

Dritte Abteilung:

## Magnetismus.

### 1. (Vorübung:) Bestimmung der Beschleunigung durch die Schwere mit dem Pendel.

A. (Zur Wiederholung:)

Bedeutet  $t$  die Schwingungsdauer, d. h. die Dauer eines Hin- und Herganges eines Fadenpendels,  $l$  seine Länge und  $g$  die Beschleunigung durch die Schwere, so gilt für kleine Schwingungsweiten die Formel

$$t = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Ist also für ein Pendel  $t$  (in sec) und  $l$  (in cm) gemessen, so kann daraus die Größe  $g$  (in cm) berechnet werden.

B. Aufstellung des Apparates.

Unter die drei Fußschrauben des Apparates lege man, um den Tisch nicht zu verletzen, die drei beigegebenen Fußplatten und stelle den Apparat mit Hilfe des Lotes und der Fußschrauben senkrecht. Man lockere die beiden Schrauben der am Kopfe des Apparates befindlichen Klemmbaue, mache durch Drehung des den faden aufwickelnden Rades das Pendel wenig länger als 90 cm und ziehe die beiden Schrauben wieder mäßig an.

C. Bestimmung einiger Wertepaare von  $t$  und  $l$ .

a) Man versetze das Pendel in kleine Schwingungen, zähle „Null“, wenn die Kugel von rechts nach links durch die Ruhelage geht, setze in demselben Augenblicke die Beobachtungsuhr in Gang und lege sie auf den Tisch zurück.

„Eins“, „Zwei“, „Drei“, „Vier“ usw. zähle man bei jedem der folgenden Durchgänge durch die Ruhelage (von rechts nach links!) und notiere die vollen Zehner „Zehn“, „Zwanzig“, „Dreißig“ usw.

bis „Neunzig“ durch Striche im Hest. Nach „Neunzig“ nehme man die Beobachtungsuhr zur Hand, um sie genau bei „Hundert“ anzuhalten.

Man lese auf der Uhr die Zeit der hundert Schwingungen ab und dividiere sie durch 100, um die Zeit  $t_1$  einer Schwingung zu erhalten.

b) Ein kleines rechtwinkliges Dreieck führe man mit einer Kathete an dem Maßstabe des Apparates von unten her entlang, bis die andere Kathete den unteren Rand der Pendelfugel gerade berührt, und lese an der Marke des Dreiecks die Einstellung  $L_1$  ab, wobei Zehntel Millimeter zu schätzen sind.

Die Ergebnisse dieser und der noch anzustellenden Messungen werden in folgende Tabelle eingetragen:

	Dauer einer Schwingung	Ablebung am unteren Kugelrande	Pendellänge $l = L - (a + r + \epsilon)$	Beschleunigung
1.	$t_1 =$ sec	$L_1 =$ cm	$l_1 =$ cm	$g_1 =$ cm
2.	$t_2 =$	$L_2 =$	$l_2 =$	$g_2 =$
3.	$t_3 =$	$L_3 =$	$l_3 =$	$g_3 =$
4.	$t_4 =$	$L_4 =$	$l_4 =$	$g_4 =$

c) Man lockere die beiden Schrauben, drehe das Rad um ungefähr  $45^\circ$  links herum, um den Pendelfaden etwas zu verkürzen, und ziehe die Schrauben wieder mäßig an.

Jetzt bestimme man ein zweites Paar zueinander gehöriger Werte von  $t$  und  $L$ .

Ein drittes und ein viertes Paar wird ebenso gemessen.

d) Um aus den Werten von  $L$  (Ablebungen am unteren Rande der Pendelfugel) die wahre Pendellänge  $l$  zu erhalten, ist folgendermaßen zu verfahren:

Da die Pendellänge gleich der Entfernung des Aufhängepunktes vom Schwerpunkt (Mittelpunkt) der Kugel ist, so stelle man mit dem rechtwinkligen Dreieck zunächst auf den unteren Rand der Klemmbaue ein (Einstellung  $a$ ), alsdann messe man mit der Schublehre den senkrechten Durchmesser der Kugel (die Öse nicht mitmessen!) und berechne daraus ihren Radius  $r$ . Von  $L$  wäre also die Größe  $(a + r)$  zu subtrahieren.

Wegen der Steifheit des Fadens ist  $L$  ferner um eine Größe  $\epsilon$  zu vermindern, die von der Art und der Beschaffenheit des Fadens abhängt und für den benutzten Faden auf dem Apparate vermerkt ist.

Jede Ableseung  $L$  ist daher um die konstante Größe  $(a + r + \epsilon)$  zu vermindern, um die wahre Pendellänge zu ergeben:

$$l = L - (a + r + \epsilon).$$

#### D. Berechnung von $g$ .

Aus der unter A. angegebenen Pendelformel drücke man  $g$  durch  $t$  und  $l$  aus und setze viermal die erhaltenen Wertepaare von  $t$  und  $l$  ein. Aus den vier Werten von  $g$  ist das Mittel zu nehmen.

Zubehör: Pendelapparat, Uhr, Dreieck, Schublehre.

## 2. Bestimmung der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus\*).

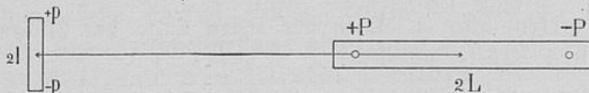
Erster Teil: Bestimmung von  $M : H$ .

(Gesetz von Coulomb: Die Kraft, mit der sich zwei Magnetpole anziehen oder abstoßen, ist gleich dem Produkt aus der Stärke der beiden Pole, dividiert durch das Quadrat ihrer Entfernung.)

a) Das Ablenkungsmagnetometer 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 beigegebenen Magnetstab so in die Schiene, daß seine Mitte von der Nadelmittle  $r_1 = 24$  cm entfernt ist,

1. auf der östl. Seite der Nadel mit seinem Nordpol nach Westen,
2. " " " " " " " " " " Osten,
3. " " westl. " " " " " " " " Westen,
4. " " " " " " " " " " Osten,



\* Sämtliches Eisen aus der Nähe (aus den Taschen, Stahlkneifer) entfernen!

lese in allen 4 Lagen beide Zeigerenden der Magnetnadel ab (klopfen!), trage dabei jede Ableseung in folgende Tabelle ein, nehme aus den erhaltenen 8 Winkeln das Mittel und nenne es  $\varphi_1$ .

Abstand r	$r_1 = 24$ cm				$r_2 = 22$ cm				usw.
Lage des Magnetstabes:	östl.		westl.		östl.		westl.		
Zeigerende:	ö.	w.	ö.	w.	ö.	w.	ö.	w.	
Nord- pol nach	Westen								
	Östen								
Ablenkungs- winkel	$\varphi_1 =$				$\varphi_2 =$				

c) Außer bei einer Entfernung von 24 cm werden die gleichen Beobachtungen bei 22, 20, 18, 16 und 14 cm wiederholt.

d) Der Zusammenhang zwischen r und  $\varphi$  wird auf Millimeterpapier (2 mm) graphisch dargestellt, die Entfernungen r als Abszissen (2 cm als 2 cm) und die Winkel  $\varphi$  als Ordinaten ( $1^\circ$  als 2 mm).

e) Es sei (s. figur):

- p die Stärke jedes Poles der Magnetnadel,
- 2l der gegenseitige Abstand der Pole der Magnetnadel,
- P die Stärke jedes Poles des Magnetstabes,
- 2L der gegenseitige Abstand der Pole des Magnetstabes und
- r die Entfernung der Mitteln von Magnetnadel und Magnetstab.

Es wirken also (z. B. in der ersten Lage des Magnetstabes) im ganzen 4 Kräfte, nämlich:

1. zwischen dem Nordpol p und dem Nordpol P in der Entfernung  $r - L$ ,
2. " " Südpol p " " Nordpol P " " "  $r - L$ ,
3. " " Nordpol p " " Südpol P " " "  $r + L$ ,
4. " " Südpol p " " Südpol P " " "  $r + L$ .

f) Wie groß sind nach dem Gesetz von Coulomb diese vier Kräfte?

Welche dieser vier Kräfte drehen die Nadel links herum, welche rechts herum?

Aus welchem Grunde sind die linksdrehenden Kräfte größer als die rechtsdrehenden?

In welcher Drehungsrichtung wird also die Gesamtheit der vier Kräfte die Nadel zu bewegen suchen?

Man bilde die Resultierende  $R_1$  dieser vier Kräfte, indem man von der Summe der beiden linksdrehenden die Summe der beiden rechtsdrehenden Kräfte subtrahiert.

g) Der so gefundene Ausdruck läßt sich noch vereinfachen: Man klammere  $2 Pp$  aus und bringe die Differenz in der entstehenden Klammer auf gleichen Nenner, wobei man im Zähler, aber nicht im Nenner ausmultipliziere. Der Nenner läßt sich vielmehr als **ein** Quadrat schreiben. Im Zähler setze man schließlich für das Produkt aus der gegenseitigen Entfernung ( $z L$ ) der Pole des Magnetstabes und seiner Polstärke ( $P$ ) die Bezeichnung  $M$  („Magnetisches Moment“ des Stabes).

Wie würde diese Kraft  $R_1$  die Nadel stellen, wenn neben ihr andere Kräfte nicht vorhanden wären?

h) Auf die Nadel des Magnetometers wirkt aber außerdem der Erdmagnetismus.

Da sich die Nadel nur um eine vertikale Achse drehen kann, so kommt seine Stärke allein in horizontaler Richtung (seine Horizontalkomponente) in Betracht.

Bezeichnen wir diese mit  $H$ , so sind die Kräfte zwischen ihr und den Polen der Nadel  $H_p$  und  $H_p$ . Nach welcher Richtung sind diese beiden Kräfte die beliebig gestellte Nadel zu drehen bestrebt? Heben sie sich gegenseitig auf oder verstärken sie sich? Wie groß ist also ihre Resultierende  $R_2$ ?

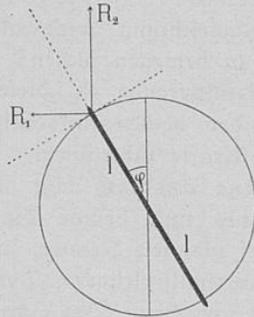
Wie stellt diese Kraft  $R_2$  die Nadel, wenn keine andere Kraft vorhanden ist?

i) Unter dem Einfluß beider Kräfte  $R_1$  und  $R_2$  wird die Nadel also eine Zwischenstellung einnehmen und mit dem magnetischen Meridian den Winkel  $\varphi$  bilden, der beobachtet worden ist.

Beide Kräfte  $R_1$  und  $R_2$  zerlege man nach der Nadelrichtung und nach der dazu senkrechten Tangente.

Die beiden Komponenten in der Nadelrichtung ändern offenbar

an der Einstellung der Nadel nichts; die beiden Komponenten  $K_1$  und  $K_2$  in der Tangentialrichtung wirken in zwei zueinander entgegengesetzten Richtungen und müssen daher, soll Gleichgewicht herrschen, einander gleich sein.



Man drücke diese beiden Komponenten  $K_1$  und  $K_2$  durch  $R_1$  bzw.  $R_2$  und  $\varphi$  aus und setze ihre Werte einander gleich. In die entstehende Gleichung sind die unter g) und h) berechneten allgemeinen Werte von  $R_1$  und  $R_2$  einzusetzen.

k) Welche Größe fällt aus der Gleichung fort, hat also keinen Einfluß auf den Ablenkungswinkel?

Man berechne aus der Gleichung das Verhältnis

$$M : H.$$

l) Außer den beobachteten Größen  $r$  und  $\varphi$  kommt in der Gleichung nur noch die konstante Größe  $L$  vor, das ist der halbe gegenseitige Abstand der beiden Pole des Magnetstabes (s. die erste Figur). Um  $L$  zu finden, messe man mit der Schublehre die Länge des Magnetstabes.  $2L$ , der Abstand der beiden Pole, ist dann erfahrungsgemäß genau genug gleich  $\frac{5}{6}$  der gemessenen Länge zu nehmen,  $L$  also gleich  $\frac{5}{12}$  von ihr.

m) Bei der Einsetzung der sechs Wertepaare von  $r$  und  $\varphi$  in die Gleichung für  $M : H$  berechne man stets zuerst den Logarithmus des Faktors von  $\operatorname{tg} \varphi$ , füge erst dann jedesmal  $\log \operatorname{tg} \varphi$  hinzu und nehme den Numerus.

Aus den sechs Werten von  $M : H$  ist das Mittel zu nehmen.

Zubehör: Ablenkungsmagnetometer, Wasserwaage, Stahlmagnet, Schublehre.

Zweiter Teil: Bestimmung von  $M \cdot H^*$ .

a) Das Schwingungsmagnetometer wird an derselben Stelle des Tisches, an der das Ablenkungsmagnetometer stand, aufgestellt und seine Achse, die durch einen langen schwarzen Strich auf der Spiegelscheibe am Boden des Apparates angegeben ist, zunächst annähernd in den magnetischen Meridian gebracht.

b) Die seitlichen Glasfenster werden entfernt. Um die Drillung des Aufhängefadens aufzuheben, wird in den an einem Kokonfaden (Vorsicht!) hängenden Bügel der Messingstab gelegt, der mit dem Magnetstabe gleiches Gewicht hat.

c) Ist der Messingstab zur Ruhe gekommen (öfters anhalten!), so nehme man ihn aus seinem Lager heraus, ohne den Faden sich wieder drillen zu lassen, lege statt seiner den Magneten, der zur Bestimmung von  $M : H$  gedient hat, hinein, Nordpol nach Norden, und verschließe die Glasfenster.

d) Man drehe die Achse des Magnetometers genau in den magnetischen Meridian und bringe, wenn der Magnetstab nicht mehr schaukelt, ihn durch langsame Annäherung eines Stückes Eisen (z. B. eines Schlüssels) in äußerst kleine Schwingungen.

e) Man beobachte die Zeit von 50 Schwingungen dreimal und dividiere die Summe der drei Zeiten durch 150, um die Dauer  $t$  einer Schwingung zu erhalten.

f) Ferner bestimme man das Gewicht  $m$  des Magnetstabes, sowie mit der Schublehre seine Länge  $\lambda$  und seine Dicke  $\delta$ . Alle beobachteten Größen werden in folgender Tabelle zusammengestellt:

	Beispiel:
Schwingungsdauer $t$ . . . . .	7,406 sec
Gewicht $m$ . . . . .	9,00 g
Länge $\lambda$ . . . . .	5,22 cm
Dicke $\delta$ . . . . .	0,54 cm

g) Der schwingende Magnetstab stellt ein Pendel vor, für dessen Schwingungsdauer die Formel gilt

$$t = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\text{Trägheitsmoment}}{\text{Drehungsmoment}}}$$

1. Das Trägheitsmoment  $T$  unseres rechteckigen Stabes ist

$$T = \frac{m}{12} (\lambda^2 + \delta^2). \quad \text{Beispiel: } T = 20,66.$$

\*) Siehe die Fußnote auf Seite 9.

2. Das Drehungsmoment entsteht durch die Wirkung der Horizontalkomponente  $H$  auf die beiden Pole  $P$  und  $P$  und ist daher, da es am Hebelarme  $L$  (halbe Entfernung der beiden Pole) wirkt,  $HPL + HPL = 2HPL$ . Setzt man für  $2PL$  wiederum  $M^*$ ), so folgt für das Drehungsmoment der Ausdruck  $M \cdot H$ .

h) Man setze  $T$  und  $M \cdot H$  in die Pendelformel ein und berechne aus ihr erst allgemein, dann unter Einsetzung der entsprechenden Zahlenwerte, die Größe  $M \cdot H$ .

Beispiel:  $M \cdot H = 14,87$ .

i) Aus  $M \cdot H$  und  $M : H$  folgt durch Multiplikation und Division  $M$  und  $H$ .

Beispiel:  $M \cdot H = 14,87$ ;  $M : H = 417,0$ ;  $M = 78,74$ ;  $H = 0,189$ .

k) Aus  $M = 2PL$  läßt sich noch  $P$  berechnen, da  $2L$  der Abstand der Pole ist.

Beispiel:  $P = 18,10$ .

Zubehör: Schwingungsmagnetometer, Magnetstab, Messingstab, Wage, Gewichtssatz, Schublehre, Beobachtungsuhr.

### 3. Die Inklination zu bestimmen\*\*).

(Inklination heißt der Winkel, den eine im Schwerpunkt aufgehängte Magnetnadel mit der Horizontalebene bildet.)

a) Der Teilkreis des Inklinatoriums wird horizontal gestellt und das Inklinatorium so gedreht, daß die Nadel möglichst genau auf  $0^\circ - 0^\circ$  einspielt (klopfen!).

b) Nun wird der Teilkreis zur senkrechten Lage umgelegt, etwa nach Osten, und in dieser Stellung der Winkel an beiden Nadelenden abgelesen, wobei Zehntel Grade zu schätzen sind.

Dann wird der Teilkreis nach Westen umgelegt, ohne die Stellung des Inklinatoriums sonst im geringsten zu verändern, und ebenso verfahren.

Hierauf lege man die Nadel in ihren Lagern um und lese wieder ab.

Zuletzt lege man den Teilkreis nach Osten zurück und bestimme abermals die beiden Winkel.

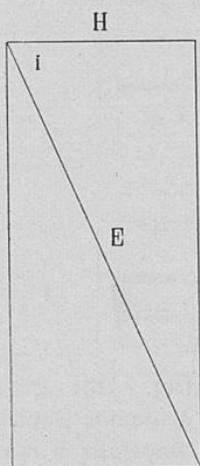
\*) Siehe Seite 11.

\*\*\*) Sämtliches Eisen aus der Nähe (aus den Taschen; Stahlknäuel) entfernen

c) Jetzt wird die Nadel wieder aus ihren Lagern herausgenommen und ummagnetisiert, indem man im ganzen etwa 10mal die beiden Hälften mit den gleichnamigen Polen eines kräftigen Hufeisenmagneten von der Mitte nach den Enden zu streicht, und zwar zuerst beide Enden 4mal, dann 3mal, dann 2mal und 1mal.

d) Die Nadel wird wieder eingelegt, und es werden von neuem 8 Ableesungen in der unter b) angegebenen Weise vorgenommen.

	I.				II. Nadel ummagnetisiert			
	urspr. Lage		umgelegt		urspr. Lage		umgelegt	
	ob.	unt.	ob.	unt.	ob.	unt.	ob.	unt.
Kreis nach Osten								
Kreis n. Westen								



e) Alle 16 Winkel (bei der Hälfte aller Ableesungen ist das Komplement der abgelesenen Winkel zu nehmen!) werden zu einem Mittel zusammengefaßt, das die Inklination vorstellt.

f) Schließlich wird die Nadel wieder ummagnetisiert.

g) Auf diese Weise wird die Inklination noch mindestens zweimal bestimmt; aus den drei erhaltenen Werten ist das Mittel zu nehmen.

h) Aus der Inklination  $i$  und der Horizontal-Komponente des Erdmagnetismus ( $H$  s. III, Nr. 2) läßt sich, wie in der Figur angedeutet, die Stärke des Erdmagnetismus berechnen.

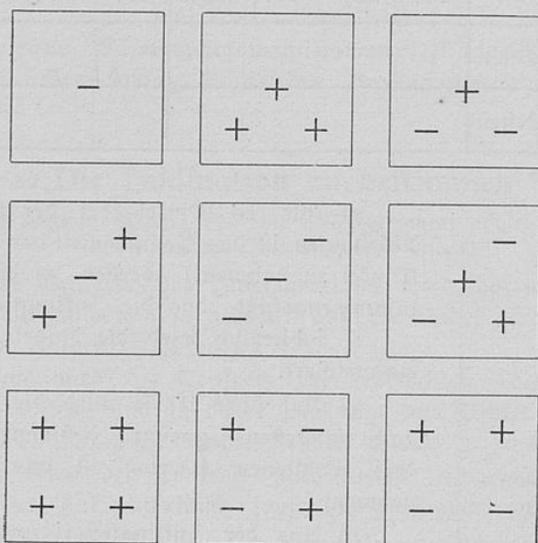
Zubehör: Inklinatorium, Magnet.

#### 4. Kraftlinienbilder.

a) Man bedecke die Stelle des Tisches, an der man zu arbeiten hat, mit einigen Bogen Zeitungspapier. Dann stelle man das Holzgestell darauf, das zur Aufnahme der Magnetstäbe dient, und um es herum die drei Holzfüße, die die drei Messingschrauben des Holzrahmens tragen sollen.

Der Holzrahmen wird in folgender Weise gespannt: Ein in richtiger Größe zugeschnittenes Papier wird mit einem Reißnagel an einer Ecke befestigt. Der zweite Reißnagel wird an der der ersten Ecke diagonal gegenüberliegenden unter Straffziehen des Papiers eingedrückt. Erst dann werden die beiden übrigen Ecken des Papiers befestigt.

b) Nachdem man einen oder mehrere Magnetstäbe nach einem der in der Abbildung dargestellten Beispiele in das Holzgestell



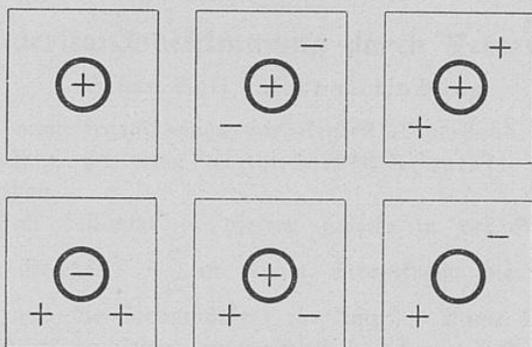
gebracht hat, wird der Holzrahmen darüber gesetzt. Mit Hilfe seiner drei Messingschrauben gelingt es leicht, das gespannte Papier horizontal zu stellen und in einen Abstand von ungefähr 5 mm von den Polflächen zu bringen.

c) Aus nicht zu geringer Höhe (40 bis 50 cm) streut man nun aus einem Siebchen Eisenfeilicht über das Papier. Ein vorsichtiges Klopfen (mit einem Bleistift) trägt zur guten Aus-

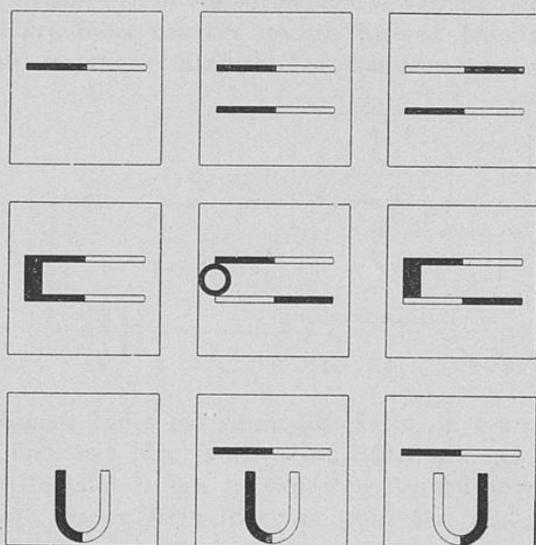
bildung des Kraftlinienbildes bei. Nach mehrmaligen Versuchen erhält man bald ein gutes Bild.

d) Um dieses zu fixieren, bläst man aus einem Sprüher Schellacklösung aus einer Höhe von ungefähr 20 cm nicht zu heftig darüber, bis das Papier ganz gleichmäßig feucht erscheint. Nach einigen Minuten kann man das Blatt herunter nehmen und zum vollständigen Trocknen beiseite legen.

e) Ebenso läßt sich der Einfluß eines Ringes aus weichem Eisen nach folgenden Beispielen darstellen:



f) Will man die Kraftlinien von ganzen Magneten fixieren,



so lege man das Holzgestell um und verkürze die Holzfüße entsprechend. Als Beispiele hierfür mögen die in der unteren Abbildung auf Seite 17 angegebenen Stellungen dienen.

Zubehör: Zeitungspapier, Apparat für Kraftlinienbilder, Schreibpapier, Reißnagel, Sieb mit Eisenfeilicht, Sprüher mit Schellacklösung.