Ueber die

Bestimmung der Schwerkraft.

Von

PROF. DR. THEODOR RITTER v. OPPOLZER,

k. k. Hofrath und wirkl. Mitglied der k. Akademie der Wissenschaften.

Vortrag, gehalten den 16. December 1885.

(Mit Experimenten.)

Alle Körper fallen, wenn sie nicht unterstützt sind, im luftleeren Raume für einen gegebenen Ort der Erdoberfläche mit gleicher Geschwindigkeit zu Boden; dies ist aber nicht mehr der Fall im lufterfüllten Raume; je dichter ein Körper ist und je geringer sein horizontaler Querschnitt ist, den er im Fallen der Luft darbietet, um so weniger wird sich der störende Einfluss der Luft geltend machen; je weniger dicht er dagegen und je grösser sein horizontaler Querschnitt ist, um so mehr wird diese störende Wirkung bemerkbar werden. Lässt man daher eine Bleikugel oder eine Platinkugel fallen, so werden beide nahezu mit derselben Geschwindigkeit im lufterfüllten und luftleeren Raume zu Boden fallen; hätte man aber Leuchtgas, welches etwa zweimal leichter ist als die atmosphärische Luft, in einen grossen, aber sehr zarten luftdichten Stoffballon gefüllt, so wird, wie Sie es wohl Alle schon gesehen haben, diese Kugel aus Leuchtgas gar nicht dem Gesetze der Schwere zu folgen scheinen und statt zu fallen sogar rasch emporsteigen. Wie schon früher bemerkt, hat auch die Form des fallenden Körpers auf die Geschwindigkeit seines Fallens im lufterfüllten Raume einen wesentlichen Einfluss; denn nehmen Sie etwas Platin und hämmern Sie dasselbe zu einem zarten Blättchen aus, so wird dasselbe, fallen gelassen, bald in eine Art wirbelnde Bewegung gerathen und verhältnissmässig langsam zu Boden sinken; eine Flaumfeder, die sich aus specifisch gar nicht sehr leichten Materialien zusammensetzt, wird vermöge des grossen Querschnittes, auf welchen sich die Materie vertheilt, fast in der Luft zu schweben scheinen, ein ganz schwach aufsteigender Luftzug wird genügen, um dieselbe in aufsteigender Richtung zu bewegen.

Diese scheinbaren Unterschiede in der Wirkung der Schwerkraft, bewirkt durch die Anwesenheit der Luft, erklären sich aus wesentlich verschiedenen Ursachen, auf welche alle einzugehen hier zu weit führen würde; doch die vier hauptsächlichsten sollen hier kurz erwähnt werden.

Nach dem hydrostatischen Principe verliert jeder Körper, der in eine Flüssigkeit, gleichgiltig ob dieselbe tropfbar oder gasförmig ist, eingetaucht wird, so viel an Gewicht, als er vermöge seines Volumens an umgebender Flüssigkeit verdrängt. Ist der Körper sehr dicht, etwa 20.000mal schwerer als die Luft, wie dies z. B. für gehämmertes Platin nahezu der Fall ist, so verliert er durch das Eintauchen in die Luft, wie man zu sagen pflegt, durch den Auftrieb nur den zwanzigtausendsten Theil seines Gewichtes; der verhältnissmässige Gewichtsverlust ist daher, so lange man nicht Präcisionsmessungen vornimmt, völlig unmerklich. Wasserstoffgas ist beiläufig fünfzehnmal leichter als atmosphärische Luft, es wird, durch eine Hülle zusammengehalten in die Luft eingetaucht, bis auf einen nicht sehr merklichen Bruchtheil fast mit dem vollständigen Gewichte der verdrängten Luft nach aufwärts getrieben; der Auftrieb wird daher je nach dem specifischen Gewichte des Körpers die Gesetze der Schwere, wenn man im lufterfüllten Raume experimentirt, besonders wenn das specifische Gewicht ein sehr geringes ist, in sehr beträchtlicher Weise modificiren.

Jeder Körper muss, indem er in der Luft sich bewegt, also bei unseren Betrachtungen während des Fallens, Lufttheile verdrängen, die sich seiner Fortbewegung entgegenstellen, also dieser einen Widerstand entgegensetzen; dieser Luftwiderstand aber wird, auch bei gleichen Geschwindigkeiten des fallenden Körpers, ganz wesentlich von demjenigen Querschnitte, mit welchem der Körper die Luft durchsetzt, abhängig sein. Denkt man sich eine Platte aus irgend einem festen Materiale kantig aufgestellt und in dieser Lage fallen gelassen, so wird in dieser Stellung der Platte im Fallen verhältnissmässig wenig Luft aus dem Wege zu schaffen sein, weil der horizontale Querschnitt des fallenden Körpers verhältnissmässig klein ist; bringt man aber dieselbe Platte in eine horizontale Lage und lässt sie in dieser Stellung zu Boden fallen, dann wird der Widerstand der Luft ein beträchtlicher sein, denn entsprechend dem jetzt grossen horizontalen Querschnitte wird im Fallen eine grosse Menge von Luft verdrängt werden müssen; die Platte wird also in dieser Lage wesentlich langsamer fallen als in der ersteren. Das Experiment mit der Platte wird sich in seiner hier supponirten einfachen Weise in Wirklichkeit noch viel verwickelter gestalten, denn wenn die Platte nicht durchaus gleichmässig der Gestalt nach in Bezug auf den Schwerpunkt ist, wird der Widerstand der Luft für einzelne Theile des Querschnittes relativ grösser als für andere sein, die Platte wird daher bald ihre ursprüngliche horizontale Lage verlassen, und ist dieselbe nicht sehr dicht und schwer, so dass der Luftwiderstand einen merklichen Bruchtheil der Schwere der Platte darstellt, so wird dieselbe in eine Art von wirbelnder Bewegung gelangen, wie Sie dies zum Beispiel an frei herabfallenden Papierschnitzeln beobachten können. Der Widerstand der Luft ist also eine zweite Quelle der Störung.

Doch noch eine weitere störende Ursache bewirkt das Vorhandensein der Luft, nämlich dass der fallende Körper an den seitlich befindlichen Lufttheilchen vorbeistreift und im Vorbeistreifen einen Verlust an seiner Bewegung durch die Reibung erleidet; die Reibung an der Luft befolgt aber etwas andere Gesetze als die Reibung zweier fester Körper aneinander, diese Reibung an der Luft wird nämlich um so grösser, je grösser die sich reibende Oberfläche des Körpers ist. Denken wir uns einen Würfel, aus einem bestimmten Materiale gefertigt, etwa in der Luft derartig fallend, dass zwei seiner Flächen horizontal zu liegen kommen, so werden die vier verticalen Flächen im Fallen sich an der Luft reiben; der so entstehende Reibungswiderstand wird dem Gesagten zufolge um so bedeutender sein, je grösser der Würfel sein wird; man könnte daher glauben, dass je grösser ein solcher Würfel ist, um so merklicher würde die durch die Reibung verursachte Störung des Fallgesetzes sein; aber gerade das Gegentheil findet statt. Die Erklärung dieses scheinbaren Widerspruches wird sich aber sehr einfach gestalten, wenn wir bedenken, dass, so lange dasselbe Material in Betracht kommt, mit der Vergrösserung des Würfels zwar die Begrenzungsflächen desselben im quadratischen Verhältnisse zunehmen, dass aber das Gewicht in beträchtlich stärkerem Masse, nämlich im kubischen Verhältnisse, zugenommen hat; das Gewicht nimmt daher rascher zu als die durch die Reibung bewirkte Störung, je grösser daher der Würfel ist, um so weniger macht sich der störende Einfluss der Reibung bemerklich. Man kann aber auch den Satz umkehren und sagen: je kleiner der Würfel ist, um so mehr wird ceteris paribus der Reibungswiderstand störend hervortreten; wird der Würfel daher ausserordentlich klein, so wird die störende Wirkung der Reibung verhältnissmässig zu seiner Schwere sich sehr beträchtlich erweisen und kann das Fallgesetz wesentlich modificiren; in der That bewähren sich diese theoretischen Voraussetzungen in der Praxis auf das Beste, denn sehr fein pulverisirte Körper, selbst aus specifisch recht schwerem Materiale, sinken bei ruhiger Luft ausgestreut sehr langsam zu Boden und ein schwacher Luftzug genügt, um dieselben aufzuwirbeln, wie man dies an jeder Staubwolke wahrnehmen kann; auch das Schweben der allbekannten Sonnenstäubchen erklärt sich aus dieser Ursache.

Schliesslich hätte man noch eine der Hauptstörungen der Luft auf die Erscheinungen des freien Falles in ihrer Adhäsion an den fallenden Körper zu suchen. Es ist Ihnen bekannt, dass zum Beispiel Wasser, auf eine Holzplatte geschüttet, theilweise an derselben haften bleibt, mögen wir die Platte wie immer wenden; man nennt diese Erscheinung Adhäsion. Gerade so wie das Wasser klebt sich die Luft an die Oberflächen der meisten Körper an; die Erscheinung wird aber, weil unseren Sinnen nicht unmittelbar wahrnehmbar, meist ganz übersehen, obwohl sie thatsächlich besteht; der fallende Körper hat daher, ausser dass er seinen Querschnitt durch die entgegenstehende Luft hindurchzudrängen hat, noch ein mehr minder erhebliches Quantum von Luft mit sich zu führen, welcher Umstand zwar sein Trägheitsmoment erhöht, aber die Reibungswiderstände in stärkerem Masse steigert. Ohne uns in diesen Betrachtungen in weitere Einzelnheiten einzulassen, will ich Ihnen an der vorliegenden Fallröhre die störende Wirkung der Luft demonstriren. (Es werden nun bei dem Vortrage die diesbezüglichen Experimente vorgeführt; zur Erläuterung für den Leser dieses Vortrages möge erwähnt werden, dass eine Fallröhre durch eine hermetisch geschlossene Glasröhre dargestellt wird, in welcher einige leichte Körper eingeschlossen sind; dieselben fallen in der Fallröhre, wenn man dieselbe rasch kippt, in wirbelnder Bewegung verhältnissmässig langsam herab; pumpt man nun mit Hilfe einer Luftpumpe die in der Röhre enthaltene Luft aus und kippt nun dieselbe rasch um, so fallen die in derselben enthaltenen leichten Körper wie schwere Kugeln mit ausserordentlicher Geschwindigkeit zu Boden.)

Sie sehen also, wie störend das Vorhandensein der Luft für das Studium der Fallgesetze ist, und dass es sich im Allgemeinen empfehlen dürfte, entweder die Experimente im luftleeren Raume zu machen, ein Erforderniss, welches aber immer mit Schwierigkeiten verbunden ist, oder an Methoden zu denken, bei welchen der störende Einfluss der Luft minder nachtheilig hervortritt.

Indem ich Sie so über die Schwierigkeiten im Allgemeinen, welche das Vorhandensein der Luft dem Studium der Fallgesetze bereitet, orientirt habe, wollen wir uns nun darüber verständigen, was man unter dem Begriff „Schwerkraft" versteht. Eliminirt man die erwähnte störende Wirkung der Luft, so fallen alle Körper, mögen sie aus was immer für Materie bestehen, mit gleicher Geschwindigkeit zu Boden; der Fallraum beträgt in der ersten Secunde etwa 4·9 Meter, und die Geschwindigkeit, welche der fallende Körper am Schlusse der ersten Secunde erreicht, ist genau das Doppelte dieses Betrages, nämlich 9·8 Meter; man nennt diese Beschleunigung von 9·8 Meter, welche der Körper in einer Zeitsecunde erfährt, die Schwerkraft. Wirkt diese Schwerkraft im Verlauf der zweiten Secunde weiter fort, so beschleunigt sie die Geschwindigkeit um denselben Betrag und wird am Schlusse der zweiten Secunde dem Körper eine Geschwindigkeit von $9{\cdot}8 + 9{\cdot}8 = 19{\cdot}6$ Metern ertheilen, am Schlusse der dritten Secunde aber 29·4 Meter u. s. f. oder allgemein, wenn unter t die Zeit in Zeitsecunden verstanden wird, die seit dem Beginn des Fallens verflossen ist, so wird die durch die Schwerkraft bewirkte Geschwindigkeit $9{\cdot}8 \times t$ Meter betragen. Das Gesetz, nach dem die Fallräume zunehmen, wird sich auch leicht ergeben, denn die Schwerkraft vergrössert den Fallraum in jeder Secunde um die halbe Beschleunigung, d. i. um 4·9 Meter. Nun ist die Geschwindigkeit am Schlusse der ersten Secunde, wie man früher gesehen hat, 9·8 Meter; wäre die Schwerkraft nun in der zweiten Secunde nicht wirksam, so würde der Körper vermöge seines Beharrungsvermögens, welches man wohl auch die Trägheit nennt, allein einen Weg von 9·8 Metern zurücklegen; da aber die Schwerkraft vermöge ihrer Wirkung den Fallraum um 4·9 Meter vergrössert, so wird der Fallraum in der zweiten Secunde $9{\cdot}8 + 4{\cdot}9 = 14{\cdot}7$ Meter betragen. Addirt man hinzu den in der ersten Secunde zurückgelegten Weg von 4·9 Metern, so erhält man als Fallraum in den zwei ersten Secunden zusammen 19·6 Meter. Die am Schlusse der zweiten Secunde erlangte Geschwindigkeit würde allein den Körper in der dritten Secunde um 19·6 Meter fortführen, hiezu kommen wieder die durch die Beschleunigung bewirkten 4·9 Meter, so dass der Körper in der dritten Secunde einen Weg von 24·5 Metern zurücklegt, dazu der Fallraum in den ersten zwei Secunden, der früher mit 19·6 Metern ermittelt wurde, macht den Gesammtweg in drei Secunden 44·1 Meter. Setzt man diese Betrachtungen fort, so findet man den Fallraum in vier Secunden 78·4 Meter u. s. f. Trägt man diese Resultate übersichtlich zusammen, so findet sich der Fallraum in:

einer	Secunde	gleich	4·9	Meter	oder	4·9	Meter mal	1^2
zwei	Secunden	„	19·6	„	„	4·9	„ „	2^2
drei	„	„	44·1	„	„	4·9	„ „	3^2
vier	„	„	78·4	„	„	4·9	„ „	4^2

u. s. f.,

die Fallräume wachsen also mit dem Quadrate der Zeit und können allgemein nach der Formel $4{\cdot}9\ t^2$ berechnet werden; t ist in Zeitsecunden anzusetzen, das Resultat wird in Metern als Einheit erhalten. Die Schwerkraft ist also durch die Beschleunigung der Fallgeschwindigkeit in einer Secunde charakterisirt und beträgt etwa 9·8 Meter. Da aber die Schwerkraft nicht für alle Orte der Erdoberfläche gleich ist, wenn auch diese Variationen innerhalb mässiger Grenzen sich bewegen, so wollen wir in der Folge die Schwerkraft durch den Buchstaben g bezeichnen und zeigen, wie man diese Grösse durch die Beobachtung bestimmen kann, ohne genöthigt zu sein, da wir uns mit einem mässigen Grade der Annäherung bei den heutigen Bestimmungen zufrieden geben wollen, auf die störenden Einflüsse der Luft Rücksicht nehmen zu müssen; auch will ich mich nur auf die Auseinandersetzung einer der mehrfachen Bestimmungsmethoden bei der uns nur knapp zugemessenen Zeit für heute beschränken, nämlich auf die Bestimmung der Schwerkraft g durch Pendelbeobachtungen, bei welcher Methode die durch den Luftwiderstand entstehenden Störungen nicht allzu beträchtlich sind.

Man unterscheidet zweierlei Arten von Pendeln, nämlich mathematische und physische; die ersteren sind eine reine mathematische Fiction, begründet, um gewisse theoretische Betrachtungen über das Pendelproblem leicht durchführen zu können, dem Experimente ist nur das physische Pendel zugänglich. Es sollen beide näher betrachtet werden. Denken wir uns einen ausserordentlich dünnen Faden an einem Häkchen befestigt, so dünn, dass demselben keine Schwere zukommt, an diesem Faden sei unten eine ausserordentlich kleine, aber sehr schwere Kugel aufgehängt, so haben Sie ein Bild eines mathematischen Pendels. Sie sehen, dass man sich bei der thatsächlichen Ausführung dieser theoretischen Forderung nur nähern, dieselbe aber niemals erreichen kann. Ein solches mathematisches Pendel wird, wenn ich den materiellen Punkt seitlich leicht anstosse, in Schwingungen gerathen; diese Schwingungen werden aber, wenn wir dieselben nicht allzu gross gemacht haben, wie dies schon Galilei bemerkt hat, nahezu gleich in Bezug auf Zeitdauer sein, gleichgiltig ob sich der materielle Punkt weiter oder weniger weit bei seinem Ausschwunge von seiner Ruhelage entfernt; der materielle Punkt wird offenbar bei seiner Schwingung ein Stück eines Kreisbogens beschreiben. Man nennt den Abstand des materiellen Punktes von seinem Aufhängepunkt seine Länge, und es soll dieselbe durch den Buchstaben l bezeichnet sein. Bei dem Hin- und Herschwingen des Pendels erreicht er symmetrisch gegen seine Ruhelage nach jeder Schwingung seinen grössten Abstand von derselben; den Winkel, den der Faden an diesen Stellen mit jener Richtung einschliesst, die er in der Ruhelage einnimmt, nennt man die Schwingungsweite oder Amplitude; die Zeit, welche das Pendel braucht, um von der grössten Ausweichung einerseits bis zur grössten Ausweichung andererseits zu gelangen, nennt man die Schwingungszeit; dieselbe kann aber auch so definirt werden, dass es die Zeit sei zwischen zwei aufeinanderfolgenden Passagen des materiellen Punktes durch seine Ruhelage. Die Mechanik lehrt, dass die Schwingungszeit, die Pendellänge und die Schwerkraft in einem bestimmten Verhältnisse zu einander stehen; bezeichnet man die Schwingungszeit mit t, die Schwerkraft und Pendellänge, wie dies oben schon geschehen ist, beziehungsweise mit g und l, so lautet diese Formel:

$$g = \frac{\pi^2 l}{t^2};$$

d. h. die Schwerkraft ist gleich einem Ausdrucke, der sich in Bruchform darstellt; der Zähler enthält zwei Factoren, der eine stellt das Quadrat des bekannten Verhältnisses der Peripherie eines Kreises zu seinem Durchmesser dar, ist also die bekannte Ludolphische [1]) Zahl und ist, wie allgemein üblich, durch π bezeichnet; der andere Factor ist die Pendellänge l; drücke ich dieselbe in Metern aus, so wird auch die Schwerkraft in dieser Einheit ausgedrückt erscheinen. Der Nenner enthält das Quadrat der Schwingungszeit t; setze ich dieselbe in Einheiten der Zeitsecunde an, so wird die Schwerkraft für diese Zeiteinheit, also die Acceleration, in einer Zeitsecunde erhalten. Kenne ich also die Länge eines mathematischen Pendels und bestimme ich durch directe Beobachtung seine Schwingungszeit, so hat die Berechnung der Schwerkraft mit Hilfe dieses Ausdruckes keine Schwierigkeit. Der Bestimmung der Schwerkraft nach dieser Methode stellt sich aber ein sehr wesentliches Hinderniss entgegen, nämlich dass es thatsächlich unmöglich ist, ein mathematisches Pendel zu construiren, da man gezwungen ist, sowohl dem Faden bei der Construction, als auch dem schwingenden Punkt eine materielle und räumliche Ausdehnung zu ertheilen, also ein physisches Pendel anzuwenden. Man kann aber diese Schwierigkeit wieder mit Hilfe

---

[1]) Ludolph van Ceulen, geb. 1539 zu Hildesheim, gest. 1610 zu Leyden, berechnete zuerst den Werth von π auf 32 Decimalstellen.

der Mechanik umgehen, indem uns dieselbe lehrt ein Pendel zu construiren, welches, obwohl es ein physisches ist, fast die Eigenschaften eines mathematischen Pendels besitzt. Die Erfindung dieses ingeniösen Apparates gebührt Bohnenberger, der als Professor der Mathematik und Astronomie an der Universität Tübingen wirkte (geb. 5. Juni 1765 zu Simmozheim im Schwarzwald, gest. 19. April 1831 zu Tübingen). Sie sehen ein solches Pendel vor sich;[1]) an seiner Pendelstange finden sich zwei Gewichte von gleichen Dimensionen angebracht und ausserdem sind an derselben zwei Schneiden befestigt, welche zur Aufhängung des Pendels auf eine passende Lagerfläche dienen; die eine Schneide hat ihre Kante nach abwärts gerichtet und ist in dieser Lage des Pendels die obere, ich kann also, ohne das Pendel umzukehren, dasselbe auf diese Schneide aufhängen. Die untere Schneide richtet ihre Kante nach oben; soll das Pendel auf diese Schneide aufgehängt werden, so muss dasselbe gestürzt werden; revertere heisst auf Lateinisch umkehren oder umstürzen, man nennt daher ein so eingerichtetes Pendel ein Reversionspendel. Sie werden bemerken, dass die Schneiden durchaus keine symmetrische Lage gegen

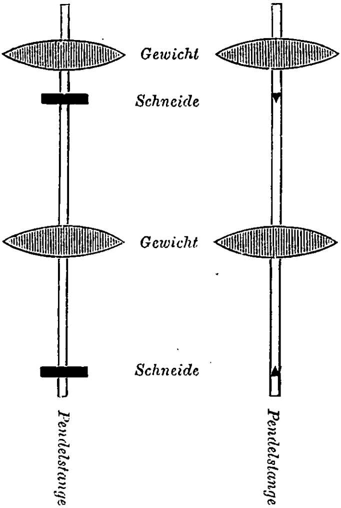
---

[1]) Um die den Vortrag begleitende Demonstration des Apparates hier theilweise zu ersetzen, füge ich auf nachstehender Seite eine schematische Zeichnung eines solchen Apparates bei, welche mit Hilfe der beigesetzten Noten, in Verbindung mit dem obigen Texte, wohl leicht verständlich sein wird.

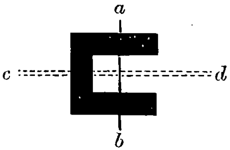
Schematische

Seitenansicht Vorderansicht

eines Reversionspendels.



Grundriss des Lagers, auf welches die Schneiden gesetzt werden.



a b Richtung der Schneidenkanten.

c d Schwingungsebene des Pendels.

die Gewichte haben; hätten sie eine solche vollkommen symmetrische Lage, so würde natürlich, da durch die Umkehrung des Pendels und Aufhängung auf die andere Schneide keine andere Massenvertheilung in Bezug auf die Verticale eintritt, die Schwingungszeit in beiden Lagen dieselbe sein; bei der assymmetrischen Lage der Schneiden sollte man daher erwarten, dass die Schwingungszeit in den beiden Lagen ganz verschieden ausfällt. Lassen wir das Experiment sprechen; dasselbe ergibt die überraschende Thatsache, dass trotz der Assymmetrie die Schwingungszeit in beiden Lagen nahe die gleiche ist; in der That habe ich den vorliegenden Apparat so genau adjustirt, dass der Unterschied in der Schwingungszeit nicht den tausendsten Theil einer Secunde beträgt. Trotz der ganz assymmetrischen Lage der Schneiden ist also die Gleichheit der Schwingungszeiten erreicht; nun lehrt die Mechanik, dass ein so construirtes Pendel die Eigenschaften eines mathematischen Pendels insofern hat, als dasselbe genau die gleiche Schwingungszeit eines mathematischen Pendels aufweist, welches so lang ist, als die beiden Schneiden von einander abstehen. Hat man sich daher ein völlig assymmetrisches Pendel, wie das vor Ihnen befindliche, so berichtigt, dass es in beiden Lagen die gleichen Schwingungszeiten aufweist, so hat man einerseits durch die Beobachtung seine Schwingungszeit t zu bestimmen und andererseits den Abstand der beiden Schneiden l zu messen, und hat so alle nöthigen Daten, um nach der obigen Formel:

$$g = \frac{\pi^2 \, l}{t^2}$$

die Schwerkraft g zu berechnen, wobei der allerdings nicht sehr beträchtliche Einfluss der Luft unberücksichtigt bleibt. Das Quadrat von π in die Länge oder den Schneidenabstand l, welches Product den Zähler des obigen Ausdruckes darstellt, ist für einen gegebenen Apparat, so lange man auf die kleinen Deformationen, welche hauptsächlich in der Temperaturenwirkung ihren Ursprung haben, nicht Rücksicht nimmt, eine Constante; für den vorliegenden Apparat beträgt dieses Product, wenn man den Schneidenabstand in Metern ansetzt, wodurch das Resultat für die Schwerkraft in derselben Einheit erhalten wird: 10·56. Wir wollen nun durch die directe Beobachtung die Schwingungszeit t ermitteln.[1]) Indem die Dauer von 60 Schwingungen in der einen Lage und 60 Schwingungen in der anderen Lage sich im Mittel 62·3 Secunden fand, resultirt hieraus für die Dauer einer Schwingung (t) der Werth 1·038; das Quadrat hievon (t^2) ist 1·077, also findet sich g zufolge der obigen Formel: $\frac{10 \cdot 56}{1 \cdot 077} = 9 \cdot 81$ M.

Die massgebende Zeiteinheit ist die Secunde, weil in dieser Einheit die Schwingungszeit angesetzt wurde. Vergleichen wir dies in wenig Minuten erhaltene Resultat mit dem bekannten Werth der Schwerkraft in Wien, welche zufolge genauer Experimente 9·809 Meter beträgt, so finden wir eine wider Erwarten gute Uebereinstimmung.

---

[1]) Die folgenden Zahlen wurden während des Vortrages durch die directe Beobachtung bestimmt.

Indem ich Ihnen nun gezeigt habe, wie man die Schwerkraft zu bestimmen in die Lage kommt, will ich Ihnen kurz die Resultate mittheilen, welche man für dieses Element an verschiedenen Orten der Erde erlangt hat. Es zeigt sich nämlich, dass die Schwerkraft von der geographischen Breite, wenn auch nur innerhalb enger Grenzen, abhängig und im Allgemeinen am Aequator am kleinsten ist und daselbst etwa 9·781 Meter beträgt; die Schwerkraft nimmt gegen die Pole hin zu und würde für den Pol bis auf 9·831 Meter anwachsen. Man hatte in früherer Zeit sich die Schwerkraft für alle Theile der Erde gleich gedacht und ist, ich möchte sagen ganz zufällig, ohne darnach zu suchen, in der folgenden Weise darauf aufmerksam geworden, dass Unterschiede in dieser Beziehung bestehen. Jean Richer (Geburtsjahr unbekannt, gest. 1696 zu Paris) wurde im Auftrage der französischen Akademie im Jahre 1672 nach Cayenne gesandt, um daselbst astronomische und magnetische Beobachtungen anzustellen; er rüstete sich zu dieser Reise auch mit einer Pendeluhr aus, die er sich, um an Ort und Stelle keine Zeit mit deren Berichtigung zu verlieren, in Paris sehr genau regulirte und das so richtig adjustirte Pendel, fest geschraubt, auf die Reise mitnahm. Als er in Cayenne, welches nicht ganz fünf Grad vom Aequator entfernt ist, seine Uhr in Gang setzte, ohne am Pendel etwas verändert zu haben, und deren Gang mit dem Himmel verglich, hatte er die Enttäuschung, dass seine in Paris so gut regulirte Uhr um mehr als zwei Minuten täglich zurückblieb und das Pendel wesentlich (etwa um 2 Millimeter) verkürzt werden musste, um den richtigen Uhrgang zu erzielen. Das so neuerlich regulirte Pendel zeigte aber bei seiner Rückkehr nach Paris einen ähnlichen Unterschied, aber in umgekehrtem Sinne. Newton (Isaak Newton, geb. 25. December 1642, julianisch, zu Whoolsthorpe, gest. 20. März 1726, julianisch, zu London), dem wir so Vieles verdanken, hat sofort für diese auffällige Thatsache die richtige Erklärung gegeben; die Ursache, warum die Schwerkraft mit der Annäherung an die Pole zunimmt, ist eine doppelte, lässt sich aber in letzter Linie auf eine Wirkung, nämlich auf jene der Fliehkraft, zurückführen, da ja in Folge dieser Kraft sich der Erdkörper zu einem Ellipsoid abplattet.

Denken Sie an das bekannte Experiment, bei dem man einen an einem Faden befestigten Stein in raschen Umschwung versetzt; der Stein scheint an dem Faden einen Zug auszuüben, der um so kräftiger wird, je rascher man den Stein in Umschwung setzt; diese so entstehende Kraftwirkung, welche den Stein vom Centrum der Bewegung zu entfernen scheint, nennt man die Fliehkraft oder Centrifugalkraft. Am Aequator muss ein Körper im Verlauf von vierundzwanzig Stunden einen solchen Umschwung vollenden, die Fliehkraft sucht ihn also vom Centrum der Erde zu entfernen, wirkt also der Schwerkraft entgegen und scheint sie daher zu vermindern; mit der Annäherung an den Pol wird aber diese Wirkung der Fliehkraft immer geringer und sinkt am „ewig ruhenden Pol“ (Schiller, Spaziergang) zu Null herab, lässt daher die Schwerkraft in ihrem vollen Betrage zur Wirkung gelangen. Eine zweite Ursache für die Abhängigkeit der Schwere von der geographischen Breite ist darin zu suchen, dass ein abgeplattetes Ellipsoid, wie es ja bekanntlich die Erde ist, Punkte an seiner Oberfläche um so stärker anzieht, je näher diese Punkte seinem Mittelpunkte liegen; in der That befinden wir uns an den Polen näher an dem Mittelpunkte als am Aequator, daher wird auch aus dieser Ursache die Schwerkraft an den Polen stärker. Da wir also die Ursachen kennen, welche die Schwerkraft modificiren, nämlich die Fliehkraft und die Abplattung der Erde, so können wir auch ihren Einfluss berechnen, daher für jeden Erdort, somit auch für den Pol, den man bislang nicht zu erreichen vermochte, die Schwerkraft angeben, sobald nur eine Bestimmung an einem Orte, dessen Polhöhe bekannt ist, vorliegt. Umgekehrt kann man aber auch aus unter verschiedenen geographischen Breiten erhaltenen Bestimmungen der Schwerkraft offenbar einen Schluss auf die Abplattung der Erde ziehen. Der Zweck der grossen geodätischen Operationen, welche man unter dem Namen der Gradmessung zusammenfasst, ist wesentlich der Bestimmung der Gestalt der Erde gewidmet. Sie sehen, dass wir in unserem Pendel daher auch ein geodätisches Instrument besitzen, welches in keiner Weise in Bezug auf die zu erreichende Genauigkeit anderen Präcisions-Instrumenten nachsteht, ja gerade die aus den Pendelbeobachtungen zu folgernden Werthe für die Abplattung der Erde verdienen sogar den Vorzug vor jenen, welche die anderen geodätischen Operationen ergeben. Will man aber in dieser Richtung Pendelbeobachtungen verwerthen, so wird man die Beobachtung unter Berücksichtigung aller störenden Umstände auf das Genaueste anstellen müssen und die gewonnenen Resultate wegen dieser Störungen berichtigen. Die scheinbar so leichte Operation, die ich mir Ihnen vorzuführen erlaubte, gestaltet sich dann ausserordentlich complicirt und verwickelt. Es kann nicht Gegenstand der heutigen Vorlesung sein, Sie mit allen diesen Vorsichten, die man bei einer Präcisionsarbeit zu beachten hat, bekannt zu machen, und Sie mit jenen Zweifeln zu behelligen, die ein gewissenhafter Beobachter den letzten Decimalstellen seines Resultates entgegenbringt; lassen Sie es sich genügen, dass Sie das Bestimmungsverfahren in seinen allgemeinen Umrissen erkannt haben, und erinnern Sie sich der Worte unsers grossen Dichters, mit dem ich den heutigen Vortrag schliessen will: „Eigentlich weiss man nur, wenn man wenig weiss, denn mit dem Wissen wächst der Zweifel.“ (Goethe, Sprüche in Prosa, Maximen und Reflexionen, III. Abtheilung.)