Elektrisches Feld und Kondensator

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

Name: _____ Datum: _____

kostenlos, mit Lösungen

Konstanten: e = 1,6 · 10⁻¹⁹ C, m_e = 9,11 · 10⁻³¹ kg, ε0 = 8,85 · 10⁻¹² As/(Vm), g = 9,81 N/kg.

1 Bestimme aus einer Messreihe die Kapazität und die elektrische Feldkonstante.

$C = \frac{Q}{U}$. Ist Q proportional zu U, ist der Quotient $\frac{Q}{U}$ bei jeder Messung (fast) gleich. Plattenkondensator: $C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d}$, mit Luft ist εr = 1. $\frac{1\ nC}{1\ V} = 1\ nF = 1000\ pF$.

a) Ein Plattenkondensator (quadratische Platten 20 cm × 20 cm, Abstand d = 2 mm, Luft) liegt an verschiedenen Spannungen. Ein Messverstärker misst die Ladung:
U in V: 50 | 100 | 150 | 200 | 250
Q in nC: 9,0 | 17,7 | 26,4 | 35,6 | 44,5
Berechne $\frac{Q}{U}$ für jede Messung in pF. Begründe damit, dass Q proportional zu U ist.

$\frac{Q}{U}$ = 180 | 177 | 176 | 178 | 178 (in pF)

Die Quotienten sind bis auf kleine Messabweichungen gleich, also ist Q proportional zu U.

b) Bestimme die Kapazität C als Mittelwert. Berechne daraus ε0 und vergleiche mit dem Tabellenwert 8,85 · 10⁻¹² As/(Vm).

$C = \frac{(180 + 177 + 176 + 178 + 178)\ pF}{5} \approx 178\ pF$

$\varepsilon_0 = \frac{C \cdot d}{A} = \frac{178 \cdot 10^{-12}\ F \cdot 0{,}002\ m}{0{,}04\ m^2} \approx 8{,}9 \cdot 10^{-12}$ As/(Vm), nur 0,6 % über dem Tabellenwert

c) Eine Glasplatte füllt nun den Spalt ganz aus. Bei 250 V misst man 222 nC. Berechne die Kapazität und die Dielektrizitätszahl εr von Glas.

$C_{Glas} = \frac{Q}{U} = \frac{222\ nC}{250\ V} \approx 888\ pF$

$\varepsilon_r = \frac{C_{Glas}}{C_{Luft}} = \frac{888\ pF}{178\ pF} \approx 5{,}0$

Elektrisches Feld und Kondensator (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

kostenlos, mit Lösungen

Name: _____ Datum: _____

2 Verfolge ein Elektron im Plattenkondensator.

$E = \frac{U}{d}$, $F = e \cdot E$, $a = \frac{F}{m}$. Durchläuft ein Teilchen die Spannung U, gewinnt es die Energie $W = e \cdot U = ½ \cdot m \cdot v^2$.

a) Zwischen zwei Platten im Abstand d = 2 cm liegt die Spannung U = 200 V. Berechne die Feldstärke.

$E = \frac{U}{d}$

$d = 2\ cm = 0{,}02\ m$

$E = \frac{200\ V}{0{,}02\ m} = 10\,000\ V/m = 10^4\ V/m$

b) Berechne die Kraft auf ein Elektron und vergleiche sie mit seiner Gewichtskraft. Was folgt daraus?

$F_{el} = e \cdot E = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C \cdot 10^4\ V/m = 1{,}6 \cdot 10^{-15}\ N$

$F_G = m \cdot g = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ kg \cdot 9{,}81\ N/kg \approx 8{,}9 \cdot 10^{-30}\ N$

$\frac{F_{el}}{F_G} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-15}\ N}{8{,}9 \cdot 10^{-30}\ N} \approx 1{,}8 \cdot 10^{14}$

Die elektrische Kraft ist rund 10^{14}-mal so groß wie die Gewichtskraft. Bei Elektronen im elektrischen Feld darf man die Gewichtskraft deshalb weglassen.

c) Das Elektron startet an der negativen Platte aus der Ruhe. Mit welcher Geschwindigkeit kommt es an der positiven Platte an?

Die Feldarbeit wird ganz zu Bewegungsenergie: $e \cdot U = ½ \cdot m \cdot v^2$

umgestellt: $v = \sqrt{(\frac{2 \cdot e \cdot U}{m})}$

$v = \sqrt{(\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C \cdot 200\ V}{9{,}11 \cdot 10^{-31}\ kg})}$

$v \approx 8{,}4 \cdot 10^6\ m/s$

Das Elektron kommt mit etwa $8{,}4 \cdot 10^6$ m/s an der positiven Platte an, das sind fast 3 % der Lichtgeschwindigkeit.

Elektrisches Feld und Kondensator (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

kostenlos, mit Lösungen

Name: _____ Datum: _____

3 Untersuche, was beim Auseinanderziehen der Platten passiert.

$C = \frac{\varepsilon 0 \cdot A}{d}$, $Q = C \cdot U$, $W = ½ \cdot C \cdot U^2$. Ist der Kondensator von der Quelle getrennt, kann keine Ladung abfließen: Q bleibt gleich. 1 pF = 10^{-12} F.

a) Ein Plattenkondensator mit C = 200 pF wird an 100 V geladen. Berechne Ladung und gespeicherte Energie.

$Q = C \cdot U = 200 \cdot 10^{-12}\ F \cdot 100\ V = 2 \cdot 10^{-8}\ C = 20\ nC$

$W = ½ \cdot C \cdot U^2 = ½ \cdot 200 \cdot 10^{-12}\ F \cdot (100\ V)^2 = 10^{-6}\ J = 1\ \mu J$

b) Er wird von der Quelle getrennt, dann wird der Plattenabstand verdoppelt. Berechne C, U und W neu.

Q bleibt 20 nC, weil keine Ladung abfließen kann.

$C = \frac{\varepsilon 0 \cdot A}{d}$: Bei doppeltem Abstand halbiert sich C auf 100 pF.

$U = \frac{Q}{C} = \frac{20 \cdot 10^{-9}\ C}{100 \cdot 10^{-12}\ F} = 200\ V$

$W = ½ \cdot C \cdot U^2 = ½ \cdot 100 \cdot 10^{-12}\ F \cdot (200\ V)^2 = 2 \cdot 10^{-6}\ J = 2\ \mu J$

c) Die Energie hat sich verdoppelt, die Feldstärke ist gleich geblieben. Erkläre beides.

Die Platten sind entgegengesetzt geladen und ziehen sich an. Wer sie auseinanderzieht, verrichtet Arbeit gegen diese Kraft. Genau diese Arbeit (2 µJ - 1 µJ = 1 µJ) steckt jetzt zusätzlich im Feld.

Die Feldstärke ist $E = \frac{U}{d}$. U und d verdoppeln sich beide, also bleibt E gleich. Anschaulich: Dieselbe Ladung sitzt auf derselben Fläche und erzeugt deshalb gleich dicht liegende Feldlinien.

Elektrisches Feld und Kondensator (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

Name: _____ Datum: _____

kostenlos, mit Lösungen

4 Werte die Entladekurve aus.

Entladen über R: $U(t) = U0 \cdot e^{-t:\tau}$ mit der Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$. Nach $T½ = \tau \cdot \ln 2 \approx 0{,}69 \cdot \tau$ ist die Spannung halbiert. Strom zu Beginn: $I0 = \frac{U0}{R}$.

a) Ein Kondensator mit C = 1000 µF entlädt sich über einen Widerstand R. Gemessen wird die Spannung:
t in s: 0 | 7 | 14 | 21
U in V: 12,0 | 6,0 | 3,0 | 1,5
Lies die Halbwertszeit ab und begründe, dass die Spannung exponentiell abnimmt.

Von 12,0 V auf 6,0 V, von 6,0 V auf 3,0 V und von 3,0 V auf 1,5 V vergehen jeweils 7 s: $T½ = 7$ s.

In gleichen Zeitschritten wird die Spannung immer mit demselben Faktor ½ malgenommen. Das ist das Kennzeichen einer Exponentialfunktion.

b) Berechne die Zeitkonstante **τ**, den Widerstand R und die Stromstärke zu Beginn.

$T½ = \tau \cdot \ln 2$, umgestellt $\tau = \frac{T½}{\ln 2}$

$\tau = \frac{7\ s}{0{,}693} \approx 10\ s$

$\tau = R \cdot C$, umgestellt $R = \frac{\tau}{C}$

$C = 1000\ \mu F = 10^{-3}\ F$

$R = \frac{10\ s}{10^{-3}\ F} = 10\,000\ \Omega = 10\ k\Omega$

Strom zu Beginn: $I0 = \frac{U0}{R} = \frac{12\ V}{10\,000\ \Omega} = 1{,}2 \cdot 10^{-3}\ A = 1{,}2\ mA$

c) Welche Spannung liegt nach 30 s noch an?

$U(t) = U0 \cdot e^{-t:\tau}$

$U(30\ s) = 12\ V \cdot e^{-30\ s\ :\ 10\ s} = 12\ V \cdot e^{-3}$

$U \approx 12\ V \cdot 0{,}050 \approx 0{,}6\ V$

Nach 30 s liegen nur noch etwa 0,6 V an.

Elektrisches Feld und Kondensator (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

Name: _____ Datum: _____

kostenlos, mit Lösungen

5 Begründe mit dem Feldlinienmodell.

Feldlinien zeigen die Richtung der Kraft auf eine positive Probeladung. Je dichter sie liegen, desto größer ist die Feldstärke.

a) Warum ist das Feld im Inneren eines Plattenkondensators homogen, am Rand aber nicht?

Zwischen großen, parallelen Platten verlaufen die Feldlinien gerade, parallel und gleich dicht von Plus nach Minus. Also ist E dort überall gleich groß und gleich gerichtet. Am Rand biegen sich die Linien nach außen und werden weniger dicht, das Feld ist dort schwächer und nicht mehr homogen.

b) Ein Auto wird vom Blitz getroffen. Warum sind die Insassen sicher?

Die Metallkarosserie wirkt als Faradayscher Käfig, also als geschlossene Hülle aus Metall. Die Ladungen verteilen sich außen auf dem Blech so, dass im Inneren kein Feld entsteht. Der Blitzstrom fließt außen über die Karosserie ab, nicht durch die Insassen.