Klausuraufgaben 2025-2018

Elektrostatik

Einfache Formeln / Aussagen:

Kapazität Kondensator

- $1F = 1\frac{C}{V} = 1\frac{As}{V}$; $1\,MeV = 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,As \cdot V = 1{,}6 \cdot 10^{-13}\,J$
- $C = As = \frac{VAs}{V} = \frac{Ws}{V}$;
- mag. Feldstärke = $\frac{t}{m}$; el. Potenzial = V ; el. Feldstärke $\frac{V}{m}$
- Ein Elektron befindet sich in Abstand von Punktladung. Von welcher Größe hängt die Coulombkraft nicht ab: von Masse $F_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot e}{r}$ (Konstante, Ladung)

3.1 Aussagen Plattenkondensator:

Bei einem idealen Plattenkondensator mit Ladung Q & Plattenfläche A ist elektrisches Feld:

→ zwischen den Platten doppelt so groß wie das Feld einer einzelnen Platte gleicher Ladung ✓

$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{A\varepsilon_0}$ ✓

3.2 Aussagen pos. Ladung:

Das el. Potenzial fällt radial mit $\frac{1}{r^2}$ ab ✗

Das el. Feld fällt mit $\frac{1}{r^2}$ ab. ✓ $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$

Das el. Feld zeigt radial nach außen. ✓ $U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$

Die Flächen gleichen el. Potenzials sind Kugelschalen ✓

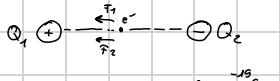
Die Äquipotenzflächen stehen senkrecht auf Feldlinien ✓

El. Feld zeigt radial zum Staab

Kugeln (mit Ladungen)

- Im Zentrum eines Kugelvolumens mit Rad. r befindet sich die Ladung Q. Dadurch fließt durch die Oberfläche der Kugel der el. Fluss ϕ. Wie verändert sich Fluss wenn man Kugelrad verdoppelt? Gauß: Fluss $\phi_{el} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$ ⇒ bleibt gleich

- 2 kleine Kugeln mit Ladungen $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6}\,C$ bzw $Q_2 = -5 \cdot 10^{-6}\,C$ befinden sich $d = 2mm$ voneinander entfernt. In Mitte ist Elektron. Wie groß ist Kraft die auf beide wirkt.



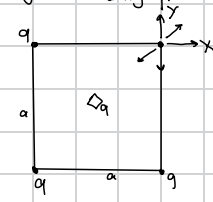
$F = F_1 + F_2 = \frac{e}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{q_1}{r_1^2} + \frac{|Q|}{r_2^2}\right)$ mit $r_1 = r_2 = \frac{d}{2}$ ⇒ $F = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C}{4\pi \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6}}{(10^{-3})}\right) = 10$

In welchem Volumen V gefüllt mit el. Feld ist el-Energie am kleinsten?

$E^2 \cdot V$! in $\frac{V^2}{m^2} \cdot cm^3$; Energie $= \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 \cdot V \propto E^2 V$

An 4 Ecken eines Quaders mit Seitenlänge a befindet sich jeweils Ladung q.

Wie groß muss q' im Zentrum damit Gleichgewicht



$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q^2}{a^2}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} + \frac{q^2}{a^2}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} + \frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix} + \frac{q \cdot q'}{(\frac{\sqrt{2}}{2}a)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}\right]$

$\frac{q^2}{a^2} + \frac{q^2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{q \cdot q'}{\frac{2}{4}a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 0 \Rightarrow q\left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\right) = -q'\left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)$

$q' = -\frac{1 + \frac{1}{2}\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}$; $q = -\frac{\sqrt{2} + \frac{1}{2}}{2}q$

---

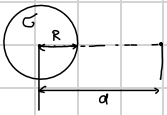
unendlich ausgedehnt:

TG Eine unendlich ausgedehnte Platte hat Flächenladungsdichte $\sigma = 5{,}3 \cdot 10^{-11}\,\frac{C}{m^2}$. Wie groß el. Feld E im Abstand von d = 4cm?



$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{5{,}3 \cdot 10^{-11}\,\frac{C}{m^2}}{2 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\frac{As}{Vm}} = 3{,}0\,\frac{V}{m}$

b) Kugel mit R = 1,5cm hat gleiche Flächenladungsdichte $\sigma = 5{,}3 \cdot 10^{-11}\,\frac{C}{m^2}$. Wie groß el. Feld E im Abstand von d = 4cm vom Kugelmittelpunkt? ($A = 4\pi R^2$ (Gauß))



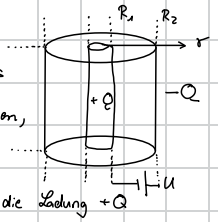
$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2}$; $Q = 4\pi R^2 \cdot \sigma$

$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{4\pi R^2 \cdot \sigma}{d^2} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{R}{d}\right)^2 = \frac{5{,}3 \cdot 10^{-11}\,\frac{As}{m^2}}{8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\frac{As}{Vm}} \cdot \left(\frac{1{,}5cm}{4cm}\right)^2 = 0{,}8\,\frac{V}{m}$

c) In welchem Verhältnis müsste R zu d damit E-Feld genauso groß wie in a)

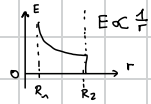
$\frac{\sigma}{\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{R}{d}\right)^2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \rightarrow \frac{R}{d} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

TG unendlich langer Zylinderkondensator besteht aus Metallzylinder mit Radius R_1 im inneren eines konzentrischen, ebenfalls metallischen Hohlzylinders mit Radius R_2 → ist an Batterie angeschlossen, pro Länge ℓ der innere Zylinder die Ladung +Q trägt und der äußeren Zylinder die Ladung -Q



a) Wie sieht el. Feld E(r) für $r > R_1$ als Funktion des radialen Abstandes r von Zylindermitte aus? → Satz von Gauss.

$E(r) = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 r} \cdot \frac{Q}{\ell}$



b) wie groß ist el. Feld $E(R_1)$ an Oberfläche des inneren Zylinders $R_1 = 1cm$, $R_2 = 2cm$, $\ell = 10cm$, $Q = 10^{-11}C$?

$E(R) = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 R_1} \cdot \frac{Q}{\ell} = \frac{1}{2\pi \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\frac{As}{Vm} \cdot 0{,}01m} \cdot \frac{10^{-11}C}{0{,}1m} = 179{,}8\,\frac{V}{m}$

c) Wie groß ist Spannung U zwischen Zylinderoberflächen? Integrieren sie das el-Feld von des inneren zur äußeren Platte:

$U = \int_{R_1}^{R_2} E(r)\,dr = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 \cdot \ell} \cdot \left[\ln(R_2) - \ln(R_1)\right] = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 \ell} \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{10^{-11}C \cdot \ln(2)}{2\pi \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}1m} = 1{,}246V$

Punktladungen:

Kraft die Proton und Elektron im Wasserstoffatom anziehen

$F_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r_B^2}$ ⇒ $F = 82\,nN$

Kraft die 2 Punktladungen q_1 & q_2 im abstand d anzieht. Wie groß Kraft zwischen $\frac{1}{2}q_1$ & $\frac{1}{4}q_2$ & $\frac{1}{4}d$

$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ⇒ $F' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\frac{1}{2}q_1 \cdot \frac{1}{4}q_2}{(\frac{1}{4}d^2)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{d^2} \cdot \frac{\frac{1}{8}}{\frac{1}{16}} = 2F$

Plattenkondensatoren :

Aussagen Plattenkondensator:

Bei einem idealen Plattenkondensator mit Ladung Q & Plattenfläche A ist elektrisches Feld :

→ zwischen den Platten doppelt so groß wie das Feld einer einzelnen Platte gleicher Ladung

$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{A \varepsilon_0}$ ✓

An Plattenkondensator mit Kapazität $C = 800\,nF$ wird Spannung $U = 15V$. Welche Arbeit W wird benötigt um Kondensator aufzuladen?

$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \cdot 800 \cdot 10^{-9} \frac{As}{V} \cdot (15V)^2 = 90\,\mu J$

An Plattenkondensator mit Plattenabstand $d = 1{,}5mm$, e-Feld $E = 8000\,V/m$

Wie groß ist U? $U = E \cdot d = 8000 \frac{V}{m} \cdot 0{,}0015m = 12V$

Plattenverrückung:

Ein Plattenkondensator mit Plattenabstand d wird durch eine Batterie der Spannung U mit der Ladung Q aufgeladen. Dann wird Batterie vom Kondensator getrennt, Platten werden auf $d' = 2d$ auseinandergezogen

ges: Neue werte von Ladung Q' & Spannung U' ⇒ $Q = const$: $U = E \cdot d = \frac{Qd}{\varepsilon_0 A} \rightarrow U' = \frac{Q \cdot 2d}{\varepsilon_0 A} = 2$

Wie groß ist das el. Feld E im Plattenkondensator, wenn

$d = 2mm$, $U = 12V$ ⇒ $E = \frac{U}{d} = \frac{12V}{2 \cdot 10^{-3} m} = 6 \cdot 10^3 \frac{V}{m}$

TG Plattenkondensator Aufladen

hat Plattenfläche von $A = 10cm^2$ und Plattenabstand $d = 0{,}5mm$ wird an Batterie mit $U_B = 24V$. Wie viele Elektronen fließen am negativen Pol?

a) erstmal Ladung $Q = C \cdot U$; $C = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow Q = \frac{\varepsilon_0 A U}{d} = \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot 10 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot V}{5 \cdot 10^{-4} m} = 4{,}248 \cdot 10^{-10} C$

$N = \frac{Q}{e} = \frac{4{,}248 \cdot 10^{-10} C}{1{,}6 \cdot 10^{-19} C} = 2{,}655 \cdot 10^9 \approx 2{,}7 \cdot 10^9$

b) besitzt Kapazität von $C = 40pF$. Wird an Batterie mit $U_B = 24V$ angeschlossen Wiederstand der Anschlusskabel : $R = 20\Omega$. Wie lange dauert es bis 90% zu laden?

$U = U_B (1 - e^{-t/Rc})$ $\quad 90\% \hat{=} 0{,}9 U_B$

$0{,}9 U_B = U_B (1 - e^{-t/Rc}) \Rightarrow e^{-t/Rc} = 1 - 0{,}9 \quad | \ln \Rightarrow -\frac{t}{Rc} = \ln(0{,}1)$; $t = -Rc \cdot \ln(0{,}1)$

$t = -20\Omega \cdot 40 \cdot 10^{-12} F \cdot \ln(0{,}1) = 1{,}842 \cdot 10^{-9} s \approx 18ns$

c) Die anfallenden ohm'sche Leistungen beim Laden fällt exponentiell ab : $P(t) = \frac{U_B^2}{R} \cdot e^{-\frac{2t}{(Rc)}}$

Wie viel Arbeit W wird von $t=0$ bis $t \to \infty$ in Wärme umgewandelt?:

$W = \int_0^\infty P(t)\,dt = \int_0^\infty \frac{U_B^2}{R} e^{-\frac{2t}{Rc}} dt$

$= \frac{U_B^2}{R} \cdot \left(\frac{Rc}{2}\right) \left[e^{-2t/Rc} \right]_0^\infty = \frac{U_B^2 C}{2}$

Magnetismus

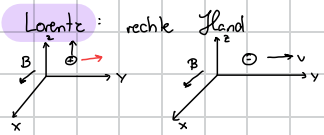
Einfache Formeln/Aussagen

Welche Aussage = falsch: Magn. Fluss durch eine beliebig geformte geschlossene Fläche ist proportional zum Strom, der im umschlossenen Volumen fließt ✗

Elektron mit geschw. $v = 390\,000 \frac{m}{s}$ wird in homogenen B-Feld auf Kreisbahn mit Radius $r = 1{,}6\,cm$ gezwungen. Wie groß B-Feld?

Lorenzkraft = Zentripetalkraft: $qvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow B = \frac{m}{q_e} \cdot \frac{v}{r} = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,kg}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C} \cdot \frac{390000\frac{m}{s}}{0{,}016\,m} = 139\,\mu T$

Lorentz: rechte Hand



$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

Hochspannungsleitungen:

Wert für Magnetfeld am Boden unter Hochspannungsleitung $B_{Grenz} = 100\,\mu T$.
Wie groß darf I in 25 m Höhe sein?

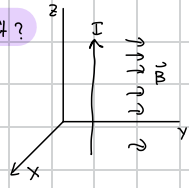
$\Rightarrow$ gerader Leiter $\Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \rightarrow I = \frac{2\pi r B}{\mu_0} = \frac{2\pi \cdot 25m \cdot 10^{-4}\,T}{\mu_0} = 12\,500\,A$

Mit welcher Kraft ziehen sich zwei Kabel einer Hochspannungsüberleitung an wem $T = 2000\,A$ pro $l = 300m$ $r = 3m$ (2 gerade Leiter $\parallel$) $F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 \cdot d}{r} = 80N$

Stromdurchflossene Leiter

Stromdurchflossener Leiter (Stromrichtung $\hat{e}_z$) befindet sich in hom. Magnetfeld (Richtung $\hat{e}_y$) In welche Richtung geht Lorenzkraft?

$F_L = I \cdot \vec{d} \times \vec{B} \propto -\hat{e}_x$



An stromführender Leiter (Strom I), der konstant. Magnetfeld B gebracht wird, erscheint an den senkrecht zur Stromrichtung liegenden Rändern (Breite b) eine Spannung. Diese ist: $\rightarrow$ umso größer je kleiner Ladungsträgerdichte im Metall $U_H = \frac{IB}{ned}$

Spulen

Lange Spule mit $N = 150$ Windungen, $A = 5cm^2$, $l = 15cm$

$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}\frac{Tm}{A} \cdot 150^2 \cdot 5 \cdot 10^{-4} m^2}{0{,}15m} = 94 \cdot 10^{-6}\,H = 94\,\mu H$

---

4 Spule mit Induktivität $L = 12\,mH$ fließt Strom von 2,5A. Wie groß ist die im Magnetfeld der Spule gespeicherte Energie E? $E = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} 0{,}012\,H \cdot (2{,}5A)^2 = 0{,}0375\,J = 37{,}5mJ$

Spule: $l = 10cm$, $r = 0{,}5cm$, Windungen $N = 150$ an Widerstand $R = 2\,\Omega$ an Batterie $U_B = 10V$. Wie groß ist B-Feld?

$W = \frac{1}{2} L I^2$ mit $L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$ & $I \Rightarrow W = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2 \pi r^2}{l} \cdot \frac{U^2}{R^2} = 278\,\mu J$

Spule: $N = 100$; $l = 5cm$, $I = 0{,}6\,A$ ges Magnetfeld B?

$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l} = 4\pi \cdot 10^{-7}\frac{Tm}{A} \cdot \frac{100 \cdot 0{,}6A}{0{,}05m} = 1{,}5 \cdot 10^{-3}\,T$

Spule mit Induktivität $L = 1mH$. Für welche Frequenz ω ist der Wechselstromwiderstand genauso groß wie der eines Kondensators mit Kapazität $C = 1nF$?

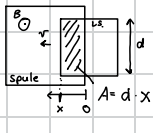
$R_L = R_C \Rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{10^{-3}H \cdot 10^{-9}F}} = \frac{1}{\sqrt{10^{-12}}} = 10^6/s$

An Kondensator wird Spule angeschlossen, so dass sich ein geschlossener Stromkreis bildet was passiert?

$\rightarrow$ Strom im Stromkreis schwingt harmonisch

Magnetfeld in rechteckiger Spule $\Rightarrow B = 150\,mT$; In Spule wird von Seite eine rechteckige Leiterschleife ($d = 1cm$; $v = 2\frac{cm}{s}$) eingeschoben. Wie groß von Leiterschleife induzierter Strom?

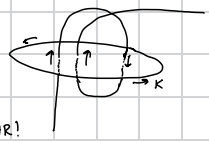
Widerstand $R = 1{,}7\,\Omega$, alles homogen,



$\Phi = B \cdot A = B \cdot d \cdot x$; $U_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt} = -B \cdot d \cdot v$

$I = \frac{U}{R} = \frac{B d v}{R} = \frac{0{,}150\,T \cdot 0{,}01m \cdot 0{,}02\frac{m}{s}}{1{,}7\frac{V}{A}} = 18\,\mu A$

Wie groß ist das magn. Integral $\oint_K \vec{B} \cdot ds$ des Kreisumfangs K in Richtung der Pfeile:

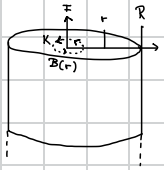


2x nach oben, 1x nach unten $\Big\}$ $I = I_{tot}$ (Vorzeichen von $\vec{B}$ mit RHR!

$\oint_K \vec{B} \cdot \vec{ds} = \mu_0 I$

TG Innere eines stromdurchflossenen Leiter mit Radius R, Gesamtstrom I_0

a) betrachten den gestrichelten Kreis K mit Radius $r < R$



Wie groß ist der Teilstrom I(r)

$I(r) = j \cdot A(r) = j \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{I_0}{\pi R^2} \cdot \pi r^2 = I_0 \left(\frac{r}{R}\right)^2$

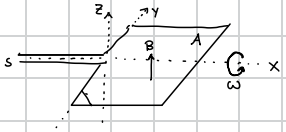
b) Wie groß ist das $\oint_K \vec{B}(r) \cdot d\vec{r}$ entlang Kurve K?

$\oint_K \vec{B}(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = B(r) \cdot \underbrace{2\pi r}_{\text{Umfang}}$

c) $\oint \vec{B}(r) \cdot d\vec{r} = \mu_0 I \Rightarrow B(r) \cdot 2\pi r = \mu_0 I_0 \cdot \frac{r^2}{R^2} \Rightarrow B(r) = \mu_0 I_0 \frac{r^2}{2\pi r R^2} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_0}{R^2} \cdot r$

Leiterschleifen:

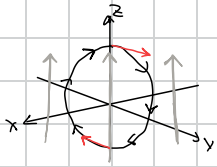
Leiterschleife $A = 1.3\,cm^2$ wird mit Frequenz $\omega = 2\pi \times 50\,Hz$ um x-Achse gedreht.
Ein hom. Magnetfeld $B = 0.15\,T$ liegt richtung z-Achse. Wie groß ist Amplitude der Induktionsspannung U_{ind}?



$U = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{-d}{dt} B \cdot A \cdot \sin(\omega t)$

$U = \underbrace{-BA\omega}_{U_{ind}} \cdot \cos(\omega t)$; $U_{ind} = BA\omega = 61,\mu V$

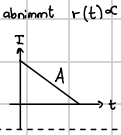
Leiterschleife in Magnetfeld, Lorentzkräfte wirken
⇒ Drehmoment mit Drehung um x-Achse

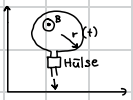


Kreisförmige Leiterschleife in homog. Magnetfeld wird an Kabelenden durch Hülse so dass Radius r als Funktion der Zeit linear mit Zeit t abnimmt $r(t) \propto -t$

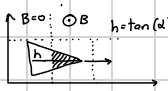
Welche Zeitabhängigkeit hat der induzierte Strom I?

$I_{ind} = \frac{U_{ind}}{R}$; $U_{ind} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$; $\Phi_m = B \cdot A = B\pi r^2 \propto -B\pi t^2 \Rightarrow \frac{d\Phi_m}{dt} \propto -t$ ⇒



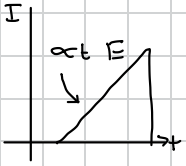


Eine dreieckige Leiterschleife wird von einem Bereich ohne Magnetfeld in einen Magnetfeldbereich gezogen. Welche Zeitabhängigkeit hat I?

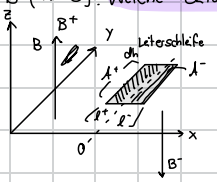


$A = 2 \cdot \frac{h \cdot x}{2} = \tan(\alpha) \cdot x^2$; $x = v \cdot t \Rightarrow A = \tan(\alpha) \cdot v^2 t^2$

$\frac{d\Phi}{dt} = B \cdot \tan(\alpha) \cdot v^2 2t \propto t$



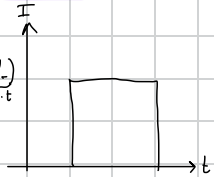
Eine rechteckige Leiterschleife wird mit konstanter Geschwindigkeit aus einem Bereich mit pot. Magnetfeld ($x<0$) in Bereich mit neg. Magnetfeld $-B$ ($x>0$). Welche Zeitabhängigkeit hat der induzierte Strom?



$\Phi_m = A_+ \cdot B_+ + A_- \cdot B_- = B(A_+ - A_-) = B \cdot d\underbrace{(l_+ - l_-)}_{\propto v \cdot t}$

$\Rightarrow \frac{d\Phi_m}{dt} = \text{const}$

$I_{ind} = \frac{1}{R} \cdot U_{ind}$; $U_{ind} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$



Wie groß ist τ beim einschalten des Stroms aus 7.1?

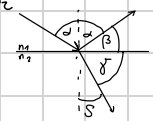
$\tau = \frac{L}{R} = \frac{\mu_0 N^2 \pi r^2}{R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \cdot 150^2 \cdot \pi \cdot (0,005\,m)^2}{2\,\frac{V}{A}} = 1,1\,\mu s$

Optik / el. mag. Wellen

Einfache Formeln / Aussagen

Aussage über EMW stimmt: Die Ausbreitungsrichtung einer EMW im freien Raum ist senkrecht zum e-Feld der Welle. → Transversalwellen ✓

Lichtstrahl an Grenzfläche reflektiert von Medien n_1 & n_2



Aussage ist falsch: $\beta + \delta = 90°$ ✗

$\delta + \gamma = 90°$ ✓ ; $\alpha + \delta = 90°$ ✓

Lichtwelle besitzt Intensität $I = 2{,}5\ \frac{mW}{cm^2}$. Wie groß ist Amplitude E_0 des el. Felds?

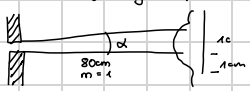
$I = \frac{1}{2}\varepsilon_0 c E_0^2$; $2{,}5\ \frac{mW}{cm^2} = 2{,}5 \cdot \frac{10^{-3}W}{10^{-4}m^2} = 25\ \frac{W}{m^2}$; $E_0 = \sqrt{\frac{2I}{\varepsilon_0 c}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 25\ \frac{W}{m^2}}{8{,}85 \cdot 10^{-12}\frac{As}{V} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}} = 137\ \frac{V}{m}$

Laserlicht ⇒ $\Delta f = 1\,MHz$ wie groß darf Δl sodass man Interferenz beobachten kann? $\Delta l \leq l_c = \tau_c \cdot c = \frac{c}{\Delta f} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{10^6/s} = 300m$

Licht vs. Spalt

Licht mit $\lambda = 500\,nm$ durch dünnen Spalt. Im Abstand von 80cm nach dem Spalt misst man Beugungsmuster. Der Abstand des ersten Beugungsminimums von Mitte des Musters beträgt $x = 1cm$.

Wie groß ist Spaltbreite a?



$m \cdot \lambda = a \cdot \sin(\alpha_m) \Rightarrow a = \frac{\lambda}{\sin(\alpha)} = \frac{\lambda \cdot 80cm}{1cm} = 40\mu m$

da kleiner Winkel ⇒ $\sin\alpha \approx \alpha \approx \frac{1cm}{80cm}$

TG

a) Laserlicht mit Wellenlänge $\lambda = 515nm$ durch dünner Spalt. Im Abstand von 40cm misst Muster. Abstand des ersten Beugungsminimums von Mitte: $x = 3\,cm$, wie groß Spaltbreite a?

1^{ter} m $\lambda = a \cdot \sin(\alpha)$; $a = \frac{\lambda}{\sin(\alpha)}$ $\left(\tan^{-1} = \arctan\right)$ $a = \frac{\lambda}{\sin(\tan^{-1}(\frac{x}{d}))} = \frac{480nm}{\sin(\text{atan}(\frac{3cm}{40cm}))} = 6{,}9\,\mu$

b) Anstelle Licht → ein Elektronenstrahl bei dem Elektronen Spannung von 100 V beschleunigt

Wie groß muss Spaltbreite wenn man gleiches Muster wie in a)

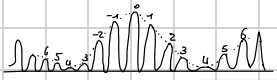
$\frac{1}{2}mv^2 = eU \rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \rightarrow p = m \cdot v = m\sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{2eUm}$; $p = \frac{k}{\lambda}$

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2eUm}} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,Js}{\sqrt{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}kg \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}As \cdot 100V}} = 1{,}23 \cdot 10^{-10}m$

$\alpha = \frac{\lambda}{\sin(\text{atan}\frac{x}{d})} = 1{,}64 \cdot 10^{-9}m$

c) hier hat man ein skiziertes Beugungsmuster eines Doppelspalt.

⇒ 1. Minimum zwischen 3. 4. ges: Verhältnis von Spaltabstand d zu spaltbreite a.



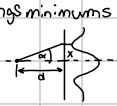
$m\lambda = a \cdot \sin(\alpha) \rightarrow m = 1 \Rightarrow \sin(\alpha) = \frac{\lambda}{a}$ ↘ $\frac{1}{a} = \frac{3{,}5\lambda}{d} \Rightarrow d = 3{,}5a$

$m\lambda = d \cdot \sin(\alpha) \rightarrow m = 3{,}5 \Rightarrow \sin(\alpha) = \frac{3{,}5\lambda}{d}$ ↗

TG

a) Laserlicht (Wellenlänge $\lambda = 480\,nm$) durch dünner Spalt. Im Abstand von 20cm misst man Muster. Abstand des ersten Beugungsminimums von Mitte: $x = 1{,}7cm$, wie groß Spaltbreite a?

1^{ter} m $\lambda = a \cdot \sin(\alpha)$; $\alpha = \arctan(\frac{x}{d})$



$a = \frac{\lambda}{\sin(\arctan(\frac{x}{d}))} = \frac{480nm}{\sin(\text{atan}(\frac{1{,}7cm}{20cm}))} = 5{,}67\,\mu m$

b) Anstelle Licht ein Elektronenstrahl ⟶ Elektronen Spannung von 100 V beschleunigt werde

Wie groß muss Spaltbreite wenn man gleiches Muster wie in a)

$\frac{1}{2}mv^2 = eU \rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \rightarrow p = m \cdot v = m\sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{2eUm}$; $p = \frac{k}{\lambda}$

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2eUm}} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,Js}{\sqrt{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}C \cdot 200V \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}kg}} = 8{,}688 \cdot 10^{-11}m$

$\alpha = \frac{\lambda}{\sin(\text{atan}\frac{x}{d})} = 1{,}0\,nm$

c) Weißes Licht am dünnen Ölfilm ($d = 280nm$), Brechungsindex: $n = 1{,}7$ reflektiert.

Welche Wellenlänge unter Winkel $\alpha = 65°$ zum Lot ausfallender Lichtstrahl?

Unter ausprobieren von m

$\lambda = \frac{2d\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha)}}{m - \frac{1}{2}} = \begin{cases} 1611\,nm & (m=1) \\ 537\,nm & (m=2) \\ 322\,nm & (m=3) \end{cases}$ ←

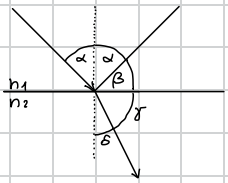
Material mit Absorptionskoeffizienten von $\mu = 15m^{-1}$. Welche Leistung P wird durch Material transmittiert, wenn eine Leistung von $P = 1W$ in Material & Dicke $x = 9{,}3cm$

$P = P \cdot e^{-\mu x} = 1W \cdot e^{-15/m \cdot 0{,}003m} = 248\,mW$

→ $\gamma = 48m^{-1}$; $P_0 = 1W$; $x = 4{,}3cm$: $P = P_0 e^{-\mu x} = 1W \cdot e^{-\frac{48}{m} \cdot 0{,}043} = 0{,}1296$

Lichtreflexion

Lichtstrahl an Grenzfläche



$n_1 = 1$ $n_2 = 1{,}65$ $\alpha = 40°$ ges: β & γ?

$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\delta)$

$\delta = \text{asin}\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\alpha)\right) = 22{,}93°$

$\gamma = 90° - \delta$

$\beta = 90° - \alpha$

$\beta + \gamma = 180° - \alpha - \delta$

$= 180° - 40° - 22{,}93° \approx 117°$

Einfallender Lichtstrahl fällt unter $\alpha = 60°$ auf Grenzfläche von Luft zu Glas. Wie groß muss Winkelaufrennung $\Delta\beta$ zwischen den Komponenten blau ($\lambda = 420nm$; $n_{420} = 1{,}55$) und rot ($\lambda = 750nm$; $n_{750} = 1{,}50$)

$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\beta)$

$\beta = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\alpha)\right)$ → $\beta_1 = \arcsin\left(\frac{1}{1{,}55} \cdot \sin(60°)\right) = 33{,}96°$

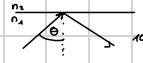
$\beta_2 = \arcsin\left(\frac{1}{1{,}50} \cdot \sin(60°)\right) = 35{,}26°$

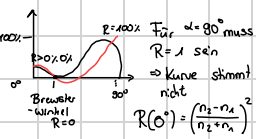
$\Delta\beta = 1{,}296° \approx 1{,}3°$

Licht wird an Ölfilm reflektiert mit $d = 300nm$, Brechungsindex $n = 1{,}5$, Welche Wellenlänge unter Winkel $\alpha = 50°$ zum Lot ausfallender Lichtstrahl?

$\lambda = \frac{2d\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha)}}{m - \frac{1}{2}} = \frac{6 \cdot 10^{-7}m \cdot \sqrt{1{,}5^2 - \sin^2(50°)}}{1{,}5} = 516\,nm$

Ein polarisierter Lichtstrahl wird an Grenzfläche eines Mediums mit Brechungsindex n_1 zu n_2 reflektiert. Dabei ergibt sich Skizze der Reflexion R als Funktion des Winkels Θ welche Schlüsse aus Graphik?





Für $\alpha = 90°$ muss $R = 1$ sein ⇒ Kurve stimmt nicht

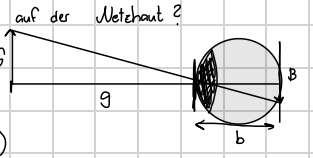
$R(0°) = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2$

TG Auflösungsvermögen Auge

Auge kann gerade noch so im Abstand von 2m eine Größe von $G = 1{,}0\,mm$ auflösen.

a) Wie groß ist das Bild B eines solchen Objekts auf der Netzhaut?

$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \Rightarrow B = G \cdot \frac{b}{g} = 10^{-3}m \cdot \frac{22 \cdot 10^{-3}m}{2m} = 11 \cdot 10^{-6}$



b) Wie groß ist die Brennweite bei 2m ($b = 22mm$)

$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \rightarrow f = \frac{1}{\frac{1}{g} + \frac{1}{b}} = \frac{1}{\frac{g+b}{g \cdot b}} = \frac{g \cdot b}{g + b}$

$= 0{,}02018m \approx 2{,}18\,cm$

c) Objekte welcher Größe G könnte das Auge nach dem Abbe-Kriterium im Abstand von 2m noch auflösen wenn Abbildung nur durch Beugungslimit begrenzt wäre? $D = 0{,}5cm$; $\lambda = 500\,nm$

$d_{min} = \frac{\lambda}{n \cdot \sin\alpha} \overset{n=1}{=} \frac{\lambda}{\sin\alpha} = \frac{500nm}{1{,}25 \cdot 10^{-3}} = 400.000nm = 400\,\mu m$

$\sin\alpha \approx \frac{D/2}{g} = \frac{0{,}25cm}{200cm} = 1{,}25 \cdot 10^{-3}$

Linse

Gekrümmte Fläche einer Sammellinse mit Brechungsindex $n=1{,}5$, $r_1=10\text{cm}$, $r_2=5\text{cm}$

wie groß ist Brennweite?

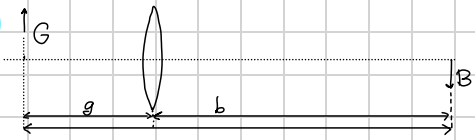
$$\frac{1}{F}=(n-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{10\text{cm}}+\frac{1}{5\text{cm}}\right)=\frac{0{,}15}{\text{cm}} \qquad f=\frac{1}{0{,}15}=6{,}67\text{ cm}$$

Linse mit f und $g=1{,}2f$. Wie groß ist V?

$$\frac{1}{b}=\frac{1}{f}-\frac{1}{g}=\frac{g-f}{g\cdot f}=\frac{1{,}2f-f}{1{,}2f\cdot f}=\frac{0{,}2f}{1{,}2f^2}=\frac{1}{6f}\Rightarrow b=6f$$

$$V=\frac{B}{G}=\frac{b}{g}=\frac{6f}{1{,}2f}=5$$

TG



a) $g=2{,}4\cdot f$; geo ist die Vergrößerung

$$g=2{,}4\cdot f;\quad V=\frac{B}{G}=\frac{b}{g}=\frac{2{,}4\,f}{2{,}4\cdot 1{,}4f}=\frac{1}{1{,}4}=0{,}71$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{b}+\frac{1}{g}\rightarrow b=\frac{f\cdot g}{g-f}=\frac{2{,}4\cdot f^2}{2{,}4f-f}=\frac{2{,}4}{1{,}4}f$$

b) In welchem Abstand müsste man Linse mit Brennweite $f=15\text{cm}$ stellen um Vergrößerung $V=8$

$$V=\frac{b}{g}\ \&\ b=\frac{f\cdot g}{g-f}\Rightarrow V=\frac{\left(\frac{f\cdot g}{g-f}\right)}{g}=\frac{f}{g-f}\overset{!}{=}8\Rightarrow f=(g-f)\cdot 8$$

$$=8g-8f\Rightarrow 9f=8g\Rightarrow g=\frac{9}{8}f:\ 15\text{cm}=16{,}875\text{cm}$$

c) Abstand zw. Gegenstand & Schirm wo Bild entsteht, mit $d=g+b=120\text{cm}$. In welchem Abstand g vom Gegenstand g vom Gegenstand muss man eine Linse mit $f=20\text{cm}$ damit Bild scharf.

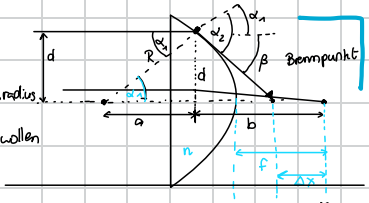
$$b=\frac{f\cdot g}{g-f}\quad \text{in } d=g+b$$

$$\Rightarrow d=g+\frac{g\cdot f}{g-f}=\frac{g(g-f)+g\cdot f}{g-f};\quad d(g-f)=g^2-\cancel{gf}+\cancel{gf}\Rightarrow g^2-dg+df=0\Rightarrow \text{quadr. Gl}$$

mit $a=1$, $b=-d$, $c=d\cdot f$

$$g_{1/2}=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}=\frac{d\pm\sqrt{d^2-4df}}{2}=\frac{120\pm\sqrt{120^2-4\cdot 120\cdot 120^2}}{2}=\begin{cases}94{,}6\text{cm}\\25{,}4\text{cm}\end{cases}$$

TG a) Abberation Linse:



Linsenstrahl soll mit plankonvexen sph. Linse; Krümmungsradius $R=5\text{cm}$; Brechungsindex $n=1{,}5$ fokussiert werden. Wir wollen berechnen, in welchem Abstand zum Brennpunkt parallel zur optischen Achse auf die Linse einfallenden Strahlen gebündelt werden

$\Rightarrow$ Strahlen, die nahe der optischen Achse durch Linse, werden im Brennpunkt, im Abstand der Brennweite der Linse gebündelt. wo liegt er. Wo x_0?

$$\frac{1}{F}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{\infty}\right)=0{,}5\cdot\left(\frac{1}{5\text{cm}}\right)=\frac{1}{10\text{cm}}\quad f=10\text{cm};\quad X_0=R+f=5\text{cm}+10\text{cm}=15\text{cm}$$

b) nun $d=1{,}0\text{cm}$ von optischer Achse einfallender Strahl, Unter welchem Winkel α_1 das Lot an Oberfläche der Linse zur optischen Achse geneigt ist. Gesetz von Snellius.

$$\sin(\alpha_1)=\frac{d}{R};\quad \text{Snellius: } n_{\text{Luft}}\sin(\alpha_2)\rightarrow \sin(\alpha_2)=n\cdot\sin(\alpha_1)$$

$$\rightarrow \alpha_2=a\sin\left(n\cdot\frac{d}{R}\right)=a\sin\left(1{,}5\cdot\frac{1\text{cm}}{5\text{cm}}\right)=17{,}46°$$

$$\rightarrow \alpha_1=a\sin\left(\frac{d}{R}\right)=a\sin\left(\frac{1\text{cm}}{5\text{cm}}\right)=11{,}538°$$

c) Berechnung β, Schnittpunkt x_1; Wie weit dieser Punkt vom Brennpunkt der Linse? $\Delta x=x_0-x_1$?

$$\beta=\alpha_2-\alpha_1=17{,}46°-11{,}538°=5{,}922°$$

$$\tan(\alpha_1)=\frac{d}{a}\rightarrow a=\frac{d}{\tan(\alpha_1)}\qquad \tan(\beta)=\frac{d}{b}\rightarrow b=\frac{d}{\tan(\beta)}$$

$$\Rightarrow x_1=a+b=d\left(\frac{1}{\tan(\alpha_1)}+\frac{1}{\tan(\beta)}\right)$$

$$X_1=1\text{cm}\cdot\left(\frac{1}{\tan(11{,}538°)}+\frac{1}{\tan(5{,}922°)}\right)=14{,}539\text{cm}\qquad \Delta X=X_0-X_1=0{,}46\text{cm}$$

In welchem Abstand g von einer Linse muss Gegenstand stehen, damit Bild genauso groß wie Gegenstand selbst?

$$\frac{B}{G}=\frac{b}{g}=1\Rightarrow b=g;\quad \frac{1}{f}=\frac{1}{g}+\frac{1}{b}\Rightarrow \frac{1}{f}=\frac{1}{g}+\frac{1}{g}=\frac{2}{g}\Rightarrow g=2$$

Laser mit $\lambda=500\text{nm}$ wird mit Linse ($f=10\text{cm}$; $D=2{,}5\text{cm}$) fokussiert. Wie groß ist Strahlenradius r im Fokus im besten Fall?

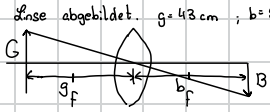
$$r=1{,}22\cdot f\cdot\frac{\lambda}{D}=1{,}22\cdot 500\text{nm}\cdot\frac{10\text{cm}}{2{,}5\text{cm}}=2{,}44\,\mu\text{m}$$

TG Abbildung und Vergrößerung

Gegenstand wird mit Linse abgebildet. $g=43\text{cm}$, $b=99\text{cm}$

ges: V?

$$V=\frac{B}{G}=\frac{b}{g}=\frac{99\text{cm}}{43\text{cm}}=2{,}3$$



b. $f=50\text{mm}$ Gegenstand mit Linse abgebildet. Abstand der Linse vom Gegenstand beträgt $g=75\text{mm}$. In welchem Abstand b um scharfes Bild? $V=\frac{B}{G}$

Wie groß ist V?

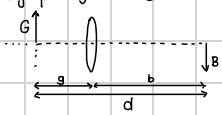
$$\frac{1}{f}=\frac{1}{b}+\frac{1}{g};\quad \frac{1}{b}=\frac{1}{f}-\frac{1}{g}$$

$$\frac{1}{b}=\frac{g-f}{g\cdot f}=\frac{75\text{mm}-50\text{mm}}{75\cdot 50\text{mm}^2}=0{,}0\overline{6}\ \frac{1}{\text{mm}}\Rightarrow b=150\text{mm}$$

$$V=\frac{B}{G}=\frac{b}{g}=\frac{150\text{ mm}}{75\text{ mm}}=2{,}0$$

c) Ein Gegenstand wird mit Linse ($f=20\text{cm}$) abgebildet. Die Position der Linse ist nicht gegeben, bekannt ist $d=120\text{cm}$. Bestimmen der Position der Linse sodass Bild scharf.

Wie groß ist die größer der beiden damit verbundenen Vergrößerungen $V=\frac{B}{G}$?



$$\frac{1}{f}=\frac{1}{g}+\frac{1}{b}\rightarrow f=\frac{g\cdot b}{g+b}=\frac{(d-b)\cdot b}{\cancel{b-b}+d}=\frac{db-b^2}{d}$$

$$f\cdot d=db-b^2\rightarrow b^2-bd+fd=0$$

$$b_{1/2}=\frac{d\pm\sqrt{d^2-4fd}}{2}\rightarrow \text{nutze größer Lösung mit }+$$

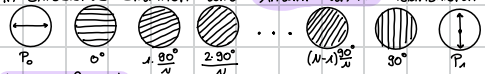
$$b=\frac{120\text{ cm}+\sqrt{(120)^2-4\cdot 120\text{ cm}\cdot 20\text{cm}}}{2}=94{,}641\text{ cm}$$

$$\Rightarrow g=d-b=120\text{ cm}-94{,}641\text{ cm}=25{,}359\text{ cm}$$

$$V=\frac{B}{G}=\frac{b}{g}=\frac{94{,}641\text{ cm}}{25{,}359\text{ cm}}=3{,}7$$

Polarisation

In skizzierter Situation wird Anzahl von N Polarisatoren hintereinandergestellt.



Jeder ist um $\alpha=\frac{90°}{N}$ verdreht.

Wie groß ist Transmission $T=\frac{P_1}{P_0}$ durch eine Anzahl von $N=20$

$\Rightarrow$ Malus: $T_1=\cos(\alpha)^2$; $T=T_1^N=\cos\left(\frac{90°}{N}\right)^{2N}=\cos(4{,}5°)^{40}=88\%$

oder für $N=100$ $T_1=\cos(\alpha)^2\Rightarrow\cos\left(\frac{90°}{N}\right)^{2N}=\cos(0{,}9°)^{200}=98\%$

Wie sieht die Polarisation d. mag. Wellen aus? = Elliptisch Pol.

$$\vec{E}(z,t)=\begin{pmatrix}E_x\\E_y\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1\\0{,}5\cdot\sin(kz-\omega t)\end{pmatrix}\frac{V}{m}$$

- beide cos/sin → linear
- 1 cos; 1 sin → zirkulär
- anders → elliptisch

Amplitude? gleich: zirkular; verschied.: elliptisch

Die spezifische Drehung von Traubenzucker = $\alpha_s=52{,}5°\cdot\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$.

Wie groß ist die Konzentration c einer Traubenzuckerlösung in einer Küvette von $l=10\text{cm}$, wenn die Polarisation von Licht in Küvette um $\alpha=21°$ gedreht wird.

$$\alpha=\alpha_s\cdot c\cdot l$$

$$c=\frac{\alpha}{\alpha_s\cdot l}=\frac{21°\cdot\frac{g}{\text{cm}^2}}{52{,}5°\cdot 10\text{cm}}=0{,}04\frac{g}{\text{cm}^3}=40\frac{\text{mg}}{\text{cm}^3}$$

Wechselstromkreise / Schaltungen

Widerstände

Für Leistung P gilt: $P = U \cdot I = R \cdot I^2$

TG: Widerstandskette geg: $U_{in} = 1V$ & : a) b) c) für a b c die Ausgangsspannungen

a) $U_{out} = \frac{R}{R_{tot}} \cdot U_{in} = \frac{R}{2R} \cdot U_{in} = \frac{1}{2} \cdot U_{in} = 0{,}5V$

b) $R_2 = \frac{2R \cdot R}{2R + R} = \frac{2}{3}R \rightarrow R_{tot} = \frac{2}{3}R + R = \frac{5}{3}R$

$I = \frac{U_{in}}{R_{tot}} = \frac{U_{in}}{\frac{5}{3}R} = \frac{3}{5}\frac{U_{in}}{R}$

$U_2 = R_2 \cdot I = \frac{2}{3}R \cdot \frac{3}{5}\frac{U_{in}}{R} = \frac{2}{5}U_{in}$

$U_{out} = \frac{1}{2}U_2 = \frac{1}{5}U_{in} = 0{,}2V$

c) aus b) $R_3 = \frac{5}{3}R$

$R_2 = \frac{\frac{5}{3}R \cdot R}{\frac{5}{3}R + R} = \frac{5}{8}R \rightarrow R_{tot} = \frac{5}{8}R + R = \frac{13}{8}R$

$I = \frac{U_{in}}{\frac{13}{8}R} = \frac{8}{13}\frac{U_{in}}{R}$

$U_2 = R_2 \cdot I = \frac{5}{8}R \cdot \frac{8}{13}\frac{U_{in}}{R} = \frac{5}{13}U_{in}$

$U_{out} = \frac{1}{5}U_2 = \frac{1}{5}\frac{5}{13}U_{in} = \frac{1}{13}U_{in} = \frac{1V}{13} = 77mV$

TG geg: Abbildung

ges R_{CD} (Gesamtwiderstand)

a)

b) R_{AC} ?

$R = \frac{2{,}5\Omega \cdot 2\Omega}{2{,}5\Omega + 2\Omega} = 1{,}11\Omega$

c) R_{AD} ?

$\Rightarrow I_u = \frac{9V}{3{,}5V_A} = 2{,}574A$ ◦ Aufklang Strom bei $C \rightarrow \frac{I_u}{2} = 1{,}3A$

---

5 Metalldrähte aus gleichem Material. Welcher hat größte Wiederstand?

A) $l = 90mm$; $r = 1{,}7mm = 31{,}14$ D) $l = 60$; $r = 1{,}4 = 30{,}61$ $R = \rho \cdot \frac{l}{A} = \rho \cdot \frac{l}{\pi r^2} \propto \frac{l}{r^2}$

B) $l = 80mm$; $r = 1{,}6 = 31{,}25$ E) $l = 50$; $r = 1{,}3 = 29{,}59$

C) $l = 70mm$; $r = 1{,}5 = 31{,}11$

Wechselspannung

An Spule und an Kondensator liegt jeweils Wechselspannung an. Welche Frequenz ω sin WS-Wiederstände R_L & R_C gleich groß? geg: $L = 53mH$, $C = 12\mu F$

$R_C = R_L$: $\frac{1}{\omega C} = \omega L$ $\omega^2 = \frac{1}{LC}$ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0{,}053H \cdot 12 \cdot 10^{-6}\frac{As}{V}}} = 1254/s = 1254 \cdot s^{-1}$

In einem idealen Transformator hat Primärspule $N_1 = 150$ Windungen, Sekundärspule $N_2 = 375$ Windung. An Primärspule wird Wechselspann mit Amplitude $U_1 = 325V$. Wie hoch ist Amplitude U_2 an Sekundärspule?

$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \rightarrow U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 325V \cdot \frac{375}{150} = 812{,}5V$

Schwingkreis LC. Kapazität des Kondensators $C = 8pF$.

Wie hoch muss Induktivität damit die Resonanzfrequenz bei $\omega_0 = 2\pi \cdot 20MHz$

$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $\omega^2 = \frac{1}{LC}$

$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 20 \cdot 10^6/s)^2 \cdot 8 \cdot 10^{-12}F} = 7{,}9 \cdot 10^{-6}H \approx 8\mu H$

Strom I

Was gesamtstrom I in Schaltung, $R_1 = 80k\Omega$, $R_2 = 120k\Omega$, $R_3 = 120k\Omega$, $U = 12V$

$R_{tot} = 80k\Omega + 60k\Omega = 140k\Omega$

$I = \frac{U}{R_{tot}} = 86\mu A$

Was gesamtstrom I? $R_1 = 80k\Omega$, $C = 120nF$ & $L = 120mH$, $U = 12V$

$\omega = 0 \Rightarrow R_C \rightarrow \infty$ & $R_L = 0$

$R_{tot} = R = 80k\Omega$; $I = \frac{U}{R} = 150\mu A$

TG

Berechnen sie I für $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 200k\Omega$ Parallel Reihenschaltung

a) $R_3 = 300k\Omega$. $U = 10V$

$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{200k\Omega \cdot 300k\Omega}{200k\Omega + 300k\Omega} = \frac{60000k\Omega}{500k\Omega} = 120k\Omega$

$R_{tot} = R_1 + R_{23} = 100k\Omega + 120k\Omega = 220k\Omega$

$I = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{10V}{220 \cdot 10^3\Omega} = 45\mu A$

b) Jetzt wird der Wiederstand R_2 durch Kapazität $C = 100nF$ ersetzt.

Wie groß ist nun der aus der Batterie fließende (Gleich-) Strom?

Kapazität $|Z_n| = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \infty$ für Gleichstrom $(\omega \rightarrow 0)$

→ Reihenschaltung von R_1 und R_3 übrig: $R_{tot} = R_1 + R_3 = 400k\Omega$ $I = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{10V}{400k\Omega} = 25\mu A$

Nun Batterie = Wechselstromquelle mit $U_0 = 10V$. Wie groß ist I_0 für $\omega \rightarrow \infty$

$|Z_C| = \frac{1}{\omega C} \rightarrow 0$ für $\omega \rightarrow \infty$; $\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{|Z_C|} + \frac{1}{R_3} \rightarrow \infty$

$\Rightarrow$ nur noch R_1 übrig. $I_0 = \frac{U_0}{R_1} = \frac{10V}{100k\Omega} = 100\mu A$

Smartphone Akku hat Ladungsmenge $Q = 10^4C$. Nach Tag mit 14 h & betriebsakku am Morgen ist Akkuladung auf 20% gesunken. Wie groß ist der im Tagesmittel fließende Strom I?

$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ im Mittel $\Delta Q = 0{,}8 \cdot 10^4C$ (von 100% → 20%)

$I = \frac{0{,}8 \cdot 10^4C}{14 \cdot 3600s} = 159mA$

Gleichstrom vs. Wechselstrom

TG: Elektrische Schaltung mit Gleichspannung

a) Wie groß ist der (Gleich-) Strom für. $R = 16\Omega$, $C = 10nF$; $L = 10mH$; $U = 10V$

Gleichstrom → kein Strom durch C

$(\omega = 0)$ → L hat $Z_L = i\omega L = 0$

$\Rightarrow R_{tot} = R \Rightarrow I = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{U}{R} = \frac{10V}{16\Omega} = 0{,}625A$

b) Nun statt gleichstrom Wechselstrom mit $U_0 = 10V$

Wie groß ist Stromamplitude I_0 für $\omega \rightarrow \infty$

$Z_C = \frac{1}{i\omega C} \rightarrow 0$

$\omega \rightarrow \infty \Rightarrow Z_L = i\omega L \rightarrow \infty$ $R_{tot} = R$

$I = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{U}{R} = \frac{10V}{16\Omega} = 0{,}625A$

c) $R = 16\Omega$, $L = 50mH$, $U_0 = 10V$ wie groß ist Stromamplitude I_0 bei Wechselspannung $\omega = 2\pi \cdot 50Hz$

$\frac{1}{Z_{tot}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{R} + \frac{1}{i\omega L} = \frac{i\omega L + R}{i\omega RL} = \frac{\omega L + R/i}{\omega RL} = \frac{\omega L - iR}{\omega RL}$

$\left|\frac{1}{Z_{tot}}\right|^2 = \frac{\omega L - iR}{\omega RL} \cdot \frac{\omega L + iR}{\omega RL} = \frac{(\omega L)^2 + R^2}{(\omega RL)^2}$

$\left|\frac{1}{Z_{tot}}\right| = \frac{\sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}}{\omega RL} = \frac{(2\pi \cdot 50/s)^2 \cdot (0{,}05H)^2 + (16\Omega)^2}{2\pi \cdot 50/s \cdot 16\Omega \cdot 0{,}05H}$

$\Rightarrow |Z_{tot}| = 11{,}209\Omega$; $I_0 = \frac{U_0}{|Z_{tot}|} = \frac{10V}{11{,}209\Omega} = 0{,}892A = 890mA$

Für welche Frequenz ω ist wechselstromwiederstand einer Spule mit Induktivität $L = 0{,}1mH$ genauso groß wie WSW eines Kondensators mit Kapazität $C = 127nF$

$\frac{1}{\omega C} = \omega L \Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC}$; $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{0{,}1 \cdot 10^{-3}H \cdot 127 \cdot 10^{-9}C}} = 2{,}8 \cdot 10^5$

Quantenphysik / Atomphysik

Aussagen:

Aussage Schwarzer Körper: $T \cdot \lambda_{max} = const \Rightarrow \lambda_{max} = \frac{const}{T}$

- Verdopplung Temp. ⇒ verdopplung Wellenlänge bei der die meisten Lichtintensität abgestrahlt ✗
- Verdopplung Temp ⇒ steigt abgestrahlte Leistung auf 16-facher Wert ✓ $P = \sigma A \cdot T^4$
- Verdopplung Oberfläche ⇒ verdopplung abgestrahlte Leistung ✓ $P = \sigma A \cdot T^4$
- Wellenlänge, bei der am meisten Lichtintensität abgestrahlt ist unabhängig von Oberfläche. ✓
- Planck'sche Strahlungsgesetz wird Quantisiert der Strahlungsenergie hergeleitet ✓

Aufgrund welches experimentellen Befundes wissen wir, dass lokal realistische Theorie, die auf verborgenen Parametern beruhen, und mit denen sich Konzepte der Quantenmechanik umgehen lassen, falsch sein müssen? ⇒ Bell'sche Ungleichung ist verletzt

Orbitale & Quantenzahlen

Bei manchen Elementen Orbitale nicht nach Aufbauprinzip gefüllt.

- $[Ar] 4s^1 3d^{10}$ Was das für Element?

  Ar = 18 + 1e (s^1) + 10 ($3d^{10}$) = 29 ⇒ Periodensystem = Cu = Kupfer

- $[Kr] 5s^2 4d^{10} 5p^5$

  Kr = 36 + (s-Schale voll) 2 + (4d Schale voll) 10 + ($5p^5$ → nicht voll da nichts $\frac{53}{Je}$

  5 Elektronen im 3p Orbital? ⇒ 17^{e^-} → Chlor

Wie lautet es von Chrom $[Ar] 4s^2 3d^4$

Größter wert für Quantenzahl m

mit $n = 5$ $\quad l = n-1 = 4$ $\quad m = -l \dots 0 \dots +l = 4$

Wie viele Elektronen kann Zustand mit $n=3$ & $l=2$ aufnehmen?

$n=3;\ l=2;\ m = -2, -1, 0, 1, 2$ ← je 2 Elektronen = 10

Das Valenzelektron des Rubidiumathoms mit Hauptquantenzahl $n=5$. Welche Quantenzahlen könnte es noch besitzen

⇒ $l=3, m=-2, s=\frac{1}{2}$

$n=5$ $\quad l = 0, 1, 2, 3, 4$ $\quad s = \pm\frac{1}{2}$

$m=0$ $\quad m = \pm 1, 0$ $\quad m = \pm 3, \pm 2, \pm 1, 0$

$m = \pm 1, 0$ $\quad m = \pm 4, \pm 3, \pm 2, \pm 1, 0$

Paschen-Serie entspricht Übergängen im Wasserstoffatom zwischen dem unteren Energieniveau ($m=3$ und $n = 4, 5, 6 \dots$) wie groß ist die größtmögliche Wellenlänge λ.

⇒ kleinster Energieunterschied $\quad m=3 \Rightarrow n=4$

$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$ $\quad \Delta E = E_{Ry}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = 13{,}6 \cdot e\,CV \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{16}\right) = 1{,}058 \cdot 10^{-19} J$

$\lambda = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{1{,}058 \cdot 10^{-19} J} = 1{,}88 \mu m \approx 1{,}9 \mu m$

Ein Glas verhält sich quantenmechanisch wenn thermische deBroglie Wellenlänge ≥ der Abstand zweier Teilchen. Wie kalt muss es sein damit Glas voller Rubidiumatomen ($m = 10^{-25} kg$) ein Quantenglas wird? Mittlere Abstand Atome ⇒ $d = 200 nm$.

Thermische geschw. $v_m = \sqrt{3 k_B \frac{T}{m}}$

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\sqrt{3 k_B T m}} = \frac{h}{\sqrt{3 m k_B T}} \overset{!}{\geq} d$

$3 m k_B T \leq \left(\frac{h}{d}\right)^2$; $T \leq \left(\frac{h}{d}\right)^2 \cdot \frac{1}{3 m k_B} \Rightarrow \left(\frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} Js}{200 \cdot 10^{-9} m}\right) \cdot \frac{1}{3 \cdot 10^{-25} kg \cdot 1{,}30 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}} \Rightarrow T \leq 2{,}6 \mu K$

Licht & Photonen

Mit welcher Lichtwelle λ kann man Wasserstoffatom aus Zustand mit $m=2$ in Zustand $n=5$ bringen $\quad \Delta E = E_{Ry}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = E_{Ry}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25}\right) = 13{,}6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot CV \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25}\right)$

$= 4{,}5696 \cdot 10^{-19} J$

$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{4{,}5696 \cdot 10^{-19} J} = 4{,}35 nm$

Bei der Compton-Streuung wird ein Photon an Elektron gestreut. Um welchen Betrag $\Delta\lambda$ ändert sich die Wellenlänge des Photons, wenn es bei der Streuung um 45° abgelenkt wird?

$\Delta\lambda = hc\,(1 - \cos(\phi)) = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos(\phi)) = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} Js}{9{,}1 \cdot 10^{-31} kg \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} \cdot (1 - \cos(45°)) = 7{,}1 \cdot 10^{-13}$

Ein Einzelphotonenzähler detektiert 1,2 Mio Photonen pro Sekunde, Wellenlänge $\lambda = 800 nm$. Welche Laserlastung fällt auf Zähler?

$P = j \cdot \hbar\omega = j \cdot \hbar \frac{2\pi c}{\lambda} = j \cdot \frac{hc}{\lambda} = \frac{1{,}2 \cdot 10^6}{s} \cdot \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{800 \cdot 10^{-9} m} = 297 \cdot 10^{-3} \approx 0{,}3 pW$

Photon mit Wellenlänge $\lambda = 852 nm$ wird von Cäsium-Atom ($m = 2{,}2 \cdot 10^{-25} kg$) absorbiert. Wie groß ist danach die Geschwindigkeit v?

$p = \frac{h}{\lambda}$ → (m) $\quad p = m \cdot v \quad m \cdot v = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow v = \frac{h}{m \cdot \lambda} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{2{,}2 \cdot 10^{-25} kg \cdot 852 \cdot 10^{-9} m} = 0{,}0035 \frac{m}{s} = 3{,}5 \frac{mm}{s}$

---

1 Die Austrittsarbeit des Metalls Magnesium liegt bei $W_A = 3{,}7 eV$. Wie groß ist die max Lichtwellenlänge λ, mit der man grade noch e^- aus Metall? $\lambda = \frac{hc}{W_A} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{3{,}7 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} CV} = 355 nm$

bei Lithium: $WA = 2{,}2 eV$, ges λ: $h \cdot \nu = WA$; $h \cdot \frac{c}{\lambda} = WA$, $\lambda = \frac{hc}{WA} = 564 nm$

TG: Licht und Photonen

Stern mit Oberflächentemp. $T = 6000 K$ und Radius $R = 2 \cdot 10^9 m$. Welche Strahlungsleistung P emittiert er? Stephan Boltzmann

$P = \sigma A T^4 = \sigma\, 4\pi R^2 T^4$

Austrittsarbeit des Metalls Lithium bei $W_A = 2{,}2 eV$. Wie groß ist die maximale Lichtwellenlänge λ mit der man gerade noch Elektronen aus Metall lösen kann?

$W_A = \hbar\omega = \hbar \frac{2\pi c}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda}$

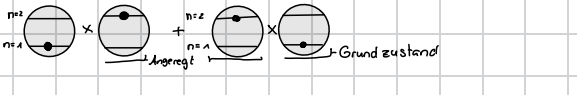
$\lambda = \frac{hc}{W_A} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2{,}2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} J} = 565 nm$

Bei Compton Streuung wird ein Photon am Elektron gestreut. Um welchen Betrag $\Delta\lambda$ ändert sich die Wellenlänge des Photons, wenn das Photon entgegengesetzt zur einlaufenden Richtung also 180° gestreut wird?

$\Delta\lambda = \lambda_c (1 - \cos(\phi)) = \frac{h}{m_e \cdot c} \cdot (1 - \cos(\phi)) = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} Js}{9{,}1 \cdot 10^{-31} kg \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} \cdot \underbrace{(1 - \cos(180°))}_{2} = 4{,}9 \cdot 10^{-12} m$

$= 4{,}9 pm$

Nehmen verschränkung von 2 Wasserstoffatomen an, sodass genau eins der beiden angeregt ist, aber beide möglichkeiten Bestehen, um welches der beiden handelt es sich?

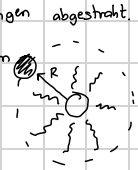


⇒ ein Photon wird zu 100% emmitiert.

Ein Stern hat Leistung $P = 1 \cdot 10^{25} W$, die isotrop in alle Raumrichtungen abgestrahlt. Welche Kraft F wirkt auf Kometen mit $A = 10^{10} m^2$ im Abstand $R = 10^9 m$

Intensität: $I = \frac{P}{4\pi R^2}$ $\quad F = p \cdot A = \frac{I}{c} \cdot A = \frac{P \cdot A}{4\pi R^2 C} = \frac{10^{25} W \cdot 10^{10} m^2}{4\pi \cdot 10^{18} m^2 \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}$

Strahlungsdruck $p = \frac{I}{c}$



$= 2{,}65 \cdot 10^7 N$

TG Ein ruhendes Atom ($m = 10^{-25}$ kg) reflektiert Photon der Wellenlänge

a) $\lambda = 780$ nm. Welche Frequenzänderung Δf erfährt das Photon bei Reflexion?

$\Delta p = 2\frac{h}{\lambda} \rightarrow V = \frac{\Delta p}{m} = \frac{2h}{\lambda m}$

$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{2h^2}{m\lambda^2} = \Delta E = h \cdot \Delta f \qquad \Delta f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{2h}{m\lambda^2} = \frac{2 \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-34}\,Js}{10^{-25}\,kg\,(780\,nm)^2} = 21{,}8\,kHz$

b) Mit welcher Lichtwellenlänge λ kann man ein Wasserstoffatom (Kernladungszahl $Z = 1$) aus dem Grundzustand mit Hauptquantenzahl $m = 1$ in angeregten Zustand ($n = 3$)?

$\Delta E = E_{Ry} \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = E_{Ry}\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{9}\right) = \frac{8}{9}E_{Ry} \qquad ; \Delta E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E}$

$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,Js \cdot 3 \cdot 10^{8}\,m/s}{\frac{8}{9} \cdot 13{,}6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,eV} = 103$ nm

Ionisierungsenergie von Rubidium ($Z = 37$; $E = 4{,}2$ eV)?

$E = E_{Ry} \cdot Z^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = E_{Ry} \cdot 37^2 \cdot \frac{1}{\infty} = 744$ eV

(Valenzeleh. in 5-Schale → 5; $n \to \infty$ → Ionisation)

Unschärfe

Ein Rubidiumatom mit $m = 10^{-25}$ kg ist in Potenzial eingeschlossen und dort auf Raumbereich von $\Delta x = 100$ nm lokalisiert. Wegen Orts-Impuls-Unschärfe besitzt Atom E_{kin}. Wie groß E_{kin}

$E_{kin} = \frac{p^2}{2m} = \frac{\Delta p^2}{2m} \Rightarrow E_{kin} \geq \frac{h^2}{2m\Delta x^2} = \frac{(6{,}62 \cdot 10^{-34}\,Js)^2}{2 \cdot 10^{-25}\,kg\,(100\,nm)^2} = 2{,}19 \cdot 10^{-28}\,J$

$\Delta p \cdot \Delta x \geq h \qquad \Delta p \geq \frac{h}{\Delta x}$

Ein Rubidiumatom ($m = 10^{-25}$ kg) ist in harmon. Potenzial $U = \frac{1}{2}m\omega^2x^2$ gefangen m Frequenz $\omega = 2\pi \cdot 100$ kHz. Grundzustandsenergie: $E_0 = \frac{1}{2}\hbar\omega$. Wie groß ist Orts-Unsch. Δx

$\frac{1}{2}m\omega^2x^2 = \frac{1}{2}\hbar\omega \rightarrow x = \sqrt{\frac{\hbar}{m \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,Js}{2\pi \cdot 10^{-25}\,kg \cdot 2\pi \cdot 100000/s}} = 41$ nm

---

Die Geschwindigkeitsunschärfe Δv eines Elektrons, wenn sein Ort mit Genauigkeit von 1 nm gemessen wird: $\Delta x \cdot \underbrace{\Delta p}_{m \cdot \Delta v} \geq h$

$\Delta v \geq \frac{h}{m \cdot \Delta x} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}\,Js}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,kg \cdot 10^{-9}\,m} = 727 \cdot 473\,\frac{m}{s}$

Kernphysik

Welcher Zerfall? $^{198}_{79}Au_{119} \rightarrow {}^{198}_{80}Hg_{118}$: $^{A}_{79}X_{119} \rightarrow {}^{198}_{80}Hg_{118}$; $Z+1$, $N-1$ ⇒ β^-

---

Sonne hat Radius von 670 000 km & Temp. von 5770K. Abstand Erde = 150 000 000 km

Wie groß Intensität der Sonnenstrahlung auf Erde:

Stefan-Boltzmann: $P = \sigma A_1 \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot 4\pi (670 \cdot 10^6 m)^2 (5770K)^4$

$= 3{,}545 \cdot 10^{26} W$

$I = \frac{P}{A} = \frac{3{,}54 \cdot 10^{26} W}{4\pi (150 \cdot 10^9 m)^2} = 1254 \frac{W}{m^2}$

Spektrale Emissionsmaximum der Sonne mit Temp. 5000K liegt bei 580nm. Welche Temp. hat ein Stern, dessen Maximum bei 400nm liegt? $T \cdot \lambda = const.$

$T_1 \cdot \lambda_1 = T_2 \cdot \lambda_2$

$\Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 5000K \cdot \frac{580\,nm}{400\,nm} = 7250\,K$

Bei Annihilation von e^- mit Antiteilchen wird mass in Energie umgewandelt und meist in 2 Photonen gleicher Energie emmitiert. Wie groß ist Energie eines jedes?

$e^- + e^+ \rightarrow 2h\nu$

$E = 2mec^2 \approx 1{,}638 \cdot 10^{-13} J$; $\frac{1}{2}\frac{E}{e} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1{,}638 \cdot 10^{-13} VAs}{1{,}6 \cdot 10^{-19} As} = 511\,875 V \approx 511\,keV$

Bei Annihilation. Wie groß ist Wellenlänge λ der Photonen

$2 \cdot me \cdot c^2 = 2 \cdot h \cdot \nu$ mit $\nu = \frac{c}{\lambda}$ $\lambda = \frac{h \cdot c}{me \cdot c^2} = \frac{h}{me \cdot c} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} Js}{9{,}1 \cdot 10^{-31} kg \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} = 2{,}4 \cdot 10^{-12} m$

Tritium besitzt Halbwertszeit von 12,33 Jahren. Wie lang bis Startzahl von $N_0 = 10^{10}$ Tritumkerne nur noch ein einziger übrig?

$N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ mit $\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln(2)}$

$= N_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_{1/2}} \cdot \ln(2)}$

$\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\frac{t}{T_{1/2}} \cdot \ln(2) \rightarrow t = \frac{-T_{1/2}}{\ln(2)} \cdot \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) \rightarrow t = \frac{-12{,}33a}{\ln(2)} \cdot \ln\left(\frac{1}{10^{10}}\right) = 410a$

Physics hour:

Aktivität: $A(t) = \frac{N_0}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \rightarrow A(t=0) = \frac{N_0}{\tau}$

$N_0 = \frac{m}{m_k} = \frac{m}{3 \cdot u}$; $\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln(2)}$

$A = \frac{m \cdot \ln(2)}{T_{1/2} \cdot 3 \cdot u} = \frac{10^{-6} kg \cdot \ln(2)}{12{,}3 \cdot 3600s \cdot 3 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} kg} = 3{,}1 \cdot 10^{15} Bq$

TG Pionen

Protonen & Neutronen bestehen aus Kombinationen von jeweils drei up und down Quarks. zb $p^+ = uud$. Es gibt in Natur auch Kombis von jeweils zwei up- und down-Quarks bzw ihrer Antiteilchen. Ein Antiteilchen wird hierbei durch Strich über dem Buchstaben markiert. ⇒ hat dementsprechend die neg. Ladung.

a) Welche Ladung besitzt $u\bar{d}$-Pion: $Ldg(u) = \frac{2}{3}e$, $Ldg(\bar{d}) = \frac{1}{3}e$ ⇒ $Ldg(u\bar{d}) = \frac{2}{3}e + \frac{1}{3}e = e \Rightarrow +e$

b) Das $u\bar{d}$-Pion $(m(u\bar{d}) = 2{,}48 \cdot 10^{-28} kg)$ zerfällt in Anti-Myon $\bar{\mu}$ $(m(\bar{\mu}) = 1{,}88 \cdot 10^{-28} kg)$ und in Myon-Neutrino ν_μ. Welche Energiemenge ΔE wird frei?

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = \left(m(u\bar{d}) - m(\bar{\mu})\right) \cdot c^2$

$= (2{,}48 - 1{,}88) \cdot 10^{-28} kg \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}\right)^2 = 5{,}4 \cdot 10^{-12} J = 33{,}75 \cdot 10^6 eV$

c) Eins der Pionen ist das ungeladene $\pi^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} - d\bar{d})$ Teilchen $(m = 2{,}48 \cdot 10^{-28} kg)$ es zerfällt in zwei Photonen. Wie groß ist die Wellenlänge λ?

$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$; $mc^2 = 2 \cdot \frac{hc}{\lambda}$ $\lambda = \frac{2h}{mc} = \frac{2 \cdot 6{,}62 \cdot 10^{-34} Js}{2{,}48 \cdot 10^{-28} kg \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} = 1{,}8 \cdot 10^{-14} m$

TG mit Radiokarbonmethode kann man alter von organ. Stoffen bestimmen. In Luft kommen Isotope ^{12}C, ^{13}C, ^{14}C vor. Verhältnisse: 98,89 % ; 1,11 % ; $1{,}2 \cdot 10^{-10}$ %. C wird von Pflanzen in form von CO_2 aufgenommen. Nach deren Tod wird nixmehr aufgenommen und der relative Anteil an ^{14}C sinkt im vergleich zu den stabilen anderen. diese haben Halbwärtszeit von $\tau = 8267$ Jahre

a) In was zerfällt $^{14}_{6}C_8 \xrightarrow{-\beta} {}^{14}_{7}N_7$ ✓

b) Wie groß ist Aktivität A von 1 Liter Luft aus Erdathmosphäre

(1L Luft enthält $N = 2{,}41 \cdot 10^{22}$ Gasteilchen davon sind 0,04% CO_2) 1 J = 365d

$N(^{14}C) = N(Luft) \cdot Anteil(C_{02}) \cdot Anteil(^{14}C) = 2{,}41 \cdot 10^{22} \cdot 0{,}04 \cdot 10^{-2} \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-10} \cdot 10^{-2} = 11\,594\,203$

$A = \frac{N}{\tau} = \frac{11\,594\,203}{8267 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600s} = 4{,}4 \cdot 10^{-5}/s$

c) Ein Massenspektrometer misst ein Teilchenverhältnis von $\left(\frac{^{14}C}{^{12}C}\right) = 5 \cdot 10^{-14}$. Vor wievielen Jahren ist Pflanze gestorben?

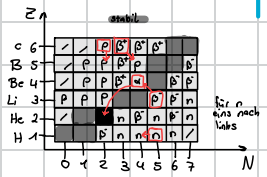
$\left(\frac{^{14}C}{^{12}C}\right) = \left(\frac{^{14}C}{^{12}C}\right)_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

$\left(\frac{^{14}C}{^{12}C}\right)_0 = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-10}\,\%}{98{,}80\,\%} = 1{,}21 \cdot 10^{-12}$

$\ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = -\frac{t}{\tau} \Rightarrow -\tau \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = -8267a \cdot \ln\left(\frac{5 \cdot 10^{-14}}{1{,}2 \cdot 10^{-12}}\right) = 26273a$

TG: Gegeben ist Nuklidtafel, in der die Zerfallsart angegeben.

p = Protonenemmission ; n = Neutronenemission.



a) In was zerfällt ^{6}Li-Isotop mit Atomgewicht A=8

A=8 Z=3 N=A-Z=5

1 β^- zerfall: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ ⇒ Z → Z+1 ; N → N-1 ⇒ Z=4 N=4

2. α-Zerfall: Z → Z-2 ; N → N-2 ⇒ Z=2 , N=2 ⇒ ^{4}He

b) In Labor hat man Masse von $m = 1{,}49 \cdot 10^{-9} kg$ von reinem $^{14}_{6}C$; $T_{1/2} = 1{,}8 \cdot 10^{11} s$

ges. Aktivität A? (Atommasse = 14,003 u)

$A(t) = \frac{N_0}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \rightarrow A(t=0) = \frac{N_0}{\tau} = \frac{N_0}{\frac{T_{1/2}}{\ln(2)}}$

$N_0 = \frac{m}{14{,}003u}$; $A = \frac{m \cdot \ln(2)}{T_{1/2} \cdot 14{,}003u} = \frac{1{,}49 \cdot 10^{-9} kg \cdot \ln(2)}{1{,}8 \cdot 10^{11} s \cdot 14{,}003 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} kg} = 2{,}4 \cdot 10^5/s = 250000 Bq$

c) Welche Energiemenge ΔE wird beim Zerfall eines $^{14}_{6}C$-Kerns frei

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = (14{,}003242 - 14{,}003074) \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} kg \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}\right)^2$

$= 2{,}51 \cdot 10^{-14} J \overset{:e}{=} 156870\,eV \approx 0{,}16\,MeV$

TG Uran-Thorium Methode: Alter bestimmen. Hierbei wird benutzt, dass Uran(^{234}U) in Thorium (^{230}Th) zerfällt. ⇒ Uran = wasserlöslich, Thorium ≠ wasserlöslich. Bildung Tropfstein wird Uran eingelagert aber noch kein Thorium das erst nach Zeit gebildet. Alterbestimmung: Verhältnismessung Uran^{234} zerfällt $\frac{1}{e}$ Zerfallszeit $\tau_{234} = 3{,}55 \cdot 10^5$ Jahre; Th-230: $\tau_{230} = 1{,}09 \cdot 10^5$ Jahre

a) Welche zerfallsart? $^{234}U \rightarrow {}^{230}T$ ⇒ α-Zerfall Masse -4

b) Anzahl der Kerne wird so beschrieben für $N_{Th}(t) = N_U(0) \cdot \left(\frac{\frac{1}{\tau_{234}}}{\frac{1}{\tau_{230}} - \frac{1}{\tau_{234}}}\right) \cdot \left(e^{\frac{-t}{\tau_{234}}} - e^{\frac{-t}{\tau_{230}}}\right)$ (Thorium, Anzahl Urankerne)

Nach welcher Zeit gibts am meisten Thorium-Kerne?

$\rightarrow N_{Th}(t) = 0$: $N_{Th}(t) = N_U(0) \left(\frac{\frac{1}{\tau_{234}}}{\frac{1}{\tau_{230}} - \frac{1}{\tau_{234}}}\right) \cdot \left(e^{\frac{-t}{\tau_{234}}} - e^{\frac{-t}{\tau_{230}}}\right) = \frac{1}{\tau_{234}} e^{\frac{-t}{\tau_{234}}} + \frac{1}{\tau_{230}} e^{\frac{-t}{\tau_{230}}}$

$\overset{!}{=} \frac{\tau_{234}}{\tau_{230}} = e^{-t\left(\frac{1}{\tau_{234}} - \frac{1}{\tau_{230}}\right)} \ln\left(\frac{\tau_{234}}{\tau_{230}}\right)$

$= -t\left(\frac{1}{\tau_{234}} - \frac{1}{\tau_{230}}\right)$

$t = \frac{\ln(\tau_{234}/\tau_{230})}{1/\tau_{230} - 1/\tau_{234}} = \frac{\ln(3{,}55/1{,}09)}{\frac{1}{1{,}09 \cdot 10^5} - \frac{1}{3{,}55 \cdot 10^5}} \approx 186000$

c) Für kurze Zeiten wird Aktivitäten-Verhältnis: $R(t) = \frac{t^2}{2 \cdot \tau_{234} \cdot \tau_{234}}$. Wie alt ist Probe wenn R=0,01

$\frac{t^2}{2\tau_{234} \cdot \tau_{230}} = 0{,}01$

$t = \sqrt{2 \cdot 0{,}01 \cdot \tau_{230} \tau_{234}} = \sqrt{0{,}02 \cdot 1{,}09 \cdot 3{,}55} \cdot 10^5 \approx 28000$