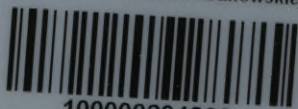


Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294809

Die elektrischen Messinstrumente.

Von

Prof. Wilh. Biscan.

Die wissenschaftlichen Messinstrumente
und Messbehelfe.

Mit 98 Abbildungen.

F. No. 21426



Leipzig
Verlag von Oskar Leiner.
1897.

Das Recht der Übersetzung vorbehalten.

II 5345



Inhalt.

	Seite
I. Einleitung über das Messen im Allgemeinen	1
II. Die Wirkung des Stromes	3
III. Voltmeter	10
Volumvoltmeter, einfache Form	10
Knallgasvoltmeter von Kohlrausch	12
» » Heinz	13
Gewichtsvoltmeter	14
Silbervoltmeter	14
» von v. Beetz-Edelmann	15
» Board of Trade	16
Kupfervoltmeter	17
» von F. E. Beach	18
Zinkvoltmeter	19
IV. Galvanometer	19
Tangentenbussole	19
» von Hartmann & Braun	22
» » Kohlrausch	22
» » Helmholtz - Gaugain	25
» » Obach Brothers	26
» » Kessler	29
Sinusbussole	29
» von Siemens & Halske	31
Spiegelablesung	32
» Anordnung von Edelmann	35
» objektive	36
Multiplikatoren	38
Spiegelgalvanometer von Weber	39
» nach Weber von Hartmann & Braun	39
Wiedemanns Galvanometer (Fadensuspension)	43
» » von Ducretet & L., Paris	45
» » » Edelmann	46
» » » Braun	48
Spiegelgalvanometer, aperiodisches, von Siemens & Halske	49
» nach Kohlrausch	52
Mikrogalvanometer von Rosenthal	52
» » Edelmann	52
» » Kollert	54
Thomson-Galvanometer von Siemens & Halske	55
» » » Hartmann & Braun	57
» » » Ducretet & Lejeune, Paris	57

	Seite
Thomson - Galvanometer von Edelmann	58
» » » Hartmann & Braun	59
Galvanometer von Déprez - D'Arsonval	59
» » Edelmann	60
» » Dueretet & Lejeune	63
» » Jolin - Maxwell	64
» » Hartmann & Braun	64
Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske	66
» » Edelmann	68
Einheitsgalvanometer von Reiniger	72
» » Blansdorf	74
» » Edelmann	74
Hängegalvanometer von Edelmann	74
Betz - Vorlesungsgalvanometer von Edelmann	74
V. Elektrodynamometer	78
von Weber	78
nach Kohlrausch von Hartmann & Braun	79
nach Fröhlich von Siemens & Halske	81
Torsions-Esektrodynamometer von Siemens & Halske	81
Spannungsdynamometer von Siemens & Halske	83
Feder - Dynamometer von Edelmann	85
Elektrodynamometer nach Bellati. Kipp & Zonau	85
Wattmeter von Siemens & Halske	87
» » Blathy, Ganz & Co.	87
» » Nipkow	88
Elektrodynamometer von Berget (Pellat), Dueretet & Lejeune	88
Normalwage von Thomson	90
» » Guinaud	92
VI. Elektrometer	93
von Thomson	94
» Edelmann	94
VII. Normalelemente	95
von Kittler	96
» Clark Latimer	97
» Wheatstone	97
» Warren de la Rue	97
» Flemming	98
Anhang	99
Prüfung von Messinstrumenten	99 — 102





I.

Wenn wir es mit irgend einer Kraft zu thun haben, welche wir uns durch ihre Wirkungen nutzbar gemacht, so drängt sich uns vor allem das Bedürfnis auf, die Grösse dieser Kraft durch Zahlen ausdrücken zu können.

Um dies zu erreichen, müssen wir im Stande sein zu messen.

Alles Messen ist nichts anderes als ein Vergleichen; wir messen eine Länge, indem wir dieselbe mit irgend einer als Einheit angenommenen Länge vergleichen, oder mit anderen Worten, wir tragen diese Einheit so oft auf der zu messenden Länge auf, als dies möglich, und haben in der Zahl, welche wir gefunden, ein Mass der gemessenen Länge. Auf die Grösse der Einheit kommt es gar nicht an, wenn dieselbe nur allgemein bekannt, beziehungsweise durch entsprechende Vereinbarung anerkannt ist.

Wie wir nun Längen, Flächen, Körperinhalt und anderes messen können durch Vergleichung mit irgend einer als Einheit angenommenen Länge, Fläche etc., können wir auch Kräfte messen, d. h. mit anderen vergleichen.

Natürlich ist es in diesem Falle nicht immer ganz einfach, da wir eine Kraft nur nach ihren Wirkungen beurteilen können, nur diese massgebend sind für die Beurteilung der Grösse der Ursache.

Schwierig gestaltet sich das Messen einer Kraft aus dem Grunde, weil eine Kraft nicht in einer einzigen Art von Wirkung ihre Grösse bethätigt, sondern häufig komplizierte Erscheinungen zum Gefolge hat, die sich uns nicht sofort erkennbar machen. Aus diesem Grunde

sind auch nicht alle Wirkungen gleich geeignet zur Messung einer Kraft.

Wir sehen dies am deutlichsten bei der Elektrizität. Wie häufig kommt es vor, dass ein und dasselbe Quantum — wollen wir so allgemein sagen — scheinbar verschieden grosse Wirkungen ausübt, aber eben nur scheinbar; wir wollen uns da an ein einfaches Beispiel halten.

Die Menge Elektrizität, welche dem Aufwand 1 PS zu ihrer Erzeugung entspricht, bringt in Glühlampen von 16 Kerzen einen Gesamteffekt von 160 bis 200 Kerzen hervor, während mit demselben Aufwande von Elektrizität ein Bogenlicht von 1000 Kerzen erzeugt werden kann. Der Lichteffect würde uns also hier täuschen; der Gesamteffekt muss aber in dem einen und dem anderen Falle gleich sein.

Schon aus diesem einfachen Beispiele ersehen wir, dass nicht alle Wirkungen der Elektrizität gleich gut geeignet sind, dieselbe zu messen.

Es sind nur wenige Wirkungen derart, dass wir dieselben zur Grundlage bei Herstellung eines Messinstrumentes oder einer Messmethode benutzen können.

Unter den zahlreichen Wirkungen des Stromes sind es auch nur verhältnismässig wenige, welche man praktisch zur Messung verwerten kann. Wir werden später die einzelnen Wirkungen besprechen und hierbei erkennen, welche sich zu Messungen eignen und daher auch nach dieser Richtung Anwendung gefunden haben.

Bevor wir jedoch daran gehen, müssen wir uns die naheliegende Frage beantworten, was wir zu messen haben.

Es sind 3 Grössen, welche uns immer und immer wieder begegnen und die in einem wichtigen Gesetze in inniger Beziehung zu einander gebracht erscheinen. Dieses Fundamentalgesetz heisst das Ohm'sche und ist durch folgende einfache Beziehung in einer Formel ausgedrückt:

$$J = \frac{E}{W} \text{ d. h. in Worten}$$

die Stromstärke J ist direkt proportional der elektromotorischen Kraft E und umgekehrt proportional dem Widerstande W , welchen der Strom bei seinem Durchgange durch einen Leiter in diesem findet.

Diese 3 Grössen, deren Einheiten, wie ich hier wohl als bekannt voraussetzen darf, das Ampère, das Volt und das Ohm sind, haben wir nun häufig zu messen.

Das Messen dieser 3 Grössen, sowie die verschiedenen Methoden der Messung und die hierzu erforderlichen Instrumente und Apparate kennen zu lernen, ist nun der Zweck dieses Buches.

II.

Wir wollen nun vor allem die Wirkungen des galvanischen Stromes besprechen. Man unterscheidet:

- I. Wirkungen im Stromkreise und
- II. » ausserhalb des Stromkreises.

Zu den ersteren gehören:

1. Physiologische oder Wirkungen des galvanischen Stromes auf den tierischen Organismus. Für Messungszwecke des Stromes natürlich gar nicht geeignet — da ein und derselbe Strom auf verschiedenen Individuen sehr verschieden einwirkt — je nach Alter, nervösen Zustand u. dergl. mehr.

2. Chemische Wirkungen. Der elektrische Strom zerlegt chemische Verbindungen und scheidet die Bestandteile derselben nach bestimmten unabänderlichen Gesetzen aus.

Diese Wirkung des Stromes eignet sich ganz vorzüglich zur Messung — vorausgesetzt, dass eine sehr genaue Messung verlangt wird und die betreffende Person die hierzu erforderliche Zeit hat. Für technische Zwecke, wo die Messung sehr rasch vor sich gehen soll, ist die Anwendung dieser Wirkung nicht zu empfehlen. Dagegen ist aber im Laboratorium zur Aichung anderer Instrumente die Anwendung der chemischen Wirkung von grosser Bedeutung. Wir wollen deshalb auch gleich an dieser Stelle die betreffenden Gesetze kennen lernen.

Nach Faraday bezeichnet man den Vorgang der chemischen Arbeit eines elektrischen Stromes mit dem Ausdruck Elektrolyse und bezeichnet den durch den Strom zu zerlegenden Körper als Elektrolyt. Unter einem Elektrolyt müssen wir uns stets einen in Lösung befindlichen oder flüssigen Körper vorstellen; es kann aber auch der Fall eintreten, dass der Elektrolyt ein fester Körper ist und erst durch den Strom flüssig gemacht — geschmolzen — wird, um dann in diesem Zustande zerlegt zu werden. (Letzterer Fall tritt z. B. bei der Aluminiumgewinnung ein). Die beiden den Strom in den Elektrolyt führenden Leiter bezeichnet man als Elektroden und nennt die positive Elektrode die Anode, die negative die Kathode. Die durch den Strom ausgeschiedenen Produkte bezeichnet man als Anion, wenn sie an der Anode, als Kathion, wenn sie an der Kathode erscheinen.

Die Ausscheidung der Stoffe ist stets eine polare, d. h. die beiden ausgeschiedenen Stoffe werden stets an den Elektroden erscheinen und zwar so, dass der säuernde an der positiven Elektrode oder der Anode, der basische Bestandteil an der negativen Elektrode

oder der Kathode sich abscheidet. Man bezeichnet dies als das Gesetz der polaren Zersetzung.

Weit wichtiger ist aber für uns hier das folgende von Faraday (1833) gefundene Gesetz:

Die Menge des ausgeschiedenen Stoffes ist der Stromstärke direkt proportional und verhält sich bei verschiedenen Elektrolyten wie deren chemische Äquivalente.¹⁾

Man kann daher auch sagen, dass den chemischen Äquivalenten gleiche elektrische Äquivalente entsprechen. In folgendem ist eine Tabelle, enthaltend die elektrochemischen Äquivalente, eingefügt:

Die dritte Spalte giebt die elektrochem. Äquivalente oder die in einer Sekunde durch den Strom von 1 Amp. niedergeschlagene Menge in *mg*, die vierte Spalte die für 1 *g* Niederschlag erforderliche Strommenge in Coulomb, die fünfte Spalte die Menge des Niederschlages in Gramm bei einer Stromarbeit von 1 Ampère-Stunde.

Zeichen	Chem. Äquivalent	Elektrochem. Äquivalent.	Coulomb pro 1 <i>g</i> Niederschlag	Niederschlag pro 1 Stunde pro 1 Amp. in <i>g</i>
Al	13·7	0·14232	7026	0·5123
Pb	103·5	1·07536	929	3 8713
Br	80	0 83101	1203	2·9916
Cl	35 5	0·36885	2711	1·1327
Fe	28	0·29092	3437	1·0477
Au	65·5	0·68055	1469	2·4499
I	127	1·31852	758	4·7466
K	39 1	0·40625	2462	1·4625
Co	29 5	0·30650	3262	1·1034
Cu	31·7	0·32810	3042	1·1812
Mg	12	0·12465	8023	0·4487
Na	23	0 23897	4185	0 8603
Ni	29 5	0·30650	3262	1·1034
Pt	98 8	1·02653	974	3·6955
Hg	100	1·03876	963	3·7395
O	8	0·08310	12034	0·2991
Ag	108	1·11830	894	4·0259
N	4·3	0·04468	22381	0·1608
H	1	0·01039	96246	0·0374
Zn ²⁾	32·5	0·33767	2961	1·2156
Sb	29·5	0·30650	3262	1·1034

¹⁾ Die Zahlen, welche die geringsten Gewichtsmengen der einfachen Körper ausdrücken, in welchen sie sich mit derselben Menge eines als Vergleichseinheit gewählten Elementes verbinden, nennt man die Mischungsgewichte oder Äquivalentgewichte oder kurz Äquivalente derselben.

²⁾ Nach Untersuchungen von Murray ist das elektrochemische Äquivalent des Zn = 0·3386. El. Zeitschrift 1893, pag. 507.

Obigem Gesetze nach wird also ein bestimmter Strom dieselbe Menge eines Stoffes in derselben Zeit abscheiden, und umgekehrt wird einer Menge ausgeschiedenen Stoffes in einer gewissen Zeit ein bestimmter Strom entsprechen.

Wir sehen, dass wir durch die Elektrolyse eine Möglichkeit haben, die Stromstärke zu messen, sobald es uns bekannt ist, wie viel des betreffenden Stoffes in der Zeiteinheit durch 1 Ampère ausgeschieden wird resp. sobald uns die elektrochemischen Äquivalente bekannt sind. Wir werden in einem späteren Kapitel darauf zurückkommen und die hierbei üblichen Vorrichtungen kennen lernen.

3. Wenden wir uns zu weiteren Wirkungen des elektrischen Stromes im Stromkreise, so kommen wir zur Wärmewirkung des Stromes. Der elektrische Strom erzeugt bei seiner Bewegung durch einen Leiter bei Überwindung des Widerstandes in demselben stets Wärme. Die erzeugte Wärmemenge ist dem Quadrate der Stromstärke und dem Widerstande direkt proportional. In einer Formel ausgedrückt :

$$Q = J^2 W.$$

Da nun $J = \frac{E}{W}$ ist, so ist $J^2 = \frac{E^2}{W^2}$.

Setzen wir diesen Wert für J^2 ein, so erhalten wir

$$Q = \frac{E^2}{W^2} \cdot W = \frac{E^2}{W},$$

so dass wir hieraus auch lesen können, dass die entwickelte Wärmemenge dem Quadrate der elektromotorischen Kraft (Spannung) direkt und dem Widerstand umgekehrt proportional ist.

Wenn wir nun einen fixen, unveränderlichen Widerstand haben, so wird die erzeugte Wärmemenge dem Quadrate der Spannung proportional sein. Da nun ein Körper durch die Wärme eine proportionale Ausdehnung erfährt, so kann die Ausdehnung eines vom Strome durchflossenen Leiters zur Strommessung benutzt werden. Thatächlich hat auch die Wärmewirkung, wie wir später sehen werden, praktische Anwendung zur Strommessung gefunden.

4. Die Lichtwirkung des Stromes kann zu Strommessungen nicht verwendet werden. —

Wir haben nun die Wirkungen des Stromes innerhalb seiner Leitung oder im Stromkreise kennen gelernt und wenden uns nun zu denjenigen Wirkungen, welche der Strom auf ausserhalb seines Weges gelegene Leiter oder Ströme ausübt.

Man unterscheidet da dreierlei Wirkungen des Stromes und zwar:

1. die sogenannten dynamischen oder bewegenden Wirkungen,

2. die magnetischen Wirkungen und
3. die Induktionswirkungen.

Die ersteren beiden Fälle wollen wir im folgenden eingehender besprechen, den 3. Fall aber gar nicht, da die Induktionswirkungen keine Anwendung zur Strommessung finden.¹⁾

1. Dynamische Wirkungen. Fliesst ein Strom durch einen festen Leiter, während sich in der Nähe dieses Leiters ein beweglicher, ebenfalls stromdurchflossener Leiter befindet, so wirken die beiden benachbarten Ströme anziehend oder abstossend auf einander ein. Folgende 4 Sätze sprechen die elektrodynamischen Gesetze aus:

1. Parallele und gleich gerichtete Ströme ziehen einander an.
2. Parallele, entgegengesetzt gerichtete Ströme stossen einander ab.
3. Gekreuzte (nicht parallele) Ströme, welche beide nach oder beide von dem Kreuzungspunkte fliessen, ziehen einander an.
4. Gekreuzte Ströme, von welchen der eine zur, der andere von der Kreuzungsstelle fliesst, stossen einander ab.

Die letzteren beiden Sätze lassen sich auch in einen einzigen Satz formulieren, der lautet:

Gekreuzte Ströme suchen sich parallel zu richten.

Gerade dieser letzte Satz findet in einigen Apparaten Anwendung, wie wir später sehen werden.

Die Anziehung oder Abstossung der Ströme ist direkt proportional dem Produkte der auf einander einwirkenden Stromstärken und Stromlängen und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung.

Bezeichnen J und J_1 die bezüglichen Stromstärken, l und l_1 die Leiterlängen, d die Entfernung zwischen beiden, so wird die Grösse der abstossenden Kraft ausgedrückt durch die folgende Formel:

$$f = \frac{J \cdot J_1 \cdot l \cdot l_1}{d^2}$$

Aus dieser Formel entnehmen wir auch, dass die Entfernung eine grosse Rolle spielt. Bei gleichen Stromstärken J und gleichen Längen l wird die abstossende oder anziehende Kraft nur von der Entfernung der Leiterteile abhängig sein und zwar im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernung. Die anziehende oder abstossende Kraft wird 4, 9, 16, 25 u. s. w. mal schwächer, wenn die Entfernung 2, 3, 4, 5 u. s. w. mal grösser wird.

¹⁾ Ausgenommen den Fall, in welchem die Induktionswirkung — wie bei Anwendung des Telephons bei Messbrücken, von welchen später die Rede sein wird — in zweiter Linie Anwendung findet.

2. Die magnetischen Wirkungen des Stromes können wir wieder in zwei Gruppen teilen und zwar in die Wirkungen des Stromes auf Magnete (permanente Stahlmagnete) und die magnetisierende Wirkung des Stromes auf weiches Eisen.

Die Wirkung des Stromes auf einen permanenten Magnet erkennt man am einfachsten, wenn man parallel zu einer Magnetnadel

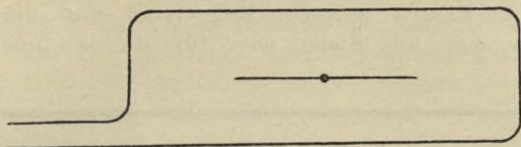


Fig. 1.

einen Strom führt. Ist die Magnetnadel frei beweglich, so wird dieselbe sich senkrecht zur Stromesrichtung stellen. Die Ablenkung der Magnetnadel durch einen parallel geführten Strom ist durch die bekannte Ampère'sche Schwimmerregel gegeben: Denkt man sich mit dem Strom schwimmend, das Gesicht der Nadel zugekehrt, so zeigt die ausgestreckte linke Hand nach dem abgelenkten Nordpol.

Wir sehen in vielen Apparaten von dieser Thatsache in verschiedenster Weise Anwendung gemacht. Der ablenkende Strom befindet sich entweder in der Ebene der Nadel selbst, wie Fig. 1 dies zeigt, oder aber senkrecht zur Richtung der magnetischen Axe, wie dies in Fig. 2 angedeutet ist.

Die Erklärung für die Ablenkung einer Magnetnadel durch den Strom ist nach Ampère's Theorie des Magnetismus eine ganz einfache. Ampère erklärte den Magnetismus in folgender Weise: Die kleinsten Teilchen eines Eisenstabes werden von elektrischen Strömen umflossen, deren Ebenen im unmagnetischen Eisen alle möglichen Lagen einnehmen. Sowie aber das Eisen magnetisch wird, haben sich alle diese sogenannten Elementarströme parallel gestellt, so

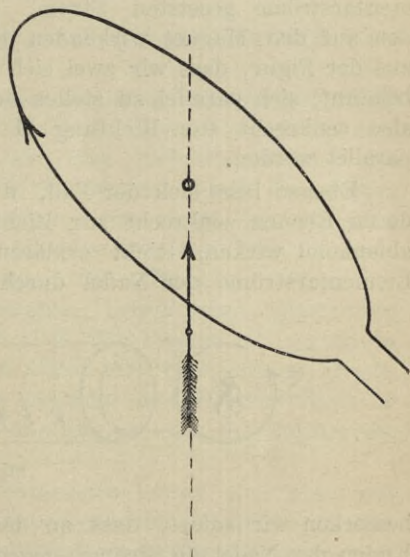


Fig. 2.

dass uns der Magnet als ein von elektrischen Kreisströmen umflossenes Stück Eisen erscheinen kann. Denken wir uns nun statt der vielen kleinen, um die kleinsten Teilchen fließenden Ströme einen entsprechend starken Strom um einen Eisenstab fließen, so können wir nun alle Wirkungen des elektrischen Stromes auf einen Magnet zurückführen auf die Wirkung elektrischer Ströme auf elektrische Ströme.

Es sei in Fig. 3 $n s$ ein Magnetstab und die gezeichnete Spirale führe den an Stelle oder für die Summe aller Ele-

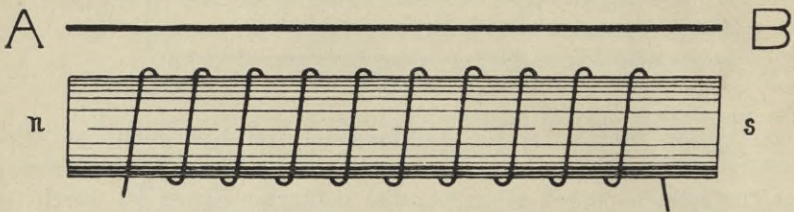


Fig. 3.

mentarströme gesetzten Strom. Sei nun $A B$ der Leiter, welcher den auf den Magnet wirkenden Strom führt, so sieht man leicht aus der Figur, dass wir zwei sich kreuzende Ströme haben, die, wie bekannt, sich parallel zu stellen suchen. Die Magnetnadel wird sich also senkrecht zur Richtung $A B$ stellen, wodurch die Ströme parallel werden.

Ebenso lässt sich der Fall, in welchem Kreisströme (Solenoid), deren Ebenen senkrecht zur Richtung der Nadel stehen, auf diese ablenkend wirken, leicht erklären. Denken wir uns wieder die Elementarströme der Nadel durch einen Strom ersetzt, Fig. 4, so

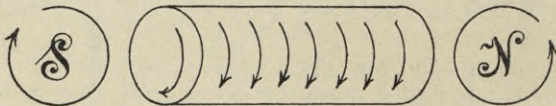


Fig. 4.

bemerken wir sofort, dass an den, den Kreisströmen zugekehrten Enden der Nadel die Ströme, gegen einander betrachtet, entgegengesetzte Richtung haben und daher abstossend auf einander einwirken.

Die magnetische Wirkung des Stromes besteht bekanntlich darin, dass ein weiches Stück Eisen, von einem Strome spiralig umflossen, zu einem Magnete wird; man nennt solch einen Magnet einen Elektromagnet. Die magnetisierende Kraft ist bei demselben Eisen

und derselben Windungszahl der Stromstärke proportional; die Empfindlichkeit ist eine sehr grosse, so dass bei jeder Änderung der Stromstärke auch der Magnetismus eine Änderung erfährt.

Bei Anwendung von Elektromagneten in Messinstrumenten tritt der sogenannte remanente Magnetismus, d. i. jene geringe Menge Magnetismus, die im weichen Eisen zurückbleibt, sobald der Strom dasselbe nicht mehr umfließt, störend auf. Man sucht den remanenten Magnetismus auf verschiedene Weise unschädlich zu machen. Dies geschieht dadurch, dass man entweder, wo thunlich, sehr dünnes Eisen nimmt, oder aber das Eisen zerteilt, also aus vielen dünnen Stücken zusammenbaut; stets aber ist ein sehr weiches, gut ausgeglühtes Eisen der beste Schutz vor dem remanenten Magnetismus.

Permanente Magnete haben den Übelstand, dass ihr Magnetismus sich leicht ändert; es ist daher geboten, Apparate mit solchen Magneten ab und zu zu überprüfen, wie wir das später noch besprechen werden.

Die Form der angewendeten Magnete ist eine sehr verschiedene. Sehr häufig wird die Nadel- und die Glockenform bei den permanenten Magneten angewendet.

Die Formen der Elektromagnete sind sehr verschieden je nach der Art des Apparates.

Von der Induktion, das ist der Hervorrufung elektrischer Ströme durch Ströme oder durch Magnetismus in benachbarten Leitern, macht man insofern Anwendung, als man Induktionsströme zur Dämpfung benutzt. Wenn nämlich ein Magnet durch den Strom eine Ablenkung erfährt, so schwingt er meist einige Zeit um seine neue Gleichgewichtslage, bevor er in derselben zur Ruhe kommt, und erst dann ist man im Stande, die Ablenkung abzulesen. Um diese Schwingungen zu verringern, bringt man sogenannte Dämpfungen an. So verbindet man z. B. den Magnet mit grösseren Flügeln — Windflügeln —, um auf diese Art eine ruhige gleichmässige Bewegung zu erzeugen und das Hin- und Herschwingen zu verhindern. Eine noch stärkere Dämpfung ist die, bei welcher die Flügel in Glycerin sich bewegen.

Diese — mechanischen — Dämpfungen lassen sich aber nur bei nicht transportablen Apparaten anbringen; auch machen sie den Apparat grösser, als es sonst ohne Dämpfung notwendig wäre.

Die elektrische Dämpfung lässt sich nun leicht auch bei transportablen Instrumenten anbringen und wirkt sehr gut.

Umgiebt man einen Magnet mit einer Hülse aus Kupfer, welche in sich geschlossen ist, so entstehen bei einer Bewegung des Magnets in der Kupferhülse elektrische Ströme, welche auf den

Magnet rückwirken, so dass derselbe sehr rasch zur Ruhe kommt. Die Einstellung eines Magnets ohne Schwingungen bezeichnet man als eine aperiodische.

III.

Entsprechend dem Vorhergegangenen wollen wir nun jene Apparate zuerst besprechen, welche auf der chemischen Wirkung des Stromes beruhen.

Man bezeichnet derartige Apparate im allgemeinen als »Voltameter« und unterscheidet Volumvoltameter, bei welchen ein ausgeschiedenes Gasvolum als Mass dient, und Gewichtsvoltameter, bei welchen das Gewicht des ausgeschiedenen Stoffes das Mass für die Stromstärke oder für die Strommenge, (letzteres, wenn die Stromstärke konstant war und die Zeit gemessen wurde) giebt.

Voltameter werden zu direkten Strommessungen wohl nie verwendet, da sie hierzu zu umständlich sind; sie leisten aber grosse Dienste bei Aichung anderer Instrumente.

Das Knallgasvoltameter wird in verschiedenen Formen hergestellt; einige der gebräuchlichsten Knallgasvoltameter werden wir hier kennen lernen.

Eine ganz einfache und zur genauen Messung gut geeignete Form sehen wir in Fig. 5 abgebildet.

In das Gefäss *A*, welches der besseren Leitungsfähigkeit halber mit angesäuertem Wasser (destilliertes Wasser und chemisch reine Schwefelsäure) vom spezifischen Gewichte 1.15 gefüllt ist, tauchen zwei Platinbleche, die an Platindrähten befestigt sind und die Stromzuführung besorgen.

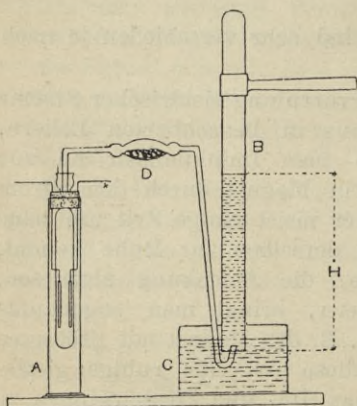


Fig. 5.

Aus dem Gefässe *A* führt eine mit einer Erweiterung versehene Glasröhre das entwickelte Gasgemenge in die mit destilliertem Wasser gefüllte Glasröhre *B*, die mit ihrem offenen Ende in eine ebenfalls mit Wasser gefüllte Wanne *C* taucht. Die Erweiterung *D* dient zur Aufnahme von Chlorcalcium, das den Zweck hat, mitgerissene Wasserdämpfe zu absorbieren, also das Gas zu trocknen. Die Röhre *B* wird durch einen Ständer festgehalten. Indem der Strom durch das Wasser geht, zerlegt er dasselbe (H_2O) in seine Grund-

bestandteile Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O); dieselben sind gasförmige Körper und wird das Gasgemenge seiner Eigenschaft halber, bei Entzündung unter heftigem Knalle sich zu Wasser zu vereinigen, als Knallgas bezeichnet.

Die entwickelte Gasmenge ist der Stromstärke proportional; 1 Ampère entwickelt in einer Minute 10.44 cm^3 trockenes Knallgas, vorausgesetzt eine Temperatur von 0^0 Celsius und einen äusseren Luftdruck, der einem Barometerstand von 760 mm entspricht. Unter gewöhnlichen Verhältnissen hat man aber keine dieser beiden Bedingungen bei einer Messung erfüllt und hat man daher entsprechende Korrekturen vorzunehmen.

Um eine Messung auszuführen, hat man nun folgendes zu beachten: Man schliesst den Strom und lässt eine kurze Zeit entwickeln und bestimmt dann nach Unterbrechung die Höhe der noch in der Röhre stehenden Flüssigkeitssäule vom Niveau des Wassers im Gefässe C . Nun erst schliesst man den Strom und lässt denselben eine mittelst einer Sekunden zeigenden Uhr genau gemessene Zeit einwirken. Liest man dann die Höhe des Wassers in der Röhre ab, so hat man dieselbe von der zuerst gemessenen zu subtrahieren, um die richtige Höhe zu erhalten. Am Thermometer liest man die Temperatur, am Barometer den herrschenden Luftdruck ab. Sei der Barometerstand b_1 , die während des Versuches herrschende Temperatur t , so lautet die Reduktionsformel:

$$b_0 = \frac{b_1}{1 + at} = b_1 \cdot (1 - at)^1$$

In dieser Formel bedeutet a den Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers.

Dieser Koeffizient a kann bei einer Skala aus Glas gleich 0.00017 , aus Messing 0.00016 gesetzt werden; hierbei ist die Ausdehnung der Skalen in Rechnung gezogen.

Die in mm abgelesene Höhe H wird durch 13.6 (spez. Gewicht des Quecksilbers) dividiert und die erhaltene Höhe $h = \left(\frac{H}{13.6}\right)$ von b_0 subtrahiert.

Nun ist noch eine Korrektur vorzunehmen. Das Gas nimmt aus dem Wasser Wasserdämpfe auf und sättigt sich damit; diese Wasserdämpfe werden einer Spannkraft e in mm Quecksilbersäule entsprechen, die ebenfalls von b_0 zu subtrahieren ist.

¹⁾ Der Wert: $b_0 = b_1 \cdot (1 - at)$ ergibt sich durch Division von 1 durch $(1 + at)$ bei Vernachlässigung der höheren Potenzen von at , da dieselben verschwindend klein gegen at werden.

Diese Spannkraft ändert sich mit der Temperatur; die folgende Tabelle gibt für verschiedene Grade Celsius die in *mm* Quecksilbersäule ausgedrückte Spannkraft des Wasserdampfes:

t	h	t	h
0	4.6		
1	4.9	16	13.5
2	5.3	17	14.4
3	5.7	18	15.3
4	6.1	19	16.3
5	6.5	20	17.4
6	7.0	21	18.5
7	7.5	22	19.6
8	8.0	23	20.9
9	8.5	24	22.2
10	9.1	25	23.5
11	9.8	26	25.9
12	10.4	27	26.5
13	11.1	28	28.1
14	11.9	29	29.7
15	12.7	30	31.5

Hat man auch diesen Wert ermittelt, so hat man den Gesamtdruck

$$p = b_0 - h - e$$

und es ist das auf 0° C. reduzierte Gasvolum V_0 , wenn das gemessene V_1 war:

$$V_0 = \frac{V_1}{1 + 0.0037 t} \cdot \frac{p}{760}$$

Wie aus dem Obigen zu ersehen ist, bietet eine Messung mit dem Knallgasvoltmeter manche Schwierigkeit und erfordert eine grosse Gewissenhaftigkeit der Arbeit.

Eine bequeme Form hat Kohlrausch dem Knallgasvoltmeter gegeben. Dasselbe ist in Fig. 6 abgebildet. Es besteht aus einem weiteren Gefässe *A*, in welches eingeschlossen das kalibrierte Rohr *B* eingesteckt wird; in das Rohr *B* ist ein kleines Thermometer eingeschmolzen. Durch die beiden seitlichen Tuben sind die Platin-Elektroden eingeführt. Die Füllung erfolgt dadurch, dass man das grössere Gefäss füllt und

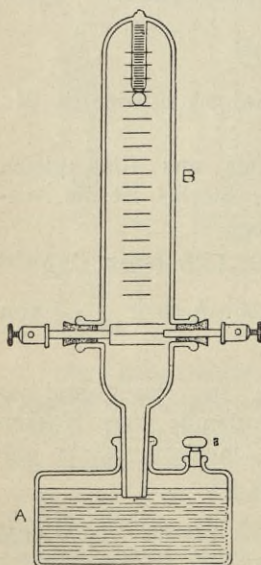


Fig. 6.

dann einfach umkippt, wodurch sich das Rohr füllt; bei Messung ist der Pfropfen *a* zu entfernen.¹⁾

Der Umstand, dass, besonders bei kleinen Stromstärken, eine ziemlich starke Absorption des Sauerstoffes im Wasser stattfindet, macht die Messung ungenau, weshalb man es in vielen Fällen vorzieht, nur die ausgeschiedene Wasserstoffmenge zu messen. Dies erreicht man in der Weise, dass man 2 Röhren anbringt und die Elektroden je in eine der Röhren einführt; hierdurch ist man im

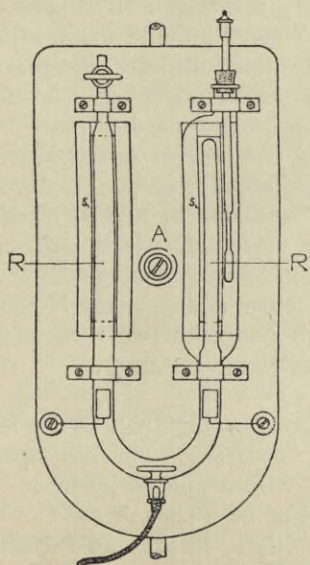


Fig. 7.

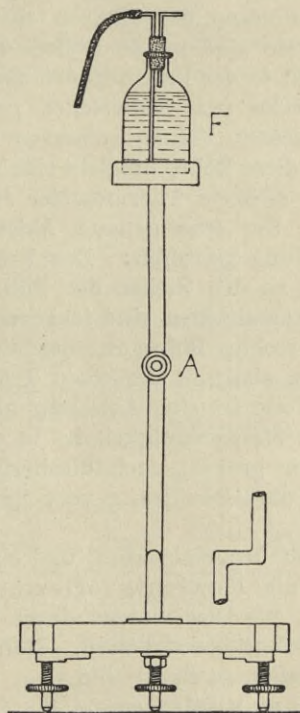


Fig. 8.

Stande, die beiden Gase getrennt aufzufangen. Misst man nur die Wasserstoffmenge und benutzt die obige Formel, so muss dieselbe mit $\frac{3}{2}$ multipliziert werden.

In Fig. 7 und 8²⁾ ist ein in letzter Zeit von Cornelius Heinz & Co., Fabrik chemischer Apparate in Aachen, in den Handel gebrachtes Voltameter dargestellt, bei welchem nur der Wasserstoff

¹⁾ El. Zeitschrift 1885, S. 192.

²⁾ El. Zeitschrift 1894, S. 170.

gemessen wird. Dieses Voltameter eignet sich zur Messung von Strömen bis zu 0.2 Ampère. Auf einem Dreifuss mit Stellschrauben ist eine Stange angebracht, auf welcher bei A das Voltameter festgeschraubt ist. Dasselbe besteht aus zwei Röhren R und R , welche durch ein u förmig gebogenes Rohr in Verbindung stehen. Am tiefsten Punkte dieses Rohres ist ein Glashahn angebracht, dessen Auslauf durch einen Gummischlauch mit der am oberen Ende des Stativs aufgestellten Flasche in Verbindung gebracht ist. Mit Hilfe dieser Vorrichtung und Drehung des ganzen Apparates um die Schraube A ist die Füllung der Röhren eine sehr einfache. Die beiden Platin-Elektroden sind in die Röhren eingeschmolzen, so dass der Sauerstoff sich in der linken Röhre ansammeln wird, aus welcher er durch einen Hahn zum Entweichen gebracht werden kann. Der Wasserstoff, dessen Volum gemessen wird, sammelt sich in der rechten Röhre; diese Röhre umgibt eine mit Wasser gefüllte weitere Röhre, in welcher sich ein Thermometer zur Bestimmung der Temperatur befindet. Um eine genaue Ablesung zu ermöglichen, ist folgende Einrichtung getroffen: Das Brett, an welchem die Röhre befestigt ist, hat an den Stellen der Röhre R rechteckige Ausschnitte. Über diesen Ausschnitten sind in korrespondierender Höhe mit der Teilung auf der rechten Röhre durchsichtige Glasskalen s_1 und s_2 angebracht; dieselben sind mit derselben Teilung versehen, wie die Röhre. Auf diese Weise ist eine Ablesung ohne Parallaxe möglich.

Die Messgenauigkeit ist in dem oben angegebenen Messbereiche eine sehr grosse; nach diesbezüglich ausgeführten Untersuchungen beträgt die Abweichung vom Silbervoltameter 0.05 %.

Weit bequemer sind, und eine grössere Genauigkeit der Messung bieten die Gewichtsvoltameter, das sind Vorrichtungen, bei welchen das Gewicht des durch den Strom ausgeschiedenen Stoffes zur Messung benutzt wird. Man hat es da stets mit festen Körpern, mit Metallen zu thun, und zwar mit Silber, Kupfer oder Zink; auch Quecksilber wurde benutzt.

Bei diesen Voltametern ist es notwendig, eine sehr genaue, sogenannte chemische Wage zur Verfügung zu haben, da es hier auf eine genaue Wägung ankommt.

Das Silbervoltameter liefert unter allen Voltametern die genauesten Resultate — selbstredend bei Einhaltung aller bezüglichen Regeln.

Als positive Elektrode verwendet man reines Silber, als negative Elektrode Platin, als Elektrolyt eine reine Silbernitratlösung von 1 Teil Silbernitrat auf 5 bis 10 Teile destilliertes Wasser.

Die einfachste Form eines Silbervoltameters ist die, dass man in

einem sorgfältig gereinigten Glasgefässe eine Platinplatte horizontal anordnet und darüber parallel hierzu eine kleinere Silberplatte anbringt. Diese Anordnung hat den Nachteil, dass sich an den Rändern der Platinplatte auch Silber abscheidet, das leicht abbröckelt, wodurch Fehler entstehen.

Aus diesem Grunde verwendet man als negative Elektrode mit Vorteil einen Platintiegel. Eine sehr bequeme und praktische Einrichtung hat v. Beetz (M. Th. Edelmann in München) dem Silbervoltmeter gegeben; Fig. 9 giebt eine Darstellung desselben. Auf der Grundplatte ist eine kreisförmige Messingplatte *B* befestigt, welche mittels Federn die negative Elektrode, einen Platintiegel, festhält und mit einer Klemme zur Verbindung mit der Stromquelle versehen ist. Die mit der positiven Klemme versehene Metallsäule *C* hat einen verstellbaren Arm *D*, der die positive Elektrode, einen hohlen Silbercylinder, trägt.

Der Cylinder wird mit Pergamentpapier oder einem Leinwandsäckchen umgeben, um die bei der Auflösung des Silbers möglicherweise abfallenden Silberstückchen aufzufangen. Die Platinschale *P* wird mit der oben angegebenen Lösung gefüllt und nun der Silbercylinder so in die Flüssigkeit getaucht, dass derselbe sich in der Mitte des Tiegels,

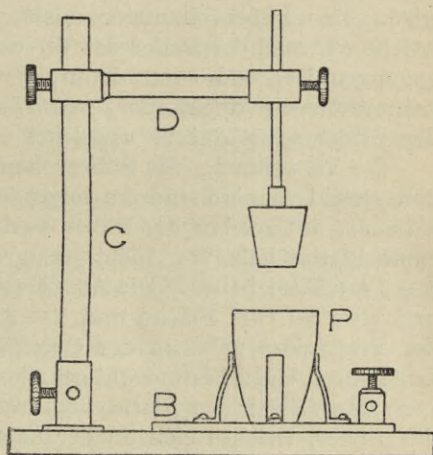


Fig. 9.

von allen Wänden gleich weit abgehend, befindet. Nun erst kann man den Strom schliessen.

Die Stromdichte soll eine geringe sein; man rechnet auf 1 dm^2 Kathodenfläche (Platin) ca. $\frac{1}{2}$ Ampère Stromstärke. Bei zu grosser Stromstärke wird man einen geeigneten Widerstand einschalten. Gleichzeitig mit Herstellung des Stromschlusses, was am besten mit einem eingeschalteten Momentausschalter geschieht, hat man die Zeit zu notieren, ebenso bei Beendigung des Versuches. Die Bestimmung der Zeit bedingt grosse Aufmerksamkeit, da es sehr leicht ist, sich um eine halbe Sekunde zu irren; aus diesem Grunde ist es vorteilhaft, den Strom mindestens einige Minuten wirken zu lassen, da hierdurch jener Fehler ein verhältnismässig geringerer wird.

Nach Beendigung des Versuches hat man den Platintiegel zu

entleeren, mit reinem Wasser auszuwaschen und zu trocknen. Der Tiegel wurde vor dem Versuche genau gewogen und wird nun wieder das Gewicht desselben bestimmt; die Differenz ergibt das Gewicht des in t Sekunden niedergeschlagenen Silbers. Der Strom von 1 Ampère scheidet in einer Minute 67·08 *mg* Silber aus.

Hat man keine sehr genaue Wage, so ist es gut, eine doppelte Wägung — auf beiden Wagschalen abwechselnd — vorzunehmen und aus den gefundenen Gewichten das arithmetische Mittel zu ziehen.

Die Elektrizitätskommission des Board of Trade giebt die folgende Anweisung zum Gebrauche des Silbervoltameters¹⁾:

«Im Folgenden ist unter dem Ausdruck Silber-Voltameter die Anordnung eines Apparates verstanden, mittels dessen ein elektrischer Strom durch die Lösung von Silbernitrat in Wasser hindurchgeschickt wird. Das Silbervoltameter misst die gesamte Elektrizitätsmenge, welche während der Dauer des Versuches durch die Lösung hindurchgegangen ist, und somit kann, wenn diese Zeit notiert wird, das Zeitmittel des Stromes oder, wenn der Strom konstant gehalten wird, der Strom selbst daraus abgeleitet werden.

Bei Verwendung des Silbervoltameters zur Messung von Strömen von etwa 1 Ampère sind die folgenden Anordnungen zu treffen: Die Kathode, auf welcher das Silber niedergeschlagen wird, soll die Form einer Platinschale von nicht weniger als 10 *cm* Durchmesser und 4—5 *cm* Tiefe haben. Die Anode soll eine Platte von reinem Silber und etwa 30 *cm*² Fläche und 2—3 *mm* Dicke sein. Diese wird in der Flüssigkeit nahe an der Oberfläche der Lösung in horizontaler Lage durch einen Platindraht gehalten, der durch Löcher an entgegengesetzten Ecken der Platte hindurchgeht. Um zu verhüten, dass das Silber, welches sich an der Anode bildet, auf die Kathode fällt, muss die Anode mit reinem Filterpapier umwickelt werden, welches an der Rückseite mit Siegelack befestigt ist. Die Flüssigkeit soll aus einer neutralen Lösung von reinem Silbernitrat bestehen, welche etwa 15 Gewichtsteile Salz auf 85 Gewichtsteile Wasser enthält. Der Widerstand des Voltameters ändert sich etwas, während der Strom hindurchgeht. Um zu verhüten, dass diese Änderung eine zu grosse Wirkung auf den Strom habe, muss ein Widerstand, ausser dem des Voltameters, in den Stromkreis eingeschaltet werden.

Verfahren, um eine Messung anzustellen.

Die Platinschale wird mit Salpetersäure und destilliertem Wasser gewaschen, durch Wärme getrocknet und dann in einem Trockenapparat abgekühlt. Wenn vollständig trocken, wird dieselbe sorg-

¹⁾ El. Zeitschrift 1891, S. 340.

fältig gewogen, nahezu mit der Lösung angefüllt und mit dem übrigen Teile des Stromkreises verbunden, indem sie auf eine blanke kupferne Unterlage gesetzt wird, an welcher eine Klemmschraube angebracht ist. Diese kupferne Unterlage muss isoliert sein. Die Anode wird dann in die Lösung eingetaucht, so dass sie von derselben ganz bedeckt wird, und in dieser Lage festgehalten. Sodann werden die Verbindungen hergestellt, der Strom geschlossen und die Zeit des Stromschlusses notiert. Der Strom wird nicht weniger als eine halbe Stunde hindurchgesandt und der Zeitpunkt, bei welchem der Kontakt unterbrochen wird, beobachtet. Man muss darauf achten, dass die Uhr, welche angewendet wird, während der Dauer des Versuches auch richtig geht.

Die Lösung wird nun aus der Schale entfernt und der Niederschlag mit destilliertem Wasser gewaschen und mindestens 6 Stunden lang im Wasser stehen gelassen. Die Schale wird dann allmählich mit destilliertem Wasser und absolutem Alkohol bei einer Temperatur von etwa 160° C. getrocknet. Nach der Abkühlung in einem Trockenapparat wird dieselbe wiederum gewogen. Das Mehrgewicht giebt das Gewicht des niedergeschlagenen Silbers an.

Um den Strom in Ampère zu finden, muss dieses Gewicht, ausgedrückt in Gramm, durch die Anzahl der Sekunden, während welcher der Strom hindurch ging, und durch 0.001117 dividiert werden. Das Resultat ist das Zeitmittel des Stromes, wenn während des Versuches der Strom sich änderte.

Um mittelst dieses Verfahrens die Konstante eines Instrumentes zu bestimmen, muss der Strom so konstant wie möglich gehalten und die Ablesung des Instrumentes in bestimmten, häufigeren Zeitintervallen beobachtet werden. Diese Beobachtungen geben eine Kurve, aus welcher die dem mittleren Strome entsprechende Ablesung, das Zeitmittel des Stromes, abgeleitet werden kann.

Der mit Hilfe des Voltameters berechnete Strom entspricht dieser Ablesung.«

Das Kupfervoltmeter eignet sich für grössere Stromstärken weit besser als das Silbervoltmeter. In der einfachsten Form besteht das Kupfervoltmeter aus 2 gleich grossen Kupferblechen, welche in eine Lösung von chemisch reinem Kupfervitriol in destilliertem Wasser tauchen. Die Kupferlösung soll nicht konzentriert sein, um das Ansetzen von Kupfervitriolkrystallen auf den Elektroden hintanzuhalten.

Häufig nimmt man die Kathode aus Platin und wählt dieselbe etwas grösser als die Kupferanode.

Vor dem Versuche wäscht man die Platinplatte in verdünnter heisser Salpetersäure und darnach in destilliertem Wasser, trocknet mit Filtrierpapier und nimmt nach vollständigem Abtrocknen derselben

die Wägung vor. Nach dem Versuche wird die mit Kupfer überzogene Platinplatte getrocknet, am besten in einem Trockenkasten, und dann abgewogen.

Wichtig ist es, mit der richtigen Stromdichte zu arbeiten, da man in diesem Falle einen sehr schönen gleichmässigen Niederschlag erhält; Kittler¹⁾ rechnet auf 1 dm^2 Kathodenfläche im Maximum 2.5 bis 3 Ampère Stromstärke. Fig. 10 zeigt ein einfaches Kupfer-voltameter.

Ein Ampère Stromstärke scheidet 19.686 mg Kupfer in der Minute aus.

F. E. Beach empfiehlt in einem Aufsatze im »American Journal of Science« die Anwendung des Kupfernitrats an Stelle des Sulfats im Kupfervoltameter.²⁾

Eine frisch bereitete Lösung von Kupfer-nitrat hat die Neigung, Kupfer aufzulösen; diese Auflösung des Kupfers nimmt jedoch bedeutend ab, wenn das Kupfer längere Zeit in der Flüssigkeit war. Die leicht eintretende Oxydation des niedergeschlagenen Kupfers kann durch Hinzufügung einer geringen Menge von Ammoniumchlorid verhütet werden. Die Herstellung der Lösung geschieht in folgender Weise: Man löst möglichst reines Kupfernitrats in destilliertem Wasser und erhitzt diese Lösung einige Zeit, um die darin befindliche Luft auszutreiben. Hierauf lässt man die Lösung bei Gegenwart von reinem Kupfer 1—2 Stunden lang bei einer Temperatur von 100^0 kochen, wobei sich die Lösung vollständig neutralisiert. Die fertige Lösung soll eine Dichte von 1.53 haben. Dieser Lösung wird auf je 100 cm^3 ein Tropfen gesättigter Ammoniumchloridlösung zugegeben. Die erforderliche Menge von Am-

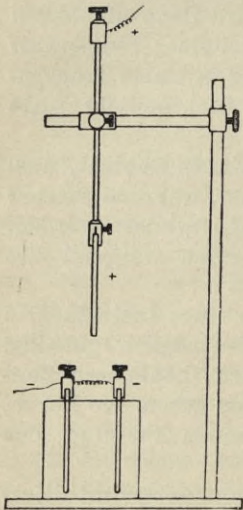


Fig. 10.

moniumchlorid ist damit nicht genau gegeben; ein Versuch lehrt dies am besten: Zuviel Zusatz macht den Niederschlag beim Trocknen schmutzig; bei zu wenig Zusatz oxydiert sich der Niederschlag in der Lösung.

Die Nitratlösung soll den Vorteil haben, dass die Stromdichte keinen Einfluss auf den Niederschlag hat und derselbe auch von der Temperatur innerhalb der Grenzen von 10^0 — 35^0 praktisch unabhängig ist.

¹⁾ Handbuch der Elektrotechnik.

²⁾ El. Zeitschrift 1894, S. 171.

Ausser diesen beiden Metallen hat man auch das Zink im Voltameter verwendet. Die Anregung hierzu ging von Edison aus, der, die Ausscheidung von metallischem Zink aus einer entsprechenden Lösung benutzend, einen Messapparat für die verbrauchte Elektrizitätsmenge in Beleuchtungsanlagen oder, wie man kurz sagt, einen Verbrauchsmesser konstruierte.

Die Stromstärke von 1 Ampère scheidet in der Minute 20·21 *mg* Zink aus.

Die Anwendung des Zinkvoltameters ist wohl eine seltenere; man zieht demselben die beiden vorher besprochenen Voltameter (Silber und Kupfer) entschieden vor. Wir werden später Gelegenheit haben, Edison's Apparat kennen zu lernen.

Kurz sei hier noch erwähnt, dass in neuerer Zeit auch die durch den Strom hervorgebrachte Ausscheidung von Quecksilber aus einer entsprechenden Lösung zur Strommessung Anwendung fand.

Die Schaltungsweise und Anwendung der Voltameter werden wir in einem späteren Kapitel kennen lernen.

IV.

Die im vorhergehenden Kapitel besprochenen Messinstrumente kann man insofern als »wissenschaftliche« bezeichnen, als dieselben ausschliesslich im Laboratorium zu ganz genauen Messungen, zu wissenschaftlichen Untersuchungen und Versuchen und endlich zur Aichung anderer feinerer Apparate Anwendung finden. Der Praktiker kann sich selbstredend nicht derartiger, Zeit und Ruhe erfordernder Instrumente zu seinen Messungen bedienen. Dagegen giebt es eine Anzahl von Instrumenten, welche ebenfalls einen grossen Grad von Messgenauigkeit bieten und dabei doch in ihrer Handhabung einfacher sind. Diese Instrumente sind ebenfalls als »wissenschaftliche« zu bezeichnen, obwohl eine grosse Zahl derselben auch für den Praktiker unentbehrlich ist. Von diesen aber unterscheiden sich wesentlich die rein technischen Instrumente.

In Folgendem wollen wir nun die ersteren Instrumente besprechen. Hierher gehören vor allem zwei Messinstrumente und zwar die Tangentenbussole und die Sinusbusssole.

Die Tangentenbussole. Wie wir (Seite 7) gesehen, wirkt ein elektrischer Strom auf eine Magnetnadel ablenkend ein. Denken

wir uns Fig. 11 eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkt¹⁾ so aufgehängt, dass sich dieselbe in der Zeichenebene frei drehen kann, so befindet sich dieselbe im magnetischen Meridian, beziehungsweise sie wird sich stets in den Meridian einstellen. Geht nun parallel zur Nadel ein Draht, der einen elektrischen Strom führt, so wird die Nadel eine Ablenkung erfahren. Nehmen wir nun an, diese durch einen gegebenen Strom hervorgebrachte Ablenkung betrage den Winkel α , so können wir uns leicht folgende Vorstellung machen: Wenn die Nadel in der dem Winkel α entsprechenden Stellung verharret, so müssen die auf die Nadel wirkenden Kräfte diesen Zustand hervor-

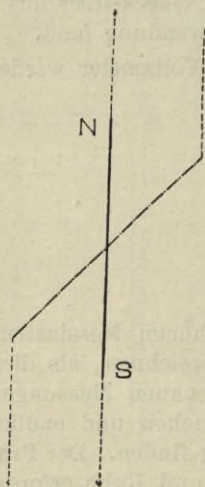


Fig. 11.

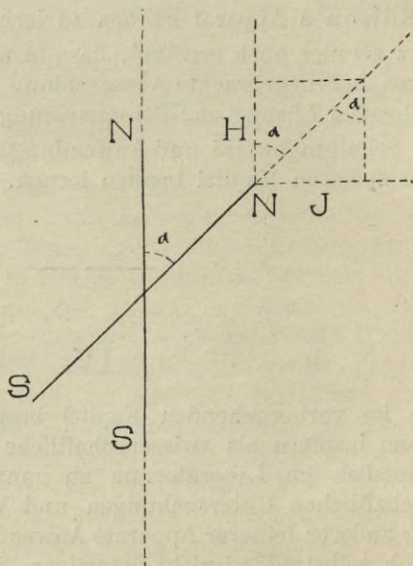


Fig. 12.

gebracht haben und muss die Resultierende beider Kräfte in die Verlängerung der magnetischen Axe der Nadel fallen. Hätte die Resultierende eine andere Richtung, so müsste ja die Nadel dieser Richtung folgen. Die auf die Nadel einwirkenden Kräfte sind aber 2,

¹⁾ Der Ausdruck »Schwerpunkt« ist nicht ganz richtig. Hängen wir eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte auf, so wird dieselbe auch eine Neigung zur horizontalen Ebene zeigen; man nennt diese Neigung die Inklination. Um die Nadel, frei aufgehängt, horizontal zu haben, muss man die Aufhängung entweder etwas ausserhalb des Schwerpunktes gegen den sich neigenden Pol (bei uns der Nordpol) rücken, oder aber die entgegengesetzte (Süd-) Seite durch ein die Inklination aufhebendes kleines Messingstück beschweren.

und zwar die Intensität J des Stromes, welche in der Richtung senkrecht zur Nadel wirkt, und die erdmagnetische Kraft, welche die Nadel in den magnetischen Meridian zu bringen sucht. Die Kraft,

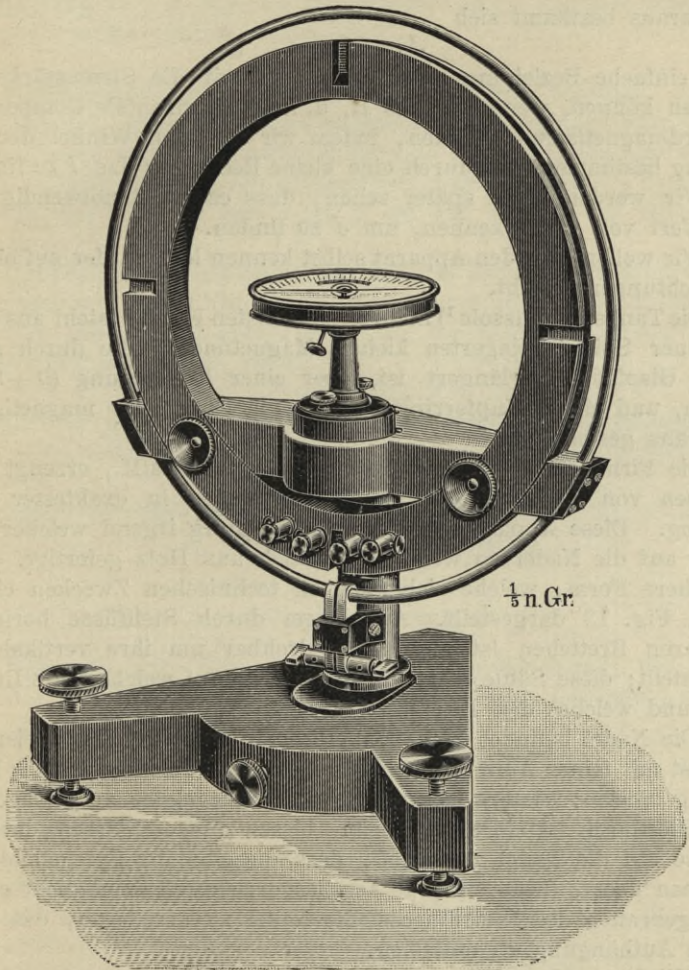


Fig. 13.

mit welcher wir es hier zu thun haben, ist aber nur ein Teil, eine Komponente der erdmagnetischen Kraft, und zwar die horizontale

Komponente derselben; man bezeichnet dieselbe mit H . Die beiden Kräfte J und H wirken auf die Nadel und halten dieselbe in der neuen Lage. Aus der Fig. 12 ersehen wir, dass

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{J}{H}$$

und daraus bestimmt sich

$$J = H \operatorname{tg} \alpha.$$

Diese einfache Beziehung zeigt uns, dass wir die Stromstärke bestimmen können, wenn wir das H , d. i. die horizontale Komponente des Erdmagnetismus, kennen, indem wir nur den Winkel der Ablenkung bestimmen, um durch eine kleine Rechnung das J zu finden.

Wir werden aber später sehen, dass es nicht notwendig ist, den Wert von H zu kennen, um J zu finden.

Wir wollen nun den Apparat selbst kennen lernen, der auf obigen Beobachtungen beruht.

Die Tangentenbussole¹⁾ in ihrer einfachsten Form besteht aus einer auf einer Spitze gelagerten kleinen Magnetnadel, die durch ange kittete Glasfäden verlängert ist, über einer Kreisteilung ($0-360^\circ$) spielen, und einem Kupferring, der in die Ebene des magnetischen Meridians gestellt ist.

Die Firma Hartmann & Braun, Frankfurt a/M., erzeugt nach Angaben von Kohlrausch Tangentenbussolen in exaktester Ausführung. Diese Apparate sind zur Vermeidung irgend welcher Einflüsse auf die Nadel so weit als thunlich aus Holz gefertigt. Eine einfachere Form, welche sich auch zu technischen Zwecken eignet, ist in Fig. 13 dargestellt. Auf einem durch Stellfüsse horizontal stellbaren Brettchen ist eine Säule drehbar um ihre vertikale Axe aufgestellt; diese Säule trägt ein Querstück, auf welchem die Bussole ruht und welches den Kupferring trägt.

Die Nadel befindet sich genau im Mittelpunkte des Kreisringes und ist mit feinen Aluminiumspitzen versehen, welche auf einer Kreisteilung spielen; letztere ist auf belegtem Spiegelglas aufgetragen.

Hierdurch ist ein Fehler beim Ablesen ausgeschlossen; man hat nur so auf die Nadel zu sehen, dass dieselbe ihr Spiegelbild vollkommen deckt. Eine einfache Arretiervorrichtung ermöglicht es, bei Nichtgebrauch des Instruments die Nadel zu arretieren, das heisst deren Aufhängung zu entlasten.

Mit diesem Instrumente können Stromstärken von $0.1-25$ Amp. gemessen werden; um grössere Stromstärken, bis 300 Ampère, zu messen, hat man eine Nebenschliessung zu machen, so dass nur ein Teilstrom durch das Instrument geht. Für noch höhere Stromstärken

¹⁾ Poggendorf's Ann. 42. 1837. S. 281.

werden Bussolen gebaut, bei welchen sich die Nadel aus der Ringebene senkrecht hierzu verschieben lässt; die Verschiebung lässt sich an einer Einteilung abmessen.

Für kleine Stromstärken, bis zu 3 Milliampère abwärts, kann an Stelle des massiven Kupferringes, der eine Windung vorstellt, ein zweiter Ring von geringerem Durchmesser mit 2 mal 300 Windungen dünnen Drahtes gesetzt werden.

Mathematische Erwägungen führen zu dem Schlusse, dass die Magnetonadel, um dem Tangentengesetz zu folgen, eine sehr geringe Länge haben soll. Man wählt daher eine etwas breitere und stärkere Nadel, macht aber die Länge derselben nur beiläufig $\frac{1}{8}$ des Durchmessers des Ringes, also z. B. 2 cm auf 16—20 cm Ringdurchmessers.

Um aber doch einen grösseren Teilkreis benutzen zu können, wird die Nadel mit feinen Glasfäden oder Aluminiumspitzen versehen. —

Wir haben oben eine Formel für die Bestimmung der Stromstärke erhalten, welche lautete:

$$J = H \tan \alpha.$$

Denken wir uns nun eine andere Stromstärke J_1 , so wird dieselbe auch eine andere Ablenkung hervorbringen, z. B. vom Winkel α_1 ; dann ist

$$J_1 = H \tan \alpha_1.$$

Dividieren wir diese beiden Gleichungen durch einander, so erhalten wir

$$J : J_1 = H \tan \alpha : H \tan \alpha_1$$

oder

$$J = \frac{J_1}{\tan \alpha_1} \tan \alpha.$$

Hat man mit Hilfe eines anderen Instrumentes¹⁾ die Stromstärke J_1 , welche den Winkel α_1 ergibt, genau bestimmt, so lässt sich der Faktor

$$\frac{J_1}{\tan \alpha_1}$$

genau berechnen. Nennt man diesen Faktor = C , so lautet obige Formel

$$J = C \tan \alpha.$$

Den Wert C nennt man die Konstante des Instrumentes; dieselbe gilt natürlich nur für das betreffende Instrument, und man pflegt diesen Wert am Apparat selbst zu notieren.

Fig. 14 zeigt eine Abbildung der absoluten Tangenten-Busssole nach Kohlrausch (Hartmann & Braun, Frankfurt a/M.). Dieses Instrument hat einen leicht abnehmbaren Kupferring, der sehr genau ausmessbar ist. Derselbe bildet einen nahezu vollkommen

¹⁾ oder mit Hilfe eines Voltameters.

geschlossenen Stromkreis, und die beiden den Strom zu- und ab-
leitenden Streifen sind ganz knapp und parallel zu einander geführt¹⁾.
Der Ring ist aus elektrolytischem Kupfer hergestellt. Der Apparat hat
entweder eine Nadelbussole, deren Nadel auf einem feinen Kokon-

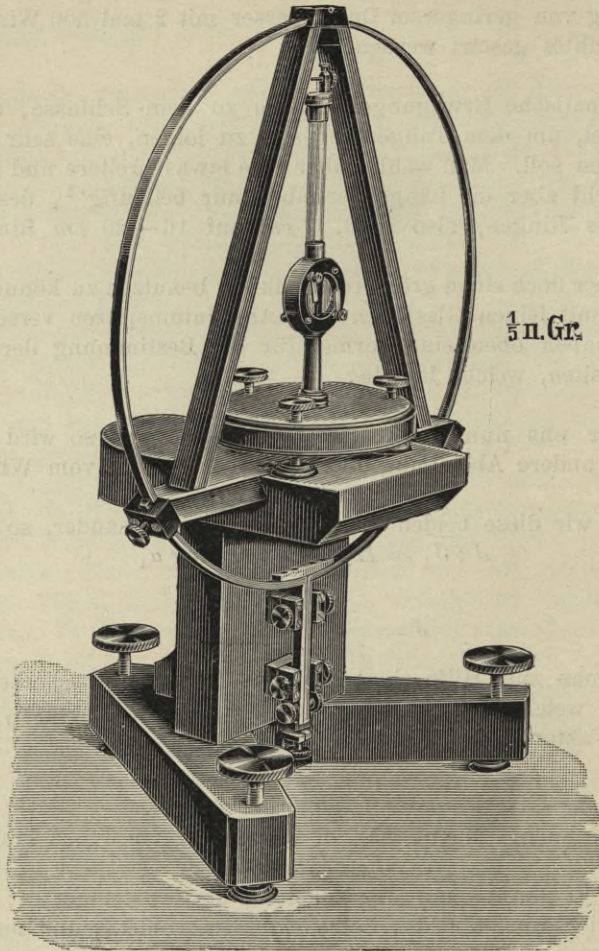


Fig. 14.

faden, in Glasrohr, aufgehängt ist, oder aber ein Magnetometer,
das möglichst metallfrei ist. Das Magnetometer besteht aus einem

¹⁾ Es ist selbstredend, dass man auch die Zuleitungsdrähte so eng wie
möglich an einander zum Apparat führt, um jede Einwirkung zu vermeiden.

Magnet *M* (siehe Fig. 15), der an einem Kokonfaden aufgehängt und mit einem kleinen Spiegel versehen ist. An den Magnet von unten angeschraubt ist ein Kupferdraht, der nach abwärts sich zu einem Rechtecke biegt, welches, mit Seidenpapier bespannt, einen Flügel zur Dämpfung bildet. Dieser Flügel befindet sich innerhalb eines Glascylinders mit ebenem Kupferboden; das Glasgefäß ist durch ein dünnes Kupferblech, das in der Mitte einen Spalt für den Flügel lässt, in 2 Teile geteilt. Hierdurch ist eine bedeutende Dämpfung ermöglicht. Der kleine Spiegel, oberhalb des Magnets, dient zur Spiegelablesung, deren Princip wir weiter unten besprechen werden.

Ausserdem ist dem Instrumente auch ein aus 2 Teilen bestehender und die Nadel vollkommen einschliessender Kupferdämpfer beigegeben.

Bei dem in Fig. 14 abgebildeten Instrumente ist der Magnet auf der Rückseite eines Spiegels aufgekittet und funktioniert gleichzeitig als Luftdämpfer.

Der Tisch der Bussole ist genügend gross, um das Magnetometer aus der Ringebene zu rücken; wir werden den Zweck dieser Verschiebung später kennen lernen (Bussole von Helmholtz-Gaugain.)

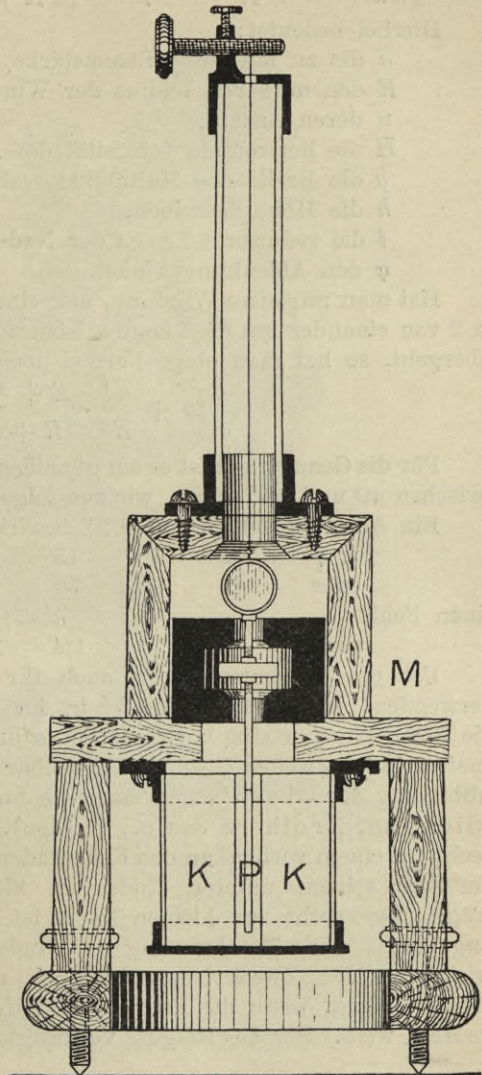


Fig. 15.

Für absolute Messungen bedient man sich folgender Formel¹⁾:

$$J = \frac{R \cdot H}{2 n \pi} \left(1 + \frac{1}{8} \frac{b^2}{R^2} - \frac{1}{12} \frac{h^2}{R^2} - \frac{2}{16} \frac{l^2}{R^2} \right) \cdot \left(1 + \frac{15}{16} \frac{l^2}{R^2} \sin^2 \varphi \right) \tan \varphi$$

Hierbei bedeutet:

- J die zu messende Stromstärke,
- R den mittleren Radius der Windungen,
- n deren Anzahl,
- H die horizontale Intensität des Erdmagnetismus,
- b die Breite des Multiplikatorrahmens,
- h die Höhe desselben,
- l die reduzierte Länge der Nadel²⁾,
- φ den Ablenkungswinkel.

Hat man nur eine Windung, also einen massiven Kupferring, der in 2 von einander um die Länge a isolierte Lamellen von der Länge l , übergeht, so hat man obige Formel noch zu multiplizieren mit:

$$\left(1 + \frac{a l}{R^2} \cdot \frac{R + \frac{1}{2} l}{(R + l^2)} \right)$$

Für die Genauigkeit ist es am günstigsten, wenn man Ablenkungen zwischen 40 und 50⁰ erhält, wie aus folgender Tabelle zu ersehen ist.

Ein Ablesungsfehler von 0·2⁰ bewirkt:

für $\varphi =$	5	10	15	20	30	40 ⁰
oder	85	80	75	70	60	50 ⁰

einen Fehler

von:	4	2	1·4	1·1	0·8	0·7 %.
------	---	---	-----	-----	-----	--------

Um die Tangentenbussole auch für grössere Stromstärken zu verwenden, hat Obach dieselbe in der Weise modifiziert, dass er die Ringebene um eine horizontale Axe drehbar macht, wodurch das Instrument in weiten Grenzen brauchbar ist. Die Fig. 16 giebt eine Abbildung der Obach'schen Tangentenbussole für feinere Messungen (Siemens, Brothers & Co., London). Die Magnetnadel ist senkrecht auf einem vertikal an den Kokonfaden gehängten Drahte befestigt, der an seinem unteren Ende ein kleines Gewicht aus Kupfer trägt. Senkrecht zur kleinen Nadel ist ein feiner Aluminiumzeiger angebracht. Die Beschwerung der Nadel durch dieses kleine Gewicht hat den Zweck, dass dieselbe nicht aus der horizontalen Ebene kommt, wenn die Stromebene (Ring) aus der normalen Lage gedreht wird. Der aus Rotguss gefertigte Ring hat einen U-förmigen

¹⁾ Uppenhorn, Kalender für Elektrotechniker.

²⁾ Nur bei einem unendlich dünnen und gleichförmig magnetisierten Stabe werden die Pole am Ende liegen; bei wirklichen Magneten liegen die Pole um $\frac{1}{12}$ der Stablänge vom Ende entfernt, so dass der Polabstand nur 0·83 der Stablänge beträgt.

Querschnitt. In die so entstehende Rinne ist eine grosse Anzahl von Windungen feinen Drahtes gelegt. Seitlich ist, um eine horizontale, durch den Nadelmittelpunkt gehende Axe drehbar, ein halbkreis-

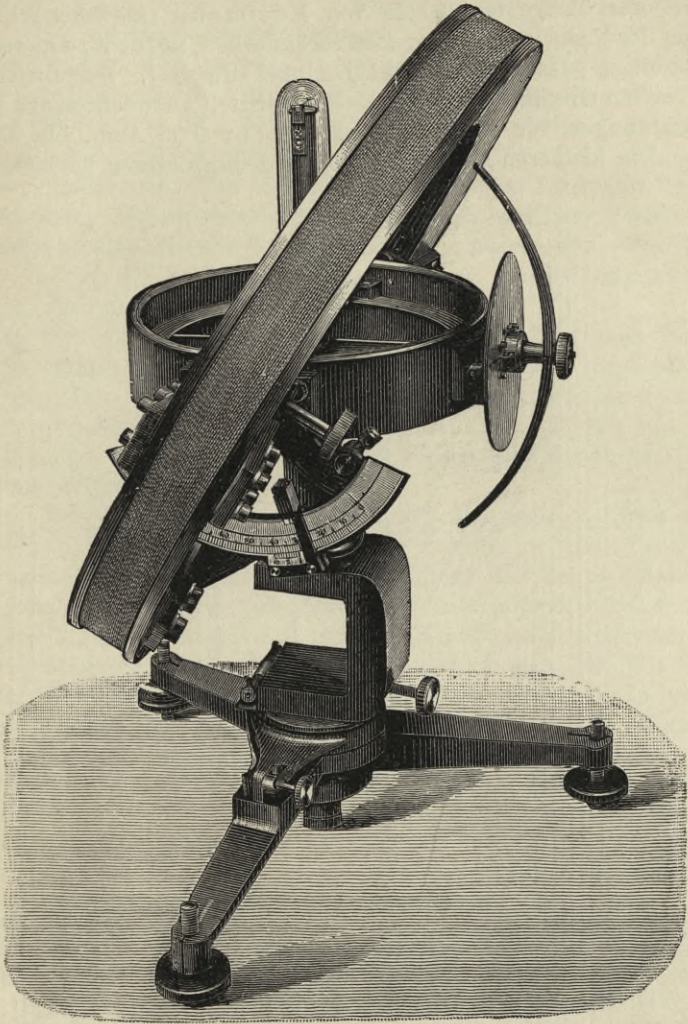


Fig. 16.

förmig gebogener Magnet, sogen. Kompensationsmagnet, angebracht. Durch Verstellung dieses Magnets, sowie die Verstellung der

Ringebene ist es ermöglicht, mit dem nämlichen Instrumente Ströme zu vergleichen, welche im Verhältnisse von 1 : 1000 stehen. Dieses Instrument kann durch geeignete Wicklung mit feinem Neusilberdraht auch zu Spannungsmessungen benutzt werden.

Bei der Tangentenbussole von Edelmann (München) ist der Abstand der Nadel vom Stromreifen veränderlich, um dem zu messenden Strome einen passenden Ausschlagswinkel zu geben. Das Instrument ist in weiten Grenzen brauchbar. Es besitzt 3 auswechselbare Rollen mit Wicklungen für folgende Messbereiche: 0·05 Amp. bis 2 Amp. und bei dem kleineren Modell bis 100, bei dem grösseren bis 1000 Amp.

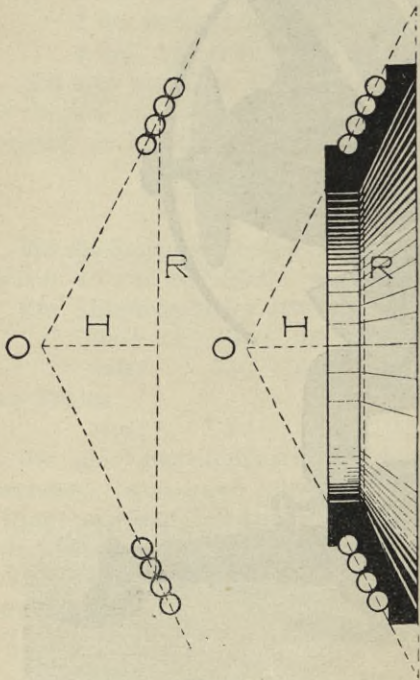


Fig. 17.

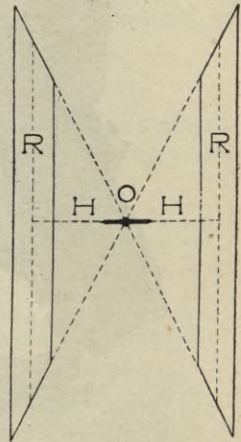


Fig. 18.

Das Tangentengesetz wird, wie sich theoretisch nachweisen lässt, noch genauer erfüllt, wenn man die Windungen, wie Helmholtz & Gaugain angegeben, aus der Vertikalebene der Nadelsuspension um eine Grösse entfernt, welche dem halben Radius entspricht. Um diese Bedingung für alle Windungen zu erfüllen, ordnet man dieselbe auf eine Kegelfläche, deren Spitze im Mittelpunkt der Nadel liegt. Fig. 17 giebt die Darstellung einer solchen Bussole.

Giebt man in gleicher Entfernung von der Nadel einen zweiten gleich grossen und genau gleich gewickelten Ring, wie Fig. 18 dies

zeigt, so erhält man einen Apparat, der als Differentialgalvanometer bezeichnet, für viele Messungen, wie wir dies später sehen werden, gut brauchbar ist.

Die Tangentenbussole von Kessler¹⁾ (Czeija & Nissl, Wien) hat einen längs einer Teilung vermittelt einer Schraube verstellbaren Ring mit zweierlei Wicklungen.

Der Radius des Reifens ist so gewählt, dass die Stromstärke gleich der Tangente des Ablenkungswinkels, multipliziert mit einer ganzen Potenz von 10, wird; es wird daher eine Ablenkung von $45^{\circ} 0'1$, 1 oder 10 Ampère angeben.²⁾

Der Reifen wird dem Werte der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus, H , entsprechend justiert, zu welchem Zwecke dem Instrumente eine Tabelle beigegeben wird, welche für verschiedene Werte von H die Verschiebung des Reifens vom Mittelpunkte der Nadel in mm anzeigt.

Die Fig. 19 zeigt eine Abbildung der Kessler'schen Bussole. Dieselbe enthält einen Glockenmagnet, der in einem Kupferdämpfer schwingt. Der Ring enthält in Nuten 5 Windungen eines starken Drahtes und 500 Windungen eines dünnen Drahtes, der mit einem induktionsfrei (bifilar) gewickelten Neusilberdraht zusammen genau 100 Ohm Widerstand hat.

Die Kreisteilung ist genügend gross, um noch $\frac{1}{4}$ Grad richtig abschätzen zu können, und enthält zur Ersparung einer Tabelle der trigonometrischen Tangenten eine Markierung der Zehntel derselben, so dass nach korrekter Aufstellung des Instrumentes das auf mindestens 1% richtige Resultat direkt in Volt oder Ampère erhalten wird.

Für Messungen der Stromstärke benutzt man die Windungen des starken Drahtes; für Spannungsmessungen bedient man sich des dünnen Drahtes, in welchem Falle die Zahlen an der Teilung die Zehntel der Volt angeben, und zwar von $\frac{1}{10}$ bis 5 Volt ohne jeden weiteren Widerstand; von 3—80 Volt schaltet man an die Klemmen noch 900 Ohm und von 30—500 Volt noch 900 + 9000 Ohm zu.

Die Tangentenbussole hat den Nachteil, dass dieselbe für grössere Ablenkungen unzuverlässig wird, indem die Lage der Nadel zum einwirkenden Stromkreis sich mit der Stromstärke ändert.

Dieser Übelstand ist bei der Sinusbussole³⁾ dadurch beseitigt, dass der Stromkreis der Nadel nachgedreht wird, so lange bis dieselbe zur Ruhe kommt. Denken wir uns in Fig. 20 durch die Gerade $M M_1$ die Richtung des magnetischen Meridians dargestellt, so wird sich die Nadel im Ruhezustand in diese Richtung einstellen;

¹⁾ Prof. J. Kessler, Centralbl. für Elektr. 1886, Seite 626.

²⁾ Kittler, Handbuch d. Elektr. S. 370.

³⁾ Zuerst von Pouillet konstruiert.

aber auch der Stromkreis liegt in der durch die Gerade MM_1 gelegten vertikalen Ebene.

Sobald nun ein Strom durch den (ebenfalls kreisförmigen) Leiter

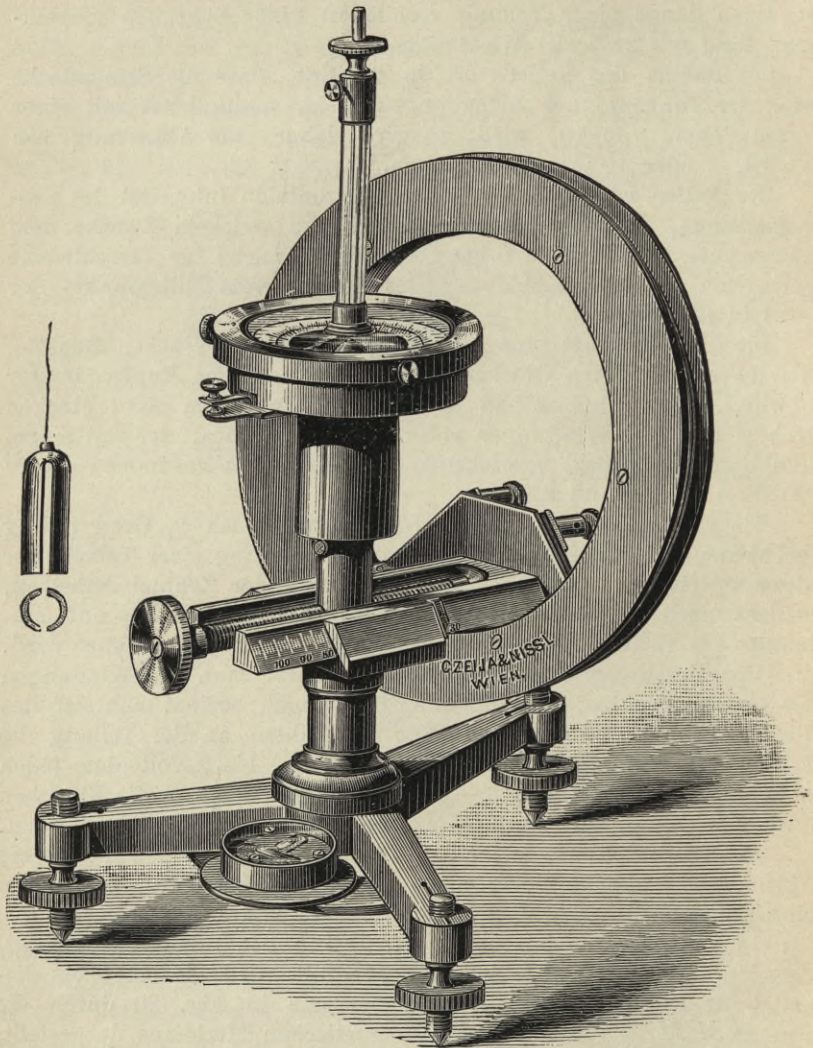


Fig. 19.

fließt, wird derselbe eine Wirkung auf die Nadel ausüben; der Strom sucht dieselbe senkrecht zu seiner Ebene zu stellen. Die

Richtung der wirkenden Kraft (J_1 die Stromstärke) ist also senkrecht zu MM_1 .

Nun wird aber der Ring der Nadel nachgedreht, und es wird bald eine Stellung der Nadel geben, in welcher die senkrecht auf dieselbe wirkende Kraft J der parallel zu MM_1 wirkenden Horizontalkomponente des Erdmagnetismus das Gleichgewicht hält.

In diesem Falle befindet sich die Nadel in der Ebene des Stromkreises. Aus der Figur ersieht man, dass:

$$\sin \alpha = \frac{J}{H} \text{ oder}$$

$$J = H \sin \alpha.$$

Ein Strom von der Stärke J_1 wird eine Ablenkung α_1 hervorbringen; es ist daher

$$J : J_1 = H \sin \alpha : H \sin \alpha_1 \text{ oder}$$

$$J : J_1 = \sin \alpha : \sin \alpha_1 \text{ und}$$

$$J = \frac{J_1}{\sin \alpha_1} \cdot \sin \alpha$$

Ist J_1 ein in Ampère ausgedrückter bekannter (gemessener) Strom, so ist der Faktor

$$\frac{J_1}{\sin \alpha_1}$$

mathematisch bestimmbar. Hat man diesen Faktor, welchen man die Konstante des Instrumente nennt und mit C bezeichnet, für ein gegebenes Instrument bestimmt, so ist jede mit demselben messbare Stromstärke nach der Formel

$$J = C \sin \alpha$$

leicht berechnet.

Nach diesen allgemeinen Erläuterungen wollen wir uns zur Beschreibung des Apparates selbst wenden.

Fig. 21 zeigt uns eine Sinusbusssole, wie sie von Siemens & Halske gebaut wird.

Ein aus Metall hergestellter Ring, der mit einer Kreisteilung versehen ist, kann durch 3 Stellfüsse horizontal gestellt werden. In einer kreisförmigen Nut, drehbar, liegt eine Platte, welche senkrecht dazu den mit zweierlei Windungen Drahtes — wenige Windungen dicken und viele Windungen dünnen Drahtes — versehenen Ring

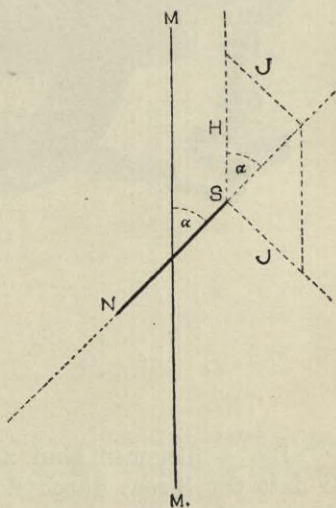


Fig. 20.

und die Bussole trägt. Die Nadel der letzteren ist lang und mit einem, des bequemeren Ablesens halber, senkrecht zu ihrer Axe angebrachten Aluminiumzeiger fest verbunden.

Dem Apparate ist auch eine ganz kurze Nadel beigegeben, um denselben auch als Tangentenbussole benutzen zu können.

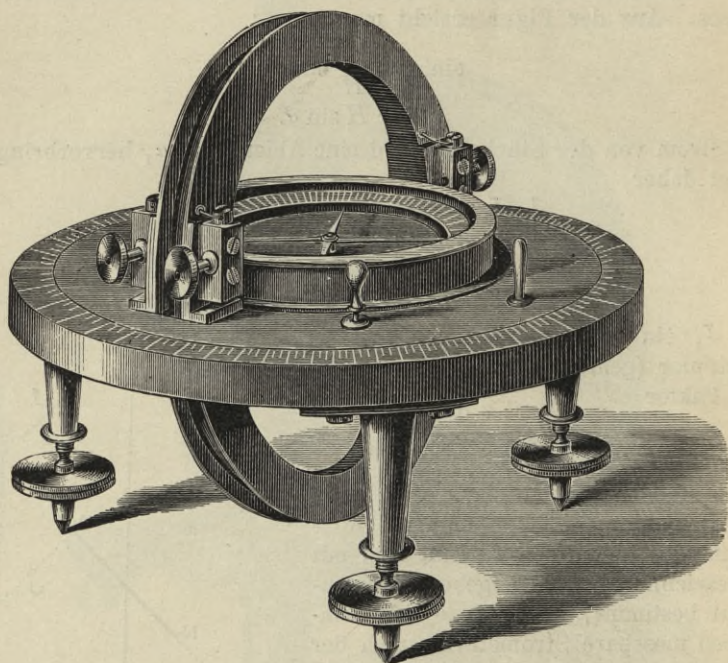


Fig. 21.

Die 4 Klemmen sind mit den Enden der Drähte verbunden, so dass der Strom durch den dicken oder den dünnen Draht geführt werden kann.

Wir haben bereits einen Apparat (Seite 24) besprochen, welcher mit einem kleinen Spiegel versehen ist, mit dessen Hilfe die Bestimmung der Ablenkung erfolgt.

Wir wollen nun im Folgenden die bezügliche Methode, welche als Spiegelablesung bezeichnet wird, besprechen, da die meisten

Apparate zu feineren Messungen mit Spiegeln versehen sind, um die Ablenkungen nach dieser Methode vorzunehmen. Zuerst wandte die Spiegelablesung Gauss bei seinen epochemachenden Messungen der erdmagnetischen Kraft an. Denken wir uns Fig. 22 einen kleinen Spiegel $a b$, dem gegenüber in der Entfernung d sich ein Lineal $A B$ parallel zum Spiegel befindet, das eine Millimeterteilung hat. Senkrecht zu dem Lineal, mit seiner Axe in die auf den Spiegel senkrecht gedachte Gerade d fallend, ist ein Fernrohr aufgestellt.

Ist die Richtung des Fernrohres zur Spiegelebene thatsächlich senkrecht und das Lineal zur Fernrohraxe senkrecht, so wird man,

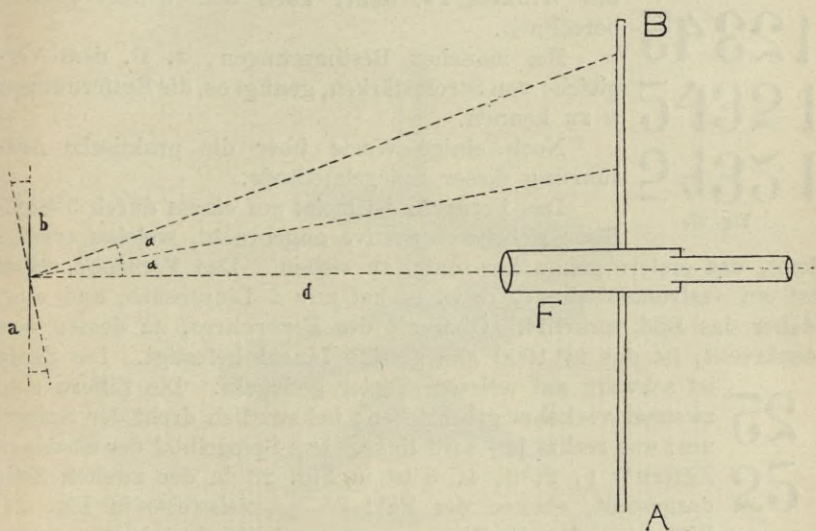


Fig. 22.

durch das Fernrohr sehend, den Nullpunkt, beziehungsweise den Teilstrich 50 (cm) , falls das Lineal von einem Ende zum anderen in $100 \text{ cm} (= 1000 \text{ mm})$ geteilt ist, im Spiegel erblicken.

Sowie aber der Spiegel sich dreht und mit der Ruhelage einen Winkel α einschliesst, wird man durch das Fernrohr den Teilstrich sehen, der in der Zeichnung dem Punkte B entspricht. Nach den Gesetzen der Reflexion schliesst der einfallende Lichtstrahl mit der auf dem Spiegel im Fusspunkte desselben errichteten Senkrechten den gleichen Winkel ein wie der einfallende Strahl.

Hat sich nun der Spiegel um den Winkel α gedreht, so hat sich die Senkrechte d auch um den Winkel α gedreht und der nun

in der Richtung α in das Fernrohr gelangende Lichtstrahl kann nur der reflektierte Strahl des einfallenden sein.

Die Drehung des Spiegels, beziehungsweise des Winkels α soll nun gemessen werden; dieselbe findet sich leicht durch eine kleine Rechnung. Es ist nämlich

$$\operatorname{tg} 2 \alpha = \frac{n}{d} \left(n = \frac{1}{2} AB \right)$$

Ist d , das ist die Entfernung in Millimetern vom Spiegel bis zum Lineal, gemessen und hat man die Entfernung n mit Hilfe des Fernrohres abgelesen, so kann man nach obiger Formel die Tangente des Winkels 2α , daher auch den Winkel α leicht berechnen.

12345

12345

12345

Fig. 23.

Bei manchen Bestimmungen, z. B. dem Vergleiche von Stromstärken, genügt es, die Entfernungen n zu kennen.

Noch einige Worte über die praktische Ausführung dieser Spiegelmethode.

Das Fernrohr ist meist auf einem durch 3 Stel-
füsse richtbaren Stative angebracht, welches ermög-
licht, das erstere genau horizontal zu stellen. Das Fernrohr selbst
ist ein »astronomisches«, d. h. es hat nur 2 Linsensätze und zeigt
daher das Bild verkehrt. Oberhalb des Fernrohres, zu dessen Axe
senkrecht, ist das in 1000 *mm* geteilte Lineal befestigt. Die Skala

25

25

25

Fig. 24.

ist schwarz auf weissem Papier gedruckt. Die Ziffern sind
zweimal verkehrt geschrieben; bekanntlich dreht der Spiegel
um; was rechts ist, wird links. Das Spiegelbild der einzelnen
Ziffern¹⁾ 1, 2, 3, 4, 5 ist in Fig. 23 in der zweiten Zeile
dargestellt, ebenso der Zahl 25 beispielsweise in Fig. 24.
Will man also die Ziffern im Spiegel richtig sehen, so muss
man dieselben wie dargestellt schreiben. Nun dreht aber
das Fernrohr abermals um, jedoch so, dass oben unten und
unten oben wird. Es müssen daher die Spiegelschriftziffern
noch in diesem Sinne gedreht geschrieben werden, um, durch das
Fernrohr gesehen, bei der Spiegelablesung richtig zu erscheinen.

In Fig. 25 ist ein Ablesefernrohr mit Skala abgebildet (Edel-
mann, München); h und v sind Korrektionschrauben, d der am
Stativ verschiebbare Massstabträger, T der Massstab.

Zur genauen Ablesung des betreffenden Teilstriches ist das
Fernrohr mit einem Fadenkreuze versehen; im Inneren des Rohres
sind nämlich senkrecht zu einander zwei äusserst dünne Fäden ge-

¹⁾ Nicht der ganzen Reihe!

spannt, welche sich in der Axe des Fernrohres kreuzen. Beim Hindurchsehen wird man diese Fäden, von welchen man nur den vertikalen zu beachten hat, und die Teilstriche wahrnehmen.

Eine für viele Fälle bequeme Anordnung der Spiegelablesung hat Edelmann¹⁾ eingeführt. Bei diesem Instrumente aus dem physikalischen Institute von Dr. A. Th. Edelmann ist der Spiegel durch eine mit zwei zu einander rechtwinkelig gestellten Fenstern — Öffnungen mit planparallelen Gläsern — versehene Kapsel geschützt.

Diese Einrichtung wird bei der hier zu besprechenden Anordnung dazu benutzt, um an das eine Fenster direkt das Fernrohr zu befestigen, während die Skala parallel zum Fernrohr so aufgestellt

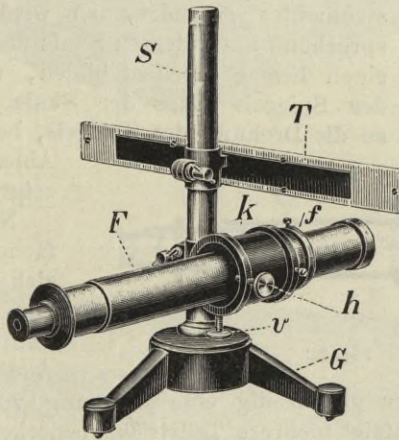


Fig. 25.

wird, dass durch den zur Fernrohraxe um 45° geneigten Spiegel die vom Lineal kommenden Lichtstrahlen in das Fernrohr gelangen. Die Fig. 26 zeigt diese Anordnung. Der Masstab wird wenigstens 1 m vom Apparat aufgestellt, wozu sich eine Milchglasskala, welche an ein Fenster des Zimmers befestigt wird, eignet.

Obwohl sich nun der Beobachter in unmittelbarer Nähe des Instrumentes befinden muss, wodurch ein Hauptvorteil der Spiegelablesung verloren geht, bietet doch diese Anordnung viele Vorteile und wird unter Umständen sich als sehr praktisch erweisen. Insbesondere dann ist dies der Fall, wenn der Raum, in dem die

¹⁾ El. Zeitschrift 1891, S. 37.

Messung vorgenommen werden muss, ein beschränkter ist und die Beleuchtung der Skala an einem Skalenfernrohr keine genügende sein kann. Diese Einrichtung bietet auch den Vorteil eines billigeren Anschaffungspreises.

Endlich wäre noch eine Art der Spiegelablesung zu erwähnen, und zwar die objektive. Bei der oben beschriebenen Ablesung mittelst eines Fernrohres kann nur ein Beobachter¹⁾ die Ablenkung beurteilen — subjektive Beobachtung. Für Vorlesungszwecke bedient man sich jedoch einer Einrichtung, bei welcher eine grosse Zahl von Personen gleichzeitig die Ablenkung beobachten kann. Wird nämlich das Licht durch einen feinen Spalt gegen den Spiegel eines Instrumentes gesendet, so wird auf einer entsprechend aufgestellten Skala das reflektierte Licht einen hellen Streifen bilden, der bei Drehung des Spiegels längs der Skala sich bewegt und so die Drehung des Spiegels, beziehungsweise die Ablenkung der Nadel, zeigt.

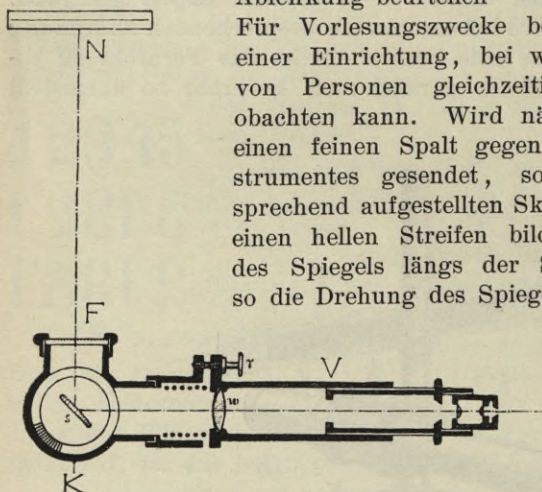


Fig. 26.

führen, nicht aber gleichzeitig eine Ablesung vornehmen, da der Lichtstreifen jedenfalls mehrere Teilstriche bedecken wird.

Um nun auch Ablesungen für ein grösseres Auditorium zu ermöglichen, hat man folgende Einrichtung: Der Spalt, durch welchen

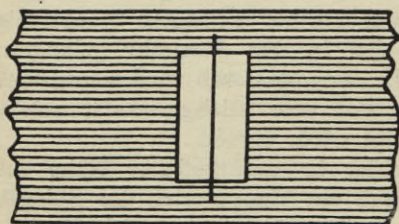


Fig. 27.

das Licht gegen den Spiegel des Instrumentes geht, ist etwas breiter und durch einen feinen eingespannten Draht geteilt. (Fig. 27.) Der Spiegel des Instrumentes, der sonst ein Planspiegel ist, wird durch einen Hohlspiegel ersetzt, welcher von dem Lichtspalt und dem hier befindlichen Draht auf der Skala ein Bild entwirft; nun

¹⁾ Man hat auch wohl eine Einrichtung für zwei Beobachter, indem 2 Fernrohre angebracht sind.

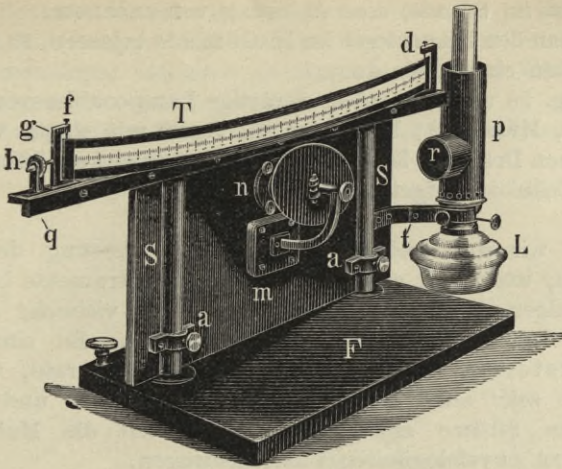


Fig. 28.

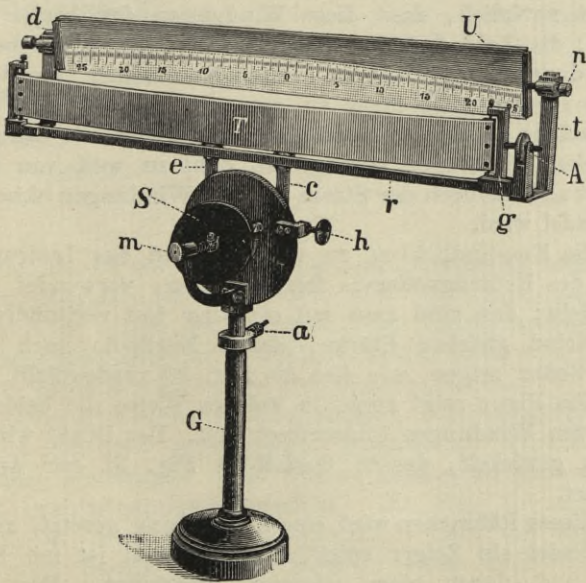


Fig. 29.

entspricht das Bild des Drahtes dem vertikalen Faden des Fernrohres und man ist im Stande, eine Ablesung vorzunehmen.

Will man den Planspiegel im Instrumente belassen, so bringt man vor denselben eine Linse an.

Die Fig. 28 und 29 geben derartige Lampenablesevorrichtungen (Edelmann, München); bei n ist ein Spalt mit einem vertikal gestellten feinen Drahte. Die Skalen sind auf mattgeschliffenem durchsichtigen Celluloid aufgetragen.

Bevor wir nun weitere Apparate zur Messung des Stromes beschreiben, wollen wir an dieser Stelle jene Instrumente beschreiben, welche weniger zur Messung sich eignen, als vielmehr zum Nachweise des Daseins eines Stromes überhaupt. Es sind dies die Multiplikatoren. Man versteht darunter Apparate, welche sich durch eine sehr hohe Empfindlichkeit auszeichnen und daher die schwächsten Ströme anzeigen. Man benutzt die Multiplikatoren besonders zu physiologischen Untersuchungen.

Wir haben im Vorhergegangenen gesehen, dass ein Strom, der sich in einer zur magn. Meridianebene parallelen Ebene befindet und eine kreisförmige Bahn durchläuft, auf die Nadel ablenkend wirkt; man kann nun diese Wirkung gewissermassen multiplizieren, dadurch, dass man den Strom durch viele Windungen führt.

Es ist natürlich, dass diese Windungen der Nadel möglichst nahe sind; die Zahl der Windungen ist aber immerhin beschränkt, einerseits durch die Art des zu messenden Stromes, um den Widerstand des Instrumentes nicht zu gross zu machen und hierdurch die Stromstärke zu sehr zu schwächen, und anderseits dadurch, dass bei zu vielen Windungen eine grosse Zahl zu weit von der Nadel entfernt ist und dadurch der Strom in jenen Windungen ohne Wirkung auf die Nadel wird.

Um die Empfindlichkeit zu erhöhen und das Instrument vom Einflusse des Erdmagnetismus frei zu haben, verwendet man astatische Nadeln; das sind zwei mit einander fest verbundene Nadeln von möglichst gleicher Stärke, deren Nordpole nach entgegengesetzten Seiten zeigen, wie dies die Fig. 30 verdeutlicht.

Dieselbe Figur zeigt auch, in welcher Weise die beiden Nadeln zwischen den Windungen angeordnet sind. Der Draht wird auf ein Rähmchen gewickelt, dessen Gestalt in Fig. 31 zur Anschauung gebracht ist.

Auf dieses Rähmchen wird eine Kreisteilung gesetzt, auf welcher die eine Nadel als Zeiger spielt. Der Apparat ist mit Stellfüssen versehen und durch einen Glassturz geschützt. Das Nadelpaar hängt an einem Coconfaden.

Die Multiplikatoren werden entweder mit wenigen Windungen eines stärkeren Drahtes für thermoelektrische Versuche, oder aber mit sehr vielen Windungen, oft bis 25 000, eines sehr feinen Drahtes bewickelt; manchmal hat auch ein Apparat beiderlei Wicklungen zu beiden Zwecken.

Der Multiplikator kann für sehr schwache Ströme auch als Tangentenbussole zur Messung derselben dienen.

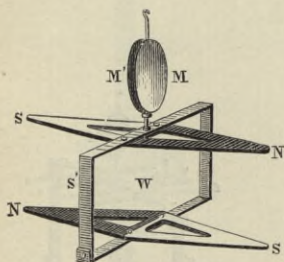


Fig. 30.

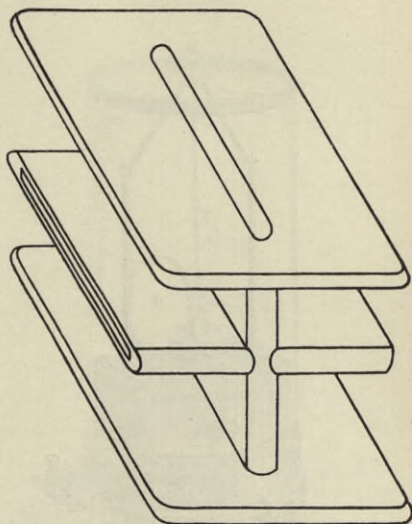


Fig. 31.

In Fig. 32 ist ein Multiplikator von Dueretet & Lejeune, Paris abgebildet. Derselbe ist für direkte und Spiegelablesung geeignet. Fig. 30 und 33 zeigen die Anordnung der Nadeln und des Spiegels. Fig. 34 zeigt eine einfache, besonders für den Unterricht gut brauchbare Form eines Multiplikators von Erneke, Berlin.

Spiegelgalvanometer von Weber. Ursprünglich verwendete Weber den von ihm konstruierten Apparat als Magnetometer, zu magnetischen Messungen. Um Ströme messen zu können, ist dasselbe mit Drahtwindungen versehen. Die Fig. 35 zeigt uns das Instrument in perspektivischer Ansicht.¹⁾ Auf ein Kugelsegment von Messing, dessen konvexe Seite in einer kugelförmigen Ver-

¹⁾ Wir entnehmen die folgende Beschreibung Wüllner's Physik IV. 760.

tiefung der Bodenplatte des Apparates liegt, ist durch seitliche Fortsätze *r* ein elliptischer Kupferring *ee* von 80 *mm* Breite und 8 *mm* Wandstärke befestigt; in der grossen Axe dieses Ringes schwebt die Magnetonadel. Auf diesen Ring ist ein Rahmen aus dünnem Messingblech geschoben, welcher die Wicklung trägt. Dieselbe besteht aus 9 Lagen Drahtes von 0.66 *mm* Stärke über einander; in jeder Lage sind 80 Windungen neben einander gewickelt. Die ganzen Windungen sind in 3 Abteilungen geteilt, von welchen die Anfangs-

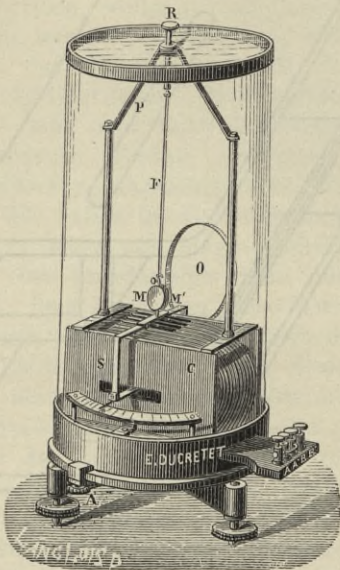


Fig. 32.

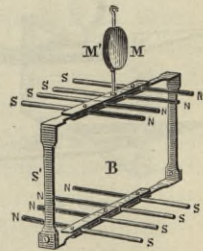


Fig. 33.

und Enddrähte zu je einer Klemme geführt sind. Hierdurch ist es möglich, die 3 übereinanderliegenden Spulen in verschiedener Weise zu schalten und auch nur eine Spule zu benutzen.

Auf den Kupferring ist der Rahmen *kk* geschraubt, der die Glasröhre mit dem am oberen Ende derselben befindlichen Torsionskreis und der Aufhängevorrichtung trägt.

Ein feiner Coconfaden trägt an seinem unteren Ende eine kleine leichte Metallplatte, an der ein Spiegel angeschraubt ist. Von dieser Platte gehen durch passende Ausschnitte des Kupferringes zwei Stäbchen in das Innere desselben, welche an ihren Enden hakenförmig gebogen sind. In diese Haken wird mit Hilfe eines Quer-

stäbchens der Magnet so eingehängt, dass dessen Axe mit der grossen Axe des elliptischen Ringes zusammenfällt, resp. zu den Windungsebenen der Bewicklung parallel wird. Die dem Spiegel abgewendete Seite des Rähmens *kk*, sowie die beiden offenen Seiten des Kupferringes sind mit ebenen Spiegelglasplatten versehen, der Kupferring dient als Dämpfer.

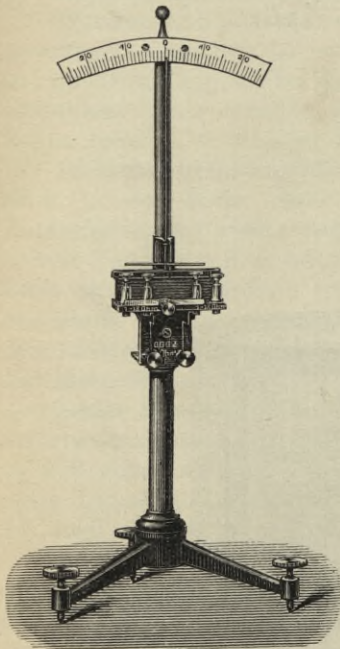


Fig. 34.

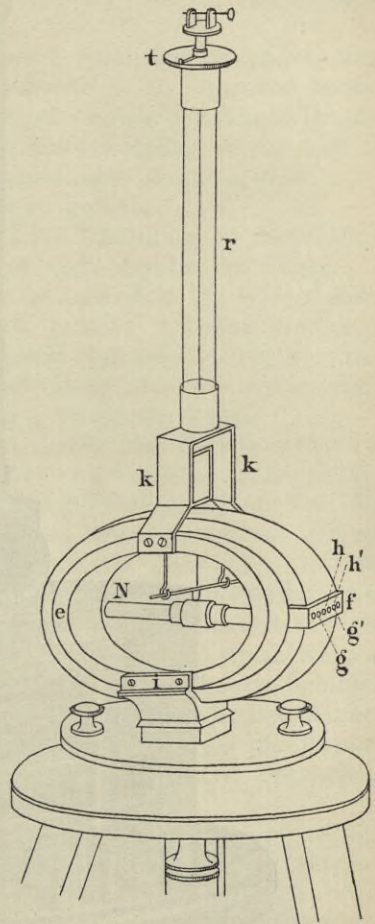


Fig. 35.

Bei Messungen trachtet man, durch das Instrument nur schwache Ströme zu senden, um kleine Ablenkungen zu erhalten; man wird bei stärkeren Strömen Abzweigungen machen. Hat man es mit schwachen Strömen, also auch mit geringen Ausschlägen zu thun, so kann man die Stromstärke der in Skalenteilen beobachteten Ab-

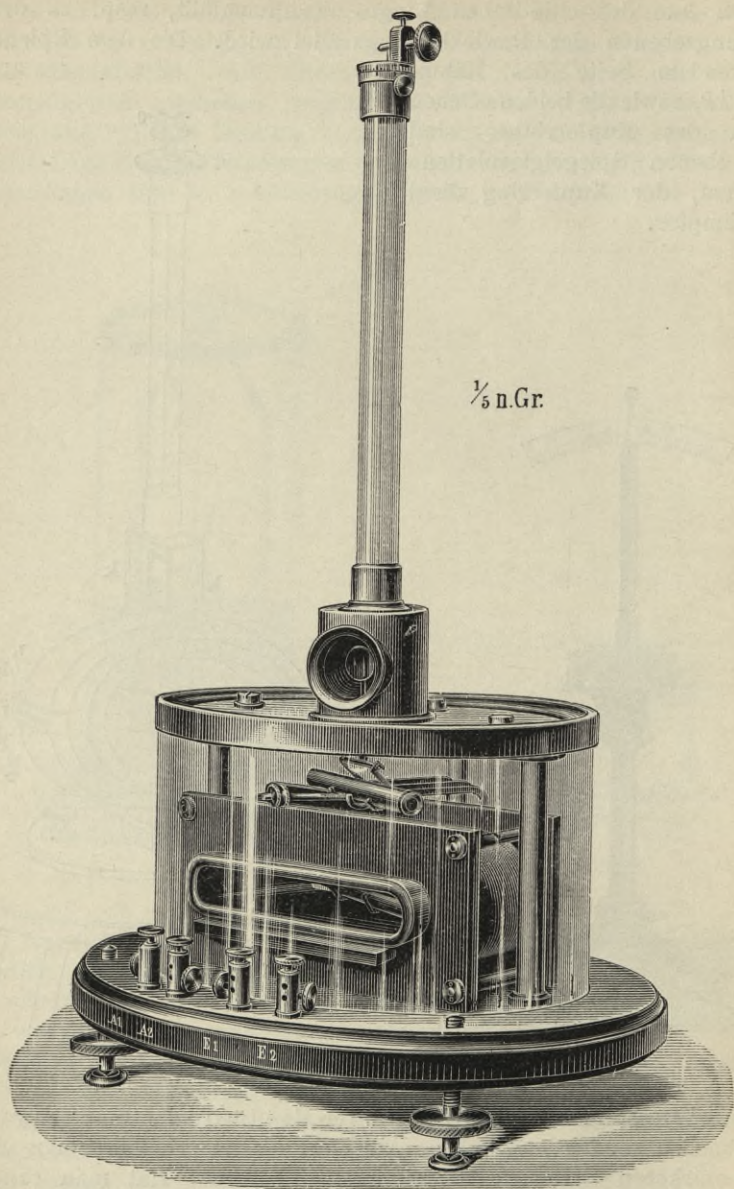


Fig. 36.

lenkung proportional setzen. Ist die Ablenkung gleich n , so ist demnach

$$J = Cn,$$

wobei J die Stromstärke und C eine von der Beschaffenheit des Instrumentes und der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus abhängige Grösse ist.

Die Fig. 36 zeigt ein astatisches Spiegelgalvanometer nach Weber von Hartmann & Braun, Frankfurt a. M. Dasselbe besteht aus einer mit zweierlei neben einander gewickelten Windungen Drahtes verschiedener Stärke versehenen Multiplikatorrolle, welche auf die beiden röhrenförmigen, leicht auswechselbaren Magnete wirkt. Der Apparat ist durch eine ovale Glasglocke gedeckt.

Die durch eine Kupferhülse bewirkte Dämpfung ist regulierbar. Der Apparat hat 3 Stellfüsse, ist aber nicht drehbar im Fusse.

Wiedemann's Galvanometer ist besonders für Widerstandsmessungen geeignet, bei welchen ein rasches Arbeiten erwünscht ist; die Dämpfung ist bei diesem Apparat eine ganz vorzügliche, und ausserdem bietet derselbe den Vorteil, dass man die einwirkenden Rollen beliebig verschieben und auch auswechseln kann.

In seiner ursprünglichen Gestalt besteht das Galvanometer aus einer in der Mitte eines Schlittens angebrachten cylindrischen Kupferhülse, auf welche vertikal ein Glasrohr angeschraubt ist. Am oberen Ende desselben ist ein Coconfaden befestigt, der am unteren Ende einen Stahlspiegel trägt. Letzterer ist eine kleine Scheibe aus Stahl, welche im Inneren der Kupferhülse sich befindet und in der Richtung seines horizontalen Durchmesser magnetisiert ist. Auf diese Weise ist Spiegel und Nadel vereinigt in einem Körper. Auf beiden Seiten der Kupferhülse befindet sich je eine am Schlitten verschiebbare Spule mit der Drahtbewicklung. Die Spulen können so weit gegen die Nadel verschoben werden, dass sie die Kupferhülse bedecken. Die Fig. 37 giebt eine schematische Darstellung des Instrumentes.

Es sei gestattet, hier eine Sache zu besprechen, welche an sich gering, doch von grosser Wichtigkeit ist — das ist die Befestigung des Coconfadens am oberen Ende. Es ist von Wichtigkeit, dass der Faden genau in der gegebenen Vertikalaxe des Instrumentes sich befindet, aber auch in dem Falle, wenn man die Nadel hebt oder senkt. Eine höchst sinnreiche Einrichtung bei grösster Einfachheit ist die folgende, in Fig. 38 und 39 dargestellte. Auf der die Glasröhre abschliessenden Deckplatte sind zwei Säulchen aufgestellt, welche in entsprechenden Muttern eine horizontalgestellte Schraube tragen. In die Vertiefungen, und zwar in 2 bis 3 Gänge, der Schraube legt sich der Coconfaden, dessen Ende an die Schraube befestigt

ist. Der Coconfaden geht nach abwärts, wo er Spiegel und Nadel oder dergleichen trägt.

Wird nun die Schraube in dem einen oder anderen Sinne gedreht, so wickelt sich der Faden auf oder ab; da aber die Schraube gleichzeitig eine proportionale Verschiebung erleidet, bleibt der Coconfaden, geometrisch genommen, am Orte und wird sich nur senken oder heben. Hätte man statt der Schraube eine einfache Welle, so würde es leicht vorkommen, dass sich die aufgerollten Fäden neben einander legen, und hierdurch würde der Faden auch eine seitliche Verschiebung erfahren und die Nadel aus dem Mittel kommen.

Eine andere Art der Aufhängung ist in Figur 40 zur Anschauung gebracht. Ein Stab von rechteckigem oder rundem Querschnitt — im letzteren Falle mit Führung — trägt am unteren

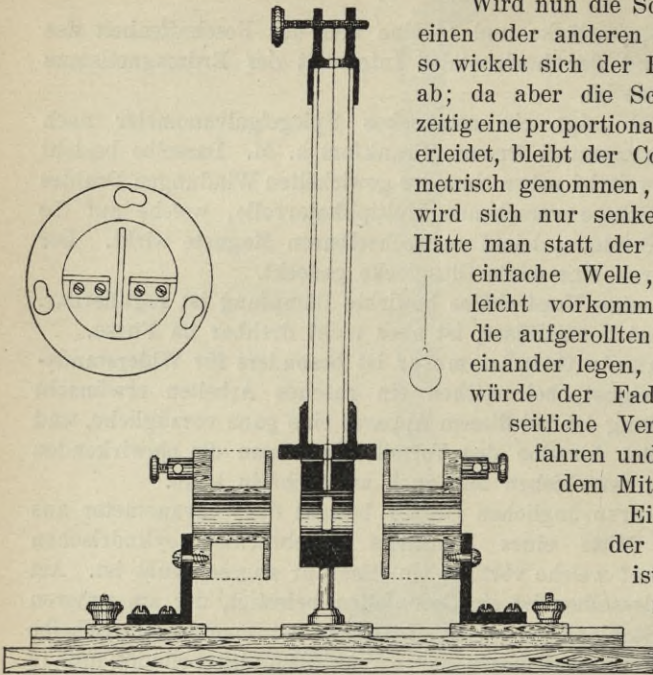


Fig. 37.

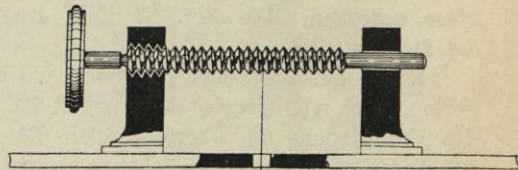


Fig. 38.

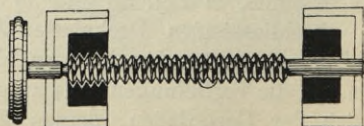


Fig. 39.

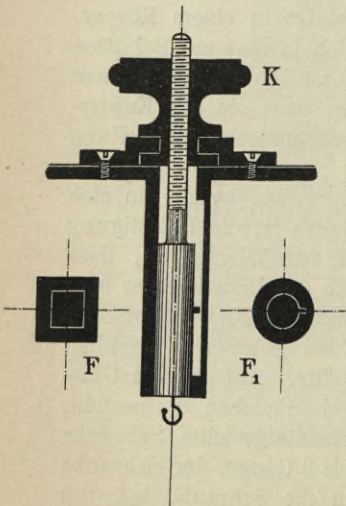


Fig. 40.

Ende den Faden. Der Stab lässt sich in der Führung dadurch auf- und abbewegen, dass man an dem Knopfe dreht; letzterer hat Gewinde, in welches die mit dem Stabe verbundene Schraube passt.

Die Fig. 41 zeigt eine Abbildung eines Wiedemann'schen Galvanometers von Ducretet & Lejeune in Paris. Dasselbe ist sehr empfindlich und für viele Messungen brauchbar. Es besteht aus einem Magnet *A*, welcher mit dem Spiegel *M* an einem feinen

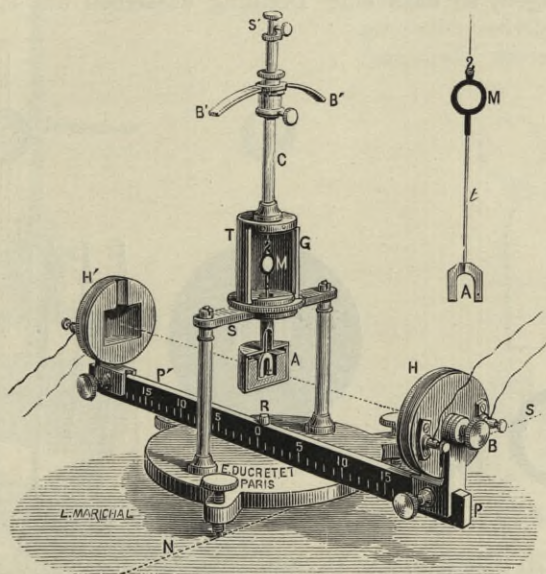


Fig. 41.

Faden aufgehängt ist. Die beiden Rollen sind verschiebbar längs einer getheilten Skala und mit starkem Drahte bewickelt; ein zweites Paar Rollen ist mit 30000 Windungen sehr feinen Drahtes bewickelt. Das Instrument, das auch als ballistisches Galvanometer (Schwingungs-Galvanometer) verwendet wird, ist aber durch Verwendung der beigegebenen Kupferdämpfer aperiodisch. *BB* ist ein Richtmagnet.

Siemens hat dem Magnete für Galvanometer eine Form gegeben, welche viele Vorzüge vor anderen, insbesondere der Nadelform, hat. Man bezeichnet diesen Magnet als Glockenmagnet. Ein mit einer halbkugelförmigen Schale abgeschlossener Hohleylinder, Fig. 42, ist an

zwei gegenüberliegenden Stellen mit Schlitz versehen; die magnetische Axe steht senkrecht zur Verbindungslinie der Schlitz.

Ein Galvanometer mit Glockenmagnet, in der ursprünglichen Form nach Wiedemann, von Edelman sehen wir in Fig. 43 im Schema; der Dämpfer ist kugelförmig; die Schwingung des Magnetes ist vollkommen aperiodisch.

Seit einigen Jahren baut Edelman das Wiedemann'sche Galvanometer in einer neuen Form, welche in Fig. 44 abgebildet ist.

Bei diesem Galvanometer ist die Anwendung von Holz im Gestelle ganz umgangen, so dass eine Drehung desselben um eine vertikale

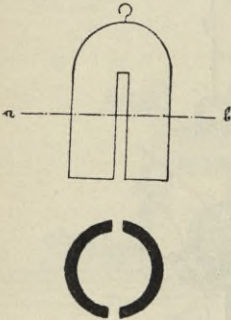


Fig. 42.

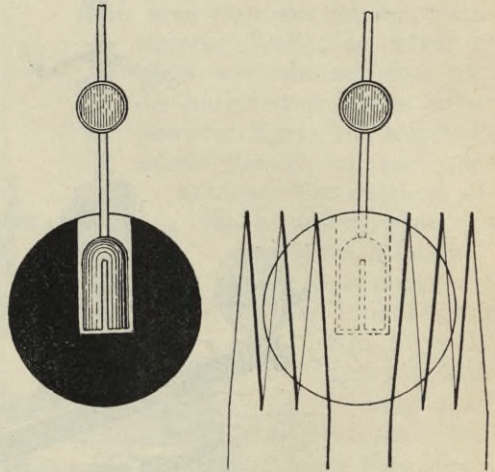


Fig. 43.

Axe, um den Bolzen C mit Festschraube, und die Verschiebung der Spulen in exakter Weise durch Schraubenspindel längs einer Metallschiene ermöglicht ist. Letztere ist aus Bronze hergestellt und mit einer Millimeterteilung versehen.

Die Schlitten S tragen mittelst angesetzter Säulchen die Rollen R_1 und R_2 . Diese Einrichtung hat den Zweck, die Rollen bis zum Mittel des Dämpfers schieben zu können; grössere Rollen können ohne diese Säulen angesetzt werden.

Als Träger für beide Arten Dämpfer — von welchen wir weiter unten sprechen werden — und das Gehäuse M mit dem Suspensionsrohr dient der mit dem Drehzapfen verbundene Ring L . Das Gehäuse M mit den beiden Fenstern H_1 und H_2 , sowie der Spiegel sind verstellbar, so dass man weder in der Wahl des Ortes für die Aufstellung des Fernrohres noch bezüglich der Projektionsrichtung beschränkt ist. B ist ein verstellbarer Richtmagnet, U die Auf-

hängevorrichtung mit Einrichtung für die Centrierung. Dem Instrumente werden je nach Wunsch zweierlei Dämpfer beigegeben, und zwar ein Siemens'scher Kugeldämpfer oder der Edelmann'sche verstellbare Dämpfer.

Letzterer besteht aus einem cylindrischen Rohre rr , Fig. 45, in welchem Kupferringe K_1 und K_2 durch eine links- und rechtsgängige Schraube zur Näherung und Entfernung zu- bzw. von einander gebracht werden können. Innerhalb dieser Ringe be-

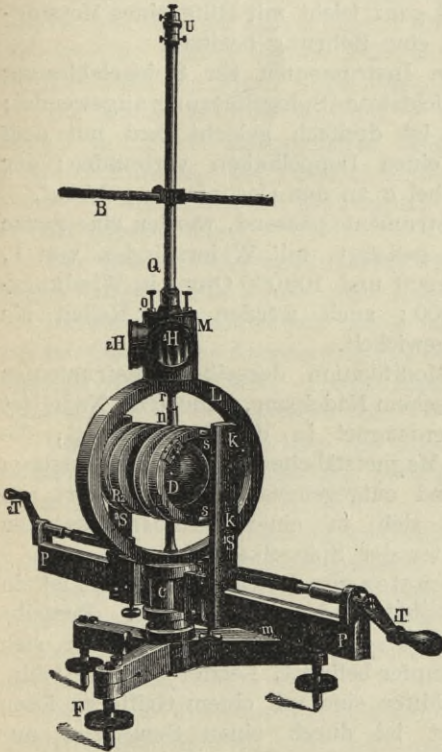


Fig. 44.

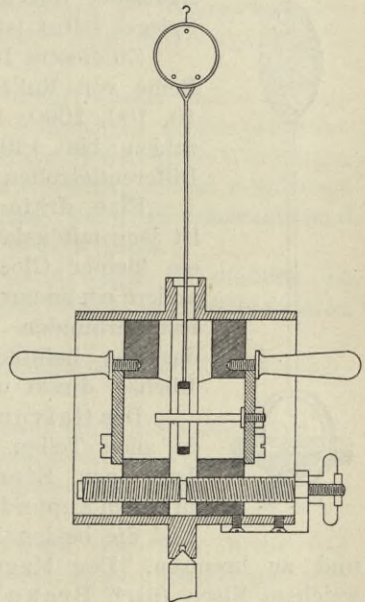


Fig. 45.

findet sich ein kleiner Stahlring, der so magnetisiert ist, dass seine Pole in einer Horizontalen liegen; dieser Ring ist durch ein Stäbchen mit dem Spiegel verbunden, eine Verdrehung des Spiegels gegen den Ring ist leicht möglich. Die Kupferringe sind durch leicht abnehmbare Glasscheiben gedeckt; eine derselben trägt ein (abnehmbares) Stäbchen, um zu grosse Drehungen des Ringes hintanzuhalten.

Durch die Verstellbarkeit der Kupferringe ist es möglich, dem Instrumente alle Grade der Dämpfung zu geben, von 0 bis zur vollen Aperiodizität.

So kann das Instrument auch als Schwingungs- (ballistisches) Galvanometer verwendet werden. Für diesen Fall legt man, um dem Ringe eine grössere Schwingungsdauer zu geben, in denselben ein hierzu passend geformtes Messingstück, wie dies die Fig. 46 zeigt. Das Einlegen desselben geschieht ganz leicht mit Hilfe eines Messingdrahtes, zu welchem Zwecke es eine Bohrung besitzt.

Bei allen Edelmann'schen Instrumenten für Spiegelablesung ist eine sehr einfache, sogen. »gewichtslose« Spiegelfassung angewendet; der Ablesespiegel ist dreifach gelocht und mit dem Nadelstiel durch einen Doppelhaken verbunden; der Spiegel selbst ist bei *a* an den Coconfaden gehängt.

Zu diesem Instrumente passend, werden eine ganze Reihe von Rollen geliefert, mit Widerständen von 1, 10, 100, 1000, 10000 und 100000 Ohm, in Windungszahlen bis 120 000; auch werden die Rollen als Differentialrollen gewickelt.

Eine dritte Modifikation desselben Instrumentes ist jene mit astatischem Nadelpaar. Die eine Nadel ist ein kleiner Glockenmagnet in der Kupferkugel, die andere ein lineares Magnetstäbchen, das mit dem ersteren fest verbunden und entgegengesetzt magnetisiert ist; dasselbe befindet sich in einer luftabschliessenden Büchse, direkt unter der Spiegelkapsel.

Das Galvanometer von Braun¹⁾, Fig. 47, ist ein in allen Teilen wohldurchdachter Apparat. Derselbe hat einen Siemens'schen Glockenmagnet, der sich in einem Kupferdämpfer befindet. Letzterer ist zweiteilig, und die beiden Hälften sind mit einem Griffe zu lösen und zu bremsen. Der Magnet ist durch einen Schutzring aus weichem Eisen (nach Braun) astasiert²⁾. Die beiden Drahtrollen,

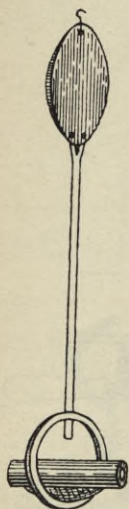


Fig. 46.

¹⁾ Hartmann & Braun, Frankfurt a. M.

²⁾ Man bezeichnet einen Magnet als astasiert oder astatisch, wenn durch Anbringung von weichem Eisen oder eines Magnetes in der Nähe des ersteren die Einwirkung des Erdmagnetismus aufgehoben wird. Hierher gehört auch der Hauy'sche Stab. Am Tische oder an dem Konsol, auf welchem das Galvanometer aufgestellt ist, wird eine Schiene, welche meist senkrecht zum magnetischen Meridian, also in die Äquatorialebene gestellt wird, angeschraubt; die Schiene trägt einen verschiebbaren Schlitten zur Aufnahme des astasierenden Magnetes. Man beobachtet durch das Fernrohr die Stellung des Spiegels, beziehungsweise die des Magnetes im Instrumente, ohne den Magnet auf den Schlitten gelegt zu haben. Nun bringt man den Magnet auf den Schlitten und dreht den ersteren

welche mit je zwei neben einander gewickelten Drähten von je 100 Ohm, beziehungsweise 0·01 Ohm versehen sind, lassen sich mittelst Zahn und Trieb auf eingeteilten Schienen verschieben und rasch vertauschen.

Die Empfindlichkeit des Instrumentes lässt sich erheblich variieren, durch die Veränderung der Höhenlage — mittelst Schraube längs einer Skala — oder gänzliche Entfernung des Eisenringes.

In neuester Zeit baut die Firma dieses Instrument mit einem sehr flachen, auf Drähten aufgehängten Kupferdämpfer, wodurch es ermöglicht ist, die beiden Spulen sehr nahe an den Magnet zu bringen, wie dies auch die Figur 48 deutlich zeigt.

Die Multiplikatoren sind mit je zwei neben einander laufenden, doppelt mit Seide umsponnenen Drähten bewickelt, so dass durch geeignete Parallel- und Hintereinanderschaltung der Widerstand derselben vom Einfachen auf das Doppelte, Vier-, Acht- und Sechzehnfache variiert werden kann.

Der Gesamtwiderstand beträgt 400 Ohm; ausser diesen Bewicklungen enthält jede Spule noch einige Windungen dicken Drahtes.

Die Empfindlichkeit mit hinter einander geschalteten Windungen von 400 Ohm, ohne Astasierung mit dem Eisenring drückt sich durch folgende Angaben aus: 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand entspricht einer Stromstärke von 0·00000008 Ampère.

Um eine Polarisierung des Eisenschuttringes unschädlich zu machen, besteht derselbe aus zwei gegen einander verschiebbaren Teilen.

Zur raschen Centrierung des Glockenmagnets ist auf dem Messingdreifuss eine Dosenlibelle angebracht.

Die Firma Hartmann & Braun baut auch ein einfacheres — daher billigeres — Instrument der eben besprochenen Art, in welchem der Dämpfer nicht geteilt ist und die Spulen aus freier Hand verschoben werden.

Für beide Instrumente liefert die Firma noch eine Reihe von Rollen (Multiplikatoren, wie man auch die Spulen nennt) mit verschiedenen Wicklungen.

Aperiodisches Spiegelgalvanometer von Siemens & Halske. Fig. 49. In diesem Instrumente wurde zum ersten Male der Glockenmagnet angewendet. Auf einem Dreifusse mit 3 Stellschrauben ist

so lange (in Beziehung zur Richtung der Schiene), bis die Nadel wieder in ihre Anfangslage zurückkehrt. Durch eine Klemmschraube wird der Magnet in seiner Lage gehalten. Bei einer Konstruktion von du Bois kann man die Drehung des Magnetes vom Fernrohre aus vornehmen mit Hilfe von Schnüren, welche eine Mikrometerschraube drehen. Die Schnüre sind bis zum Fernrohre geführt. Durch Verschiebung des Magnetes längs der Schiene kann die Empfindlichkeit des Instrumentes variiert werden.

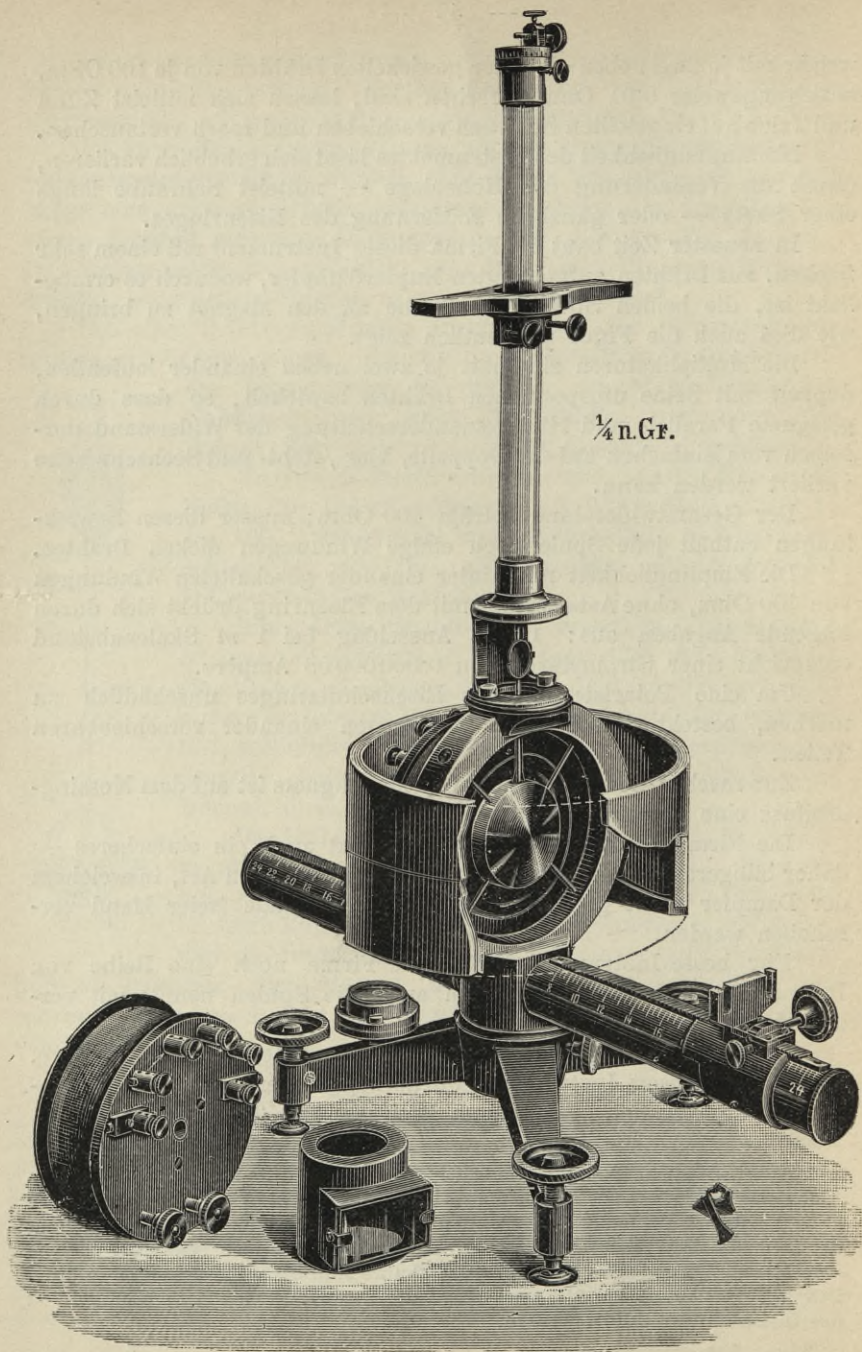


Fig. 47 und Fig. 48.

eine massive Kupferkugel befestigt, welche zur Aufnahme des Glockenmagnetes eine bis über das Mittel gehende Bohrung hat. (Fig. 43.) Der Magnet hängt samt dem oberhalb desselben befindlichen Spiegel an einem feinen Kokonfaden, welcher in einer Glasröhre sich befindet. Über der Kupferkugel sind, beiderseits vom Glockenmagnet, die Drahtspulen angebracht, deren Anordnung die Fig. 43 zeigt. Die

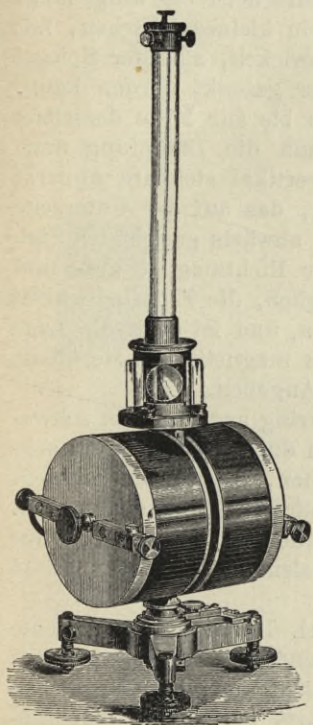


Fig. 49.

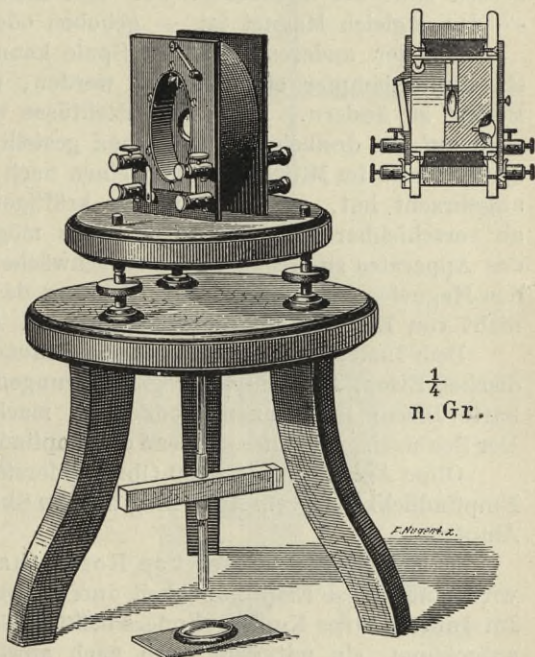


Fig. 50.

Bewicklung der Spulen richtet sich selbstredend nach dem Zwecke, für den das Instrument gebraucht wird. Die Firma liefert den Apparat mit zweierlei Drahtspulenpaaren und zwar zu 3000 Ohm und 30000 Ohm Widerstand. Die Spulen sind abnehmbar, wodurch auch ein leichtes Centrieren des Glockenmagnetes ermöglicht ist. Die kräftige Magnetisierung desselben, sowie die grosse Kupfermasse, in welcher derselbe schwingt, bei einem im Verhältnis sehr kleinen Trägheitsmoment bringt es mit sich, dass die Schwingung eine vollkommen aperiodische ist — d. h. der Magnet sofort in der abgelenkten Lage zur Ruhe kommt.

Siemens & Halske bauen dasselbe Instrument auch in einfacherer Weise mit Spulen von ca. 2000 Ohm Widerstand.

Sehr einfach und praktisch konstruiert ist das Spiegelgalvanometer nach Kohlrausch von Hartmann & Braun. (Fig. 50.) Dasselbe besteht aus einer Spule, welche mit zweierlei — gleichzeitig aufgewickelten — Drähten versehen ist und in deren Mitte ein kleiner Stahlspiegel, auf beiden Seiten spiegelnd, in einfacher Weise aufgehängt ist. Im Inneren der Spule befindet sich ein kleines Röllchen, mit dessen Hilfe der Kokonfaden auf- oder abgewickelt, also der Spiegel — der zugleich Magnet ist — gehoben oder gesenkt werden kann.

Von der anderen Seite der Spule kann bis zur Mitte derselben ein Kupferdämpfer eingeschoben werden, um die Dämpfung nach Bedarf zu ändern. Der durch Stellfüsse vertikal stellbare Apparat wird auf ein dreibeiniges Tischchen gestellt, das auf der Unterseite seiner Platte im Mittel derselben einen nach abwärts gerichteten Stab angebracht hat, auf welchem ein kräftiger Richtmagnet auf- und ab verschiebbar ist. Hierdurch ist es möglich, die Empfindlichkeit des Apparates zu steigern oder zu schwächen, und ist auch die Lage des Magnetes im Apparate zur Richtung des magnetischen Meridians nicht von Einfluss auf die Messung resp. Angaben.

Dem Instrumente kann auch ein Schutzring aus weichem schwedischen Eisen, um dasselbe gegen Störungen durch zeitweilig benachbarte Eisenmassen unempfindlich zu machen, beigegeben werden. Der Schutzring erhöht bedeutend die Empfindlichkeit des Instrumentes.

Ohne Astasierung bei 50 Ohm Widerstand des Apparates ist die Empfindlichkeit: 1 *mm* Ausschlag bei 1 *m* Skalenabstand = 0·0000004 Ampère.

Mikrogalvanometer von Rosenthal. In diesem Instrumente wird eine grosse Empfindlichkeit durch folgende Einrichtung erreicht: Im Inneren eines Kupfercylinders befindet sich, an einem Kokonfaden aufgehängt, ein mit den Polen nach abwärts gerichteter Hufeisenmagnet, der an denselben horizontale, kreisförmig gebogene Stäbchen trägt. Diese Stäbchen gehen frei durch die Höhlungen zweier mit Silberdraht bewickelten Spulen aus Elfenbein, wodurch die Wirkung des Stromes auf den Magnet aus nächster Nähe ausgeübt wird.

Edelmann, München hat diesem Instrumente neuerdings eine veränderte Form gegeben¹⁾. Diese Änderung bezieht sich im wesentlichen auf die Gestaltung des Magnetes. Derselbe hat an den doppelt abgekröpften Enden gleiche Pole *nn* und in der Mitte einen Folgepol *s* (Ferrini'sche Nadel). Die abgeboenen Enden sind kurz, das gerade Stück der Nadel ziemlich lang.

¹⁾ Elektr. Zeitschrift 1891. S. 64.

Fig. 51 zeigt die Anordnung der Nadel und der beiden Spulen; die kleine Muffe gestattet, wenn notwendig, eine Verdrehung des Spiegels.

R_1 und R_2 sind die Galvanometerrollen, welche an zwei das Gehäuse abschliessenden Glasscheiben befestigt sind, wie aus der

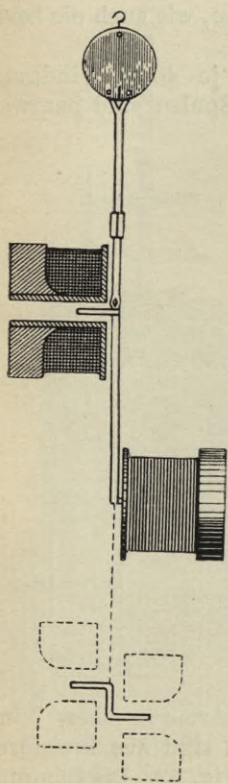


Fig. 51.

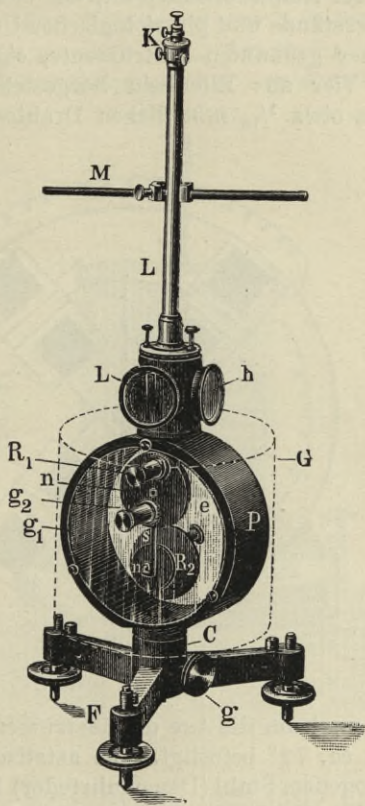


Fig. 52.

Fig. 52 deutlich zu ersehen ist. Eine Messingtrommel G schliesst den Apparat ein.

Dieses Instrument ist zur Messung ganz geringer Stromstärken vorzüglich geeignet; es ist so empfindlich, dass eine Stromstärke von etwas unter einem Zehntausendmilliontel Ampère (10^{-10} A) noch bemerkt werden konnte. Der Widerstand der Rollen war dabei etwa nur 300 Ohm.

Hartmann & Braun führen das Instrument mit einer Abänderung aus; statt des vertikal suspendierten hufeisenförmigen

Magnetes ist ein ähnlich wie bei Edelmann gebogener Z-förmiger Magnet mit gleichen Endpolen angewendet, welche mit ihren Polen in Solenoide tauchen; letztere sind aus elektrolytischem Kupfer hergestellt und bieten nebst einem Luftflügel genügende Dämpfung.

J. Kollert, Chemnitz¹⁾ giebt ein ähnliches Instrument von grosser Empfindlichkeit an, das sich besonders zur Justierung grosser Widerstände und physiologischer Untersuchungen, wie auch die beiden vorher genannten Instrumente, eignen dürfte.

Vier aus Elfenbein hergestellte und mit je 4000 Windungen eines etwa $\frac{1}{18}$ mm dicken Drahtes versehene Spulen sind paarweise

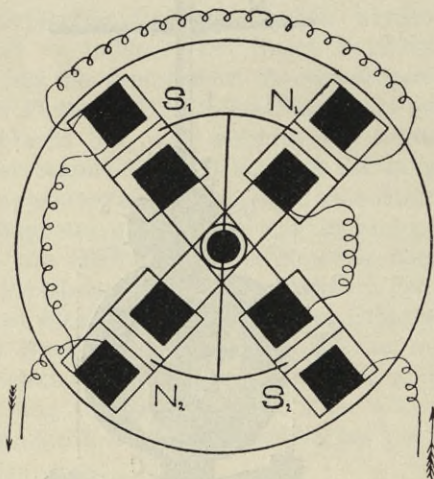


Fig. 53.

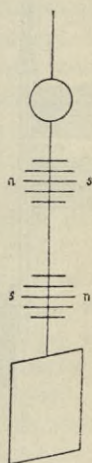


Fig. 54.

auf zwei um die Axe des Instrumentes gehende Arme in einem Winkel von ca. 72° befestigt. Die astatischen Magnete sind aus kreisförmig gebogenem Stahl (Damenuhrfeder) hergestellt. Fig. 53. Die Dämpfung erfolgt durch einen Glimmerflügel. Das Gesamtgewicht der Magnete nebst Dämpferflügel, Spiegel und Aufhängung beträgt nur 2.59 g.

Thomson's Galvanometer für Messung hoher Widerstände kann man als typische Form betrachten, nach welcher mehrere Instrumente gebaut werden. Das Galvanometer hat ein astatisches Magnetsystem, das aus kleinen Magnetstäbchen besteht, die quer auf einem Aluminiumstäbchen befestigt sind, das mit dem Spiegel und einem Glimmer- oder Aluminiumflügel zur Dämpfung (Töpler'sche Luftdämpfung) verbunden ist. (Fig. 54.) Ein derartiges astatisches

¹⁾ Elektr. Zeitschrift 1887. S. 85.

Spiegelgalvanometer nach Thomson, von der Firma Siemens & Halske, sehen wir in Fig. 55 abgebildet. Bei demselben ist die Anordnung der kleinen Stabmagnete derart, dass das eine System von Magneten auf die Rückseite eines leichten Spiegels, das andere senkrecht zur Fläche des Luftdämpferflügels an diesem angebracht ist. Je ein Magnetsystem ist von 2 Rollen eingeschlossen.

Der Widerstand der 4 Rollen beträgt ca. 6000 Ohm. Die Rollen lassen sich aufklappen um entsprechende

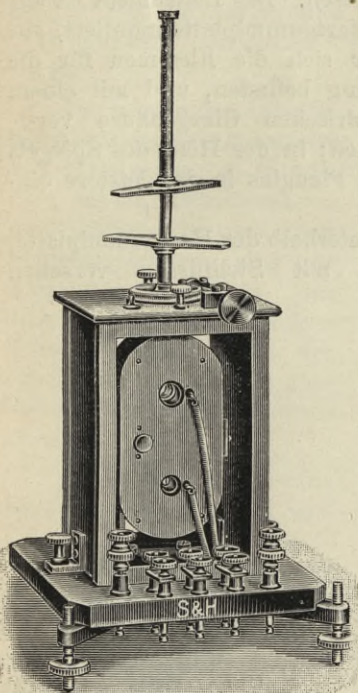


Fig. 55.

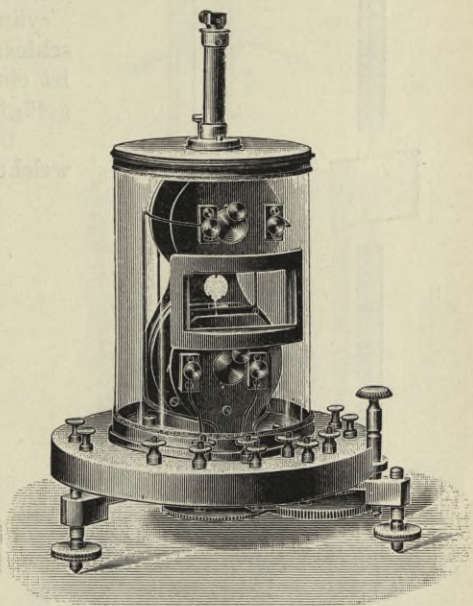


Fig. 56.

Charniere, so dass das astatiche Magnetsystem vollständig frei ist. Der Apparat ist auf einer Hartgummiplatte montiert und mit einem Schutzgehäuse versehen, das mit 2 Spiegelglasscheiben geschlossen ist. Ein Richtmagnet oberhalb des Kastens lässt sich drehen und auf- und abschieben.

Die Firma Siemens & Halske baut das Thomson'sche astatiche Spiegelgalvanometer auch mit Glockenmagneten in zwei verschiedenen Ausführungsformen.

Fig. 56 zeigt die neue Form desselben. Das astatiche Magnetsystem besteht aus zwei durch eine Messingstange verbundenen Glockenmagneten, welche in Kupferhülsen schwingen.

In der Mitte zwischen beiden befindet sich der Spiegel; dies hat den Vorteil, dass eventuelle Erschütterungen des Instrumentes auf den Spiegel geringen Einfluss haben. Die Glockenmagnete sind von je 2 Drahtrollen von ca. 3000 Ohm — alle 4 Rollen 6000 Ohm — eingeschlossen. Das Instrument ist auf einer Hartgummiplatte montiert, auf welcher sich die Klemmen für die Zuleitung befinden, und mit einem cylindrischen Glasgehäuse verschlossen; in der Höhe des Spiegels ist ein Planglas in das letztere eingefügt.

Unterhalb der Hartgummiplatte, welche mit Stellfüßen versehen

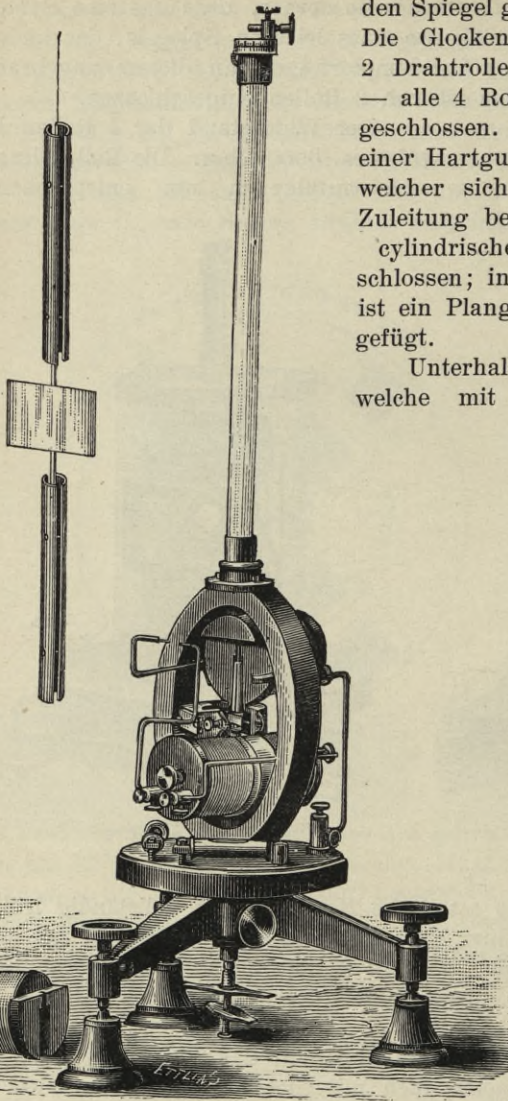


Fig. 58.

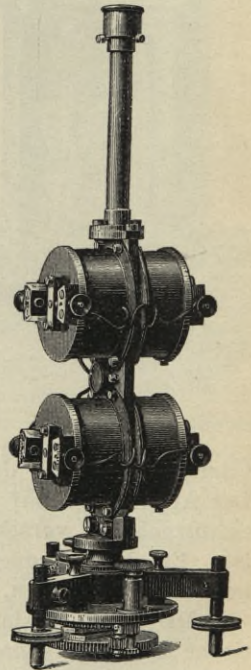


Fig. 57.

ist, befindet sich ein System von zwei schwachmagnetisierten Stahlstäben; dieselben sind durch Zahnräder in jede beliebige Lage dreh-

bar. Das Instrument wird auch mit Drahtrollen von ca. 13 000 Ohm Widerstand und mit auswechselbaren Rollen von 13 000, 6000 und 6 Ohm Widerstand geliefert.

Im Prinzip gleich, jedoch in anderer, aus der Figur deutlich sichtbarer Ausführungsform, mit Drahtrollen von zusammen 16 000 Ohm (und eventuell 6 Ohm) ist das in Fig. 57 dargestellte Instrument derselben Firma.

Im astatischen, aperiodischen Spiegelgalvanometer von Hartmann & Braun (Fig. 58) ist, abweichend von den bisher besprochenen Magnetsystemen, eins zur Anwendung gebracht, das durch seine Form ähnliche Vorteile bietet wie der Glockenmagnet, dabei aber einen hohen Grad von Astasie ergibt.

Dasselbe besteht aus zwei mit einander fest verbundenen Hohlcylinder-Hälften, wie dies die Fig. 58 zeigt, welche an einem dünnen Kokon- oder Quarzfaden aufgehängt sind. Der Spiegel befindet sich in der Mitte des Magnetpaares und des Instrumentes und ist leicht drehbar innerhalb eines abnehmbaren Gehäuses. Das Instrument hat regulierbare

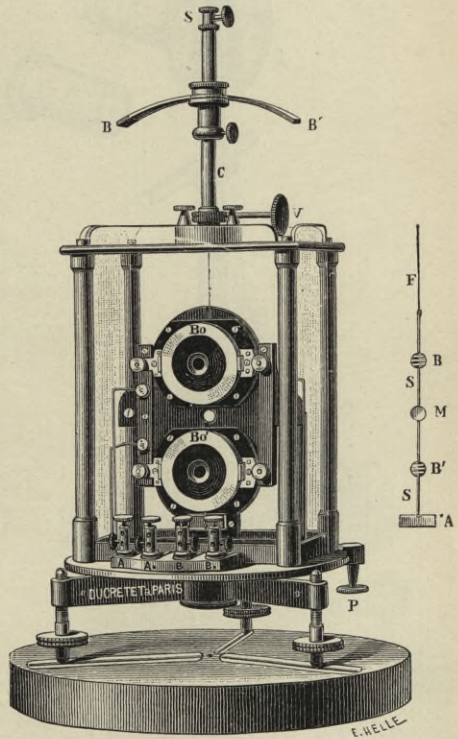


Fig. 59.

Kupferdämpfung; die beiden Multiplikatorenpaare haben zusammen einen Widerstand von 5000 oder 10 000 Ohm. An der Unterseite des Fusses sind zwei verstellbare Richtmagnete angebracht; durch 2 Libellen kann das Instrument, das mit den Stellschrauben auf separaten Horngummi-Untersätzen ruht, genau aufgestellt werden. Der Grad der Empfindlichkeit ist: 1 mm Ausschlag entspricht bei 10 Sekunden Schwingungsdauer und 5000 Ohm Widerstand und 1 m Skalenabstand 0.000000025 Amp.

Das Thomson'sche Galvanometer von Ducretet & Lejeune in Paris zeigt die Abbildung Fig. 59. Dasselbe hat 2 Paar auswechselbare Spulen (in der Figur mit *Bo* bezeichnet) von zusammen 5000, beziehungsweise 8000 Ohm.

Ein einfaches sehr handliches Instrument ist das Thomson-

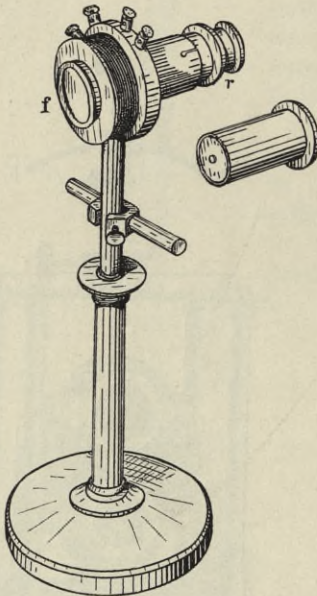


Fig. 60.

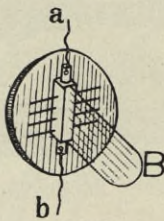


Fig. 60 a.

Galvanometer¹⁾ von Edelman, München, das für Vorlesungszwecke bestimmt ist; es eignet sich sowohl für subjektive Fernrohrablesung als auch für objektive Lampenablesung. Das Instrument, dessen Totalansicht die Fig. 60 zeigt, enthält als Galvanometernadel ein prismatisches, an beiden Enden mit Ösen *a b*, Fig. 60 a, versehenes Aluminiumstäbchen, durch welches vier magnetische Nähdadelstücke gesteckt sind. Daran ist noch ein dünner Planspiegel *S* und ein dämpfender Glimmerflügel *B* befestigt. In die beiden Ösen *a b* sind Kokonfäden eingebunden, welche am Ende eines Messingrohres *r*, Fig. 60, in Ritzen mit dickflüssiger Schellack-

lösung eingekittet sind. Auf diese Weise bilden die beiden Kokonfäden die Drehungsaxe für die Galvanometernadel; der Spiegel bildet das Stirnende des Rohres.

Letzteres ist in das mit dem Stativ verbundene äussere Rohrgeschoben, auf welchem sich die Windungen zwischen zwei Flanschen

¹⁾ Elektr. Zeitschrift 1894. S. 139.

befinden, so dass nun die Nadeln innerhalb derselben schwingen. Vorn wird das Galvanometer durch eine Überschraube f geschlossen, hinter welche man bei Lampenablesung eine Projektionslinse oder bei Fernrohrablesung ein Planparallelglas einsetzt.

Das Stativ ist nach der Höhe verschiebbar und mit einem schweren, mit Blei ausgegossenen Fusse versehen. Am Stativ lässt sich der Richtmagnet leicht verstellen.

Die Galvanometerrolle W ist, um das Instrument allgemein verwendbar zu machen, als Differentialrolle gewickelt, jede Abteilung mit je 20 Ohm Widerstand.

Bei Hintereinanderschaltung der Wicklungen, also bei 40 Ohm Widerstand, ist die Empfindlichkeit so, dass bei 1 m Skalenabstand 1 mm Ausschlag 0·00000001 Amp. bedeutet.

Zur Reduktion dieser hohen Empfindlichkeit sind dem Instrumente Nebenschluss-Widerstände (Shunts) zu 0·1, 0·01 und 0·001 beigegeben.

Die Fig. 61 giebt eine Abbildung des astatischen Spiegelgalvanometers von Hartmann & Braun. Dasselbe hat leichte lamellenförmige, mit einander

fest verbundene Magnete, welche von je einer Multiplikatorrolle eng umschlossen sind. Die Dämpfung ist durch verschiebbare Kupferhülsen regulierbar. Der Apparat ist auf einer Marmorplatte montiert und mit Konus im Dreifuss drehbar; alle Teile sind nach Abnahme der Glasglocke leicht zugänglich. Bei 1 m Skalenabstand entspricht einem Millimeter Ausschlag ein Strom von 0·00000015 Ampère, bei einem Widerstande von 10 Ohm.

Das Galvanometer Deprez & d'Arsonval unterscheidet sich von den bisher beschriebenen Instrumenten dadurch, dass das Draht-

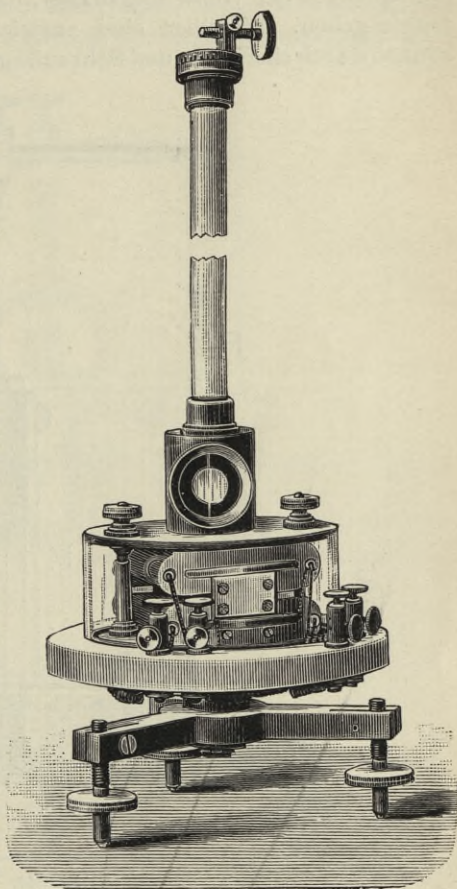


Fig. 61.

gewinde drehbar und die Magnete festgestellt sind. Fig. 62 u. 63. Zwischen den nach oben gerichteten Schenkeln eines Hufeisenmagnets (Magazin aus drei Magneten) ist das Drahtgewinde in Form eines Rechteckes in der Weise aufgehängt, dass nach oben und unten Silberdrähte gehen. Dieselben sind zugleich Stromzuführungsdrähte und können durch eine Feder und Schraube gespannt werden. Das Rähmchen

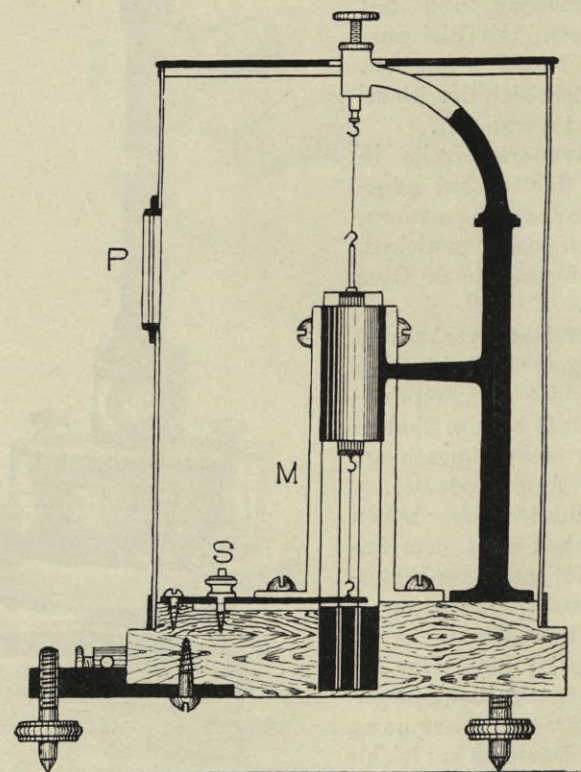


Fig. 62.

mit den Windungen trägt den Spiegel. Innerhalb der Windungen, getragen durch einen Arm des Stativs, befindet sich zur Verstärkung des magnetischen Feldes ein hohler Eisencylinder.

Die Einstellung des Rahmens bei Durchleitung des Stromes findet aperiodisch statt.

Der Apparat ist mit einem cylindrischen Glase geschlossen, das dem Spiegel gegenüber ein Planglas eingesetzt hat.

Das physikal. mech. Institut von Dr. Edelmann, München baut Deprez'sche Galvanometer in exaktester Weise. Ein solches

ist in Fig. 64 in einer Totalansicht dargestellt, während die Fig. 65 einen Schnitt durch das Instrument zeigt. In einem Dreifuß aus Messing, *F*, ist die Grundplatte *P* mittelst konischen Zapfens und Fixierschraube *w* eingesetzt. Auf diese Platte sind 24 Stahlmagnete von vorzüglichstem Material in 2 Reihen durch Bolzen und Schrauben

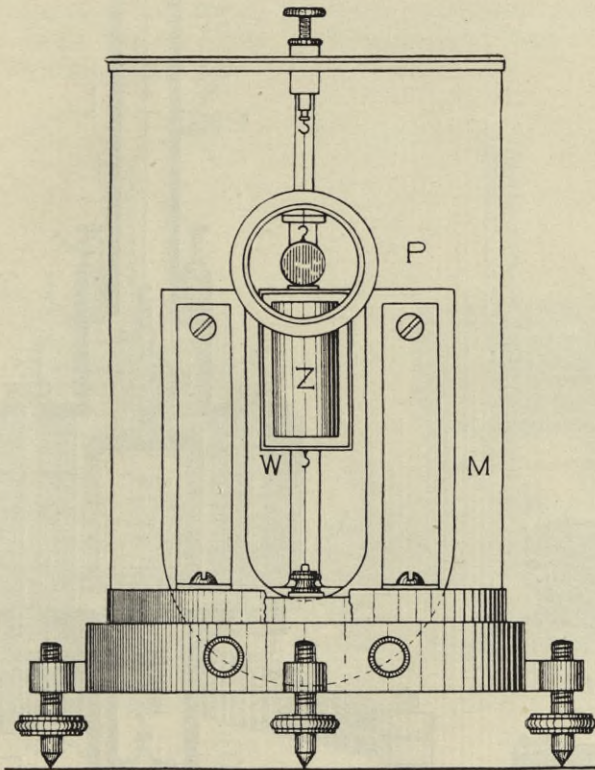


Fig. 63.

aufgeschichtet, so dass die gleichen Pole auf einander zu liegen kommen, bei *A* z. B. lauter Nordpole, bei *B* Südpole. Die Pole bei *C* und *D* sind durch 1 mm dicke, zwischengelegte Eisenblechstreifen gegenseitig verbunden, so dass sämtliche 24 Magnete gewissermassen einen Hufeisenmagnet bilden; an den freien Polen sind 1 mm dicke Messingeinlagen angebracht, um den gegenseitigen vertikalen Abstand der Magnete zu erhalten.

Zwischen den freien Magnetpolen befindet sich das Gehäuse, in welchem die beweglichen Teile untergebracht sind. Dieselben bestehen

aus einem aus sehr dünnem Kupferblech hergestellten Hohlrähmchen *Z* mit u-förmigem Querschnitt, auf welches 1400 Windungen von 1000 Ohm Widerstand aufgewickelt sind. Dieses Rähmchen hängt an einem langen, sehr dünnen (0.05 mm dicken) Messing-

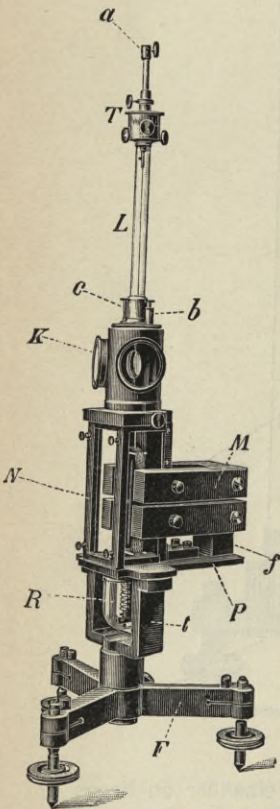


Fig. 64.

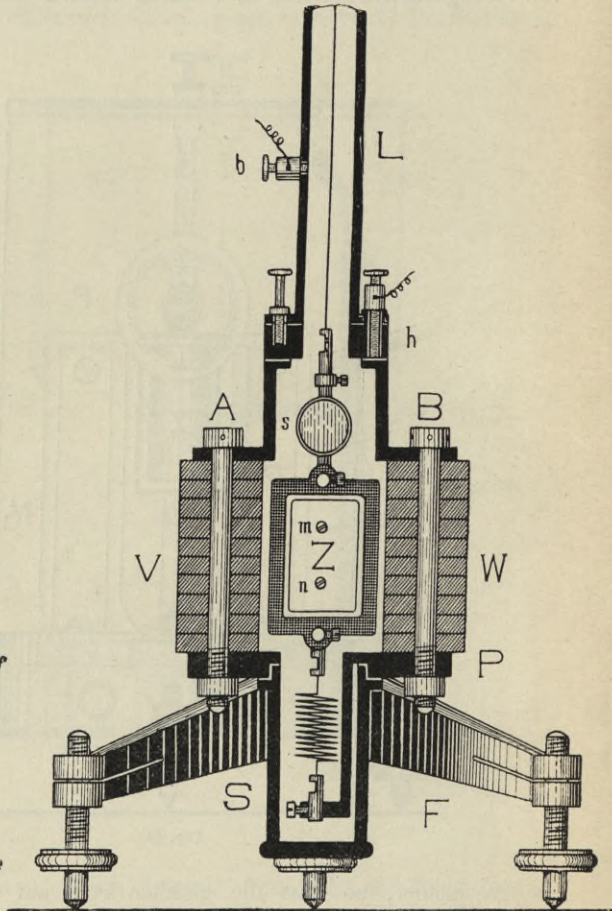


Fig. 65.

draht; durch denselben wird der Strom den Windungen zugeführt, während derselbe durch eine weite Drahtspirale *S*, welche in ein nach unten abnehmbares Schutzrohr eingeschlossen ist, seine Fortleitung findet.

Mit dem Rähmchen ist der Spiegel *s* fest verbunden, der durch das Fenster *K* beobachtet werden kann.

Innerhalb des Rähmchens ist ein Hohlzylinder aus weichem Eisen angebracht. Das Suspensionsrohr L ist von dem übrigen Teile des Instrumentes durch die aus Hartgummi bestehende Schicht h isoliert.

Die Schwingungsdauer des Rahmens beträgt etwa 2 Sekunden; die Bewegung ist vollkommen aperiodisch. Die Ausschläge sind genau dem Tangentengesetz entsprechend.

Das Instrument ist nahezu gar nicht empfindlich gegen Beeinflussungen durch äussere Kräfte wie Eisenmassen, Magnete oder die Nähe von Dynamomaschinen.

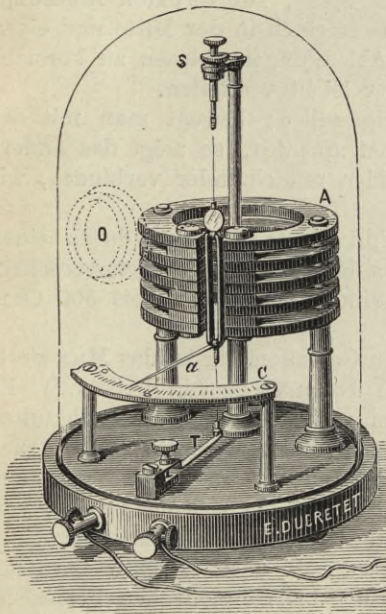


Fig. 66.

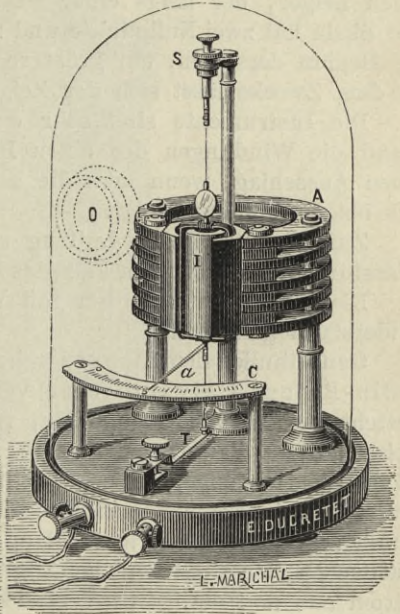


Fig. 67.

Die Empfindlichkeit ist gross; $0\cdot000000003$ Amp. bringen einen Ausschlag von 1 mm bei einem Skalenabstand von 1 m hervor.

Ducretet & Lejeune, Paris bauen das Deprez'sche Galvanometer in 2 Modellen nach Angaben von Maxwell.

Die Fig. 66 und 67 zeigen die beiden Instrumente.

Das magnetische Feld wird durch horizontalliegende kräftige Stahlmagnete gebildet, von kreisringförmiger Gestalt. In diesem Felde befindet sich die in Form eines Rähmchens hergestellte Wicklung, welche wie bei Deprez die Zuleitung des Stromes erhält.

In dem einen Galvanometer, Fig. 66, bilden die Drahtwindungen ein schmales Rähmchen; in dem Galvanometer, Fig. 67, ist dasselbe

breiter, die Magnetpole sind mit Polschuhen aus weichem Eisen versehen und innerhalb der Windungen ist ein Cylinder aus weichem Eisen angebracht.

Hierdurch ist eine grosse Gleichmässigkeit im grössten Teil der Skala erreicht.

Der Draht der Windungen ist bei beiden Instrumenten auf ein Rähmchen aus Silber gewickelt, wodurch eine bedeutende Dämpfung erzeugt wird.

Beide Instrumente sind mit Spiegel versehen, haben aber auch einen Zeiger, der längs einer Skala spielt, zur direkten Ablesung. Die Skala hat zwei Nullpunkte und zwar einen in der Mitte und einen am Beginn derselben, um grössere Ablenkungen ablesen zu können; zu dem Zwecke lässt sich der Zeiger leicht verstellen.

Die Instrumente sind sehr empfindlich; bewegt man mit der Hand die Windungen des einen Instrumentes, so zeigt das andere einen Ausschlag, wenn man die beiden mit einander verbindet, wie das obige Abbildung zeigt.

Zum Schutze gegen Luftzug sind die Instrumente durch einen Glassturz mit eingesetztem Planglas in der Höhe des Spiegels versehen.

Die Instrumente werden mit Windungen von 20 bis 500 Ohm Widerstand geliefert.

Ganz ähnlich dem Deprez'schen Galvanometer ist das Maxwell-Jolin-Patent-Galvanometer von Jolin & Co. in Bristol.¹⁾ Es besteht aus 3 Hufeisenmagneten, von welchen 2 die Pole nach unten weisen, der 3 dazwischen gelegte nach oben. Zwischen den Polen hängt die viereckige, äusserst leichte Spule von 150 Ohm Widerstand mittelst zwei vergoldeter Silberdrähte. Das obere Ende ist fest verbunden, das untere wie im Deprez'schen Instrumente an einer elastischen Messingfeder befestigt; durch diese Drähte tritt der Strom aus und ein. Zur Verstärkung des magnetischen Feldes ist im Inneren der Spule ein aus Scheiben zusammengesetzter Magnet angebracht.

Ein auf denselben Prinzipien beruhendes Instrument wird in einfacherer Ausführung hergestellt und ist daher billiger.

Bei dem Galvanometer dieser Art der Firma Hartmann & Braun (die Anordnung ist patentiert) sind die Pole der (6) Magnete durch gemeinschaftliche Polschuhe verbunden, wodurch ein sehr kräftiges und homogenes Feld entsteht. Die Windungen der Spule sind auf einem in sich geschlossenen Rähmchen aus Aluminium gewickelt, das entweder auf einem Kokon hängt oder mittelst Spitzen in Steinen gelagert ist. Die Zuführung des Stromes geschieht durch

¹⁾ Elektr. Zeitschrift 1888. S. 162.

sehr dünnen Silberstreifen, welche der Beweglichkeit der Spule keinen Eintrag thun.

Die Spule ist in ihrer Richtung durch eine feine Doppelfeder, welche dem Drehungsmoment des Stromes entgegen wirkt, fest gehalten.

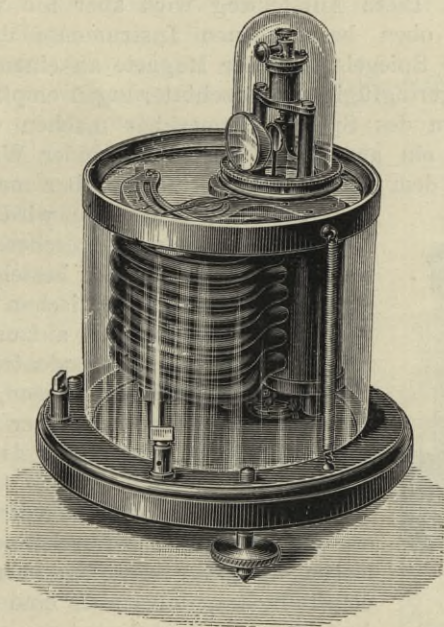


Fig. 68.

Eine noch grössere Empfindlichkeit ist durch die Anwendung eines zur Aufhängung dienenden Quarzfadens erreicht.

Die Fig. 68 giebt eine Abbildung dieses Instrumentes, das zur Spiegelablesung mit einem Plan- oder Hohlspiegel versehen ist; diese Instrumente werden auch für direkte Ablesung eingerichtet.

Bei den bisher besprochenen Instrumenten wird der Ablenkungswinkel, beziehungsweise dessen trigonometrische Tangente gemessen, wobei der gefundene Wert dem zu messenden Strom proportional ist.

Die Ausführung der Messung erfordert nicht nur eine exakte Aufstellung des Instrumentes selbst, sondern auch die des Hilfsapparates, des Fernrohres mit der Skala; ferner ist es eine Hauptbedingung, dass das Instrument vollkommen ruhig steht, also auch

vor den geringsten Erschütterungen bewahrt ist. Dazu ist es aber notwendig, einen eigenen Raum zu haben, in welchem sich nur die messende Person aufhält und in welchem das Instrument eine entsprechende Aufstellung findet. Befindet sich dieser Raum in einem Stockwerke, so wird man das Instrument auf eine sehr feste Wandkonsole stellen. Diese Aufstellung wird aber nie vollkommen genügen, da die oben besprochenen Instrumente durch die zarte Aufhängung des Spiegels und der Magnete an einem feinen Coconfaden auch die geringfügigsten Erschütterungen empfinden, was sich durch ein Zittern des Spiegels bemerkbar machen wird. So kann in diesem Falle ein am Hause vorbei fahrender Wagen sich beim Beobachten mit dem Fernrohre sofort bemerkbar machen.

Aus diesem Grunde wird man stets als Messungsraum ein Erdgeschoss vorziehen, in welchem die Möglichkeit besteht, für das Instrument einen prismatischen Steinblock auf gemauertes Fundament aufzustellen. Selbstredend dürfen die Fussbodenträger und Dielen nicht an den Steinblock stossen, da sonst selbst das Hin- und Hergehen einer Person ein geringes Erzittern des Spiegels hervorbringen könnte.

Diese Gründe sind es vorwiegend, welche es dem Praktiker wünschenswert erscheinen lassen, ein für derartige Einflüsse weniger empfindliches, dabei aber eine grosse Genauigkeit bietendes Instrument zu seinen Messungen benutzen zu können.

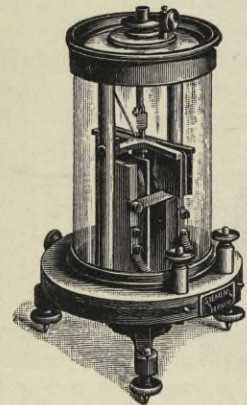


Fig. 69.

Hierzu eignet sich das Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske vollkommen. Ein Glockenmagnet ist mit einer feinen Spiralfeder so verbunden, dass dieselbe eine Torsion erfährt, wenn der Magnet eine Ablenkung von seiner Ruhelage durch den Strom erfährt. Um nun den Magnet in seine ursprüngliche Lage zurückzuführen, ist es notwendig, der Spiralfeder eine Torsion zu erteilen, welche der ablenkenden Kraft des Stromes proportional ist.

Hat man die Proportionalität eines Instrumentes festgestellt — die Konstante desselben ermittelt, so ist die Messung eine einfache und rasch ausführbar.

Fig. 69 giebt eine Abbildung des Instrumentes. Zwischen zwei vertikalen Multiplikatorrollen befindet sich der Glockenmagnet; derselbe ist an einem Messingstäbchen befestigt und mittelst Coconfaden suspendiert an einem auf der Deckplatte des Apparates befindlichen Knopfe. Das Messingstäbchen ist von einer feinen Spiralfeder um-

geben, deren eines Ende mit dem Stäbchen, das andere mit dem eben erwähnten Knopfe fest verbunden ist; der Knopf ist drehbar und hat einen Zeiger, welcher auf einer in die aus Glas gefertigte Deckplatte geätzten Skala spielt. Das Messingstäbchen trägt ferner ebenfalls einen Zeiger, der nach oben gerichtet, auch auf dieselbe Skala weist (aus der schematischen Fig. 70 leicht ersichtlich), und einen Dämpferflügel aus Glimmer, welcher, zwischen zwei unter einem kleinen Winkel zu einander stehenden Messingplatten schwingend, eine sehr rasche Einstellung des Magnetes bewirkt. Vor dem Gebrauche des Instrumentes hat man die Multiplikatorrolle — und damit das Gehäuse mit der Skala — so lange zu drehen, bis der Magnetzeiger auf Null zeigt, wenn auch der Torsionszeiger auf Null gebracht wird.

Der Torsionswinkel, d. i. also jener Winkel, welcher notwendig war dem Torsionszeiger zu geben, um den durch den Strom abgelenkten Magnet, beziehungsweise dessen Zeiger in die Nullstellung zurückzuführen, ist der Stromstärke direkt proportional, eventuell der Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten eines an das Torsionsgalvanometer gebrachten Stromkreises.

Die Bewicklung des Apparates richtet sich nach der Stärke des zu messenden Stromes, und der Apparat wird mit einer Bewicklung von 1 Ohm Widerstand zur Messung von Strömen von 0.001 bis 0.17 Ampère oder Potentialdifferenzen (Spannungen) von 0.001 bis 0.17 Volt und von 100 Ohm Widerstand zur Messung von Strömen von 0.0001 bis 0.017 Ampère und Potentialdifferenzen von 0.01 bis 1.7 Volt geliefert.

Über die Verwendung des Instrumentes zu Messungen werden wir noch an anderer Stelle sprechen.

Das Torsionsgalvanometer eignet sich besonders auch zum Aichen und Kontrollieren von technischen Instrumenten, welche die Stromstärke und Spannung in Ampère, beziehungsweise Volt angeben (Ampèremeter und Voltmeter).

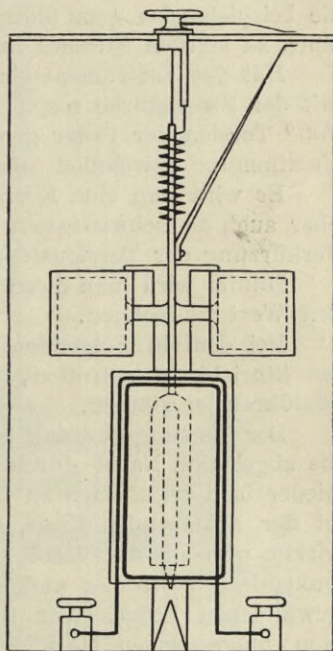


Fig. 70.

Edelmann's Torsionsgalvanometer. Dieses Instrument zeichnet sich — abgesehen von der sorgfältigen Ausführung und wohldurchdachten Konstruktion aller Teile — wesentlich dadurch aus, dass es eine sehr praktische Einrichtung besitzt, zur raschen Korrektur der Konstanten des Instrumentes. Edelmann geht von der Thatsache aus, dass der Magnetismus einer Nadel niemals verlässlich derselbe ist, sondern dass vielmehr Änderungen vorkommen, die beispielsweise ganz plötzliche sein können, wie bei Einschaltung eines zu starken Stromes in die Rollen des Instrumentes.

Hat das Instrument eine Konstante, so dass die Gradteilung mit der Stromstärke resp. Spannung übereinstimmt, so dass z. B. 100° Torsion der Feder genau 1 V entsprechen, so ist diese Übereinstimmung gewöhnlich nicht von langer Dauer.

Es wird nun eine Korrektur notwendig, die am einfachsten — aber auch am schwierigsten in der praktischen Ausführung — durch Verkürzung der Torsionsfeder erfolgen kann.

Häufig wird man diese Korrektur unterlassen und es vorziehen, den Wert zu rechnen.

Bei dem in Folgendem zu besprechenden Instrumente ist nun die Einrichtung getroffen, diese Korrektur mit Leichtigkeit selbst ausführen zu können.

Der Messungsvorgang beim Torsionsgalvanometer besteht darin, die abgelenkte Nadel durch Erteilung einer Torsion an die Feder wieder in die Ruhelage zu bringen; der hierbei notwendige Winkel ist der ablenkenden Kraft, also der Stromstärke, proportional. Es wirken also auf die Nadel in der Nullstellung zwei Kräfte, die ablenkende des Stromes und dieser entgegen die Drehkraft der aufgewundenen Feder. Der Strom wird, sobald die Rolle senkrecht zum magnetischen Meridian (Nullstellung der Nadel) steht, das Maximum der Einwirkung haben; sowie aber die Rolle einen anderen, kleineren Winkel als 90° mit dem magn. Meridian einschliesst, wird auch die Einwirkung des Stromes auf die Nadel kleiner und gänzlich Null sein, wenn die Rolle parallel zum magn. Meridian gestellt ist.

Hierdurch ist es nun möglich, für beliebige Stromstärken entsprechende Ablenkungen oder für eine konstant angenommene Stromstärke jede beliebige Grösse der ablenkenden Kraft zu erhalten, nur durch die Wahl des Winkels zwischen Rollenaxe und Nadelaxe.

Dieses Prinzip ist nun im konstruktiven Aufbau des Instrumentes zur Geltung gebracht.

Fig. 71 ist ein Querschnitt, Fig. 72 eine perspektivische Ansicht des Instrumentes.¹⁾

¹⁾ El. Zeitschrift 1891, Heft 51. Edelmann: Neues Torsionsgalvanometer

Als Galvanometernadel ist ein Glockenmagnet benutzt, von einer dickwandigen Rolle umgeben. Die Nadel hängt mittelst

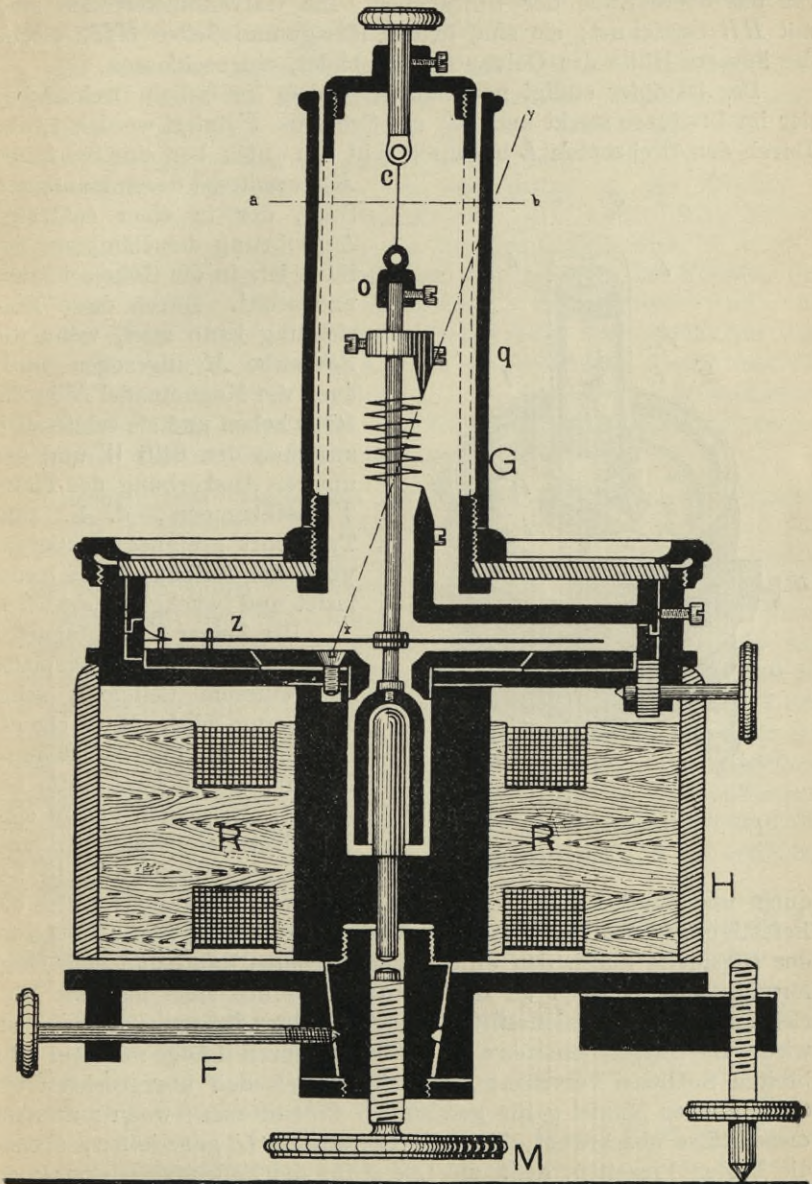


Fig. 71.

eines langen Stäbchens und der abnehmbaren Öse am Coconbündel. Das Stäbchen trägt noch den Aluminiumzeiger *Z* und die Pinzette für das obere Ende der Spiralfeder. Die Galvanometerrollen sind mit *RR* bezeichnet; sie sind in der Hartgummibüchse *HH*, welche die äussere Hülle des Galvanometers bildet, eingeschlossen.

Der Dämpfer endigt nach unten in dem konischen Drehzapfen, der im Dreifusse steckt und mit der Schraube *F* fixiert werden kann. Durch den Drehzapfen *L* hindurch geht von unten her eine Schraube

M, mittelst deren man einen Stift, der in einer centralen Ausbohrung des Dämpfers geführt ist, in die Höhe schraubt und senkt. Durch diese Einrichtung kann man, wenn die Schraube *M* angezogen wird, auch die Magnetnadel *N* in die Höhe heben und sie schliesslich zwischen den Stift *W* und der unteren Auskerbung der Platte *V* festklemmen, d. h. zum Transport geeignet arretieren, wobei der Aufhängefaden *c* entlastet und bruchgesichert wird.

Der Zeiger *Z* des Magnetes schwebt über der Teilungsplatte aus weissem Celluloid; seine Bewegung wird, da er eigentlich nur in die Nullstellung kommt, durch zwei Stifte begrenzt. Dieses alles ist in eine Metalldose eingeschlossen und durch eine Glasplatte sehr bequem und deutlich sichtbar.

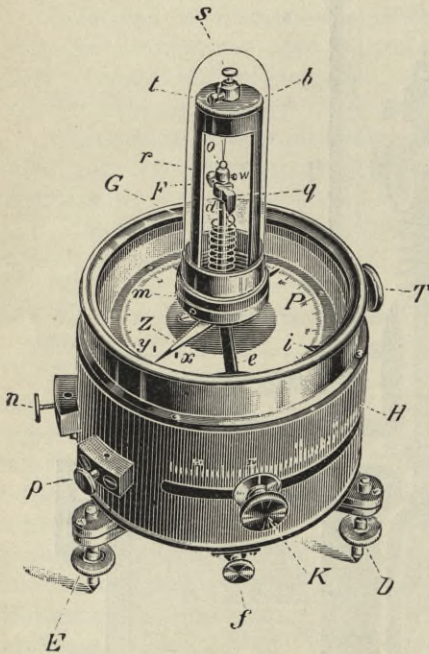


Fig. 72.

In der Querschnittsfigur zeigt sich die Befestigungsweise des Suspensionsrohres in einem centralen Loche der Glasplatte durch den unten übergreifenden Rand und eine ringförmige Mutter; oben an der Suspensionsröhre sieht man die Einrichtung des Suspensionsstiftes *s*, der mit einer Schraube festgehalten wird. Die Suspensionsröhre ist in ihrer ganzen Länge mit zwei sehr breiten Schlitzfenstern versehen; diese sind durch den übergeschraubten cylindrischen Mantel *q* für gewöhnlich verschlossen; wenn man aber diese Hülse abschraubt, liegt die Spiralfeder *G* ganz offen, ebenso die beiden Pinzetten, auch die Öse *o* für die Fadensuspension; man kann sodann ferner mit einem genügend langen (dem Instrumente

beigegebenen Schraubenzieher) in der Richtung der strichpunktirten Geraden xy an die Schrauben m gelangen, welche die centrale Platte niederdrücken; letztere fixirt mit ihrem konischen Rande die Teilungsplatte auf dem Boden der Bussole.

Im Inneren der Dose — und zwar geführt zwischen Glasplatte und Boden der Dose und deren innerem cylindrischen Rande — liegen noch zwei in einander gesetzte Metallringe; aus den oberen springt radial ein Arm hervor, biegt sich in der Suspensionsröhre nach aufwärts um und endigt in die Klemme x für das untere Ende der Spiralfeder. Der zweite Ring ist an seinem ganzen untersten Rande als Zahnkranz gearbeitet, in welchen das Getriebe A eingreift. Dreht man am randirten Knopfe, der aus der Hartgummibüchse hervorsteht, dann dreht man vermittelst dieser Verzahnung beide Ringe (die für gewöhnlich fest unter sich zusammenhängen) herum: mit ihnen den Arm e und die Pinzette x , d. h. man tordirt so die Feder. Der Winkelbetrag der Torsion kann vermittelst des Zeigers i , der am Ringe uv befestigt ist, auf der Teilungsplatte abgelesen werden.

Rechts vom Nullpunkte ist in der Teilungsplatte P noch ein Stift T befestigt, der folgenden Zweck hat, nachdem an ihn der Zeiger i anstossen kann: Ist die Teilungsplatte P durch Lockerung der Schrauben m drehbar gegen die Dose gemacht worden, so kann man also auch durch Drehen am Kopfe t durch Übertragung der Drehung i auf T die Teilungsplatte P gegen die Axe der Galvanometerrollen verdrehen. Die Einrichtung ermöglicht die zu Anfang erwähnte Korrektion der Galvanometerkonstante auf den genauen Betrag »Eins.« — Die Teilungsplatte ist in 180 Teile geteilt. Die Galvanometerrolle hat 100 Ω Widerstand und wird vom Strome, ohne Ergänzungswiderstände zu passieren, durchflossen, wenn man die Zuleitungsdrähte zu den Klemmen pn führt und die Schraube G , welche auf dem Galvanometer mit 1 V = 100⁰ bezeichnet ist, bis zum Kontakt hineinschraubt.

Die Torsionsfeder wird schon so abgeglichen, dass man sie bei 10 Milliampère Stromstärke in der Galvanometerrolle genau um 100 Teilstriche verwinden muss, um die Nullage der Galvanometernadel wieder herzustellen. Die Galvanometerrolle hat anfänglich einen Winkel von etwa 60⁰ gegen die Nadelaxe, damit man die Empfindlichkeit des Galvanometers nach aufwärts und abwärts ändern kann. Ausser der Kontaktschraube C sind noch zwei solche B und A vorhanden. Zwischen den Kontaktknöpfen zu G und B ist im Inneren ein Ergänzungswiderstand von 900 Ω , zwischen jenen zu B und A ein solcher von 9000 Ω eingelegt. Diese Widerstände sind selbst-

verständlich so angeordnet und gewickelt, dass sie vollkommen wirkungslos auf den Stand der Galvanometernadel bleiben.

Das Instrument wird auf einer erschütterungsfreien Unterlage, ohne Rücksicht auf die örtlichen magnetischen Verhältnisse — insofern diese nur konstant bleiben — aufgestellt, Fixierschraube f gelockert, ebenso die Kontaktschrauben ABC , damit nie ein Strom unberücksichtigt durch das Galvanometer fließen kann, dann mit Hilfe einer daraufgelegten, dem Instrumente beigegebenen Dosenlibelle horizontal gestellt. Hierauf wird die Arretierung der Nadel durch Zurückdrehen der Schraube M aufgehoben, der Zeiger i mit Drehen am Triebe genau auf Null eingestellt, das Galvanometer im Dreifusse bewegt, so dass auch der Zeiger Z der Magnetonadel auf Null einspielt, und endlich die Fixierschraube f wieder eingezogen. Nach dem Arbeiten darf man nie vergessen, die Nadel wieder zu arretieren. Wenn die Teilung nicht mehr mit den wahren Werten der zu messenden Grössen übereinstimmt, d. h. wenn die Konstante des Galvanometers von Eins verschieden ist, dann hat man folgende einfache Arbeit vorzunehmen:

Man stellt das Galvanometer zum Messen bereit auf, verbindet es durch Leitung zum Vergleiche mit einem Normalgalvanometer, schraubt das Hülrohr von der Suspensionsröhre a ab, lockert mit dem in der Richtung xy eingeführten Schraubenzieher die Schraube m und verdreht nun die Teilplatte gegen die Galvanometerrollen, indem man das Trieb t benutzt und durch den Stift T und den Zeiger i die Teilplatte P ein Stück mitgenommen werden lässt: in der Richtung nach y zu, wenn das Galvanometer zu viel, nach x zu (wobei man den Zeiger i um 360° drehen muss, bis er an T anstösst), wenn das Galvanometer zu wenig zeigt; man führt dann den Index i auf Null zurück und dreht das Galvanometer im Dreifusse, bis Zeiger z ebenfalls auf Null steht. Nun macht man die vergleichenden Ablesungen am Torsionsgalvanometer und am Normalgalvanometer. Diese Operation, die sehr schnell vor sich geht, wird so oft wiederholt, bis vollkommene Übereinstimmung erreicht ist; dann zieht man die Schrauben m wieder an und stülpt das Hülrohr rr über die Suspensionsröhre.

Zu ärztlichen Zwecken, physiologischen Untersuchungen und dergl. benötigt man ebenfalls empfindliche Messinstrumente, welche direkt anzeigen und einen möglichst geringen Raum einnehmen. Wir wollen im Folgenden einige Instrumente dieser Art besprechen.

Das Horizontal-Taschen-Galvanometer nach Edelmann von Reiniger, Gebbert und Schall, Erlangen, ist in Fig. 73

abgebildet¹⁾. Innerhalb eines massiven Kupfercylinders ist ein Glockenmagnet auf einer Spitze drehbar aufgehängt und mit einem Zeiger versehen, der auf einer von *O* nach beiden Seiten in Milliampère geteilten Skala spielt. Auf beiden Seiten des Glockenmagnets sind die Multiplikatorrollen angebracht; dieselben lassen sich mit dem Gehäuse und der Skala drehen, um letztere so zu stellen, dass der Nullpunkt der Skala mit dem Zeiger des Magnetes übereinstimmt.

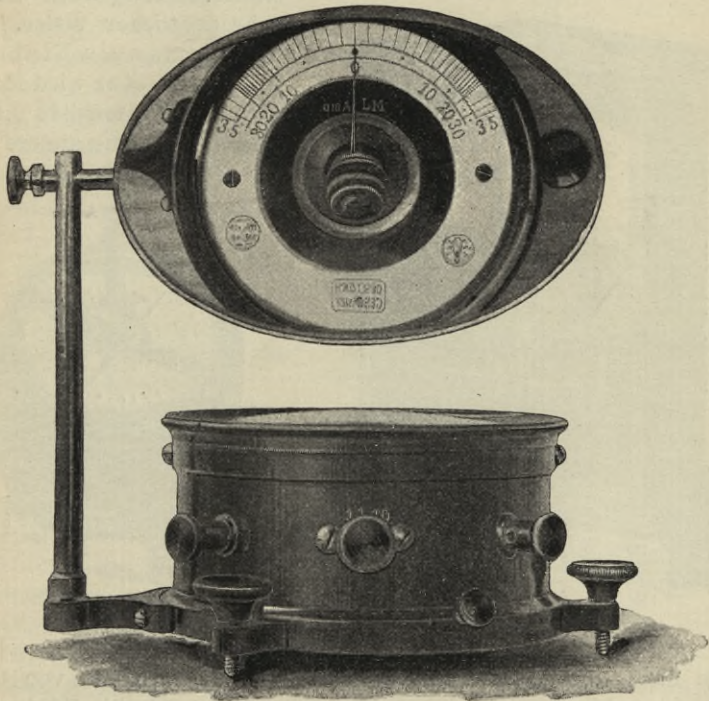


Fig. 73.

Um ein bequemes Ablesen zu ermöglichen, ist dem Apparate ein Spiegel beigegeben, in welchem bei einer Stellung des Spiegels um 45° zur Horizontalen das Spiegelbild der Skala vertikal erscheint.

Zu dem Zwecke sind die Skalenziffern in Spiegelschrift geschrieben; das Instrument hat einen Durchmesser von 10 *cm*.

Das Galvanometer wird für drei Messbereiche und zwar von 0.1 bis 5, 0.1 bis 15 und 1 bis 35 Milliampère hergestellt und hat

¹⁾ Ausführlich beschrieben in Biscan, Konstruktionen f. d. prakt. Elektrotechniker.

einen durch Anziehen einer Schraube einstellbaren Nebenschluss für das 10fache des Messbereiches.

Eine sehr bequeme und handliche Form hat das Galvanometer von Blänsdorf in Frankfurt a. M., bei welchem der Spiegel in dem Deckel des Instrumentes untergebracht ist. Fig. 74 zeigt einen Apparat derselben Firma, bei welchem die einziehende Wirkung eines Solenoides auf einen weichen Eisenkern zur Anwendung kommt.

Die Abbildung zeigt dies in sehr deutlicher Weise.

Edelmann's Einheitsgalvanometer wird für die Horizontalintensität 0.200 oder irgend eine andere ver-

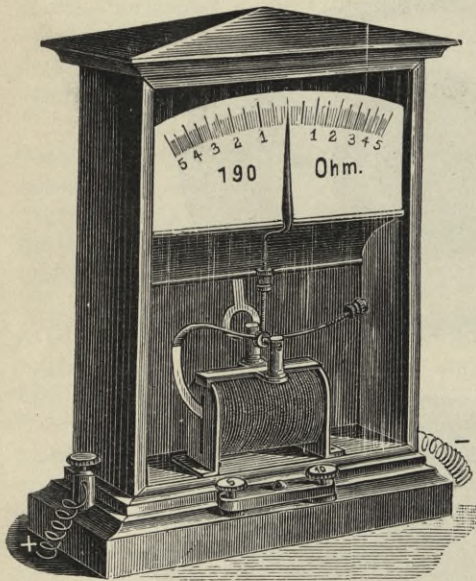


Fig. 74.

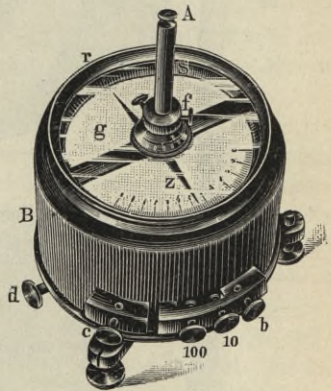


Fig. 75.

langte nach absolutem Masse geteilt. Es sind Ströme von 0 bis 0.012 A, 0 bis 0.12 A und 0 bis 1.2 Ampère (durch Zweigschaltungen) sowie Spannungen von 0 bis 12 Volt abzulesen. Das Instrument ist aperiodisch; es hat eine bruchsichere Fadensuspension. Hierzu werden Zusatzwiderstände geliefert, welche das Instrument zur Messung bis 120 Volt, beziehungsweise 12 Ampère geeignet machen. Fig. 75 giebt eine Abbildung des Instrumentes.

Beetz's Vorlesungsgalvanometer von Edelmann in München. Dieses Instrument, bestimmt für Ablesung aus grosser Entfernung — also speziell für Hörsäle geeignet — wird auch manchmal mit der entsprechenden Skala als Volt- oder Ampèremeter angewendet. Die Fig. 76 zeigt eine perspektivische Ansicht, Fig. 77 einen Schnitt durch dasselbe.

Wie aus letzterer Figur deutlich zu ersehen ist, besteht das Galvanometer aus einer Multiplikatorrolle, welche auf einen Glockenmagnet einwirkt; letzterer trägt einen langen Zeiger, der auf einer cylindrischen Teilung spielt.

In den Dreifuss mit Konus eingesetzt und durch die Stellschraube *a* fest zu stellen ist ein massiver Kupferkörper *D*, in dessen Höhlung der Glockenmagnet sich befindet. An dem Kupferkörper drehbar ist die Multiplikatorrolle angebracht; dieselbe lässt sich leicht entfernen, und es kann eine andere Rolle mit anderer Wicklung aufgeschoben werden. Dies geschieht einfach dadurch, dass nach Lösen der Schraube *a* und einer die Rolle haltenden Schraube das ganze Instrument aus dem Dreifusse sich heben und die Rolle abnehmen lässt.

Der Glockenmagnet hängt an einem Coconfaden, der durch eine Röhre geschützt ist, und ist mit einem Magnetstäbchen *ns* verbunden, um das Instrument astatisch zu machen. Das astasierende Stäbchen hat eine Verlängerung *z*, welche

als Zeiger an der auf der Trommel *M* angebrachten Skala spielt; die Teilstriche und Ziffern der Skala sind weiss auf schwarzem Grunde. Das Gehäuse *G* ist aus durchsichtigem Celluloid hergestellt.

Dieses Galvanometer, das sich zu Vorlesungszwecken vorzüglich eignet, wird in Hörsälen auf einer Wandkonsole aufgestellt, so dass es von allen Punkten des Saals gesehen werden kann.

Ebenfalls für Hörsäle, aber auch für Werkstätten und elektrische Anlagen, wo es oft an Platz zur Aufstellung eines Galvanometers mangelt, oder dasselbe nicht leicht von magnetischen Einflüssen frei aufstellbar ist, ist das Hängegalvanometer von Edelmann bestimmt. Die Fig. 78 giebt eine perspektivische Ansicht, Fig. 79 einen Schnitt durch das Instrument. Edelmann selbst benutzt dieses Instrument in seinen Werkstätten mit grossem Vorteil, der darin besteht, dass

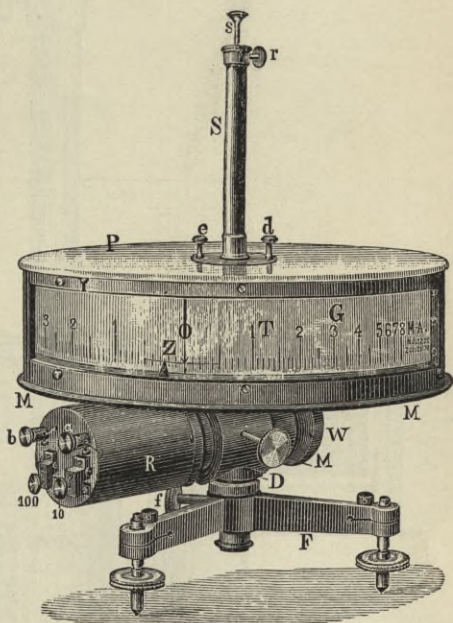


Fig. 76.

das Instrument ein- für allemal aufgehängt wird und so jederzeit gebrauchsfertig zur Verfügung steht.

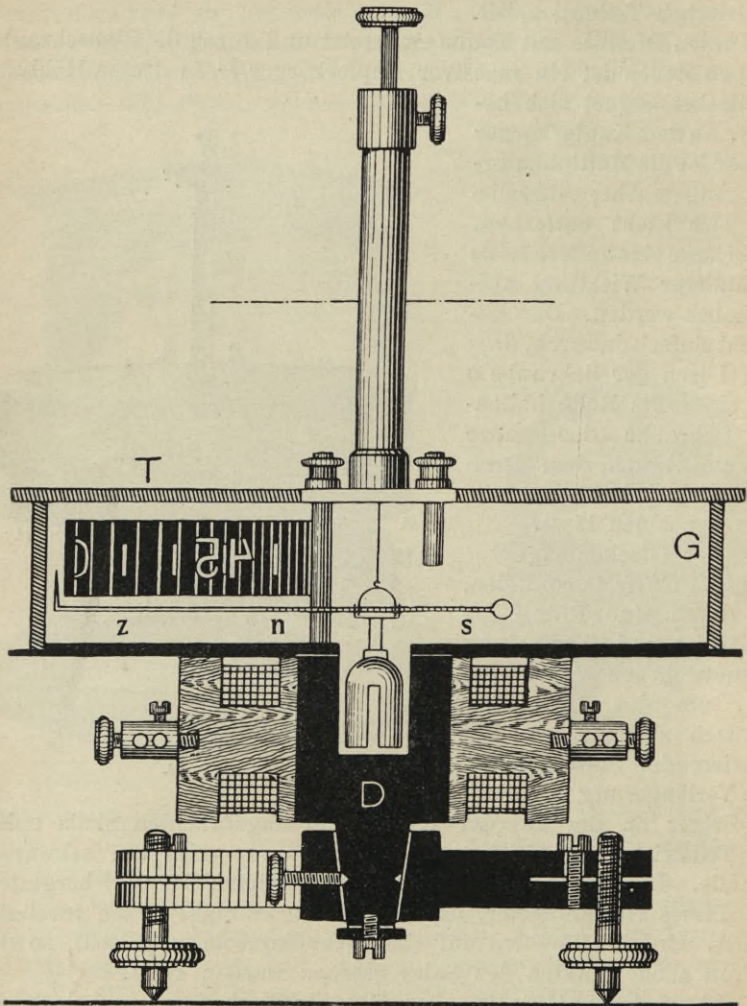


Fig. 77.

Das Instrument ¹⁾ besteht aus einer runden Dose von etwa 3 cm Höhe, welche nach unten durch eine Glasplatte abgeschlossen

¹⁾ Elektr. Zeitschrift 1890, S. 686.

ist; letztere gestattet den Zeiger zu beobachten, welcher auf einer groben Teilung spielt.

Die Dose hängt mittelst der 3 Stellschrauben, zur genauen Horizontalstellung, an 3 Drähten, welche an Messinghaken in der Decke befestigt sind, so zwar, dass die Drähte mit der Decke des

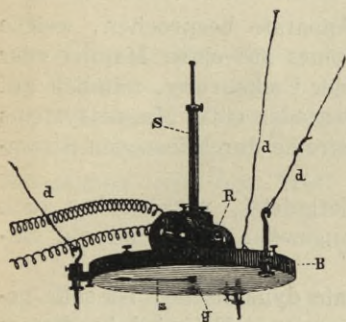


Fig. 78.

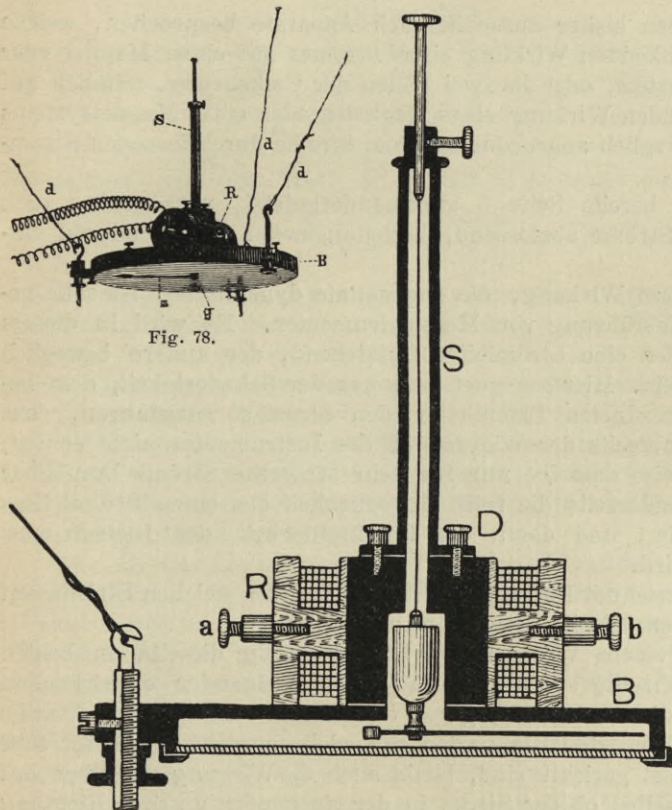


Fig. 79.

Zimmers einen Winkel von 45° einschliessen, wodurch ein Schwanken des Instrumentes verhindert wird.

Der nach der Zimmerdecke zu befindliche Boden der Dose trägt in seiner Mitte den Kupferdämpfer *D*, die Suspensionsröhre *S*, eine Galvanometerrolle *K* mit den Klemmschrauben *ab*. Im Inneren des Dämpfers schwingt ein Glockenmagnet.

In die Reihe der hier besprochenen Instrumente gehört auch das Universalgalvanometer von Siemens & Halske. Da dasselbe

jedoch gleichzeitig als Messbrücke dient, d. h. mit einer Hilfseinstellung versehen ist, wollen wir dieses viel benutzte und anwendbare Instrument an einer späteren Stelle kennen lernen.

V.

Wir haben bisher ausschliesslich Apparate besprochen, welche auf der ablenkenden Wirkung eines Stromes auf einen Magnet oder ein Magnetsystem, oder in zwei Fällen der Umkehrung, nämlich auf der abstossenden Wirkung eines Magnetes oder eines Magnetsystems auf einen beweglich angeordneten, vom Strome durchflossenen Stromleiter.

Wie wir bereits Seite 6 auseinandergesetzt, wirken aber auch Ströme auf Ströme abstossend, beziehungsweise anziehend auf einander ein.

Auch diese Wirkung, die sogenannte dynamische, ist sehr geeignet zur Ausführung von Messinstrumenten. Es wird in diesem Falle stets der eine Stromleiter feststehend, der andere beweglich angeordnet sein. Hier begegnet man nur der Schwierigkeit, dem beweglich angeordneten Stromleiter den Strom so zuzuführen, dass hierdurch einerseits der Widerstand des Instrumentes nicht erhöht, beziehungsweise dasselbe nur für sehr schwache Ströme brauchbar wird, und andererseits die freie Beweglichkeit des einen Stromleiters nicht behindert und damit die Empfindlichkeit des Instrumentes verringert wird.

Man bezeichnet Instrumente dieser Art, bei welchen Ströme auf Ströme wirken, als Elektrodynamometer.

Da bei einem Wechsel der Stromrichtung dieselbe in beiden Spulen gleichzeitig stattfindet und die auf einander einwirkenden Ströme aus diesem Grunde, gegen einander betrachtet, stets dieselbe Richtung haben, d. h. in beiden Stromleitern gleich gerichtet oder entgegengesetzt gerichtet sind, bleibt auch die Wirkung derselben auf einander dieselbe, ob der Strom in der einen oder anderen Richtung in das Instrument tritt; man kann daher die Elektrodynamometer auch zur Messung von Wechselströmen benutzen.

Zuerst hat Weber ein Elektrodynamometer konstruiert, um die Wechselwirkung von Kreisströmen experimentell zu untersuchen. Das Weber'sche Elektrodynamometer bestand aus einer festen Rolle, welche Weber die Multiplikatorrolle nannte, und einer auf zwei Platindrähten — also bifilar — aufgehängten Drahtspule, die von Weber als Bifilarrolle bezeichnet wurde. Durch die beiden Aufhängeindrähte wird der Spule der Strom zugeführt. Die beiden Spulen stehen mit ihren Windungen zu einander senkrecht. Die bewegliche Spule

trägt, parallel zu den Windungen, auf der einen Seite einen Spiegel, auf der gegenüberliegenden ein Gegengewicht.

Weber konnte mit diesem Instrumente folgenden Satz experimentell nachweisen:

Die der ablenkenden Kraft proportionale Tangente des Ablenkungswinkels ist dem Quadrate der Stromstärke proportional:

$$\operatorname{tg} \varphi = K J^2,$$

wobei K eine Konstante. Aus obiger Formel folgt durch Umstellung

$$J^2 = \frac{1}{K} \cdot \operatorname{tg} \alpha \text{ oder } J = \sqrt{\frac{1}{K}} \cdot \sqrt{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Bezeichnen wir den Wert $\sqrt{\frac{1}{K}}$ mit C so lautet die Formel

$$J = C \sqrt{\operatorname{tg} \varphi}.$$

Da die Beobachtung mit Fernrohr und Skala (Seite 33) erfolgt und die in Skalenteilen gegebene Ablenkung uns die Tangente des doppelten Ablenkungswinkels liefert, müsste man daher aus den direkt beobachteten Ablenkungen erst die Tangenten der einfachen Ablenkungswinkel berechnen; da die Ablenkungen aber überhaupt nur sehr klein sind, weichen die Tangenten der Ablenkungswinkel so wenig von den halben Tangenten der doppelten Ablenkungswinkel ab, dass man den direkt beobachteten Ablenkungen die Stromstärke proportional setzen kann.¹⁾

Das Elektrodynamometer nach Kohlrausch, von Hartmann & Braun, Frankfurt a. M. (Fig. 80), besteht aus einer festen, in zwei Abteilungen gewickelten Rolle und einer beweglich aufgehängten Rolle, deren Windungen zu jenen der festen Rolle senkrecht stehen. Die Windungen der fixen Rollen lassen sich einzeln, hinter einander und parallel schalten. Die Aufhängung der beweglichen Rolle ist eine unifilare, d. h. sie ist an einem einzigen Drahte aufgehängt; die bewegliche Rolle besteht aus einer Spule aus Elfenbein, auf welcher die Drahtwindungen angebracht sind. Die beiden Seitenteile sind durch 4 Querstücke verbunden. Das obere Querstück dient zur Befestigung des Drahtes; das untere trägt ein leicht abnehmbares Platinblech, Fig. 81. Auf den beiden in der horizontalen Ebene befindlichen Querstücken ist auf einer Seite der Spiegel, auf der anderen ein Gegengewicht für denselben angebracht; letzteres dient gleichzeitig als eine Hemmung.

Der Strom wird der beweglichen Spule durch den Platindraht, an welchem sie suspendiert ist, und durch die oben erwähnte Platin-

¹⁾ Wüllner, Experimentalphysik IV.

platte zugeführt; dieselbe taucht nämlich in verdünnte Schwefelsäure, welche sich in einem durch Bajonettverschluss an den Apparat anschliessbaren Glasgefässe befindet. Hierbei dient die Platinplatte gleichzeitig als Dämpfer. Diese eben besprochene Zuleitung des Stromes durch die verdünnte Schwefelsäure und Platinplatte wird bei Messung von Wechselströmen angewendet; für Gleichstrom bedient man sich einer feinen Platinspirale.

Das Instrument dient zur Messung schwacher Ströme; es kann die Empfindlichkeit durch Einlegen eines Bündels von weichen Eisendrähten in die Elfenbeinrolle erhöht werden.

Da der Erdmagnetismus auf eine Spule (Solenoid) ebenso wie auf einen Magnet wirkt,

$\frac{1}{4}$
n. Gr.

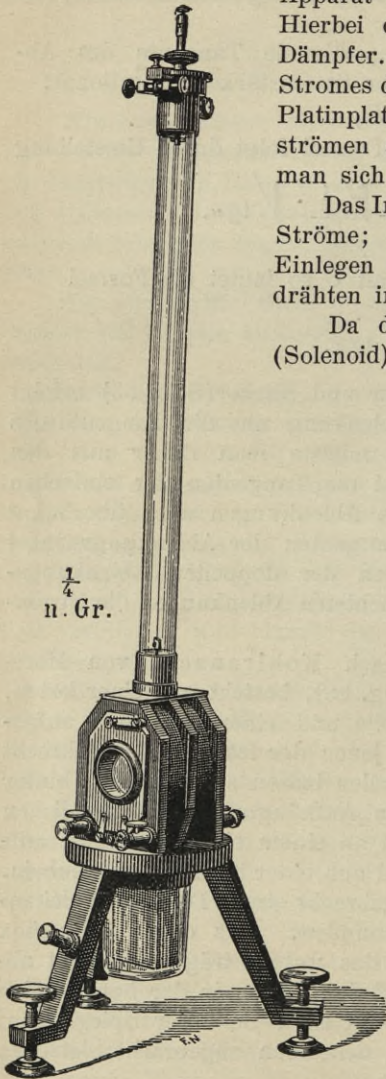


Fig. 80.

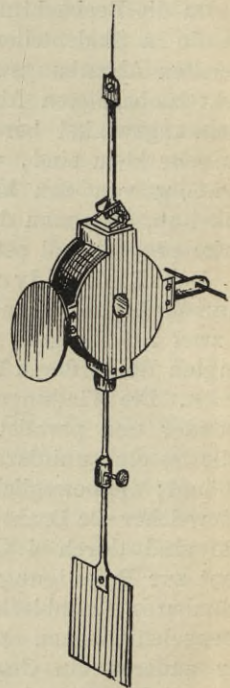


Fig. 81.

muss man das Instrument so stellen, dass die Axe der beweglichen Spule in den magnetischen Meridian fällt. 1 mm Ausschlag bei

1 m Skalenabstand, bei 120 Ohm Widerstand und eingelegtem Eisen-
drahtbündel entspricht 0.00007 Ampère.

Elektrodynamometer für schwache Ströme nach Frölich
von Siemens & Halske, Fig. 82. Dieses Instrument besteht aus
einer kugelförmigen beweglichen Rolle, welche unifilar aufgehängt
ist und zwischen zwei festen Rollen, deren Hohlräum ebenfalls kugel-
förmig gestaltet ist, sich befindet. Durch diese Anordnung ist der
Zwischenraum der beiden auf
einander einwirkenden Spulen
ein sehr geringer. Die Strom-
zuführung geschieht einerseits
durch den feinen Aufhänge-
draht aus Platin und anderseits durch
eine Spirale aus feinstem
Kupferdrahte nach unten.

An der beweglichen Rolle
sind zwei Flügel angebracht,
welche in ein mit Wasser ge-
fülltes Gefäss tauchen. Die
Höhe des Wasserstandes wird
durch ein Mariotte'sches Gefäss
konstant gehalten. Der Hohl-
raum der beweglichen Rolle
kann durch ein Eisenstäbchen
ausgefüllt werden. Der Apparat
ist durch ein cylindrisches Glas-
gefäss geschlossen, das ein
Planglas eingesetzt hat.

Das Instrument ist äusserst
empfindlich; man ist im Stande,
damit Telefonströme zu
messen.

Ein in diese Gruppe gehöriges Instrument, jedoch zur Messung
von starken Strömen ist das Torsions-Elektrodynamometer¹⁾,
auch als Stromdynamometer bezeichnet, von Siemens & Halske.
Dasselbe eignet sich sehr für Messungen des Praktikers. Diese In-
strumente werden in verschiedenen Grössen gebaut und zwar für 0.2 bis
2 Ampère, 0.5 bis 5, 5 bis 50 und 10 bis 100 Ampère. (Fig. 83.)

Auf einem Holzgestelle, und zwar auf dem vertikalen Brettchen
desselben, ist eine Spule befestigt. Dieselbe besteht aus zwei Ab-
teilungen, und zwar aus mehreren Lagen schwächeren Drahtes und

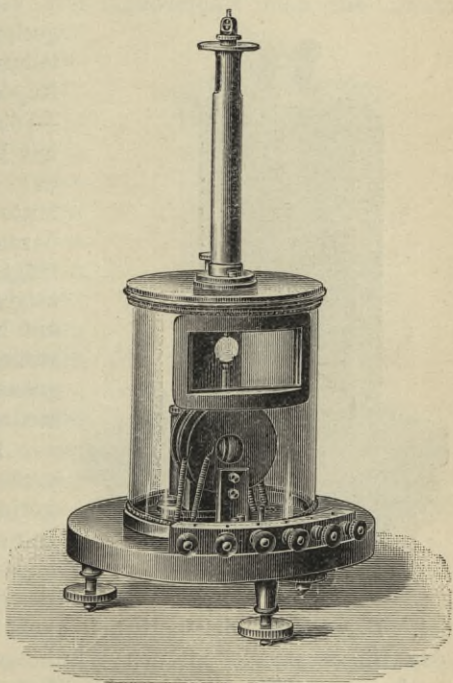


Fig. 82.

¹⁾ Konstruktion und Beschreibung in Biscan, Elekt. Vorlagen, I. Lief.

wenigen Lagen stärkeren Drahtes, deren Drahtstärke stets den zwei Messbereichen des betreffenden Instrumentes entspricht.

Senkrecht zu den Windungen dieser Spulen ist, aus einem blanken Kupferdraht hergestellt, ein Bügel an einem Coconfaden aufgehängt. Derselbe stellt nur eine Windung dar und wird mit einer der beiden festen Spulen hinter einander in den Stromkreis geschaltet. Die Stromzuführung findet durch Quecksilberkontakte statt. Mit dem Kupferbügel fest verbunden ist ein Zeiger, der,

geeignet gekrümmt, auf einer Kreisteilung spielt. Weiter ist mit dem Kupferbügel eine feine Spiralfeder — die Torsionsfeder — fix verbunden mit ihrem unteren Ende, während das obere Ende an einem in der Mitte der Skala befindlichen drehbaren Knopfe befestigt ist. Der Knopf trägt einen Zeiger. Beide Zeiger zeigen in der Ruhelage des Bügels auf Null. Ein am Gestelle des Instrumentes angebrachtes Lot mit Gegenspitze dient zur richtigen Aufstellung desselben.

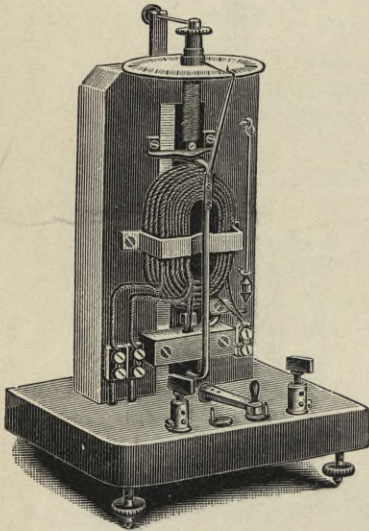


Fig. 83.

Der Einfluss des Erdmagnetismus auf dieses Instrument ist ein geringer, ganz zu vernachlässigender. Um eine Messung vorzunehmen, hat man zuerst dafür zu sorgen, dass der Bügel torsionslos auf Null gestellt

ist. Der Strom, der natürlich auch Wechselstrom sein kann, wird den Bügel parallel zu den Windungen der festen Spule zu drehen suchen; der Bügel wird einen Winkel mit der Ruhelage einnehmen. Nun dreht man am Knopfe und erteilt damit der Spiralfeder eine Torsion, welche der ablenkenden Kraft des Stromes entgegenwirkt. Man dreht so lange, bis der Bügelzeiger wieder in die Nullstellung kommt. Der erteilte Torsionswinkel ist dem Quadrate der Stromstärke proportional, so dass dieselbe gefunden wird aus der Formel:

$$J = C\sqrt{\varphi},$$

wenn φ den Torsionswinkel und C eine Konstante des Instrumentes bedeutet.¹⁾

¹⁾ Der Winkel φ wird durch π ausgedrückt; es ist ein Winkel von $360^\circ = 2\pi = 3.14159 \times 2$, ein Winkel von z. B. 210° wäre demnach $= 180^\circ + 30^\circ = \pi + 30 \cdot \frac{\pi}{180} = \pi \left(1 + \frac{3}{18}\right) = \pi \cdot 1.166 = 3.14 \cdot 1.166$.

Bei dem besprochenen Instrumente ist die Rechnung dadurch sehr vereinfacht, dass die Teilung der Kreisskala nicht in Graden gegeben ist, sondern derart, dass die Ablesung, multipliziert mit einer jedem Instrumente beigegebenen Konstanten, sofort die Grösse des Stromes in Ampère ergibt.

Das astatische Spannungsdynamometer von Siemens & Halske dient zur Messung von Spannungen bei Gleich- und Wechselstrom. (Fig. 84).

Das Instrument ist auf einem Sockel mit drei Fusschrauben aufgebaut und von einem cylindrischen Glasgehäuse umgeben. Es enthält zwei längliche, über einander liegende feste Spulen, die je eine der beweglichen Spulen umfassen und mit ihren Windungen senkrecht zu den ersteren stehen. Die beweglichen Spulen sind an einem Metallfaden aufgehängt und erhalten den Strom durch 2 oben und unten konzentrisch zur Drehungsaxe angebrachte

Spiralfedern, von denen die obere gleichzeitig als Torsionsfeder dient; die festen Spulen haben wie die beweglichen unter sich möglichst gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete magnetische Momente, um das Instrument gegen äussere Einflüsse unempfindlich zu machen.

Die das Glasgehäuse oben abschliessende Glasscheibe trägt die Torsionsvorrichtung und ist mit einer quadratischen Teilung von 0 bis 180 versehen. Die Teilstriche geben daher Zahlen an, die den Quadratwurzeln aus den Winkeln proportional sind. Hierdurch ist es ermöglicht worden, das Instrument für direkte Ablesung der Spannungen in Volt zu justieren.

Die 4 Spulen werden hinter einander vom Strome durchflossen; ihnen vorgeschaltet ist ein im Sockel untergebrachter Widerstand, der zur Verdoppelung der Empfindlichkeit durch einen Stöpsel kurz geschlossen werden kann.

Die Wicklung wird für folgende Messbereiche ausgeführt:

	gestöpselt:	ohne Stöpsel:
1)	von 30 bis 90 Volt	von 60 bis 180 Volt
2)	» 60 » 180 »	» 120 » 360 »

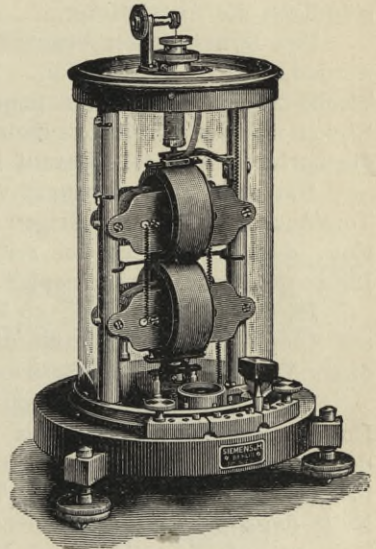


Fig. 84.

	gestöpselt:	ohne Stöpsel:
3)	von 90 bis 270 Volt	von 180 bis 540 Volt
4)	» 120 » 360 »	» 240 » 720 »

Für höhere Spannungen des Messbereiches wird dem Instrumente ein besonderer Widerstand vorgeschaltet.

Die Klemmen befinden sich vorn am Sockel, während auf dessen hinterer Seite eine Schraube angebracht ist, mit der das Instrument arretiert wird. Eine Dosenlibelle und ein Thermometer vervollständigen die Ausstattung.

Das Dynamometer braucht nicht in den Meridian eingestellt zu werden, weil es astatisch ist. Man stelle es daher auf einem festen Tische so auf, dass man bequem ablesen kann, und bringe den Sockel mit den Fusschrauben nach Angabe der Libelle genau in die horizontale Lage. Darauf löse man die Arretierung.

Hat man eine Messung vorzunehmen, so stellt man mit dem Torsionsknopf den zugehörigen Zeiger genau auf Null und überzeugt sich, dass dann auch der mit den beweglichen Spulen verbundene Index genau auf Null einspielt.

Ist dies nicht der Fall, so kann man durch Lösen einer Schraube am Knopfe und Verdrehung die Nullstellung erreichen, ohne dass dieser Vorgang einen Einfluss auf die Konstante des Instrumentes hat.

Um Spannungsmessungen vorzunehmen, verbindet man nach Entfernung des Stöpsels das Instrument mit denjenigen Punkten der Leitung, deren Spannungsdifferenz gemessen werden soll, und bringt durch Erteilung von Torsion den Spulenzeiger genau auf Null; dann giebt der Torsionszeiger die Spannungsdifferenz direkt in Volt an. Ist die Ablesung kleiner als 90 Grad, so kann man stöpseln und erhält grössere Torsionswinkel; man hat dann je nach der Wicklung mit $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$ oder 2 zu multiplizieren, um die Angaben in Volt zu erhalten.

Bei Wechselstrom ist das Verfahren dasselbe, doch hat man die Ablesungen noch mit einem Korrektionsfaktor zu multiplizieren, der aus einer dem Instrumente beigegebenen Tafel zu entnehmen ist.

Dieser Faktor hat die Grösse:

$$C = \sqrt{1 + \left(\frac{2 n \pi L}{R}\right)^2}$$

wobei n die Zahl der Wechsel per Sekunde,

L der Selbstinduktionskoeffizient,

R der Widerstand des Instrumentes ist.

Es ist von Vorteil, das Instrument nicht länger, als zu einer Messung unumgänglich notwendig ist, eingeschaltet zu lassen, da

im Gegenfalle die Angaben durch die Erwärmung der Drähte fehlerhaft werden können.

Edelmann's Federdynamometer sehen wir in Fig. 85 abgebildet. Es wird in beliebigen Bewicklungen, je nach dem verlangten Messbereiche, hergestellt. Der ganze Apparat ist durch einen Schutzcylinder aus Messing abgeschlossen, wie es die punktierten Linien andeuten.

M. Bellati¹⁾ hat zur Konstruktion eines höchst empfindlichen Elektrodynamometers das folgende Prinzip zu Grunde gelegt:

Die Nadel eines Galvanometers wird durch ein horizontales Stück weiches Eisen oder durch ein Bündel von dünnen, gut ausgeglühten Drähten aus weichem Eisen ersetzt, welches in der Ruhelage senkrecht zum magnetischen Meridian schwebt. Bilden die Windungen des Multiplikators mit dem Meridian einen Winkel von 45° , so magnetisiert sich der Draht durch den Strom und sucht sich senkrecht gegen die Windungsebene zu stellen, gleichviel, welche Richtung der Strom hat. —

Ein Instrument von hoher Empfindlichkeit, das gestattet, telephonische Ströme wahrzunehmen und zu messen, ist das Elektrodynamometer von P. J. Kipp & Zonen in Delft, das nach dem oben beschriebenen Prinzip von Bellati konstruiert ist. Dasselbe ist in Fig. 86 abgebildet.

Der Apparat besteht ganz aus Metall und Glas. Die den Coconfaden tragende Glasröhre ist mit einem Torsionsknopfe und Teilung versehen. Der Windungsrahmen trägt an der oberen Seite eine versilberte Metallplatte, welche eine Teilung von 5 zu 5 Grad enthält; ein Aluminiumzeiger spielt über dieser Teilung.

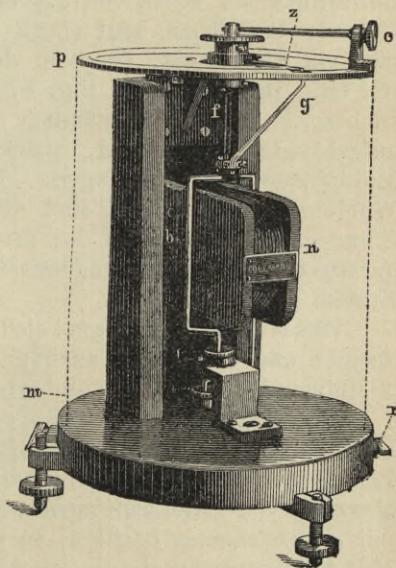


Fig. 85.

¹⁾ Atti del R. Ist. Ven. I. pag. 1—5 1883.

An der Unterseite befindet sich ein abschraubbares Gefäß für Flüssigkeitsdämpfung.

Das Instrument wird so aufgestellt, dass die Ebene einen Winkel von 45° mit dem magnetischen Meridian und der Eisencylinder einen Winkel von 45° mit der Windungsebene bildet, also senkrecht zum magnetischen Meridian steht.

Der Multiplikator draht ist in zwei Abteilungen gewickelt, welche neben oder hinter einander geschaltet werden können und hierbei im ersten Falle 125, im zweiten Falle 500 Ohm Widerstand ergeben.

Das Instrument ist für Fernrohrablesung mit einem Planspiegel und für objektive Darstellung mit einem Hohlspiegel von 1 *cm* Durchmesser und 50 *cm* Brennweite versehen.

Dies Instrument eignet sich besonders zur Messung telephonischer Ströme; so ergab z. B. bei Einschaltung eines Siemens'schen Telefons bei leisem Sprechen in dasselbe das Instrument bei einer Entfernung der Skala von 3.6 *m* einen Ausschlag von 180 *mm*.

Dieselbe Firma baut (nach Hoorweg¹) nach denselben Prinzipien ein Instrument, das von den Einflüssen des Erdmagnetismus frei ist. Dasselbe ist in Fig. 87 dargestellt und als ein astatisches zu bezeichnen. Es hat nämlich zwei genau parallel gestellte, bifilar aufgehängte Eisenbündel, welche je eins in einer gesonderten Multiplikatorspule schwingen. Die letzteren haben ganz gleiche Windungszahlen, jedoch sind die Windungen im entgegengesetzten Sinne gewickelt, so dass der Strom die beiden Eisenbündel im entgegengesetzten Sinne magnetisiert. Hierdurch ist ein astatisches System gebildet.

Dieses Instrument eignet sich vorzüglich für elektrotherapeutische Zwecke und ist deshalb auch mit einer Skala versehen, welche bis 1 Milliampère geteilt ist und auf welcher ein langer Zeiger spielt.

Das Instrument hat einen aus 4 Sektoren bestehenden Stöpselkommutator; werden die beiden Stöpsel in die mit *B* bezeichneten Löcher eingesteckt, so sind die Drahtspulen astatisch, also zur Messung von Batterieströmen geeignet; stecken die Stöpsel in den mit *J* bezeichneten Löchern, so sind die Windungen nicht astatisch, also für Induktionsströme geschaltet.

Das Instrument enthält, innerhalb des Glasgehäuses angebracht, einen bifilar gewickelten Nebenschluss, der durch Niederdrehen einer Schraube eingeschaltet wird und $\frac{1}{9}$ des Widerstandes der Windungsrahmen beträgt. Die Angaben des Zeigers sind dann mit 10 zu multiplizieren; diese Einrichtung gehört jedoch nur für Batterieströme.

¹) J. L. Hoorweg: D. med., Elektrotechnik etc.

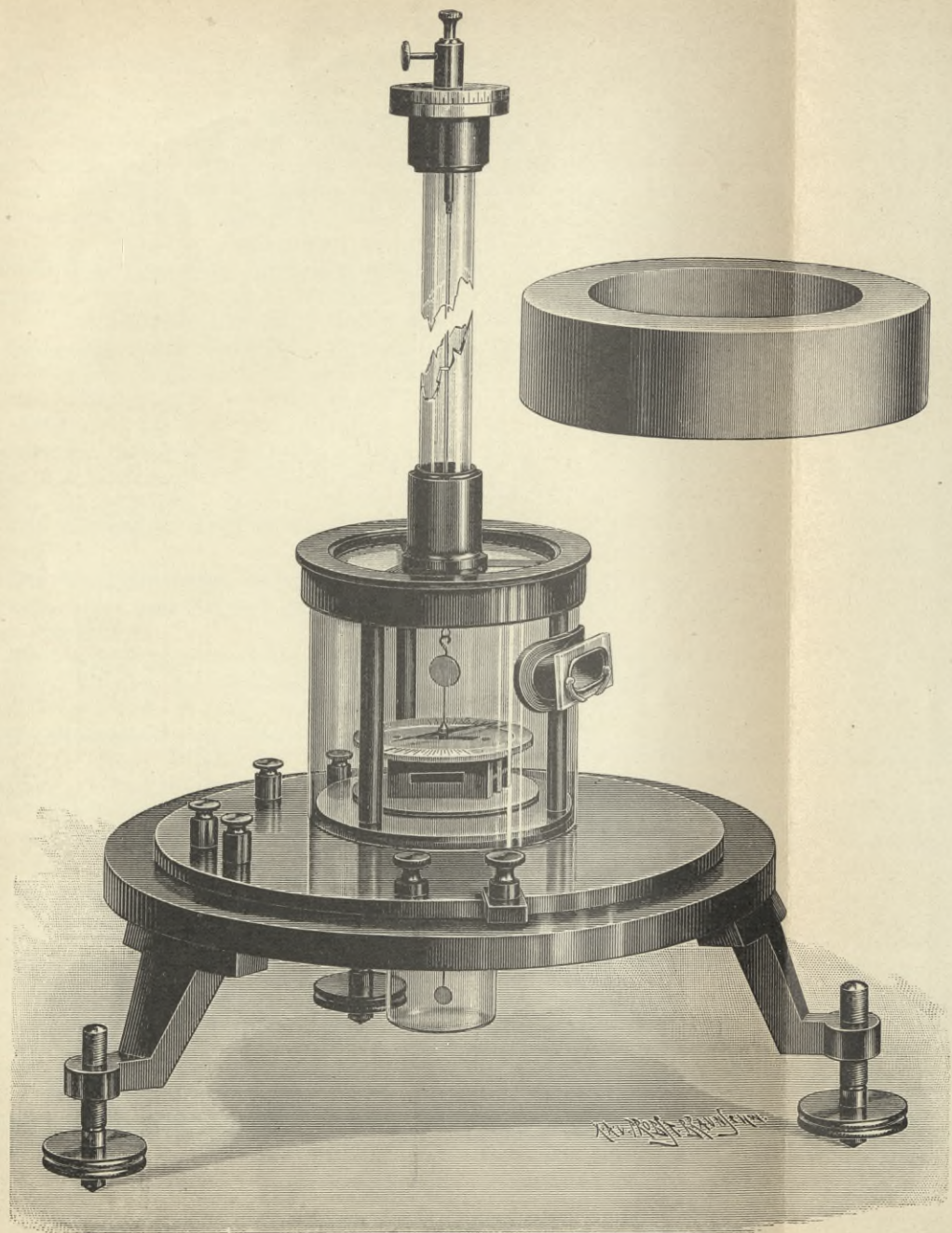


Fig. 86.

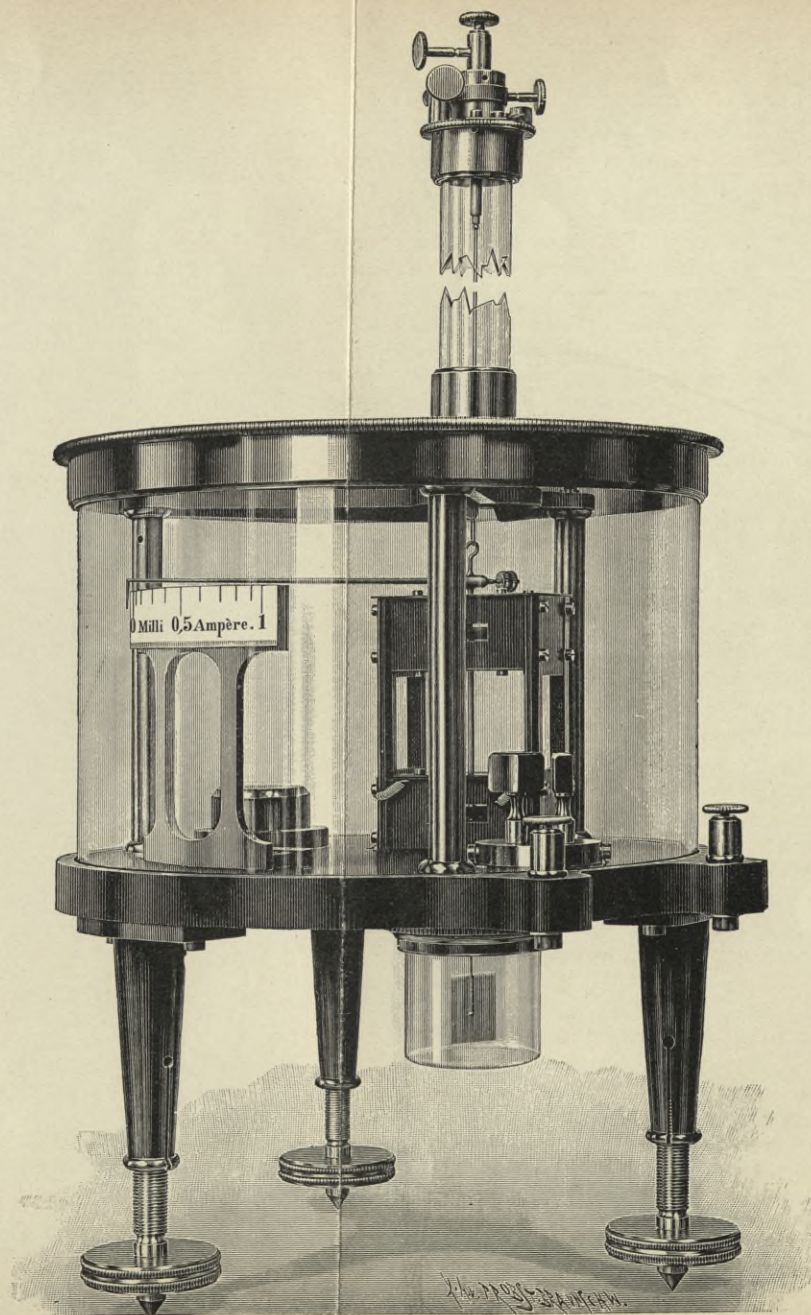


Fig. 87.

Die Konstruktion der eben beschriebenen Apparate ermöglicht es, dieselben auch als Wattmeter oder Arbeitsdynamometer zu verwenden. Man versteht darunter Instrumente, welche die Stromarbeit, ausgedrückt durch das Produkt von Volt und Ampère, also durch Voltampère = Watt, messen. Schaltet man die eine Spule, und zwar praktisch die bewegliche (Spannungsspule), dem Stromkreise parallel, die andere, und zwar die feste Spule, in den Stromkreis (hinter einander, Stromspule), so ist der Torsionswinkel proportional dem Produkte aus Stromstärke und Spannung, also proportional der im äusseren Stromkreise verbrauchten Energie.

Die Arbeitsdynamometer der Firma Siemens & Halske für Gleichstrom und einphasigen Wechselstrom enthalten zur Vergrösserung des Messbereiches zwei feststehende Spulen von verschiedener Drahtstärke und Windungszahl für den Hauptstrom und eine bewegliche für den zum Hauptstrom parallel zu schaltenden Nebenstrom. Die Einstellung wird erleichtert durch eine Dämpfung, welche aus zwei mit der beweglichen Spule verbundenen Flügeln besteht, die in Nöpfe, welche mit Flüssigkeit gefüllt sind, tauchen.

Das Instrument wird auch zur Messung von Drehstrom eingerichtet.

Das Wattmeter der Firma Ganz & Co., Budapest, von Ziperowsky, Déri und Blàthy ist speciell zur Messung von Wechselstrom konstruiert.

Bei einem Wattmeter ist es eine Hauptbedingung, dass der Teil desselben, welcher den Hauptstrom aufnimmt, einen möglichst geringen Widerstand, derjenige für den Nebenstrom jedoch einen sehr grossen Widerstand hat; dabei soll aber die Spule für den Nebenstrom nur wenig Windungen haben, um eine zu grosse Selbstinduktion zu vermeiden. Dies hat nun Blàthy dadurch erreicht, dass er den Widerstand der Nebenschliessung teilt: die bewegliche Rolle hat nur wenig Windungen, während der grösste Teil des Widerstandes in einer bifilar gewickelten Rolle, welche sich am Apparate befindet, untergebracht ist.

Durch diesen Umstand ist eine äusserst geringe Selbstinduktion bei grosser Beweglichkeit der Spule erreicht.

Das Instrument ist in Fig. 88 abgebildet; es besteht aus einer feststehenden Rolle, die aus zweierlei Draht, und zwar aus wenigen Windungen starken Drahtes und mehreren Windungen eines schwächeren Drahtes, besteht, und der vorhin erwähnten beweglich aufgehängten Spule.

Die Enden der feststehenden Spulen sind mit 3 Klemmen verbunden, so dass man mittelst der Stöpsel folgende Schaltungen vornehmen kann:

- 1) die Spule *A* allein in den Hauptstromkreis,
- 2) der Hauptstrom geht hinter einander durch beide Windungen,
- 3) die beiden festen Spulen können aus dem Stromkreis geschaltet werden. —

Nipkow¹⁾ hat speciell zur Messung von Wechselströmen ein Dynamometer konstruiert, bei welchem auf einfache Weise der Übelstand beseitigt ist, der durch die Zuführung des elektrischen Stromes in die bewegliche Spule durch Quecksilberkontakte oder feine Drähte entsteht.

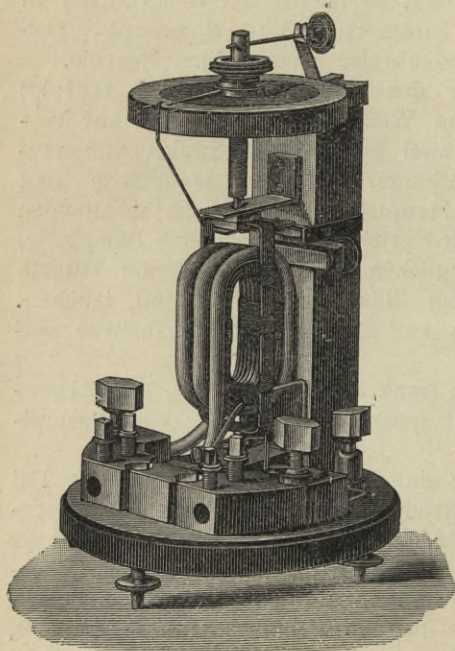


Fig. 88.

Dies geschieht in der Weise, dass nur die feststehende Spule in den Stromkreis geschaltet wird, während die bewegliche eine für sich geschlossene Drahtleitung vorstellt, in welcher Ströme zweiter Ordnung induziert werden.

An dieser Stelle sei auch eines Apparates gedacht, welcher sich wesentlich von den bisher beschriebenen unterscheidet; es ist dies das absolute Elektrodynamometer von M. A. Berget, nach dem Prinzip von Pellat gebaut von Ducretet & Lejeune, Paris, im Jahre 1891 für »le laboratoire des recherches physiques de la Sorbonne«.

Der Apparat besteht aus einer (bis 2 m) langen Spule *B*, Fig. 89, welche längs eines Schienenweges aus Holz mittelst Rollen in ihrer Längsrichtung verschiebbar ist. Am Ende des Schienenweges ist ein rundes Holzstück so befestigt, dass dasselbe in den Hohlraum der Spule *B* passt, dieselbe sich also über das Holzstück schieben lässt. Dieses Holzstück *A* trägt an dem der Spule *B* zugekehrten Ende eine Spule *T*, deren Windungen horizontal laufen, also senkrecht zu jenen der Spule *B* stehen.

¹⁾ El. Zeitschrift 1889, S. 28.

Diese Spule, deren Ansicht und Inneres die Abbildung Fig. 90 zeigt, ist derart auf Schneiden gelagert, dass sie sich gegen ihre

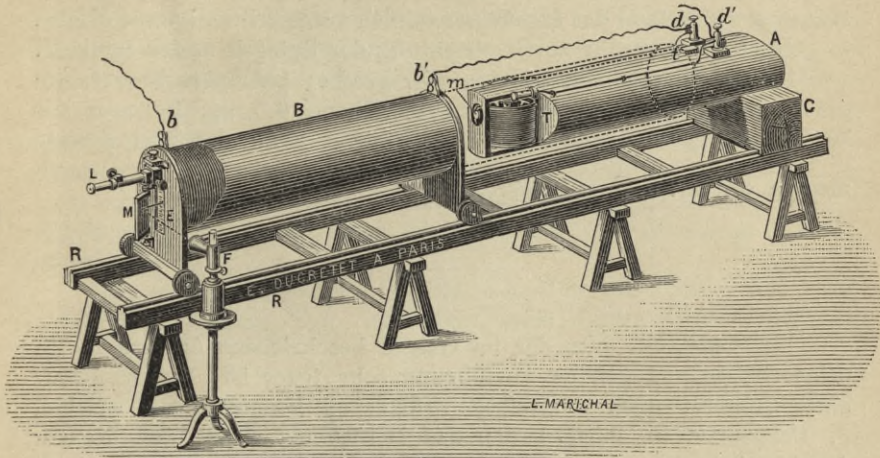


Fig. 89.

Axe neigen kann. Ein Wagebalken ll ist mit dem Gestell der Spule fest verbunden. Am Mantel der Spule ist ein Spiegel m befestigt.

Der Strom durchfließt die Windungen der Spulen B und T hinter einander; dd' sind die Zuführungsklemmen. Durchfließt ein Strom beide Spulen, so wird sich die Spule T um die Schneiden drehen, eine Neigung annehmen, indem sich die gekreuzten Windungen parallel zu stellen suchen.

Um die Spule T in die ursprüngliche Lage zu bringen, hat man Gewichte aufzulegen, deren Grösse von der Stromstärke abhängen wird. Seien p diese Gewichte, so lautet die Formel für die Stromstärke

$$J = \sqrt{p} \cdot \frac{\sqrt{l}}{\pi d \sqrt{N} \cdot n}$$

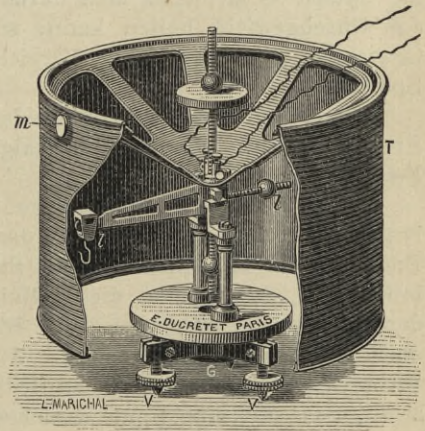


Fig. 90.

Hierbei bedeuten: l die Länge des Wagebalkens ll , welcher das Gewicht p trägt. d der Durchmesser einer Drahtlage der Spule T ,

N die Zahl der Lagen auf dieser Spule, n die Zahl der Lagen, in der Einheit der Länge, der grossen Spule B .

Bei E befindet sich eine Skala aus Milchglas, auf welche mit Hilfe des Spiegels m das Licht einer seitlich aufgestellten Lampe F fällt.

L ist ein Fernrohr zur Beobachtung des Spiegels m der Spule T .

Die Empfindlichkeit ist eine sehr grosse; 1 Ampère bedarf, um die Nullstellung der Spule T zu bewirken, 6.5 g. Da nun die Wage auf $\frac{1}{10}$ Milligramm empfindlich ist, so kann man noch Ströme

messen von ca. $\frac{1}{65000}$ Ampère.

Der Umstand, dass der im Obigen beschriebene Apparat durch seine Grösse und genaue Ausführung sehr teuer ist, bewog Pellat, einen Apparat nach demselben Prinzip zu konstruieren, welchen J. Carpentier in Paris baut; das Instrument führt den Namen Ampère-Etalon und ist bedeutend kleiner und handlicher gebaut als das oben beschriebene; es eignet sich besonders für Aichungen technischer Instrumente.

Hat man zwei parallele kreisförmige Stromleiter, in welchen die Ströme parallel nach derselben Richtung gehen, so üben die beiden eine anziehende Wirkung auf einander aus. Ordnet man die Spulen so an, dass man durch Gewichte der anziehenden Kraft das Gleichgewicht halten kann, so hat man in den notwendigen Gewichten ein Mass zur Vergleichung von Stromstärken oder Spannungen.

Die auf diesen Prinzipien beruhenden Apparate nennt man Stromwagen. Wir wollen einige der bekanntesten hiervon im Folgenden beschreiben.

Elektrische Normalwage von Sir William Thomson¹⁾ besteht aus einem horizontalen, drehbaren Arme, an dessen beiden Enden je ein beweglicher, vom Strome durchflossener Ring angebracht ist. Auf jeden dieser Ringe wirken 2 benachbarte Ringe derart, dass der eine bewegliche Ring nach unten, der andere nach oben zu ziehen gesucht wird. Zu diesem Zwecke durchläuft der Strom die festen Spulen jeder Seite im entgegengesetzten Sinne, so zwar, dass die eine Spule anziehend, die andere abstossend wirkt. Um die Einwirkung des Erdmagnetismus und lokalmagnetischer Kräfte zu beheben, sind die beiden beweglichen Spulen ebenfalls,

¹⁾ El. Zeitschrift 1887, S. 429. Centralblatt f. Elekt. Band 10, S. 468.

gegen einander betrachtet, entgegengesetzt gewickelt. Fig. 91 zeigt die Anordnung der Stromwage im Schema.

Die Grösse der Ringe ist verschieden, je nach dem Messbereiche des Instrumentes; so sind die festen Ringe bei den Wagen, welche zur Messung von Stromstärken von 5 bis 1000 Ampère dienen, im äusseren Durchmesser kleiner als der innere Durchmesser des beweglichen Ringes, während dieses Verhältnis der Durchmesser der Spulen bei Wagen von 0.005 bis 10 Ampère umgekehrt gewählt ist. Hierdurch und durch die Verhältnisse der Wicklungen ist erreicht, dass die auf den beweglichen Ring ausgeübten Kräfte innerhalb einer Entfernung von $\frac{1}{2}$ cm nach beiden Seiten der Mittellage nahezu konstant sind.

Sollen die Wagen zum Messen von Wechselströmen von 5 bis 1000 Ampère dienen, so wird der Strom durch Kabel zugeführt,

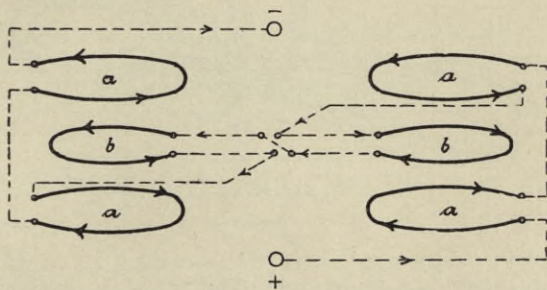


Fig. 91.

deren einzelne Drähte von einander isoliert sind, um die Induktionswirkung zu verhindern, welche infolge der Änderung der Stromverteilung im Querschnitt des Leiters entsteht.

Das Messen des Stromes (Wiegen) geschieht nun in folgender Weise: An der Wage ist ein horizontaler Arm befestigt, der mit einer Gradeinteilung versehen ist.

Am Arme ist ein Laufgewicht angebracht, das durch ein Gegengewicht kompensiert wird. Das Laufgewicht wird so weit verschoben, bis der Zeiger auf Null zeigt; man hat dann nur an der Skala die Stromstärke abzulesen.

Interessant ist es, wie bei diesen Wagen die Stromzuführung mit Vermeidung von Quecksilberkontakten durchgeführt ist. Die Fig. 92 zeigt dies sehr deutlich; C und C sind die beweglichen Spulen. An den Verbindungsstücken der beiden sind nun Ansätze $+ B$ und $- B$ angebracht, welche durch eine ganze Reihe — ein Band bildende — Kupferdrähte mit den Stücken $+ A$ und $- A$

verbunden sind, die ihrerseits durch festes Aufliegen hinreichenden Kontakt haben. So können die Spulen frei schwingen, und der Strom findet einen Übergang, der keinen wesentlichen Widerstand bildet.

Die Wagen werden für verschiedene Stromstärken resp. Messbereiche hergestellt.

Zur direkten Bestimmung von Spannungen dient der »Wage-Voltmeter«; dieses Instrument hat nur einen festen und einen beweglichen Ring, welcher letzterer an dem kürzeren Arme eines Wagebalkens befestigt ist und durch ein Gewicht am längeren Arme im Gleichgewichte gehalten wird. Der Zeiger spielt längs einer Einteilung. —

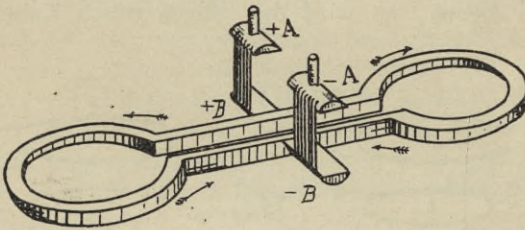


Fig. 92.

Die elektrodynamische Stromwage von Guinand¹⁾ besteht aus einem Wagebalken von ungleich langen Armen, an dessen kürzerem Arme eine Spirale *A*, von Kupferband in horizontaler Lage an drei Messingketten aufgehängt ist. Der längere Arm besteht aus zwei mit Skalen versehenen rechteckigen Stangen, deren stärkere mit einem grösseren, die schwächere mit einem geringeren Laufgewicht versehen ist. Das grössere Gewicht dient zur Auswägung der Spule *A*. Unter der Spule *A* befindet sich eine feste Spule *B*. Die Stromzuführung findet durch Stifte statt, welche in Quecksilbernäpfe tauchen.

Durchfließt ein Strom beide Spiralen, so ziehen sich dieselben an. Das kleinere Gewicht wird nun so lange verschoben, bis eine Trennung der Spiralen erfolgt. Aus dem hierzu verwendeten Gewichte, das sich durch eine Einteilung bis auf Zehntelgramm bestimmen lässt, kann man die Stromstärke berechnen. Auf der Bodenplatte des Instrumentes sind Schaltvorrichtungen angebracht, welche es ermöglichen, die Spiralen parallel oder hinter einander zu

¹⁾ El. Zeitschrift 1887, S. 282.

schalten, die Stromrichtung zu ändern und den Strom zu unterbrechen.

Bei sehr grossen Stromstärken, bei welchen zur Trennung der Spiralen das kleine Gewicht nicht mehr ausreicht, bringt man durch Verschieben des grösseren Laufgewichtes nahezu den Gleichgewichtszustand hervor, und dann erst wird das kleine Gewicht bis zum Abreissen verschoben.

Guinand giebt an der genannten Stelle die Berechnungen für die Dimensionierung der Spiralen.

Mit Spiralen zu 12 Windungen eines Kupferbandes von 0.8 *mm* Dicke und 13.75 *mm* Breite kann man Ströme von 10 bis 120 Ampère messen und mit Spiralen von 3.1 *mm* Dicke und derselben Breite Ströme von 30 bis 500 Ampère.

Für schwache Ströme sowie für Spannungsmessungen müssen natürlich Spulen von vielen Windungen entsprechend schwachen Drahtes verwendet werden.

Die Messung mit Hilfe dieser Wage ist eine sehr einfache und gestattet eine grosse Genauigkeit; die Empfindlichkeit steigt mit der Stromstärke, d. h. sie ist bei stärkeren Strömen eine höhere als bei schwachen.

VI.

Zur Messung von Potentialdifferenzen dienen Instrumente höchster Empfindlichkeit, welche man als Elektrometer bezeichnet.

Denken wir uns Fig. 93 eine metallische kreisrunde Scheibe, durch zwei diametrale, zu einander senkrechte Schnitte in 4 Quadranten geteilt und von einander isoliert. Je zwei gegenüberliegende Quadranten sind durch Drähte mit einander leitend verbunden. Darüber sei auf einem feinen Drahte ein Metallflügel von der in der Zeichnung ersichtlichen Form so aufgehängt, dass er in der Mitte der Quadranten über denselben schwingen kann.

Elektrisiert man diesen Flügel, z. B. durch den Funken eines Elektrophors oder einer Leydener Flasche, in einer zu den Quadranten symmetrischen Stellung, so wird keinerlei Wirkung zu sehen sein. Wird jedoch einer der Quadranten und damit der entgegengesetzte irgendwie mit Elektrizität geladen, so findet eine Anziehung oder Abstossung des Flügels, der »Nadel«, statt.

Die Ladung kann und wird auch meist mit einer Batterie von hoher elektromotorischer Kraft (150 bis 200 Volt), deren einer Pol mit der Erde leitend verbunden ist, erfolgen.

Werden zwei neben einander liegenden Quadranten Ladungen erteilt, so dass dieselben gleiche Potentiale erlangen, so wird der Plügel in Ruhe bleiben; sobald aber eine Differenz der Potentiale eintritt, wird eine Bewegung der Nadel erfolgen und zwar nach jenen Quadranten zu, welche sich in ihrem Potentiale mehr von dem der Nadel unterscheiden.

Wenn das eine Quadrantenpaar mit dem einen Pole eines offenen Elementes, das andere Paar mit dem anderen Pole, verbunden wird und hierbei die Nadel auf einem konstanten Potential erhalten wird, so ist die Wirkung auf die Nadel die an den Polen des offenen Elementes herrschende Potentialdifferenz, also dessen elektromotorische Kraft.

Verbindet man die Nadel und das eine Quadrantenpaar unter einander und mit dem einen Pole eines offenen Elementes, während das andere Paar mit dem anderen Pole verbunden wird, so ist die Wirkung auf die Nadel dem Quadrate der elektromotorischen Kraft des Elementes proportional.

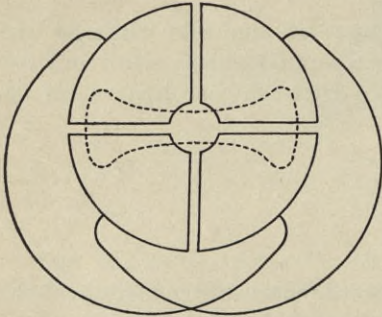


Fig. 93.

Das Quadranten-Elektrometer von Sir W. Thomson besteht im wesentlichen aus zweimal 4 Quadranten, zwischen welchen die Nadel, ein biscuitförmig geschnittenes Aluminiumblech, schwingt.

Die Nadel hängt an einem sehr feinen Platindraht, der am oberen Ende ein kleines Querstück trägt; letzteres ist an zwei Coconfäden suspendiert, wodurch eine äusserst genaue Einstellung der Nadel mit Hilfe von 2 Schrauben ermöglicht ist. Im Mittelpunkt der Nadel ist ein nach abwärts gehender Platindraht angebracht, der mit einem kleinen Gewichte versehen ist, das in konzentrierte Schwefelsäure taucht. Letztere befindet sich in einem mit Stanniol überzogenen Glasgefäss, und somit bildet das Ganze eine Leydener Flasche, deren innere Belegung die Schwefelsäure ist. Hierdurch ist es einfach ermöglicht, der Nadel eine Ladung zu erteilen, während die Schwefelsäure gleichzeitig die Feuchtigkeit im Inneren des Apparates aufnimmt.

Die Ablesung erfolgt mit Spiegel, Fernrohr und Skala. —

Edelmann hat ein Elektrometer konstruiert, welches sich durch Vereinfachung des Thomson'schen bei höchster Empfindlichkeit auszeichnet.

Der eigentümlichen Form der Quadranten und der Nadel wegen wird es als Cylinderquadranten-Elektrometer bezeichnet.

Die 4 Quadranten bilden mit ihren Hartgummiisolierungen eine längliche Röhre, die auf das genaueste in Cylinderform geschliffen ist. Dieser Form entsprechend, besteht die Nadel aus zwei durch ein Querstück verbundenen cylindrischen Stücken.

Das Instrument¹⁾ ist äusserst empfindlich; wenn man die Nadel mit einer Batterie von 200 Volt ladet, so ergiebt 1 Volt Spannungsdifferenz bei einer Entfernung von 2.5 *m* der Skala vom Spiegel einen Ausschlag von 10 *cm*. —

Zum Laden der Nadel des Elektrometers bedient man sich auch der Zamboni'schen Säule; dieselbe funktioniert jedoch nicht immer in gleicher Weise und zeigt oft plötzliche Veränderungen.

Man wendet meist die von Hankel angegebene Wasserbatterie oder die v. Beetz'sche trockene Daniell-Batterie an. Erstere besteht aus geraden, unten geschlossenen Glasröhren — ähnlich wie die Eprovettengläschen —, in welche Zink- und Kupferstreifen tauchen; die Gläser werden nur mit Brunnenwasser gefüllt.

Die v. Beetz'sche Batterie besteht aus Glasröhren, welche je zur Hälfte mit Gips angefüllt sind, welcher mit Kupfervitriol, bezw. Zinkvitriol angerührt wurde. Im Gips befinden sich Kupfer-, bezw. Zinkstreifen. Die Enden der Glasröhren sind durch Paraffin geschlossen.

VII.

Um irgend eine Grösse zu messen, bedarf es einer Einheit, um die erstere ausdrücken zu können, d. h. wir vergleichen die fragliche Grösse mit der Einheit. Das Ohm'sche Gesetz $J = \frac{E}{W}$ enthält die Beziehung der drei zu messenden Grössen; sind zwei davon gegeben, so kann man die dritte leicht daraus berechnen. Der Fall der Berechnung ist nun der häufigere, da eine einfache Vergleichung mit Einheiten meist nicht gut durchführbar ist.

Die Stromstärke lässt sich, wie wir im III. Abschnitte gesehen haben, mit grosser Genauigkeit bestimmen, sobald nur das elektrochemische Äquivalent des betreffenden Elektrolyts bekannt ist.

Schwierig ist es aber, eine brauchbare sichere Vergleichseinheit, einen Etalon für die Spannung, herzustellen. Man ist hier auf die galvanischen Elemente angewiesen, deren elektromotorische Kraft im grossen Ganzen als konstant angenommen werden kann.

¹⁾ Centralblatt f. Elektrotechnik 5. 1883, S. 610.

Für genaue Vergleiche aber ist die Konstanz der elektromotorischen Kraft der gewöhnlichen Elemente eine unzureichende; sie ändert sich — allerdings um geringes — je nach der Konzentration der Flüssigkeit, der Temperatur und der Reinheit der verwendeten Metalle.

Aus diesen Gründen hat man besondere Zusammenstellungen gemacht, welche man als Normalelemente bezeichnet und welche wir weiter unten besprechen wollen. Da diese Elemente aber niemals für Dauerschaltung geeignet sind, so zieht man es meist vor, die elektromotorische Kraft durch Rechnung zu bestimmen, um so mehr, als man für die dritte Grösse des Ohm'schen Satzes, für den Widerstand, mit genügend grosser Genauigkeit Vergleichseinheiten, Etalons, herzustellen in der Lage ist.

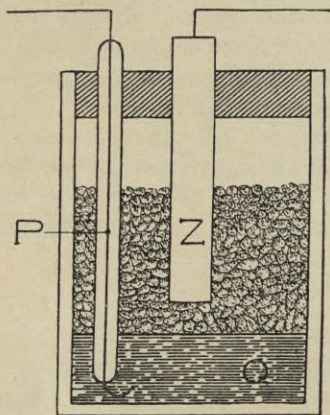


Fig. 94.

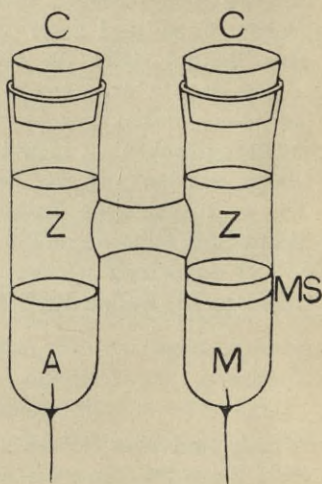


Fig. 95.

Normalelemente. Es ist natürlich, dass man zuerst versuchte, das Daniell'sche Element in einer Weise herzustellen, dass dessen elektromotorische Kraft konstant bleibt und so das Element als Normalelement Verwendung finden kann.

Kittler¹⁾ hat jedoch die Unzweckmässigkeit durch eingehende Versuche festgestellt und gefunden, dass nur in dem Falle befriedigende Resultate zu erzielen waren, wenn die Berührungsflächen der Flüssigkeiten sehr gering sind, was dadurch erreicht wird, dass die beiden Flüssigkeiten in getrennte Gefässe gebracht werden und durch einen Heber mit kapillaren Enden mit einander verbunden werden.

Obwohl mit einer derartigen Vorrichtung Kittler und andere

¹⁾ Kittler, Münchener Sitzungs-Bericht 1882. S. 467.

bei wiederholter Zusammenstellung ziemlich übereinstimmende Resultate gewonnen, wird es von demselben als Etalon nicht empfohlen.

Clark Latimer hat ein Normalelement hergestellt, das im Folgenden beschrieben werden möge. (Fig. 94.)

Dasselbe besteht aus einem Glasgefäße, auf dessen Boden als negativer Körper Quecksilber Q sich befindet, das mit einem durch eine angeschmolzene Röhre gehenden Platindraht P in leitender Verbindung steht. Darüber kommt eine breiartige Masse aus einem Zinksulfat, das mit zerstoßenen Krystallen von reinem Quecksilbersulfat, $Hg_2 So_4$ gemengt ist; letzteres wird durch Auflösen von Quecksilber in heisser, nicht siedender Schwefelsäure erhalten. In diese Masse taucht der aus chemisch reinem Zink hergestellte Stab Z .

Eine andere praktische Form des Clark-Elementes ist in Fig. 95 abgebildet. Das Gefäß besteht aus 3 ein H bildenden Röhren. Die eine ist mit reinem Zinkamalgam, die andere mit Quecksilber, das mit Quecksilbersulfat bedeckt ist, gefüllt. Der übrige Raum ist mit Zinksulfatlösung gefüllt.

Bei einer Temperatur zwischen 10 und 25° gilt die folgende Formel:

$$E = 1.438 - 0.0010 (t - 15^0).$$

Wheatstone hat ein Normalelement angegeben; dasselbe besteht aus einem Glasgefäße, welches eine gesättigte Kupfervitriollösung enthält. Im Glasgefäße steht ein etwa 5 cm hohes Diaphragma,

welches Quecksilber mit einigen Zinkstücken enthält; in der Kupfervitriollösung steht ein Kupfereylinder. Die Verbindung des Zink-Amalgams wird durch einen Kupferdraht hergestellt.

Diese Art Elemente sind nun nicht für dauernden Gebrauch, eignen sich aber sehr gut für etwa eine halbe Stunde.

Das Diaphragma muss zur Auflösung von dem in den Poren desselben abgelagerten Kupferrückstand Gebrauch des Elementes in Salpetersäure gebracht werden.

Das Normalelement von Warren de la Rue ist ein Chlorsilber-Element. In das Glasgefäß A (Fig. 96), das mit einem Paraffinpflöpfen geschlossen ist, taucht ein Stab aus chemisch reinem Zink Z und ein aus Chlorsilber gebildeter Cylinder C , in dem zur Ableitung ein Silberdraht steckt. Der Chlorsilbercylinder ist in feines Pergament-

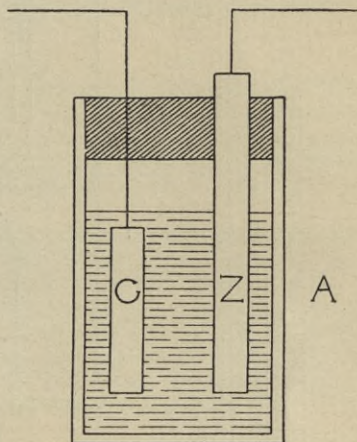


Fig. 96.

Papier gewickelt. Die Füllung besteht aus einer Lösung von reinem Salmiak in Wasser (23 g Salmiak auf 1 l).

Der Widerstand dieses Elementes beträgt 3—4 Ohm, die elektromotorische Kraft $E = 1.030$ Volt.

Das Normalelement von Fleming (Glasinstrumentenfabrik Ebermayer, München) besteht aus einer u-förmig gestalteten Röhre, die an

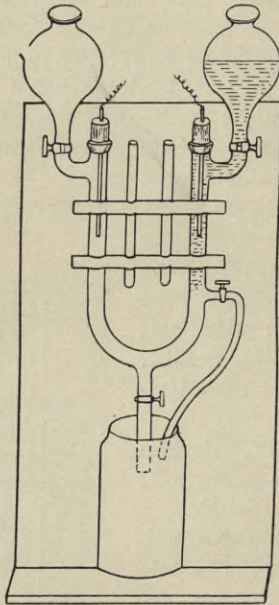


Fig. 97.

den offenen Enden mit darangeschlossenen Gefässen verbunden ist Fig. 97. Der Schenkel *A* ist mit Zinksulfatlösung, von 1.2 spez. Gewicht bei 20° C, gefüllt, in welche ein nicht amalgamierter Zinkstab reicht. Der Schenkel *B* enthält Kupfersulfatlösung von 1.1 spez. Gewicht bei 20° C, in welche ein elektrolytischer Kupferstab taucht. An der Grenzschicht der Flüssigkeiten bei *C* befindet sich ein Hahn zum Ablassen der Flüssigkeit, wobei gleichzeitig das Abfließende durch Einlassen aus den oberen Gefässen ersetzt wird. Das Element ist bei einem äusseren Widerstand von ca. 100000 Ohm verwendbar. Die elektromotorische Kraft ist bei 18° C 1.100 Volt.

Die Röhren *a* und *b* dienen zur Aufnahme der Elektroden bei Nichtgebrauch des Elementes.

Anhang.

Wir glauben manchem Leser dieses Buches nützlich sein zu können, wenn wir im Folgenden die auf Messinstrumente bezüglichen §§ der Physikalisch-techn. Reichsanstalt in Berlin¹⁾ zur Prüfung von Widerständen, Normalelementen und Strom- und Spannungsmessern hier zum Abdrucke bringen.

Die zweite (technische) Abteilung der Physikalisch-technischen Reichsanstalt übernimmt die Prüfung der zeitigen Werte von elektrischen Widerständen und Normalelementen sowie die Angaben von Strommessern und Spannungsmessern für Gleichstrom. Es bleibt der Reichsanstalt vorbehalten, vor der Zulassung zur Prüfung eine Untersuchung der Brauchbarkeit und Dauerhaftigkeit dieser Geräte eintreten zu lassen.

Untersuchungen anderer als der oben genannten elektrischen Geräte und Einrichtungen übernimmt die Reichsanstalt, soweit nach ihrem Ermessen ein allgemeines technisches oder wissenschaftliches Interesse dabei vorliegt. Über den Umfang und die Ausführung solcher Untersuchungen findet eine besondere Vereinbarung mit den Beteiligten statt. Die Prüfung elektrischer Messgeräte wird nach Massgabe folgender Bestimmungen ausgeführt und kann auf Verlangen mit einer Beglaubigung verbunden werden. Der Erlass von Bestimmungen über die Prüfung hier nicht genannter Messgeräte wird vorbehalten.

I. Widerstände.

§ 1. Die Beglaubigung ist vorbehältlich der Bestimmungen in § 3, Abs. 3 und § 5 nur zulässig für Einzelwiderstände und Widerstandssätze aus Platinsilber, Neusilber und ähnlichen Legierungen, deren Leitungsfähigkeit durch die Temperatur erheblich grössere Veränderungen als die vorgenannten Materialien nicht erfährt. Widerstände aus Graphit, Kohle und Elektrolyten sind von der Beglaubigung ausgeschlossen.

§ 2. Die Einrichtung der zur Beglaubigung zuzulassenden Widerstände soll folgenden Anforderungen genügen:

1) Die Anlage und Ausführung soll hinreichende Sicherheit und Unveränderlichkeit der Werte gewährleisten.

2) Teile, deren Beschädigung oder willkürliche Veränderung leicht möglich und schwer wahrnehmbar ist, sollen in einem festen, bei der Einreichung abnehmbaren Gehäuse eingeschlossen sein, welches Einrichtungen für Aufnahme der durch die Reichsanstalt anzubringenden Sicherheitsverschlüsse trägt.

¹⁾ Centralblatt f. d. Deutsche Reich 1889. Nr. 23, S. 310.

3) Auf jedem Messgerätee soll eine Geschäftsnummer und eine Geschäftsfirma vermerkt sein; die letztere kann durch ein amtlich eingetragenes Fabrikzeichen ersetzt werden.

4) Der Wert des Widerstandes soll unter Beifügung der Bezeichnung »Ohm« in dieser Einheit auf dem Messgerätee unzweideutig angegeben sein; auf Messgeräteen ist die vorgenannte Bezeichnung nur einmal erforderlich.

§ 3. Je nach dem Antrage der Beteiligten werden die Widerstände als Gebrauchswiderstände oder als Präzisionswiderstände geprüft und beglaubigt, und zwar werden beglaubigt:

1) als Gebrauchswiderstände solche Widerstände, deren Abweichung von den Normalen der Reichsanstalt bei $\pm 15^{\circ}$ des hundertteiligen Thermometers $\pm 0,005$ des Sollwertes nicht überschreitet.

2) als Präzisionswiderstände solche Widerstände, welche bei der auf ihnen verzeichneten Temperatur von den Normalen der Reichsanstalt um nicht mehr als $\pm 0,001$ des Sollwertes abweichen. Bei Widerstandssätzen sollen diese Fehlergrenzen sowohl von jedem einzelnen Widerstande als von beliebigen Zusammenfassungen mehrerer Widerstände eingehalten werden.

Die Angabe der Temperatur auf Präzisionswiderständen hat durch den Anfertiger zu erfolgen. Nur bei Glasröhren mit Quecksilberfüllung, deren Beglaubigung als Präzisionswiderstände statthaft ist, übernimmt die Reichsanstalt auf Wunsch der Beteiligten die Anbringung dieser sowie der nach § 2, Nr. 4, erforderlichen Bezeichnungen.

Die Prüfung von Gebrauchswiderständen erfolgt durch Vergleichung bei mittlerer Zimmertemperatur, diejenige von Präzisionswiderständen bei zwei verschiedenen, passend gewählten Temperaturen.

§ 4. Die Beglaubigung geschieht durch Aufbringen eines Stempels und einer Prüfungsnummer in der Nähe der Angabe des Widerstandswertes durch Anlegung von Sicherheitsverschlüssen am Gehäuse sowie durch Anfertigung eines Beglaubigungsscheines. Bei Widerstandssätzen wird der Stempel in die Nähe eines der mittleren unter den angegebenen Widerstandswerten gesetzt, die Stempel und die Jahreszahl der Prüfung. Bei dem Stempel Präzisionswiderstände tritt ein fünfstrahliger Stern hinzu.

Der den gestempelten Widerständen beigegebene Beglaubigungsschein bekundet bei Gebrauchswiderständen ihre Abweichung von den Normalen der Reichsanstalt bis auf $\pm 0,001$, für Präzisionswiderstände bei zwei Temperaturen bis auf wenigstens $\pm 0,0001$ ihres Sollwertes, doch wird bei kleineren Widerständen die Angabe der Abweichung nur bis zu $0,000001$ Ohm geführt. Hierbei ist anzugeben dass das Ohm zu $1,06$ Siemens-Einheiten berechnet ist.

§ 5. Widerstände aus starken Kupferseilen, welche den Bestimmungen unter § 2, Nr. 134 genügen, können ausnahmsweise zur Prüfung zugelassen werden. Ein solcher Widerstand wird bei der auf denselben angegebenen Temperatur oder, falls eine derartige Angabe fehlt, bei $+15^{\circ}$ mit den Normalen der Reichsanstalt verglichen und, wenn die Abweichungen $\pm 0,01$ des Sollwertes nicht überschreiten, an den Abzweigungstellen gestempelt.

In der beigegebenen Prüfungsbescheinigung wird die Einhaltung der Fehlergrenzen bekundet und das Gewicht des Widerstandes aufgeführt.

II. Normalelemente.

§ 6. Bis auf Weiteres werden zur Prüfung und Beglaubigung nur Normalelemente nach L. Clark mit der Bezeichnung als solche zugelassen, sofern deren Einrichtung ein Umkehren gestattet, ohne dass das Zink mit dem Quecksilber in Berührung kommt. Auch sollen die Anforderungen unter § 2, Nr. 1, 2, 3

erfüllt sein. Etwaige mit den Normalelementen fest verbundene Thermometer müssen vor ihrer Einfügung der Reichsanstalt zur Prüfung vorgelegen haben und deren Prüfungsstempel tragen.

§ 7. Die Prüfung eines Normalelementes erfolgt durch Vergleichung mit den Normalen der Reichsanstalt; ist die Abweichung nicht grösser als $\pm 0,001$ Volt, so wird das Element unter sinngemässer Anwendung der Bestimmungen unter § 4, Abs. I gestempelt und in dem beigegebenen Beglaubigungsschein die Einhaltung der vorstehenden Fehlergrenze bekundet.

III. Strommesser und Spannungsmesser.

§ 8. Zur Prüfung und Beglaubigung zugelassen werden bis auf Weiteres Strommesser bis zu 1000 Ampère und Spannungsmesser für Spannungen bis zu 300 Volt, sofern dieselben den Anforderungen unter § 2, Nr. 1 bis 3, genügen und sofern auf ihnen die Werte der Skalenteile unter Beifügung der Bezeichnung Ampère bezw. Volt in diesen Einheiten unzweideutig bemerkt sind.

Auf Messgeräten, deren verbürgte Anwendung auf einen Teil der vorhandenen Skala eingeschränkt werden soll, sind die Grenzen ihres Anwendungsgebietes anzugeben in der Form: »Spannungsmesser richtig von bis Volt«, beziehungsweise »Strommesser richtig von bis Ampère«. Hierbei soll das Anwendungsgebiet wenigstens 10 Skalen-Intervalle umfassen.

§ 9. Die Prüfung eines Strommessers oder eines Spannungsmessers erfolgt durch Vergleichung mit den Normalen der Reichsanstalt an wenigstens drei Skalenstellen, und zwar bei steigender sowie bei fallender Stromstärke, bezw. Spannung. Bei der Prüfung von Spannungsmessern, welche nach unzweideutiger Aufschrift nur mit kurzer oder nur mit langdauernder Einschaltung gebraucht werden sollen, wird die Dauer der Einschaltung dementsprechend bemessen, und zwar im ersten Falle auf höchstens 1 Minute, im anderen Falle auf wenigstens 1 Stunde. Fehlt eine Angabe der Einschaltungsdauer, für welche ein Spannungsmesser bestimmt ist, so sollen die Fehlergrenzen für kurze und dauernde Einschaltung eingehalten werden.

§ 10. Die Beglaubigung erfolgt bei Messgeräten ohne Beschränkung des Anwendungsgebietes, wenn die gefundenen Fehler entweder nicht über $\pm 0,2$ der die Prüfungsstelle enthaltenden, bezw. benachbarten Skalen-Intervalle, oder nicht über $\pm 0,01$ des Sollwertes hinausgehen; bei Geräten mit beschränkter Anwendung der Skala (§ 8, Abs. 2) soll der Fehler innerhalb des Anwendungsgebietes $\pm 0,01$ des Sollwertes nicht übersteigen.

Die Stempelung eines Strommessers oder eines Spannungsmessers geschieht nach Massgabe der Bestimmungen unter § 4, Abs. 1; der Stempel erhält seinen Platz nahe der Mitte des Anwendungsgebietes der Skala. Dem gestempelten Messgeräten wird ein Beglaubigungsschein beigegeben, welcher die gefundenen Fehler bekundet.

IV. Gebühren.

§ 11. Es werden erhoben:

1) für die Prüfung und Stempelung

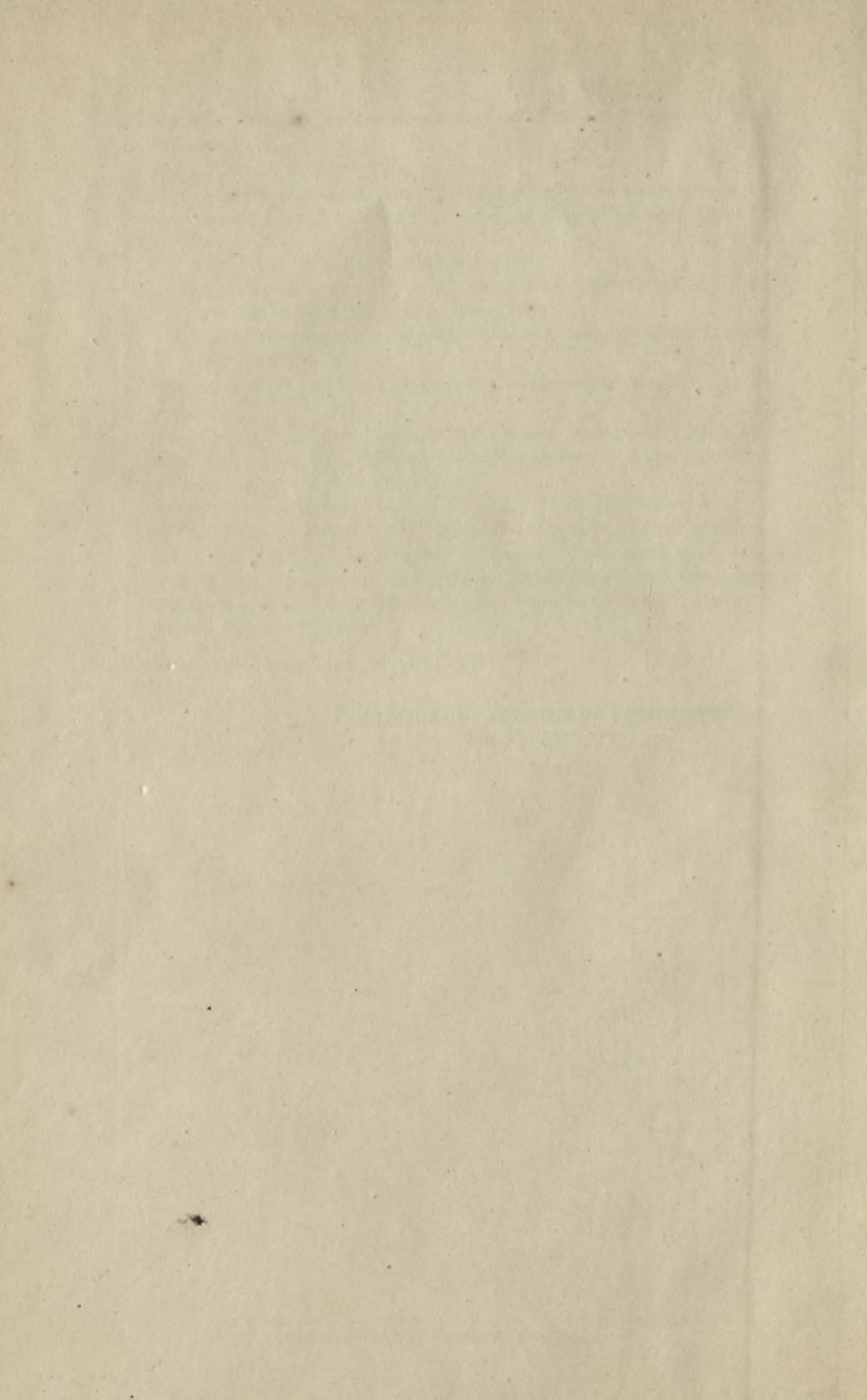
- | | |
|---|---------------|
| a) eines einzelnen Gebrauchswiderstandes eine Gebühr von | 2,00 <i>M</i> |
| b) eines Satzes von Gebrauchswiderständen eine Grundgebühr | |
| von | 2,00 » |
| sowie für jede einzelne Abteilung eine Zusatzgebühr von je | 0,50 » |
| c) von Präzisionswiderständen das Vierfache der Sätze zu a) | |
| beziehungsweise b), | |
| d) eines Quecksilberwiderstandes eine Gebühr von | 12,00 » |

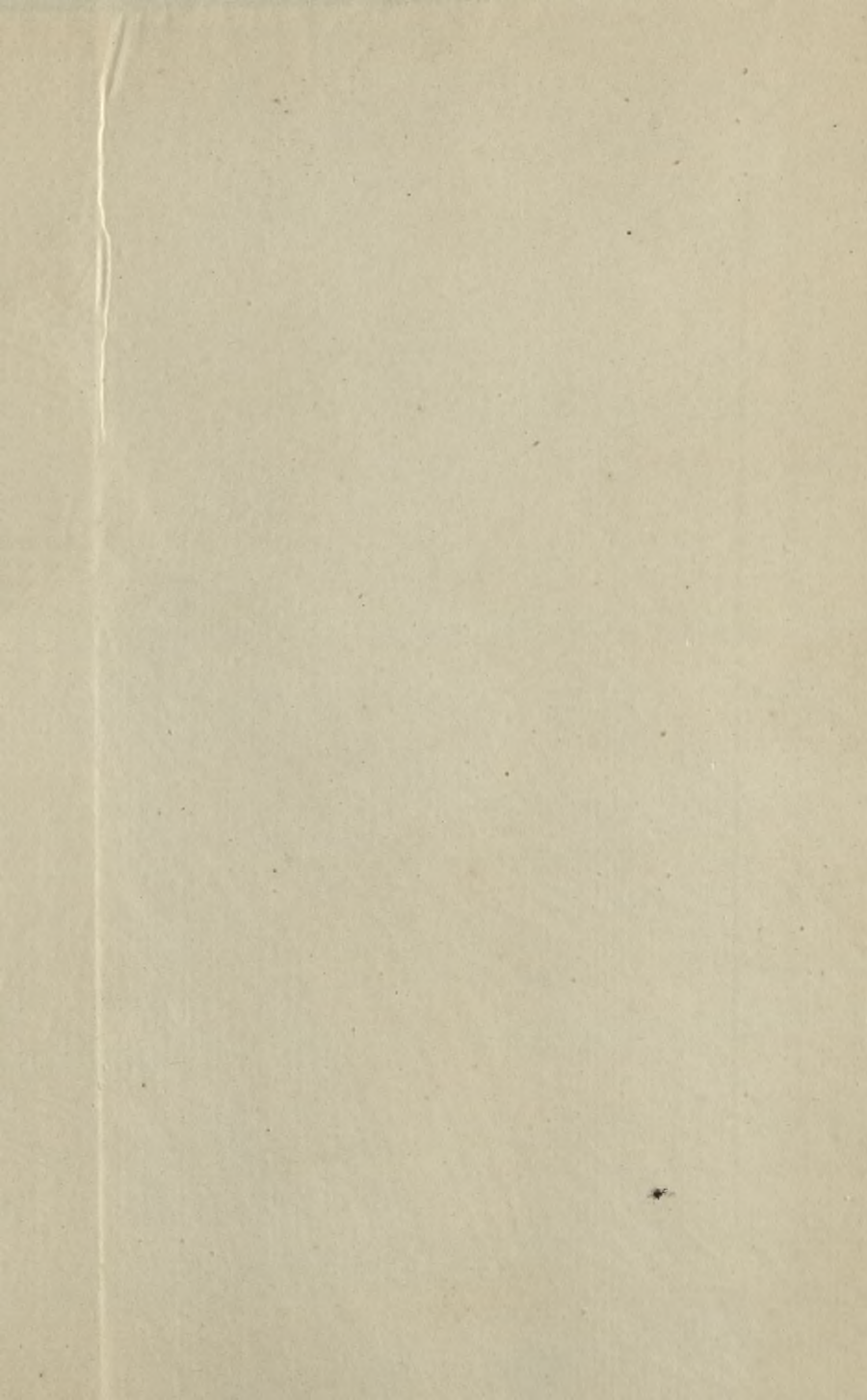
- 2) für die Prüfung und Stempelung eines Normalelementes eine Gebühr von 1,50 »
- 3) für die Prüfung und Stempelung
 - a) eines Strommessers unter 300 Ampère oder eines Spannungsmessers nach Prüfung an drei Skalenstellen eine Gebühr von 3,00 »
für Prüfung jeder weiteren Stelle 0,10 »
 - b) eines Strommessers von 300 bis ausschliesslich 600 Ampère das anderthalbfache der Sätze zu a),
 - c) eines Strommessers von 600 bis 100 Ampère das doppelte der Sätze zu a),
- 4) für nachträgliches Aufbringen der vorgeschriebenen Bezeichnungen 0,50 »
- 5) für die Prüfung von Messgeräten, deren Stempelung sich als unzulässig erweist, Gebühren nach Massgabe der aufgewendeten Arbeit, und zwar für die Stunde 1,50 »
werden die gefundenen Fehler dem Beteiligten mitgeteilt, so erfolgt die Ansetzung der Gebühren wie bei gestempelten Geräten,
- 6) für Untersuchung der Brauchbarkeit und Dauerhaftigkeit von elektrischen Apparaten und Einrichtungen (vergleiche Einleitung) Gebühren ebenfalls nach Massgabe der angewendeten Arbeit, jedoch für die Stunde 3,00 »

Charlottenburg, den 24. Mai 1889.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.
von Helmholtz.

S. 61





WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

5345

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294809