Ueber Foucault's Experiment zum Beweise der Axendrehung der Erde.

Der Streit darüber, ob sich die Erde drehe oder nicht, ist längst entschieden, und wenn in jüngerer Zeit einige Querköpfe versucht haben, ihn wieder zu erneuern, so kann die Wissenschaft solche Anstrengungen füglich völlig unberücksichtigt lassen. Dass indess der Foucault'sche Versuch von allen Seiten mit solchem Eifer erfasst worden ist, zeigt uns, dass der Mensch zur vollkommnen Begründung einer innerlich begriffenen Wahrheit, doch gern noch seine Sinne zu Hülfe nimmt. Es lag zwar auch in dem Ueberschlag fallender Körper nach Osten ein hinreichend anschaulicher Beweis für die Axendrehung der Erde, doch ist derselbe nur von Eingeweihten gesehen worden, weil der dahin gehörige Versuch mühsam und durch viele Zuschauer leicht gestört ist, welche ohnehin durch den geringen Ausschlag wenig befriedigt sein würden, wenn sie nicht schon selbst feine physikalische Versuche angestellt haben. Dem gegenüber hat der Foucault'sche Versuch selbst für den Laien eine so handgreifliche Anschaulichkeit, dass es wohl wünschenswerth wäre, die Sache für den Gymnasialunterricht in einer tiefer eingehenden Weise erörtern zu können, als es durch eine blosse Mittheilung der Thatsachen geschieht. Man erreicht diesen Zweck durch einen in dem Kreise der mathematischen Kenntnisse eines Gymnasiasten liegenden, aus den Versuchen abgeleiteten streng geführten Beweis. Zwar ist in der von Garthe veröffentlichten Schrift neben dem Beweise, der seine Hülfsmittel aus der höheren Analysis nimmt, auch ein elementarer Beweis gegeben worden, aber derselbe ist zu verwickelt und gewährt so wenig eine klare und leichte Uebersicht über das Sachverhältniss, dass ein neuer einfacherer Beweis immer noch wünschenswerth bleibt. Ich versuche, im Folgenden einen solchen zu geben, bin aber dabei genöthigt, vom Pendel ganz abzugehen, weil die Handhabung desselben unbequem ist und weil seiner Bewegung die Stätigkeit fehlt.

Als richtig und durch die Erfahrung begründet wird der Satz angenommen, dass ein Körper den Zustand seiner Bewegung nicht selbstthätig ändert, das bekannte Gesetz von der Trägheit oder dem Beharrungsvermögen der Körper. Es ist gleichgültig, ob man diesen Zustand der unveränderten Bewegung durch die Schwingungen eines Pendels oder durch die Umdrehungen eines Schwungrades herbeiführt. Ich entscheide mich für das Letztere. Dass dies keine neue Idee ist, weiss ich wohl, denn theils finde ich dieselbe schon in der erwähnten Garthe'schen Schrift angeführt, theils steht in No. 627 der Leipziger Illustrirten Zeitung ein Instrument der Art abgebildet und beschrieben, welches mit dem Namen Gyrotrop bezeichnet ist, und endlich hat Magnus in Poggendorff's Annalen Band 91 eine ähnliche Vorrichtung bekannt gemacht, welche er mit dem

Namen **Polytrop** belegt. Nun ist aber das von Garthe beschriebene **Geostrophometer** sehr unbequem in seiner Anwendung, von dem **Gyrotrop** der Illustrirten Zeitung kann ich trotz der Zeichnung und Beschreibung keine klare Vorstellung gewinnen, und das Polytrop steht, so weit ich dies aus einer mir zugesandten Zeichnung ersehen kann, in keiner unmittelbaren Beziehung zu Messungen über die Grösse der Axendrehung der Erde in einer gegebenen Zeit. Ich glaube, dass das neue, von mir vorzuschlagende Instrument in allen seinen Theilen theoretisch klar zu begreifen und praktisch ohne grosse Schwierigkeit auszuführen ist, und lasse daher zunächst die Beschreibung desselben folgen, indem ich bemerke, dass ich eine solche schon einmal ganz kurz in „Jahns Unterhaltungen" Jahrgang 1855 No. 12 gegeben habe, aber fürchten muss, ohne beigegebene Figur nicht hinreichend verstanden zu sein; wenigstens glaubte ich, dies aus der in No. 16 enthaltenen Entgegnung schliessen zu dürfen.

In Fig. 1 sei abcd ein Rahmen, welcher vertical aufgestellt werden kann. Derselbe trägt in e und f einen zweiten innerhalb des ersten beweglichen Rahmen, dessen eine Axe bei e verlängert ist und einen Zeiger trägt, welcher auf eine über der Kante ab angebrachte Kreistheilung weist. Der zweite Rahmen trägt ein Schwungrad kl, welches an ihm durch die Zapfen g und h befestigt ist. Dieses Schwungrad wird durch die Spannung einer aufgezogenen Feder bei n in Bewegung gesetzt. Die Drehungsvorrichtung ist nur durch zwei Räder angedeutet, um die Zeichnung nicht unnöthig zu verwirren. So möchte das Instrument als fertig betrachtet werden können, doch wird es, um für alle Fälle nichts unerledigt zu lassen, wünschenswerth sein, dass man es mit einer Einrichtung versehe, durch die man seiner Axe ef eine beliebige Lage geben kann, was zu erreichen sein wird, wenn man es um den Mittelpunkt der Kreisscheibe o zu drehen im Stande ist, auf deren Gradeintheilung der am Fusse befestigte Zeiger p weist. Für den praktischen Gebrauch reicht es aus, wie im Folgenden gezeigt werden soll, wenn nur die bei b, c und d angedeuteten Füsse vorhanden sind, auf denen es horizontal oder vertical aufgestellt werden kann. Es versteht sich von selbst, dass das Ganze mit einer schützenden Hülle versehen sein muss, welche am besten aus einem viereckigen Kasten besteht, von welchem zwei Ecksäulen die Stäbe ad und bc sind, dessen vordere und hintere Ecksäule aber in der Figur fehlt. Die Zwischenwände sind von Glas und eine derselben kann heraus genommen werden, um die Triebfeder aufzuziehen. Oben und unten ist der Kasten verschlossen.

Das bisher gebrauchte Pendel hat das Unbequeme, dass die Axe der scheinbaren Umdrehung seiner Schwingungsebene nur mit dem verlängerten Erdhalbmesser zusammen fallen kann, wogegen es bei dem vorgeschlagenen Instrumente frei steht, dieser Umdrehungsaxe jede beliebige Lage zu geben.

Um im Folgenden Kürze und Klarheit des Ausdrucks zu verbinden, werde ich durch **Drehung** die Bewegung des Schwungrades um seine Axe gh und durch **Wendung** seine Bewegung um die Axe ef bezeichnen, demgemäss nenne ich also gh die **Drehungs-**, ef die **Wendungsaxe**. Die Drehung wird durch die Feder hervorgebracht, die Wendung ist in jedem Falle eine scheinbare Bewegung, veranlasst durch die Axendrehung der Erde, und wird auf der oberen Kreisscheibe durch den Zeiger angegeben.

Um nun zunächst die Wirkungen des Instruments für sich und abgesehen von der Einwirkung der Axendrehung der Erde auf dasselbe zu ermitteln, werden mit ihm eine Reihe vorbereitender Experimente gemacht.

Erstes Experiment. Man stellt das Instrument mit seiner Grundfläche auf eine horizontale Tischplatte, so dass die Wendungsaxe ef eine verticale Lage hat, lässt das Schwungrad gehen und giebt ihm durch den Zeiger eine beliebige Anfangsstellung. Nun wendet man das Instrument beliebig nach rechts oder links herum immer mit Beibehaltung der Lage der Wendungsaxe, so behält der Zeiger gegen das Zimmer die ihm zuerst gegebene Stellung, indem er über die Kreistheilung links und rechts hingleitet. Hierdurch wird das Hauptgesetz erläutert und zur Anschauung gebracht, auf welchem die ganze nachfolgende Beweisführung beruht, nämlich dass ein gedrehtes Schwungrad die Lage seiner Schwingungsebene nicht selbstthätig ändert. Wenn man die mit dem Instrumente vorzunehmenden Wendungen in Zeit von wenigen Secunden ausführt, so übt die Axendrehung der Erde auf die Lage des Zeigers noch keinen merklichen Einfluss aus, und würde in dieser Beziehung das Experiment keinen erheblichen Fehler zeigen, dagegen bleibt die Reibung als Fehlerquelle zurück, über deren genaue Bestimmung erst später gehandelt wird, und die man hier durch eine vorläufige Schätzung in Abrechnung bringen kann.

Zweites Experiment. In der Mitte des Tisches befindet sich ein hervorragender Zapfen, um welchen als Axe ein Stab so herumgedreht werden kann, dass er, die Oberfläche des Tisches berührend, im Kreise über ihn hingleiten kann. Man befestigt nun das Instrument in beliebiger Entfernung vom Zapfen an dem Stabe und führt es an demselben im Kreise herum, so dass es dem Mittelpunkte immer dieselbe Seite zuwendet. Auch hier behält der Zeiger in Bezug auf die Gegenstände des Zimmers oder auf die ihm anfangs gegebene Himmelsrichtung eine unveränderte Stellung. Freilich kann jetzt das Schwungrad sich nicht mehr innerhalb eines und desselben Raumes drehen, aber seine Lage bleibt bei jeder Veränderung der früheren Lage parallel, ein Umstand, der in dem Gesetze vom Beharrungsvermögen der Körper, so wie es bis jetzt ausgesprochen wird, allerdings nicht unmittelbar liegt, aber sich wohl von selbst versteht, auch sonst durch Experimente leicht nachgewiesen werden kann. In den beiden bisher behandelten Fällen hat die Kraft, welche zur Umdrehung des ganzen Instrumentes gebraucht wird, für die Wendung der Schwingungsebene ihre volle Wirkung, oder so viel Grad das Instrument fortgeschoben wird, eben so viel Grad beträgt die am oberen Zeiger abzulesende Wendung.

Drittes Experiment. Das Instrument wird auf die Seite gelegt und an der Kante bc mit dem erwähnten Stabe in beliebiger Entfernung vom Mittelpunkte verbunden, so dass es also bei der Umdrehung des Stabes die Seite cd immer nach der Mitte gerichtet behält. Dreht man jetzt den Stab, so bleibt der Zeiger auf demselben Punkte der Kreistheilung stehen, auf welchen man ihn anfangs gestellt hat, natürlich unter Voraussetzung der fortwährenden Drehung des Schwungrades, und es entsteht nicht die allergeringste Wendung. Dies Resultat wird für einen Fall, nämlich für den, dass das Schwungrad parallel der Tischplatte steht, sofort klar und einleuchtend sein, denn das Schwungrad bleibt sich selbst parallel und kann durch seine Lage gegen das Instrument keine Wendung hervorbringen. Giebt man nun aber dem Schwungrade durch den Zeiger eine andere, z. B. die verticale Lage, so möchte sich vielleicht fragen, ob unter so veränderten Umständen das Resultat dasselbe bleiben könne. Erwägt man dagegen, dass die Wendungsaxe genau um eben so viel Grad gedreht wird, wie das Instrument selbst, oder dass die ganze Kraft, welche auf das Fortschieben des Instruments verwandt wird, zugleich für die Drehung der Wendungsaxe verbraucht wird, so bleibt für die Wendung selbst gar keine Kraft mehr übrig, und der Zeiger behält daher eine unveränderte Lage.

Viertes Experiment. Der bisher gebrauchte Stab wird in schräger Lage gegen den Tisch emporgehoben und in einem oberhalb desselben angebrachten Ringe in Verbindung mit dem Instrumente so herumgedreht, dass dies immer dieselbe Seite dem Mittelpunkte des Ringes zuwendet. Der Mittelpunkt dieses Ringes A (Fig. 2) steht senkrecht über dem Drehungszapfen auf der Mitte des Tisches. Das Instrument wird an dem Stabe so befestigt, dass die Wendungsaxe in der Verlängerung desselben oder parallel mit ihm liegt. Jetzt kann die Kraft, welche zum Fortschieben des Stabes gebraucht wird, für die Wendung nicht mehr ganz wirksam bleiben, indem ein Theil derselben durch die schiefe Lage verloren geht. Sei mp die geometrische Darstellung derjenigen Kraft, welche zum Fortschieben des Instruments erforderlich ist, so bleibt für die Wendung nach dem zweiten Experimente das Stück mo übrig und es geht das Stück mn nach dem dritten Experimente für die Wirkung verloren. Bezeichnet man nun den Winkel pmn durch α, so hat man

$$mo = pm. \sin\alpha.$$

Hätte man also das Instrument in dem oberen Ringe einen vollständigen Kreislauf machen lassen, so würde der Zeiger nur eine Wendung von $360. \sin\alpha^\circ$ angeben.

Fünftes Experiment. Man steckt in der vorhergehenden Vorrichtung das Instrument so auf den Stab, dass die Wendungsaxe senkrecht zur Richtung des Stabes zu stehen kommt. Ist nun qr (Fig. 2) die geometrische Darstellung derjenigen Kraft, welche zum Fortschieben des Instrumentes innerhalb des oberen Ringes erforderlich ist, so bleibt für die Wendung davon das Stück qs und es geht verloren das Stück qt, nun ist aber

$$qs = qr. \cos\alpha,$$

so dass, nachdem man das Instrument in der gedachten Lage einen vollen Kreislauf hat machen lassen, der Zeiger nur eine Wendung von $360. \cos\alpha^\circ$ nachweist.

Es versteht sich von selbst, dass alle zu beobachtenden Wendungswinkel wegen der Reibung zu klein heraus kommen, und dass man sie, bevor man sie in Rechnung bringt, erst mit einem unächten Bruche multipliciren muss, für dessen Festtellung am Schlusse ein Verfahren angegeben werden soll. Es ist noch, theils um die Reibung genauer ermitteln zu können, theils sonst für die Bequemlichkeit des Gebrauchs zweckmässig, Feder und Räderwerk so einzurichten, dass das Schwungrad wenigstens eine Stunde geht.

Wir gehen jetzt zur praktischen Anwendung des Instruments über. — Hat man die erforderlichen astronomischen Hülfsmittel zur Hand, um dasselbe so aufzustellen, dass die Wendungsaxe parallel der Erdaxe steht, so entspricht nach dem zweiten Experimente die Wendung genau der Axendrehung der Erde, so dass das Instrument während einer Stunde seines ruhigen Standes eine Wendung von

$$\frac{360}{24} = 15^\circ$$

zeigt. Fehlt es an den gedachten Hülfsmitteln, so stelle man das Instrument mit dem Boden horizontal auf und man wird in einer Stunde eine Wendung von $15. \sin\varphi^\circ$ haben, wo φ die geographische Breite des Ortes bezeichnet. Das Resultat ist jedenfalls vollkommen unabhängig davon, von welchem Punkte der Kreistheilung am Instrumente man die Bewegung des Zeigers beginnen lässt.

Je näher dem Aequator, desto geringer wird in einer gegebenen Zeit die Wendung und sie hört vollkommen auf, wenn das Experiment unter dem Aequator stattfindet. Um nun auch dort einen erkennbaren Ausschlag zu erhalten, lege man das Instrument auf die Seite, so dass sich die Wendungsaxe im Horizonte befindet. Wenn man nun noch der Wendungsaxe genau die Nordsüdlage giebt, so hat man den vorher erwähnten Fall, dass dieselbe parallel der Erdaxe liegt, und man muss in einer Stunde am Zeiger eine Wendung von 15° ablesen können. In gleicher Lage des Instruments hat man bei grösseren Breiten eine Wendung von $15. \cos\varphi°$ nach dem fünften Experimente.

Hätte man am Aequator nicht hinreichende Mittel, um die Nordsüdlage der Wendungsaxe mit Sicherheit gewinnen zu können, so würden sich allerdings neue Schwierigkeiten darbieten. Um dieselben vollkommen zu erfassen, stellen wir uns sogleich vor, die Wendungsaxe liege von Ost nach West. Befände sich nun zugleich die Drehungsscheibe in horizontaler Lage, so würde dieselbe durch die Axendrehung der Erde durchaus nicht geändert, und es könnte daher keine Wendung erfolgen. Befände sich die Scheibe in verticaler Lage, so wäre sie durch die Axendrehung der Erde genöthigt, ihre Schwungebene fortwährend zu ändern, die ganze Kraft der Fortschiebung um den Aequator würde verwendet auf die Drehung der Drehungsaxe um einen ihrer Zapfen und es bliebe auch hier für die Wendung keine Kraft übrig. Es versteht sich von selbst, dass dieselbe Erscheinung eintritt, wenn man dem Schwungrade jede beliebige mittlere Anfangslage giebt. Stellt man die Resultate der Nordsüd- und der Ostwestlage der Wendungsaxe unter dem Aequator mit dem Früheren, namentlich mit dem fünften Experimente zusammen, so hat man in einer Stunde eine Wendung von $15. \cos\delta°$ bei horizontaler Lage der Wendungsaxe, wenn δ die Deklination derselben bedeutet, und unter denselben Bedingungen bei höherer Breite, wenn w die Wendung in einer Stunde bezeichnet, die ganz allgemeine Gleichung

$$w = 15. \cos\delta. \cos\varphi°.$$

Dass sich umgekehrt aus der Wirkung auf die Ursache, d. h. von der Wendung der Axe des Instruments auf die Axendrehung der Erde ein folgerichtiger Schluss machen lässt, bedarf keiner weiteren Erörterung.

Es ist noch übrig, darzuthun, wie das beschriebene Instrument benutzt wird, um umgekehrt die geographische Breite eines Ortes zu bestimmen. Gesetzt es habe in gewöhnlicher verticaler Stellung der Wendungsaxe der Zeiger in t Zeitsecunden n Grade zurückgelegt, so würde er in einer Stunde um $\frac{3600.\, n}{t}$ Grade fortgeschritten sein, dies ist aber derselbe Raum, den wir früher $= 15. \sin\varphi°$ gefunden haben; also entsteht die Gleichung

$$15. \sin\varphi = \frac{3600.\, n}{t}, \quad \sin\varphi = \frac{240.\, n}{t},$$

wo n in ganzen Graden ausgedrückt ist. Giebt man n auch in Bogenminuten an, so ist

$$\sin\varphi = \frac{4\, n}{t},$$

wo natürlich vorausgesetzt ist, dass n wegen der Reibung corrigirt ist; im entgegengesetzten Falle müsste der Werth von $\sin\varphi$ noch mit dem Reibungscoefficienten multiplicirt werden, und würde, wenn dieser durch μ bezeichnet wird, die ganz vollständige Formel lauten:

$$\sin\varphi = \frac{4\,\mu\, n}{t}.$$

Die Zeit t wird man für den praktischen Gebrauch desto kleiner fassen können, je genauer die Kreistheilung und die Ablesungsvorrichtungen sind.

Soll das Instrument auf einem Schiffe angewendet werden, so muss man es noch einmal in die bekannte sogenannte doppelte Aufhängung bringen, um jede Schwankung zu vermeiden; auch muss die Einrichtung getroffen sein, dass der Schwerpunkt genau in die Verlängerung der Wendungsaxe fällt. Die Stätigkeit der Lage des Instruments sichert man durch einen unten horizontal befestigten starken und schweren Magnet. In höheren Breiten, wo Nebel und Wolken oft Tage, ja Wochen lang jede astronomische Beobachtung unmöglich machen, würde das Instrument für geographische Bestimmungen von grosser Wichtigkeit sein und könnte nur in der Nähe des magnetischen Poles, wo der Magnetstab seine Richtkraft verliert, wenn man es im Schiffe hängen lässt, seinen Dienst versagen, den es aber sofort wieder ausüben würde, wenn man es auf den festen Boden stellte. In geringen Breiten würde es unbequem in der Anwendung sein, weil einer grossen Zeit nur eine geringe Wendung entsprechen würde. Wollte man durch die horizontale Nordsüdlage eine grössere Wendung erzielen, so ist zu bemerken, das dieselben Mittel, durch welche die Lage des Meridians festgestellt wird, mehr als ausreichend sind, um auch zugleich die nöthigen astronomischen Beobachtungen für die geographische Breite zu machen; indess ist hier das Instrument entbehrlich, weil die Gestirne den Reisenden nie auf zu lange Zeit verlassen.

Um nun noch den Reibungscoefficienten zu bestimmen, setzt man das Instrument an einem Orte in Thätigkeit, dessen geographische Breite anderweitig genau festgestellt ist. Ergiebt nun die Rechnung in t Secunden einen Fortschritt des Zeigers um p Grad, die Beobachtung aber nur eine Wendung von q Grad, so hat man den Reibungscoefficienten $\mu = \frac{p}{q}$. Derselbe wird unverändert bleiben, wenn die Zapfen der Wendungs-Axe gut gearbeitet sind und nicht in Oel gehen.

Am Schlusse dieser kleinen Abhandlung habe ich noch ein paar Worte über die sich leicht aufwerfende Frage zu sagen, warum ich das beschriebene Instrument nicht selbst habe anfertigen lassen, bevor ich seine möglichen Wirkungen zusammenstelle. Da muss ich nur bemerken, dass es mir dazu am hiesigen Orte an einem geeigneten Techniker fehlt, und für eine Bestellung ausserhalb nach einer angefertigten Zeichnung möchte sich die Sache doch nicht wohl eignen, weil erst bei der Ausführung die Schwierigkeiten zu Tage kommen, für deren Abhülfe man nur genügend Sorge tragen kann, wenn man bei der Anfertigung zugegen ist, und dann wird auch das Instrument immer ziemlich theuer, so dass die Privatkasse eines Lehrers dazu in jetziger Zeit nicht die nöthigen Ueberschüsse enthält. Mögen Freunde der Wissenschaft, die in beiden Beziehungen günstiger gestellt sind, als ich, meine obigen Andeutungen benutzen und praktisch die Resultate gewinnen, deren Vorhandensein theoretisch zu erweisen der Zweck der vorliegenden Zeilen ist.

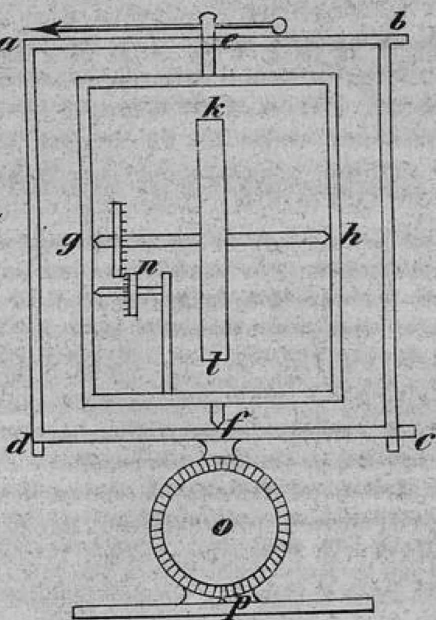

Fig. 1.

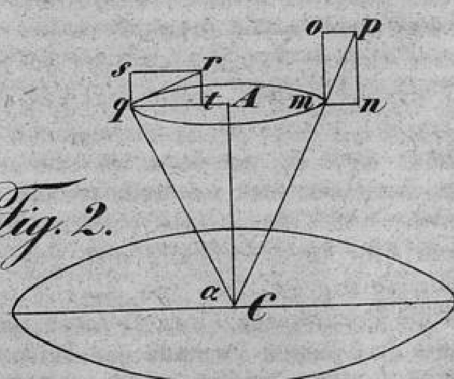

Fig. 2.