Ueber Foucaults Pendelversuch.

Der französische Physiker Foucault stellte im Jahre 1851 zuerst das Experiment an, durch die Ablenkung der Schwingungsebene eines frei schwingenden Pendels die Drehung der Erde um ihre Achse sichtbar zu machen. Er bediente sich Anfangs eines nur einige Meter langen Pendels, dann aber bei einem öffentlichen Versuche im Meridiansaale der Sternwarte zu Paris eines 11 Meter, d. h. ungefähr 35 Fuß langen. Später wurde dieser schöne Versuch noch oft angestellt, im großen Maßstabe z. B. vom Oberlehrer Dr. Garthe in Cöln, welcher ein gegen 150 Fuß langes Pendel im dortigen Dome schwingen ließ und durch seine Beobachtungen das die Erscheinung bedingende Gesetz, daß nämlich die Ablenkung der Schwingungsebene im Allgemeinen dem sinus der geographischen Breite des Beobachtungsortes proportional ist, mit großer Genauigkeit bestätigt fand.

So viel Interesse nun auch dieser directe Beweis für die Achsendrehung der Erde erregt hat, so ist er dennoch in den höheren Lehranstalten nicht oft angestellt worden, und zwar hauptsächlich deshalb, weil bei dem gewöhnlichen Verfahren ein ziemlich langes Pendel und also ein entsprechend hohes Local zur Ausführung des Experiments erforderlich ist, welches sich in den Schulen nur selten vorfindet. Während nämlich am Pole die Ablenkung der Schwingungsebene in 24 Stunden 360°, also in 1 Stunde 15° beträgt, reducirt sich dieselbe in unsern Breiten auf 11° bis 12°, z. B. in Berlin auf 11° 53′ 24″ stündlich. Da nun ferner die Schwingungsbogen des Pendels im Verhältniß zur Länge desselben eine gewisse Grenze nicht überschreiten dürfen und nach dem Beginn der Bewegung wegen des Luftwiderstandes und wegen der Reibung abnehmen, also der Radius des Theilkreises, an welchem man die Ablenkung der Schwingungsebene beobachtet, immer kleiner wird, so ist es nicht möglich, diese Ablenkung deutlich zu beobachten, wenn der anfängliche Schwingungsbogen, d. h. die Länge des Pendels nicht eine hinreichende Größe hat, etwa von 20 — 30 Fuß, wie gewöhnlich angegeben wird. Geschlossene Räume von solcher Höhe sind aber nur selten vorhanden.

Aus diesem Grunde suchte ich bald nach dem Bekanntwerden von Foucaults Entdeckung seinen Versuch dahin abzuändern und zugleich zu verallgemeinern, daß ich statt der Schwingungsebene des

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des Pendels die Rotationsebene eines Electromagnetstabes anwandte, welcher um eine in einem beweglichen Rahmen befindliche Achse zwischen den Polen zweier Stahlmagnete oder Electromagnete rotirte.*) Dadurch daß dieser Rahmen unter einem beliebigen Winkel gegen die Horizontalebene gestellt werden konnte, sollte es möglich gemacht werden, die Erscheinung so zu beobachten, wie sie unter einer beliebigen Breite und am Pole selbst vor sich geht. Aber weder der von mir bei einem Berliner Mechanikus bestellte Apparat, noch andere von geschickten Künstlern, z. B. von dem durch seinen Inductionsapparat bekannten Pariser Mechanikus Ruhmkorff ausgeführte entsprachen ihrem Zwecke, weil es nicht möglich war, die zur regelmäßigen Bewegung erforderliche gleichmäßige Vertheilung der Masse des Electromagneten zu beiden Seiten der Rotationsachse herzustellen.**) Dasselbe Prinzip der freien Achse, welches dem erwähnten Apparate zu Grunde liegt, hat später Foucault bei dem von ihm construirten Gyroscop in Anwendung gebracht.***)

Durch wiederholte Versuche, das Foucault'sche Experiment mit einem verhältnißmäßig kurzen Pendel anzustellen, bin ich zu einigen Resultaten gelangt, die ich im Folgenden mittheilen will.

Zunächst habe ich ein freies Pendel construirt, welches durch Electromagnetismus beliebig lange Zeit in Bewegung erhalten werden kann und dessen Schwingungsbogen nicht unter eine gewisse Grenze abnehmen. Schon der französische Physiker Franchot hat diese Aufgabe gelöst, jedoch in einer andern Weise, indem er nämlich den Aufhängepunkt des Pendels durch einen Electromagneten in senkrechter Richtung oscilliren läßt.****) Aber diese Methode erscheint aus nahe liegenden Gründen für den Foucault'schen Versuch ungeeignet. Obgleich meine Auflösung dieser Aufgabe für den Pendelversuch in der Schule weniger Werth hat, weil sie etwas umständlich ist, so erlaube ich mir doch dieselbe hier mitzutheilen, da sie eine interessante Aufgabe aus der angewandten Physik löst, von welcher, so viel mir bekannt ist, noch keine Auflösung außer der eben erwähnten von Franchot veröffentlicht ist.*****) Mein Apparat besteht aus vier Haupttheilen: nämlich aus dem freien Pendel, dem Electromagneten, dem galvanischen Elemente und aus einem den galvanischen Strom in bestimmten Zeitintervallen schließenden Uhrwerke. Die folgende kurze Beschreibung dieser Vorrichtungen wird hoffentlich auch ohne Zeichnung verständlich sein.

Das Pendel. — Anfangs wandte ich als Pendelgewicht eine massive Messingkugel von drei Zoll im Durchmesser an, welche diametral durchbohrt war, um einen Cylinderstab von weichem Eisen aufzunehmen. An dem oberen Ende dieses Stabes konnte durch eine anzuschraubende Hülse der Pendeldrath befestigt werden. Aber die Schwingungen dieses Pendels waren nicht regelmäßig, sondern wurden bald stark elliptisch, offenbar weil der geometrische Mittelpunkt der Kugel nicht in die Achse des Cylinders, also nicht in die Richtung des Pendeldraths fiel, indem die gegossene Kugel keine gleichmäßige Dichtigkeit hatte. Auch nahmen die Schwingungsbogen wegen des geringen specifischen Gewichts der Kugel sehr schnell ab. Dieser Umstand veranlaßte

*) S. die Beschreibung dieses Apparats in Poggendorffs Annalen, Band 84. S. 191.
**) S. Dr. Garthe: Foucaults Versuch u. s. w. Cöln 1852.
***) S. Fortschritte der Physik. VIII. S. 93.
****) S. Fortschr. d. Physik. VI. S. 142.
*****) Auch Foucault soll ein freies Pendel durch Electromagnetismus in Bewegung erhalten haben, ohne jedoch seine Methode bekannt zu machen. S. Fortschr. d. Physik. XI. S. 81.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mich, ein anderes Pendelgewicht zu wählen, nämlich einen hohlen mit Quecksilber gefüllten Cylinder aus weichem Eisen, oben und unten mit einem kegelförmigen Ansatze versehen. Der Cylinder hat einen äußeren Durchmesser gleich der Höhe von 2 Zoll und eine Wanddicke von $\frac{1}{8}$ Zoll; die beiden Ansätze sind $\frac{1}{2}$ Zoll hoch. Der obere Ansatz läßt sich anschrauben und ist axial durchbohrt, um den Pendeldrath aufzunehmen; während die Spitze des untern Ansatzes als Zeiger dient. Der Cylinder faßt etwa 2 Pfund Quecksilber, welches natürlich nicht chemisch rein zu sein braucht.

Dieser Cylinder hat wesentliche Vorzüge vor den eisernen oder mit Blei ausgegossenen messingenen Kugeln.*) Während sich nämlich bei diesen der geometrische Mittelpunkt wohl selten genau in der Richtung des Pendeldraths befindet, so daß leicht elliptische Schwingungen entstehen, läßt sich jener Cylinder mit solcher Genauigkeit herstellen, daß nach der Füllung mit dem homogenen Quecksilber der geometrische Mittelpunkt des Körpers wenn auch nicht genau in den Schwerpunkt, so doch, was die Hauptsache ist, in die Achse des Cylinders, also auch in die Richtung des Pendeldraths fällt. Zweitens ist dieser Cylinder den erwähnten Kugeln besonders wegen seines großen spezifischen Gewichts vorzuziehen, weil dadurch der Luftwiderstand und die aus demselben entspringenden Störungen verringert werden. Vielfache Beobachtungen haben gezeigt, daß ein Pendel mit diesem Cylinder sehr regelmäßige Schwingungen macht, auch wenn es nur eine geringe Länge hat. Als Pendeldrath habe ich gewöhnlich einen stählernen benutzt.

Was die Aufhängung des Pendels betrifft, so habe ich die mittels eines Bügels bewährt gefunden, welcher mit einer stählernen Spitze auf einer ebenfalls stählernen Pfanne schwebt; diese Pfanne ist an der hohlen Seite eines in die Zimmerdecke geschraubten Hakens befestigt.*)

Die vom Oberlehrer Dr. Garthe empfohlene Vorrichtung, welche nach dem Prinzip des Cardanischen Ringsystems construirt ist und für lange und schwere Pendel ihre Vorzüge haben mag,**) eignet sich nach meiner Erfahrung für kleinere Pendel weniger, weil die Reibung bei derselben groß ist und weil die Schwingungen des Pendels mit dieser Aufhängung sehr leicht elliptisch werden. Die von Foucault angewandte Methode, den Pendeldrath durch eine genau passende Oeffnung in einer Stahlplatte gehen zu lassen, habe ich nicht angewandt; sie hat nach Dr. Garthe's Erfahrungen den Nachtheil, daß der Pendeldrath durch die wiederholten Biegungen bald bricht.

Der Electromagnet besteht aus einem 4 Zoll langen und $1\frac{1}{2}$ Zoll dicken Cylinder von weichem Eisen, welcher oben mit einer konischen Spitze versehen und mit Drathwindungen umgeben ist. Er ist auf einem Brette befestigt und kann durch Stellschrauben genau senkrecht unter

---

*) Die Herstellung dieser Kugeln ist äußerst schwierig und doch wird gerade durch ihre genaue Construction das Gelingen des Pendelversuchs besonders bedingt. Die Angaben in Fricks physikalischer Technik (2. Aufl.; 1856) S. 164. über die Anfertigung einer eisernen Pendelkugel muß ich für ungenügend halten.

**) Fricks physik. Technik. S. 165. Diese Aufhängevorrichtung hat große Aehnlichkeit mit der von Prof. Hansen vorgeschlagenen. S. Fortschr. d. Ph. X. S. 67. und Poggendorffs Ann. XCII.

***) S. Dr. Garthes oben angeführte Schrift.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dem Cylinder des ruhenden Pendels aufgestellt werden. Zwei Klemmschrauben nehmen die Leitungsdräthe auf.

Ein kleines Grove'sches Element reicht hin, um die Bewegung des Pendels zu unterhalten.

Das Uhrwerk. Das Räderwerk desselben besteht aus einem Steigrade und einem Triebrade mit Schnurlauf. Die Pendelstange, aus leichtem Holze, etwa 6 Fuß lang, ist unten mit einer verstellbaren Linse versehen und an einer Schleife aufgehängt, deren Enden sich um einen drehbaren Cylinder aufwickeln lassen, so daß die Länge des Pendels während seiner Bewegung verändert werden kann. Am unteren Ende der Pendelstange ist senkrecht zur Schwingungsebene derselben ein metallener Stift befestigt, um welchen sich ein metallener Winkelhebel dreht, dessen Arme etwa $\frac{3}{4}$ Zoll lang sind und einen sehr spitzen Winkel bilden. Der eine Arm ist an seinem unteren Ende mit einer isolirenden Schicht von Schellack überzogen. Wenn das Uhrpendel schwingt, gleitet dieser Hebel während der Bewegung in der einen Hälfte der Amplitude auf einem amalgamirten Streifen von Messingblech, welcher an einem besonderen Gestelle befestigt ist und sich höher oder tiefer stellen läßt. Der Winkelhebel ist so gestellt, daß bei der aufsteigenden Bewegung des Pendels in der erwähnten Amplitudenhälfte der isolirte Hebelarm auf dem Messingstreifen gleitet, während bei der absteigenden Bewegung des Pendels der andere Hebelarm auf dem Streifen gleitet und denselben metallisch berührt. Der Stift ferner, um welchen sich der Hebel dreht, steht durch einen an der Pendelstange befestigten Drath mit der sogenannten Gabel und also durch die Achse derselben mit einer der beiden metallenen Seitenplatten des Uhrwerks in leitender Verbindung. An einer dieser Platten befindet sich eine Klemmschraube zur Aufnahme eines Leitungsdrathes.

Um nun mit diesem Apparate den Foucault'schen Versuch anzustellen, bringt man zunächst durch Verschieben der Linse den Gang des Uhrpendels in möglichst genaue Uebereinstimmung mit dem des freien Pendels; verbindet darauf durch Leitungsdräthe den einen Pol des galvanischen Elements mit dem Uhrwerk, den andern mit dem oben erwähnten Messingstreifen und schaltet in einen der Leitungsdräthe den Electromagneten ein, welcher unter dem freien in Ruhe befindlichen Pendel aufgestellt ist. Nachdem man auf bekannte Weise das freie Pendel in Schwingungen versetzt hat,*) läßt man das Pendel des Uhrwerks gleichzeitige Schwingungen machen. Jedes Mal nun, wenn das Pendel in der betreffenden Hälfte der Amplitude seine herabsteigende Bewegung macht und also der nicht isolirte Hebelarm auf dem Messingstreifen gleitet, wird der galvanische Strom geschlossen, und der Electromagnet wirkt anziehend auf den Eisencylinder des freien Pendels und ersetzt ihm den durch Reibung und Luftwiderstand erlittenen Verlust an Geschwindigkeit.

Auf diese Weise erhält das Pendel immer in der ersten Hälfte der nach derselben Seite gerichteten Amplitude einen Antrieb, welcher stärker oder schwächer gemacht werden kann, je nach dem man den galvanischen Strom stärker oder schwächer macht, oder den Messingstreifen, auf welchem der Hebel gleitet, länger oder kürzer nimmt oder endlich einen Messingstreifen von gegebener

*) Man befestigt nämlich das Pendel in der abgelenkten Lage durch einen mit einer Schleife versehenen feinen Faden und brennt denselben durch, nachdem das Pendel vollständig zur Ruhe gekommen ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Länge der Ruhelage des Uhrpendels mehr oder weniger nähert. Durch diese Modificationen ist man im Stande, den Schwingungsbogen des freien Pendels zu reguliren, so daß er nie unter eine bestimmte Grenze abnimmt, und folglich kann man auch die Ablenkung der Schwingungsebene an einer gehörig aufgestellten Kreistheilung beliebig lange zu beobachten. Als Theilung kann ein Kreissector von starkem Papier in Grade getheilt dienen, dessen Mittelpunkt in der Spitze des Electromagneten liegt.

Die Befürchtung, die ich Anfangs hegte, nämlich daß es schwierig sein würde, den Gang beider Pendel in genügender Uebereinstimmung zu erhalten, hat sich nicht bestätigt. Es ist leicht durch die oben angeführte Aufhänge-Vorrichtung (Schleife am Cylinder) das Uhrpendel während seiner Bewegung gehörig zu verlängern oder zu verkürzen und seinen Gang zu verlangsamen oder zu beschleunigen, wobei jedoch erforderlich ist, den Messingstreifen, auf welchem der Winkelhebel gleitet, etwas tiefer oder höher zu stellen. Auch ist zu bemerken, daß der Unterschied in der Schwingungszeit beider Pendel schon sehr bedeutend werden muß, um eine verzögernde statt der beschleunigenden Wirkung des Electromagneten zu verursachen.

Wenn nun auch diese Methode, den Foucault'schen Versuch mit einem kurzen Pendel anzustellen, nicht ohne Interesse ist, so ist sie doch, wie gesagt, umständlich und erfordert einen etwas complicirten Apparat.*)

Ich will daher noch eine andere Methode mittheilen, nämlich die mittels eines Fernohrs die Ablenkung der Schwingungsebene eines kurzen Pendels zu beobachten, welche ich wegen ihrer Einfachheit den Lehrern der Physik ganz besonders empfehlen kann. Ich bediene mich hierzu eines kleinen astronomischen Fernrohrs, zu einem Spiegel-Sextanten**) gehörig, von etwa siebenmaliger Vergrößerung, mit Fadenkreuz. Dasselbe läßt sich an einem 1 Fuß hohen Stative festschrauben und kann sowohl eine verticale als auch eine horizontale Bewegung erhalten, und zwar letztere durch eine Mikrometerschraube. Nachdem man das Pendel mittels der Schleife in der abgelenkten Lage befestigt hat, stellt man das Fernrohr in einer mehrere Fuß betragenden Entfernung vom Pendel auf, ungefähr in gleicher Höhe mit der Pendelspitze, und überdies so, daß der Pendeldrath, der Faden, welcher die Schleife hält, und der verticale Faden des Fadenkreuzes sich gegenseitig decken, also die anfängliche Schwingungsebene des Pendels durch den verticalen Faden des Fernrohrs geht.***) Läßt man nun das Pendel schwingen, so beschreibt die Spitze des Pendels durch das Fernrohr gesehen Anfangs eine gerade Linie, die mit dem verticalen Faden zusammenfällt, aber schon nach wenigen Schwingungen ablenkt und den Faden kreuzt, und zwar wegen der durch das astronomische Fernrohr bewirkten Umkehrung der Bilder in der Art, daß die Pendelspitze bei der vom Beobachter abwärts gerichteten Bewegung links, bei der Bewegung in entgegengesetzter Richtung rechts vom Verticalfaden abweicht.

---

*) Die Schließung des galvanischen Stromes könnte man zwar auch mittels eines Zeichengebers vom Morse'schen Telegraphen bewirken, was aber sehr unbequem wäre.

**) von Breithaupt in Cassel.

***) Stellt man das Ocular des Fernrohrs so ein, daß die Pendelspitze an dem einen Ende des Schwingungsbogens deutlich erscheint, so erscheint dieselbe am andern Endpunkte weniger deutlich: ein Umstand, welcher die Beobachtung nicht wesentlich beeinträchtigt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Gerade, welche die Pendelspitze Anfangs im Fernrohre beschreibt, geht zugleich nach und nach in eine etwas gekrümmte Linie über (Projection des Schwingungsbogens); und die Ablenkung, welche immer zunimmt, erscheint nach rechts (im Fernrohre) bedeutender als nach links, weil im ersten Fall das Pendel dem Beobachter näher ist als im zweiten.

Stellt man den Versuch in dieser Weise an, so hat die Erscheinung der so schnell zunehmenden Ablenkung etwas Ueberraschendes, und obgleich diese Methode nicht gestattet, das Gesetz der Ablenkung zu verfolgen, so ist sie doch für den Schulunterricht vollkommen ausreichend und ist leicht und mit sicherem Erfolge anzuwenden.*)

Schließlich bemerke ich noch, daß man mit einem Pendel von der beschriebenen Construktion den Versuch allenfalls auch ohne Fernrohr anstellen kann, da die Schwingungen desselben nur langsam abnehmen. In diesem Falle kann man noch, um die Ablenkung besser zu beobachten, an der Spitze des Pendels mit Schellack eine kurze Nadel befestigen, welche als Zeiger dient. —

A. Krüger.

---

*) Ich erlaube mir hier zu bemerken, daß die angeführten Apparate von dem geschickten Mechanikus Illner in Breslau ausgeführt sind, und daß das Pendel mit Cylinder Bügel und Haken gegen 4 Rtl. kostet. Der Preis eines kleinen Fernrohrs mit Holzstativ, wenn ein solches im physikalischen, Apparate nicht vorhanden sein sollte, beträgt etwa 7 Rtl.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf