Joh. Müller's Lehrbuch der kosmischen Physik

Müller, Johann Heinrich Jacob

Braunschweig, 1894

21. Axendrehung der Erde

Denken wir uns durch den Kirchthurm von Torneå einen Parallelkreis gezogen, welcher den Meridian von Kittis in M schneidet, so hat der Punkt M gleiche geographische Breite mit dem Kirchthurm von Torneå.

Nachdem einmal die Lage des Meridians von Kittis gegen die Linie OP festgestellt ist, lässt sich nun auch der Winkel bestimmen, welchen jede Seite des Dreiecksnetzes mit diesem Meridian macht. Hat man aber die Länge einer solchen Dreiecksseite bestimmt, so kann man auch die Länge ihrer Projection auf den Meridian von Kittis berechnen.

Denken wir uns nun die Linien ON, NK und KT durch Parallelkreise auf den Meridian von O projicirt, so ist die Summe dieser drei Projectionen gleich OM.

Oder es ist OM gleich der Summe der Projectionen von OP, PH, HC und CT.

Oder es ist OM gleich der Summe der Projectionen von OP, PA, AC und CT u. s. w.

Es lässt sich also die Länge OM aus verschiedenen Seitencombinationen berechnen, welche nahezu dasselbe Resultat geben. Als Mittel aus den zuverlässigsten Combinationen ergab sich

$$OM = 54\,942 \text{ Toisen.}$$

Nachdem nun die Länge des Meridianbogens OM ermittelt war, blieb noch die Differenz der geographischen Breite von Kittis und Torneå zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde zuerst auf Kittis und nachher zu Torneå die Zenithdistanz des Sternes δ Draconis zur Zeit seines Durchganges durch den Meridian gemessen. Die Differenz der beiden Zenithdistanzen ergab sich gleich

$$0^0\ 57'\ 26{,}9'',$$

demnach wäre also Kittis um 57′ 26,9″ nördlicher als Torneå. Aus der Beobachtung der Zenithdistanzen des Polarsternes aber ergab sich für die Breitendifferenz zwischen Kittis und Torneå der Werth 57′ 30,35″. Als Mittel ergiebt sich also für die Breitendifferenz der beiden Orte der Werth

$$57'\ 28{,}6''.$$

Nach diesen Daten lässt sich nun die Länge eines Breitengrades für Lappland leicht bestimmen, denn man hat

$$57'\ 28{,}6'' : 1^0 = 54\,942^t : x$$

oder

$$3448{,}6 : 3600 = 54\,942 : x,$$

aus welcher Gleichung sich für x der Werth 57 438 Toisen ergiebt. In Lappland beträgt also nach den Messungen von Maupertuis die Länge eines Breitengrades

57 438 Toisen.

Axendrehung der Erde. Im vorigen Capitel haben wir die tägliche Bewegung der Himmelskugel sammt allen Gestirnen kennen 21 gelernt, und es ist nun die Frage, wie diese Erscheinung zu erklären sei. Auf den ersten Anblick scheint es am einfachsten, dem unmittelbaren Eindrucke sich hingebend, diese scheinbare Bewegung für eine wirkliche zu nehmen, d. h. also anzunehmen, dass die Erde feststehe und dass sich das ganze Himmelsgewölbe sammt allen Gestirnen in je 24 Stunden wirklich um die Weltaxe, und zwar in der Richtung von Ost nach West umdrehe.

Diese Ansicht war im Alterthume und durch das ganze Mittelalter hindurch wirklich die herrschende. In dem Maasse aber, als sich die astronomischen Kenntnisse erweiterten, wurde die Hypothese einer wirklichen täglichen Umdrehung der Himmelskugel mehr und mehr unwahrscheinlich und musste endlich der Lehre von der Axendrehung der Erde weichen.

In der That lassen sich alle Erscheinungen der täglichen Bewegung der Gestirne auch durch die Hypothese vollkommen erklären, dass sich die Erde in 24 Stunden in der Richtung von West nach Ost, also der scheinbaren Bewegung des gestirnten Himmels entgegen, um ihre Axe dreht.

Untersuchen wir nun, welche Gründe gegen die wirkliche Rotation des Himmels und für die Axendrehung der Erde sprechen.

Die Dimensionen der Erde sind verschwindend klein gegen die Entfernung der Gestirne von uns; wenn sie also wirklich in 24 Stunden alle um die Erde herumlaufen sollten, so müsste die Geschwindigkeit dieser Bewegung eine ganz enorme sein.

Eine so grosse Geschwindigkeit ist an und für sich wenig wahrscheinlich, die Unwahrscheinlichkeit wurde aber noch auffallender, nachdem man zu der Ueberzeugung gekommen war, dass es keineswegs ein festes Himmelsgewölbe gebe, an welchem alle Gestirne gleichsam befestigt sind, dass keineswegs alle Sterne gleich weit von uns entfernt, dass wenigstens der Mond, die Sonne und die Planeten uns weit näher sind, als die Fixsterne; denn nun hätte man, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung ohne die Axendrehung der Erde zu erklären, annehmen müssen, dass die Gestirne in demselben Maasse schneller in ihren täglichen Bahnen fortlaufen, in welchen sie weiter entfernt sind.

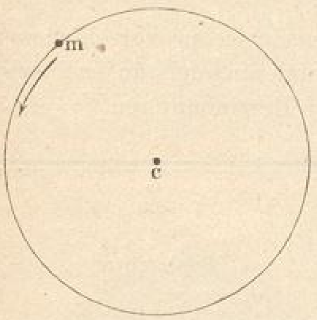
Die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Annahme stieg bis zur Absurdität, nachdem man zu richtigen Vorstellungen über die Grösse und Entfernung der Gestirne gekommen war. Das Volumen der Sonne ist fast $1^1/_2$ Millionen mal grösser, als das der Erde, und eine solche Masse sollte in 24 Stunden einen Kreis durchlaufen, dessen Halbmesser 20 Millionen Meilen ist, während die winzige Erde sich nicht einmal um ihre Axe dreht!?

Selbst wenn wir der Fixsterne, welche noch unendlich weiter entfernt sind als die Sonne, gar nicht gedenken, müssten solche Betrachtungen allein schon genügen, die Hypothese von einer wirklichen täglichen Bewegung der Gestirne zu beseitigen, während sich für die Axendrehung der Erde noch weitere Beweise beibringen lassen, die wir sogleich näher betrachten wollen.

Wenn sich die Erde wirklich um ihre Axe dreht, so muss sich die Schwungkraft auf ihrer Oberfläche geltend machen, und zwar muss sie um so bedeutender werden, je mehr man sich dem Aequator nähert.

Ein Körper m, welcher den Punkt c umkreist (Fig. 44), äussert fortwährend ein Streben, sich von diesem Mittelpunkte zu entfernen, und zwar ist der Weg p, um welchen sich m in einer Secunde von c entfernen würde, wenn andere Kräfte es nicht hinderten und ihn in der Kreisbahn zurückhielten, gleich $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$ (Lehrbuch, 9. Aufl., I. Bd., S. 158), wenn r den Halbmesser der Kreisbahn, t die Umlaufszeit in Secunden und π das Peripherieverhältniss 3,14 bezeichnet. Da $2\pi r$ gleich ist dem Umfange des Kreises, den wir mit u bezeichnen wollen, so ist auch

Fig. 44.



$$p = \frac{3{,}14 \,.\, u}{t^2}.$$

Der Umfang u des Kreises, welchen ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper bei jeder vollen Umdrehung der Erde um ihre Axe zurückzulegen hat, ist nahezu gleich 40 000 000 m, die Umlaufszeit $t = 24$ Stunden $= 86\,400$ Secunden und also

$$p = \frac{3{,}14 \,.\, 40\,000\,000}{86\,400^2} = 0{,}0168 \text{ m},$$

d. h. wenn sich die Erde in 24 Stunden wirklich um ihre Axe dreht, so muss die dadurch entstehende Schwungkraft so gross sein, dass ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper sich in einer Secunde um 0,0168 m von dem Erdmittelpunkte entfernen würde, wenn die Schwere es nicht verhinderte.

In Folge der Axendrehung der Erde muss demnach der Weg, welchen ein frei fallender Körper in der ersten Fallsecunde durchläuft, am Aequator um 0,0168 m kleiner sein als an den Polen.

Der Fallraum der ersten Secunde in der Nähe der Pole beträgt 4,909 m; ist derselbe nun am Aequator in der That um 0,0168 m kleiner, so wäre demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche niedergezogen wird, in Folge der Axendrehung am Aequator um $\frac{0{,}0168}{4{,}909}$ oder $^1/_{292}$ kleiner als an den Polen.

Eine solche Verminderung der Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin findet aber in der That statt. Beim freien Fall der Körper sie nachzuweisen, würde freilich schwer halten; wir besitzen aber im Pendel ein viel empfindlicheres Mittel, die Intensität der Schwere zu messen, und die Pendelversuche bestätigen diese Abnahme vollständig.

Im Jahre 1672 machte der französische Astronom Richer eine wissenschaftliche Reise nach Cayenne, welches nur 5^0 nördlich vom Aequator liegt. Als er hier seine Pendeluhr aufstellte, deren Gang zu Paris genau regulirt worden war, fand er, dass sie täglich $2^1/_2$ Minuten nachging; er musste das Pendel nahe um $^5/_4$ Linien verkürzen, um den richtigen Gang wieder herzustellen. Es konnte dies um so weniger einer Störung der Uhr während der Reise zugeschrieben werden, als die Uhr, nach Paris zurückgebracht, nun wieder 148 Secunden täglich vorging, so dass das Pendel wieder auf seine ursprüngliche Länge gebracht werden musste.

Man stellte später genaue Beobachtungen in vielen verschiedenen Gegenden der Erde an, um die Länge des Secundenpendels zu ermitteln. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe solcher Bestimmungen.

Ort	Breite	Länge des Secundenpendels in Millimetern	Beobachter
St. Thomas . . .	0° 24′ 41″	991,11	Sabine
Maranham . . .	2 31 43 S.	990,89	Sabine, Foster
Ascension	7 55 48 S.	991,19	Sabine, Duperrey
Trinidad	10 38 56	991,06	Sabine
Bahia	12 59 21 S.	991,20	"
Jamaika	17 56 7	991,47	"
Port Jackson . .	33 51 6 S.	992,59	Duperrey
New-York	40 42 43	993,17	Sabine
Wien	48 12 35	993,95	Littrow
London	51 31 8	994,13	Kater
Berlin	52 30 16	994,23	Bessel
Güldenstein . . .	54 13 6	994,38	Schumacher, C.F.W.Peters
Königsberg . . .	54 42 51	994,41	Bessel
Brassa	60 9 42	994,88	Sabine
Drontheim . . .	63 25 54	995,01	"
Hammerfest . . .	70 40 5	995,54	"
Grönland	74 32 19	995,75	"
Spitzbergen . . .	79 49 58	996,05	"

Die Länge des Secundenpendels ist durch die Gleichung

$$L = l + m \,.\, (sin\, \varphi)^2$$

gegeben, in welcher l die Länge des Secundenpendels auf dem Aequator,

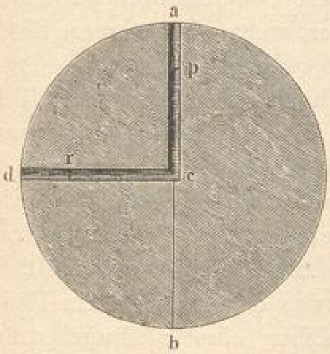
L aber die Länge desselben an einem Orte bezeichnet, dessen geographische Breite φ ist. Für Metermaass ist

$$l = 99{,}0918 \text{ cm}$$
$$m = 0{,}5262.$$

Da nun die beschleunigende Kraft der Schwere der Länge des Secundenpendels proportional ist, so ist durch diese Versuche erwiesen, dass in der That die Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin abnimmt, und diese Abnahme ist im Wesentlichen durch die von der Axendrehung der Erde herrührende Schwungkraft bedingt.

Die Abplattung der Erde selbst, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, ist eine Folge ihrer Axendrehung. Um dies darzuthun, wollen wir uns die Erde zunächst als eine feste Kugel denken, in welcher sich zwei Canäle ac und dc befinden, welche im Mittelpunkte der Erde zusammentreffen, und von denen der eine beim Nordpol a, der andere an einem Punkte d des Aequators mündet (Fig. 45). Diese beiden Canäle seien nun mit Wasser gefüllt, so werden beide Wassersäulen durch die Schwerkraft gegen den Mittelpunkt c hin angezogen, und zwar gleich stark, wenn keine Axendrehung stattfindet; in diesem Falle werden die Wassersäulen cd und ca gleich hoch sein müssen, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. In Folge der Rotation um die Axe ab wird aber der Zug der Schwere, den eine bei d befindliche Wasserschicht erleidet, wie wir gesehen haben, um $^1/_{292}$ vermindert.

Fig. 45.

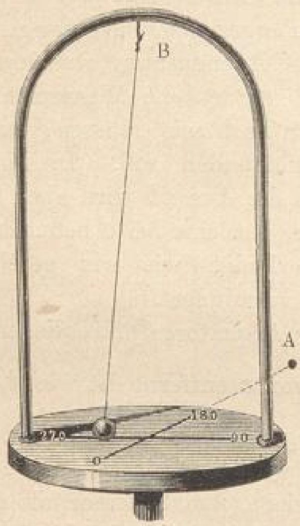


Betrachten wir aber eine zweite in der Aequatorealröhre liegende Wasserschicht bei r, welche nur $\frac{1}{n}$ so weit von c entfernt ist wie d, so ist hier freilich die Schwungkraft n mal geringer, allein auch die Kraft, mit welcher die Schicht r gegen c hingezogen wird, ist, wie sich aus dem Gesetze der allgemeinen Massenanziehung ergiebt, n mal kleiner, als das Gewicht einer gleichen Wasserschicht bei d; mithin ist auch hier bei r der Zug der Schwere gegen c durch die Schwungkraft um $^1/_{292}$ kleiner, als sie ohne die Rotation der Erde sein würde, sie ist um $^1/_{292}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleich weit von c abstehende Schicht p in der Polarröhre wirkt. Da nun dasselbe für alle entsprechenden Schichten der beiden Röhren gilt, so ist klar, dass in Folge der Axendrehung der Erde die Gesammtkraft, welche das Wasser in der Röhre dc gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $^1/_{292}$ kleiner ist, als die entsprechende Kraft, welche auf das Wasser in der Röhre ca wirkt; wenn also Gleichgewicht stattfinden soll, so muss die Wassersäule in der Aequatorealröhre cd um $^1/_{292}$ länger sein, als die Wassersäule in der Polarröhre ca.

Wäre die ganze Erde eine flüssige, in 24 Stunden um ihre Axe rotirende Masse, so müsste offenbar zwischen dem Aequatoreal- und dem Polarhalbmesser dasselbe Grössenverhältniss bestehen, wie wir es eben für die Wassersäulen in den hypothetischen Röhren berechnet haben, oder, mit anderen Worten, die Erde müsste eine Polarabplattung von $^1/_{292}$ zeigen. Die auf diesem Wege berechnete Abplattung stimmt beinahe vollständig mit der durch Gradmessungen ermittelten überein, und diese Uebereinstimmung würde noch grösser sein, wenn man alle hier influirenden Umstände bei der Rechnung berücksichtigt hätte. Es unterliegt demnach wohl keinem Zweifel, dass die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung ist, und dass sie zu der Zeit, als sie sich noch in flüssigem Zustande befand, schon genähert dieselbe Axendrehung hatte wie gegenwärtig.

22 **Foucault's Pendelversuch.** Ein einfaches Pendel, welches in einer bestimmten Ebene schwingt, wird seine Oscillationsebene unverändert beibehalten, wenn nicht äussere Kräfte es aus derselben verdrängen.

Fig. 46.



Es lässt sich dies sehr leicht mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 46, welche auf irgend eine verticale Umdrehungsaxe, etwa auf die einer Schwungmaschine aufgesteckt werden kann, bewerkstelligen. Auf einem horizontalen runden Brette ist ein Bügel von Metalldraht befestigt, von dessen Mitte ein Faden herabhängt, welcher eine Bleikugel trägt. In seiner Gleichgewichtslage fällt dieses einfache Pendel mit der Umdrehungsaxe des Apparates zusammen.

Bringt man das Pendel in der Richtung der mit 0 — 180 bezeichneten Linie aus seiner Gleichgewichtslage, so wird es, alsdann sich selbst überlassen, über der Linie 0 — 180, also rechtwinklig zur Ebene des Bügels hin- und herschwingen, so lange der ganze Apparat in Ruhe bleibt.

Wird aber die Scheibe um ihre verticale Axe langsam umgedreht, so wird die Schwingungsebene des Pendels dessenungeachtet unverändert bleiben, es wird also der Reihe nach ein Durchmesser der Scheibe nach dem anderen unter der Schwingungsebene des Pendels hindurchgehen. Hat man z. B. das Pendel einmal in der Verticalebene in Schwingung gesetzt, welche man sich durch den Aufhängepunkt B des Pendels und irgend einen ausserhalb des Apparates gelegenen feststehenden Punkt A gelegt denken kann, so wird das Pendel stets in dieser Ebene schwingen, wie der Apparat auch gedreht wird. Liegt z. B. in einem bestimmten Moment der Durchmesser 0 — 180 der Scheibe gerade unter der Bahn