6.1 Elektrisches Feld

Ladung, Feld und Influenz

1

a) Der Körper enthält insgesamt gleich viele positive und negative Ladungen.
b) Die eine Ladungssorte ist im Überschuss vorhanden.
c) Mangel, respektive Überschuss von Elektronen

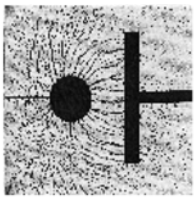
2

a) Reibungselektrizität zum Beispiel beim Ausziehen eines Pullovers oder beim Aussteigen aus einem Auto
b) Elektrostatische Anziehung **und** Abstossung

3

Der Kamm ist leitend und nimmt die überschüssigen Elektronen der geladenen Haare auf. Die Elektronen auf den Haaren können sich nicht bewegen. Wenn der Kamm das Haar berührt, werden überschüssige Elektronen abtransportiert und das Haar wird neutralisiert. Sind die Haare positiv geladen, gibt der Kamm Elektronen ab und neutralisiert die Haare ebenfalls.
Die Ladung kann vom Kamm über die Hand in die Erde abfliessen.

4



5

Bild 1: Rechte Ladung negativ, gleicher Betrag wie linke Ladung
Bild 2: Rechte Ladung negativ, Betrag kleiner als bei der linken Ladung
Bild 3: Rechte Ladung positiv, gleicher Betrag wie linke Ladung
Bild 4: Rechte Ladung positiv, Betrag kleiner als bei der linken Ladung

6

a) Die Elektronen des Elektroskops verschieben sich zum positiv geladenen Glasstab hin. Der Unterteil mit den Streifen lädt sich positiv auf, der Teller negativ.
b) Ihr Finger wird im Feld des positiv geladenen Stabes stark influenziert. Dadurch bringen Sie zusätzliche Elektronen auf den Teller. Diese verteilen sich beim Weggehen auf das ganze Elektroskop. Der untere Teil wird dadurch neutralisiert. Der Ausschlag geht zurück.

c) Nehmen Sie den Glasstab weg, verteilen sich die Elektronen auf dem Teller wieder über das ganze Elektroskop. Es erfolgt ein erneuter Ausschlag.

7

a) Die negative Ladung wird in den Teller verschoben, der Ausschlag geht zurück.
b) Der untere Teil des Elektroskops bekommt zusätzliche negative Ladung. Der Ausschlag wächst.

8

Influenz bleibt nur so lange erhalten, wie sich die Platten im Feld befinden. Ausserhalb des Feldes sind die sich berührenden Platten wieder neutral, so dass das Elektroskop keinen Ausschlag anzeigen kann.
Anders ist es, wenn die Platten im Feld getrennt werden. Die eine Platte wurde positiv, die andere negativ influenziert. Diese Ladungstrennung kann beim Herausnehmen nicht mehr rückgängig gemacht werden, da sich die Platten nicht mehr berühren.
Am Elektroskop zeigt sich zudem, dass die Platten gleich stark geladen sind.
Die Ladung wurde nur getrennt, es floss keine Ladung ab und keine Ladung hinzu (Ladungserhaltung).

Coulombgesetz

9

a) $F_C = 2.30$ mN; abstossend
b) $Q_2 = -5.31 \cdot 10^{-8}$ C
c) $r_{12} = 6.66$ cm; anziehend
d) $Q_2 = -9.16 \cdot 10^{-8}$ C
e) $r_{12} = 9.17$ mm; abstossend
f) $F_C = 6.31$ mN; anziehend

10

a) $Q = \sqrt{4\pi\varepsilon_0 r^2 F_C}$; $4.48 \cdot 10^{-7}$ C

b) $F_C' = F_C \cdot \left(\frac{r}{r'}\right)^2$; 0.784 N; 3.14 N

c) $F_C'' = F_C \cdot \left(\frac{r}{r''}\right)^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2}$; 32.0 mN

11

a) <u>Seiden</u>...: Seide ist ein guter Isolator. Die Ladung kann nicht abfliessen.
<u>frei aufgehängt</u>: Es wirken zunächst keine anderen Kräfte als die Gewichtskraft und die Fadenkraft.
<u>oberflächenleitendes</u>: Die Ladung kann sich auf einer leitenden Oberfläche gleichmässig verteilen. So liegt der Ladungsschwerpunkt in der Mitte. Das Coulombgesetz ist streng genommen nur für Punktladungen und radialsymmetrisch geladene Kugeln gültig.

Anfangs...: Wenn sich das Holundermark-Kügelchen schon von der geladenen Kugel wegbewegt hat, wirkt eine andere Kraft und somit auch eine andere Beschleunigung.
feststehende: Die geladene Kugel soll sich nicht bewegen. So ist die Situation für den betrachteten Augenblick statisch.
auf gleicher Höhe befindliche: Die Kraft auf das Holundermark-Kügelchen soll senkrecht zum Faden wirken. So ist die resultierende Kraft gleich der Coulombkraft.
in vernachlässigbarer Zeit: Während des Aufladens der Kugel nimmt die Kraft auf das Holundermark-Kügelchen zu. Es soll aber mit der Kraft gerechnet werden, die bei der endgültigen Ladung der Kugel wirkt.

b) Es geht um zwei Kugeln. Beide sind zu einem bestimmten Zeitpunkt geladen und befinden sich in Ruhe. Die Kugeln stossen sich ab. Da sich nur eine bewegen kann, wird auch nur eine beschleunigt. Die Beschleunigung wird nur durch die Coulombkraft bewirkt. Die Coulombkraft kann aus den Angaben sofort berechnet werden. Die Beschleunigung erhält man, indem man die Coulombkraft durch die Masse der beweglichen Kugel teilt.

c) $a = \frac{F_C}{m} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{mr^2} = 0.60 \text{ m/s}^2$

12

a) Das Styroporkügelchen wird bei der Berührung gleichnamig aufgeladen wie der Bandgenerator.
b) Die Ladung des Bandgenerators ist viel grösser als die Ladung des Kügelchens.
c) $F_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = ma \Rightarrow Q_2 = 4\pi\varepsilon_0 \frac{mar^2}{Q_1}$; $4.8 \cdot 10^{-9}$ C

13

Näherung: $\frac{F_C}{F_G} \approx \frac{r}{2l}$; dann ergibt sich $Q = \sqrt{\frac{r^3 mg \cdot 4\pi\varepsilon_0}{2l}}$; $2.3 \cdot 10^{-8}$ C

14

a) $F_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r_1^2}$; $8.2 \cdot 10^{-8}$ N

b) $F_G = G \cdot \frac{m_p m_e}{r_1^2}$; $3.6 \cdot 10^{-47}$ N; $\frac{F_C}{F_G} = 2.3 \cdot 10^{39}$

c) $v = \sqrt{\frac{F_C r_1}{m_e}}$; $2.2 \cdot 10^6$ m/s; $f = \frac{v}{2\pi r}$; $6.6 \cdot 10^{15}$ Hz

15

a) $F_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}$; 58 N (abstossend)

b) $F_G = G \cdot \frac{m_P^2}{r^2}$; $4.7 \cdot 10^{-35}$ N (anziehend)

c) $F_G : F_C$; 1 : $1.2 \cdot 10^{36}$
1. Die Gravitationskraft ist verschwindend klein gegenüber der Coulombkraft.
2. Es muss eine weitere anziehende Kraft geben.

16

$h = \sqrt{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{m_P g}}$; 12 cm

17

a) Anzahl Teilchen in einem 1 cm^3 grossen Kristall:

$N = 2 \cdot \frac{\rho \cdot a^3}{M_{\mathrm{Na}} + M_{\mathrm{Cl}}} \cdot N_A$; $4.6 \cdot 10^{22}$ Ionen

Abstand zwischen benachbarten Ionen: $d = \frac{a}{\sqrt[3]{N}}$; $2.8 \cdot 10^{-10}$ m

b) $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{e^2}{d^2}$; $2.9 \cdot 10^{-9}$ N

c) $F_{\mathrm{tot}} = F \cdot N^{2/3}$; $3.8 \cdot 10^6$ N

d) Zwischen den weiter entfernten Ionen treten auch abstossende Kräfte auf.

e) Verschiebung eines Kristallteils um eine Strecke in der Grössenordnung des Ionenabstandes führt zu einer starken abstossenden Wirkung.

Potenzial und Spannung

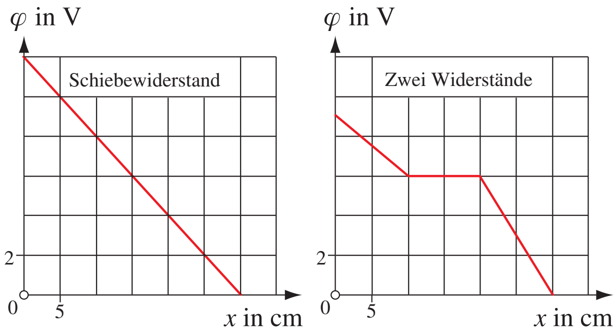
18

a) $U = \Delta\varphi$; 1.5 V; 4.5 V; 9.0 V

b) 1.5 V; 4.5 V; 6.0 V; 7.5 V; 9.0 V; 13.5 V

19

a)



b) Beim Schiebewiderstand nimmt das Potenzial linear mit dem Abstand ab.
Bei zwei Widerständen in Serie nimmt das Potenzial bei beiden Widerständen ebenfalls linear mit dem Abstand ab.
Die verschiedene Steigung für die beiden Widerstände zeigt, dass die beiden Drähte unterschiedliche Eigenschaften haben. Zwischen den beiden Widerständen ändert sich das Potenzial nicht, da der Widerstand des Verbindungsdrahtes vernachlässigbar ist.

20

Die Spannung an der Kuh ist wegen des grösseren Schrittabstandes viel grösser:

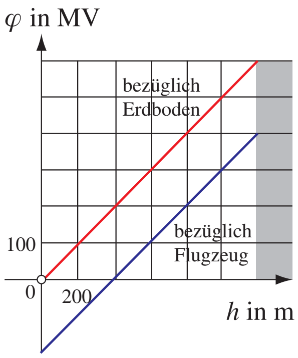
$U = \Delta\varphi = \dfrac{k}{r} - \dfrac{k}{r+d} \approx 270$ V mit Schrittabstand $d_{\mathrm{Kuh}} \approx 1.25$ m; $d_{\mathrm{Bauer}} \approx 0.25$ m;

$U \approx 56$ V

(Der Bauer ist ausserdem auch besser isoliert.)

21

a)

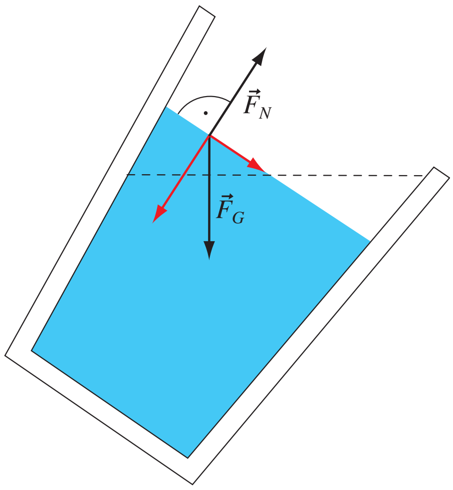


b) $U = Ed$; 600 MV

c) Die Spannung zwischen der geerdeten Turmspitze und der Wolkenschicht ist gleich gross wie zwischen der Wolkenschicht und dem Erdboden. Die Feldstärke ist wegen des Spitzeneffektes grösser. Bei einer Entladung schlägt der Blitz eher im Turm ein.

d) $U_{\text{Mädchen}} = 0$ V, da Kopf und Füsse leitend verbunden, $U_{\text{Vögel}} = 750$ kV

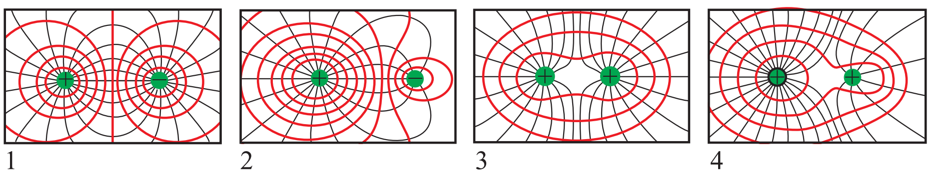
22



a) Aus der Abbildung wird deutlich, dass auf das Wasserteilchen eine zur Wasseroberfläche parallele Kraft einwirkt. Wird das Teilchen entlang der Oberfläche verschoben, wird an ihm Arbeit verrichtet. Die Wasseroberfläche kann also nicht eine Äquipotenzialfläche darstellen.

b) Damit die Kraftkomponente in Richtung der Wasseroberfläche verschwindet, muss die Gewichtskraft senkrecht zu dieser stehen. Allgemein ausgedrückt: Die Äquipotenzialfläche muss stets senkrecht zu den Feldlinien stehen.

23



24

Alle weisen denselben Abstand von 3.3 mm auf.

Beschleunigung im elektrischen Feld

25

a) $E_{\text{kin}} = E_{\text{el}}$, $\frac{1}{2}mv^2 = QU \Rightarrow v = \sqrt{2\frac{e}{m_e}U}$; 1.0·10⁸ m/s

b) Ergebnis v = 325'000 km/s ist nicht möglich, da $v > c$; relativistische Rechnung nötig.

c) $7.6 \cdot 10^6$ m/s

26

a) $s = \frac{1}{2} \cdot \frac{eE}{m_e} \cdot \frac{l^2}{v^2}$; 7.0 mm

b) $U = \frac{1}{2}\frac{m_e}{e}v^2$; 280 V

27

a) $Q = \frac{mg}{E}$; $6.2 \cdot 10^{-19}$ C

b) Das richtige Ergebnis ist $Q = 4 \cdot e = 6.4 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$, Abweichung rund 3 %.

28

a) Die beiden Stahlkugeln und das Neutron werden nur durch das Gravitationsfeld beschleunigt, da sie elektrisch neutral sind.
Das Proton und das Elektron werden praktisch nur durch das elektrische Feld beschleunigt, da dieses auf die beiden Körper eine viel grössere Wirkung hat als das Gravitationsfeld.

b) Die beiden Stahlkugeln und das Neutron beginnen einen freien Fall mit g = 9.81 m/s².
Das Proton wird nach unten, das Elektron nach oben beschleunigt. Ihre Beschleunigung ist viel grösser als die Fallbeschleunigung, und das Elektron wird viel stärker beschleunigt als das Proton.

c) Die beiden Stahlkugeln und das Neutron bewegen sich auf der gleichen Parabelbahn nach unten (horizontaler Wurf).
Das Proton bewegt sich auf einer Parabelbahn nach unten. Diese Parabel ist viel stärker gekrümmt als die Wurfparabeln der Stahlkugeln und des Neutrons.
Die Parabelbahn des Elektrons ist noch viel stärker gekrümmt als diejenige des Protons und nach oben gerichtet.

Kondensator

29

a) Die Spannungsquelle pumpt Elektronen von der einen Platte durch die Spannungsquelle hindurch zur anderen Platte. Die Platten laden sich entgegengesetzt auf. Zwischen den Platten wird ein elektrisches Feld aufgebaut.

b) $C = \varepsilon_0 \dfrac{A}{d} = 46\ \text{pF}$

c) $Q = CU = 0.33\ \mu\text{C}$ Das entspricht der Ladung von $2.0 \cdot 10^{12}$ Elektronen. Diese werden von der einen Platte auf die andere geschoben.

d) $E = \dfrac{U}{d} = 0.88\ \text{MV/m}$

e) $W = \dfrac{1}{2} QU = 1.1\ \text{mJ}$

f) $\dfrac{W}{V} = \dfrac{W}{Ad} = 3.4\ \text{J/m}^3$

30

a) $C = \varepsilon_0 \dfrac{\pi r^2}{d} = \dfrac{Q}{U} \Rightarrow r = \sqrt{\dfrac{Qd}{\pi \varepsilon_0 U}} = 19.0\ \text{cm}$

b) $C_\text{neu} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \dfrac{\pi r^2}{d_\text{neu}} = \dfrac{Q_\text{neu}}{U} \Rightarrow Q_\text{neu} = Q \varepsilon_r \dfrac{d}{d_\text{neu}} = 5.00\ \mu\text{C}$

31

a) $C = \varepsilon_0 \dfrac{A}{d} \Rightarrow A = \dfrac{Cd}{\varepsilon_0}$; 9.0 dm^2; $E = \dfrac{U}{d}$; 150 kV/m

b) $d_\text{Theorie} = \dfrac{U}{E_D}$; 5.0 µm; 160 nF; Rauigkeit der Plattenfläche

c) 0.33 µm; 6.0 µF

d) $V = Ad_s = \pi r^2 h \Rightarrow d = 2r = 2\sqrt{\dfrac{Ad_s}{\pi h}}$; 1.3 cm

32

a) $\dfrac{C_1}{C_2} = \dfrac{d_2}{d_1} \cdot \left(\dfrac{D_1}{D_2}\right)^2 = \dfrac{d_2}{d_1} \cdot \left(\dfrac{d_1}{d_2}\right)^2 = \dfrac{d_1}{d_2}$

b) $U = \dfrac{Q_1}{C_1} = \dfrac{Q_2}{C_2} \Rightarrow \dfrac{Q_1}{Q_2} = \dfrac{C_1}{C_2} = \dfrac{d_1}{d_2}$

$\dfrac{E_1}{E_2} = \dfrac{U/d_1}{U/d_2} = \dfrac{d_2}{d_1}$

c) $\frac{W_1}{W_2} = \frac{QU_1}{QU_2} = \frac{U_1}{U_2}$ und $C_1U_1 = C_2U_2 \Rightarrow \frac{W_1}{W_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_2}{d_1}$

also speichert bei gleicher Ladung der kleinere Kondensator mehr Energie.

33

$C_1 : C_2 = d_2 : d_1 = 2:1$

Die Kapazität wird halbiert.

Da die Spannung konstant bleibt, gilt $U = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} \Rightarrow Q_1 : Q_2 = 2:1$.

Die Ladung wird also auch halbiert.

Aus $E = \frac{U}{d}$ erhalten wir $E_1 : E_2 = d_2 : d_1 = 2:1$. Auch die Feldstärke wird halbiert.

$\frac{W_1}{W_2} = \frac{Q_1U}{Q_2U} = \frac{Q_1}{Q_2} = 2:1$. Auch die im Kondensator gespeicherte Energie wird halbiert.

Die Energiedifferenz musste als mechanische Arbeit verrichtet werden.

34

a) $C_1 : C_2 = d_2 : d_1 = 2:1$ Die Kapazität wird halbiert.

Da die Ladung konstant bleibt, gilt $Q = C_1U_1 = C_2U_2 \Rightarrow U_1 : U_2 = C_2 : C_1 = 1:2$.

Die Spannung wird verdoppelt.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1/d_1}{U_2/d_2} = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} = 1:1$$

Die Feldstärke zwischen den Platten bleibt unverändert.

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{QU_1}{QU_2} = \frac{U_1}{U_2} = 1:2$$

Die im Kondensator gespeicherte Energie verdoppelt sich. Da sich die Platten gegenseitig anziehen, muss gegen diese Anziehung «gekämpft» werden. Dies verlangt Arbeit.

b) Die im Kondensator gespeicherte Energie ist proportional zum Plattenabstand. Der Quotient $\frac{\Delta W}{\Delta d}$ ist deshalb konstant und stellt die Kraft dar, mit der sich die Platten gegenseitig anziehen.

Aus $W = \frac{C}{2}U^2 = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 A}d$ erhalten wir $F = \frac{\Delta W}{\Delta d} = \frac{W}{d} = \frac{1}{2\varepsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{A} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{\frac{r^2}{2}}$

Diese Formel ähnelt dem Coulomb'schen Gesetz. Dabei ist *r* der Radius einer als kreisförmig angenommenen Platte und nicht etwa der Abstand zwischen den Platten. Dieser spielt offensichtlich keine Rolle!

35

$C_1 : C_2 = 1 : \varepsilon_r = 1 : 4$ Die Kapazität wird 4-mal grösser.

Da die Spannung konstant bleibt, gilt $U = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} \Rightarrow Q_1 : Q_2 = 1 : 4$.

Die Ladung wird also auch 4-mal grösser. Die Spannungsquelle muss also Ladung nachpumpen!
Da das Paraffin polarisiert wird, entsteht durch die Polarisation ein elektrisches Feld, das dem polarisierenden Feld entgegenwirkt. Die Gesamtfeldstärke müsste dadurch kleiner werden. Da aber das Verhältnis $E = \frac{U}{d}$ unverändert bleibt, pumpt die Spannungsquelle so viel Ladung nach, bis die Feldstärke wieder den ursprünglichen Wert erreicht.

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{Q_1 U}{Q_2 U} = \frac{Q_1}{Q_2} = 1 : 4$$

Die von der Spannungsquelle zum «Nachladen» des Kondensators verrichtete Arbeit wird als elektrische Energie im Kondensator gespeichert. Man kann sie als diejenige Arbeit auffassen, die erforderlich ist, um das Dielektrikum zu polarisieren.

36

$C_1 : C_2 = 1 : \varepsilon_r = 1 : 4$

Die Kapazität wird 4-mal grösser.
Da die Ladung konstant bleibt, gilt $Q = C_1 U_1 = C_2 U_2 \Rightarrow U_1 : U_2 = C_2 : C_1 = 4 : 1$.

Die Spannung sinkt auf $\frac{1}{4}$ des ursprünglichen Wertes.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1 / d}{U_{21} / d} = \frac{U_1}{U_2} = 4 : 1$$

Da das Paraffin polarisiert wird, entsteht durch die Polarisation ein elektrisches Feld, das dem polarisierenden Feld entgegenwirkt.
Die Gesamtfeldstärke wird dadurch auf $\frac{1}{4}$ verringert.

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{QU_1}{QU_2} = \frac{U_1}{U_2} = 4 : 1$$

Die im Kondensator gespeicherte Energie verringert sich auf $\frac{1}{4}$.

Die Energiedifferenz hat das Dielektrikum polarisiert.

37

a) $C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{nbc}{\frac{a}{2n}} = 2\varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{bc}{a} n^2$

Nach n aufgelöst ergibt dies $n = 564$ mit $a = 3.8$ mm, $b = 7.5$ mm, $c = 9$ mm
$nA = 381\ \text{cm}^2$, $d = 3.37\ \mu\text{m}$

b) $W = \frac{C}{2} U^2 = 1.25\,\text{mJ}$

$\frac{W}{V} = 4.87\ \text{kJ/m}^3$

c) Wählen Sie beispielsweise $A = ac = 34.2\ \text{mm}^2$, so wird $n = 1113$, und d bleibt 3.37 µm.

Die Kapazität ist dann $C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{nac}{d} = 1.0\ \mu\text{F}$. Sie bleibt also unverändert. Es spielt also keine Rolle, wie man das «Sandwich» aufbaut.

38

a) $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} \Rightarrow A = \frac{Cd}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$; 110 m^2 b) $Q = CU = 55\,\text{C}$; $E = \frac{1}{2} CU^2 = 150\ \text{J}$

39

Superkondensatoren: $W = \frac{C}{2} U^2 = 160\ \text{J}$; $V = 11\ \text{cm}^3$; $W/V = 14\ \text{MJ/m}^3$

NiMH-Akkumulatoren: $W = QU = 6.0\ \text{kJ}$; $V = 7.2\ \text{cm}^3$; $W/V = 0.83\ \text{GJ/m}^3$

NiMH-Akkumulatoren weisen also eine etwa 60-mal höhere Energiedichte auf.
Als Vergleich: Benzin hat eine Energiedichte von 31 GJ/m^3. Das ist nochmals etwa ein Faktor 40 mehr!

40

a) $C_{tot} = 24\ \mu\text{F}$, alle Kondensatoren sind auf je 36 µC geladen.
b) $C_{tot} = 1.5\ \mu\text{F}$, alle Kondensatoren sind auf je 9 µC geladen.
c) $C_{tot} = 8\ \mu\text{F}$, die 3 Kondensatoren in Serie haben je 12 µC, der andere 36 µC.
d) $C_{tot} = 6\ \mu\text{F}$, alle Kondensatoren sind auf je 18 µC geladen.
e) $C_{tot} = 4.5\ \mu\text{F}$, die 3 parallelgeschalteten Kondensatoren haben je 9 µC, der andere 27 µC.

41

a)

	«Gold Cap»	4 parallel	4 in Serie	2 × 2 parallel
Kapazität C_{tot}	C_0	$4\ C_0$	$\frac{1}{4}\ C_0$	C_0
Spannung U_{max}	U_0	U_0	$4\ U_0$	$2\ U_0$
Ladung Q_{tot}	Q_0	$4\ Q_0$	Q_0	$2\ Q_0$
Energie E_{max}	E_0	$4\ E_0$	$4\ E_0$	$4\ E_0$

b) Bei allen drei Schaltungen kann bei der erlaubten maximalen Spannung gleich viel Energie gespeichert werden.

c) Viermal vier in Serie geschaltete Kondensatoren parallel: $E_{16} = \frac{1}{2} C_0 U^2_{\text{Batterie}}$; 200 J

42

a) $C_{12} = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 2.0\ \mu\text{F}; \quad Q_1 = Q_2 = Q = 48\ \mu\text{C}; \ U = \dfrac{Q}{C};$ 8.0 V; 16 V

b) $Q_2' + Q_3' = Q_1' = Q_1,\ U_2' = U_3',\ Q = CU \Rightarrow C_3 = \dfrac{Q_1}{U_3'} - C_2;$ 3.0 µF

43

Ansatz Energieerhaltung: $\dfrac{1}{2}C(U_2^2 - U_1^2)N = \dfrac{1}{2}mv^2$

$m = \dfrac{C(U_2^2 - U_1^2)N}{v^2};$ 0.65 t

44

Ausgehend aus der Energie, die im elektrischen Feld zwischen den Platten eines luftgefüllten Plattenkondensators gespeichert ist, erhalten Sie:

$W = \dfrac{C}{2}U^2 = \dfrac{\varepsilon_0 A}{2d}E^2 d^2 = \dfrac{\varepsilon_0}{2}AdE^2 = \dfrac{\varepsilon_0}{2}VE^2$

Mit $V = 1\ \text{km}^3 = 10^9\ \text{m}^3$ und $E = 2.5 \cdot 10^6\ \text{V/m}$ bekommt man W = 28 GJ = 7700 kWh. Pro m^3 sind es bloss 28 J.

45

a) Die elektrische Feldstärke zwischen den Platten ist homogen und bleibt beim Auseinanderziehen konstant. Die Kraft auf eine Kondensatorplatte entspricht der Summe der Kräfte auf die Ladungen an der Oberfläche der Platte. Da also elektrische Feldstärke und Ladung auf den Platten konstant bleiben, tut es auch die Kraft zwischen den Platten.

b) $F \cdot \Delta s = \dfrac{Q^2(d + \Delta s)}{2\varepsilon_0 A} - \dfrac{Q^2 d}{2\varepsilon_0 A} = \dfrac{Q^2 \cdot \Delta s}{2\varepsilon_0 A}$ und somit $F = \dfrac{Q^2}{2\varepsilon_0 A} = \dfrac{\varepsilon_0 A U^2}{2d^2} = \dfrac{\varepsilon_0 A E^2}{2}$.

c) $F = \dfrac{\varepsilon_0 \pi r^2 U^2}{2d^2};$ 0.072 N

Auf- und Entladen von Kondensatoren

46

a) $E = \dfrac{1}{2}C(0.9 \cdot U)^2;$ 47 J

b) Die Batterien können die Energie $E = QU = 4 \cdot 0.60\ \text{A} \cdot 3600\ \text{s} \cdot 1.5\ \text{V} = 13\ \text{kJ}$ abgeben. Davon steht die Hälfte, also 6.5 kJ, zum Laden des Kondensators zur Verfügung. Die Energie pro Blitz liegt somit zwischen 6.5 J und 32 J.

47

a) $Q_1 = C_1 U_1 = 2.88 \text{ mC}; \quad E_1 = \frac{1}{2} C_1 U_1^2 = 34.6 \text{ mJ}$

b) $C'_{\text{tot}} = C_1 + C_2$, $Q'_{\text{tot}} = Q'_1 + Q'_2 = Q_1$, $U'_1 = U'_2 = \frac{Q_1}{C'_{\text{tot}}} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot U_1$; 4.80 V

$Q'_1 = C_1 U'_1 = 0.576 \text{ mC}; \; Q'_2 = C_2 U'_2 = 2.30 \text{ mC}$

c) $Q'_{\text{tot}} = Q'_1 + Q'_2 = Q_1 = 2.88 \text{ mC}; \; E' = \frac{1}{2}\left(C_1 + C_2\right) \cdot \left(U'_1\right)^2 = 6.91 \text{ mJ}$

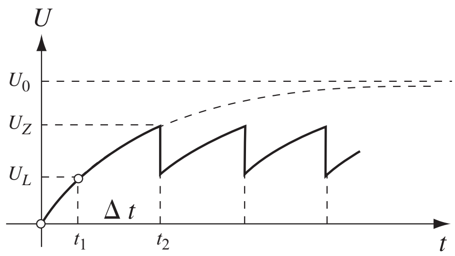
d) Im Widerstand wird Energie in Wärme umgewandelt.
Die umgesetzte Energie ist nur vom Anfangs- und Endzustand der Kondensatoren abhängig. Der Betrag des Widerstandes spielt daher keine Rolle. Der Widerstand bestimmt nur das Tempo der Energieumsetzung.

48

$U = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow t = RC \cdot \ln\left(\frac{U_0}{U_{\min}}\right)$; 66 d

49

a) Der Kondensator lädt sich über den Widerstand langsam auf, bis die Zündspannung der Glimmlampe erreicht ist. Sobald die Glimmlampe zündet, fliesst ein recht hoher Strom und die Spannung über dem Kondensator bricht sehr schnell auf die Löschspannung zusammen.



b) Die Entladezeit wird vernachlässigt, da die Aufladezeit hier viel grösser ist

$\Delta t = RC \cdot \ln\left(\frac{U_0 - U_L}{U_0 - U_Z}\right) \quad f = \frac{1}{\Delta t}$; 1.0 Hz

50

a) $I_0 = \frac{U_0 - U_{\text{Diode}}}{R}$; 18 mA

b) $I = \frac{U - U_{\text{Diode}}}{R}$; 4.4 mA

c) Spannung über dem Widerstand fällt von 3.3 V auf 0.8 V.
$t = RC \cdot \ln\left(\frac{3.3}{0.8}\right)$; $0.26 \cdot 10^3$ s

51 (Diese Lösung gilt ab der 4. Auflage 2010)

Die Spannung am Kondensator nimmt exponentiell mit der Zeit ab: $U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$.

Daraus ergibt sich für die Kapazität $C = \dfrac{t}{R \cdot \ln\left(\dfrac{U_0}{U}\right)} = \dfrac{t}{\dfrac{U_0}{I_0} \cdot \ln\left(\dfrac{U_0}{U}\right)}$; 30 F

51 (Diese Lösung gilt bis zur 3. Auflage)

a) Tangente an die Entladekurve $U = U_1 \cdot \mathrm{e}^{-\frac{t}{RC}}$ für $t = 0$ und $R = \dfrac{U_1}{I_1}$:

Steigung $\mathrm{m}_t = -\dfrac{U_1}{RC} = -\dfrac{I_1}{C}$

Tangente t: $U_2 = -\dfrac{I_1}{C} \cdot t + U_1 \quad \Rightarrow \quad t = \dfrac{C \cdot (U_1 - U_2)}{I_1}$

b) $C = \dfrac{I \cdot t}{U_1 - U_2}$; 30 F

52

a) $C = -\dfrac{t}{R \cdot \ln 0.9}$; 0.24 mF

b) $E_0 = \dfrac{1}{2} C \left(\dfrac{10RI}{9}\right)^2$; 34 J

c) $\bar{P} = \dfrac{\Delta E}{t} = \dfrac{E_0 - 0.9^2 E_0}{t} = \dfrac{\frac{19}{162} C R^2 I^2}{t}$; 0.64 kW

53

a) $E = \dfrac{1}{2} C_{\text{tot}} U^2$; 430 J

b) $P = \dfrac{\Delta E}{t} = \dfrac{E_{320} - E_{30}}{RC \cdot \ln\left(\dfrac{U_{320}}{U_{30}}\right)}$; 24 kW (während 18 ms)

54

a) Die Spannung geht von U_0 = 4.0 kV auf U_1 = 3.6 kV zurück. $C = \dfrac{2E}{U_0^2 - U_1^2}$; 0.20 mF

b) Aus $U_1 = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ folgt $\dfrac{1}{R} = -\dfrac{C\ln\left(U_1/U_0\right)}{t}$.

$I_0 = \dfrac{U_0}{R} = -\dfrac{CU_0\ln\left(U_1/U_0\right)}{t}$; 4.2 A

c) $P_0 = I_0 U_0$; 17 kW

Bildnachweis

4: Frauenfelder/Huber, Physik II (1958). Ernst Reinhard Verlag, Basel.
23: Bernhard Felder