1871. ANNALEN No. 5.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXLIII.

I. *Ueber einen Apparat zur Ermittelung der Gesetze des Luftwiderstandes;* von *K. H. Schellbach.*

Als Mitglied einer Commission, welche berufen worden war, um die Gesetze des Lichtwiderstandes für bestimmte technische Zwecke zu ermitteln, oder wenigstens ein Programm für die Anstellung zweckmäfsiger Versuche zu entwerfen, fand ich Veranlassung, mich sorgfältiger mit dem Probleme zu beschäftigen. Ich arbeitete hierbei ganz unabhängig von der Commission und erhielt auch von Sr. Ex. dem Hrn. Minister von Mühler und Sr. Ex. dem Hrn. Minister von Roon die nöthigen Mittel zur Fortsetzung meiner Privatarbeiten, wofür ich mich zum lebhaftesten Danke verpflichtet fühle.

Ich werde in dieser ersten Abhandlung hauptsächlich nur den von mir construirten Apparat beschreiben und eine vollständigere Mittheilung der gewonnenen Resultate einer späteren Arbeit vorbehalten.

In Fig. I Taf. I ist AB ein cylindrisches Gefäfs von verzinntem Eisenbleche, in dem sich ein grofser mit destillirtem Wasser gefüllter Glascylinder befindet, der von einem mit Flanell umwickelten Pappfutterale umgeben ist. In dem Wasser schwimmt eine hohle Messingkugel C, welche an einem Stabe das Gewicht D trägt. Auf der durch den Mittelpunkt der Kugel gehenden Verlängerung dieses Stabes ist bei E ein Glasstab EF aufgeschraubt, der bei G aus dem Deckel des Blechgefäfses herausragt. Die drei Gewichte H, welche auf Stäben verschoben werden können, die in E befestigt sind, dienen dazu den Stab EF senk-

recht zu stellen. Die Kugel mit ihren Ansätzen hat beiläufig ein Gewicht von 5 Kilogramm.

In Fig. 2 Taf. I sieht man in *F*, in einem gröfseren Maafsstabe, die Fortsetzung des Glasstabes *EF* der in Fig. 1 bei *F* abgebrochen werden mufste. Er trägt in *N* ein Niveau zwischen drei starken Drähten, auf denen die Scheibe *A* angebracht ist, in deren Mittelpunkt, genau senkrecht über dem Stabe *F*, ein kleiner cylindrischer Fortsatz befestigt ist, der oben in *B* einen kleinen kugelförmig ausgehöhlten Rubin trägt, um als Pfanne die Spitze eines Stahlstiftes *C* aufnehmen zu können. Auf das cylindrische Stäbchen *B* können vier Messingscheiben aufgeschoben werden, von denen die Figur bei *D* nur zwei darstellt. Die Gewichte dieser Scheiben betragen 10, 20, 40 und 80 Gramm.

Das bis jetzt beschriebene feste System werde ich künftig das Aräometer nennen. Es trägt noch bei *N* eine kleine Schale, welche zur Aufnahme von Gewichten bestimmt ist, aber in der Figur fehlt.

Die kleine Steinpfanne in *B* trägt, wie bereits bemerkt, die Spitze *C* eines Stahlstiftes *CS*, der in einem durchbohrten Stahlcylinder *ETGH* beweglich ist. Die Fig. 3 stellt einen Durchschnitt dieses Cylinders dar, in welchem dieselben Theile mit denselben Buchstaben wie in Fig. 2 bezeichnet worden sind. Die dünneren Axen *S* und *C* des Stahlstiftes werden durch zwei Rubinringe geführt, welche die Fig. 3 durch die Buchstaben *R* und *P* andeutet. Diese Ringe sind in kleine Stahlscheiben gefafst, welche auf ihren glatten Unterlagen leicht verschiebbar sind und durch vier Stellschräubchen *H* und *E* centrirt werden können. Diese Centrirung läfst sich nur genau ausführen, wenn diese Schrauben aufserordentlich feine Gewinde tragen. Die Centrirung geschieht mit Hülfe eines Mikroskops, welches an das Gestell angeschraubt werden kann, auf dem der ganze Apparat befestigt ist. Das Mikroskop ist in einer Hülse verschiebbar, deren Axe die Fortsetzung des Stahlstiftes *CS* bildet. Nimmt man die Axe aus dem Gefäfse *ETGH* heraus, nachdem der Deckel *C* entfernt worden ist,

und bringt über dem Ringe *P* auf dem Aräometer einen kleinen Glasspiegel an, so läfst sich demselben leicht eine solche Stellung geben, dafs er das Tageslicht durch die beiden Ringe *P* und *R* reflectirt. Das Mikroskop wird zunächst auf den Ring *P* eingestellt und mit Hülfe der Stellschrauben erreicht man es bald, dafs die Oeffnung des Ringes während der Drehung des Apparats, welche sich mit Hülfe der Darmsaite *KK* bewerkstelligen läfst, still zu stehen scheint. Ebenso läfst sich dann der Ring *R* centriren, nachdem der Deckel *C*, der ihn trägt, wieder auf das Gehäuse aufgesetzt worden ist.

Der stärkere Theil des Stahlstiftes *CS* (Fig. 3, Taf. I) trägt einen kleinen Cylinder *O*, welcher zugleich mit dem Stifte horizontal durchbohrt ist und einen federharten Stahlstab *MM* aufnehmen kann, der sich durch acht kleine Schrauben in *O* befestigten und mit ihrer Hülfe genau horizontal richten läfst. An die Enden des Stahlstabes *M* (Fig. 2 Taf. I) können die Träger *U* angeschraubt werden, auf welche die Luft ihren Widerstand ausüben soll, wenn der Apparat in Rotation versetzt worden ist.

Den Boden des Gefäfses *G* (Fig. 2) bildet ein starker Stahlring, der sich in die Arme *NN* fortsetzt, welche die Gabeln *VV* tragen. Dieser ganze Theil des Apparates ist später viel stärker gearbeitet worden als die Zeichnung angiebt. Die Gabeln bestehen aus Messing und sind innerhalb mit Stahlblech überzogen, welchem die Form einer Schraubenfläche gegeben worden ist, deren Axe mit der Axe des Stahlstiftes *CS* zusammenfällt. Um eine solche Schraubenfläche herzustellen, wurde ein starker Metall-Cylinder benutzt, dessen Durchmesser der Entfernung gleich war, welche die beiden Gabeln von einander haben sollten. In der Mitte war er durchbohrt, so dafs er mit sanfter Reibung auf die Büchse *GH* des Gehäuses aufgeschoben werden konnte, nachdem der Deckel *L* entfernt worden war. Die Peripherie des oberen Grundkreises dieses Cylinders war in Grade getheilt und an dem äufseren Mantel befanden sich die beiden Schraubenlinien eingeritzt, welche

die inneren Seitenflächen der Gabeln bilden sollten. Die Gabeln waren dann nach der Krümmung dieser Linien geformt worden, und konnten durch starke Schrauben fest auf den Armen *NN* befestigt werden, so dafs sie sich genau an den Cylindermantel und an die auf ihn verzeichneten Schraubenlinien anschlossen. Die Gradtheilung auf dem Cylinder diente dazu, die beiden Gabeln genau diametral einander gegenüber zu stellen. Es wurden drei Paare solcher Gabeln benutzt; am häufigsten die in der Figur verzeichneten, deren Ansteigen 45° betrug, während bei einem zweiten Paare die Schraubenlinie $26^\circ 34' = \text{arc. tg.}(\frac{1}{2})$ und bei einem dritten 90° mit dem Horizonte bildete.

Zwischen diesen Gabeln sind die kleinen Körper *QQ* beweglich. Sie sind in der Mitte durchbohrt, so dafs sie ohne Reibung auf den Stab *MM* aufgeschoben werden können. Kleine Schräubchen *x* dienten dazu sie am Fortgleiten zu hindern. Diese Körper tragen zu beiden Seiten der Durchbohrung in *rr* kleine Rollen, deren Stahlaxen in Rubinen laufen und aufserdem durch Steinplättchen am Verschieben gehindert sind. Jeder dieser Körper *Q* trägt also acht Rubinen. Die vorher erwähnten Schrauben, mit denen der Stab *M* (Fig. 3 Taf. I) an die Hülse *O* befestigt ist, dienen zugleich dazu den Stab zu richten und zu bewirken, dafs sich die Röllchen beider Körper zugleich an die Schraubenflächen der Gabeln anlegen. Man sieht nun leicht ein, dafs wenn der Apparat in Rotation versetzt wird, was auf eine später zu erklärende Weise mit Hülfe des Schnurlaufes *KK* geschehen konnte, die Flugscheiben *U* die Röllchen *Q* auf der Schraubenfläche der Gabeln hinunterschieben, wenn die Rotation von links nach rechts erfolgte und so vermittelst der Axe *CS* das Aräometer hinunterdrücken. Bei einer entgegengesetzten Drehung wird die Axe gehoben und das Aräometer steigt. Diese Senkung und Hebung der Axe und der an ihr befestigten Flugkörper geschieht offenbar mit einem aufserordentlich geringen Grade von Reibung, die nur in den Steinringen *P* und *R* und auf den glattpolirten Schraubenflächen der Gabeln

stattfinden kann. Weil der Stab *M* auf einer Schraubenfläche hingleitet, mufs natürlich das Gehäuse einen schiefen Einschnitt tragen, wie die Fig. 2 Taf. I bei *L* andeutet. Dieser Einschnitt ist jetzt weiter als die Figur angiebt, weil der Stab *M* auch bisweilen zwischen senkrechten Gabeln senkrecht auf- und absteigen sollte.

Um den Apparat möglichst unerschütterlich aufstellen zu können, waren zwei zolldicke nicht ganz gleich lange parallele eiserne Stangen durch die starke Seitenmauer eines Parterre-Zimmers geführt und durch eine eiserne horizontale Scheibe mit einander verbunden. Diese Scheibe stand noch durch eine dritte eiserne Stange mit der Fenstermauer in Verbindung. Mit Hülfe der sehr starken Schraube *O* (Fig. 2 Taf. I) wurde der Apparat auf einem Dreifufse befestigt, der auf der eisernen Scheibe ruhte und durch drei Stellschrauben gerichtet werden konnte. Ich hatte mich überzeugt, dafs die Erschütterung des Apparates durch vorüberfahrende Wagen äufserst gering war. Um die Bewegung der Spitze *S* der Axe beobachten zu können, war, etwa ein Meter von ihr entfernt, ein kleines Fernrohr aufgestellt, in dessen Focus sich ein kleines Glasmikrometer mit einer Theilung befand, wie sie die Fig. 4 Taf. I angiebt. Fünf und vierzig Grad der Peripherie des Mikrometers hatten eine Eintheilung in halbe Grade erfahren, damit auch die Richtung gemessen werden konnte, welche die Flugscheiben *UU* mit der Verticale bildeten. Später ist zu diesem Zwecke ein besonderer Apparat construirt worden, weil die Versuche über den Einflufs dieses Winkels auf die Gröfse des Luftwiderstandes nicht ohne Wichtigkeit sind. Das Fernrohr wurde so eingestellt, dafs man die Spitze *S* der Axe im Mittelpunkte des Mikrometers oder im Nullpunkte der Scale erblickte, wenn der Apparat in Ruhe war. Wenn das Aräometer um 20 Milligramm beschwert wurde, so sank die Spitze um einen Grad der Theilung herab, so dafs also eine Aenderung von 2 Mgr. des Gewichts des Aräometers mit der darauf ruhenden Axe und ihren Flugscheiben, abgeschätzt werden konnte.

Stand die Spitze der Axe im Nullpunkt und man nahm nun die 10 Gramm schwere Scheibe von dem Lager *B* fort, so hob das Aräometer die Axe empor. Wurden dann die Flugscheiben in Rotation versetzt, so drückte die senkrechte Componente des Luftwiderstandes die Axe herab, und wenn jetzt die Spitze *S* wieder im Mittelpunkte des Mikrometers stillstand, dann betrug diese Componente $10^{gr.}$ und man konnte die Gröfse dieses Druckes bis auf $\frac{1}{2000}$ ihres Werthes abschätzen. Offenbar mufste aber die Drehung der Flugscheiben bei einem solchen Versuche auch eine so gleichförmige seyn, dafs die Spitze wirklich im Nullpunkte still zu stehen schien. Mit Hülfe der vier Scheiben von 10, 20, 40 und 80 Grm. konnte also ein senkrechter Druck von 150 Grm. gemessen werden.

Es ist nun hier der Ort zu zeigen wie der Apparat in Bewegung gesetzt wurde und wie eine so gleichförmige Drehung der Axe hervorgebracht werden konnte. Es wurde Anfangs ein ziemlich einfaches Laufwerk benutzt. Ein Rad mit 80 Zähnen griff in einen Trilling ein, der 8 Triebstöcke enthielt. Der Trilling setzte ein gut construirtes Rad mit 180 Zähnen in Bewegung, die wieder in einen Trilling mit 25 Zähnen eingriffen, an dem ein Schwungrad befestigt war, welches mehrere Schnurläufe trug. Ueber die Trommel am ersten Rade war eine Hanfschnur gewikkelt, die über eine an der Decke des Zimmers befestigte Leitrolle ging und durch Gewichte, in Form von eisernen Scheiben, gespannt werden konnte. Diese Spannung liefs sich bis zu einem Centner steigern. Wenn das Laufgewicht die Höhe des Zimmers durchfallen war, hatte das Schwungrad etwa 700 Umdrehungen gemacht. Die Mittelpunkte der Schnurläufe des Schwungrades und der Flugscheiben standen ohngefähr ein Meter von einander ab. Ueber beide Rollen war eine sehr glatte Darmsaite geschlungen, welche in der Fig. 2 Taf. I durch *KK* angedeutet ist. Obgleich die Flugscheiben bei der Drehung als regulirender Windfang für das Laufwerk dienen konnten, so müfste doch die Bewegung des Schwungrades noch durch eine besondere

sehr einfache Bremsvorrichtung, welche der Beobachter mit der Hand regierte, während er die Spitze der Axe im Fernrohr beobachtete, regulirt werden.

Diese Bewegung des Apparates liefs sich mit der Hand und dem Auge so vollständig beherrschen, dafs die Spitze der Axe in jedem Punkte der Scale des Mikrometers festgehalten werden konnte und nur bisweilen ganz kleine Schwankungen machte. Es darf hierbei wohl bemerkt werden, dafs es vielfacher und langwieriger Versuche bedurft hat, ehe diese Regelmäfsigkeit der Bewegung hervorgebracht wurde, die um so schwieriger zu erreichen war, als bisweilen eine sehr langsame und dann wieder eine durch alle Grade steigende, selbst mehr als fünfzigmal schnellere Drehungen bewirkt werden mufsten. Offenbar würde unter diesen Bedingungen ein Laufwerk nicht construirt werden können, welches nur mit Hülfe eines Regulators seine Bewegung längere Zeit constant erhielte, selbst wenn auf seine Herstellung grofse Summen verwandt werden dürften.

Um die Zahl der Umdrehungen des Apparates zu bestimmen, war am Gehäuse unten bei *E* (Fig. 2 und 3 Taf. I) eine Schraube ohne Ende angebracht, welche in die Zähne des Rädchens *W* eingreift. Senkrecht gegen die Ebene des Rädchens war ein kleiner Stahlstift eingelassen, der in der Figur mit *s* bezeichnet worden ist. Dieser Stift drückte bei der Drehung des Rädchens die Feder *i* an die Schraube *b* an, so dafs auf diese Weise eine galvanische Kette geschlossen werden konnte, deren Poldrähte mit den Schrauben *a* und *c* in Verbindung standen, und durch Elfenbeinplättchen isolirt waren, bis die Feder *i* ihre metallische Verbindung und damit den Schlufs der Kette herstellte.

Das Rädchen hat 25 Zähne und der Stift schliefst daher stets nach 25 Umdrehungen der Axe den elektrischen Strom. Um nun diesen Schlufs auf einen Papierstreifen zu fixiren wurde ein Registrirapparat benutzt wie ihn die Fabrik von Mayer und Wolf in Wien zum Preise von 120 Thalern sehr zweckmäfsig herstellt. Dieser Apparat war ein Geschenk des Hrn. Ministers von Mühler für das Königliche

Friedrich Wilhelms Gymnasium. Nach Art des Morse'schen Telegraphen setzt dieser Apparat mit Hülfe eines elektromagnetischen Triebwerks einen Papierstreifen in Bewegung, auf welchem, in der bekannten Weise, die Spitze eines Stahlstiftes den Schluſs des Stromes durch einen Punkt markirt.

Eine kleine Pendeluhr, welche $\frac{3}{4}$ Secunden schlug, ein sogenannter Regulator, war mit einer Unterbrechungsvorrichtung versehen, in ähnlicher Weise wie sie zuerst von Krille für die Altonaer Sternwarte construirt worden ist und in den Astronomischen Nachrichten Bd. 49 oder in Kuhn's Handbuch der angewandten Elektricitätslehre S. 1242 beschrieben wird.

Um das Triebwerk des Registrirapparates, die Uhr und das Zählerwerk des Apparates in Thätigkeit zu versetzen, wurden am bequemsten drei Flaschenelemente mit Kohlen- und Zink-Platten in einer Lösung von saurem chromsaurem Kali benutzt. Die Verbrennung des Quecksilbers durch den galvanischen Strom am Krille'schen Unterbrecher zu beseitigen, gelang nur schwer und unsicher mit Hülfe eines Condensators, dagegen sehr leicht, wenn ein ganz kleines, mit sehr verdünnter Schwefelsäure gefülltes Fläschchen, in welches zwei haarfeine Platindrähte tauchten, in den Uhrstrom eingeschaltet wurde. In ähnlicher Weise ist auch bei dem Apparate der hiesigen Sternwarte der Quecksilberfunke früher beseitigt worden.

Die Versuche wurden nun in folgender Weise ausgeführt. Dicht neben dem Laufwerke, welches die Flugscheiben in Bewegung setzte, war das Fernrohr aufgestellt und neben dem Fernrohr ein Stromunterbrecher, mit dessen Hülfe alle drei Ketten zu gleicher Zeit in und aufser Thätigkeit gesetzt werden konnten. Während der Beobachter durch das Fernrohr nach der Spitze S der Axe blickte, regulirte er mit der einen Hand durch einen ganz leisen Druck auf die Bremse des Schwungrades die Bewegung des Apparates so, dafs die Spitze im Nullpunkte des Mikrometers still zu stehen schien, und setzte dann mit der

andern den Stromunterbrecher in Wirksamkeit, so dafs die Uhr ihre Schläge auf dem abrollenden Papierstreifen in gleichen Intervallen markirte, während das Zählerwerk zwischen die Secunden-Schläge stets 25 Umdrehungen des Apparates einzeichnete, wie es die Fig. 5 Taf. I versinnlicht. Die zu den Umdrehungen erforderliche Zeit liefs sich dann, mit Hülfe eines auf Glas getheilten Maafsstabes, bis auf hundertel Secunden genau ermitteln.

Die Construction des Apparates wurde bereits Ende des Jahres 1868 begonnen, da er aber stets wesentlichen Abänderungen und Verbesserungen unterworfen werden mufste, so haben bis jetzt doch nur etwa 1000 Versuche nach den verschiedensten Richtungen hin ausgeführt werden können.

Es wurden hauptsächlich Versuche mit kleinen kreisförmigen Flugscheiben angestellt, deren Oberfläche 0,25 Quadratcentimeter betrug, die also einen Durchmesser von $56{,}4^{mm}$ besafsen. Der Mittelpunkt dieser Scheiben, deren Ebene gewöhnlich senkrecht gestellt wurde, durchlief bei einer Umdrehung etwa ein Meter.

Es überraschte nun zunächst die grofse Präcision, mit welcher der Apparat gleich Anfangs arbeitete und das Luftwiderstandsgesetz erkennen liefs. Als Beispiel will ich nur eine Versuchsreihe hervorheben.

Bei einem Barometerstande von $746{,}5^{mm}$ und einer Temperatur von 21,6° C. betrug die Umdrehungszeit der Scheiben, wenn ein senkrechter Druck von 10 Gramm auf das Aräometer ausgeübt werden sollte, in Secunden

	Abweichung vom Mittel
0,31629	+ 0,00113
0,31452	— 64
0,31446	— 70
0,31482	— 34
0,31542	+ 26
0,31545	+ 29
im Mittel 0,31516.	

Wurde aber ein Druck von 40 Gramm hervorgebracht, dann ergaben sich die Umdrehungszeiten

	Abweichung vom Mittel
0,15817	+ 0,00014
0,15801	— 2
0,15817	+ 14
0,15781	— 22
0,15787	— 16
0,15817	+ 14
im Mittel 0,15803.	

Jede dieser zwölf Zahlen ist aus dreihundert Umdrehungen der Flugscheiben ermittelt worden. Wenn der Widerstand der Luft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional gewesen wäre, so hätte sich, nach der ersten Beobachtung, für die Zeit einer Umdrehung die Hälfte der ersten Zahl, also 0,15758 Secunden ergeben müssen. Diese Zahl weicht aber von der beobachteten nur um 45 hunderttausentel Secunden ab.

Auch als der Druck bis auf 60 Gramm gesteigert wurde, ergaben sich keine gröfseren Abweichungen von dem Newton'schen Gesetze. Gröfseren Drucken sind bis jetzt die kleinen Flugscheiben nicht unterworfen worden, um den Apparat, der noch für viele andere Versuche benutzt werden mufste, nicht gleich Anfangs einer gefährlichen Probe zu unterwerfen.

Dagegen gestattete der Apparat auch mit sehr kleinen Geschwindigkeiten zu arbeiten. Bei einem Versuche wurden auf Kreisscheiben vom dünnsten Stahlfederblech, deren Oberfläche 0,5 Quadratdecimeter betrug, starke Papierscheiben von 115^{mm} Durchmesser aufgeklebt und mit ihrer Fläche senkrecht der Luft entgegen bewegt. Die Bewegung war so langsam, dafs der Luftdruck nur 200 Milligramm ausmachte und ein ganzer Umlauf 6,5484 Secunden erforderte. Der Mittelpunkt der Scheibe hatte bei dieser Bewegung nur eine Geschwindigkeit von 17,1 Centm. Diese Geschwindigkeit erhält ein Körper, der einen Weg von 1,5^{mm} durchfallen hat, oder der tiefste Punkt eines Secundenpendels, welches etwa einen Ausschlag von 3^{0} macht.

Wurde nun die Geschwindigkeit beschleunigt, so dafs

der Luftdruck auf 800 Milligramm stieg, so waren zu einer Umdrehung der Scheiben 3,2694 Secunden erforderlich. Nach dem ersten Versuche hätte die Zeit einer Umdrehung 3,2742 Secunden betragen müssen, wenn das Newton'sche Gesetz auch für so kleine Geschwindigkeiten seine Gültigkeit behalten sollte. Diese Zahlen unterscheiden sich aber von einander nur um 0,0043 Secunden.

Wenn nun auch solche Versuche nicht zahlreich genug angestellt worden sind um entscheidend zu seyn, so geben sie doch der Vorstellung keinen Raum, die bisher sehr allgemein gehegt wurde, dafs der Widerstand der Luft bei kleinen Geschwindigkeiten, wie sie etwa ein Secundenpendel im tiefsten Punkte seiner Bahn besitzt, der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional seyn sollte. Der Stab *M*, welcher die Flugscheiben trug, hatte einen Durchmesser von 2,9^{mm}, und der Theil, welcher dem Widerstande der Luft ausgesetzt war, mafs nur 122^{mm}. Dieser Stab absorbirte von dem Drucke von 10 Gramm, der auf die Flugscheiben ausgeführt wurde, ohngefähr 80 Milligramm und war bei seiner Bewegung ganz dem Newton'schen Gesetze unterworfen.

Da es mir jetzt hauptsächlich darauf ankommt, eine Vorstellung zu geben, welche Fragen sich mit Hülfe des Apparates beantworten lassen und die Resultate vollständiger Versuchsreihen erst später mitgetheilt werden können, so erwähne ich nur noch die folgenden Versuche.

Auf die kleinen Flugscheiben wurden Kegel aufgesetzt, deren Höhe 25^{mm} betrug und deren Basis mit den Flugscheiben gleichen Durchmesser besafs. Wurden diese Kegel mit der Spitze der Luft entgegen bewegt, so dafs sie wieder einem senkrechten Drucke von 10 Grm. ausgesetzt waren, so betrug die Zeit einer Umdrehung im Mittel 0,28200 Secunden, während sie für die Flugscheiben, also für die bloſse Basis des Kegels, 0,32250 Secunden ausmachte. Der Luftwiderstand war also bedeutend durch die Kegelfläche verringert worden. Aber eine solche Verminderung des Druckes trat auch ein, wenn die Basis des Ke-

gels sich der Luft entgegen bewegte, denn jetzt machte der Kegel in 0,30600 Secunden eine Umdrehung.

Es wurden noch hohle kupferne Halbkugeln von 57,3^{mm} Durchmesser, also dem der Flugscheiben fast gleich, dem Versuche unterworfen. Bei 10 Gramm Druck auf die convexe Seite der Halbkugeln war die Umdrehungszeit 0,22301 Secunden. Wirkte der Druck auf die concave Seite, so erforderte eine Umdrehung 0,31708 Secunden, war also fast ebenso grofs als für eine Scheibe von gleichem Durchmesser mit den Kugeln. Wurden aber jetzt die offenen Seiten der Halbkugeln durch eine Papierscheibe geschlossen, und diese der Luft entgegen bewegt, so machten sie bereits in 0,29632 Secunden eine Umdrehung. Es war also auch jetzt der Luftdruck bedeutend geringer als auf eine Scheibe von gleichem Durchmesser mit den Kugeln.

An Stelle der Flugscheiben wurden kleine Flügelrädchen angebracht, welche sich um eine horizontale Axe drehen konnten, die der Luft senkrecht entgegengeführt wurde. Hemmte man den Flügel durch einen kleinen Riegel an der Drehung und unterwarf sie einem Drucke von 5 Gramm, dann betrug die Zeit eines Umlaufs 0,27527 Secunden. Konnten aber die Rädchen rotiren, dann dauerte bei demselben Drucke die Zeit eines Umlaufes 0,34150 Secunden. Die rotirenden Rädchen erfuhren also einen weit grofseren Druck als die stillstehenden.

Bald nachdem der Apparat schon mit ziemlicher Sicherheit arbeitete, wurde noch folgender Versuch ausgeführt. Senkrecht über der Spitze S der Axe war eine kreisförmige horizontale Glasscheibe von 42 Centimeter Durchmesser angebracht, deren Mittelpunkt bis auf eine beliebige kleine Entfernung der Spitze S der Axe genähert werden konnte. Wenn jetzt die vorhin erwähnten grofseren Stahlblechscheiben unter einem Drucke von 20 Gramm rotirten, so machten sie in 0,33845 Secunden eine Umdrehung. Wurde aber die Glasscheibe der Spitze bis auf 65^{mm} genähert, dann nahm diese Zeit bis auf 0,32741 Secunden ab. Blieb die Glasscheibe nur noch 38^{mm} von der Spitze entfernt, dann

sank diese Zahl sogar bis auf 0,31451 Secunden. Die Nähe dieser Glasscheibe verminderte dann also den Luftdruck bedeutend.

Alle diese Versuche sind nur vorläufig angeführt worden, um darauf aufmerksam zu machen, wie mannigfaltig die Fragen sind, welche der Apparat mit grofser Sicherheit zu beantworten vermag.

Erst nachdem schon eine gröfsere Reihe von Versuchen angestellt worden war, konnte ermittelt werden, ob der Apparat empfindlich genug sey, um den Einflufs des Barometerstandes auf so kleine Kreisflächen von nur 56,4^{mm} Durchmesser bemerklich zu machen. Es stellte sich nun in der That ganz sicher heraus, nachdem die Versuche mehrere Monate lang fortgesetzt worden waren, dafs bei Anwendung dieser kleinen Flugscheiben und einem Drucke von 10 Gramm die Zeit der Umdrehung um 0,00022 Secunden vergröfsert wurde, wenn das Barometer um 1^{mm} stieg. Ein sorgfältiger Einblick in die gewonnenen Resultate ergab auch einen sehr sichtbaren Einflufs des Temperaturunterschiedes.

Eine Erhöhung der Temperatur der Luft um 1° C. brachte nach einer vorläufigen Rechnung eine Verminderung von 0,00060 Secunden in der Umlaufszeit hervor. Wie später gezeigt werden wird, liefsen sich diese Resultate auch aus einer theoretischen Betrachtung ableiten.

Die Mehrzahl der bis jetzt angestellten Versuche habe ich mit Beihülfe des Hrn. Dr. Bruns, eines jungen Astronomen, eines meiner talentvollsten Schüler, ausgeführt. Seiner geschickt durchgeführten Rechnung verdanke ich auch die genauere Ermittelung des Einflusses der Temperatur aus einer verhältnifsmäfsig nicht sehr grofsen Zahl von Beobachtungen, wobei er zugleich die richtige Erklärung dieses Einflusses aussprach. Auch um die Construction einzelner Theile des Apparates hat er sich entschiedene Verdienste erworben. Jetzt wo er seiner Militärpflicht obliegt, vermisse ich seine Hülfe sehr schmerzlich.

Aufserdem verdanke ich dem reichen Schatze mechani-

scher und technischer Kenntnisse des Hrn. Halske, des Mitbesitzers der berühmten Telegraphenbauanstalt von W. Siemens und Halske, die wesentlichsten und freundschaftlichsten Unterstützungen und Rathschläge. Ich mufs gestehen, dafs ich kaum ohne seine Hülfe an die Ausführung eines so schwierigen Uebernehmens hätte denken können, da ich Anfangs die Construction des Apparates aus eigenen Mitteln zu bewerkstelligen suchte. Auch dem Director unserer Sternwarte, Hr. Prof. Förster, der lebhaften Antheil an meinen Versuchen nahm, bin ich für seine Unterstützung mit sehr wichtigen Apparaten, dankbar verpflichtet.

Schliefslich mufs ich noch die vortreffliche Ausführung der Haupttheile des Apparates durch Herrn Mechaniker Fuefs dankend hervorheben. Eine ebenfalls höchst elegante Construction kleinerer Hülfsapparate hat Hr. Mechaniker Wanschaffe ausgeführt.

II. *Ueber die innere Reibung der Gase; von Oskar Emil Meyer.*

Dritte Abhandlung.

Ueber Maxwell's Methode zur Bestimmung der Luftreibung.

In meinen beiden ersten Abhandlungen über die Reibung der Gase [1]) hatte ich mir die Aufgabe gestellt, »*durch Messungen festzustellen, in welcher Weise die Constante der inneren Reibung der Luft von dem Drucke und der Temperatur der Luft abhängt*;« und ich habe diese Aufgabe so gelöst, dafs ich aus eignen Schwingungs- und aus Graham's Transpirations-Beobachtungen nachgewiesen habe,

1) Pogg. Ann. Bd. 125, 1865 und Bd. 127, 1866. Vorher im Auszuge veröffentl. im amtl. Bericht über die 38. Naturf. Versammlung in Stettin 1868, S. 141.

Fig. 2.

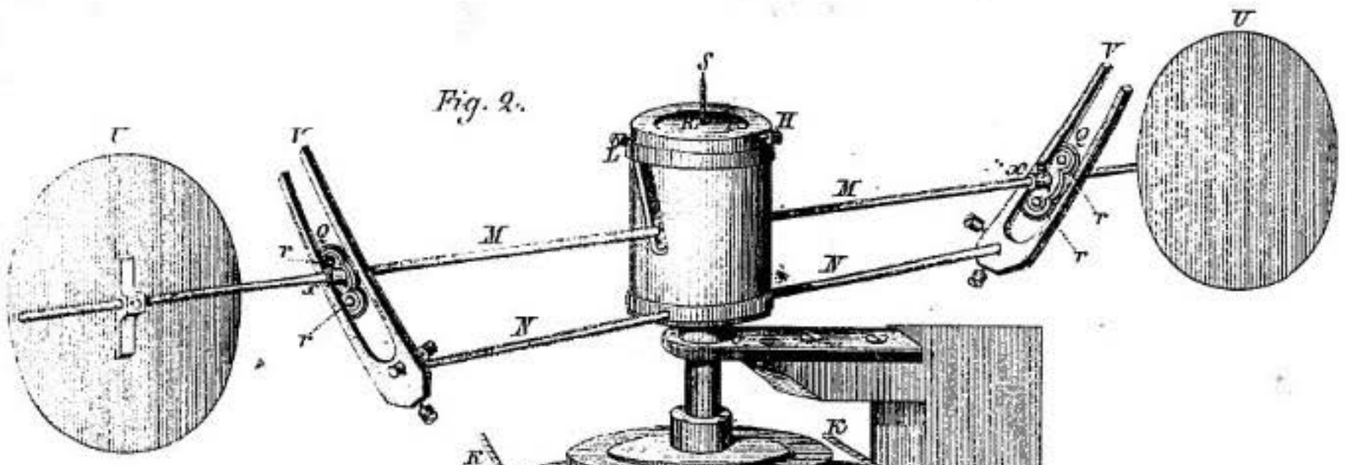

Fig. 4.

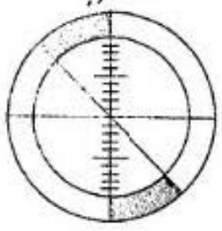

Fig. 3.

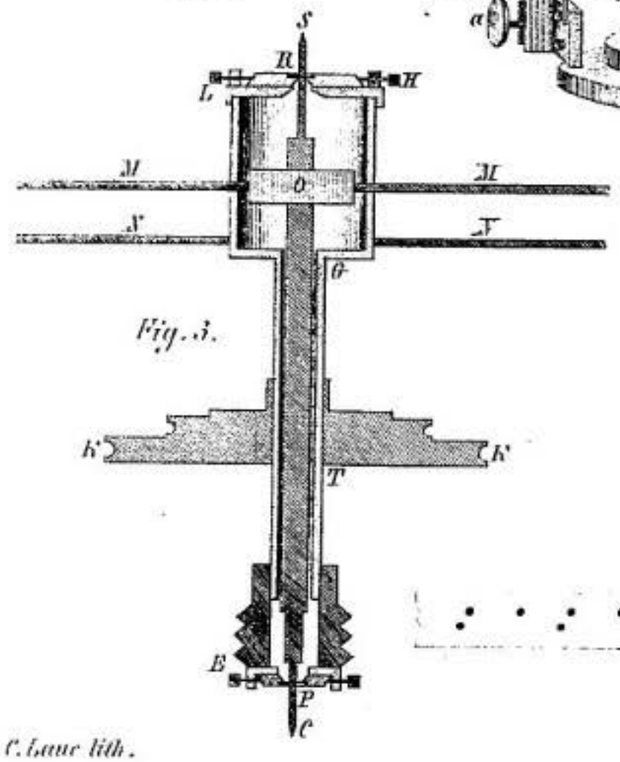

Fig. 1.

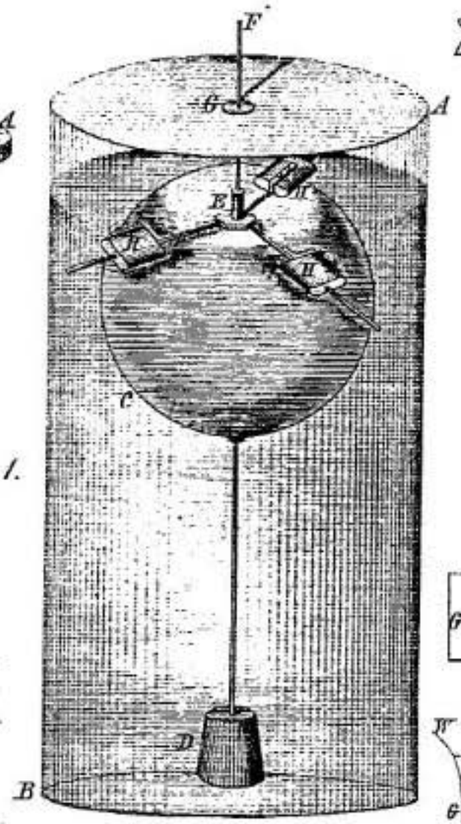

Fig. 5.

C. Laue lith.

Fig. 6.

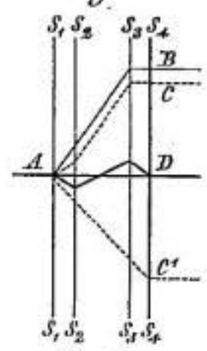

Fig. 7.

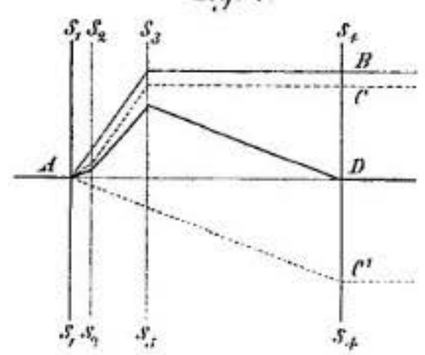

Fig. 8.

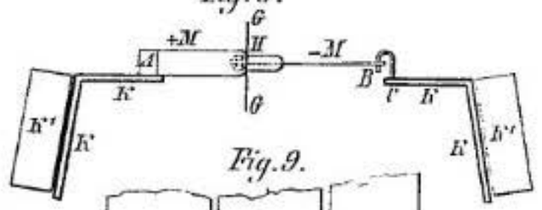

Fig. 9.

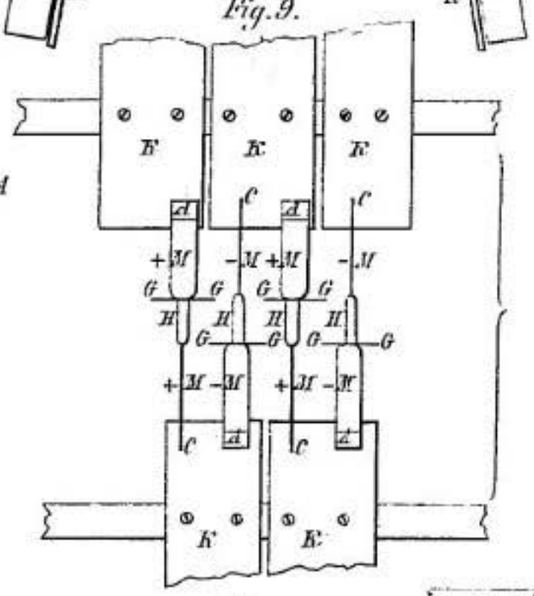

Fig. 10.

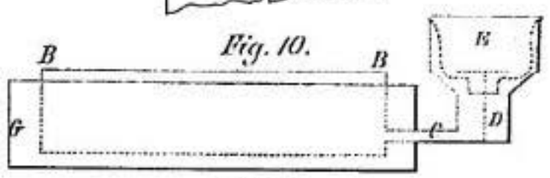

Fig. 11.

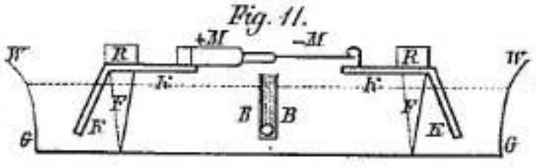

Fig. 12.

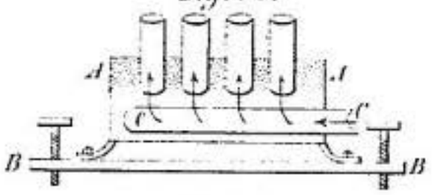

Fig. 13.

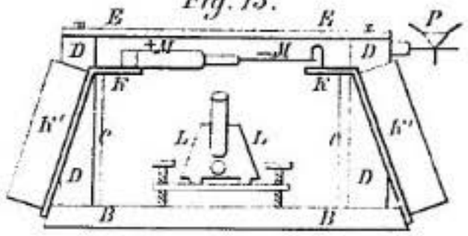

Fig. 14.

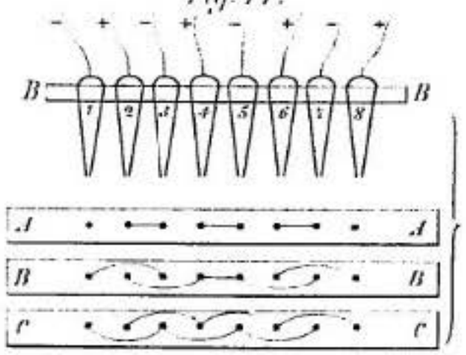
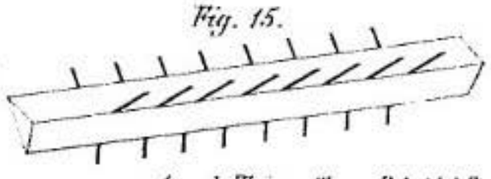
Fig. 15.