Spannungswaage und Induktionsherd

Aufgaben

1 Eine Spannungswaage (Material 1) ist eine Balkenwaage, mit der man die elektrische Kraft F_{el} zwischen zwei Kondensatorplatten messen kann, indem man die Kraft F_{el} mit der Gewichtskraft einer bekannten Masse vergleicht. Dazu ist eine der beiden Platten direkt mit der Balkenwaage verbunden, die zweite Platte ist im variablen Plattenabstand d parallel darunter angebracht. Werden die Platten elektrisch aufgeladen, ziehen sie sich mit der elektrischen Kraft F_{el} an. Mit Gewichtsstücken auf der rechten Waagschale wird diese Kraft kompensiert, sodass sich die Waage im Gleichgewicht befindet. Grundsätzlich gibt es zwei Messmethoden:

I. Man stellt einen festen Plattenabstand d ein und misst die Kraft $F_{el}(U)$ für verschiedene Spannungen U.

II. Man stellt einen Plattenabstand d ein und misst für eine Kraft F_{el} die zum Gleichgewicht benötigte Spannung $U(d)$. Dann nimmt man den nächsten Abstand und misst $U(d)$ für dieselbe Kraft F_{el}.

Die Fläche der Kondensatorplatten beträgt jeweils $A = 350\,\text{cm}^2$, ihr Zwischenraum ist mit Luft gefüllt ($\varepsilon_r = 1$). Unter Verwendung beider Methoden ergibt sich die Messreihe in Material 2.

1.1 Bestätigen Sie durch jeweils eine geeignete grafische Auswertung der Messreihe (Material 2), dass $U^2 \sim F_{el}$ bei konstantem Plattenabstand d sowie $U \sim d$ bei konstanter Kraft F_{el} ist.

(7 BE)

1.2 Zeigen Sie, dass für die im Kondensator gespeicherte Energie $E_{el} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \cdot A \cdot \frac{U^2}{d}$ gilt.

Berechnen Sie aus Messung Nr. 3 in Material 2 die im Kondensator gespeicherte Energie.

(4 BE)

1.3 Der Quotient aus der im Kondensator gespeicherten Energie E_{el} und dem Plattenabstand d ist gleich der elektrischen Kraft F_{el} zwischen den Platten.

Leiten Sie mithilfe dieses Zusammenhangs eine Formel für die elektrische Feldkonstante ε_0 her und berechnen Sie aus Messung Nr. 5 in Material 2 einen experimentellen Wert für ε_0.

(6 BE)

1.4 Erläutern Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen der Anziehungskraft F_{el} und dem Plattenabstand d für den Fall,

1. dass die Spannungsquelle angeschlossen bleibt,
2. dass die Spannungsquelle nach dem Laden der Platten nicht mehr angeschlossen ist.

(4 BE)

1.5 Der Plattenabstand d wird bei angeschlossener Spannungsquelle ausgehend von den Werten der Messung Nr. 1 in Material 2 von $d_1 = 4\,\text{mm}$ auf $d_2 = 10\,\text{mm}$ vergrößert.

Stellen Sie unter Verwendung geeigneter Wertepaare aus Material 2 die Anziehungskraft F_{el} in Abhängigkeit von dem Plattenabstand d in einem Diagramm dar und zeichnen Sie unter Berücksichtigung des Zusammenhangs $F_{el} \sim \frac{1}{d^2}$ eine Kurve in dieses Diagramm ein.

Zeichnen Sie die darin beim Auseinanderziehen der Platten aufzubringende Energie als Fläche ein und berechnen Sie diese Energie.

(7 BE)

2 Zunehmend werden in Haushalten Induktionskochfelder verwendet. Auf ihnen lässt sich das Kochgut deutlich schneller erwärmen als auf konventionellen elektrischen Kochplatten. Dabei werden die Kochzonen des Kochfelds selbst nur geringfügig warm. Da weniger Material erwärmt werden muss, sind die Induktionsherde energiesparender, besonders bei kurzen Kochzeiten. Ihr Wirkungsprinzip beruht auf dem physikalischen Vorgang der Induktion. Unterhalb des Kochfelds, auf dem ein Kochtopf mit einem elektrisch leitfähigen Boden steht, befindet sich eine Spule. Diese wird von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen (Material 3).

2.1 Beschreiben Sie, wie der Kochtopf mittels Induktion erwärmt werden kann.

(4 BE)

2.2 Das eigentlich nach oben und unten symmetrische Magnetfeld der Induktionsspule wird durch einen Topf mit ferromagnetischem Boden verzerrt.
Erklären Sie diesen Effekt.

(2 BE)

3 Auch Töpfe mit nicht ferromagnetischem Boden (z. B. aus Kupfer) können prinzipiell auf Induktionsherden verwendet werden. Allerdings ist bei Töpfen mit ferromagnetischem Boden (z. B. aus Eisen) die Wärmeleistung deutlich höher.
Zunächst wird der Topf gegen die in Material 4 beschriebene Leiterschleife ausgetauscht, die jeweils vollständig und senkrecht vom als homogen angenommenen Magnetfeld durchsetzt wird.
Die Frequenz des Wechselstroms beträgt $f = 25\,\text{kHz}$.

3.1 Zeigen Sie, dass sich in der Leiterschleife die Induktionsspannung $U_{\text{ind}} = -A \cdot B_{\max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$ ergibt, wenn die Spule unter dem Kochfeld ein magnetisches Wechselfeld $B(t) = B_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ erzeugt.

(4 BE)

3.2 Berechnen Sie die maximale Induktionsspannung $U_{\text{ind,max}}$ für $B_{\max} = 35\,\text{mT}$.
Berechnen Sie den daraus resultierenden maximalen Induktionsstrom in der Leiterschleife aus Eisen unter der Annahme, dass die Temperatur in der Leiterschleife konstant ist.
[zur Kontrolle: $U_{\text{ind,max}} = 249\,\text{V}$]

(7 BE)

3.3 Begründen Sie, warum in der Spule unter dem Kochfeld kein Wechselstrom mit der Netzfrequenz von $f = 50\,\text{Hz}$, sondern hochfrequenter Strom mit einer Frequenz im kHz-Bereich verwendet wird.

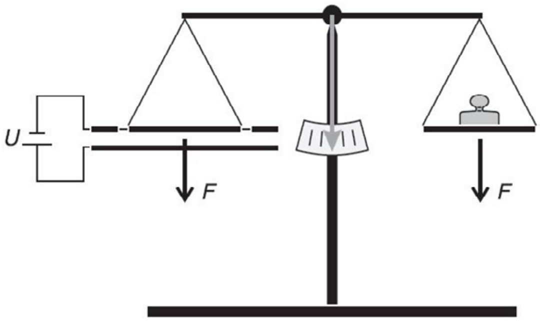
(3 BE)

3.4 Begründen Sie die höhere Wärmeleistung bei Verwendung von Töpfen mit Böden aus ferromagnetischen Materialien.

(2 BE)

Material 1

Spannungswaage



LD Handblätter Physik P 3.1.4.2; LD DIDACTIC GmbH.

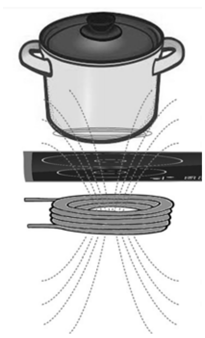
Material 2

Messergebnisse an der Spannungswaage

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8
U in 10^3 V	4,5	4,0	3,5	3,0	4,5	6,0	7,5	4,5
d in 10^{-3} m	4,0	4,0	4,0	4,0	6,0	8,0	10,0	10,0
F in 10^{-3} N	196	155	119	87	87	87	87	31

Material 3

Induktionsherd mit Kochtopf



URL: https://www.naturalscience.org/publications/induction-hobs-endanger-our-health/ (abgerufen am 20.05.2022).

Material 4

Eigenschaften der verwendeten Leiterschleife

Die verwendete Leiterschleife besteht aus Eisen. Sie ist kreisförmig mit einem Durchmesser $d = 24\,\text{cm}$, gemessen von Drahtmitte bis Drahtmitte. Die Querschnittsfläche der Leiterschleife wird mit A bezeichnet. Der kreisförmige Leiterquerschnitt hat den Radius $r = 5\,\text{mm}$.

Eisen hat den spezifischen Widerstand $\rho_{\text{Eisen}} = 0{,}10\,\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$. Allgemein gilt, dass ein Leiter der Querschnittsfläche A_Q und der Länge l den elektrischen Widerstand $R = \rho \cdot \frac{l}{A_\text{Q}}$ besitzt.