

Mielberg
J. Mielberg.

Ueber die Ursache der allgemeinen Anziehungskraft.

(Sonderabdruck aus der „Dorp. Ztg.“ 1925.)

~~44569~~

Dorpat.

Druck von C. Mattiesen.

1925.

Wenn man im Garten einen Apfel vom Baume herabfallen sieht, steht man vor einem Wunder, das ebenso unbegreiflich ist, wie wenn ein Stein sich vom Straßenpflaster lösen und emporsteigen würde, bis er hoch oben im blauen Himmel verschwinden würde. Der Unterschied besteht nur darin, daß man sich an die Bewegung eines fallenden Körpers nach unten im Laufe vieler Jahrtausende gewöhnt hat, so sehr, daß man das Rätselhafte dieser grundlosen Bewegung häufig sogar übersieht. Manche sind so weit gegangen, daß sie der Materie selbst diese Eigenschaft zu fallen zuschreiben.

Es ist aber längst eingesehen worden, daß der toten Materie dieses Bestreben eines Körpers, sich in der Richtung zu einem anderen Körper zu bewegen, nicht zugeschrieben werden kann. Es muß außer ihren Eigenschaften noch eine Ursache vorhanden sein, welche sie in Bewegung versetzt, eine Ursache der Kraft, die nicht nur einen Körper in der Richtung zum Mittelpunkt der Erde, sondern auch den Mond zur Erde und alle Weltkörper zu einander zieht, nämlich der allgemeinen Anziehungskraft oder Gravitation.

Die Gesetze, nach denen alle Körper von einander angezogen werden, sind genau untersucht worden, aber das Wesen dieser allgemeinen Anziehungskraft ist bis heute in tiefes Dunkel gehüllt. Die Ansichten darüber

widersprechen sich vielfach, deshalb wird die Ursache der Gravitation in den Lehrbüchern weniger erörtert, als die Ursache anderer Erscheinungen, die viel später in den Bereich der Wissenschaft getreten sind, wie z. B. der elektro-magnetischen, optischen und dergleichen.

Aus dem grauen Altertum leuchtet ein Gedanke zu uns herüber, der auf diese fundamentale Frage einen Lichtschein werfen kann. Im fünften Jahrhundert vor Chr. Geb. wurde der Satz ausgesprochen: „Nichts geschieht grundlos, sondern alles mit Grund und durch Notwendigkeit.“ Vielleicht war es Leukipp, der Lehrer Demokrits, der diesen Gedanken zum erstenmal ausgesprochen hat. Die Meinungen hierüber sind verschieden. Schon im Altertum wußte man über Leukipp so wenig, daß sogar seine Existenz von einigen verneint wurde. Aristoteles scheint ihn aber für den Begründer einer neuen Lehre gehalten zu haben, welche im dritten Jahrhundert vor Chr. Geb. fast allgemein dem berühmten Philosophen Demokrit (geb. 460 vor Chr. Geb.) zugeschrieben wurde.

Entgegen den religiösen und philosophischen Anschauungen seiner Zeit behauptete er, daß die Welt aus Atomen und der Leere bestehe. Die außerordentlich kleinen Atome, unseren Empfindungen nicht zugänglich, bewegen sich im leeren Raume, prallen gegeneinander, werden von einander zurückgeworfen und nähern sich nun anderen Atomen. Sie sind von verschiedener Größe und Gestalt; jedes Atom bleibt trotz der häufigen Zusammenstöße unveränderlich. Deshalb kann nichts aus nichts entstehen und das Bestehende kann nicht verschwinden. Die unzähligen Atome füllen den unendlichen, leeren Raum aus und bilden durch ihre ewige Bewegung alles Bestehende.

Dieser Gedanke Demokrits fand während vieler Jahrhunderte beinahe gar keinen Anklang. Von Platon wird erzählt, daß er seiner nie erwähnte und die

Werte des Philosophen verbrennen wollte, der gelehrt hatte, daß nur Atome und die Leere existieren.

Auch die Vertreter der Christlichen Kirche verhielten sich im Mittelalter ihm gegenüber ablehnend.

Während zweier Jahrtausende lebte der Gedanke über die Atome und die Unzerstörbarkeit der Materie verborgen, bis er wieder im 16. Jahrhundert von Galileo Galilei beachtet wurde und endlich im 18. Jahrhundert in den Vordergrund trat, als Lavoisier durch zahlreiche Experimente die Richtigkeit der Behauptungen Demokrits nachwies und eine neue Wissenschaft, die moderne Chemie, begründete.

In chemischen Untersuchungen hat die Atomtheorie allgemeine Anerkennung gefunden, so daß es nicht notwendig erscheint, ihre Vorzüge hervorzuheben.

Einen weiteren Erfolg erzielte die Theorie in der Beobachtung der Brownschen Molekularbewegung: durch ein stark vergrößerndes Mikroskop ist es möglich, äußerst kleine, in einem Flüssigkeitstropfen schwebende Körperchen und deren unregelmäßige Bewegungen zu beobachten, welche von den Stößen der einzelnen Moleküle herühren, welche letztere aus wenigen Atomen bestehen.

Eine glänzende Anwendung fand die Atomtheorie durch die Arbeiten von Clausius in der kinetischen Gastheorie, aus welcher die experimentell bestätigten Gasgesetze erklärt werden können.

So ist auch in der Physik die Ansicht ganz allgemein vertreten, daß die Materie aus Atomen besteht, die sich in unaufhörlicher Bewegung befinden.

Ohne jegliche Hilfsmittel der Technik, ohne jegliche Grundlagen der modernen Wissenschaften erklärte im 5. Jahrhundert vor Chr. Geb. ein griechischer Philosoph aus Abdera, von dem wir leider nicht wissen, ob es Leukipp oder Demokrit war, die Naturgesetze durch eine einzige Hypothese so klar und befriedigend, daß wir mit Erstaunen uns immer mehr von ihrer Glaubwürdigkeit überzeugen. Th. Gomperz schreibt über die

Theorie Leukipps und Demokrits (Griechische Denker, I. Band): „... das Gesagte genügt, um Cournots Ausspruch vollauf zu rechtfertigen: Keine der Ideen, die uns das Altertum hinterließ, hat einen größeren oder auch nur einen gleichen Erfolg gehabt.“

Sind nicht noch weitere Erfolge zu erwarten? Erscheint es nicht natürlich, die Atomtheorie auch auf die Substanz anzuwenden, die sich zwischen den Planeten im Weltraum befindet, den sogenannten Lichtäther? So eine Anwendung kann neue, noch nicht bekannte Eigenschaften des Äthers voraussagen, die nachträglich experimentell untersucht werden können. Es besteht hier aber eine große Schwierigkeit insofern, als der Äther selbst eine hypothetische Substanz ist, über die man eigentlich sehr wenig weiß. Ja sogar seine Existenz ist fraglich und wird neuerlich durch die Relativitätstheorie von A. Einstein in Abrede gestellt. Hier stößt man auf den Begriff der Leere, der einen wichtigen Teil der Anschauungen Leukipps bildet. Gibt es überhaupt eine Leere in dem Sinne, wie sie wahrscheinlich von ihm verstanden wurde, d. h. einen Raum, in welchem nichts existiert? Ich möchte auf einen Begriff aufmerksam machen, der scheinbar mit der Leere keinen unmittelbaren Zusammenhang hat, der aber diese Frage vielleicht beleuchten kann; das Vakuum nämlich, von welchem früher behauptet wurde, daß es von der Natur gemieden wird.

Vor den Arbeiten eines Torricelli mußte man den Eindruck haben, daß ein luftleerer Raum in der Natur nicht möglich sei: sobald man z. B. aus einer ins Wasser getauchten Röhre die Luft entfernt, so steigt das Wasser in der Röhre entgegen dem Naturgesetz, nach welchem es auf gleichem Niveau mit der äußeren Oberfläche des Wassers bleiben müßte; wir wissen nun, daß es sich hier um den atmosphärischen Druck auf die offene Oberfläche handelt, der sich im Wasser fortpflanzt und dieses in der Röhre nach oben treibt.

In einem Quecksilberbarometer befindet sich am oberen zugeschmolzenen Ende ein luftleerer Raum, das sogenannte Vakuum, welches man im 16. Jahrhundert nicht für möglich hielt; es ist aber doch nicht ein leerer Raum, denn dort befinden sich gleichmäßig verteilt Quecksilberdämpfe, die den ganzen scheinbar leeren Raum ausfüllen. Wenn man sich schließlich vorstellt, daß es möglich sei, aus einer Röhre die Luft mit Hilfe einer vollkommenen Pumpe zu entfernen, so daß sich im Innenraum gar keine Materie befindet, so wird man doch annehmen, daß in der Röhre sich Lichtäther befindet. So hat man also auch heute nie Gelegenheit, einen meßbaren, absolut leeren Raum zu beobachten; deshalb bietet der Begriff der Leere dem menschlichen Verstand beinahe unüberwindliche Schwierigkeiten. Wenn man im Mittelalter behauptete, daß die Natur den leeren Raum meide, so könnte man heute behaupten, daß der menschliche Verstand ihn meide. Es gehört tatsächlich eine gewisse Überwindung zu der Annahme eines leeren, wenn auch noch so kleinen Raumes, ähnlich wie man vor einem finsternen Abgrund schwindlich wird.

Wenn einerseits die Anwendung der Atomtheorie auf den Weltäther natürlich erscheinen kann, so gibt es noch einen zweiten wichtigeren Grund, der diese Erweiterung begünstigt. Es ist der Begriff der allgemeinen Anziehungskraft, der in der Physik als ungelöstes Problem vereinzelt dasteht und in die Wissenschaft eine gewisse Disharmonie hineinträgt. Denn die Gravitation in dem heutigen Stadium ist doch im Grunde eine Fernwirkung, eine *actio in distans*, ein Begriff, der mit der größten Sorgfalt aus den Erklärungen der Naturphänomene verdrängt wird, als ein den Prinzipien der Physik widersprechender. Newton schreibt: „Es ist unbegreiflich, wie unbeseelter roher Stoff, ohne die Vermittelung von einem sonstigen Etwas, welches nicht materiell ist, auf einen anderen Körper ohne

gegenseitige Berührung wirken soll, wie es der Fall sein müßte, wenn die Gravitation im Sinne Epicur's der Materie wesentlich und inhärent wäre."

Auch die moderne Physik vertritt denselben Standpunkt, indem sie Schritt für Schritt die Fernwirkung durch andere Begriffe ersetzt; so in der Wellentheorie des Lichts durch die Arbeiten von Fresnel, welcher den Lichtäther als vermittelndes Medium betrachtete; in der elektromagnetischen Lichttheorie durch die Arbeiten Faradays und die theoretischen Untersuchungen Maxwells, die die elektrischen und magnetischen Wirkungen durch die Veränderungen des elektromagnetischen Feldes erklärt.

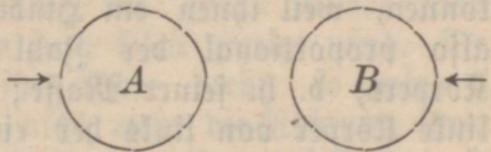
„Als allererster erkannte Newton die Notwendigkeit eines Mediums, um die Gravitation zu erklären.“
(Sir Oliver Lodge: „Der Weltäther“.)

Nicolas Fatio, vermutlich ein Freund Newtons, war ein Vorläufer von George-Louis Le Sage, dessen Stoß- und Schirmwirkungstheorie eine Anwendung der Atomtheorie auf den Lichtäther bedeutet und die allgemeine Anziehungskraft durch mechanische Wirkungen der Ätherteilchen erklärt. Seine Theorie ist später von C. Frenschke und P. Gerber ausgearbeitet worden. Cl. Maxwell prüfte die Theorie auf Grund des Energieprinzips und kam zu einem Schluß, der von H. Frick mit in Betracht gezogen worden ist.

Ich will versuchen das Wesentliche dieser Theorie wiederzugeben. Im Weltraum bewegen sich im leeren Raum in den verschiedensten Richtungen mit einer großen Geschwindigkeit die Ätherteilchen, ähnlich wie sich die Atome eines Gases bewegen, wenn sie in einem Gefäß eingeschlossen sind und dabei nach allen Seiten einen Druck ausüben, der, im Grunde genommen, nichts anderes ist, als die Summe der Stöße der einzelnen Atome, sozusagen ein Bombardement der Wände des Gefäßes durch die Atome. Die Ätherteilchen sind aber bedeutend kleiner als die Atome der Materie. Wenn

sich ein Atom der Materie im Weltraum befindet, wird es von allen Seiten durch die Ätherteilchen „bombardiert“; am wahrscheinlichsten ist es, daß das Atom von allen Seiten gleich viel Stöße der Ätherteilchen erfährt, da sie sich ja in den verschiedensten Richtungen bewegen können, folglich für jede Richtung im Raum die gleiche Wahrscheinlichkeit besteht. Die Stöße, welche das Atom von entgegengesetzten Seiten erleidet, heben einander in ihrer Wirkung auf; deshalb wird das Atom sich im Zustande der Ruhe befinden; die Wirkung des Äthers d. h. der Gesamtheit der von einander unabhängigen Ätherteilchen wird sich darauf beschränken, daß er auf das Atom einen allseitigen Druck ausüben wird.

Ein anderes Bild erhalten wir, wenn wir uns zwei Atome *A* und *B* im Weltraum denken: das Atom *A* wird nicht gleichmäßig viel Ätherstöße von allen Seiten erleiden, da ja die Ätherteilchen, die von rechts kommen, durch das Atom *B* zurückgeworfen werden, deshalb das Atom *A* nicht erreichen können. Des-



halb wird der Ätherdruck auf das Atom *A* von links größer sein, als von rechts; aus demselben Grunde wird das Atom *B* von rechts eine größere Zahl von Stößen erleiden, als von links; der Druck des Äthers wird von rechts ein größerer sein als von links; die Atome werden von dem Äther zueinander gestoßen; sie werden zueinander gravitieren; eine kurze geometrische Überlegung zeigt, daß die Größe der Kraft, mit welcher 2 Atome zueinander gestoßen werden, umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung zwischen den Atomen sein wird.

Denken wir uns noch ein drittes Atom, so wird jedes von ihnen zu den beiden anderen gestoßen; die Resultante der vom Äther ausgeübten Kräfte wird also die Richtung zwischen beiden Atomen haben; alle drei Atome werden vom Äther zu einem Punkt gestoßen,

der sich innerhalb des Dreiecks befindet, welches durch Verbindung der Mittelpunkte der Atome entsteht. Denken wir uns eine beliebige Zahl von Atomen, so entsteht ein Körper, der auf gleiche Art von dem Aether zusammengehalten wird.

Stellen wir uns endlich vor, daß zwei Körper sich im Weltraum befinden. Sie werden vom Aether auf dieselbe Art zueinander gestoßen, wie zwei einzelne Atome, mit dem Unterschiede nur, daß die Aetherteilchen zwischen den Atomen des rechten Körpers zum linken Körper sich bewegen können, daß also nicht alle Aetherteilchen, die von rechts kommen, zurückgeworfen werden, sondern nur diejenigen, die unterwegs auf die einzelnen Atome stoßen; je mehr Atome den rechten Körper bilden, desto mehr Aetherteilchen werden auf ihrem Wege von rechts zum linken Körper aufgehalten; die Zahl der Aetherteilchen, die den linken Körper nicht erreichen können, weil ihnen ein Hindernis im Wege steht, ist also proportional der Zahl der Atome des rechten Körpers, d. h. seiner Masse; insolgedessen erfährt der linke Körper von links her einen größeren Druck des Aethers, als von rechts, wird also vom Aether nach rechts gestoßen; dabei ist die Kraft, mit der er gestoßen wird, proportional der Masse des rechten Körpers; dasselbe gilt vom rechten Körper in der Richtung zum linken; wie bei 2 Atomen ist die gegenseitige Kraft umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung; kürzer kann man es in Form einer Gleichung aufschreiben:

$$P = f \frac{m m_1}{r^2};$$

wenn mit m und m_1 die Massen der beiden Körper bezeichnet werden, mit r — die Entfernung zwischen den Mittelpunkten der Körper, mit P — die Kraft, die beide Körper zueinander stößt, und mit f eine Zahl, die von der Wahl der Einheiten, mit denen die Massen und die Entfernung gemessen werden, abhängig ist.

Diese Gleichung wurde auf eine ganz andere Art von Newton gefunden und hat sich bei allen Beobachtungen in vollem Umfange bewährt. Sie ist eine mathematische Darstellung des Gravitationsgesetzes. Die Zahl f wird Gravitationskonstante genannt.

Es liegt nicht in meiner Absicht, über diese Theorie ein Urtheil zu fällen. Es ist genügend über sie geschrieben worden. Sie gehört nicht zu den allgemein anerkannten Theorien, andererseits hat sie aber eine große Zahl von Anhängern. Ich will nur versuchen, aus der Theorie einige Konsequenzen zu ziehen, welche die Brauchbarkeit derselben prüfen sollen.

Die Erde bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 30 Rlm. in der Sekunde fortschreitend und dreht sich gleichzeitig um ihre Achse. Wenn man sich auf dem Äquator einen Pfosten denkt, an dem ein Pfeil angebracht ist, der nach oben zeigt, so wird am 22 Juni um 6 Uhr morgens die Erde sich genau in der Richtung bewegen, welche von dem Pfeil gezeigt wird. Da sich aber die Erde um ihre Achse dreht, so wird 6 Stunden später der Pfeil nicht mehr die Richtung ihrer Bewegung zeigen; es genügt aber, ihn nach Westen zu drehen, um die Bewegungsrichtung der Erde zu sehen; um 6 Uhr abends muß man zu demselben Zweck den Pfeil am Pfosten nach unten drehen und endlich um 12 Uhr nachts nach Osten.

Wenn man mit Le Sage annimmt, daß die Anziehungskraft eine Folge des Ätherdruckes ist, so wird dieser Druck entgegen der Bewegung der Erde größer sein, als von den Seiten, ebenso wie z. B. der Luftdruck entgegen einem fahrenden Eisenbahnzuge größer ist, als von den Seiten. Wenn man einen festen Körper in einer Flüssigkeit bewegt, so übt sie auf die vordere Seite des Körpers einen gewissen Druck aus; der Körper zieht die Flüssigkeit nach sich, es bilden sich Wirbel, und die Flüssigkeit übt auch auf die hintere Seite des Körpers einen Druck aus; deshalb kann man

annehmen, daß der Äther auch auf die hintere Seite der Erde einen größeren Druck ausübt, als seitlich. Für den Pfosten am Äquator wird also der Druck des Lichtäthers größer sein, wenn der Pfeil nach oben oder nach unten zeigt, als wenn er nach Westen oder nach Osten zeigt. Das Gewicht eines Körpers ist aber nichts anderes als die Kraft, mit welcher dieser von der Erde angezogen wird; mit dem veränderten Ätherdruck wird auch das Gewicht zu verschiedenen Tageszeiten ein verschiedenes sein: um 6 Uhr morgens und um 6 Uhr abends wird es größer sein, als um 12 Uhr tags und um 12 Uhr nachts.

Mit einer gewöhnlichen Wage wird man es natürlich nicht bemerken: wenn ich z. B. 1 Kg. Blei auf die eine Wagschale lege und 1 Kg. Messing auf die andere, so werden sie einander das Gleichgewicht halten, da sowohl das Blei als auch das Messing schwerer geworden ist. Alle Körper werden gleichzeitig schwerer, oder leichter. Aber eine Last zu tragen oder einen Berg zu besteigen, müßte es doch um 12 Uhr tags leichter sein, als um 6 Uhr abends. Wenn man mit einer Federwage 1 Kg. Messing wägt, so wird die Wage um 6 Uhr abends ein größeres Gewicht zeigen als um 12 Uhr tags. Aber bemerken würde man es im gewöhnlichen Leben doch nicht, denn der Unterschied im Gewicht am Tage und am Abend wäre sehr klein.

Die Gravitationskonstante

$$f = (6,685 \pm 0,011) 10^{-8} \left[\frac{\text{Dyn. cm}^2}{g^2} \right]$$

ist dem Gewicht proportional; wenn also das Gewicht periodischen Veränderungen unterworfen ist, so ist die Zahl f denselben Veränderungen unterworfen; man findet das Maximum dieser Veränderungen, indem man 0,011 mit 2 multipliziert und das Produkt durch die Zahl 6,685 dividiert; man erhält 0,0033, d. h. den Bruchteil des Gewichts, der bei seiner Veränderung

nicht überschritten werden kann, wenn diese Veränderungen innerhalb der Grenzen bleiben, welche den bisher ausgeführten Bestimmungen der Gravitationskonstante nicht widersprechen.

Wenn infolge der Veränderungen des Aetherdruckes am Äquator Gewichtsveränderungen stattfinden, so wird dasselbe in kleinerem Maße auch in anderen Breiten geschehen und zwar nicht nur im Sommer, sondern im Lauf des ganzen Jahres. Wenn man außerdem noch die Bewegung unseres Planetensystems in der Richtung zu dem Fixstern Vega in Betracht zieht, so ist zu erwarten, daß für unsere Breite die größte Gewichtsdivergenz zur Zeit des Frühlingsäquinoktiums d. h. im März stattfindet.

Die Erde bewegt sich im Laufe des Jahres nicht immer mit derselben Geschwindigkeit: in den Wintermonaten ist sie größer als in den Sommermonaten; deshalb ist zu erwarten, daß die Gewichtsdivergenz in den Wintermonaten größer ist als in den Sommermonaten.

Solche Gewichtsveränderungen können aber nicht ohne Einfluß auf die meteorologischen Erscheinungen bleiben.

Man könnte erwarten, daß sie eine halbtägige Ebbe und Flut hervorrufen müßten, wie sie durch den Mond und in kleinerem Maße durch die Sonne hervorgerufen werden. Hier besteht aber ein wesentlicher Unterschied: die Ebbe und Flut, die durch den Mond hervorgerufen werden, verdanken ihre Entstehung dem Umstande, daß die einzelnen Teile der Erde gegen einen bestimmten Punkt, nämlich den Mittelpunkt des Mondes gravitieren, der sich in endlicher Entfernung von der Erde befindet; die Richtungen, in denen die Teile der Erde von dem Monde angezogen werden, sind einander nicht parallel; nur dadurch entstehen auf der Erde Ebbe und Flut. Bei der fortschreitenden Bewegung der Erde bewegen sich alle Teile der Erde in einer

Richtung; wenn also durch diese Bewegung ein vergrößerter Druck des Lichtäthers hervorgerufen wird, so werden die Richtungen, in denen die Gravitationswirkungen auf die einzelnen Teile der Erde erfolgen, alle einander parallel sein. Ebbe und Flut können nicht entstehen.

Eine zweite Wirkung, die man in Folge der Gewichtsveränderungen erwarten kann, besteht in einer Veränderung des mit einem Barometer gemessenen Luftdruckes.

Wollen wir annehmen, daß am 22. Juni am Äquator das Gewicht um 6 Uhr morgens seinen größten Wert erreicht hat. Dann wird ja auch die Luft über dem Äquator schwerer sein, als sie vorher gewesen ist. Man könnte also erwarten, daß der Barometerstand auch seinen größten Wert erreicht. Wenn man es aber mit einem Quecksilberbarometer messen wollte, so könnte man den vergrößerten Luftdruck nicht bemerken, da die Quecksilbersäule, welche der Luftsäule das Gleichgewicht hält, auch schwerer geworden ist. Wohl aber könnte man es mit einem Metallbarometer oder einem Barographen bemerken. Es fragt sich aber, ob das vergrößerte Gewicht der Luft in demselben Augenblick einen vergrößerten Luftdruck hervorrufen würde. Wahrscheinlicher ist es, daß diese Vergrößerung des Luftdruckes erst allmählich, vielleicht während einiger Stunden, zum Vorschein kommen würde, da ja die Luftsäule über der Erde eine beträchtliche Höhe hat.

Über die periodischen Veränderungen des Luftdruckes schreibt Dr. Jul. von Hann (Lehrbuch der Meteorologie) folgendes: „Die Regelmäßigkeit, mit welcher in den Tropen die tägliche Barometerschwankung unter allen Witterungsverhältnissen vor sich geht, hat für den Reisenden, der aus höheren Breiten in die Tropen kommt, stets etwas Überraschendes. Die Regen- und Gewitterstürme stören den täglichen Gang des Barometers zwischen den Wendekreisen kaum, nur die zuweilen

austretenden Wirbelstürme, weshalb eine erhebliche Störung im täglichen Barometergang auf das Herannahen oder den seitlichen Vorübergang eines solchen aufmerksam macht.

Diese Regelmäßigkeit des täglichen Barometerganges fällt namentlich bei Betrachtung der Registrierungen der Barographen in den Tropen in die Augen. Jeden Tag zeichnen dieselben die zwei Doppelwellen, nur deren allgemeines Niveau hebt oder senkt sich."

Ein genaueres Bild dieser täglichen Barometerschwankungen zu erhalten, gelang es durch ihre Zerlegung in eine ganztägige und eine halbtägige Periode. Die ganztägige Barometerschwankung steht in einem Zusammenhang mit der täglichen Veränderung der Temperatur und ist örtlichen Ursprungs. Die halbtägige Barometerschwankung dagegen scheint von örtlichen meteorologischen Erscheinungen unabhängig zu sein. „Die Amplitude ist im Dezember und Januar größer als im Juni und Juli in beiden Hemisphären, obgleich die eine dann Winter, die andere Sommer hat... Die doppelte tägliche Barometerschwankung erhält dadurch etwas von dem Charakter einer kosmisch bedingten Erscheinung."

In der Nähe des Äquators ($2\frac{1}{2}^{\circ}$ Breite) verändert sich der Luftdruck folgendermaßen:

von 6 Uhr morgens bis	8 Uhr morgens:	+0,99 mm.
" 8 " " "	10 " "	+0,33 "
" 10 " " "	12 " tags:	-0,66 "
" 12 " tags	" 2 " "	-0,99 "
" 2 " " "	" 4 " abends:	-0,33 "
" 4 " abends	" 6 " "	+0,66 "

von 6 Uhr abends bis 6 Uhr morgens wiederholt sich die Veränderung in derselben Weise.

Die Vergrößerung des Luftdruckes erfolgt am stärksten nach 6 Uhr morgens und nach 6 Uhr abends; an zweiter Stelle steht die Vergrößerung des Luftdruckes vor 6 Uhr morgens und vor 6 Uhr abends

und an dritter — die Vergrößerung von 6 bis 8 Uhr morgens und abends; die Verminderung erfolgt in ähnlicher Weise am stärksten um 12 Uhr tags und um 12 Uhr nachts, an zweiter Stelle von 10 bis 12 und an dritter von 2 bis 4.

Die meteorologischen Erscheinungen stehen mit einer periodischen halbtägigen Veränderung des Gewichts in vollem Einklang.

Auch direkte Gravitationsmessungen (von Orloff, Schweydar, Hecker) geben Anlaß zur Voraussetzung solcher Veränderungen. Dr. W. Schweydar schreibt (Lotsschwankung und Deformation der Erde durch Flutkräfte. 1921): „Daher ist nicht anzunehmen, daß die oben beschriebene Abweichung der S_2 überlagerten sekundären Schwingungsellipse in ihrer Lage gegen die halbtägigen Mondglieder durch Unregelmäßigkeiten in der Deformation der Erdschichten durch den täglichen Gang der Oberflächentemperatur hervorgerufen ist; vielleicht spielen Deformationen durch Luftdruckschwankungen hierbei eine Rolle.“

In dem durch die hervorragenden Arbeiten von A. Orloff bekannten Keller begann ich vor anderthalb Jahren eine Reihe von Beobachtungen, um zu untersuchen, ob das Gewicht periodischen Schwankungen unterworfen ist. In Ermangelung dazu geeigneter Apparate errichtete ich auf einer in dem Keller befindlichen kreisförmigen Plattform, die früher für einen Seismographen erbaut worden war, einen Apparat, der im Hinblick auf seinen Zweck Varioskop genannt werden kann.

Das Varioskop ist ungefähr 3 Meter hoch; am oberen Ende einer eisernen hakensförmigen Stange, die mit dem Fundament fest verbunden ist, ist eine 0,36 mm dicke Spiralfeder angebracht, an deren unterem Ende ein Gewicht von 3738,5 g hängt. Am Gewicht ist ein kleiner Spiegel befestigt, auf den ein Fernrohr mit einer horizontalen Skala gerichtet ist. Die Spiralfeder

mit dem Gewicht und dem Spiegel befindet sich in einem hohen röhrenförmigen Gehäuse, welches mit Wachspapier umwickelt ist; zu besserem Schutz gegen Temperaturschwankungen ist das ganze Varioskop von dickem Papier umhüllt; nur vor dem Spiegel befindet sich eine kleine Öffnung, um mit dem Fernrohr die sich spiegelnde Skala sehen zu können. Über dem Varioskop befindet sich ein 6 m^2 großes geteertes Dach gegen Wassertropfen, die von dem Gewölbe von Zeit zu Zeit herabfallen.

Zur Bestimmung der Empfindlichkeit des Varioskops legte ich auf das große Gewicht ein Gramm. Das Gewicht mit dem Spiegel fing an, sich zu drehen. Durch das Fernrohr gesehen, sah es aus, als ob der im Fernrohr befindliche Faden sich über der Skala nach rechts bewegt. Nach einigen Sekunden hatte der Faden den äußersten Punkt erreicht und begann seine Bewegung in entgegengesetzter Richtung. Nachdem er den äußersten linken Punkt erreicht hatte, begann er, sich wieder nach rechts zu bewegen, erreichte aber nicht mehr denselben Punkt, sondern kehrte schon etwas früher um. Es entstanden Pendelschwingungen.

Da die Skala im Fernrohr größer erscheint, als in Wirklichkeit, so konnten die entsprechenden Punkte der Skala bequem bis auf ein Zehntel Millimeter abgelesen werden. Bevor ich das Grammgewicht auf das große Gewicht gelegt hatte, stand der Faden auf dem Teilstrich $-0,93$, d. h. $9,3 \text{ mm}$ links vom Nullpunkt der Skala. Nachdem ich das Grammgewicht auf das große Gewicht gelegt hatte, bewegte sich der Faden zuerst nach rechts und dann, wie folgt:

l i n k s	r e c h t s
$-1,74$	$+6,10$
$-1,73$	$+6,08$
$-1,71$	

Das Mittel der rechten Punkte ist $6,09$; das der linken ist $-1,727$; die Gleichgewichtslage befindet sich

zwischen diesen Punkten; also auf $+2,182$; es hatte sich also die Gleichgewichtslage von dem Teilstrich $-0,93$ bis zum Teilstrich $+2,18$ verschoben, d. h. um $3,11$ cm nach rechts. Als ich darauf das Grammstück von dem großen Gewicht entfernte, bewegte sich die Gleichgewichtslage, die ich im weiteren den Nullpunkt des Varioskops nennen werde, um $2,82$ cm nach links.

Diese Manipulation wiederholte ich mit größeren und kleineren Gewichten. Es erwies sich dabei, daß bei Hinzufügung eines Gewichts der Nullpunkt des Varioskops sich immer nach rechts, bei Abnahme des Gewichts — immer nach links verschob. Es erklärt sich dieses dadurch, daß bei einer Vergrößerung des Gewichts die Spiralfeder das Bestreben hat, in die Lage zurückzukehren, aus welcher sie entstanden ist, nämlich aus einem geraden Draht. Solange die Windungen dicht sind, äußert sich dieses in einer Verlängerung der Feder und einer schwachen Drehung; unterscheidet sich aber die Feder insolge der Vergrößerung des Gewichtes wenig von einem geraden Draht, wie es bei dem Varioskop der Fall ist, so ist die Verlängerung schwach, die Drehung aber bedeutend; dehnt man die Feder durch Hinzufügung von Gewichten noch aus, so wird auch die Drehung schwächer; es wird die Elastizitätsgrenze überschritten; bei weiterer Dehnung zerreißt schließlich die Feder.

Durch zahlreiche Messungen fand ich, daß die Bewegung des Nullpunktes dem hinzugefügten Gewichte ungefähr proportional ist; bei einem Gramm Belastung betrug die Verschiebung des Nullpunktes $2,97$ cm; bei $\frac{1}{297}$ Gramm verschiebt sich der Nullpunkt um $0,01$ cm. Solch ein Gewicht bildet aber den $3738,5$ mal 297 -ten, d. i. den $1110334,5$ -ten Teil des großen Gewichtes; der Bruchteil des Übergewichtes, den man mit dem Varioskop beobachten kann, ist also kleiner, als $0,000001$.

Bei dieser Empfindlichkeit des Varioskops ist es verständlich, daß auch Nebeneinflüsse den Nullpunkt

verschoben konnten. Bei einer Erhöhung der Temperatur um $0,1^{\circ}$ Celsius verschob sich der Nullpunkt etwas nach rechts; aber bei einer Erhöhung um $0,01^{\circ}$ konnte ich die Verschiebung nicht mehr beobachten.

Im Keller verändert sich die Temperatur ziemlich gleichmäßig, im Durchschnitt um $0,03^{\circ}$ im Laufe von 24 Stunden; die Beobachtungen wurden durch diese gleichmäßige, immer in einer Richtung verlaufende Veränderung kaum gestört, wohl aber durch die Temperaturerhöhungen und Luftströmungen, die durch die Beobachtungen selbst entstanden. Deshalb stellte ich meine Beobachtungen zu bestimmten Stunden mit gleichen Intervallen an: um 5 Uhr abends und um 6 Uhr abends; späterhin um 4 Uhr abends und um 5 Uhr abends u. s. w.

Es erwies sich, daß der Nullpunkt eine stetige Bewegung im Sinne des zunehmenden Gewichtes zeigte, was auf die allmähliche Ausdehnung der Feder zurückzuführen ist. Später ersetzte ich das Gewicht durch ein leichteres (934,6 g), und die Feder zog sich zusammen: zuerst machte das Gewicht einige volle Drehungen nach links und blieb bei einem Nullpunkt stehen, der sich Monate hindurch sehr langsam nach links bewegte, im Laufe von 24 Stunden ungefähr um 2 cm; die Gleichmäßigkeit dieser Bewegung war auffallend, wenn die Beobachtungen um dieselbe Zeit gemacht wurden; dabei wurde diese Bewegung des Nullpunktes allmählich langsamer: im Laufe eines Monats reduzierte sich die während jeder Stunde zurückgelegte Strecke ungefähr um ein Drittel.

Neben dieser gleichmäßigen Bewegung des Nullpunktes ließ sich aber eine zweite Bewegung beobachten: wenn ich täglich 2 Beobachtungen mit einer Zwischenzeit von einer Stunde machte, so bildete die vom Nullpunkt zurückgelegte Strecke ungefähr ein Dreiundzwanzigstel der im Laufe der übrigen 23 Stunden zurückgelegten Strecke, wenn diese 2 Beobachtungen in

die Zeit von 10 Uhr morgens bis 2 Uhr nachmittags fielen; machte ich dagegen die Beobachtungen am Abend oder früh morgens, so war die Strecke etwas kürzer. Deshalb begann ich eine Serie von Beobachtungen, um nach Möglichkeit für jede Tagesstunde Zahlen zu erhalten.

Mit dem leichteren Gewicht von 934,6 g war die Empfindlichkeit des Varioskops etwas kleiner geworden: jedem Zehntel Millimeter der Skala entsprach nun 1,65 Millionstel des aufgehängten Gewichtes.

Nach der Beendigung der Reihe von Beobachtungen berechnete ich, welcher Veränderung des Gewichtes die Verschiebung des Nullpunktes entsprach und erhielt folgende Zahlen, ausgedrückt in Milligramm pro Kilogramm des aufgehängten Gewichtes:

Um 9 Uhr morgens:	+0,25	$\pm 0,21$
„ 11 „ tags	-0,70	$\pm 0,14$
„ 1 „ „	+0,18	$\pm 0,27$
„ 2 „ „	0,00	$\pm 0,19$
„ 3 „ „	+1,65	$\pm 0,35$
„ 4 „ abends	+3,70	$\pm 0,23$
„ 5 „ „	+1,63	$\pm 0,43$
„ 6 „ „	+4,15	$\pm 0,60$

Die mit \pm Zeichen versehenen Zahlen bedeuten den wahrscheinlichen Beobachtungsfehler des Resultats aller in der entsprechenden Stunde gemachten Beobachtungen. Da nun alle wahrscheinlichen Beobachtungsfehler mit Ausnahme des letzten kleiner sind, als 0,5 mg (pro kg), so schreibe ich diese Zahlen kürzer:

Um 9 Uhr morgens:	+0,5	mg
„ 11 „ tags	-0,5	„
„ 1 „ „	0	„
„ 2 „ „	0	„
„ 3 „ „	+1,5	„
„ 4 „ abends	+3,5	„
„ 5 „ „	+1,5	„
„ 6 „ „	+4	„

Außer den Beobachtungsfehlern müssen noch einige Umstände in Betracht gezogen werden: Erschütterungen können eine scheinbare Vergrößerung des Gewichtes hervorrufen; es zeigte sich dieses tatsächlich während der Erdbeben, welche starke Schwankungen des Varioskops und manchmal auch meßbare Verschiebungen des Nullpunktes nach rechts veranlaßten. Die Wirkung eines Erdbebens auf die Verschiebung des Nullpunktes während einer Beobachtung konnte natürlich berücksichtigt werden, auch wenn die ersten Wellen eines entfernten Erdbebens zwischen den 2 Beobachtungen desselben Tages oder kurz vorher zum Vorschein kamen; aber ein Erdbeben, das in den 23 übrigen Stunden Schwankungen des Varioskops hervorgerufen hatte, konnte nicht berücksichtigt werden. Durch briefliche Mitteilungen des Herrn Direktors der Erdbebenstation in Granada M. Navarro Neumann erfuhr ich, daß nicht alle in Spanien registrierten Erdbeben von mir bemerkt worden waren, daß anderseits manche Erdstöße, die Schwankungen des Varioskops hervorgerufen hatten, in den Bulletins der spanischen Station fehlten.

Es wurde auch der Barometerstand berücksichtigt. Eine durch den Luftauftrieb hervorgerufene Wirkung auf das Gewicht konnte ich nicht bemerken.

Von störendem Einfluß war auch der Umstand, daß die Beobachtungen an die Gegenwart des Beobachters gebunden waren, wodurch außer dem Einfluß auf die Temperatur und die Luftströmungen die Beobachtungen verhältnismäßig selten gemacht werden konnten; ein sicheres Bild der Veränderungen ist es nur dann möglich zu gewinnen, wenn die Registration automatisch vor sich geht; es käme die optische Registration in Betracht, bei welcher ein im Spiegel des Varioskops reflektierter und durch eine Linse gesammelter Lichtstrahl auf ein photographisches Papier fällt, das durch eine Walze langsam bewegt wird; es ist

aber vorläufig nicht möglich, diese Registration anzuwenden, da zu diesem Zweck eine elektrische Leitung in dem Keller notwendig wäre. Die bisher ausgeführten Beobachtungen mußten mit Hilfe gewöhnlicher Stearinlichte bewerkstelligt werden.

In unserer Breite $58^{\circ} 22' 47''$ können derartige Gewichtsschwankungen nur sehr gering sein; in der Annahme, daß ihre Abnahme mit der geographischen Breite in demselben Maße erfolgt, wie diejenige der Amplituden der halbtägigen Barometeroszillation, sind am Äquator ungefähr 10 mal größere Gewichtsveränderungen zu erwarten; es wäre deshalb sehr zu beglückwünschen, wenn ähnliche Messungen in der Nähe des Äquators unternommen werden würden.

Dorpat, den 17. August 1925.

— 10

Est
A-13883
26116