

Vierte Abteilung:  
**Galvanismus.**

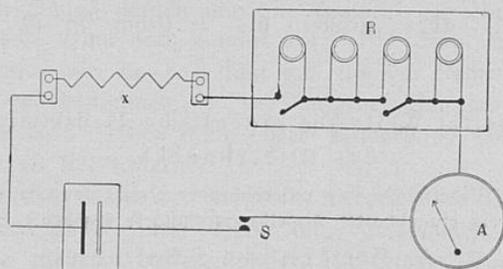
**1. Widerstandsbestimmung durch Vertauschung.**

Erster Teil: Voruntersuchung.

Ehe man irgend einen vorgelegten Widerstand bestimmt, ist es zweckmäßig, sich eine angenäherte Kenntnis seiner Größe zu verschaffen.

a) Man bestimmt zu diesem Zwecke in der Gleichung des Ohmschen Gesetzes  $i = \frac{e}{w}$  in einem Stromkreise die Spannung  $e$  (in Volt) und die Stromstärke  $i$  (in Amp.). Dann läßt sich der Widerstand  $w$  (in Ohm) angenähert berechnen. Den hierzu geeigneten Stromkreis setze man folgendermaßen zusammen:

Den negativen Pol des Akkumulators verbinde man mit einem Stromschlüssel, führe von der zweiten Klemme des Schlüssels einen Draht zur negativen Klemme des Amperemeters, verbinde die



positive Klemme dieses mit einem Rheostaten, in dem 10 Ohm eingeschaltet sind, und füge zwischen den Rheostaten und den positiven Pol des Akkumulators den zu messenden Widerstand mittelst zweier Drähte und zweier Doppellimmen ein. Die Enden aller verwendeten Drähte sind blank zu schmirgeln.

**Sämtliche Schaltungen sind hier und in Zukunft vor dem Schliessen des Stromes vorzuzeigen!**

b) Man schließe den Strom und lese das Amperemeter (klopfen!) ab. Sollte die Stromstärke jetzt nicht zwischen 0,15 Amp. und 0,20 Amp. liegen, so schalte man im Rheostaten vorsichtig ein Ohm nach dem andern aus, bis dieser Zustand erreicht ist, oder im Rheostaten sämtlicher Widerstand ausgeschaltet ist.

**Der Strom ist nie länger geschlossen zu halten, als dies unbedingt nötig ist.**

c) Da außer der jetzt abzulesenden Stromstärke  $i$  auch die Spannung  $e$  des Akkumulators (ungefähr 2 Volt) bekannt ist, so läßt sich der Widerstand  $w$  des ganzen Stromkreises berechnen.

| Nummer des Widerstandes | $e$ | $i$ | $w$ | $R$ | $x$ |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                         |     |     |     |     |     |

d) Um also einen angenäherten Wert für den unbekanntem Widerstand  $x$  zwischen den Doppelflemlen zu erhalten, hat man nur von dem so ermittelten Widerstand des ganzen Stromkreises den im Rheostaten eingeschalteten Widerstand zu subtrahieren.

e) Liegt  $x$  zwischen 4 Ohm und 40 Ohm, so verfahren wir zu feiner genaueren Bestimmung nach Methode A; liegt  $x$  zwischen 40 Ohm und 400 Ohm, wenden wir Methode B an. Ist  $x$  kleiner als 4 Ohm, aber größer als 1 Ohm, so ist Methode C zweckmäßig\*).

**Zweiter Teil: Die eigentliche Bestimmung des Widerstandes.**

(Hilfssatz: Widerstände sind untereinander gleich, wenn sie, einzeln in denselben Stromkreis eingeschaltet, dieselbe Stromstärke ergeben.)

**A. Gewöhnliche Schaltung.**

Unter dieser Schaltung verstehen wir die eben angewandte. Zur Bestimmung des Widerstandes  $x$  schlagen wir aber einen andern Weg ein.

\*) Widerstände unter 1 Ohm und über 400 Ohm bestimmen wir nur nach der Brückenmethode (IV, 2.)

a) Man notiere den eingeschalteten Rheostatenwiderstand (z. B. 4 Ohm), schließe noch einmal den Strom und lese die sich ergebende Stromstärke  $i$  (z. B. 0,164 Amp.) ab.

b) Dann stöpsle man im Rheostaten noch so viel Ohm hinzu, wie der zu bestimmende Widerstand nach der Voruntersuchung beträgt, entferne den Widerstand zwischen den Doppelflemmen und ersetze ihn durch ein sehr kurzes, blankgeschmirgeltes Stück dicken Kupferdrahtes ohne merklichen Widerstand.

c) Schließt man den Schlüssel, so wird man angenähert die Stromstärke  $i$  erhalten. Man verändere nun den Widerstand im Rheostaten immer um 1 Ohm so lange, bis man durch zwei, sich nur um 1 Ohm unterscheidende Widerstände die Stromstärke  $i$  zwischen den zugehörigen Ableisungen eingeschlossen hat, z. B. erhalte man bei 12 Ohm Rheostatenwiderstand 0,167 Amp. (größer als  $i$ ) und bei 13 Ohm 0,154 Amp. (kleiner als  $i$ ).

d) Sämtliche Beobachtungen stellen wir in folgender Tabelle zusammen:

| Widerstände<br>in Ohm   | Stromstärken<br>in Amp.   |
|---|---|
| $\left\{ \begin{array}{l} 12 = w_1 \\ x + 4 \\ 13 = w_2 \end{array} \right\}$ | $\left\{ \begin{array}{l} 0,167 = i_1 \\ 0,164 = i \\ 0,154 = i_2 \end{array} \right\}$ |

e) Zum Schluß prüfen wir die Konstanz der Batterie, indem wir mit  $(x+4)$  Ohm noch einmal auf 0,164 Amp. einstellen.

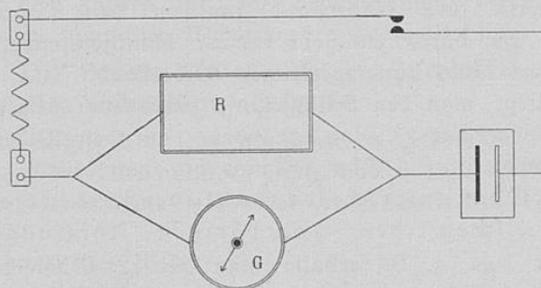
f) Ebenso wie in I, 2 läßt sich aus der leicht zu bildenden Proportion  $x$  bestimmen. In unserm Beispiel ergibt sich  $(x+4) - 12 = 3 : 13 = 0,23$ . Der Widerstand  $x$  beträgt also 8,23 Ohm. (3 Wertziffern!)

Anmerkung: Um bei größeren Widerständen (bis 40 Ohm) auf eine Stromstärke von 0,15 Amp. zu kommen, hat man in solchem Falle mehrere hintereinander geschaltete Akkumulatoren zu verwenden.

### B. Galvanometer im Nebenschluß.

a) Statt bei Widerständen über 40 Ohm die Spannung zu vergrößern, benutzen wir lieber empfindlichere Stromzeiger (Galvanometer). Wegen ihrer hohen Empfindlichkeit wird aber nur ein Teil des Stromes durch sie hindurchgeleitet.

b) Wir verwenden folgende Schaltung: Von einem Pole des Akkumulators führe man einen gegabelten Draht nach einem Rheostaten R und dem Galvanometer G, von den beiden anderen Klemmen dieser Instrumente einen zweiten gegabelten Draht nach



dem zu bestimmenden Widerstande und verbinde diesen schließlich unter Einschaltung eines Schlüssels mit dem anderen Pole des Akkumulators. Alle Drahtenden sind blank zu schmirgeln. Im Rheostaten setze man sämtliche Stöpsel fest ein (Widerstand „Null“).

c) Schließt man den Schlüssel, so wird sich die Nadel des Galvanometers nur unmerklich oder gar nicht bewegen. Weshalb?

d) Man stöpsle in R jetzt so viel Widerstand aus, daß sich die Nadel des Galvanometers auf ungefähr  $45^\circ$  einstellt und lese diesen Winkel  $\alpha$  ab (klopfen!).

| Nummer des Widerstandes | R | $\alpha$ | P |
|-------------------------|---|----------|---|
|                         |   |          |   |

e) Dann entferne man den unbekanntem Widerstand und ersetze ihn durch einen zweiten Rheostaten P, in dem man so viel Widerstand einschaltet, wie der zu bestimmende Widerstand nach der Voruntersuchung beträgt.

f) Schließt man den Schlüssel, so wird man angenähert den Ablenkungswinkel  $\alpha$  erhalten. Durch vorsichtige Änderung in P läßt sich dann der vorher abgelesene Winkel  $\alpha$  einstellen (klopfen!).

g) Zum Schluß prüfen wir die Konstanz der Batterie, indem

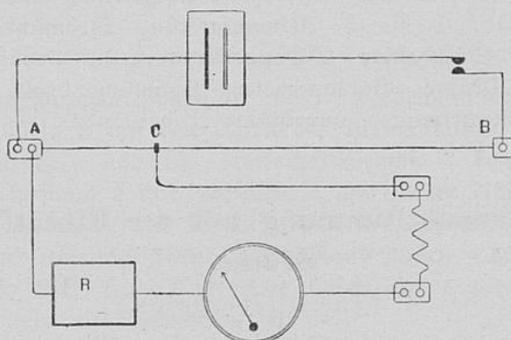
wir unter Einschaltung des zu messenden Widerstandes nochmals den Ablenkungswinkel ablesen.

h) Wie groß ist der gesuchte Widerstand?

### C. Mit verminderter Spannung.

a) Bei kleinen Widerständen (unter 4 Ohm) ist es zweckmäßig, eine Spannung unter 2 Volt zu verwenden, da sonst die Stromstärken zu groß werden.

b) Verbindet man beide Pole eines Akkumulators (unter Einschaltung eines Schlüssels) mit den Enden eines Drahtes AB von genügendem Widerstand, so beträgt der Spannungsunterschied zwischen den Punkten A und B (angenähert) 2 Volt, der zwischen den Punkten A und C (s. d. fig.) nur etwa  $\frac{1}{2}$  Volt, da  $AC = \frac{1}{4} AB$  ist. Man kann also von zwei Punkten des Spannungs-



drahtes AB beliebig kleine Spannungen abnehmen, wenn man die Punkte A und C nur nahe genug beieinander wählt.

c) Von A aus führe man den Strom über einen Rheostaten, der zweckmäßig auch Zehntel Ohm enthält, zum Amperemeter (Vorzeichen!), setze beim Punkte C, den man zunächst ganz dicht bei A wählt, die Gleitklemme auf den Spannungsdraht und füge zwischen ihr und dem Amperemeter mittelst zweier Drähte und zweier Doppelflecken den unbekanntem Widerstand ein. Alle Drahtenden sind blank zu schmirgeln. Im Rheostaten ist sämtlicher Widerstand auszuschalten.

d) Man schliesse den Strom, entferne die Gleitklemme C von A so weit, daß das Amperemeter einen Strom zwischen

0,15 Amp. und 0,20 Amp. zeigt oder die Gleitklemme bei B angelangt ist, und lese die Stromstärke  $i$  ab.

e) Dann stöpsle man im Rheostaten so viel Ohm, wie der zu bestimmende Widerstand  $x$  nach der Voruntersuchung beträgt, entferne den Widerstand zwischen den Doppelflecken und setze statt seiner zwischen sie ein sehr kurzes, blank geschmirgeltes Stück dicken Kupferdrahtes ohne merklichen Widerstand.

f) Wie unter Methode A, c) angegeben, suche man wieder zwei solche Widerstände  $w_1$  und  $w_2$  ( $w_1 < w_2$ ), daß die ihnen entsprechenden Stromstärken  $i_1$  und  $i_2$  ( $i_1 > i_2$ ) die oben gefundene Stromstärke  $i$  einschließen. Zweckmäßig wählt man hier das Intervall  $w_2 - w_1$  kleiner als 1 Ohm. Man versäume nicht, zum Schluß die Konstanz der Batterie zu prüfen.

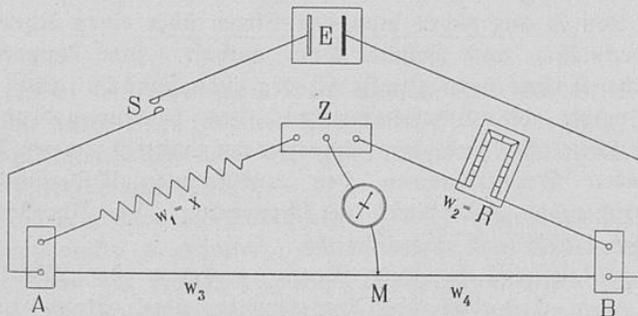
g) Nachdem man die Widerstände und Stromstärken in der unter A angegebenen Tabellenform zusammengestellt hat, läßt sich  $x$  wie dort aus der sich ergebenden Proportion leicht berechnen.

Zubehör: 1 bis 3 Akkumulatoren, Stromschlüssel, Milliampere-meter, 2 Rheostate, 2 Doppelflecken mit Verbindungsstück, 2 gegabelte Drähte, Galvanometer, Spannungsdraht mit Gleitklemme, Schmirgelpapier, unbekannte Widerstände.

## 2. Widerstandsbestimmung mit der Wheatstoneschen Brücke.

A. (Zur Wiederholung:)

Verbindet man die beiden Pole eines Akkumulators E mit zwei Punkten A und B, die untereinander durch zwei Wege, A Z B und A M B, verbunden sind, so teilt sich der in A ein-



tretende Strom und nimmt seinen Weg teils über Z, teils über M, um bei B wieder in ein gemeinsames Bett überzugehen. Überbrückt man die Verzweigung durch einen Draht ZM, so wird im allgemeinen auch durch ZM ein Teil des Stromes fließen, der an einem zwischen Z und M eingeschalteten Galvanoskop sichtbar ist. Werden nun die Widerstände in den vier Stücken AZ, BZ, AM und BM der Reihe nach mit  $w_1, w_2, w_3$  und  $w_4$  bezeichnet, so fließt bekanntlich durch ZM (die „Brücke“) kein Strom, wenn  $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$  ist. Betrachtet man  $w_1$  als unbekanntes Widerstand  $x$ , so müssen  $w_2$  und das Verhältnis  $w_3 : w_4$  bekannt sein. Als  $w_2$  benutzt man einen Rheostaten, dessen zu verändernder Widerstand  $R$  heißen möge. Ist AMB ein gerade ausgespannter Draht, und seien die Strecken AM bzw. MB dieses Drahtes gleich  $l_1$  bzw.  $l_2$ , die an einer Teilung abzulesen sind, so kann man statt  $w_3 : w_4$  auch  $l_1 : l_2$  setzen. Die zu benutzende Gleichung lautet dann  $x : R = l_1 : l_2$ .

#### B. Bestimmung eines unbekanntes Widerstandes.

a) Die Doppelflemmen A und B werden unter Einschaltung eines Schlüssels S mit den Polen des Akkumulators verbunden.

Zwischen A und die dreifache Klemme Z kommt der unbekanntes Widerstand  $x$  und zwischen Z und B der Rheostat R. Die vier Drähte, die  $x$  und R mit A, Z und B verbinden, müssen gleichen und möglichst kleinen Widerstand haben. Warum? Man benutze also dicke, kurze Kupferlitze, deren Enden gut abgeschmirgelt sind, und ziehe alle Schrauben fest an.

Eine Klemme des Galvanoskops wird mit der dritten Klemme von Z und seine zweite mit der Klemme des Gleitkontaktes verbunden.

b) Im Rheostaten stöpsle man so viel Widerstand, wie  $x$  zu haben scheint\*), und suche eine solche Stellung des Gleitkontaktes auf dem Drahte AB, daß die Galvanoskopnadel **bei kurzem Stromschluss** keine oder doch nur geringe Bewegung zeigt. Die Ablesung (in ganzen Zentimetern) sei  $(l_1)$ . Aus der Proportion  $x : R = (l_1) : (l_2)$  berechne man  $x$ . (2 Wertziffern!)

c) 1. Diese Anzahl Ohm stöpsle man jetzt im Rheostaten und suche von neuem, jetzt aber mit großer Schärfe, diejenige Stellung

---

\*) Sehr häufig wird eine vorläufige Bestimmung nach IV, Nr. 1, erster Teil, nötig sein.

des Gleitkontaktes, die den Galvanoskopzweig stromlos macht. Steht der Kontakt auf  $l_1$ , so berechne man in der Gleichung  $x : R = l_1 : l_2$  den Wert des Bruches auf der rechten Seite (auf drei Dezimalen).

2. Darauf vertausche man den Widerstand mit dem Rheostaten, bringe also  $x$  zwischen B und Z, und R zwischen A und Z. Wiederum suche man diejenige Stellung des Gleitkontaktes, die das Galvanoskop stromlos macht. Im allgemeinen wird diese Stelle annähernd ebensoweit von der Mitte des Drahtes entfernt liegen, als die erste, nur nach der andern Seite hin. Erhält man jetzt die Ablesung  $\lambda_1$ , so lautet die entsprechende Gleichung  $x : R = \lambda_2 : \lambda_1$ . Auch hier berechne man den Wert des Bruches auf der rechten Seite (auf drei Dezimalen).

3. Das Mittel aus den Brüchen  $l_1 : l_2$  und  $\lambda_2 : \lambda_1$  sehen wir als den wahren Wert von  $x : R$  an. Multipliziert man mit R, so ist der unbekannte Widerstand bestimmt.

Zubehör: Brücke, Akkumulator, Schlüssel, Rheostat, Galvanoskop, Drähte, unbekannte Widerstände.

### 3. Wie ändert sich der Widerstand eines Drahtes durch Ausglühen und Wickeln?

a) Die beiden Enden von ungefähr 3 Meter harten Messingdrahtes werden zwischen 2 Messing-Klemmbacken befestigt. Der Widerstand des Drahtes wird, wie in der vorigen Übung angegeben, bestimmt. Er sei  $w_1$ .

b) Nun wird der Draht, ohne ihn aus den Backen zu nehmen, ausgeglüht, indem man durch ihn einen starken Strom\*) schießt. Ist der Draht erkaltet, so entfernt man das Oxyd, indem man den Draht zwischen Watte mehrmals durch die Finger laufen läßt. Der Widerstand des ausgeglühten Drahtes wird wiederum mit der Brücke bestimmt. Er sei  $w_2$ .

c) In einem Schraubstock befestige man einen 4 mm starken Metallstab und wickle um ihn herum den Messingdraht zu einer engen Spirale, ohne ihn aus den Klemmbacken zu entfernen, ziehe die Spirale von dem Stabe ab, lege sie auf eine helle Unterlage und erweitere sie so weit, daß sich die benachbarten Windungen

\*) Bei Draht von 0,5 mm Durchmesser sind hierzu ungefähr 14 Amp. nötig.

nicht berühren. Der Widerstand des gewickelten Drahtes wird wiederum mit der Brücke bestimmt. Er sei  $w_3$ .

d) Um wieviel Prozent ist  $w_2$  und  $w_3$  kleiner oder größer als  $w_1$ ?

e) Ein zweites ungefähr 3 Meter langes Drahtstück wird in den Klemmbaßen befestigt und sein Widerstand  $w_4$  bestimmt. Jetzt wird der Draht zuerst zur Spirale gewickelt und sein Widerstand  $w_5$  gemessen. Erst dann wird er ausgeglüht\*) und sein Widerstand  $w_6$  bestimmt.

f) Um wieviel Prozent ist  $w_5$  und  $w_6$  kleiner oder größer als  $w_4$ ?

g) Ist der endgültige Widerstand  $w_3$  bzw.  $w_6$  von der Reihenfolge der Operationen unabhängig?

Zubehör: Messingdraht, 2 Klemmbaßen, Schraubenzieher, Brücke mit Zubehör, Starkstromanschluß, 2 Fußklemmen, Watte, Schraubstock, 4-mm-Messingstab.

#### 4. Bestimmung des spezifischen Widerstandes.

##### A. (Zur Wiederholung:)

Der Widerstand  $w$  eines Metalldrahtes ist direkt proportional seiner Länge  $l$ , umgekehrt proportional seinem Querschnitt  $q$  und hängt ferner ab von dem Stoffe, aus dem er besteht.

$$w = c \cdot \frac{l}{q}$$

$c$  heißt der spezifische Widerstand des betreffenden Stoffes und kann berechnet werden, wenn bei einem vorliegenden Drahte die Größen  $l$ ,  $w$  und  $q$  bestimmt worden sind.

##### B. Bestimmung von $l$ .

Nicht ganz 2 Meter des Nickelindrahtes werden mit ihren Enden in zwei Messing-Klemmbaßen befestigt und durch ganz geringes Ausziehen gestreckt. Zwei Meterstäbe werden mit ihren Nullenden zusammengelegt und auf ihnen die Länge des Drahtes (zwischen den Klemmbaßen) bei mäßiger Spannung gemessen. Man versäume nicht, die gegenseitige Entfernung der Teil-

\*) Ungefähr 10 Amp. Warum ist jetzt ein schwächerer Strom ausreichend?

striche 0—0 beider Maßstäbe der Summe der abgelesenen Längen hinzuzufügen. Der Draht darf im weiteren Verlaufe der Messung nicht mehr gezerrt werden.

### C. Bestimmung des Widerstandes $w$ .

Mit Hilfe von vier gleich kurzen, dicken Kupferdrähten werden die Klemmbacken mitsamt dem Nickelindraht und der Rheostat an die Brücke angeschlossen und der Widerstand des Drahtes erst in dieser ursprünglichen Stellung und dann unter Vertauschung mit dem Rheostaten gemessen. Das Mittel liefert  $w$ .

### D. Bestimmung des Querschnitts $q$ .

Nachdem man den Draht unweit der Klemmbacken abgeknipt hat, mißt man auf denselben Maßstäben seine neue Länge  $h$  (Höhe des Drahtzylinders) und wickelt ihn, ohne ihn dabei ausziehen, auf kleinen Raum zusammen, hängt ihn mit Hilfe eines dünnen Fadens an den Haken der kurzen Schale auf der linken Seite der Wage, tariert aus, bestimmt den Nullpunkt und dann seinen Gewichtsverlust in Wasser (in  $g$ ), d. h. sein Volumen (in  $ccm$ ), wie unter I, 9 angegeben. Aus dem Volumen und der Höhe des Drahtzylinders folgt sein Querschnitt  $q$  (Grundfläche des Zylinders in  $qcm$ ).

E. Aus  $l$ ,  $w$  und  $q$  ist nach der unter A. angegebenen Formel der spezifische Widerstand zu berechnen.

F. Dieselbe Bestimmung ist für Eisendraht, von dem man ebenfalls 2 Meter, sowie von Kupferdraht, von dem man 3 Meter nimmt, auszuführen.

Zubehör: 3 Meterstäbe, kurzer Maßstab, 2 Klemmbacken, Schraubenzieher, Beißzange, Nickelindraht, Eisendraht, Kupferdraht, Brücke mit Zubehör, Wage, Gewichtsaß, Becherglas, destilliertes Wasser.

## 5. Wie hängt der Widerstand eines Kupfer- und eines Manganindrahtes von der Temperatur ab?

a) Man entferne vom Ölbad den Deckel, stelle es auf einen Dreifuß, fülle es bis auf 3 cm vom Rande mit Öl und setze den Deckel, der den Kupfer- und den Manganindraht mit ihren Zuführungsklemmen und ein Thermometer trägt, darauf.

b) Man baue die Brücke auf und verbinde dabei den Kupferdraht im Ölbad und den bekannten Widerstand (Ein-Ohm-Dose) durch vier untereinander gleiche Drähte mit der Brücke.

c) Widerstandsmessung (s. Tabelle):

- |   |   |
|---|---|
| { | 1. Kupferdrahtspule links, 1 Ohm rechts: Schneide einstellen und ablesen.   |
|   | 2. Temperatur ablesen.  |
| { | 3. Kupferdrahtspule rechts, 1 Ohm links: Schneide einstellen und ablesen.   |
|   | 4. Manganindrahtspule rechts, 1 Ohm links: Schneide einstellen und ablesen. |
| { | 5. Temperatur ablesen.  |
|   | 6. Manganindrahtspule links, 1 Ohm rechts: Schneide einstellen und ablesen. |

Nun erwärme man das Bad unter fleißigem Rühren bis auf ungefähr 50°, wobei man mit dem Erhitzen rechtzeitig aufhören muß, da das Thermometer nach der Wegnahme des Brenners noch mehrere Grade in die Höhe geht. Dann werden die Widerstandsmessungen bei dieser Temperatur in der unter 1 bis 6 angegebenen Reihenfolge wiederholt. Dasselbe führt man bei ungefähr 100°, 150° und 200° aus und trägt die erhaltenen Ablesungen in folgende Tabelle ein:

| Nr. | I. Kupferdraht             |              |            |            | II. Manganindraht          |             |            |            |
|-----|----------------------------|--------------|------------|------------|----------------------------|-------------|------------|------------|
|     | Ablesungen am Brückendraht |              | Temperatur | Widerstand | Ablesungen am Brückendraht |             | Temperatur | Widerstand |
|     | Spule links                | Spule rechts |            |            | Spule rechts               | Spule links |            |            |
| 1.  |                            |              |            |            |                            |             |            |            |
| 2.  |                            |              |            |            |                            |             |            |            |
| 3.  |                            |              |            |            |                            |             |            |            |
| 4.  |                            |              |            |            |                            |             |            |            |
| 5.  |                            |              |            |            |                            |             |            |            |

d) Man berechne die Widerstände für alle fünf Temperaturen und füge sie in die Tabelle ein.

Wie ändert sich der Widerstand des Kupfer- und des Manganindrahtes mit der Temperatur?

Die Ergebnisse werden graphisch dargestellt, indem man die Temperaturen als Abszissen ( $1^\circ$  als 1 mm) und die Widerstände als Ordinaten (0,1 Ohm als 1 cm) auf Millimeterpapier (1 mm) aufträgt; beide Kurven kommen auf dasselbe Blatt.

e) für den Kupferdraht berechne man für jedes der vier Temperaturintervalle die Differenz der Widerstände und der Temperaturen.

Um wieviel Ohm ändert sich in jedem der vier Intervalle der Widerstand des Kupferdrahtes, wenn die Temperatur um  $1^\circ$  zunimmt?

Man nehme aus diesen vier Änderungen, die für  $1^\circ$  gelten, das Mittel und schreibe es auf die Zeichnung neben die Kurve für den Kupferdraht.

Bei wieviel Grad hat der Kupferdraht gar keinen Widerstand, wenn das beobachtete Gesetz auch außerhalb des vorliegenden Temperaturintervalls Gültigkeit besitzt?

Zubehör: Ölbad mit 2 Widerstandsspulen, Dreifuß, Brenner, Öl, Brücke mit Zubehör, Ein-Ohm-Dose, Rührer, Millimeterpapier (1 mm).

## 6. Bestimmung des Leitvermögens eines Elektrolyten.

### A. Bestimmung des Querschnitts der U-Röhre.

Man klemme die U-Röhre senkrecht in einem Stativ fest und fülle sie so weit mit destilliertem Wasser, daß dieses in dem Schenkel rechts genau bis zum tiefsten Teilstrich (0) reicht, die letzten Tropfen aus einer Pipette zufügend.

Dann tariere man ein kleines Becherglas mit ungefähr 30 g dest. Wasser nebst der Pipette möglichst genau auf der Wage aus, fülle aus diesem die U-Röhre bis zum Teilstrich 10 (rechts) mit Wasser, ohne einen Tropfen zu verschütten, bringe das Becherglas mit dem übrigen Wasser und der Pipette auf die Wage zurück und bestimme den Gewichtsverlust, also auch das Volumen des in die Röhre eingefüllten Wassers. Aus diesem Volumen und der Länge (20 cm) des Wasserzylinders folgt der Querschnitt der U-Röhre.

### B. Bestimmung des Widerstandes.

Nachdem man die Wheatstonesche Brücke aufgebaut hat, spüle man die U-Röhre mit ein wenig der Kupfersulfatlösung zweimal

aus, fülle sie mit der Lösung und füge sie und ein Thermometer in den Deckel des Apparates. Dann senke man die auf der Unterseite sorgfältig abgeschmirgelten und mit Fließpapier gereinigten Kupferelektroden unter Vermeidung auch der kleinsten Luftblase in die U-Röhre, schiebe beide so weit herab, daß ihre unteren Ränder mit den Teilstrichen 0—0 zusammenfallen, und setze das Ganze auf ein mit Wasser von Zimmertemperatur gefülltes Becherglas.

Man messe zunächst den Widerstand der Lösung zwischen den Elektroden und lese zwischen den beiden zugehörigen Messungen die Temperatur ab.

Dann hebe man beide Elektroden um 1 cm und messe wieder den Widerstand und die Temperatur.

Dies Verfahren wird von Zentimeter zu Zentimeter fortgesetzt, solange es der Apparat erlaubt.

Die Beobachtungen werden in folgender Weise im Heft niedergeschrieben:

| Elektroden<br>auf | Rheostat | Ableseungen<br>am Brückendraht |             | Berechneter<br>Widerstand | Tem-<br>peratur |
|-------------------|----------|--------------------------------|-------------|---------------------------|-----------------|
|                   |          | Lös. links                     | Lös. rechts |                           |                 |
| 0 cm              |          |                                |             | $w_0 =$                   |                 |
| 1 cm              |          |                                |             | $w_1 =$                   |                 |
| 2 cm              |          |                                |             | $w_2 =$                   |                 |
| .                 |          |                                |             | .                         |                 |
| .                 |          |                                |             | .                         |                 |
| .                 |          |                                |             | .                         |                 |

### C. Berechnung des Leitvermögens.

Durch Subtraktion der Größe  $w_0$  von den übrigen  $w$  findet man: 2 cm Länge vom Querschnitt  $q$  haben den WdSt.  $w_1 - w_0 =$   
 4 cm " " " "  $q$  " " " "  $w_2 - w_0 =$   
 usw.

Addiert man alles, so kann man daraus den Widerstand der Lösung von 1 cm Länge vom Querschnitt  $q$  berechnen.

Wie groß ist der Widerstand von 1 cm Länge der Lösung vom Querschnitt 1 qcm?

Der reziproke Wert des so gefundenen spezifischen Widerstandes heißt das „Leitvermögen“. Dieses ist zu berechnen.

Das Mittel aus allen gemessenen Temperaturen betrachten wir als diejenige Temperatur, für die das beobachtete Leitvermögen gilt. Welche ist dies?

Zubehör: Apparat mit U-Röhre und Elektroden, Stativ, dest. Wasser, Becherglas, Pipette, Wage, Gewichtssatz, Brücke mit Zubehör, Kupfersulfatlösung (20 ‰), Wasser von Zimmertemperatur, Schmirgelpapier, Fließpapier.

## 7. Wie ändert sich der Widerstand eines Elektrolyten mit der Temperatur?

a) Man gebe ungefähr 50 ccm der Kupfersulfatlösung in ein kleines Becherglas und tariere es auf der Wage möglichst genau aus. Dann erhitze man auf Dreifuß und Drahtnetz die Lösung bis eben zum Siedepunkt, um die Luft auszutreiben, kühle sie durch vorsichtiges Einstellen in kaltes Wasser bis auf Zimmertemperatur, trockene das Glas außen ab und bringe es wieder auf die Wage. Das verdampfte Wasser wird aus einer Pipette tropfenweise und vorsichtig ersetzt, bis die Wage wieder einspielt. Dann rühre man die Lösung um und fülle mit ihr die in der vorigen Übung benutzte U-Röhre, deren Querschnitt also bekannt ist. Nun fülle man das große Becherglas mit Wasser von Zimmertemperatur, füge die U-Röhre und ein Thermometer in den Deckel des Apparates und setze diesen auf das Becherglas, das man auf Dreifuß und Drahtnetz stellt. Man reinige die Unterseite der beiden Kupferelektroden mit feinem Schmirgelpapier und reibe sie mit Fließpapier (nicht mit dem Finger) sauber, setze sie unter Vermeidung auch der kleinsten Luftblase in die Röhre und schiebe sie bis zu den Teilstrichen 0—0.

b) Man bestimme mit der Brücke den Widerstand  $w_0$  zwischen den Elektroden, wobei man Widerstand und Rheostat vertausche. Man lese jetzt die Temperatur  $t_1$  ab, hebe sofort beide Elektroden um je 5 cm und bestimme ohne Zeitverlust auf dieselbe Weise den jetzigen Widerstand  $w_1$ . Die Temperatur  $t_1$  darf sich nicht wesentlich geändert haben.

Diese und die noch vorzunehmenden Bestimmungen werden in folgende Tabelle eingetragen:

| Elektroden auf | Abheostat | Ableseungen am Brücken-Draht |             | Berechneter Widerstand | Temperatur | Gegenseitige Entfernung der Elektroden | Querschnitt q | Leitvermögen |
|----------------|-----------|------------------------------|-------------|------------------------|------------|--|---------------|--------------|
|                |           | Lös. links                   | Lös. rechts |                        |            |  |               |              |
| 0 cm           |           |                              |             | $w_0 =$                | } $t_1 =$  | $l =$                                  | }             | —            |
| 5 cm           |           |                              | $w_1 =$     | $L =$                  |            | $k_1 =$                                |               |              |
| 5 cm           |           |                              | $w_2 =$     | $t_2 =$                |            | $L =$                                  |               | $k_2 =$      |
| 5 cm           |           |                              | $w_3 =$     | $t_3 =$                |            | $L =$                                  |               | $k_3 =$      |
| 5 cm           |           |                              | $w_4 =$     | $t_4 =$                |            | $L =$                                  |               | $k_4 =$      |

Man erwärme jetzt das Bad um ungefähr  $10^\circ$  und bestimme wiederum Widerstand ( $w_2$ ) und Temperatur ( $t_2$ ), nur daß man hierbei die Temperatur zwischen den beiden zugehörigen Messungen abliest.

Noch zweimal erwärme man das Bad um je  $10^\circ$  und bestimme ebenso  $w_3, t_3$  und  $w_4, t_4$ .

Die Abhängigkeit des Widerstandes ( $w_1$  bis  $w_4$ ) von der Temperatur ( $t_1$  bis  $t_4$ ) stelle man zunächst graphisch dar, indem man auf Millimeterypapier (2 mm) die Temperaturen als Abszissen ( $1^\circ$  als 2 mm) und die Widerstände als Ordinaten (10 Ohm als 2 mm) aufträgt. In welchem Sinne ändert sich der Widerstand eines Elektrolyten mit der Temperatur?

c) Aus  $w_1$  und  $w_0$  berechne man den Widerstand von 10 cm Länge der Lösung vom Querschnitt q bei der Temperatur  $t_1$ .

Wie groß ist also der Widerstand von 1 cm Länge vom Querschnitt q bei der Temperatur  $t_1$ ?

Wie groß ist daher die Länge der Röhre zwischen den Elektroden in deren tiefster Stellung 0—0, da sich hier der Widerstand  $w_0$  bei der Temperatur  $t_1$  ergab?

Diese Länge möge l heißen (s. die Tabelle).

Wie groß ist daher die Länge der Röhre zwischen den Elektroden in ihrer höchsten Stellung? Wir wollen diese Länge L nennen (s. die Tabelle).

Man berechne für jede der vier letzten Zeilen der Tabelle aus w, L und q das zugehörige Leitvermögen.

In welchem Sinne ändert sich das Leitvermögen eines Elektrolyten mit der Temperatur?

Die Abhängigkeit des Leitvermögens von der Temperatur wird graphisch dargestellt, indem man auf Millimeterpapier (2 mm) die Temperaturen wieder als Abszissen (1° als 2 mm) und die Leitvermögen (0,01 als 20 mm) als Ordinaten abträgt.

Wie groß ist die Änderung des Leitvermögens für 1° Temperaturdifferenz in jedem der drei Intervalle? Wie groß das Mittel hieraus?

Zubehör: Kupfersulfatlösung, Becherglas, Wage, Dreifuß, Drahtnetz, destilliertes Wasser, Pipette, Apparat mit U-Röhre und Elektroden, Schmirgelpapier, Fließpapier, Brücke mit Zubehör.

## 8. Messung des Widerstandes von Glühlampen.

### A. In kaltem Zustande.

Wie in IV, Nr. 2 angegeben, wird mit der Brücke der Widerstand der Kohlenfadenlampe (s. Fig. S. 35) zwischen den Klemmen 1 und 2, der der Osramlampe zwischen den Klemmen 3 und 4, der der Tantallampe zwischen den Klemmen 5 und 6, der des Vorschaltwiderstandes zum Nernstfaden zwischen den Klemmen 7 und 8 und der des Nernstfadens selbst zwischen den Klemmen 9 und 10 gemessen.

Zu beachten ist bei diesen Messungen, daß man den Stromschlüssel nur ganz kurz herunterdrücken darf, da sich sonst durch den Strom die Fäden der Lampe erwärmen, wodurch ihr Widerstand wesentlich geändert wird.

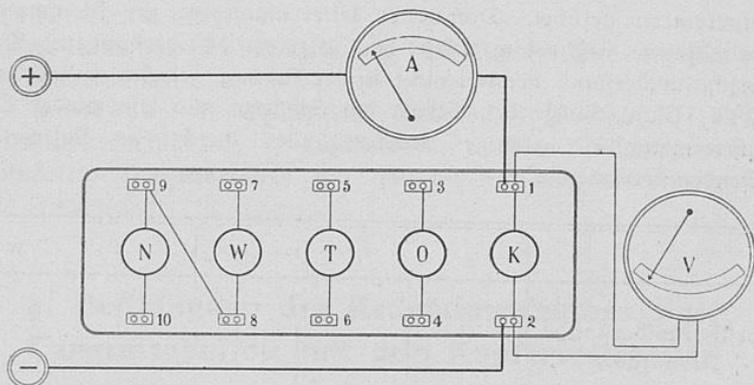
Die Messungen und Ergebnisse werden in folgender Tabelle niedergelegt:

|                     | Rheostat | Ableesungen<br>am Brückendraht |              | Widerstand |
|---------------------|----------|--------------------------------|--------------|------------|
|                     |          | Lampe links                    | Lampe rechts |            |
| Kohlenfadenlampe .  |          |                                |              |            |
| Osramlampe . . . .  |          |                                |              |            |
| Tantallampe . . . . |          |                                |              |            |
| Vorschaltwiderstand |          |                                |              |            |
| Nernstfaden . . . . |          |                                |              |            |

B. In heißem Zustande.

1. Die Kohlenfadenlampe.

a) Der Netzstrom wird zu zwei Fußklemmen geführt. Von der positiven leitet man den Strom durch ein Amperemeter (Vorzeichen!) und von ihm nach Klemme 1; Klemme 2 wird mit der negativen Fußklemme verbunden. Die Kohlenfadenlampe wird in der Fassung gelockert, so daß der Strom zunächst nicht hindurch-



gehen kann. Von den Klemmen 1 und 2 führt man zwei weitere Drähte nach dem Voltmeter (Vorzeichen!).

b) Man schließt jetzt den Strom am Schalter und lese am Amperemeter die geringe Stärke  $i_0$  des durch das Voltmeter gehenden Stromes ab.

|                     | $i_0$ | $i_1$ | $i = i_1 - i_0$ | e | w |
|---------------------|-------|-------|-----------------|---|---|
| Kohlenfadenlampe .  |       |       |                 |   |   |
| Osramlampe . . .    |       |       |                 |   |   |
| Tantallampe . . . . |       |       |                 |   |   |

c) Durch mäßiges Festdrehen der Kohlenfadenlampe schalte man sie ebenfalls ein. Sobald sich die Instrumente beruhigt haben, lese man am Amperemeter die jetzige Stromstärke  $i_1$  ab und am Voltmeter die Spannung e, mit der die Lampe brennt. Ausschalten! Die Lampe selbst brannte dann nur mit einem Strom von der (annähernden) Stärke  $i = i_1 - i_0$ .

d) Da jetzt für den Kohlenfaden die Stromstärke und die

Spannung, die an seinen Enden herrscht, bekannt sind, so läßt sich nach dem Ohmschen Gesetze sein Widerstand (im glühenden Zustande) berechnen.

2. und 3. In derselben Weise wird der Widerstand der Osram- und der Tantallampe bestimmt.

4. und 5. Vorschaltwiderstand (Eisendraht) und Nernstfaden (Magnesia MgO).

a) Der Strom wird wieder von der positiven Fußklemme zum Amperemeter geführt. Von dort leitet man ihn zur Klemme 7. Die negative Fußklemme wird mit Klemme 10 verbunden. Der Vorschaltwiderstand braucht nicht in der Fassung gelockert zu werden.

b) Man schließe den Strom am Schalter und lese wieder am Amperemeter die geringe Stärke  $i_0$  des durch das Voltmeter gehenden Stromes ab.

|  | $i_0$ | $i_1$ | $i = i_1 - i_0$ | e                   | w |
|--|-------|-------|-----------------|---------------------|---|
| Vorschaltwiderstand<br>+ Nernstfaden . . | }     | }     | }               | $e_1 =$             | — |
| Nernstfaden . . . .                      |       |       |                 | $e_2 =$             |   |
| Vorschaltwiderstand                      |       |       |                 | $e_3 = e_1 - e_2 =$ |   |

c) Mit Hilfe einer auf halbe Höhe eingestellten Bunsenflamme erhitzt man jetzt den Nernstfaden in allen seinen Teilen recht gleichmäßig, ohne die stromzuführenden Platindrähte zu stark zu erwärmen. Sobald der Nernstfaden von selbst zu leuchten anfängt, entferne man sofort die Flamme und schütze die Augen durch einen zwischen dem Nernstfaden und den elektrischen Meßinstrumenten aufgestellten Schirm. Sobald sich die Instrumente beruhigt haben, was hier mitunter recht lange dauert, lese man die Stromstärke  $i_1$  und zu gleicher Zeit die an den Enden von Vorschaltwiderstand + Nernstfaden herrschende Spannung  $e_1$  (siehe die Tabelle) ab.

d) Um auch die Spannung, mit der der Nernstfaden selbst brennt, zu erhalten, entferne man den positiven Voltmeterdraht von Klemme 7 und schraube ihn vorsichtig an Klemme 9 fest. Die Spannung  $e_2$ , die man so erhält, ist die des Nernstfadens. Damit ist zugleich die des Vorschaltwiderstandes bekannt. Ausschalten!

e) Man berechne für den Nernstfaden und den Vorschaltwiderstand nach dem Ohmschen Gesetze aus  $i$  und  $e$  den Widerstand (im glühenden Zustande).

f) Stelle zum Schluß in einer Tabelle die Widerstände der fünf Fäden in kaltem und in heißem Zustande einander gegenüber. Welche Fäden haben durch die Erhitzung an Widerstand zugenommen, welche haben abgenommen?

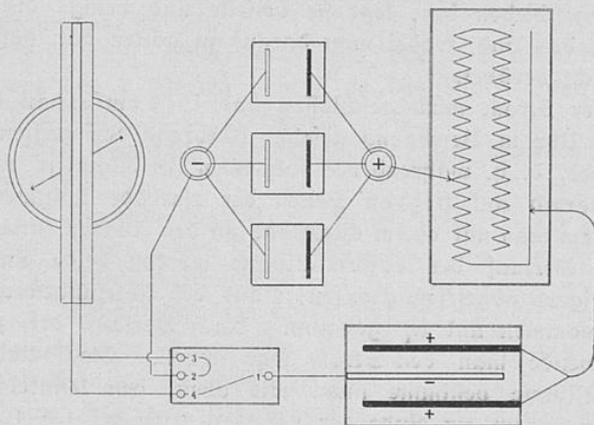
Wie stimmt dies mit den Ergebnissen der Aufgaben IV, Nr. 5 und IV, Nr. 7 überein?

Welchen Zweck hat also der dem Nernstfaden vorgeschaltete Eisenwiderstand?

Zubehör: A. Brücke mit Zubehör, 5 Lampen auf Brett.  
B. Starkstromanschluß, 2 Fußklemmen, Drähte, Milliampere-  
meter, Voltmeter, Bunsenbrenner mit langem Schlauch, Sicherung für  
das Ampere-meter (2 Amp.).

### 9. Bestimmung des Reduktionsfaktors einer Tangentenbusssole mit dem Kupfervoltmeter.

a) Man bringe den Ring der Tangentenbusssole in den magnetischen Meridian, richte sie mit Hilfe einer Wasserwaage horizontal und prüfe, ob auch die Gerade  $90^\circ - 90^\circ$  in der Ringebene und die Zeiger der Nadel (Klopfen!) annähernd auf  $0^\circ - 0^\circ$  stehen. Man verbinde zwei Fußklemmen vermittelst zweier



Kupferdrahtgabeln mit den Polen dreier parallel zu schaltender Akkumulatoren, führe von der positiven Fußklemme einen Draht nach dem Regulierwiderstand und von dem Gleitkontakt des Regulierwiderstandes einen gegabelten Draht zu den Kupferanoden des Voltameters. Die negative Fußklemme wird mit der Klemme 2 des Umschalters und seine Klemme 1 mit der Klemme der Hilfskathode verbunden, die in das Voltameter gesetzt wird. Von den Klemmen 3 und 4 führe man Drähte zur Tangentenbusssole.

Ändert sich beim Umschalten die Stromrichtung im Voltameter?

Ändert sich beim Umschalten die Stromrichtung in der Tangentenbusssole?

b) Nun schmirgele man die dünne Hauptkathode auf beiden Seiten vorsichtig ab, reinige sie mit fließpapier, ohne die blanken Fläche mit den Fingern zu berühren, hänge sie mit einem Haken an die rechte Schale der Waage, tariere aus und bestimme den Nullpunkt (s. I, Nr. 2). Bis zu ihrer späteren Benutzung lasse man sie an der arretierten Waage hängen.

c) Jetzt fülle man das Voltameter mit der Kupfersulfatlösung (Vorsicht: die Flüssigkeit enthält freie Schwefelsäure!), schließe den Strom am Umschalter, verändere den Regulierwiderstand so, daß sich die Nadel der Tangentenbusssole annähernd auf  $45^\circ$  einstellt (klopfen!), wende den Strom und prüfe, ob die Nadel auch jetzt denselben Winkel zeigt. Sollte dies nicht der Fall sein, so ist die Aufstellung der Tangentenbusssole entsprechend zu verbessern.

d) Ist alles so vorbereitet, öffne man den Strom, entferne die Hilfskathode, spüle sie ab, überzeuge sich, ob sich an ihr auch Kupfer abgeschieden hat, lege sie beiseite und bringe die Hauptkathode in das Bad, wobei man darauf zu achten hat, daß sie die Anoden nicht berührt.

e) Der Strom wird geschlossen und in demselben Augenblicke die Uhr in Bewegung gesetzt. Während des ganzen Stromdurchganges, d. h. während der folgenden 32 Minuten, wird das Bad dauernd auf beiden Seiten der Kathode langsam umgerührt, indem man mit einem Glasstabe an den Anoden entlangfährt.

Nach Verlauf der ersten Minute werden beide Enden des Busssolenzeigers abgelesen (klopfen!); aus den Ablesungen wird das Mittel genommen und  $\alpha_1$  genannt. Nach Verlauf der zweiten Minute wende man den Strom sehr schnell. Nach Ablauf der dritten Minute bestimme man, wie oben, den Winkel  $\alpha_2$  und wende den Strom am Ende der vierten Minute.

Die Beobachtungen und die Umschaltungen

in der 5. bis 8. Minute,

9. bis 12. Minute, usw. bis zur

29. bis 32. Minute

sind ebenso auszuführen wie in der 1. bis 4. Minute, nur daß nach Ablauf der 32. Minute der Strom **auszuschalten** ist.

Die Beobachtungen sind in folgender Weise aufzuschreiben:

| Minuten-<br>zahl | Zeigerende |       | $\alpha_1$ | Minuten-<br>zahl | Zeigerende |       | $\alpha_2$ |
|------------------|------------|-------|------------|------------------|------------|-------|------------|
|                  | westl.     | östl. |            |                  | westl.     | östl. |            |
| 1                |            |       |            | 3                |            |       |            |
| 5                |            |       |            | 7                |            |       |            |
| 9                |            |       |            | 11               |            |       |            |
| 13               |            |       |            | 15               |            |       |            |
| 17               |            |       |            | 19               |            |       |            |
| 21               |            |       |            | 23               |            |       |            |
| 25               |            |       |            | 27               |            |       |            |
| 29               |            |       |            | 31               |            |       |            |

f) Sofort nach dem Ausschalten wird die Kathode aus dem Bade entfernt, der Reihe nach mit Wasser, Alkohol und Äther abgespült und nach dem Trocknen auf die Wage zurückgebracht. Durch zwei Schwingungsbeobachtungen (s. I, Nr. 2) stelle man ihre Gewichtszunahme  $m$  fest.

g) Schließlich nehme man aus den 8 Werten von  $\alpha_1$  und ebenso aus den 8 Werten von  $\alpha_2$  je das Mittel, um aus beiden wieder das Mittel  $\alpha$  zu berechnen.

h) Die Beobachtungsergebnisse werden folgendermaßen zusammengestellt:

1. Gewichtszunahme  $m$  der Kathode: . . . . . g

2. Dauer  $\tau$  des Versuches: . . . . . min

3. Ablenkungswinkel  $\alpha$ : . . . . . °

4. Windungsradius  $r$  der Busssole: . . . . . cm.

i) 1 **Ampere** heißt die Stärke desjenigen Stromes, der in 1 Minute 0,01976 g Kupfer ausscheidet.

Welche Stärke  $i$  hat demnach der während des Versuches

benutzte Strom, wenn er nach unseren Beobachtungen in  $t = 32$  Minuten  $m$  Gramm Kupfer ausgeschieden hat?

k) Man berechne aus der Formel für die Tangentenbussole

$$i = R \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

den konstanten Faktor  $R$ , den sogenannten Reduktionsfaktor der Tangentenbussole.

1) Bedeutet  $H$  die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus (s. III, Nr. 2),  $r$  den Windungsradius der Bussole und  $n$  die Anzahl der Windungen (in unserem Falle  $n = 1$ ), so gilt die Formel

$$R = \frac{5 H r}{n \pi}$$

Aus ihr ist  $H$  zu berechnen.

Zubehör: Tangentenbussole, Wasserwage, 2 Fußklemmen, Kupferdrahtgabeln, 3 Akkumulatoren, Regulierwiderstand, Kupfervoltmeter, Umschalter, Schmirgelpapier, Fließpapier, Wage, Gewichtssaß, Kupfersulfatlösung, Glasstab, Beobachtungsuhr, Alkohol, Äther.

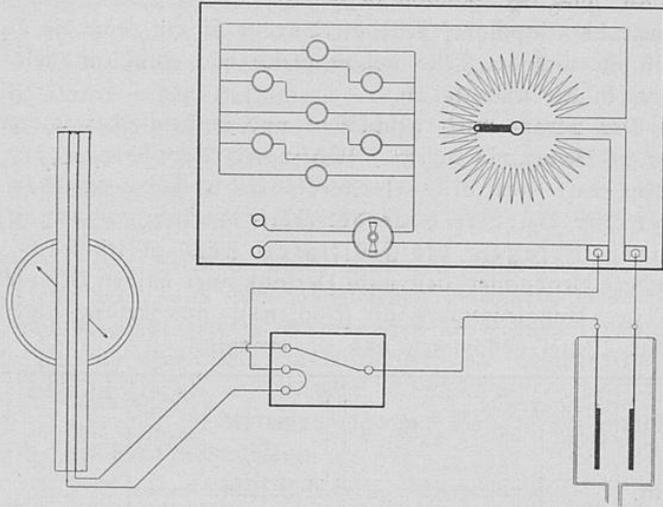
Anmerkung: Bei einem zweiten Versuche benutze man die zweite Wicklung der Tangentenbussole von 4 Windungen. Es ist dann nur 1 Akkumulator nötig; aber wegen der geringeren Stromstärke ist die Versuchsdauer auf 60 Minuten zu verlängern, um einen genügenden Kupferniederschlag zu erzeugen.  $n$  ist hier gleich 4 zu setzen.

## 10. Bestimmung des Reduktionsfaktors einer Tangentenbussole mit dem Knallgasvoltmeter.

a) Man bringe den Ring der Tangentenbussole in den magnetischen Meridian, richte sie mit Hilfe einer Wasserwage horizontal und prüfe, ob auch die Gerade  $90^\circ - 90^\circ$  in der Ringebene und die Zeiger der Nadel (klopfen!) annähernd auf  $0^\circ - 0^\circ$  stehen.

Man schließe den Glühlampen-Nebenschlußwiderstand an die Starkstromleitung an, führe von einer seiner Polklemmen einen Draht zur Klemme 2 des Umschalters, von Klemme 1 einen Draht zu einer Klemme des Knallgasvoltameters und verbinde die zweite Klemme des Voltameters mit der zweiten Polklemme des Widerstandes. Die Drähte, die zum Voltmeter führen, müssen so lang sein, daß sie ein bequemes Hoch- und Niedrigstellen der Zersetzung-

zelle gestatten. Von den Klemmen 3 und 4 des Umschalters führe man Drähte zur Tangentenbusssole (4 Windungen).



Ändert sich beim Umschalten die Stromrichtung im Voltameter?

Ändert sich beim Umschalten die Stromrichtung in der Tangentenbusssole?

b) Nachdem Bürette und Zersetzungszelle mittelst des Gummischlauches untereinander verbunden sind, wird die Bürette so hoch gestellt, daß sich ihr Strich „Null“ ungefähr 1 cm unter der unteren fläche des Gummistöpsels im Voltameter befindet. Der Gummistöpsel mit Elektroden und Thermometer wird entfernt und in die Zersetzungszelle die Natronlauge (äußerste Vorsicht!) gegossen. Aus dem Schlauche muß die Luft durch vorsichtiges Drücken entfernt werden, bis die Flüssigkeit in beiden Gefäßen gleich hoch steht. Man fülle bis zum Striche „Null“ und setze den Gummistöpsel mit den Elektroden und dem Thermometer bei geöffneter Kapillare ziemlich fest auf.

c) Nun schließe man den Strom am Schalter des Glühlampenwiderstandes und schalte so viele Lampen ein, daß die Nadel der Tangentenbusssole zwischen  $40^\circ$  und  $45^\circ$  zeigt. Die Kurbel dient zur feineren Einstellung (klopfen!). Man wende den Strom und prüfe, ob die Nadel auch jetzt noch denselben Winkel zeigt. Sollte

dies nicht der Fall sein, so ist die Aufstellung der Tangentenbussole entsprechend zu verbessern.

d) Ist alles so vorbereitet, öffne man den Strom am Schalter, warte ab, bis der Schaum in der Zersetzungszelle vergangen ist, verschließe die Kapillare, stelle die Bürette so ein, daß die Natronlauge in ihr und der Zelle genau gleich hoch steht, und lese ihren Stand  $v_1$  in der Bürette ab.

e) Der Strom wird geschlossen und in demselben Augenblicke die Uhr in Bewegung gesetzt. Während der folgenden sechs Minuten hat der eine Beobachter durch dauerndes Verschieben der Bürette oder der Zelle dafür zu sorgen, daß in beiden Gefäßen die Flüssigkeit stets gleich hoch steht. Der andere Beobachter liest nach Verlauf einer halben Minute beide Enden des Bussolezeigers ab (klopfen!); aus beiden Ablesungen wird das Mittel genommen und  $\alpha_1$  genannt.

| Zeit     | Zeigerende |       | $\alpha_1$ | Zeit     | Zeigerende |       | $\alpha_2$ |
|----------|------------|-------|------------|----------|------------|-------|------------|
|          | westl.     | östl. |            |          | westl.     | östl. |            |
| 0,5 Min. |            |       |            | 1,5 Min. |            |       |            |
| 2,5 "    |            |       |            | 3,5 "    |            |       |            |
| 4,5 "    |            |       |            | 5,5 "    |            |       |            |

Nach Verlauf einer ganzen Minute wird der Strom sehr schnell gewendet. Nach Ablauf von 1,5 Minuten bestimme man durch Ablesung beider Zeigerenden den Winkel  $\alpha_2$  und wende den Strom am Ende der zweiten Minute. — Die Beobachtungen und Umschaltungen in der 3. bis 4. Minute und in der 5. bis 6. Minute

sind in gleicher Weise auszuführen, nur daß am Ende der sechsten Minute der Strom **auszuschalten** ist. Alle Beobachtungen sind in die Tabelle einzutragen. Aus den drei Werten von  $\alpha_1$  und ebenso aus den drei Werten von  $\alpha_2$  nehme man je die Mittel, um aus beiden wiederum das Mittel  $\alpha$  zu bilden.

f) Man warte, bis der Schaum vergangen ist, stelle beide Flüssigkeitsspiegel genau gleich hoch und lese den Stand  $v_2$  in der Bürette ab.

Außerdem ist noch die Temperatur  $t$  des Knallgases, der Stand  $h$  des Barometers und seine Temperatur  $T$  zu beobachten.

Die Beobachtungsergebnisse werden in folgender Weise zusammengestellt:

.

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. Anfangsstellung $v_1$ der Natronlauge.        | Beispiel:<br>0,2 ccm |
| 2. Endstellung $v_2$ der Natronlauge.            | 68,7 ccm             |
| 3. Volumen $v$ des Knallgases. $v = v_2 - v_1$ . | 68,5 ccm             |
| 4. Temperatur $t$ des Knallgases.                | 24,3°                |
| 5. Dauer $\tau$ des Versuches.                   | 6 min                |
| 6. Ablenkungswinkel $\alpha$ .                   | 42,34°               |
| 7. Stand $b$ des Barometers.                     | 756,3 mm             |
| 8. Temperatur $T$ des Barometers.                | 21,0°                |
| 9. Windungsradius $r$ der Buffsole.              | 13,21 cm             |

g) Um den Druck  $p$ , unter dem das Knallgas in der Zersetzungszelle steht, aus dem abgelesenen Barometerstande  $b$  abzuleiten, sind folgende zwei Verbesserungen an  $b$  anzubringen:

1. Da das Quecksilber im Barometer die Temperatur  $T$  hat, also leichter ist als bei 0°, so steht es höher, als es bei 0° stehen würde. Deswegen ist die aus folgender Tabelle zu entnehmende Größe  $k$  von  $b$  zu subtrahieren:

| Temperatur $T$<br>des Barometers | $k$       |
|----------------------------------|-----------|
| 14 °                             | 1,8 mm Hg |
| 15 °                             | 1,9       |
| 16 °                             | 2,1       |
| 17 °                             | 2,2       |
| 18 °                             | 2,3       |
| 19 °                             | 2,5       |
| 20 °                             | 2,6       |
| 21 °                             | 2,7       |
| 22 °                             | 2,9       |
| 23 °                             | 3,0       |
| 24 °                             | 3,1       |
| 25 °                             | 3,3       |
| 26 °                             | 3,4       |
| 27 °                             | 3,5       |
| 28 °                             | 3,7       |
| 29 °                             | 3,8       |

2. Da ferner das abgeschiedene Knallgas feucht ist, so ist von dem auf 0° reduzierten Barometerstande noch der Druck d des Wasserdampfes über der Natronlauge abzuziehen. d ist aus folgender Tabelle zu entnehmen:

| Temperatur t<br>des Knallgases | d          |
|--------------------------------|------------|
| 14 °                           | 11,1 mm Hg |
| 15 °                           | 11,8       |
| 16 °                           | 12,6       |
| 17 °                           | 13,5       |
| 18 °                           | 14,3       |
| 19 °                           | 15,3       |
| 20 °                           | 16,2       |
| 21 °                           | 17,2       |
| 22 °                           | 18,3       |
| 23 °                           | 19,4       |
| 24 °                           | 20,6       |
| 25 °                           | 21,9       |
| 26 °                           | 23,3       |
| 27 °                           | 24,6       |
| 28 °                           | 26,1       |
| 29 °                           | 27,7       |

Es ist daher  $p = b - (k + d)$ .

Beispiel:  $p = 756,3 - (2,7 + 21,0) = 732,6$  mm.

h) Bedeutet nun  $v_0$  das Volumen einer Gasmenge im Normalzustand (d. h. bei 0° und unter dem Druck  $p_0 = 760$  mm Hg),  $v$  dagegen ihr Volumen bei einem anderen Drucke  $p$  und einer anderen Temperatur  $t$ , so gilt, wenn  $\alpha$  den Ausdehnungskoeffizienten des feuchten Gases bedeutet, die Gleichung von Boyle-Mariotte-Gay-Lussac

$$p_0 v_0 \cdot (1 + \alpha t) = p v.$$

Man setze  $p_0 = 760$ ,  $\alpha = 0,004$  und die beobachteten Größen  $p$ ,  $v$  und  $t$  ein und berechne  $v_0$ .

Beispiel:  $\log v_0 = 1,7796$

$$v_0 = 60,2 \text{ ccm.}$$

i) 1 Ampere liefert in 1 Minute 10,44 ccm Knallgas vom Normalzustand.

Welche Stärke  $i$  hat demnach der während des Versuches benutzte Strom, wenn er nach unseren Beobachtungen in  $t = 6$  Minuten  $v_0$  ccm Knallgas ausgeschieden hat?

$$\text{Beispiel: } \log i = 9,9827 - 10$$

$$i = 0,961 \text{ Amp.}$$

k) Man berechne aus der Formel für die Tangentenbusssole (s. IV, Nr. 9 k) den konstanten Faktor  $R$ , den Reduktionsfaktor der Tangentenbusssole.

$$\text{Beispiel: } \log R = 0,0231$$

$$R = 1,055.$$

l) Bedeutet  $H$  die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus (s. III, Nr. 2) und  $r$  den Windungsradius der Busssole, so gilt bei 4 Windungen die Formel (s. IV, Nr. 9 l, Anm.)

$$R = \frac{5 H r}{4 \pi}.$$

Aus ihr ist  $H$  zu berechnen.

$$\text{Beispiel: } H = 0,201.$$

Vergleiche diesen Wert mit den früher (s. III, Nr. 3 i und IV, Nr. 9 l) bestimmten.

m) Der Versuch ist unter möglichst denselben Bedingungen mindestens noch zweimal anzustellen; aus den Werten von  $R$  und  $H$  sind die Mittel zu nehmen.

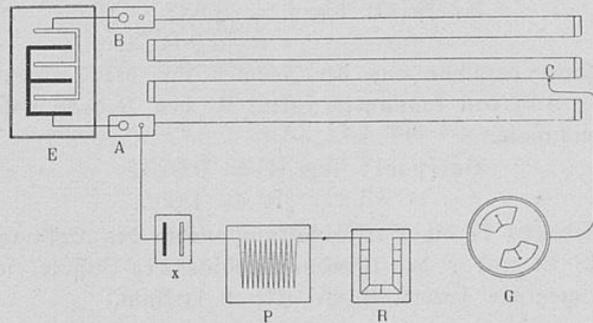
Zubehör: Tangentenbusssole, Wasserwage, Nebenschlußwiderstand, Umschalter, Knallgasvoltmeter, Schmirgelpapier, Natronlauge, fl. Trichter mit Glasschale, Beobachtungsuhr.

## 11. Spannungsmessungen an galvanischen Elementen.

a) Zur Wiederholung: Eine konstante, widerstandslos gedachte Stromquelle von der elektromotorischen Kraft  $E$  Volt (z. B. ein großplattiger Akkumulator) sei durch einen längeren Draht  $AB$  von genügendem und überaus gleichmäßigem Widerstande geschlossen. Ein zweiter, beliebiger Draht sei von  $A$  aus über ein Element von der Spannung  $x$  Volt, über ein Galvanometer  $G$  und über eine bewegliche Schneide nach einem Punkte  $C$  auf  $AB$  geführt. Dabei seien von beiden Stromquellen die gleichnamigen Pole mit  $A$  verbunden. Dann fließt im allgemeinen auch durch den Zweig  $AxGC$

Strom. Verändert man die Lage des Punktes C auf AB so lange, bis das Galvanometer keinen Strom zeigt, so gilt die Gleichung

$$x : E = AC : AB.$$



b) Man schlieÙe den Akkumulator durch zwei kurze, sehr dicke Drähte aus elektrolytischem Kupfer (Enden blank schmirgeln!) an die Klemmen A und B des 360 cm langen Spannungsdrahtes an, den positiven Pol mit A verbindend. Von der zweiten Klemme des Messingstückes A führe man einen Draht nach dem positiven Pole des Leclanché-Elementes x, gehe von seinem negativen Pole über einen Widerstand von 1000 Ohm (P), über einen Rheostaten R, in dem sämtlicher Widerstand eingeschaltet wird, und über ein Galvanometer nach der beweglichen Schneide.

c) Jetzt suche man auf dem Spannungsdrahte AB mit Hilfe der in die Hand zu nehmenden Schneide, den Draht anfangs nur sehr kurze Zeit und vorsichtig berührend, einen solchen Punkt  $C_1$ , daß das Galvanometer keinen Strom zeigt. Dann schalte man die 1000 Ohm aus und suche den Punkt  $C_1$  scharfer zu bestimmen. Hat man wiederum eine solche Stelle gefunden, so schalte man im Rheostaten den größten dort vorhandenen Widerstand aus, suche erneut den Punkt  $C_1$  und fahre so fort, die Einzelwiderstände aus dem Rheostaten der Reihe nach ausschaltend, bis bei Berührung des Punktes  $C_1$ , auch bei völlig ausgeschaltetem Widerstande in P und R, das Galvanometer keinen Strom zeigt. Man lese die Nummer des Drahtes, auf dem  $C_1$  liegt, sowie seine Lage auf diesem Drahte ab (Zehntel Millimeter schätzend) und trage beide Zahlen in die erste Zeile folgender Tabelle ein.

| Leclanché-Element     | Draht-Nr. | Lage von $C_1$<br>bzw. $C_2$ |               |
|-----------------------|-----------|------------------------------|---------------|
| 1. Positive Pole an A |           |                              | $AC_1 : AB =$ |
| 2. Negative Pole an B |           |                              | $BC_2 : BA =$ |

Mittel:

d) Man löse nunmehr die Verbindung des positiven Poles des Leclanché-Elementes mit A und verändere die Schaltung in der Weise, daß der negative Pol des Leclanché-Elementes mit B verbunden wird und sein positiver Pol zum 1000-Ohm-Widerstand führt. Sämtliche Widerstände sind einzuschalten.

Welche Lage muß (ungefähr) der Punkt  $C_2$  haben, der jetzt mit der Schneide berührt werden muß, wenn das Galvanometer stromlos werden soll?

Bestimme den Punkt  $C_2$  genau in der schon eben ausgeführten Art, einen Widerstand nach dem andern ausschaltend, und trage die erhaltenen Zahlen (Nummer des Drahtes; Lage von  $C_2$  auf diesem Drahte) in die zweite Zeile obiger Tabelle ein. Berechne in beiden Zeilen die Verhältnisse  $AC_1 : AB$  bzw.  $BC_2 : BA$  und nimm aus ihnen das Mittel. Da dies gleich  $x : E$  ist, so ist  $x$  zu finden, sobald  $E$  bekannt ist. Nimmt man vorläufig für  $E$  den angenäherten Wert 2, so erhält man auch einen angenäherten Wert für  $x$ , die Spannung des Leclanché-Elementes. Man berechne diesen Näherungswert.

e) Stelle einen ebensolchen angenäherten Wert für die Spannung des Meidinger-Elementes fest, noch einmal eine Tabelle, wie unter c) angegeben, für dieses Element ausfüllend.

f) Um schließlich den genauen Wert von  $E$ , d. h. der Spannung, die zwischen den Klemmen A und B herrscht, zu finden, verfähre man folgendermaßen:

Genau in derselben Weise, wie bisher schon zweimal, führe man den Vergleich zwischen der Spannung des Akkumulators ( $E$ ) und der des Normalelementes ( $N$ ) aus, wiederum zwei Punkte  $C_1$  und  $C_2$  auf dem Drahte AB bestimmend, deren Berührung\*) das Galvanometer stromlos macht, und wiederum in den Proportionen

$$N : E = AC_1 : AB \text{ und}$$

$$N : E = BC_2 : BA$$

\*) Hierbei muß äußerst vorsichtig verfahren werden, da durch das Normalelement, soll es nicht unbrauchbar werden, fast gar kein Strom gehen darf!

das Mittel der rechten Seiten nehmend. Da nun die konstante Spannung des verwendeten Kadmiumnormalelementes  $N = 1,090$  ist, so läßt sich  $E$  berechnen.

g) Benutze zum Schluß für die Berechnung der Spannung des Leclanché- und des Meidinger-Elementes diesen genauen Wert von  $E$ .

Zubehör: Großplattiger Akkumulator, zwei kurze dicke Drähte aus elektrolytischem Kupfer, Spannungsdraht auf Holzplatte, bewegliche Schneide, Leclanché-, Meidinger- und Normal-Element, 1000-Ohm-Widerstand, Rheostat, Galvanometer, Schmirgelpapier.

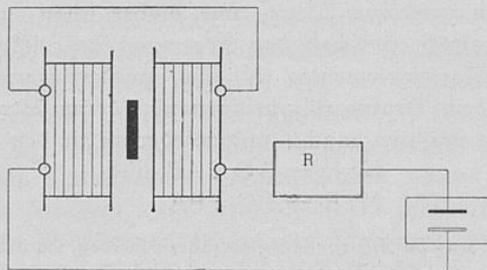
## 12. Bestimmung der elektromotorischen Kraft eines Thermoelementes.

### A. Aufstellung des Galvanometers.

a) Man hebe den Stift, an dem der Kokonfaden angeknüpft ist, langsam so lange, bis der Magnet in der Höhe der Spulenmitte schwebt. Dann stelle man das Galvanometer mit Hilfe der Fußschrauben so ein, daß der Faden genau in der Achse der Glasröhre hängt, der Magnet sich also vollständig frei drehen kann, was man leicht durch vorsichtige Annäherung eines Stückes Eisen (Schlüssel) zu prüfen imstande ist.

b) Man beleuchte die Skala auf der Innenwand der Dose durch eine Glühlampe und gebe dem Sehrohr eine solche Länge, daß man sowohl die Skalenstriche, als auch die Marke auf dem Spiegel scharf sieht. Darauf drehe man die Dose so lange, bis die Spiegelmarke auf Null steht, sie also das Spiegelbild der Sehrohröffnung zu halbieren scheint.

c) Beide Spulen bringe man nunmehr in eine solche Entfernung von dem Magneten, daß die auf ihren Schlitten angebrachte Marke auf Strich 4 zu stehen kommt. Man schalte beide Spulen hinter-



einander, indem man die positive Klemme der einen mit der negativen der anderen Spule verbindet. An den beiden anderen Klemmen bringe man zwei je 0,5 m lange, blank geschmirgelte Drähte an. Der hölzerne Spulenträger wird so weit herumgedreht, daß die Spulenebene der Magnetnadelebene parallel liegt.

d) Unter Einschaltung von 150 Ohm Widerstand schießt man jetzt den Strom eines (nicht frisch geladenen!) Akkumulators durch die Spulen, liest ab, kommutiert den Strom, indem man die Drähte am Akkumulator vertauscht, und liest wieder ab. Sind beide Ablesungen nicht vollkommen gleich (z. B. 46,4° und 42,2°), so dreht man den hölzernen Spulenträger äußerst vorsichtig so lange, bis die Spiegelmarke auf das Mittel beider Ablesungen (hier also 44,3°) einspielt. Hierauf kommutiert man abermals und wiederholt das Verfahren, wenn die Ablesungen noch nicht gleich sein sollten. Ist dies erreicht, wird der Spulenträger (unter Kontrolle der Einstellung) festgeklemmt. Beim Ausschalten des Stromes muß die Spiegelmarke auf Null zurückgehen. Von jetzt ab darf das Galvanometer vorläufig an keinem seiner Teile mehr berührt werden.

### B. Aufstellung des Thermoelementes.

a) Das Thermoelement, das aus fünf hintereinander gelöteten Eisen-Neusilber-Elementen besteht, wird an seinem Stative in einer solchen Höhe angebracht, daß die Lötstellen tief in die beiden auf Dreifüßen stehenden Metallbecher eintauchen.

b) Beide Becher werden mit Öl bis 4 cm vom Rande gefüllt. In das Öl wird je ein Thermometer so tief gehängt, daß sich die Quecksilbergefäße in gleicher Höhe mit den Lötstellen befinden. Zwischen beide Becher bringt man einen Asbestschirm und stellt unter den dem Galvanometer abgewandten Becher einen Brenner.

c) Die von den Spulen des Galvanometers kommenden Drähte werden direkt an die Klemmen des fünffachen Thermoelementes geschraubt.

### C. Beobachtung der Thermoströme.

a) Hat das Öl in beiden Bechern wirklich die gleiche (Zimmer-) Temperatur, so wird das Galvanometer auf Null stehen bleiben. Deshalb dürfen wir in der ersten Zeile der folgenden Tabelle  $t_2 - t_1 = 0$  und  $\alpha = 0$  setzen.

| Tab. I. | Erstes<br>Thermometer<br>$t_1$ | Zweites<br>Thermometer<br>$t_2$ | $t_2 - t_1$ | $\alpha$       | R        |
|---------|--------------------------------|---------------------------------|-------------|----------------|----------|
| 1.      | —                              | —                               | 0           | $\alpha_1 = 0$ | $\infty$ |
| 2.      |                                |                                 |             | $\alpha_2 =$   |          |
| 3.      |                                |                                 |             | $\alpha_3 =$   |          |
| 4.      |                                |                                 |             | $\alpha_4 =$   |          |
| 5.      |                                |                                 |             | $\alpha_5 =$   |          |

b) Man erwärme das Öl in dem einen Becher unter fleißigem Rühren bis auf ungefähr  $50^\circ$ , wobei man mit dem Erwärmen rechtzeitig aufhören muß, da das Thermometer nach der Wegnahme des Brenners noch einige Grade in die Höhe geht. Steigt das Thermometer nicht mehr, so lese man zu gleicher Zeit den Ablenkungswinkel  $\alpha$  und beide Temperaturen  $t_1$  und  $t_2$  ab und trage diese drei Werte in die zweite Zeile der Tabelle ein.

c) Dieselben Messungen werden bei ungefähr  $100^\circ$ ,  $150^\circ$  und  $200^\circ$  gemacht.

d) Beide Drähte werden vom Thermoelement vorsichtig abgeschraubt, das Thermoelement wird aus dem Ölbad herausgehoben und der ganze Apparat zum Abtropfen und Abkühlen beiseite gestellt. (Das Galvanometer nicht berühren!)

#### D. Eichung des Galvanometers.

a) Man stelle wieder die ursprüngliche Schaltung (Spulen — Rheostat — Akkumulator) her und wähle hierbei die Pole des Akkumulators so, daß die Magnetnadel in derselben Richtung ausschlägt wie durch die Thermostrome.

b) Man schalte nun so viel Widerstand ein, daß der vorhin abgelesene Winkel  $\alpha_2$  wieder erscheint, und trage die Größe des hierzu erforderlichen Rheostatenwiderstandes in die nächste Spalte der Tabelle ein.

c) Dasselbe wiederhole man bei den Winkeln  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  und  $\alpha_5$ .

d) Zum Schluß wird die elektromotorische Kraft  $E$  des verwendeten Akkumulators mit einem Voltmeter gemessen.

#### E. Widerstandsmessungen.

a) Man entferne die beiden Spulen von dem hölzernen Spulenträger, ohne die drei an ihnen befestigten Drähte zu entfernen, baue die Wheatstonesche Brücke auf und bestimme mit ihr den Widerstand  $w_1$  der hintereinander geschalteten Spulen. Als Vergleichswiderstand benutze man 1 Ohm.

b) Ebenso bestimme man mit der Brücke den Widerstand  $w_2$  des ursprünglichen Thermostromkreises, d. h. den Widerstand, der entsteht, wenn man die Spulen und das (völlig abgekühlte) Thermo-  
element hintereinander schaltet.

F. Berechnung.

| Tab. II. | R        | R + $w_1$ | i         | e         |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 1.       | $\infty$ | $\infty$  | $i_1 = 0$ | $e_1 = 0$ |
| 2.       |          |           |           |           |
| 3.       |          |           |           |           |
| 4.       |          |           |           |           |
| 5.       |          |           |           |           |

a) Nach dem Ohmschen Gesetze lassen sich jetzt die in den einzelnen Messungen unter D verwendeten, den beobachteten Ablenkungswinkeln entsprechenden Stromstärken  $i$  (in Amp.) berechnen (s. die Tabelle).

b) Sind jetzt die einzelnen Stromstärken  $i$  bekannt, die wegen der gleichen Ablenkungswinkel auch bei den Beobachtungen der Thermoströme (unter C) herrschten, so läßt sich (wieder nach dem Ohmschen Gesetze) aus ihnen und dem Gesamtwiderstande  $w_2$  des Thermostromkreises die jedesmal vorhandene elektromotorische Kraft  $e$  (in Volt) des fünffachen Thermo-  
elementes bestimmen. Sämtliche  $e$  werden in obige Tabelle eingetragen.

c) Man stelle aus den beiden schon vorhandenen Tabellen die sich entsprechenden Größen  $t_2 - t_1$  und  $e$  in einer dritten zusammen und berechne für jedes der vier Temperaturintervalle (ähnlich wie in IV, Nr. 5 e) die Differenz der Temperaturen und der elektromotorischen Kräfte.

| Tab. III. | $t_2 - t_1$ | e | dt | de | de : dt |
|-----------|-------------|---|----|----|---------|
| 1.        |             |   |    |    |         |
| 2.        |             |   |    |    |         |
| 3.        |             |   |    |    |         |
| 4.        |             |   |    |    |         |
| 5.        |             |   |    |    |         |

Mittel:

4\*

d) Um wieviel ändert sich in jedem der vier Intervalle die elektromotorische Kraft des fünffachen Thermoelementes, wenn der Temperaturunterschied um  $1^\circ$  wächst?

e) Man nehme aus diesen vier Änderungen, die für  $1^\circ$  gelten, das Mittel.

f) Um die elektromotorische Kraft eines einzelnen Elementes Eisen-Neusilber bei  $1^\circ$  Temperaturunterschied der Lötstellen zu erhalten, hat man hiervon noch den fünften Teil zu nehmen.

Zubehör: Galvanometer, elektr. Lampe, Rheostat, Akkumulator, Thermoelement mit Zubehör, Öl, 2 Thermometer, Rührer, Schirm, Brenner, Voltmeter, Brücke mit Zubehör.

### 13. Wie hängt das magnetische Moment einer Spule von der Stromstärke ab?

A. Bestimmung des magnetischen Momentes des Normalmagneten.

a) Das Ablenkungsmagnetometer (s. III, 2, erster Teil) wird genau horizontal so aufgestellt, daß seine Schiene die Ost-West-Richtung einnimmt und der Zeiger der Magnetnadel auf  $0^\circ - 0^\circ$  einspielt.

b) Dann lege man den Normalmagneten\*) von 10 cm Länge so in die Schiene, daß seine Mitte von der Nadelmittle  $r = 35$  cm entfernt ist,

1. auf der östlichen Seite der Nadel mit seinem Nordpol nach Westen,

2. " " " " " " " " " " Osten,

3. " " westlichen " " " " " " " " Westen,

4. " " " " " " " " " " Osten,

lese in allen vier Lagen beide Zeigerenden der Magnetnadel ab (klopfen!), trage dabei jede Ableseung in eine Tabelle (s. S. 10) ein, nehme aus den so erhaltenen 8 Winkeln das Mittel und nenne es  $\varphi$ .

c) Mit Hilfe der auf Seite 12 unter k) abgeleiteten Formel 
$$\frac{M}{H} = \frac{(r^2 - L^2)^2}{2r} \cdot \text{tg } \varphi$$
 berechne man  $M$ , das magnetische Moment des Normalmagneten, unter Berücksichtigung des am angeführten

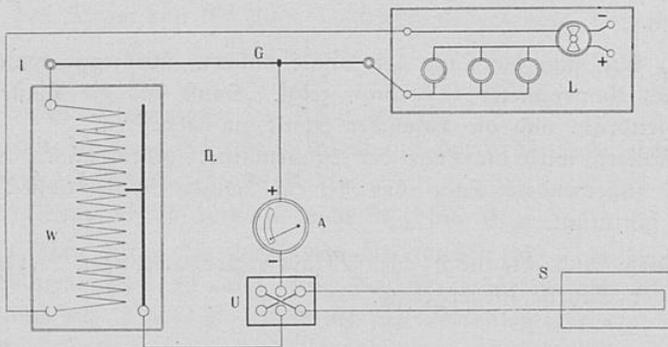
\*) Bewahre den Normalmagneten vor Feuchtigkeit, vor Erschütterungen und vor dem Einfluß galvanischer Ströme!

Orte unter l) und m) Gesagten. Für H ist der für den Beobachtungsort im Zimmer gültige Wert zu setzen.

### B. Aufstellung der übrigen Apparate.

Während der jetzt folgenden Aufstellung darf das Magnetometer nicht von seinem Platze entfernt werden.

a) Man schließe den Lampenwiderstand L an die Starkstromleitung an (Lampen lockern!), verbinde darauf seine positive Klemme mit



einer Klemme des Gleitdrahtes G und die andere Klemme dieses mit einer Klemme des Schieberwiderstandes W. Führt man dann einen Draht von der zweiten Klemme des Schieberwiderstandes nach der negativen Klemme des Lampenwiderstandes, so ist der Hauptstromkreis (I) gebildet. Man überzeuge sich hiervon, indem man eine Lampe niederschraubt und den Schalter schließt. Schalter öffnen!

b) Der Nebenschluß-Stromkreis (II) wird folgendermaßen gebildet: Von der Schiebeklemme des Gleitdrahtes führe man den Strom zur positiven Klemme des Amperemeters, von dessen negativer Klemme zum Umschalter U und von dessen zweiter Klemme zur Schieberstange des Widerstandes W. Von der dritten und vierten Klemme des Umschalters führe man zur Spule S zwei Drähte von solcher Länge, daß die Spule bequem an jede Stelle der Magnetometerschiene gelegt werden kann.

C. Beobachtungen.

a) Man bringe den Normalmagneten wieder in die oben angegebene Lage 1, schraube eine Lampe nieder, schließe den Schalter und bringe den Strom im Kreise II zuerst angenähert mit Hilfe des Schieberwiderstandes W und dann genau mit dem Gleitdraht G auf die Stärke von 0,3 Amp.

b) Legt man dann die Spule auf den westlichen Teil der Magnetometerschiene, so kann man der Spule eine solche Entfernung von der Magnetnadel geben, daß die Wirkung des Normalmagneten und der Spule sich gegenseitig aufheben (nötigenfalls in U umschalten!), das heißt, daß der Zeiger der Nadel (klopfen!) auf Null einspielt.

c) Ehe man die Lage der Spule notiert, überzeuge man sich, daß das Amperemeter 0,3 Amp. zeigt. Sonst sind die Einstellung am Gleitdraht und die Lage der Spule zu verbessern.

Notiert wird die Lage der Spulenmitte, indem man das der Nadel zugewendete Ende der 10 cm langen Spule abliest und 5 cm hinzufügt.

Diese und die noch anzustellenden Beobachtungen werden in folgender Tabelle niedergelegt:

| Stromstärke<br>in Amp. | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Lage 1                 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Lage 2                 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Lage 3                 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Lage 4                 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mittel:                | a = | b = | c = | d = | e = | f = | g = | h = |

d) Man entferne den Normalmagneten, wende die Stromrichtung und bringe den Magneten mit vertauschten Polen an seine frühere Stelle (Lage 2). Wieder suche man durch Verschieben der Spule die Nullstellung der Nadel zu erreichen und notiere (Stromstärke prüfen!) die Lage der Spulenmitte.

e) Dieselben Beobachtungen führe man in der dritten und

vierten Lage des Normalmagneten aus, indem man jetzt Magnet und Spule vertausche.

Aus den vier Ableisungen nehme man das Mittel und nenne es a.

f) Man wiederhole diese vier Ableisungen für die in der Tabelle angegebenen Stromstärken bis 1 Amp. und nenne die entsprechenden Mittel b bis h. Ausschalten!

D. Berechnung der zugehörigen Momente der Spule.

a) für die Ablenkung der Nadel durch den Normalmagneten gilt, wie oben,  $\frac{M}{H} = \frac{(r^2 - L^2)^2}{2r} \cdot \text{tg } \varphi$ . Ebenso besteht für das durch den Strom von 0,3 Amp. in der Spule erzeugte Moment  $M_{0,3}$  die Gleichung  $\frac{M_{0,3}}{H} = \frac{(a^2 - L^2)^2}{2a} \cdot \text{tg } \varphi$ . Warum haben  $\varphi$  und L in beiden Gleichungen denselben Wert?

Man dividiere die zweite Gleichung durch die erste, berechne  $M_{0,3}$  und setze die Zahlenwerte ein.

b) Entsprechend berechne man  $M_{0,4}$  bis  $M_{1,0}$ .

c) Man trage die erhaltenen Werte von  $M_{0,3}$  bis  $M_{1,0}$  auf Koordinatenpapier (2 mm) auf, die Stromstärken als Abszissen (0,1 Amp. als 2 cm), die Momente als Ordinaten (100 als 2 cm).

Was folgt aus der so erhaltenen Kurve?

Zubehör: Ablenkungsmagnetometer, Wasserwaage, Normalmagnet, Lampenwiderstand, Gleitdraht, Schieberwiderstand, Ampere-meter, Umschalter, Spule, Millimeterpapier (2 mm).

## 14. Bestimmung des induzierten Magnetismus.

a) Man baue sämtliche Apparate in derselben Weise wie in der vorigen Übung auf, und zwar an der gleichen Stelle des Zimmers.

b) Dann bringe man den Normalmagneten in die Lage 1 (f. S. 9 u. 52) und stelle den Strom der Spule auf 0,3 Amp. Diese Stromstärke halte man während der ganzen Arbeit konstant.

c) Man führe zunächst den Nickelfern in die Spule ein und bringe in sämtlichen vier Lagen des Normalmagneten die Spule in solche Entfernung von der Magnetnadel, daß ihr Zeiger auf Null zurückgeht.

| 0,3 Amp.       | Nickel           | Stahl            | Eisen            | Eisendrähte      |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Lage 1         |                  |                  |                  |                  |
| Lage 2         |                  |                  |                  |                  |
| Lage 3         |                  |                  |                  |                  |
| Lage 4         |                  |                  |                  |                  |
| Mittel:        | s =              | t =              | u =              | v =              |
| Gewichte:      | m <sub>1</sub> = | m <sub>2</sub> = | m <sub>3</sub> = | m <sub>4</sub> = |
| Induz. Moment: |                  |                  |                  |                  |
| Spez. Magn.:   | J <sub>1</sub> = | J <sub>2</sub> = | J <sub>3</sub> = | J <sub>4</sub> = |

In vorstehende Tabelle werden die Entfernungen der Spulennitte von der Nadel in bekannter Weise eingetragen; aus ihnen wird das Mittel genommen und s genannt.

d) In derselben Weise verfährt man mit dem Stahlkern, dem massiven Eisenkern und dem Kern aus Eisendrähten.

e) Von allen vier Kernen stelle man schließlich das Gewicht fest (Sehtel Gramme!).

f) Nennt man  $M_1$  das Moment der Spule mit Nickelkern bei 0,3 Amp. Stromstärke, so läßt sich  $M_1$ , wie unter D, a) der vorigen Übung angegeben, berechnen.

Wie groß ist (nach der vorigen Übung) das Moment der leeren Spule bei 0,3 Amp.?

Wie groß ist also das Moment, das dadurch neu entsteht, daß der Nickelkern in die Spule eingeführt worden ist? Wir nennen es das induzierte Moment und tragen es in die Tabelle ein.

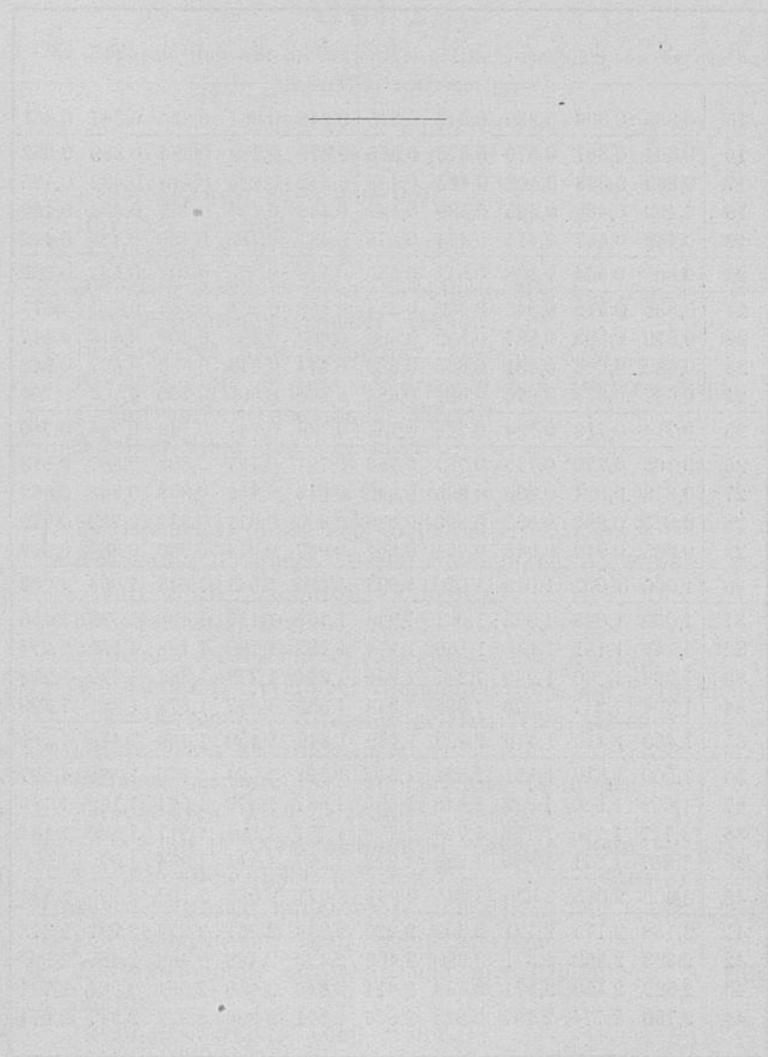
g) Wie groß wäre das induzierte Moment geworden, wenn es nicht von 0,3 Amp., sondern von 1 Amp. erzeugt worden wäre?

Welcher Teil  $J_1$  dieses in unserer Spule durch 1 Amp. erzeugten Momentes kommt auf 1 g des Nickelkernes? Wir nennen diese Größe  $J_1$  den spezifischen induzierten Magnetismus des Nickels für unsere Spule.

h) Man berechne die entsprechenden Größen  $J_2$ ,  $J_3$  und  $J_4$  für die übrigen Kerne und trage sie in die Tabelle ein.

Welcher Kern ist zur Erzeugung starker Elektromagnete der geeignetste?

Zubehör: Wie in der vorigen Übung; außerdem vier Metallferne, Wage, Gewichtsmaß.



$$\frac{a}{60-a}$$

| a  | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6      | 7     | 8     | 9     |    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----|
| 15 | 0,333 | 0,336 | 0,339 | 0,342 | 0,345 | 0,348 | 0,351  | 0,354 | 0,357 | 0,361 | 3  |
| 16 | 0,364 | 0,367 | 0,370 | 0,373 | 0,376 | 0,379 | 0,382  | 0,386 | 0,389 | 0,392 | 3  |
| 17 | 0,395 | 0,399 | 0,402 | 0,405 | 0,408 | 0,412 | 0,415  | 0,418 | 0,422 | 0,425 | 4  |
| 18 | 0,429 | 0,432 | 0,435 | 0,439 | 0,442 | 0,446 | 0,449  | 0,453 | 0,456 | 0,460 | 3  |
| 19 | 0,463 | 0,467 | 0,471 | 0,474 | 0,478 | 0,481 | 0,485  | 0,489 | 0,493 | 0,496 | 4  |
| 20 | 0,500 | 0,504 | 0,508 | 0,511 | 0,515 | 0,519 | 0,523  | 0,527 | 0,531 | 0,535 | 3  |
| 21 | 0,538 | 0,542 | 0,546 | 0,550 | 0,554 | 0,558 | 0,563  | 0,567 | 0,571 | 0,575 | 4  |
| 22 | 0,579 | 0,583 | 0,587 | 0,592 | 0,596 | 0,600 | 0,604  | 0,609 | 0,613 | 0,617 | 5  |
| 23 | 0,622 | 0,626 | 0,631 | 0,635 | 0,639 | 0,644 | 0,648  | 0,653 | 0,657 | 0,662 | 5  |
| 24 | 0,667 | 0,671 | 0,676 | 0,681 | 0,685 | 0,690 | 0,695  | 0,700 | 0,705 | 0,709 | 5  |
| 25 | 0,714 | 0,719 | 0,724 | 0,729 | 0,734 | 0,739 | 0,744  | 0,749 | 0,754 | 0,760 | 5  |
| 26 | 0,765 | 0,770 | 0,775 | 0,781 | 0,786 | 0,791 | 0,797  | 0,802 | 0,807 | 0,813 | 5  |
| 27 | 0,818 | 0,824 | 0,829 | 0,835 | 0,840 | 0,846 | 0,852  | 0,858 | 0,863 | 0,869 | 6  |
| 28 | 0,875 | 0,881 | 0,887 | 0,893 | 0,899 | 0,905 | 0,911  | 0,917 | 0,923 | 0,929 | 6  |
| 29 | 0,935 | 0,942 | 0,948 | 0,954 | 0,961 | 0,967 | 0,974  | 0,980 | 0,987 | 0,993 | 7  |
| 30 | 1,000 | 1,007 | 1,013 | 1,020 | 1,027 | 1,034 | 1,041  | 1,048 | 1,055 | 1,062 | 7  |
| 31 | 1,069 | 1,076 | 1,083 | 1,091 | 1,098 | 1,105 | 1,113  | 1,120 | 1,128 | 1,135 | 8  |
| 32 | 1,143 | 1,151 | 1,158 | 1,166 | 1,174 | 1,182 | 1,190  | 1,198 | 1,206 | 1,214 | 8  |
| 33 | 1,222 | 1,230 | 1,239 | 1,247 | 1,256 | 1,264 | 1,273  | 1,281 | 1,290 | 1,299 | 9  |
| 34 | 1,308 | 1,317 | 1,326 | 1,335 | 1,344 | 1,353 | 1,362  | 1,372 | 1,381 | 1,390 | 10 |
| 35 | 1,400 | 1,410 | 1,419 | 1,429 | 1,439 | 1,449 | 1,459  | 1,469 | 1,479 | 1,490 | 10 |
| 36 | 1,500 | 1,510 | 1,521 | 1,532 | 1,542 | 1,553 | 1,564  | 1,575 | 1,586 | 1,597 | 12 |
| 37 | 1,609 | 1,620 | 1,632 | 1,643 | 1,655 | 1,667 | 1,679  | 1,691 | 1,703 | 1,715 | 12 |
| 38 | 1,727 | 1,740 | 1,752 | 1,765 | 1,778 | 1,791 | 1,804  | 1,817 | 1,830 | 1,844 | 13 |
| 39 | 1,857 | 1,871 | 1,885 | 1,899 | 1,913 | 1,927 | 1,941  | 1,956 | 1,970 | 1,985 | 15 |
| 40 | 2,000 | 2,015 | 2,030 | 2,046 | 2,061 | 2,077 | 2,093  | 2,109 | 2,125 | 2,141 | 17 |
| 41 | 2,158 | 2,175 | 2,191 | 2,209 | 2,226 | 2,243 | 2,261  | 2,279 | 2,297 | 2,315 | 18 |
| 42 | 2,333 | 2,352 | 2,371 | 2,390 | 2,409 | 2,429 | 2,448  | 2,468 | 2,488 | 2,509 | 21 |
| 43 | 2,529 | 2,550 | 2,571 | 2,593 | 2,614 | 2,636 | 2,659  | 2,681 | 2,704 | 2,727 | 23 |
| 44 | 2,750 | 2,774 | 2,797 | 2,822 | 2,846 | 2,871 | 2,896* | 2,922 | 2,947 | 2,974 | 26 |