zurückbliebe, wodurch die Stange endlich eine ostwestliche Richtung erhalten würde. Wäre der Drehungspunkt der horizontal liegenden Stange grade über dem Aequator und wären die Massen zu beiden Seiten desselben in gleichen Entfernungen von ihm genau dieselben; so würde die Stange in jeder Lage im Gleichgewichte schweben.

Auch bei unserem Gehen spielen die Erscheinungen des Pendels eine nicht unwichtige Rolle. Wie es schon früher erwähnt worden ist, kommt uns der Druck der Atmosphäre beim Tragen der Beine außerordentlich zuhülfe, so daß wir ihr oft nicht unbedeutendes Gewicht nicht fühlen. Dessen ungeachtet aber ist es auffallend, daß uns das Gehen, wenn wir dabei eine angemessene Geschwindigkeit beachten, so wenig ermüdet und wir dabei einer so großen Ausdauer fähig sind, während andere Muskelbewegungen, welche eine geringere Leistung hervorbringen, als es die Fortbewegung unseres ganzen Körpers ist, eine gleiche Anstrengung nicht zulassen. Beim Gehen stützt man den ganzen Körper abwechselnd auf eines der beiden Beine, während das andere ohne ir-

gend eine Anwendung von Muskelkraft frei herabhängend wie ein Pendel bloß nach den Gesetzen der Schwere ganz unwillkürlich vorwärts schwingt. Da nun jedes Pendel je nach seiner Länge eine bestimmte Schwingungsdauer hat, so wird das kurze Bein schneller schwingen, als das lange. Wenn man die Schnelligkeit des Gehens grade nach dieser Schwingungszeit eilrichtet, so wird es am wenigsten ermüden und am längsten fortgesetzt werden, weil abwechselnd nur die Muskeln eines Beines in Anspruch genommen werden; wenn man aber entweder langsamer oder schneller geht, so werden gleichzeitig die Muskeln beider Beine angestrengt und es muß eher eine Ermüdung erfolgen. Ebenso ermüdet das Stehen, bei welchem beide Beine gleichzeitig in Anspruch genommen werden, mehr als das Gehen mit angemessener Geschwindigkeit. Daher kommt es auch, daß Vögel und andere Thiere beim Stehen mit den Beinen abwechseln. Was Menschen mit kurzen Beinen durch die Kürze der Schritte verlieren, holen sie durch die Schnelligkeit ein und kommen sogar meist rascher vorwärts, als langbeinige und schwerfällige Menschen, weil die Beine bei diesen mehr zu tragen haben und somit eher ermüden. Kleine Soldaten haben immer eine größere Ausdauer gezeigt, als große.

Die Bewegung des Pendels ist nur eine von den vielen Arten der Schwingungen, welche in der Physik eine so ungemein große Rolle spielen, daß wir wohl sagen können:

die meisten Erscheinungen, namentlich die des Schalles, des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität und des Magnetismus sind Schwingungsercheinungen,

wenn nicht eines Körpers als eines Ganzen, so doch seiner Atomgruppen oder Molekel. Wir haben aber diese Art von Schwingung hier schon angeführt, weil sie ein Körperganzes betrifft, ohne in seinen Molekeln eine Veränderung der Lage durch Schwingen der Molekel hervorzubringen und weil sie auf unsere Sinne nicht eben anders wirkt, als wie die anderen Arten von Bewegungen, als einer bloßen Ortsveränderung.

Ehe wir zu den Molekularschwingungen kommen, müssen wir noch zunächst von den Hindernissen der Bewegung und von den Maschinen sprechen, durch welche Bewegungen verschiedener Art erzeugt und die Wirksamkeit der Kräfte umgändert wird.