

Übung 9 Elektrisches Feld Energie, Elektrische Leiter, Stromdichte, Lokales ohm'sches Gesetz

Lernziele

- wissen und verstehen, dass in einem elektrischen Feld Energie gespeichert ist.
- wissen und verstehen, dass und wie sich die in einem elektrischen Feld gespeicherte Energie ändert, falls ein elektrisch geladener Körper im Feld verschoben wird.
- den Zusammenhang zwischen elektrischer Feldstärke und Spannung in einem homogenen elektrischen Feld verstehen.
- den Zusammenhang zwischen der im homogenen Feld eines Plattenkondensators gespeicherten Energie, der Kapazität des Kondensators und der im Kondensator gespeicherten elektrischen Ladung kennen und anwenden können.
- die quadratische Abhängigkeit zwischen elektrischer Feldstärke und Energiedichte in einem elektrischen Feld kennen, verstehen und anwenden können.
- den Verlauf des elektrischen Potentials im Innern eines elektrischen Leiters kennen und verstehen.
- wissen, dass das hohle Innere eines elektrischen Leiters feldfrei ist.
- den Unterschied zwischen einer Stromstärke und einer Stromdichte verstehen.
- das lokale ohm'sche Gesetz kennen, verstehen und anwenden können.
- einen neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.

Aufgaben

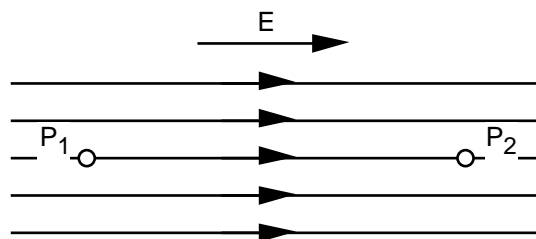
1. Ein elektrisch geladenes Teilchen der Ladung Q soll in einem elektrischen Feld von einer Stelle mit dem Potential φ_1 zu einer anderen Stelle des Feldes mit dem Potential φ_2 gebracht werden.

Beurteilen Sie in Abhängigkeit der Ladung Q und der Potentiale φ_1 und φ_2 , ob bei diesem Vorgang Energie aus dem elektrischen Feld freigesetzt wird oder ob Energie ans elektrische Feld gebunden wird.

2. In vielen praktischen Anwendungen (z.B. Plattenkondensator) kann das elektrische Feld als annähernd homogen betrachtet werden.

In einem homogenen elektrischen Feld ist die elektrische Feldstärke E in jedem Punkt gleich, d.h. der Vektor E hat in jedem Punkt des Feldes die gleiche Richtung und den gleichen Betrag.

Betrachten Sie in einem homogenen elektrischen Feld zwei Punkte P_1 und P_2 , deren Verbindungslinie parallel zu den Feldlinien verläuft:



Es gibt eine einfache Beziehung zwischen der elektrischen Feldstärke E , der Spannung U und dem Abstand d zwischen den beiden Punkten P_1 und P_2 :

$$U = E \cdot d \quad (\text{vgl. KPK 1, Formel (1.2), Seite 31})$$

Leiten Sie diese Beziehung her.

- a) Stellen Sie mit Hilfe der folgenden Hinweise ein vollständiges Gleichungssystem auf:

- Betrachten Sie einen Probekörper mit Masse m und positiver Ladung Q , welcher im Punkt P_1 aus der Ruhe losgelassen wird. Unter dem Einfluss des homogenen elektrischen Feldes wird der Probekörper in Richtung des Punktes P_2 gleichmässig beschleunigt.

- Die Energie W_{el} , die bei der Bewegung der Ladung Q von P_1 nach P_2 freigesetzt wird, ist gleich gross wie die kinetische Energie W_{kin} des Probekörpers im Punkt P_2 .
 - Benützen Sie physikalische Grundbeziehungen aus den Bereichen Mechanik und Elektrizität.
- b) Lösen Sie das unter a) aufgestellte Gleichungssystem auf, um die Beziehung $U = E \cdot d$ zu erhalten.

3. (Metzler: 201/1)

Bestimmen Sie die Energie, die in einem Plattenkondensator ($A = 314 \text{ cm}^2$, $d = 0.5 \text{ mm}$, Dielektrikum mit $\epsilon_r = 7$) bei einer Spannung $U = 220 \text{ V}$ gespeichert ist.

4. (Metzler: 201/3)

- a) Welche Energiedichte kann ein elektrisches Feld in feuchter Luft höchstens haben, wenn es bei einer Feldstärke $E = 2.0 \text{ MV/m}$ zum Funkenüberschlag kommt?
- b) Bestimmen Sie die Spannung, die man unter den in a) geschilderten Umständen an einen luftgefüllten Plattenkondensator mit einem Plattenabstand von 4.0 mm höchstens legen kann.

Hinweis:

Die Dielektrizitätszahl von feuchter Luft ($\epsilon_r = 1.01$) weicht unwesentlich von jener trockener Luft ($\epsilon_r = 1.0006$) ab.

5. (Metzler: 201/5)

Betrachten Sie die folgende Aussage:

"Verdoppelt man den Plattenabstand eines von der Spannungsquelle getrennten Plattenkondensators, so verdoppelt sich auch der Energieinhalt des Feldes."

- a) Begründen Sie schlüssig, dass die Aussage wahr ist.
- b) Woher kommt die zusätzliche (elektrische) Energie?

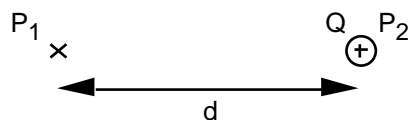
6. Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, ob die folgende Aussage über die Energiedichte im elektrostatischen Feld eines punktförmigen geladenen Körpers wahr oder falsch ist:

"Wenn man die Ladung des Körpers verdoppelt, so vervierfacht sich die Dichte der im elektrostatischen Feld gespeicherten Energie."

7. In einem elektrostatischen Feld betrage am Ort P_1 die Energiedichte $w_{el} = 17.6 \text{ J/m}^3$. Zudem sei die Richtung der elektrischen Feldstärke E am Ort P_1 bekannt:



Nun wird ein elektrisch geladener, punktförmiger Körper der Ladung $Q = +13 \mu\text{C}$ an den Ort P_2 gebracht, welcher sich im Abstand $d = 10 \text{ cm}$ zum Punkt P_1 befindet:



(Fortsetzung auf Seite 3)

Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, ob sich dadurch die Energiedichte am Ort P_1 verändert. Bestimmen Sie gegebenenfalls den neuen Wert der Energiedichte.

Hinweis:

Nehmen Sie an, dass sich das elektrische Feld in Luft befindet ($\epsilon_r = 1$).

8. Studieren Sie im Buch KPK 1 die folgenden Abschnitte:
- 1.19 Felder und elektrische Leiter (Seiten 32 und 33)
 - 1.20 Die elektrische Stromdichte (Seite 34)
 - 1.21 Das lokale ohmsche Gesetz (Seiten 34 und 35)
 - 1.22 Die Energie des elektrischen Feldes (Seiten 36 und 37)
 - 1.23 Wie man elektrisch geladene Teilchen mit Energie lädt (Seiten 37 bis 39)

Lösungen

1. $Q > 0$ $l > 2$ Energie wird freigesetzt.
 $Q > 0$ $l < 2$ Energie wird gebunden.
 $Q < 0$ $l > 2$ Energie wird gebunden.
 $Q < 0$ $l < 2$ Energie wird freigesetzt.

2. a) ...
b) ...

3. $W = 94 \mu\text{J}$

4. a) $W_{\text{el,max}} = 18 \text{ J/m}^3$
b) $U_{\text{max}} = 8.0 \text{ kV}$

5. a) $W = \frac{Q^2}{2C} \sim \frac{1}{C}$
 $C = 0 \cdot r \frac{A}{d} \sim \frac{1}{d}$

 $W \sim d$

b) ...

6. $W_{\text{el}} \sim E^2$
 $E \sim |Q|$

 $W_{\text{el}} \sim |Q|^2$
Aussage wahr

7. Das elektrische Feld verändert sich durch das Hinzufügen des geladenen Körpers.
Am Ort P_1 beträgt die Energiedichte neu
 $W_{\text{el}} = 0.62 \text{ kJ/m}^3$

8. ...
Lösungen zu den Aufgaben siehe kopierte Blätter