

# Stromwaage / Kraft auf einen stromdurchflossene Leiter



Physik

Elektrizität &amp; Magnetismus

Magnetismus &amp; magnetisches Feld



Schwierigkeitsgrad

schwer



Gruppengröße

-



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

20 Minuten

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/66c4642fb9bed30002dfccdf>

PHYWE



# Allgemeine Informationen

## Anmeldung

PHYWE



Abb. 1: Versuchsaufbau

Die Lorentzkraft wird in der Teilchenphysik vielfach zur Kontrolle der Bewegungsrichtung geladener Teilchen und zur Identifizierung bestimmter Teilchen verwendet.

## Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE



**Prior**

**Wissen**



**Hauptseite**

**Prinzip**

Das Vorwissen für dieses Experiment finden Sie im Abschnitt Theorie.

Die Kraft, die auf eine stromdurchflossene Leiterschleife in einem einheitlichen Magnetfeld wirkt (Lorentzkraft), wird mit einer Waage gemessen.

Leiterschleifen unterschiedlicher Größe werden nacheinander an der Waage aufgehängt, und die Lorentzkraft wird in Abhängigkeit von der Stromstärke und der magnetischen Induktion bestimmt. Das gleichmäßige Magnetfeld wird durch einen Elektromagneten erzeugt. Die magnetische Induktion kann mit dem Spulenstrom

## Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE



**Lernen**

**Zielsetzung**



**Aufgaben**

Das Ziel dieses Experiments ist es, die Lorentzkraft zu untersuchen.

1. Die Richtung der Kraft ist in Abhängigkeit von der Stromstärke und der Richtung des Magnetfeldes zu bestimmen.
2. Gemessen werden soll die Kraft  $F$  in Abhängigkeit vom Strom  $I_L$  in der Leiterschleife, mit einer konstanten magnetischen Induktion  $B$  und für Leiterschleifen unterschiedlicher Größe. Die magnetische Induktion ist zu berechnen.
3. Gemessen werden soll die Kraft  $F$  in Abhängigkeit vom Spulenstrom  $I_M$  für eine Leiterschleife. In dem betrachteten Bereich ist die magnetische Induktion  $H$  mit ausreichender Genauigkeit proportional zum Spulenstrom  $I_M$ .

## Theorie

PHYWE

In einem magnetischen Feld mit einer magnetischen Induktion  $\vec{B}$  eine Kraft  $\vec{F}$  (Lorentzkraft) wirkt auf einen bewegten Ladungsträger mit der Ladung  $q$  und der Geschwindigkeit  $\vec{v}$ :  $\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \cdot \vec{B})$  (1)

Der Kraftvektor  $\vec{F}$  senkrecht zu der Ebene steht, die von  $\vec{v}$  und  $\vec{B}$ . Bei diesem Versuch  $\vec{v}$  und  $\vec{B}$  stehen ebenfalls im rechten Winkel zueinander, so dass für die Werte der Vektoren folgende Beziehung gilt:

$$F = q \cdot v \cdot B(2)$$

Die Geschwindigkeit der Ladungsträger (Elektronen) wird über den elektrischen Strom gemessen  $I_L$  im Leiter. Für  $q$  muss die Gesamtladung der Elektronen im Abschnitt des Leiters der Länge  $l$  formuliert werden:

$$q \cdot v = I_L \cdot l(3)$$

Für die Lorentz-Kraft ergibt sich also Folgendes:  $F = I_L \cdot l \cdot B(4)$

## Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	PHYWE Netzgerät, universal mit Analoganzeige, RiSU 2023 konform, DC: 18 V, 5 A / AC: 15 V, 5 A	13503-93	1
2	Brückengleichrichter 250 V~/5 A-	06031-11	1
3	Ausschalter	06004-00	1
4	PHYWE Dreifuß, für 1 Stange, d ≤ 14 mm	02002-55	2
5	Stativstange, Edelstahl, l = 1000 mm, d = 12 mm	02034-00	1
6	Doppelmuffe EXPERT, für Kreuz-,T- oder Parallelspeisung mit Gelenkschraube	02054-00	1
7	Verteiler	06024-00	1
8	Metallband mit Steckern	06410-00	2
9	Eisenkern, U-förmig, geblättert	06501-00	1
10	Spule, 900 Windungen	06512-01	2
11	PHYWE Digitalmultimeter, 600V AC/DC, 10A AC/DC, 20 MΩ, 200μF, 20 kHz, -20°C...760°C	07122-00	2
12	Verbindungsleitung, 19 A, 10 cm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07359-17	1
13	Verbindungsleitung, 32 A, 25 cm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07360-01	2
14	Verbindungsleitung, 32 A, 25 cm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07360-04	2
15	Verbindungsleitung, 32 A, 50 cm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07361-01	2
16	Verbindungsleitung, 32 A, 50 cm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07361-04	1
17	Verbindungsleitung, 32 A, 150 cm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07364-01	1
18	Verbindungsleitung, 32 A, 150 cm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07364-04	1
19	Stromwaage	11081-88	1

PHYWE



# Aufbau und Durchführung

## Aufbau

PHYWE

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 1 dargestellt: Die Spulen des Elektromagneten sind in Reihe geschaltet und werden über ein Amperemeter, einen Schalter und einen Brückengleichrichter an den Wechselspannungsausgang des Netzteils angeschlossen. Für die ersten beiden Teile des Versuchs wird eine feste Spannung von 12 V AC gewählt und der zugehörige Strom  $I_M$  in den Spulen wird gemessen.

Die Leiterschleifen werden über zwei leichte, flexible Metallstreifen zunächst an einen Verteiler und dann über ein Amperemeter an den Gleichspannungsausgang der Versorgungseinheit angeschlossen. Der Abstand zwischen den Metallstreifen sollte möglichst groß sein und sie sollten nur leicht durchhängen, damit keine Kräfte aus dem Magnetfeld auf sie wirken.

## Durchführung

PHYWE

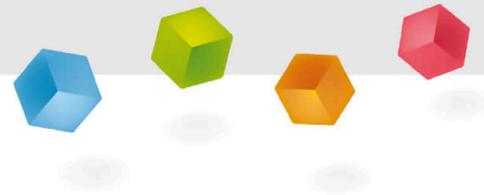
1. Die Polschuhe werden zunächst so auf die Elektromagnete gesetzt, dass ein Luftspalt von etwa 4 cm entsteht. Die Leiterschleife mit  $l = 25$  mm wird so an der Waage aufgehängt, dass ihr horizontaler Abschnitt senkrecht zu den Linien des Magnetfeldes liegt. Die Waage wird so getrimmt, dass kein Strom durch den Leiter fließt, und ein Leiterstrom von  $I_L = 5$  A wird dann eingestellt. Richtung und Größe der Kraft werden in Abhängigkeit von der Stromrichtung bestimmt und bei Drehung des Magneten um eine horizontale Achse beobachtet. Ohne Magnetfeld wird die Position der Waage sowohl mit als auch ohne Stromfluss durch die Leiterschleife beobachtet.

## Durchführung (Teil 2)

PHYWE

2. Die Polschuhe werden mit ihren Kanten parallel und mit einem Luftspalt von 1 cm auf den Elektromagneten gesetzt. Die Leiterschleife mit  $l = 12,5$  mm wird an die Waage gehängt. Der waagerechte Teil des Leiters verläuft senkrecht zu den Feldlinien und liegt - bei justierter Waage - in der Mitte des Gleichfeldes (Feineinstellung mit Schraube am Stativ). Der Strom im Leiter wird in 0,5-A-Schritten mit dem Drehknopf am Netzgerät erhöht. Die Masse  $m_0$  der Leiterschleifen wird bei ausgeschaltetem Magnetfeld bestimmt. Dann wird das Magnetfeld eingeschaltet, die (scheinbar erhöhte) Masse  $m$  gemessen und aus der Differenz der beiden Messwerte die Lorentzkraft berechnet. Die Messung wird in ähnlicher Weise für die anderen drei Leiterschleifen durchgeführt.
3. Das Verfahren ist im Wesentlichen wie unter 2 beschrieben, nur mit der Leiterschleife  $l = 50$  mm,  $n = 2$ . Der Strom in der Leiterschleife ist  $I_L = 5$  A. Der Strom  $I_M$  in den Spulen wird mit Hilfe der angelegten Spannung variiert. Aus den Ablesungen wird jeweils die Lorentzkraft  $F$  bestimmt.

PHYWE



# Auswertung

## Aufgabe 1

PHYWE

Beobachtungen zeigen, dass die Richtung des Kraftvektors von der Bewegungsrichtung der Elektronen und der Richtung des Magnetfeldes abhängt. Wenn die Feldlinien parallel zur Bewegungsrichtung verlaufen, wirkt eine Kraft auf die Leiterschleifen. Bei einer magnetischen Induktion von  $B = 0$  ändert die Waage ihre Lage nur wenig, wenn der Strom  $I$  in der Leiterschleife eingeschaltet wird. Bei  $I_L = 5 \text{ A}$  ist die Änderung der Kraft jedoch durchaus messbar. Die Erklärung für diesen Effekt ist, dass sich zwei stromdurchflossene Leiter gegenseitig anziehen. Wenn ein Strom fließt, verändern die flexiblen Metallstreifen leicht ihre Position und können dadurch die Lage der Waage beeinflussen.

## Aufgabe 2 (1/3)

PHYWE

In den beiden vertikalen Abschnitten der Leiterschleife bewegen sich die Elektronen in entgegengesetzter Richtung, und die beiden auf sie wirkenden Kräfte heben sich gegenseitig auf. Nur der horizontale Teil der Leiterschleife, dessen Länge  $l$  auf der Schleife angegeben ist, beeinflusst daher die gemessene Lorentzkraft. Eine der Leiterschleifen hat zwei Windungen ( $n = 2$ ), jede mit einer horizontalen Länge von 50 mm. Die Lorentzkraft auf diese Leiterschleifen entspricht genau derjenigen auf eine einzelne Schleife von doppelter Länge ( $l = 100$  mm,  $n = 1$ ).

Die Versuchsergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt, wobei  $F \sim I_L$

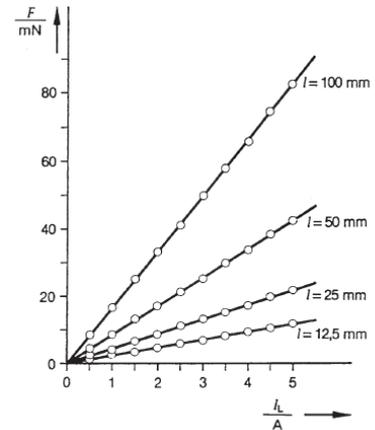


Abb. 2: Lorentzkraft  $F$  in Abhängigkeit vom Strom  $I_L$  in der Leiterschleife. Spulenstrom  $I_M = 870$  mA. Parameter: Länge  $L$

## Aufgabe 2 (2/3)

PHYWE

Unter Verwendung des jeweiligen Parameters kann der Wert der magnetischen Induktion  $B$  aus der Steigung der Regressionslinie in Abb. 2 mit einer Standardabweichung erhalten werden  $s_B$ :

$l$ [mm]	$B$ [mT]	$s_B$ [mT]
12.5	184	1
25	173	1
50	168	1
100	164	1

Der kleine Wert der Standardabweichung zeigt, dass die Messwerte gut auf einer Geraden liegen. Die Streuung der ermittelten Werte für die magnetische Induktion ist auf das Streufeld am Rande des homogenen Magnetfeldes zurückzuführen, das Kräfte auf den horizontalen Teil der Leitungen zur Leiterschleife ausübt. Ihre Wirkung ist bei kurzen Leiterschleifen größer als bei langen, da die gemessenen Lorentz-Kräfte klein sind.

## Aufgabe 2 (3/3)

PHYWE

In Abb. 3 ist die Lorentzkraft  $F$  für einen festen Strom  $I_L$  ( $I_L = 5 \text{ A}$ ) plotted against the conductor length  $l$ . We obtain:

$$F \sim I_L$$

Infolge des oben beschriebenen Einflusses des Streufeldes verläuft die lineare Kurve in Abb. 3 nicht genau durch den Ursprung.

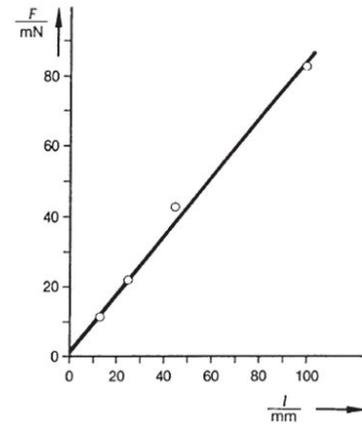


Abb. 3: Lorentzkraft  $F$  in Abhängigkeit von der Leiterlänge  $l$  für  $I_L = 5 \text{ A}$ . Spulenstrom 870 mA.

## Aufgabe 3

PHYWE

Die experimentellen Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt. Die Lorentzkraft  $F$  ist proportional zum Strom  $I_M$  in den Spulen des Elektromagneten:

**Hinweis:** Wenn ein Magnetfeldmessgerät vorhanden ist, kann die magnetische Induktion in Abhängigkeit vom Spulenstrom gemessen werden. Die Messungen zeigen, dass die magnetische Induktion  $B$  in den Spulenstrom  $I_M$  sind in dem betrachteten Bereich proportional. Zusammen mit den Ergebnissen aus Abb. 4 erhalten wir daher  $F \sim B$

Bei einem Spulenstrom von  $I = 870 \text{ mA}$  beträgt die magnetische Induktion im 1-cm-Luftspalt  $B = 168 \text{ mT}$ , in guter Übereinstimmung mit den aus der Steigung der Regressionsgeraden in Abb. 2 berechneten Werten.

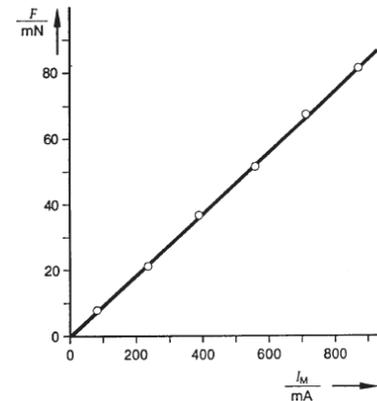


Abb. 4: Lorentzkraft  $F$  in Abhängigkeit vom Strom  $I_M$  in den Spulen für die Leiterschleife  $l = 100$