

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 39 (1854)

Artikel: Der Foucault'sche Pendelversuch, als direkter Beweis von der Achsendrehung der Erde

Autor: Delabar, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-89868>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

IX. BEILAGE.

**ABHANDLUNGEN UND WISSENSCHAFT-
LICHE NOTIZEN.**

Der Foucault'sche Pendelversuch

als

direkter Beweis von der Achsendrehung der Erde.)*

Frei vorgetragen in der allgemeinen Versammlung der
schweizerischen naturforschenden Gesellschaft zu
St. Gallen, den 24. Juli 1854,

von

G. Delabar, Professor.

Hochgeachteter Herr Präsident!

Hochverehrte Herren!

Wenn ich mir erlaube, Sie, Tit. I auf kurze Zeit in
Anspruch zu nehmen, so geschieht es in der Voraus-
setzung, dass Sie einem in Ihre Gesellschaft neu Eingetre-
tenen alle Nachsicht werden angedeihen lassen.

*) Diese Abhandlung ist im Wesentlichen der Inhalt des Vortra-
ges, welchen der Verfasser über diesen Gegenstand in der all-
gemeinen Versammlung der schweizerischen naturforschenden
Gesellschaft gehalten hat. Diejenigen Partien derselben, welche,

Wie Ihnen bereits vom Präsidium angezeigt worden ist, so handelt der Gegenstand meines Vortrags von dem so berühmt gewordenen Foucault'schen Pendelversuch über die Achsendrehung der Erde. Ist derselbe für die Meisten der Anwesenden wahrscheinlich auch nicht mehr ganz neu, so bietet er doch so allgemeines Interesse dar und wurde er allenthalben, wo er seit seiner ersten Ausführung durch Hrn. L. Foucault in Paris *) angestellt worden ist, mit so viel Beifall aufgenommen, dass ich wohl annehmen darf, derselbe werde auch für Sie, Tit.! nicht ohne Interesse sein.

Indem ich mich daher meiner Aufgabe zuwende, werde ich es zunächst versuchen, Ihnen von dem allerdings nicht leichten Gegenstande eine gemeinfassliche und möglichst deutliche Darstellung zu entwerfen, und darauf folgend werde ich dann die Ehre haben, den Versuch selbst in der hiesigen Domkirche, die zu diesem Behufe von der hohen Geistlichkeit mit sehr verdankenswerther Bereitwilligkeit überlassen worden ist, vor Ihren Augen vorzunehmen.

wie namentlich der Beweis des Gesetzes, nach welchem sich die Winkelbewegung der Schwingungsebene des Pendels mit der geographischen Breite des Beobachtungsortes ändert, sowie die Rechnungsergebnisse im zweiten Abschnitt, beim freien Vortrag wegen der beschränkten Zeit abgekürzt oder ganz weggelassen werden mussten, sind hier vervollständigt mit aufgenommen.

*) Der erste Bericht darüber an die französische Akademie datirt vom 3. Febr. 1851. Siehe Compt. rend. Tome XXII, pag. 135 u. Pogg. Ann. Bd. 82, S. 458.

I.

Vom Prinzip und Beweis des Foucault'schen Pendelversuchs.

Wo du auch wandelst im Raum, es knüpft dein
Zenith und Nadir
An den Himmel dich an, dich an die Achse der
Welt.

Wie du auch handelst in ihr, es berühre den Himmel
der Wille,
Durch die Achse der Welt gehe die Richtung der
That!

Schiller.

Es ist Ihnen, Tit.! bekannt, dass die Thatsache, welche durch den Foucault'schen Pendelversuch dargethan wird, erst seit etwa 350 Jahren als solche erkannt worden ist. Zwar haben auch schon die alten *Griechen* (wie z. B. die Pythagoräer: Heraklides von Pontus, Ecpantus und Seleucus von Erithraea und Nycetas von Syracus) die Achsendrehung der Erde vorübergehend angenommen. Allein die bleibende Annahme datirt eben doch erst seit 1507 n. Chr., in welchem Jahre dem tiefdenkenden *Copernicus* (geb. 1472, gest. 1543) die Erfindung unsers jetzigen Planetensystems gelang, womit das frühere ptolemäische System von der Himmelsbewegung nach und nach, besonders bei der kräftigen Unterstützung, welche ersteres an *Galilei* (geb. 1564, gest. 1642), *Keppler*, (geb. 1571, gest. 1630) und *Newton* (geb. 1642, gest. 1727), diesen unsterblichen Männern der Wissenschaft, gefunden, fallen musste.

Ebenso sind Ihnen wohl auch die verschiedenen Beweise*) bekannt, welche man vor Foucault für die Achsen-

*) Als solche können nämlich, ausser den *innern Gründen*, wie sich uns dieselben bei einigem Nachdenken schon aus den

drehung der Erde geltend machte. Ohne mich deshalb in eine weitere Auseinandersetzung derselben einzulassen, will ich wenigstens darauf hinweisen, dass keiner derselben die Anschaulichkeit und überzeugende Gewissheit in einem so hohen Grade für sich hat, wie diess beim neuen Foucault'schen Beweise der Fall ist, den ich Ihnen nun sofort des Nähern auseinandersetzen werde.

Zum bessern Verständniss wird es jedoch gut sein, demselben eine kurze Erläuterung der dabei in Verbindung stehenden physikalischen Gesetze, die Trägheit der Materie und die Wirkung der Schwere betreffend, vorzuschicken.

Was die letztere anbetrifft, so mag hier einzig bemerkt werden, dass in Folge derselben alle Körper auf der Erdoberfläche das Bestreben haben, nach dem Mittelpunkte der Erde zu fallen, und dass demnach auch die Schwingungsebene eines Pendels, verlängert gedacht, stets durch denselben Punkt gehen muss. Was dagegen das erstere Grundprinzip, die Trägheit der Materie oder das Beharrungsvermögen, anbelangt, so sei mir gestattet, daran zu erinnern, dass es nichts Anderes sagen will, als dass kein materieller Körper den Ruhe- oder Bewegungszustand, in dem er sich gerade befindet, von sich aus ver-

Grössen- und Geschwindigkeitsverhältnissen der Erde im Vergleich mit jenen der übrigen Himmelskörper — je nachdem wir diese oder jene in Bewegung denken — aufdrängen, angesehen werden: die zuerst von Hadley erklärten *Passatströmungen* und das Dove'sche *Winddrehungsgesetz*, dann die von Benzenberg, Reich u. A. angestellten *Fallversuche* mit schweren Körpern aus grossen Höhen und die zahlreichen *Abweichungsbeobachtungen* an Geschützkugeln und endlich die in Folge der Centrifugalkraft entstandene und durch Pendelversuche zuerst constatirte *Abplattung der Erde* selbst.

ändern kann, sondern darin so lange verbleiben muss, bis er durch eine äussere Ursache in einen andern übergeführt wird; und dass, wenn bezüglich des Bewegungszustandes die Erfahrung damit nicht im Einklange zu sein scheint, der Grund davon einzig in den dabei vorkommenden Hindernissen, wie im Reibungs- und Luftwiderstand etc. etc., zu suchen ist. Denn soll z. B. ein Körper auf horizontalem Boden fortgezogen, die Masse desselben also beschleunigt werden, so muss zur Erzeugung dieser Beschleunigung auf derselben mit einer gewissen äussern Kraft eingewirkt werden, die jedoch, wenn die Bewegung einmal eingeleitet und die verlangte Geschwindigkeit erreicht ist, zur Fortpflanzung dieser Geschwindigkeit entsprechend kleiner sein kann und nur so gross zu sein braucht, als der Reibungswiderstand am Boden und der Widerstand der Luft nöthig macht. Könnten daher diese Bewegungshindernisse ganz beseitigt werden, so würde der Körper die einmal erlangte Bewegung in Folge des Trägheitsprinzips oder des Beharrungsvermögens mit derselben Geschwindigkeit und nach derselben Richtung, ohne weitere Einwirkung der Kraft von selbst fortsetzen. Da nun diess in der Praxis nie ganz möglich ist, so findet bei jeder Bewegung ein gewisser, den sämtlichen dabei auftretenden Hindernissen entsprechender Verlust an Wirkung statt; und jeder bewegte Körper wird deshalb auch, wenn die motorische Kraft abgestellt wird, nach Verfluss einer gewissen Zeit wieder zur Ruhe kommen, und zwar wird diess eintreten, sobald als die in ihm im Momente der Abstellung enthaltene lebendige Kraft oder Wirkungsfähigkeit durch die genannten Bewegungshindernisse aufgezehrt sein wird.

Es ist hier nicht am Orte, diese Grundgesetze weiter zu verfolgen. Das Gesagte mag genügen, um die Anwendung derselben auf die Pendelbewegung, zu der wir nun übergehen wollen, zu verstehen.

Denken wir uns nämlich irgend ein materielles Pendel in seiner Ruhelage, so wird es begreiflich in derselben verbleiben, bis es aus ihr von der Hand oder einer andern Ursache abgelenkt wird. Sich selbst überlassen, wird es alsdann durch die Erdschwere wieder herabgezogen. Dadurch erlangt es aber eine gewisse Wirkungsfähigkeit, welche es im tiefsten Punkte nicht zur Ruhe kommen lässt, sondern auf der andern Seite in die Höhe treibt, bis dieselbe durch das herabziehende Gewicht konsumirt ist und die Schwere es sodann auf's Neue in die Tiefe zieht etc. etc. Wegen der Reibung am Aufhängepunkt und dem Widerstand der Luft am Pendelgewicht werden die aufeinanderfolgenden Schwingungen nach und nach kleiner ausfallen und unter der Voraussetzung, dass der Aufhängepunkt ein *absolut fester* und das Pendelgewicht eine *vollkommen homogene Kugel* wäre, deren Schwerpunkt mit ihrem geometrischen Mittelpunkt *genau* zusammenfiel, würde ihre Ebene in Folge des Beharrungsvermögens eine unveränderliche Lage im Raume behalten und überdiess wegen der gleichzeitigen Einwirkung der Schwere stets nach dem Mittelpunkte der Erde gerichtet sein.

Denken Sie sich daher mit mir für einen Augenblick unter den Pol A der Erdkugel ADBE, Fig. 1, Taf. I, versetzt, wo die Erscheinung, um die es sich handelt, in ihrer grössten Einfachheit auftritt.

Denken Sie sich daselbst in der Richtung der verlängerten Erdachse AB an einem fixen, aber von der Be-

wegung der Erde unabhängigen Punkte F (einem sogenannten archimedischen Punkte) ein Pendel*) (in einem entsprechend langen biegsamen Faden oder Draht und einer verhältnissmässig sehr schweren und gut centrirten Kugel bestehend) aufgehängt und in der Berührungsebene des Pols einen Theilkreis GHIK, dessen Centrum mit dem Pol A zusammenfällt, verzeichnet, und stellen Sie sich ferner vor, die Horizontalprojektion der Schwingungsebene FNAO des Pendels treffe anfangs, wann dieses zu schwingen beginnt, mit irgend einem Durchmesser GH des genannten Theilkreises zusammen: so müssten auch, sofern die Erde sich nicht bewegte, weil, wie wir gesehen haben, die Schwingungsebene des Pendels unter der gemachten Voraussetzung wegen der Trägheit der Pendelmasse die anfängliche Lage unveränderlich beibehielte, die erwähnten beiden Geraden fortwährend mit einander zusammenfallen; wenn aber, wie es wirklich der Fall ist, die Erde sich um ihre Achse drehte, so müsste nothwendig die unveränderliche Horizontalprojektion der Schwingungsebene des Pendels gegen jenen als Ausgangslinie angenommenen Durchmesser GH des Theilkreises, der die Achsendrehung der Erde von Westen nach Osten ebenfalls mitmacht und nach einer gewissen Zeit nach LM gekommen sein wird, immer mehr abweichen, und zwar würde uns, die wir die Rotation ebenfalls mitmachten, scheinen, als weiche die Schwingungsrichtung gegen jenen Durch-

*) Zur Vornahme des Versuchs bedarf es ein Pendel, dessen Pendelgewicht am besten von 20 bis 60 ℔ und dessen Pendellänge nicht wohl unter 30' betragen soll. Das Pendel im Pantheon in Paris hatte eine Länge von 220', das im Kölner Dome eine Länge von 145' und das in der hiesigen Kathedralkirche, womit ich experimentirte, 100'.

messer immer mehr von Osten nach Westen oder, dem Pendel sich zugewendet, von der Rechten zur Linken ab.

Allein unter der gemachten ideellen Annahme ist der Versuch, auch wenn wir wirklich an den Pol gelangen könnten, nicht möglich. Wir müssten uns jedenfalls zu einem reellen irdischen Aufhängepunkt, der die Rotation der Erde also mitmache, entschliessen. Dann entstünde aber die Frage, ob die Drehung dieses Aufhängepunktes um sich selbst nicht auch eine Störung auf die Richtung der Schwingungsebene nach sich zöge und diese ebenfalls im Sinne der Erdrotation bewegte. Dieser störende Einfluss wäre indessen, wenn anders der Aufhängepunkt genau über dem Pol in der Richtung der Erdachse sich befände, nicht zu befürchten. Denn jene Torsion des Aufhängepunktes würde allerdings eintreten und sich nothwendig auch dem Pendelfaden und Pendelgewichte mittheilen. Auf die Richtung der Schwerkraft und auf die dadurch und durch die Trägheit der Pendelmasse bedingte Lage der Schwingungsebene des Pendels hätte sie aber nicht den geringsten Einfluss.

Bei der Unzugänglichkeit des Pols kann man diess zwar nicht durch einen Versuch daselbst darthun; wohl aber kann man sich von der Wahrheit der so eben ausgesprochenen Behauptung an jedem Orte der Erdoberfläche leicht dadurch überzeugen, dass man, nach dem Vorgang des Hrn. Foucault, *) an der Achse einer Dreh-

*) Es verdient bemerkt zu werden, dass Hr. Foucault auf seinen berühmt gewordenen Pendelversuch gerade durch die Beobachtung geführt worden ist, dass ein abgedrehter dünner Stahlstab, auf der Drehbank eingespannt, seine Schwingungsebene unabhängig von der Drehung des Wirtels behauptete.

bank und in der Längenrichtung derselben einen runden biegsamen Stahlstab befestigt, ihn dann durch Ablenkung aus seiner Gleichgewichtslage in Schwingungen versetzt und ihn nun sich selbst überlässt. Die dadurch bedingte Schwingungsebene zeichnet sich vermöge des Verweilens der Gesichtseindrücke scharf im Raume ab, und wenn man nun die Achse der Drehbank mit der Hand in drehende Bewegung setzt, sieht man, dass die Schwingungsebene nicht mit herumgeführt wird, sondern in der einmal angenommenen Lage beharrt. Dasselbe ist auch der Fall, wenn man ein Fadenpendel senkrecht über der Drehachse der Scheibe einer Schwungmaschine aufhängt und diese, während das Pendel schwingt, in Umdrehung versetzt. Noch einfacher und, wie mir scheint, genügend ist der Versuch, wenn man den Faden eines von Hand gehaltenen schwingenden Pendels sorgfältig zwischen den Fingern dreht.

Wir dürfen es daher als eine ausgemachte Thatsache annehmen, dass, wenn der Versuch am Pol wirklich vorgenommen werden könnte, die Pendelschwingungsebene ihre anfängliche Lage trotz der durch die Umdrehung des Aufhängepunktes dem Pendelfaden und Pendelgewicht mitgetheilten Torsion in Folge des Beharrungsvermögens und der gleichzeitigen Wirkung der Schwere unverändert beibehielte, und dass folglich ihre Horizontalprojektion gegen den anfänglich mit ihr in GH zusammenfallenden Durchmesser des Theilkreises, der inzwischen durch die Rotation der Erde von Westen nach Osten in die gedrehte Lage LM gebracht worden, scheinbar von Osten nach Westen oder, dem Pendel sich zugewendet, von der Rechten zur Linken abweichen müsste; und es ist klar, dass diese scheinbare Abweichung der Schwingungsebene am Pole nach einer vollen Umdrehung

oder also nach 24 Sternstunden, in Winkelmass ausgedrückt, genau 360° , nach 1 Stunde 15° , nach 1 Minute $\frac{1}{4}^\circ = 15'$ und nach 1 Sekunde Sternzeit $15''$ des Theilkreises GIHK — oder, auf mittlere Sonnenzeit*) bezogen, nach 1 Stunde $15^\circ,04107$, nach 1 Minute $15',04107$ und nach 1 Sekunde mittlerer Zeit $15'',04107$ des genannten Theilkreises betragen würde.

Die Sache wird jedoch wesentlich modifizirt, wenn wir uns jetzt vom Pole A weg zu irgend einem andern Punkte F, unter irgend einem Breitenkreise FAW, Fig. 2, Taf. 1, wenden und an demselben den Versuch vornehmen. Denn während der bisher gerade über dem Pol gedachte Aufhängepunkt des Pendels bei der Rotation der Erde nur um sich selbst gedreht wird, ohne seine Lage im Raume**) zu ändern, ändert ein vertikal über F oder über jedem andern Orte der Erdoberfläche zwischen den Polen A und B und dem Aequator DUE angenommener Punkt P mit der Umdrehung der Erde ebenfalls seinen Ort und beschreibt, wie jeder andere Punkt des Rotationskörpers, einen Kreis um die Erdachse, und durch diese Verrückung desselben wird auch die relative Lage der Schwingungsebene des Pendels geändert und zwar so, dass sie in jedem Augenblick durch den Mittelpunkt C der Erde geht.

*) Da nämlich 24 Sternstunden gleich $23^h 56' 4'',09$ mittlerer Sonnenzeit, so muss man, um die scheinbare Abweichung nach einer Stunde mittlerer Zeit zu erhalten, $360.60.60$ durch $(23.60.60 + 56.60 + 4,09) = 86164,09$ dividiren, was $15,04107$ gibt, wie im Text angegeben ist.

**) Von der Umlaufbewegung der Erde in ihrer Bahn um die Sonne, die auf das in Rede stehende Phänomen ohne Einfluss ist, wird hiebei abstrahirt.

Man sieht daher, dass in diesem Fall die Schwingungsebene unmöglich den vollkommenen Parallelismus mit ihrer anfänglichen Lage beibehalten kann, sondern dass sie selbst, indem sie in jedem Momente diejenige Lage annimmt, welche ihr bei der Rotation durch die Wirkung der Erdschwere und die Trägheit der Pendelmasse vorgeschrieben wird, eine Drehung um ihren Aufhängepunkt im Sinne der Erdrotation annehmen muss.

Die Figur 2 zeigt zugleich, dass die durch diese wirkliche Drehung der Schwingungsebene von Westen nach Osten modificirte scheinbare Abweichung derselben von Osten nach Westen um so kleiner wird, je näher der Ort, an dem der Versuch angestellt wird, dem Aequator liegt.

Denn sind FQW , $F'Q'W'$ und $F''Q''W''$ drei Parallelkreise von verschiedener geographischer Breite und darauf F , F' und F'' drei Beobachtungsorte desselben Meridians, nach dessen Richtung das Pendel PNO etc. zu schwingen beginnt, und nehmen wir an, diese Orte kommen mit den Theilkreisen $GIHK$, $G'I'H'K'$ und $G''I''H''K''$ nach Verfluss einer sehr kleinen Zeit durch die Rotation der Erde nach Q , Q' und Q'' zu liegen, so kann die Schwingungsrichtung RT , $R'T'$ und $R''T''$ in den neuen Stellungen füglich noch parallel zur anfänglichen Richtung GH angesehen werden, während die anfänglich mit der Schwingungsrichtung zusammenfallenden Durchmesser GH , $G'H'$ und $G''H''$ der Theilkreise innert dieser Zeit durch Drehung nach LM , $L'M'$ und $L''M''$ zu liegen kommen und die Winkel $FSQ = MQT = \varphi$, $F'S'Q' = M'Q'T' = \varphi'$ und $F''S''Q'' = M''Q''T'' = \varphi''$ beschreiben, welche nun offenbar die scheinbaren Abweichungen an den drei gewählten Beobachtungsorten während dieser Zeit versinnlichen, die daher, wie man

sieht, um so kleiner ausfallen, je kleiner die geographische Breite des Beobachtungsortes ist. *)

Unter dem Aequator DD'E selbst, Fig. 3, Taf. 1, wo die Schwingungsebene FNO des Pendels bei der Erdrotation durch die gleichzeitige Einwirkung der Schwere und der Trägheit der Pendelmasse in jedem Augenblick genöthigt wird, mit der entsprechenden Meridianebene zusammenzufallen und sich demnach mit derselben Winkelgeschwindigkeit um die Vertikale CD des Aufhängepunktes F, wie die Erde um ihre Achse A.B., zu drehen, wird diese Abweichung, da die Schwingungsrichtung in jedem Augenblicke mit dem anfänglichen Durchmesser GH, der nach und nach in die parallelen Stellungen G'H', G''H'' etc. etc. gelangt, zusammenfällt, sogar ganz verschwinden. Und eben deshalb ist es auch nicht möglich, die Achsendrehung der Erde am Aequator durch Pendelversuche nachzuweisen.

Aus dem Bisherigen hat sich nun ergeben, dass die scheinbare Abweichung der Schwingungsrichtung eines Pendels gegen einen auf dem Theilkreis des Beobachtungsortes beliebig gezogenen und anfänglich mit ihr zusammenfallenden Durchmesser an den Polen am grössten ist und zwar nach Verfluss von einer vollen Umdrehung der Erde gerade 360° beträgt, dass sie dagegen für Orte zwischen den Polen und dem Aequator um so geringer wird, je kleiner deren geographische Breite ist und endlich, dass sie am Aequator selbst ganz verschwindet und also gleich Null ist.

Es bleibt mir daher jetzt noch übrig, das Gesetz zu bestimmen, nach welchem die Abnahme der scheinbaren Abweichung der Schwingungsebene gegen einen anfänglichen Durchmesser des Theilkreises oder, was aufs

*) Den strengern Beweis hievon siehe weiter unten.

Gleiche herauskömmt, die Zunahme der wirklichen Winkelbewegung derselben um die Vertikale des Aufhängepunktes an irgend einem Orte irgend eines Breitenkreises während einer gegebenen Zeit t oder eines gegebenen Drehungswinkels α stattfindet.

Indem wir das bisher Gesagte wohl erwägen, so lässt uns ein gewisses *mathematisches Gefühl* zum Voraus ahnen, dass sich dieses Gesetz durch eine von der geographischen Breite β abhängige Funktion werde ausdrücken lassen, welche für die Pole, oder $\beta = \pm 90^\circ$, gleich 1, für den Aequator, oder $\beta = 0^\circ$, gleich 0 und für Orte zwischen dem Aequator und den Polen, oder $\beta = 0^\circ$ bis $\pm 90^\circ$, gleich einem ächten Bruch, d. h. kleiner als 1 und grösser als 0 sein müsse.

Nun aber besitzt bekanntlich diejenige trigonometrische Funktion, die man *Sinus* nennt, alle diese Eigenschaften, desshalb sich auch sofort vermuthen lässt, dass die scheinbare Abweichung der Schwingungsrichtung gegen einen anfänglichen Durchmesser des Theilkreises oder die Winkelbewegung der Schwingungsebene um die Vertikale des Aufhängepunktes gleich sei der Winkelbewegung der Erde um ihre Achse während derselben Zeit multipliziert mit dem Sinus der geographischen Breite.

Indessen dürfen wir nicht bei einer blossen Vermuthung stehen bleiben, sondern müssen es nun auch versuchen, die Richtigkeit dieses Satzes mathematisch zu beweisen.*)

*) Solche Beweise sind gegeben worden von Anstice (s. Philos. Mag. [4] II. 379), Binét (s. Compt. rend. XXXII. 157 und 197 etc.), Braschmann (s. Petersb. acad. Bull. X. 81), Coombe (Philos. Mag. [4] I. 554), Crahay (s. Pogg. Ann. Bd. 88), Clausen (s. Petersb. Acad. Bull. X. 17), Eschweiler (s. Dr. Garthe's Schrift: „Foucault's Versuch etc.“), Lyman (s. Sill.

Von dem bekannten Satze der Mechanik ausgehend, dass jede Bewegung in zwei oder mehrere Seitenbewegungen zerlegt werden kann, denke man sich die Bewegung, welche der unter dem Pendel aufgestellte horizontale Theilkreis in jedem Augenblick durch die Rotation der Erde erfährt, in zwei *drehende* Bewegungen, die eine um die Vertikale des Aufhängepunktes und die andere um die durch den Mittelpunkt der Erde in der zugehörigen Meridianebene gezogene Horizontale oder die wahre Mittagslinie des Beobachtungsortes als Achse, zerlegt. Diese letztere, welche die Aenderung ausdrückt, welche die Schwingungsebene des Pendels in ihrer Lage durch die beständige Einwirkung der Schwere (von welcher sie in jedem Momente gezwungen wird, durch den Mittelpunkt der Erde zu gehen) erleidet, hat offenbar keinen Einfluss auf die Lage der Schwingungsrichtung, während die erstere in der stetigen Aenderung des Winkels, welchen die Horizontalprojektion der Schwingungsebene mit einem als Ausgangslinie angenommenen Durchmesser des Theilkreises bildet, die verlangte *scheinbare* Abweichung angibt.

Diese zu bestimmen, sei $A\text{DBE}$, Fig. 4, Taf. 2, ein Meridianschnitt der Erdkugel, AB ihre Achse und C das Centrum, $FMNP$ irgend ein Parallelkreis auf der nördlichen Halbkugel (z. B. der Parallelkreis durch St. Gallen),

Am. J. [2] XII. 410), Marignac (s. Arch. ph. nat. XVII. 116), O'Brien (s. Philos. Mag. [4] II. 125), Tebay (s. Philos. Mag. [4] II. 376), Thäcker (s. Philos. Mag. [4] II. 275), Young (s. Mechanic's Mag. v. Mai 1851) und Andern.

Der Beweis, den ich zunächst im Folgenden entwickeln werde, stimmt am meisten mit jenem von Crahay überein, unterscheidet sich aber doch, wie sich aus der Vergleichung ergeben wird, wesentlich von ihm.

G irgend ein Ort auf demselben (z. B. St. Gallen), A G B der zugehörige Meridian, C G I die zugehörige Vertikale und G S, senkrecht zur vorigen Geraden und in der Ebene des Meridians A G B liegend und diesen berührend, die zugehörige Meridianlinie, welche der verlängerten Erdachse in S begegnet. Bei der Umdrehung der Erde beschreiben alsdann die Vertikale C G und die Meridianlinie G S Drehungskegelflächen, welche den Parallelkreis F M N P als Basis gemein haben und deren Spitzen beziehungsweise in C und S liegen. Nach Verfluss von einer *unendlich kleinen* Zeit komme der Punkt G nach H, die Vertikale C G nach C H, die Meridianebene A G B nach A H B und die zugehörige Meridianlinie G S nach H S. Nehmen wir an, die Schwingungsebene des Pendels falle im Anfang, also beim Ausgang in G, mit der Meridianebene A G B zusammen,*) so würde dieselbe, wie bereits oben angedeutet worden ist, vermöge der Trägheit der Pendelmasse, ohngeachtet ihrer Verrückung im Raume, stets mit sich selbst parallel bleiben, wenn sie anders durch die beständige Einwirkung der Schwere nicht genöthigt wäre, durch den Mittelpunkt der Erde zu gehen. Unter dieser Einwirkung ändert sie jedoch, indem sie, durch das Centrum der Erde gehend, sich selbst um die Vertikale des Aufhänge-

*) Diese Annahme wird nur der Einfachheit wegen, unbeschadet der Allgemeinheit, gemacht. Die Sache bleibt sich aber ganz gleich, nach welcher Richtung das Pendel anfänglich auch zum Schwingen gebracht werden mag. Denn, da jeder Durchmesser des gedachten Theilkreises sich im gleichen Sinne dreht, so ist klar, dass sich dieselbe Abweichung der Schwingungsebene zeigen muss, gleichviel ob das Pendel zuerst im Meridian oder nach einer darauf senkrechten oder nach irgend einer dazwischenliegenden Richtung losgelassen wird. Die Versuche, welche ich darüber mit dem Pendel angestellt, haben diess vollkommen bestätigt. (S. die Anmerkung *) S. 145.)

punktes dreht, fortwährend ihre Stellung und Richtung. Nichtsdestoweniger können wir aber, wegen der *Kleinheit* des Bogens GH, ihre horizontale Projektion oder die Schwingungsrichtung auf dem Theilkreis in der Lage H füglich parallel mit der anfänglichen Richtung in G annehmen. Ziehen wir daher HL parallel GS, so wird die Schwingungsebene bei ihrer Ankunft in H bestimmt sein durch die Vertikale CHK und Schwingungsrichtung HL. Da aber die Meridianebene des Punktes H durch dieselbe Vertikale CHK und die Meridianlinie HS geht, so ist SHL offenbar der Winkel, den die Schwingungsebene des Punktes H mit der zugehörigen Meridianebene bildet, oder also der Winkel, um welchen die Schwingungsrichtung gegen die Meridianlinie, mit der sie anfangs zusammenfiel, in der neuen Lage abweicht. Da überdiess für eine *unendlich kleine* Zeit, wie wir sie voraussetzen, der Bogen GH als eine *Gerade* und das Kegelflächenelement GSH als ein *Ebenenelement* angesehen werden kann, so ist der Winkel SHL auch gleich dem Winkel GSH, und wir können daher auch diesen letztern Winkel als Mass für die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene von der anfänglichen Schwingungsrichtung oder für die erfolgte Winkelbewegung derselben um die Vertikale des Aufhängepunktes, während welcher die Erde sich um den kleinen Winkel $G\text{OH} = \alpha$ gedreht hat, annehmen.

Dasselbe, was wir so eben vom Bogenelement GH und dem zugehörigen Winkelement GSH bewiesen haben, gilt nun auch für jedes folgende Bogenelement HQ und das zugehörige Winkelement HSQ etc. etc., also auch für sämtliche Elemente einer ganzen Umdrehung. Während einer ganzen Umdrehung bilden aber die Ele-

mente GSH, HSQ etc. etc., welche an der gemeinschaftlichen Spitze S den Winkel der scheinbaren Abweichung der Schwingungsebene enthalten, zusammen die Kegelfläche SFMNP. Entwickelt man daher diese Kegelfläche in eine Ebene, so gibt der erhabene Centriwinkel FSF' = φ des dadurch erhaltenen Kreissektors SFMNP F', Fig. 5, Taf. 2, die Gesamtabweichung der Schwingungsebene während einer vollen Erddrehung an. Es handelt sich demnach jetzt nur noch um die Bestimmung dieses Winkels φ .

Nun aber ist allgemein : $\varphi = \frac{\widehat{\text{FMNPF}'}}{\text{FS}}$ und da FMNPF'

gleich dem Parallelkreis FMNPF und dieser gleich $2\pi \cdot \overline{\text{FO}} = 2\pi \cdot \overline{\text{CF}} \cos \text{FCD} = 2\pi r \cos \beta$ und $\overline{\text{SF}} = \overline{\text{CF}} \cotag \text{FCD} = r \cotag \beta$,*) so erhält man durch Substitution dieser Werthe in die vorige Gleichung für die Abweichung nach einer vollen Umdrehung in Theilen des

Bogens vom Radius 1 : $\varphi = \frac{2\pi r \cos \beta}{r \cotag \beta} = 2\pi \sin \beta$, oder

in Graden ausgedrückt:

$$\varphi = 360 \sin \beta \dots (I_a)$$

und für irgend einen Drehungswinkel GOR = α

$$\varphi = \alpha \sin \beta \dots (I_b).$$

Aus dieser Gleichung, welche nun das Gesetz für die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene gegen einen anfänglichen Durchmesser des Theilkreises oder für die wirkliche Bewegung derselben um die Vertikale des Aufhängepunktes ausdrückt, sieht man daher, dass die genannte Abweichung oder Winkelbewegung für irgend einen Ort irgend eines Parallelkreises gefunden wird, wenn

*) wobei r den Erdradius, β die geographische Breite und π die Ludolphine 3,1415926 bedeutet.

man den entsprechenden Erddrehungswinkel mit dem Sinus der geographischen Breite des Beobachtungsortes multipliziert.

Da diese Gleichung auch in die Proportion verwandelt werden kann:

$$\varphi : \alpha = \sin \beta : 1,$$

so sieht man überdiess, dass sich die scheinbare Abweichung oder die wirkliche Winkelbewegung der Schwingungsebene um die Vertikale des Aufhängepunktes an irgend einem Orte der Erdoberfläche zur Achsendrehung der Erde in derselben Zeit ebenso verhält wie der Sinus der geographischen Breite dieses Ortes zur Einheit. —

Für Diejenigen, die mit der höhern Mathematik vertraut sind, möge hier auch noch der zuerst von Hrn. Direktor Eschweiler in Köln angegebene Beweis, welcher in der folgenden Darstellung, wie ich hoffe, an mathematischer Strenge und Präcision Nichts zu wünschen übrig lassen wird, eine Stelle finden.

Es sei C, Fig. 6, Taf. 2, irgend ein Ort auf der Erdoberfläche, an welchem ein Pendel zum Schwingen gebracht wird und den man sich als Centrum des Himmelsgewölbes, dessen Hauptmeridian A E P D ist, vorstellen mag. A P sei die Weltachse, P der Himmelspol, Z das Zenith des Ortes zu irgend einer Zeit der Pendelbewegung, C Z also die Vertikale und F H G der Horizont des gedachten Ortes. Im Anfang der Bewegung des Pendels falle die Schwingungsebene mit dem Meridian zusammen, ihr Azimuth sei also = 0, nach Verlauf der Zeit t sei dasselbe dagegen = φ und die Erde habe sich inzwischen um den Winkel α gedreht. Die Schwingungsebene sei dann nach C Z H gekommen, in welcher Lage sie den Horizont F H G in $\overline{C H}$ und das Himmelsgewölbe in $\widehat{Z H}$ schneidet. Der Bogen Z H ist desshalb ein Viertelskreis und der Bogen

FH oder der Winkel FCH gleich dem Azimuth φ und es kommt jetzt einzig darauf an, dieses Azimuth φ als Funktion der Zeit t oder des Winkels α , um welchen sich die Erde in derselben Zeit um ihre Achse gedreht hat, zu bestimmen.

Nach Verfluss von einer *unendlich kleinen Zeit* dt , in welcher die Erde sich um $d\alpha$ dreht und das Azimuth φ sich um $d\varphi$ ändert, komme daher das Zenith, welches bei der Rotation der Erde den Parallelkreis $ZZ'I$ um die Himmelskugel beschreibt, von Z nach Z' , die Vertikale CZ also nach CZ' und der Horizont FHG nach $F'H'G'$, während die schwingende Pendelmasse dagegen vermöge ihrer Trägheit in der Richtung CH beharrt, die Schwingungsebene also die Lage $CZ'H$ erhält und CH nach CH' auf den neuen Horizont $F'H'G'$ reduziert wird, wodurch das sphärische Dreieck PZH in das sphärische Dreieck $PZ'H'$ übergeht,*) welches im nächsten Zeitelement eine ähnliche Veränderung erleidet.

Zur Ableitung des Gesetzes, nach welchem sich die Schwingungsebene des Pendels beim Foucault'schen Ver-

*) Zum richtigen Verständniss dieser *Reduktion* erwäge man, dass der Bogen $Z'H$, in welchem die Schwingungsebene das Himmelsgewölbe nach Verfluss der Zeit dt schneidet, ein Stück eines grössten Kreises $Z'HLK$ ist und dass darauf, um den reduzierten Punkt H zu erhalten, $Z'H'$ gleich 90° abgetragen werden muss, was am einfachsten durch die Konstruktion des Parallelkreises $FH'M$ geschieht, der jenen grössten Kreis $Z'HLK$ in H' scheidet, womit alsdann die neue Schwingungsrichtung CH' und der neue Horizont $F'H'G'$ bestimmt ist.

Ohne indiskret zu sein, so darf ich wohl sagen, dass die Figuren, welche sonst diesem Beweise beigegeben worden sind, keineswegs geeignet waren, die Sache zu verdeutlichen, sondern eher zu verwirren. Die Darstellung des Problems, wie ich sie in Figur 6 ausgeführt, wird dagegen, wie ich hoffe, zur Verdeutlichung des Gegenstandes wesentlich beitragen.

suche in Folge der Erdrotation um die Vertikale des Aufhängepunktes dreht, bedarf es daher einzig des veränderlichen sphärischen Dreiecks PZH, worin die Seiten $\widehat{PZ} = (\widehat{PD} - \widehat{ZD}) = (90 - \beta)$ und $\widehat{ZH} = 90^\circ$, sowie \widehat{PH} unveränderlich dieselben Werthe beibehalten und die Winkel bei P und Z sich mit der Erdrotation stetig ändern.

Da bekanntlich die vier Stücke \widehat{PZ} , \widehat{PH} , P und Z in der Relation stehen, dass:

$\cos \widehat{PZ} \cos P = \sin \widehat{PZ} \cotag \widehat{PH} - \sin P \cotag Z$,
so ergibt sich, wenn man für \widehat{PZ} seinen Werth $(90 - \beta)$ und $Z = (180 - \varphi)$, also $\cotag Z = \cotag (180 - \varphi) = -\cotag \varphi$ setzt:

$$\sin \beta \cos P = \cos \beta \cotag \widehat{PH} + \sin P \cotag \varphi.$$

Ändert sich nun durch die Rotation der Erde während der unendlich kleinen auf t folgenden Zeit dt der Winkel P in $(P - d\alpha)$ und φ in $(\varphi - d\varphi)$, so folgt aus der vorigen Gleichung durch Differentiation, wenn man berücksichtigt, dass β und \widehat{PH} , also auch $\sin \beta$ und $\cotag \widehat{PH}$ constant bleiben:

$$-\sin \beta \sin P d\alpha = -\sin P \frac{d\varphi}{\sin \varphi^2} + \cotag \varphi \cos P d\alpha,$$

oder

$$d\varphi = (\sin \beta \sin \varphi^2 + \sin \varphi \cos \varphi \cotag P) d\alpha.$$

Da aber \widehat{HZ} ein Quadrant, das sphärische Dreieck HZP also ein rechtwinkliches Dreieck und daher bekanntlich:

$$\cotag P = \sin \beta \cotag \varphi$$

ist, so erhält man durch Substitution dieses Werthes:

$$\begin{aligned} d\varphi &= (\sin \beta \sin \varphi^2 + \sin \varphi \cos \varphi \cdot \sin \beta \cotag \varphi) d\alpha \\ &= \sin \beta (\sin \varphi^2 + \cos \varphi^2) d\alpha \end{aligned}$$

oder endlich, da $\sin \varphi^2 + \cos \varphi^2 = 1$,

$$d\varphi = \sin \beta d\alpha$$

und folglich, wenn man integrirt,

$$\int d\varphi = \int \sin \beta d\alpha = \sin \beta \int d\alpha, \text{ oder}$$

$$\varphi = \sin \beta \cdot \alpha = \alpha \sin \beta$$

wie oben.

Ist nun die geographische Breite eines Ortes bekannt, so lässt sich mittelst dieser Gleichung die Winkelbewegung der Schwingungsebene um die Vertikale des Aufhängepunktes oder die scheinbare Abweichung derselben gegen den anfänglichen Durchmesser des Theilkreises für denselben mit Leichtigkeit finden.

Für St. Gallen ist die geographische Breite $\beta = 47^\circ 25' 39''$, also $\sin \beta = \sin 47^\circ 25' 39'' = 0,7364218$ und daher die scheinbare Abweichung für eine volle Umdrehung: $\varphi = 360 \cdot 0,7364218 = 265^\circ,111848 = 265^\circ 6' 42'',6528$, oder da eine volle Umdrehung der Erde um ihre Achse in 24 Sternstunden vor sich geht, für eine Sternstunde: $\varphi = \frac{360}{24} \cdot 0,7364218 = 15 \cdot 0,7364218 = 11^\circ,046327 = 11^\circ 2' 46'',7772$, für eine Minute Sternzeit ebenso: $\varphi = 11',046327 = 0^\circ 11' 2'',77962$ und für eine Sekunde Sternzeit: $\varphi = 11'',046327$ des Theilkreises.

Zur bessern Uebersicht habe ich die scheinbare Abweichung für den Parallelkreis von St. Gallen nach 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 und 24 Sternstunden oder $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ und 360° der Erddrehung in folgende Tabelle zusammengestellt und zugleich durch die schwarz ausgefüllten Kreissektoren der Figur 7, Taf. 3, versinnlicht.

Tabelle

über die Grösse der scheinbaren Abweichung nach je drei Sternstunden für den Parallelkreis von St. Gallen.

Nummer der Stellung des Theilkreises.	Erddrehung nach		Grösse der scheinbaren Abweichung in	
	Sternstunden.	Graden.	Graden.	
1	0	0	0	= 0
2	3	45	45 . 0,7364218	= 33,139
3	6	90	90 . 0,7364218	= 66,278
4	9	135	135 . 0,7364218	= 101,733
5	12	180	180 . 0,7364218	= 132,556
6	15	225	225 . 0,7364218	= 165,695
7	18	270	270 . 0,7364218	= 198,834
8	21	315	315 . 0,7364218	= 231,973
9	24	360	360 . 0,7364218	= 265,112

Aus der Fig. 7 sieht man, dass die Schwingungsrichtung AB in der ersten Stellung mit dem Durchmesser SN oder der Meridianrichtung CP zusammenfällt, dass sie aber in der zweiten Stellung, in welcher der Durchmesser SN wieder nach dem Pole P gerichtet ist, mit diesem Durchmesser den Winkel ACN = 33°,139 bildet, und dass sie in den folgenden Stellungen mit dem genannten Durchmesser immer grössere, und zwar die in der obigen Tabelle angegebenen Winkel macht.

Bezieht man die scheinbare Abweichung der Schwingungsrichtung AB des Pendels gegen den anfänglich mit ihr znsammenfallenden Durchmesser NS des Theilkreises auf mittlere Sonnenzeit, *) so beträgt dieselbe nach einer Stunde einen Bogen von: $\varphi = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{23 \cdot 60 \cdot 60 + 56 \cdot 60 + 4,09} \cdot 0,7364218 = 15,04107 \cdot 0,7364218 = 11^{\circ} 4' 35'',652$, nach einer Minute einen Bogen von $\varphi =$

*) Siehe die erste Anmerkung auf Seite 116.

11',07657 = 11' 4'',5942 und nach einer Sekunde mittlerer Zeit einen Bogen von $\varphi = 11'',07657$ des Theilkreises.

Will man aber umgekehrt die Beobachtungszeit t berechnen, welche hier in St. Gallen verstreicht, bis die scheinbare Abweichung φ^0 beträgt, so dient hiezu die Formel:

$$t'' = \frac{\varphi \cdot 60 \cdot 60}{11,046327} \text{ Sternzeit,}$$

oder:

$$t'' = \frac{\varphi \cdot 60 \cdot 60}{11,07657} \text{ mittlerer Zeit.}$$

Hiernach habe ich folgende Tabelle berechnet, die der Vollständigkeit wegen hier mit aufgenommen werden mag.

Tabelle

über die Beobachtungszeit, welche hier in St. Gallen einem gegebenen Abweichungswinkel entspricht.

Scheinbare Abweichung in Graden.	Beobachtungszeit					
	Sternzeit.			mittlerer Zeit.		
	h	'	''	h	'	''
1	0	5	25,9	0	5	25,01
2	0	10	51,8	0	10	50,02
3	0	16	17,7	0	16	15,03
4	0	21	43,6	0	21	40,04
5	0	27	9,5	0	27	5,05
6	0	32	35,4	0	32	30,06
7	0	38	1,3	0	37	55,07
8	0	43	27,2	0	43	20,08
9	0	48	53,1	0	48	45,09
10	0	54	19,0	0	54	10,10
11	0	59	44,9	0	59	35,11
12	1	5	10,8	-1	5	0,12
13	1	10	36,7	1	10	25,13

Scheinbare Abweichung in Graden.	Beobachtungszeit					
	Sternzeit.			mittlerer Zeit.		
	h	'	''	h	'	''
14	1	16	2,6	1	15	50,14
15	1	21	28,5	1	21	15,15
16	1	26	54,4	1	26	40,16
17	1	32	20,3	1	32	5,17
18	1	37	46,2	1	37	30,18
19	1	43	12,1	1	42	55,19
20	1	48	38,0	1	48	20,20
21	1	54	3,9	1	53	45,21
22	1	59	29,8	1	59	10,22
23	2	4	55,7	2	4	35,23
24	2	10	21,6	2	10	0,24
25	2	15	47,5	2	15	25,25
26	2	21	13,4	2	20	50,26
27	2	26	39,3	2	26	15,27
28	2	32	5,2	2	31	40,28
29	2	37	31,1	2	37	5,29
30	2	42	57,0	2	42	30,30

Auf dieselbe Weise findet man auch die Zeit, innert welcher die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene hier in St. Gallen einen vollen Kreis von 360° beschreiben würde. Man findet: $t = 32^h 35' 24'' 0$ Sternzeit oder $= 32^h 30' 3'',708$ mittlerer Zeit.

Endlich habe ich zur Vergleichung der scheinbaren Abweichung der Schwingungsebene hier und an einigen andern wichtigen Orten der Erdoberfläche noch folgende Tabelle zusammengestellt.

*) Nördlichste Spitze des europäischen Festlandes.
 **) Zur Vergleichung der Theorie mit der Praxis mögen hier

Tabelle
 über die scheinbare Abweichung für einige wichtige Orte auf verschiedenen
 Parallelkreisen.

Beobachtungs- orte.	Geographische Breite in Graden.	Sinus der geographischen Breite.	Scheinbare Abweichung in		Stundenzahl, die der scheinbaren Abweichung eines vollen Kreises entspricht.
			24 Stern- stunden in Graden.	1 Stern- stunde	
Pol	+ 90°	1,00000	360,000	15,000	24,000
Nordkynn *)	„ 71° 6'	0,94609	340,590	14,191	25,368
Petersburg	„ 59° 56'	0,86544	311,56	12,982	27,731
Königsberg	„ 54° 42'	0,81614	293,81	12,242	29,407
Dublin	„ 53° 23'	0,80264	288,95	12,040	29,901
Berlin	„ 52° 31'	0,79353	285,67	11,903	30,245
London	„ 51° 31'	0,78279	281,80	11,756	30,624
Köln	„ 50° 56' 29''	0,77650	279,54	11,6473	30,908
Paris	„ 48° 50'	0,75280	271,01	11,292	31,881
Wien	„ 48° 12'	0,74548	268,37	11,182	32,194
St. Gallen	„ 47° 25' 39''	0,7364218	265,1116	11,046327	32,59008
Genf	„ 46° 12'	0,72176	259,83	10,826	33,252
Rom	„ 41° 54'	0,66783	240,42	10,017	35,937
New-York	„ 40° 42'	0,65210	234,76	9,7815	36,804
Madrid	„ 40° 24'	0,64812	233,32	9,7218	37,030
Rio-Janeiro	— 22° 54'	0,38912	140,08	5,8368	61,677
Mexico	+ 19° 25'	0,33244	119,68	4,9865	72,194
Ceylon	„ 6° 56'	0,12071	43,468	1,8107	198,820
Cayenne	„ 4° 56'	0,085997	30,959	1,2900	279,080
Aequator	0°	0	0	0	∞

Ganz auf dieselbe Weise, wie wir im Vorhergehenden die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene oder ihre Winkelbewegung um die Vertikale CG des Aufhängepunktes bestimmt haben, können wir auch die *andere* Componente oder *die drehende Bewegung der Schwingungsebene um die Mittagslinie CU*, Fig. 4, Taf. 2, bestimmen. Und man wird finden, *dass diese Bewegung der Schwingungsebene, welche sie durch die Schwere erlangt, um stets durch den Mittelpunkt der Erde gehen zu können, sich zur Erddrehung in derselben Zeit ebenso verhält, wie der Cosinus der geographischen Breite zur Einheit.*

einige mir bekannt gewordene Versuchs-Resultate beigelegt werden.

Beobachtungs- orte.	Beobachter.	Stündliche Abweichung in Graden	
		beobach- tet.	berechnet.
Dublin	Galbraith und Haughton	11,90	12,040
Köln		11,642	11,6473
Genf	Dufour, Wartmann u. Maignac	10,18	11,826
Rom		9,90	10,017
New-York	Lyman	9,73	9,7815
Rio-Janeiro	d'Oliveira	5,17	5,8368
Ceylon	Lamprey und Shaw	1,87	1,8107

Hieraus sieht man, dass die sich auf Köln beziehenden Zahlenwerthe die grösste Uebereinstimmung zeigen; denn der Unterschied der Rechnung und Beobachtung beträgt nur: $0^{\circ},0053$ oder $19'',08$, also nicht einmal ganz $\frac{1}{3}$ Minute. Zu diesem sehr genauen Resultat hat wohl die zu einem solchen Versuch sehr gut passende Localität, wie sie der Kölner Dom darbot, wesentlich beigetragen; indessen ist rühmlichst anzuerkennen, dass Dr. Garthe beim Versuche selbst, wie aus allen Mittheilungen darüber hervorgeht, mit äusserster Sorgfalt zu Wege gegangen ist.

Denkt man sich nämlich an die Kegelfläche CFMNP, Fig. 4, eine sie nach CG berührende Ebene gelegt, so würde diese die Schwingungsebene des Punktes H nach HT, parallel zu GC, schneiden, wenn letztere anders mit ihrer anfänglichen Lage parallel bliebe. Da die Schwingungsebene aber in Folge der Einwirkung der Schwere genöthigt wird, durch den Mittelpunkt der Erde, also durch die Vertikale CH zu gehen, so versinnlicht CHT den Winkel, um welchen die Schwingungsebene durch die Schwere um die Mittagslinie in der *unendlich kleinen* Zeit dt, in welcher die Erde sich um den Winkel $d\alpha$ dreht, gedreht worden ist. Dieser Winkel ist aber, da das unendlich kleine Kegelflächenelement GCH als ein ebenes Flächenelement angesehen werden kann, gleich dem Winkel GCH, also kann auch dieser Winkel als Mass der genannten Winkelbewegung der Schwingungsebene um die Mittagslinie CU während der Zeit dt angesehen werden. Dasselbe gilt aber für alle andern Elemente, wie HCQ etc. etc., und folglich auch für die Summe derselben oder die ganze Kegelfläche CFMNP. Der Winkel an der Spitze C dieses Kegels drückt demnach die Totaländerung aus, welche die Schwingungsebene in Folge der Schwere in ihrer Lage um die Mittagslinie CU erfährt.

Durch Planificirung dieses Kegels verwandelt sich jener Winkel in den erhabenen Centriwinkel F \widehat{S} F' = ψ des entstandenen Sektors FMNPF', Fig. 8, Taf. 3, und auf gleiche Weise, wie oben, erhält man für eine ganze Umdrehung in Bogentheilen:

$$\psi = \frac{\widehat{\text{FMNPF}'}}{\text{SF}} = \frac{2\pi r \cos \beta}{r} = 2\pi \cos \beta,$$

oder in Graden:

$$\psi = 360 \cos \beta \dots (II_a),$$

und für einen beliebigen Drehungswinkel $GOR = \alpha$:

$$\psi = \alpha \cos \beta \dots (II_b).$$

Für St. Gallen beträgt demnach diese Winkelbewegung der Schwingungsebene des Pendels, da $\beta = 47^\circ 25' 39''$ und $\cos \beta = \cos 47^\circ 25' 39'' = 0,6765226$, während einer ganzen Erdrotation: $\psi = 360 \cdot 0,6765226 = 243^\circ,5482 = 243^\circ 32' 53'',52$; nach Verfluss von einer Sternstunde: $\psi = 15 \cdot 0,6765226 = 10^\circ,14784$ und nach Verfluss von einer Stunde mittlerer Zeit: $\psi = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{86164,09} \cdot 0,6765226 = 15,04107 \cdot 0,6765226 = 10^\circ,17562$.

Für den Pol wird sie dagegen, da $\cos \beta = \cos 90^\circ = 0$, $\psi = 360 \cdot 0 = 0$, und für den Aequator, da $\cos \beta = \cos 0^\circ = 1$, $\psi = 360 \cdot 1 = 360^\circ$. —

Diese Bewegung der Schwingungsebene um die Mittaglinie wächst also gerade im *umgekehrten* Verhältniss, wie jene um die Vertikale des Aufhängepunktes, und zwar findet für beide dieser Winkelbewegungen für irgend einen Punkt der Erdoberfläche die Relation statt, dass, da die beiden Drehungsachsen rechtwinklich zu einander sind, die *Summe der Quadrate derselben gleich ist dem Quadrat der Erdrotation*. Für den Drehungswinkel α ist demnach: $\varphi^2 + \psi^2 = \alpha^2$, und in der That erhält man, wenn man für φ und ψ aus I(b) und II(b) die Werthe substituirt: $(\alpha \sin \beta)^2 + (\alpha \cos \beta)^2 = \alpha^2$; denn wenn man entwickelt, so ist $(\alpha \sin \beta)^2 + (\alpha \cos \beta)^2 = \alpha^2 \sin^2 \beta + \alpha^2 \cos^2 \beta = \alpha^2 (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) = \alpha^2$, weil bekanntlich: $\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1$.

Diese beiden Componenten der Erddrehung, welche, wie wir gesehen haben, die Winkelbewegung der Schwin-

gungsebene des Pendels um die *Vertikale* des Aufhängepunktes und um die wahre *Mittagslinie* des Beobachtungsortes bestimmen, können übrigens auch auf *graphischem Wege* erhalten werden. Um diess an einer Figur wirklich zu zeigen, wollen wir annehmen, die Erdkugel $A D B E$, Fig. 9, Taf. 3, habe sich um ihre Achse $A B$ um den beliebigen Winkel $I C K$ von West nach Ost gedreht, so dass der Punkt I nach K , G nach H und überhaupt jeder Punkt des Meridians $A G I U B$ nach einem entsprechenden Punkte des Meridians $A H K V$ zu liegen komme. Zu dem gleichen Resultate können wir nun auch gelangen, wenn wir uns vorstellen, die Erde drehe sich zuerst um die mit der Vertikalen $C G$ des Beobachtungsortes G zusammenfallenden Achse $G X$ bis die einzelnen Punkte des Meridians $A G I U B$ auf entsprechende Punkte des um die Achse $G X$ sich drehenden grössten Kreises $S G V T X Y$, wie z. B. U nach V , zu liegen kommen, und hierauf um die im Horizont gelegene Mittagslinie, welche im Anfang der Drehung mit der im Horizont $Q V R$ liegenden $C V$ zusammenfiel und sich nach Verfluss derselben nach $C V'$ in den neuen Horizont $Q' V' R'$ reduzirt,*) um einen gleich grossen Drehungswinkel, so dass die Punkte des grössten Kreises $S G V T X Y$ auf entsprechende Punkte des Meridians $A H K V B Y$, wie z. B. G nach H , zu liegen kommen. Denn die Drehung, welche die Erde auf diese Weise erlangt, ist, wie man sieht, genau dieselbe, als wenn sie sich um einen gleich grossen Winkel um ihre eigene Achse dreht.

Zur Vervollständigung des Gegenstandes würde es nun am Platze sein, wenn es anders die Zeit zuliesse,

*) Für diese Reduktion gilt dasselbe, was in der Anmerkung auf Seite 125 gesagt worden ist.

hier auch noch die verschiedenen Modifikationen zu besprechen, welche zur Erreichung desselben Zweckes mittelst anderer Apparate, als das zuerst von Foucault angewendete Fadenpendel, vorgeschlagen worden sind.*)

*) Solche Apparate sind angegeben worden von: Sylvester (s. Compt. rend. XXXIII. 40), Wheatstone (s. Phil. Mag. [4] I. 572 und Pogg. Ann. Bd. 83. 306), Baudrimont und Marx (s. Compt. rend. XXXII. 307 und Pogg. Ann. Bd. 83, 302), Poinsot und Tesson (s. Compt. rend. XXXII. 206 und 504), Krüger (s. Pogg. Ann. Bd. 84, 151), Kabisch und Dr. Garthe (in des letztern Schrift: „Foucaults Versuch etc.“), Sire (s. Compt. rend. XXXV. 431), Porro (s. Compt. rend. XXXV. 855), Hamann (s. Pogg. Ann. Bd. 87, 614), Lamarle (s. Institut 1852, 388), Roberts (Report of the 21st brit. Assoc.), Foucault selbst (s. Compt. rend. XXXV).

Zudem sind von Poggendorf und Person Vorschläge gemacht worden, zum Ersatz des Fadenpendels das bekannte Bohnenbergersche Maschinchen anzuwenden.

Die neueste Modifikation des Versuchs zum Beweise der Achsendrehung der Erde, die, wenn ich nicht irre, zuerst in der Zeitschrift „die Natur“ vorgeschlagen worden ist, beruht darauf, dass sich bei der Rotation der Erde in Folge des Beharrungsvermögens jeder *freie* Körper, also auch z. B. das in einem ruhigen, feststehenden Gefäss eingeschlossene *Wasser*, wie das Pendel, scheinbar von Osten nach Westen, also der Drehung der Erde gerade entgegengesetzt, dreht.

Für Diejenigen, die vielleicht diesen Versuch gerne anstellen möchten, möge hier noch bemerkt werden, wie derselbe am leichtesten und sichersten anzustellen ist.

Man nehme ein grosses, offenes Gefäss, z. B. eine weite Glasschale, fülle dasselbe beinahe bis oben mit Wasser und setze es an einem ganz ruhigen Orte auf den Boden eines Zimmers im Erdgeschoss, wo weder Luftströmungen noch andere Erschütterungen stattfinden. Nachdem daselbst die Oberfläche des Wassers scheinbar vollkommen ruhig geworden, pudere man auf dieselbe mittelst eines Lämpchens eine dünne Schicht Bärlappsaamen, jedoch so, dass sie nicht ganz den Rand der Schale erreicht. Hierauf streue man, etwa mit einer zusammengefalteten Karte, einen Strich von Kohlenpulver über die Mitte der Bärlappenschicht, und endlich mache man am Rand des Gefässes in der Richtung der schwarzen Linie ein Zeichen, oder lege über und parallel mit ihr ein Stäbchen diametral auf den obern Rand desselben, um zu sehen, ob und wie dieselbe ihre Lage ändere. (S. Nr. 11 des Unterhaltungsblattes zur Zeitung „der Deutsche“ von 1854.)

Da diess mich jedoch viel zu weit führen würde und die meisten derselben ohnehin nicht das grösste Zutrauen bezüglich des Gelingens einflössen, so werde ich dieselben, bei der mir kurz zugemessenen Zeit, nicht weiter betrachten. Dagegen werden Sie mir erlauben, bevor ich zum Pendelversuch selbst übergehe, demselben noch einige besondere Bemerkungen über die Einrichtung der hiezu nöthigen Apparate und die Methode des hiebei befolgten Verfahrens vorzuschicken.

II.

Von der Einrichtung der zum Foucault'schen Pendelversuch benötigten Apparate und der Methode des hiebei befolgten Verfahrens.

Es gibt eine zarte Empirie, die sich mit dem Gegenstand innigst vertraut macht, und dadurch zur eigentlichen Theorie wird.

Goethe.

Durch besonders günstiges Zusammentreffen wurde es mir möglich, für das Pendel einen festen Aufhängepunkt zu erhalten, ohne an dem Gebäude selbst die geringste Veränderung vornehmen zu müssen. Es befindet sich nämlich fast im Centrum*) der Hauptkuppel A C B

Nach einiger Zeit wird man alsdann wahrnehmen, dass der schwarze Strich der Lycopodiumschicht sich scheinbar von Rechts nach Links herumbewegt, woraus man aus denselben Gründen, die ich früher entwickelt habe, zu schliessen berechtigt ist, dass die Erde sich um ihre Achse und zwar gerade umgekehrt von Links nach Rechts, oder von Westen nach Osten, dreht.

Der Winkel, welchen die horizontale Projektion des aufgelegten Stäbchens nach und nach mit dem schwarzen Strich bildet, wird am hiesigen Orte auch dieselben Werthe erlangen, wie ich sie oben für's Pendel angegeben.

*) Wegen dem Schluss des Kuppelgewölbes ist diese Oeffnung ein wenig excentrisch plazirt. Ihre Horizontalprojektion fällt da-

des Mittelschiffes der Kirche eine runde, circa 2' weite Oeffnung o, Fig. 10, Taf. 4, und gerade darüber ein Hauptbund des äusserst soliden Dachstuhls, an welchem ich nun am Balken d den *Stützpunkt* für den Pendelfaden, ohne Weiteres anbringen konnte.

Was die *Aufhängung* selbst betrifft, welche in Fig. 12 und 13, Taf. 4, in bedeutend grösserm Massstab dargestellt ist, so, hoffe ich, wird sie den Beweis liefern, dass ich bestrebt war, dieselbe möglichst einfach herzustellen. *) Sie besteht nämlich bloss aus einem schmiedeisernen Träger a, der mittelst des Winkeleisens b und der Schrauben c an den Balken d befestigt ist, und aus der kleinen Halbkugel e aus gehärtetem Stahl, die mit der abgerundeten Fläche auf jenen zu ruhen kömmt. Zur Aufnahme des Pendelfadens f besitzt der Träger a ein kleines, nach unten etwas konisch erweitertes Loch und das sphärische Stück e eine überall gleich weite, zylindrische Oeffnung, deren Durchmesser genau mit der Dicke des Drahtes übereinstimmt; und über dem Stück e ist der Draht f einfach geknüpft, so dass sich dieser mit der Halbkugel beliebig drehen kann.

Diese höchst einfache Aufhängevorrichtung, welche, wie man sieht, die Schwingungen des Pendels nach allen Seiten gleich gut zulässt, hat sich während meinen Versuchen so vortrefflich bewährt, dass sie, wie ich glaube, allen übrigen Vorrichtungen, die meines Wissens bis jetzt angewendet oder vorgeschlagen worden sind, die viel zusammengesetztere, sogenannte centrifugale oder carda-

her ebenfalls nicht genau in die Mitte des darunter befindlichen Kreuzganges XY und ZZ, Fig. 11, Taf. 4.

*) Dieselbe wurde mir von Hrn. *Kirchhofer*, Schlosser und Mechaniker dahier, zu meiner vollen Zufriedenheit angefertigt.

nische Aufhängung nicht ausgenommen, vorzuziehen ist, und daher Allen, die den Versuch etwa noch anzustellen gedenken, oder eine solche Aufhängung zu einem andern ähnlichen Zwecke nöthig haben, aufs Beste empfohlen werden kann. *)

Der zum Pendelfaden benützte *Draht* ist harter *Messingdraht* von etwa $\frac{1}{3}$ '' oder 1 mm Durchmesser, der sich ebenfalls sowohl in Bezug auf Festigkeit als auf Ausdehnung vollkommen zweckmässig erwiesen. Denn selbst bei einem Pendelgewicht von 60 \mathcal{R} oder 30 Kil. und einer Pendellänge von 100' oder 30 m hat er sich, nachdem er einmal hinreichend gestreckt war, nur unmerklich verlängert, was mir natürlich, um die Länge desselben nicht immer wieder berichtigen zu müssen, sehr erwünscht war.

Das *Pendelgewicht*, bestehend in einer genau centrirten und die bekannte Quecksilberprobe gut bestandenen *Messingkugel*, **) wurde mir mit noch verschiedenen andern auserlesenen Kanonenkugeln zum Behufe des Versuchs mit anerkennungswerther Bereitwilligkeit von dem Zeughausverwalter, Hrn. Hauptmann *Kirchhofer*, zur Disposition gestellt — erstere allerdings nur unter der Bedingung, dass keinerlei Veränderungen mit derselben vorgenommen

*) Zu den Vorversuchen benützte ich eine mir von Hrn. Uhrenmacher *Täschler* dahier zur Disposition gestellte Aufhängung mit *Schneide*, wie sie häufig bei Regulator-Uhren in Anwendung ist, die sich für den vorliegenden Fall, wo der Aufhängepunkt der Winkelbewegung der Schwingungsebene des Pendels soll möglichst frei folgen können, jedoch nicht zweckmässig erwies.

**) Diese Kugel wird von der hiesigen Militärbehörde zur Pulverprobe benützt, indem sie nämlich von 5 Unzen guten Pulvers 600 alte franz. Fuss weit geworfen werden soll.

werden. Glücklicherweise liess aber gerade diese Kugel in Bezug auf die genaue runde Gestalt und die gleichmässige Dichtigkeit der Masse Nichts zu wünschen übrig. Ich hatte darum auch gar nicht nöthig, Aenderungen daran vorzunehmen, und war gegentheils froh, der Schwierigkeit, welche die Bedingung des genauen Zusammenfallens des Schwerpunktes mit dem geometrischen Mittelpunkte der Neuanfertigung einer Kugel immerhin entgegengesetzt, überhoben zu sein.

Die Art und Weise, wie ich diese Kugel, die auf einer Seite mit einer Schraubenöffnung versehen ist, mit dem Pendeldraht in Verbindung setzte, mag aus Fig. 14 und 15, Taf. 4, entnommen werden. In die genannte Oeffnung liess ich nämlich einen passenden Holzzapfen *i* und in diesen einen eisernen Schraubenbolzen *h* mit Ring eintreiben und mittels eines S förmigen Hakens *g*, der einerseits eben in diesen Ring und anderseits in die durch Umbiegung erhaltene Schlinge des Drahtes *f* eingreift, wurde dann die Verbindung der Kugel mit letzterm hergestellt.

Zur deutlichen Wahrnehmung des Abweichungswinkels liess ich auf der entgegengesetzten Seite der Kugel mittelst eines leichten Gerippes aus 4 dünnen Messingblättchen *l*, die oben durch einen Draht und kleine Holzkeile *m* ihre Befestigung erhalten, einen feinen, etwa $3\frac{1}{2}$ '' langen Stift *nn* anbringen.

Um mich zu überzeugen, ob dieser Stift, oder doch wenigstens die unterste Spitze desselben *genau* in die Schwerlinie oder die Vertikale des Aufhängepunktes falle, was zum genauen Experimentiren durchaus der Fall sein muss, wendete ich, von einem Gehülfen unterstützt, zur Controle folgende Berichtigungsmethode an.

Ich nahm ein kleines Pendel, Fig. 16, Taf. 4, hing es mittelst eines Drahtes *c* an einen festen Stab *a*, der durch die beiden Hölzer *b*, *b* unterstützt wird, und stellte damit, nachdem es zur Ruhe gekommen, den auf ein verschiebbares Brettchen *fgh* i gezeichneten Kreuzungspunkt *o* ein. Darauf liess ich das Senkblei wegnehmen und dafür, während ich die Aufhängung *c* und das Brettchen *fgh* i festhielt, die Kugel *k* mit dem Stifte einhängen, wie diess Fig. 17 zeigt. Traf nun, nachdem diese zur Ruhe gekommen, die Coïncidenz des untersten Punktes am Stift und des Kreuzungspunktes auf dem Brettchen ein, so hatte die Spitze ihre Richtigkeit. Im Gegentheil musste sie aber so lange adjustirt werden, bis die genannten beiden Punkte coïncidirten. —

Von besonderm Einfluss auf das Gelingen des Versuchs ist endlich auch die *genaue Eintheilung* und *Einrichtung* der *Theilkreisplatte*, über welche das Pendel in's Schwingen versetzt wird.

Da die scheinbare Abweichung der Schwingungsebene hier in St. Gallen nach einem Zeitraum von 5 Stunden erst $55^{\circ},231635$ beträgt, so liess ich dieselbe nicht im vollen Kreis, sondern nur nach Sektoren von etwa 60° bei einem Radius von 5 Fuss und in der Form, wie die Fig. 18 und 19, Taf. 4, zeigen, anfertigen.

Damit die Spitze des Stiftes, der beim Schwingen der Kugel den untersten Schwingungsbogen beschreibt, überall gleich weit von der Platte *a* abstehe,*) liess ich diese zudem an der obern Fläche entsprechend aushöhlen. Die

*) Bei der geringen Ausdehnbarkeit des Drahtes konnte ich diesen Abstand so weit herunterbringen, dass er, nach gehöriger Streckung und Adjustirung, kaum eine halbe Linie betrug.

Höhe $BE = h$ dieser Aushöhlung, siehe Fig. 20, Taf. 4, oder also der Pfeil des Schwingungsbogens CBD , berechnet sich bei den angegebenen Dimensionen zu: $h = \overline{BE} = \frac{\overline{BC}^2}{2 \overline{BA}} = \frac{5^2}{2 \cdot 100} = \frac{25}{2 \cdot 100} = 0,125$ Fuss oder $1\frac{1}{4}$ Zoll.

Um diese Platte a vor dem Verziehen zu bewahren, so wie auch, um sie etwas über den Boden zu erheben, ist sie mit starken, etwa 4 Zoll hohen Leisten b verbunden und um sie beliebig leicht beweglich zu machen, ist die Mittelleiste überdiess mit einem eisernen, etwa 3''' dicken und 1'' weit vorstehenden Zapfen c versehen, der sein Lager in einem vom Steinmetzen genau ausgearbeiteten Loch der steinernen Bodenplatte d erhält, dessen Lage ich zum Voraus durch sorgfältige Absenkelung vom Aufhängepunkt aus bestimmte.

Die auf der Oberfläche angedeuteten radialen Linien geben die einzelnen Grade an, von denen die Theilungslinien von 5 zu 5 Grad mit stärkern rothen Strichen gezeichnet sind. Die concentrischen Kreise haben weiter keine andere Bedeutung, als dass sie anzeigen sollen, wie die Schwingungen nach und nach (beiläufig in den aufeinanderfolgenden Stunden) abnehmen.

Die Schwingungszeit berechnet sich bei dem kleinen Ausschlagwinkel hinreichend genau nach der bekannten Formel: $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, worin $\pi = 3,1415926$ die Ludolphine, $l = 100$ die Pendellänge und $g = 32,696$ die Beschleunigung der Schwere, zu: $t = 5'',494176$ oder circa $5\frac{1}{2}$ Sekunden. Die Zeit einer Hin- und Herschwingung oder einer Doppelschwingung beträgt demnach: $2t = 10'',988352$ oder circa 11 Sekunden. Auf eine Zeitstunde kommen also $n = \frac{3600}{5,494176} = 655,2393$ oder circa 655 einfache oder

327,6196 oder circa $327\frac{1}{2}$ Doppelschwingungen und auf eine Minute Zeit $\frac{655,2393}{60} = 10,92065$ oder circa 11 einfache und 5,46032 oder circa $5\frac{1}{2}$ Doppelschwingungen.

Da nun, wie oben angegeben worden ist, die Zeit, welche hier einer Abweichung von 1° entspricht, $0^h 5' 25'',9 = 325,9002$ Sternzeit beträgt, so kommen auf den Abweichungswinkel von 1° : $\frac{325,9002}{5,46032} = 59,699$ oder circa 60 einfache oder 29,8495 oder circa 30 Doppelschwingungen; und damit ist man nun auch im Stande, bei dem wirklichen Versuch die Abweichung zu bestimmen, ohne die Uhr beobachten zu müssen. Denn, anstatt an der Uhr die Zeit abzulesen, hat man jetzt nur die Schwingungen des Pendels zu zählen und man wird finden, dass nach je 60 einfachen oder 30 Doppelschwingungen die Abweichung der Schwingungsebene hier wieder um 1° zugenommen haben wird. *)

Den Ausschlagwinkel $BAC = \gamma$, Fig. 20, findet man mittelst der Gleichung: $\cos \gamma = \frac{\overline{EA}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{BA} - \overline{BE}}{\overline{AC}} = \frac{100 - 0,125}{100} = \frac{99,875}{100} = 0,99875$ zu: $\gamma = 2^\circ 51' 54''$. Das Pendel kann daher jedenfalls noch als *isochron* angesehen werden. Wegen dem Widerstand der Luft und der Reibung am Aufhängepunkt werden die Schwingungen nach und nach zwar immer kleiner, aber die Schwingungszeit bleibt sich gleich.

Im Anfang der Bewegung ist die *Geschwindigkeit*, mit welcher die Kugel im tiefsten Punkt ankömmt, $v =$

*) Bei den Versuchen, die ich mit dem Pendel wirklich anstellte, habe ich diese, wie die übrigen Rechnungsergebnisse vollkommen bestätigt gefunden.

$\sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 32,696 \cdot 0,125} = 2',85902$. Die *lebendige Kraft* oder *Wirkungsfähigkeit*, die in ihr während des Herabschwingens entwickelt wird, ist demnach, da die Masse $M = \frac{G}{g}$ und das Pendelgewicht $G = 60 \text{ \&}$, $W = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \frac{G}{g} v^2 = Gh = 60 \cdot 0,125 = 7,5$ Fuss-Pfund.

Nachdem die Kugel ihre Schwingungen eine Stunde lang fortgesetzt, beobachtete ich die Weite der Schwingungen nur noch zu circa 7 Fuss, welcher die Pfeilhöhe $BE = h = \frac{3,5^2}{100} = 0',1225$, also die Geschwindigkeit: $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 32,696 \cdot 0,1225} = 2',830286$ und die Wirkungsfähigkeit einer Herabschwingung: $W = Gh = 60 \cdot 0,1225 = 7,35$ Fuss-Pfund entspricht.

Der *Unterschied* von $7,5 - 7,35 = 0,15$ Fuss-Pfund der Wirkungsfähigkeit wurde also während einer Stunde oder 655 einfachen Schwingungen durch die *Reibung am Aufhängepunkt* und den *Widerstand der Luft* aufgezehrt. Auf eine Schwingung kömmt demnach durchschnittlich: $\frac{0,15}{655} = 0,000229008$, oder circa $\frac{1}{4367}$ Fuss-Pfund *Verlust an Wirkung*, welche, die mittlere Geschwindigkeit zu: $v = 2,844653$ angenommen, einem auf die Kugel *reducirten Widerstand* von: $R = \frac{0,000229008}{2,844653} = 0,000080505$ oder circa $\frac{1}{12500}$ Pfund oder etwa $\frac{1}{100}$ Quentchen entspricht.

Die Abweichung s der Schwingungsebene nach einer Hin- und Herschwingung, in Bogentheilen des äussersten, 10 Fuss weiten Theilkreises der Skalenplatte ausgedrückt, findet man, da die Sehne des Bogens von 1° die Länge von $\frac{2r\pi}{360} = \frac{2 \cdot 5 \cdot \pi}{360} = 0',087266$ oder $8''',7266$ beträgt und

die Anzahl der zugehörigen Doppelschwingungen nach Obigem = 29,84462 ist, zu: $s = \frac{8,7266}{29,84462} = 0'',29240$ oder nicht ganz $\frac{1}{3}$ Linie (genauer $\frac{2}{7}$ Linie) oder 1 mm, also noch eine deutlich wahrnehmbare Grösse — und in der That kann man an meinem Apparate bei scharfer Beobachtung die Abweichung der Schwingungsebene schon nach der ersten Doppelschwingung wahrnehmen.

Was endlich das *Verfahren* betrifft, welches ich bei der wirklichen Ausführung des Versuches einhalte, so kann ich füglich auf das nachfolgende Experiment verweisen und erlaube mir daher nur noch, eine Bemerkung über die Manipulationen beizufügen, die ich anwende, um die Kugel beim Beginne der Schwingungen von jeder *seitlichen* Bewegung möglichst zu bewahren.

Nachdem nämlich die Skalenplatte mit dem Zapfen in das genau abgesenkelte und ausgemeiselte Zapfenloch eingesetzt, die Kugel an den Draht gehängt ist und ich mich nach erfolgter Ruhelage der letztern überzeugt habe, dass die Spitze des Stiftes noch exakt über dem Centrum C der Platte (Fig. 11) einspielt, bringe ich die Kugel sachte in eine Seitenstellung und zwar nach derjenigen Richtung, *) nach welcher dieselbe hierauf zu schwingen

*) Ich wählte hiezu aus lokalen Gründen die Längenrichtung des gegen Osten gekehrten Mittelgangs XY (Fig. 11), experimentirte übrigens auch nach der Querrichtung des Kreuzganges ZZ und fand das Resultat der scheinbaren Abweichung für beide Richtungen dasselbe, wenigstens konnte ich durchaus keinen Unterschied wahrnehmen.

Die Beobachtungen einiger Experimentatoren, welche, wie Dufour, Wartmann und Marignac (s. Compt. rend. XXXIII. 13), sowie Morren (s. Compt. rend. XXXIII. 62), in der Richtung des Meridians eine stärkere Azimuthalb Bewegung der

beginnen soll, und so weit seitlich als die Schwingungen anfangs werden sollen, und lasse sie in dieser erhobenen Lage mittelst eines umschlungenen, gut gedrehten, starken Seidenfadens*) TU (Fig. 10 und 11), welchen ich an einem entgegengesetzten, in der Ebene des Pendelfadens ff und des als Ausgangslinie angenommenen Durchmessers AB des Theilkreises (Fig. 11) liegenden festen Punkt (im vorliegenden Fall an einem Punkt U des Mittelgitters P Q, welches das Langhaus V und Chör W von einander trennt) von einem Gehülfen befestigen lasse, wieder zur Ruhe kommen. Ist diese vollkommen eingetreten und die Skalenplatte mit dem mittlern Durchmesser AB in die Ebene des Pendeldrahtes ff und Seidenfadens TU richtig eingestellt, was von Aug mittelst Deckung hinreichend genau zu erlangen ist, so brenne ich, wie es auch Foucault gethan, den Seidenfaden bei α (in der Nähe der Schlinge T) behutsam durch, so dass die Kugel, einzig von der Erdschwere in Anspruch genommen, genau längs dem mit Null bezeichneten Durchmesser AB zu schwingen beginnt.

Gelingt es, alle Seitenbewegungen, die etwa beim Abbrennen des Seidenfadens und durch ungleiche Luftströmungen in der Umgebung des Pendels entstehen

Schwingungsebene als in der darauf senkrechten Richtung gefunden haben wollen, oder die, wie Zantedeschi (s. Inst. 1852. 169), das Gegentheil berichten, oder die, wie Oliveira (s. Compt. rend. XXXIII. 582) von mittlern Schwingungsrichtungen, in welchen das Pendel beharre, sprechen, müssen daher wohl in unbeachtet gebliebenen zufälligen Störungen ihre Erklärung finden.

*) Dieser Faden muss wenigstens so stark sein, dass er eine Kraft von $K = G \sin \gamma = 60 \cdot \sin 2^\circ 51' 54'' = 2,9990 \text{ } \mathfrak{G}$ also circa 3 \mathfrak{G} auszuhalten im Stande ist. Ich wählte zur Sicherheit einen Faden, der gut 5 \mathfrak{G} aushält.

könnten, zu beseitigen, so werden auch die nachfolgenden Schwingungen des Pendels sich genau *diametral* auf dem unterlegten Theilkreis projiciren und die Spitze der Kugel wird somit fortwährend auf ihren Excursionen durch das Centrum C des Theilkreises gehen, und die Grösse der Winkel ACA', ACA'' etc. etc. (Fig. 11), welche die horizontale Projektion der Schwingungsebene in den aufeinanderfolgenden Zeitpunkten mit dem Durchmesser AB, der anfangs mit ihr zusammenfiel, nach und nach bildet, wird genau mit dem oben berechneten Werthe des Abweichungswinkels übereinstimmen. Gelingt diess aber nicht, so wird die Schwingungsrichtung, anstatt *diametral* zu bleiben, nach und nach *elliptisch* werden und zwar wird die Ellipticität um so grösser ausfallen, je grösser die erwähnten störenden Einflüsse und je weiter die anfänglichen Schwingungen sind. Die Beobachtung wird dann um so unzuverlässiger, als die scheinbare Abweichung überhaupt nicht mehr scharf wahrgenommen werden kann und die grosse Axe der Ellipse zudem im Sinne der schwingenden Bewegung mit herumgeführt wird.

Mehrere englische Mathematiker, zuerst Galbraith und Haugthon, dann Airy und Combe und Thäcker*) haben diesen störenden Einfluss auszumitteln gesucht und gefunden, dass, wenn *l* die Länge des Pendels, *a* die grosse und *b* die kleine Achse der elliptischen Bahn, die Anzahl *n* von Graden, welche die Absidenlinie im Sinne der schwingenden Bewegung in einer Stunde zurücklegt, ausgedrückt wird durch die Formel:

$$n = \frac{135 \cdot 1800}{\pi} \cdot \frac{a b}{l^2} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

*) S. Philos. Mag. [4] II.

Hiernach erhalte ich für das Pendel, mit dem ich experimentire, bei einer Ellipse, deren grosse Achse $a = 10'$ und deren kleine Achse $b = 1''$, $n = 0^{\circ},25290$ oder etwas über $\frac{1}{4}$ Grad, und die entsprechende Sehne s des äussersten Theilkreises, da dieselbe nach Früherm für 1° des Abweichungswinkels $8'' ,7266$ beträgt, $s = 0,2529 \cdot 8,7266 = 2'' ,206957$ oder circa $2\frac{1}{5}$ Linien. Bei derselben grossen Achse, aber bei einer 10mal grössern kleinen Achse, d. h. für $b = 1''$, werden diese Werthe ebenfalls 10mal grösser und zwar: $n = 2,529$ oder circa $2\frac{1}{2}$ Grad und $s = 2'' ,206957$ oder circa $2\frac{1}{5}$ Zoll.

Uebrigens haben Marignac und Lyman darauf aufmerksam gemacht, dass die Schwingungen, auch abgesehen von allen zufälligen Störungen, die freilich *nie* ganz beseitigt werden können, nach und nach in elliptische übergehen müssen. Der Grund davon liegt in der Umdrehung der Erde selbst. Denn hebt man das Pendel in der Richtung des Meridians, so nimmt es, in dieser Lage festgehalten, bei der Rotation der Erde eine Geschwindigkeit an, die mit derjenigen des unter der Ruhelage befindlichen Mittelpunktes des Theilkreises parallel, aber grösser oder kleiner als diese ist, je nachdem das Pendel südlich oder nördlich gehoben wurde. Hebt man das Pendel dagegen in einer darauf senkrechten Richtung, so hat es wohl anfangs dieselbe Geschwindigkeit mit dem Mittelpunkt des Theilkreises, allein die Richtung derselben weicht, wie wir gesehen haben, bei der Rotation in Folge der Schwere aus derjenigen des Vertikals ab.

Der daherige Einfluss ist jedoch so gering, dass er für sich allein kaum bemerkbar ist und daher füglich vernachlässigt werden kann.

Lyman theilt zur Berechnung der kleinen Achse b einer auf diese Weise entstehenden Ellipse eine von Stanley entwickelte Formel mit, *) wornach:

$$b = \frac{at}{216000} \cdot \sin \beta,$$

wenn a die halbe Sehne des Schwingungsbogens, t die Zeit einer Halbschwingung und β die geographische Breite des Orts ausdrückt. Für die oben angegebenen Daten des in der hiesigen Domkirche angebrachten Pendels finde ich hiernach:

$$b = \frac{5 \cdot 5,494176 \cdot 0,7364218}{216000} = 0',0000936646$$

oder nicht ganz $\frac{1}{100}$ Linie. **)

Damit glaube ich den *ersten* Theil meiner Aufgabe als erledigt ansehen zu dürfen und indem ich, zum *praktischen* Theile desselben mich wendend, Ihre Nachsicht

*) Sillim. Am. J. [2] XII. 406.

**) Bei dieser Gelegenheit mag zugleich auf einen Fehler aufmerksam gemacht werden, der in verschiedenen Schriften, welche diesen Gegenstand behandeln, zu treffen ist.

Es wird nämlich daselbst angegeben, dass für das Pendel, das zur Zeit im Pantheon in Paris mit einer Pendellänge von 220' und einer Schwingungsweite von 20' angebracht war, die kleine Achse b nicht ganz $\frac{1}{29}$ Zoll betragen habe, während sie, genau berechnet, nur circa $\frac{1}{23}$ Linie beträgt.

Ich finde nämlich, da für Paris $\beta = 48^\circ 50' 13''$, also $\sin \beta = 0,75284$ und $t = \pi \sqrt{\frac{220}{32,696}} = 8'',1498$, $b = \frac{10 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 8,1498 \cdot 0,75284}{216000} = 0''',040903$, also etwas über $\frac{1}{23}$ Linie. Nimmt man aber 10theiliges Mass, so erhält man bloss: $b = 0''',028405$ oder circa $\frac{1}{33}$ Linie; und, angenommen, a bedeute nicht die halbe, sondern die ganze Sehne des Schwingungsbogens, so wird b doch erst circa $\frac{1}{12}$ Linie.

nochmals für mich in Anspruch nehme, lade ich Sie, Tit.! nun ein, sich mit mir in die Kathedralkirche zu begeben, wo ich den Versuch wirklich ausführen werde und Sie sich von der Wahrheit des Vorgetragenen durch eigene Anschauung überzeugen mögen. —

III.

Wirkliche Ausführung des Foucault'schen Pendelversuchs in der Domkirche zu St. Gallen.

Wenn ich's recht betrachten will,
Und es ernst gewahre,
Steht vielleicht das Alles still,
Und ich selber fahre.

Goethe.

Da im vorigen Abschnitt Alles, was sich auf die wirkliche Ausführung des in Rede stehenden Versuchs bezieht, bereits angegeben worden ist, so mag hier nur noch beigefügt werden, dass das Resultat des in der Domkirche dahier in Anwesenheit der verehrlichen Mitglieder der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft und anderer ehrenwerther Gäste *) unmittelbar nach dem vorausgegangenen Vortrag wirklich ausgeführten Pendelversuches ganz befriedigend ausfiel. Die zum Voraus berechnete, oben angegebene Zeit, sowie die Anzahl der Schwingungen, welche der scheinbaren Abweichung von je einem Grad

*) Im Ganzen mögen dem Versuch etwa 150 Personen beigewohnt haben.

des Theilkreises entsprechen, traf mit der beobachteten ganz genau überein, wenigstens konnte man keinen bemerkbaren Unterschied wahrnehmen, sowie auch die Schwingungen des Pendels im Anfang schön diametral erfolgten, und erst nach Verfluss von etwa einer halben Stunde, als Einzelne der Anwesenden sich zurückzuziehen anfangen, wodurch der Gleichgewichtszustand der Luft natürlich gestört wurde, begannen dieselben schwach elliptisch zu werden. —

Bei einigen andern Versuchen, welche ich später für die Schüler der Kantonsschule und des städtischen Gymnasiums, der Industrie- und Realschule vornahm, konnte man sogar nach einer Stunde noch kaum elliptische Bewegungen bemerken. Freilich habe ich dabei auch alle nur mögliche Vorsicht beim Abbrennen des Seidenfadens sowohl als in Bezug auf die Luftströmungen während des Versuchs angewendet. —

Diese Versuche dürfen daher wohl den gelungensten Versuchen, welche bis jetzt über diesen höchst interessanten Gegenstand angestellt worden sind,*) beigezählt werden und können mit als Beleg für die Richtigkeit des zuerst von Foucault auf diesem Wege gelieferten Beweises von der Achsendrehung der Erde gelten. Denn ich glaube mich nicht zu täuschen, wenn ich sage, dass sich wohl Alle, welche die Versuche in der St. Gallus-Kirche mitansahen, nicht nur von der dadurch constatirten Thatsache der täglichen Bewegung der Erde um ihre Achse aus eigener Anschauung überzeugt haben werden, sondern dass auch schwerlich Je-

*) Siehe die zweite Anmerkung auf S. 131.

mand aus ihnen dieselbe verlassen haben wird, ohne von der Grösse und Allmacht des Schöpfers und Erhalters dieser bewunderungswürdigen Naturerscheinung wie der ganzen Weltordnung ergriffen worden zu sein.

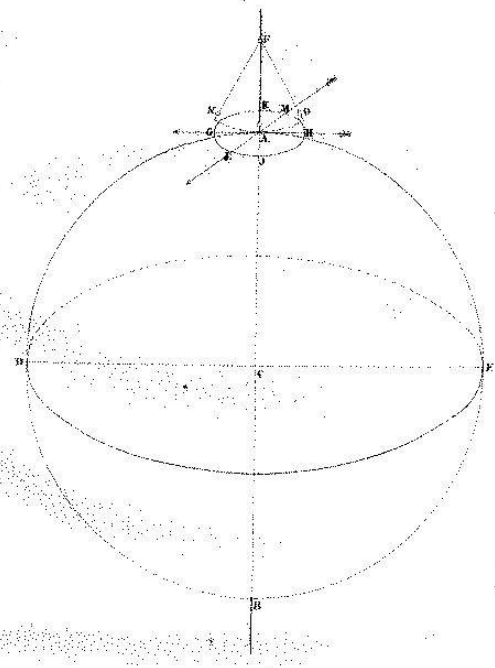


Fig. 1.

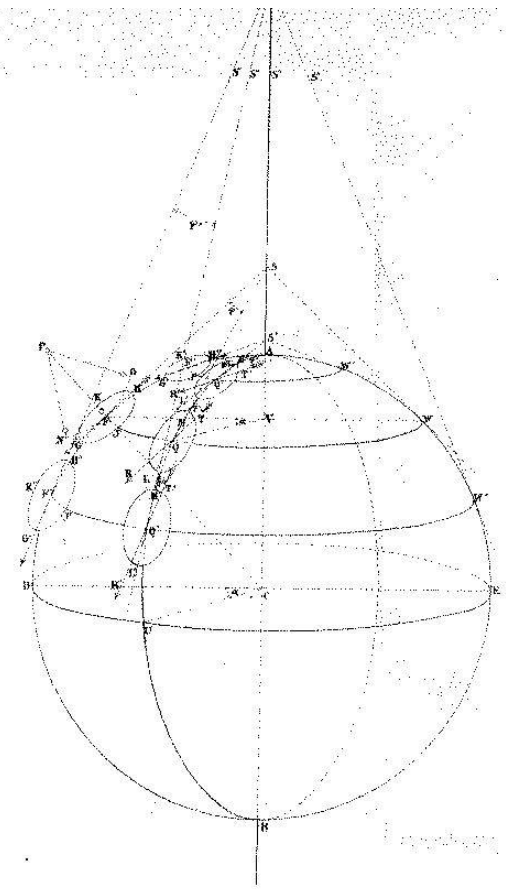


Fig. 2.

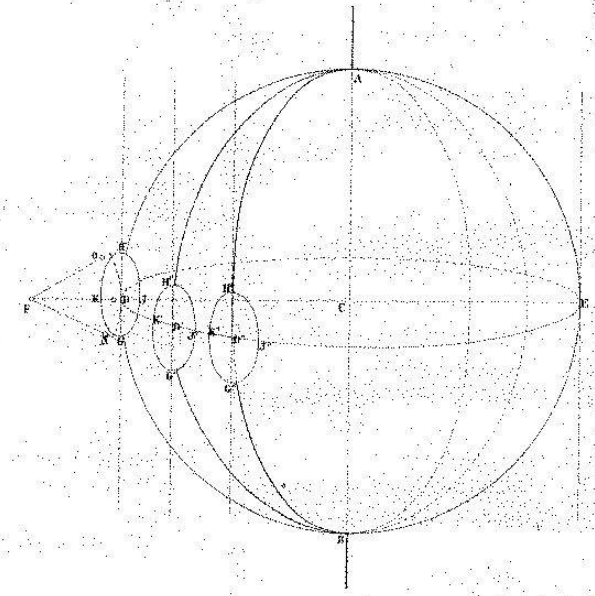


Fig. 3.

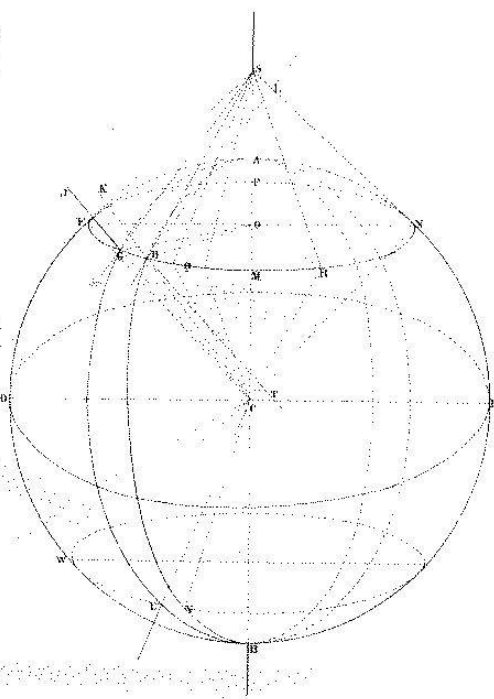


Fig. 4.

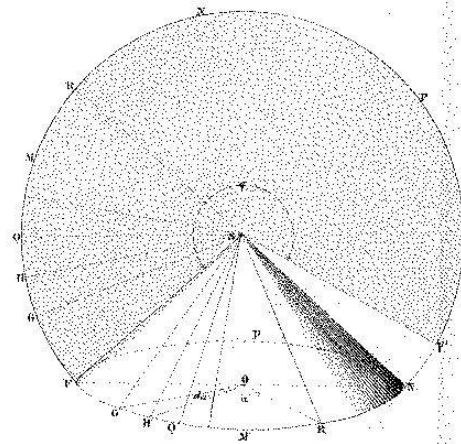


Fig. 5.

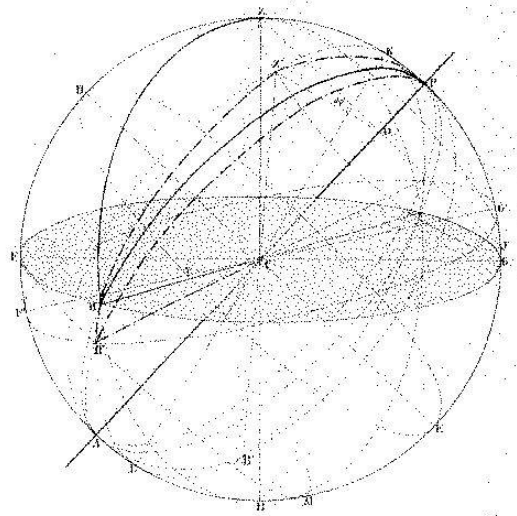


Fig. 6.

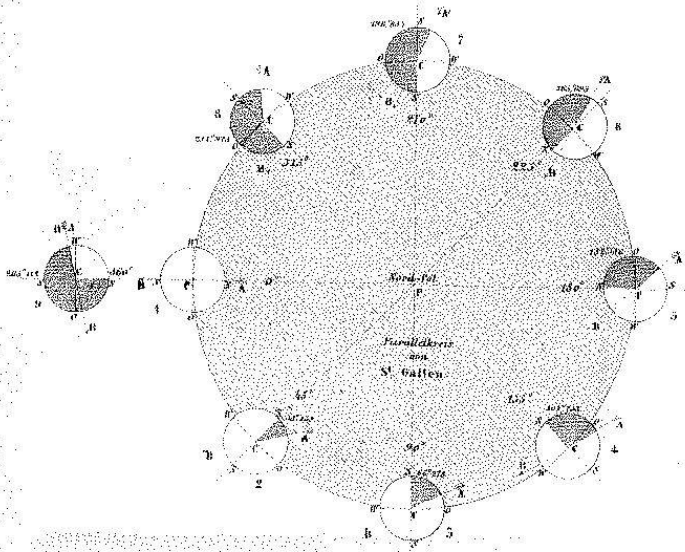


Fig. 7.

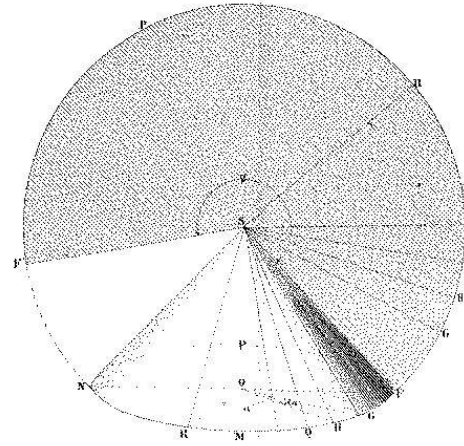


Fig. 8.

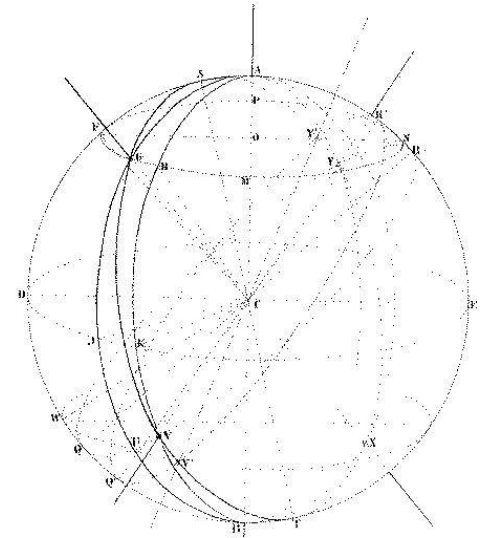


Fig. 9.

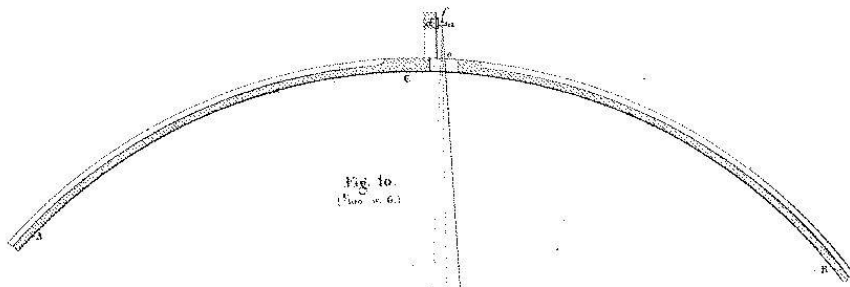


Fig. 10.
(1/200 w. G.)

Schnitt nach XY in Fig. 10.

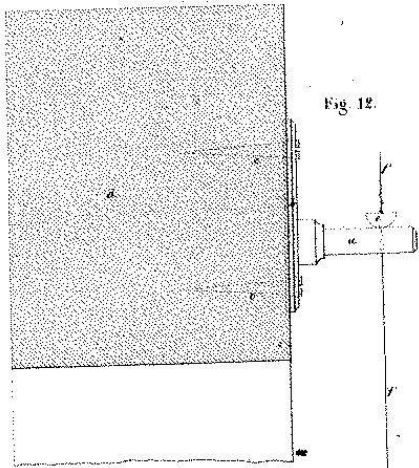


Fig. 12.

Fig. 15.
(1/2 w. G.)

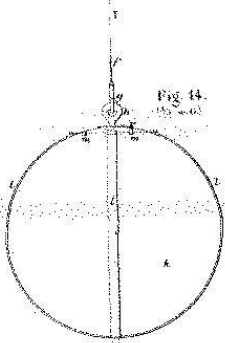
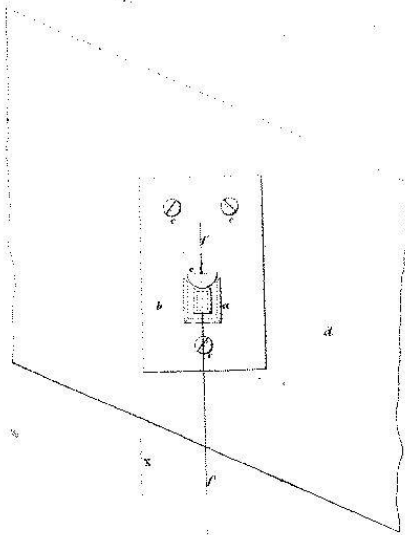
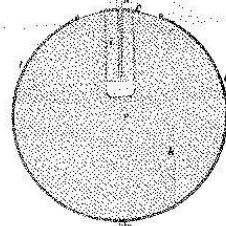


Fig. 14.
(1/2 w. G.)

Fig. 13.



Schnitt nach XY in Fig. 11.

Fig. 19.

Schnitt nach XY in Fig. 18.



Fig. 18.

(1/200 w. G.)

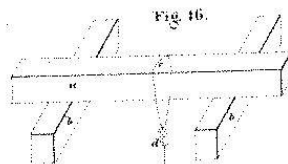
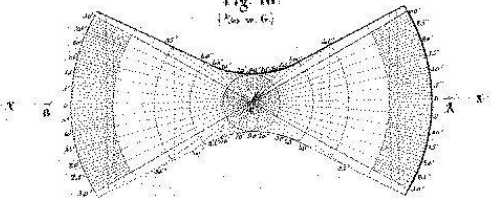


Fig. 16.

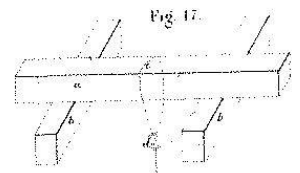


Fig. 17.

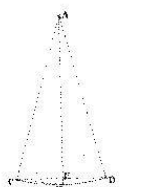
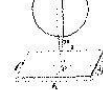


Fig. 20.



Schnitt nach XY in Fig. 11.

Fig. H.

