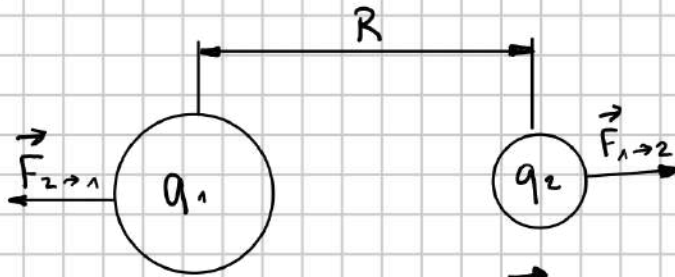


Coulomb - Gesetz

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$

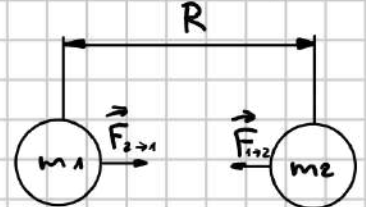


++/- Gleiche Ladung stoßen ab
+- Ungleiche Ladungen ziehen an

$$G = 6.673 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$$

Kraft zwischen zwei Massen

$$\vec{F}_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$



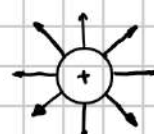
Immer anziehend!

Probeladung



$E \propto \frac{1}{r^2}$ Elektrisches Feld einer Ladung

Positive Punktladung



$$\text{Leistung } P = V \cdot I = \frac{W}{t}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_2} = \frac{1}{4 \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{R^2}$$

$$E = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{P}{x} \propto \frac{1}{\text{Abstand}}$$

Kraft auf Probeladung $\vec{F} = \vec{E} \cdot q_2$ $a = \frac{F}{m}$

Potenzial $\varphi = g \cdot h \left[\frac{J}{C} \right]$

Gravitationspotential Elektrisches Potential $\Phi [V]$

$$E_{kin} = q \cdot U = \frac{1}{2} m v^2$$

$\Delta P = \frac{E_{pot}(A,B)}{q} = U$ Elementarladung $e_e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$
 $1eV = 1,602 \cdot 10^{-19} J$

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{kin}}{m}}$$

1 - Fluss einer elektrischen Ladung

Der Fluss des elektrischen Feldes eine geschlossene Fläche ist proportional zu eingeschlossenen Ladung.

$$\oiint_A \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q_{encl}}{\epsilon_0}$$

$$a = \frac{q_2 \cdot E}{m}$$

2 - Fluss einer magnetischen Ladung

Der Fluss eines magnetischen Feldes durch eine geschlossene Fläche ist immer null – es gibt keine magnetischen Ladungen.

$$\oiint_A \vec{B} d\vec{A} = 0$$

3 - Induktionsgesetz

Ein veränderlicher magnetischer Fluss erzeugt ein elektrisches Feld oder ein Spannung.

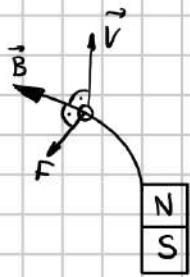
$$\oint_S \vec{E} d\vec{s} = U_{ind} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

4 - Gesetz von Ampère

Ein Strom oder ein veränderlicher Fluss erzeugt ein Magnetfeld

$$\oint_S \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 \cdot I_{encl} + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{d\Phi_{elek}}{dt}$$

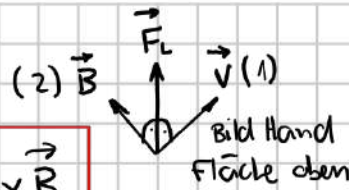
Lorentzkraft



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

Ladung $q: 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$\vec{B}$: Magnetfeldstärke T (Tesla)



Kreisbahn Zentripetalkraft

$$q \cdot v \cdot B = q \cdot E \quad v = \frac{E}{B}$$

$$m \frac{v^2}{r} = q \cdot v \cdot B$$

$$m = \frac{q \cdot B \cdot r}{v}$$

$$B(R) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

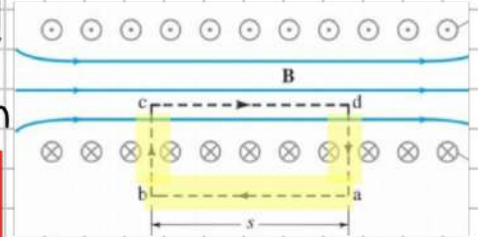
$$\vec{F}_L = N \cdot q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = \frac{N \cdot q}{t} \cdot (\vec{v} \cdot t) \times \vec{B} = I \cdot \vec{s} \times \vec{B}$$

10^{23} (Anz Moleküle)

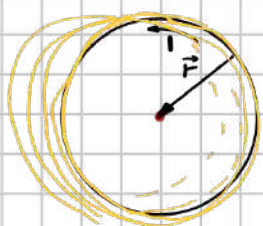
Strom I Struckes

$$B_{\text{CD}} = \mu_0 \cdot \frac{n}{s} \cdot I$$

n = Anzahl Wicklungen



Runde Leiterschleife



$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot r}$$

Feld entgegengesetzt

Transformator

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Induktionsgesetz

$$\epsilon = - \frac{d\Phi}{dt} = \int_c \vec{E} \cdot d\vec{s} = U[V] = -B \cdot L \cdot v \quad | = \frac{-B \cdot L \cdot v}{R}$$

Fluss/Magnet

Induzierte Spannung

$$\epsilon = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{Ableiten nach dt } \cos(\omega t) \rightarrow 1$$

$$d\Phi = \text{Fluss [mT]}$$

$$\Phi = B \cdot A$$

N = Anz Windungen

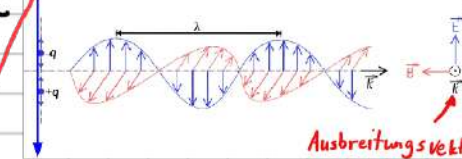
Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

B = Tesla [T]

Amplitude / E-Felder

$$B = \frac{E}{c}$$

Amplitude B-Felder



Ausbreitungsvektor

$$\vec{E}(t) = \vec{E}_0 \cdot \sin(\omega t) \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \cdot \sin(kx - \omega t)$$

Name	Bedeutung	Formelzeichen	Basiseinheiten
Newton N	Kraft	F	$N = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
Joule J	Energie	W	$J = N \cdot m = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Watt W	Leistung	P	$W = \frac{J}{s} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$
Pascal Pa	Druck	p	$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$
Tesla T	Magnetische Flussdichte	B	$T = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{V \cdot s}{m^2}$
Volt V	Elektrisches Potenzial, Spannung	U	$V = \frac{N \cdot m}{A \cdot s} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot A}$
Coulomb C	Ladung	Q	$C = A \cdot s$
Ohm Ω	Elektrischer Widerstand	R	$\Omega = \frac{V}{A} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot A^2}$
Becquerel Bq	Aktivität einer Quelle, Anzahl Zerfälle/Sek.	A	$Bq = 1/s$
Gray Gy, Sv	Durch Strahlung deponierte Energiedosis, Äquivalenzdosis	D, H	$Gy = Sv = \frac{J}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

Vorsilbe	femto	pico	nano	mikro	milli	Kilo	Mega	Giga	Tera
Abkürzung	f	p	n	μ	m	K	M	G	T
Faktor	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}

Kräfte	Arbeit, Energie, Leistung
Gravitationsgesetz: $F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ Elektromagnetismus: $F_e = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ Reibung: $F_R = \mu \cdot F_N$ Spannung: $U = R \cdot I$ Widerstand: $R = \frac{U}{I}$ Leistung: $P = U \cdot I$	Arbeit: $W = F \cdot s$ Energie: $E = m \cdot c^2$ Leistung: $P = \frac{W}{t}$ Wärme: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ Enthalpie: $H = U + p \cdot V$ Freie Enthalpie: $G = H - T \cdot S$ Enthalpieänderung: ΔH Enthalpie pro Mol: ΔH_m

Wellen

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

Ausbreitungsgeschw.

$$c = \lambda \cdot f = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T}$$

$$\text{Brechungsindex } n = \frac{c_{\text{vac}}}{c_{\text{medium}}}$$

c = Geschw [m/s]

$$\text{Kreisfrequenz } \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \text{ [1/s]}$$

λ = Wellenlänge [m]

$$\text{Lichtgeschw. } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

f = Frequenz [Hz]

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\text{Nano} = 10^{-9}$$

$$\text{Wellenzahl } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ [1/m]}$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ [J}\cdot\text{s]}$$

Brechung

$$E = h \cdot f \quad f = \frac{E}{h}$$

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

Rechts laufende Welle $\Psi(x,t) = \Psi_0 \cdot \sin(k \cdot x - \omega t)$

Links laufende Welle $\Psi(x,t) = \Psi_0 \cdot \sin(k \cdot x + \omega t)$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{n_1 \cdot \sin(\alpha)}{n_2}\right)$$

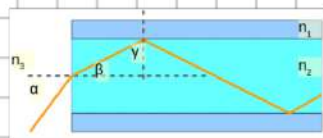
E-Modul

$$v = \frac{E}{2G} - 1 \quad \text{Intensität: } I = \frac{P}{A} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$G = \frac{E}{2(v+1)}$$

Schubmodul

Querkontraktionszahl/Poisson-Zahl



Totalreflexion $\alpha = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$ Luft $\rightarrow 1$ Glas $\rightarrow 1.5...$

$$\alpha = \arcsin(\sqrt{n_2^2 - n_1^2})$$

$$\Psi_R + \Psi_L(x,t) = 2 \Psi_n \sin(k \cdot x) \cos(\omega t)$$

Sinus mit dem Ort

Cosinus mit der Zeit

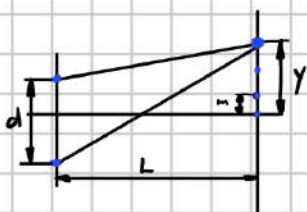
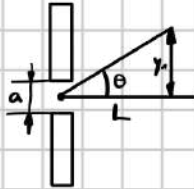
Optik

Beugung:

$$\sin(\theta) = \frac{\lambda}{a}$$

Offnungsgrösse

$$\lambda = \frac{y}{L} \cdot \frac{d}{m}$$



$$l = \frac{\lambda}{2}$$

$$l = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$l = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

d = Spaltabstand

$$d = \frac{\lambda \cdot L \cdot m}{y}$$

λ = Weglänge-Differenz

Bildberechnung

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

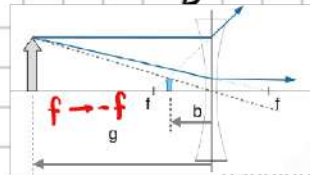
$$f_{\text{res}} = \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}\right)^{-1}$$

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

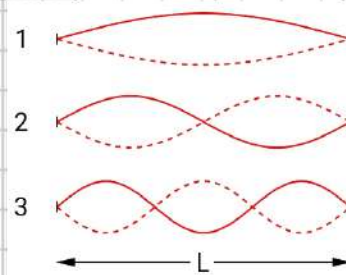
Vergrößerung $M = \frac{b}{g}$

Brennweite f

$$g = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{b}}$$

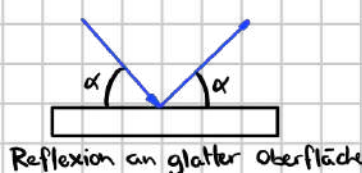


Wellenart	Medium	Phasengeschwindigkeit c	Legende
Longitudinal	Festkörper	$\sqrt{\frac{E}{\rho}}$	G Schubmodul N/m ²
	Flüssigkeiten	$\sqrt{\frac{K}{\rho}}$	E Elastizitätsmodul N/m ²
	Gase	$\sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$	K Kompressionsmodul N/m ²
Transversal	Scherwelle	$\sqrt{\frac{G}{\rho}}$	ρ Dichte kg/m ³
	Torsionswelle	$\sqrt{\frac{G}{\rho}}$	γ Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten (Adiabatenexponent)
	Saitenwelle	$\sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$	R molare Gaskonstante J/(mol K)
	elektromagnetische Welle	c_0	T Temperatur K
	elektromagnetische Welle	$\frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{1}{n}$	M molare Masse (Molmasse) kg/mol
	elektromagnetische Welle	$\sqrt{\frac{2\omega}{\mu_0 \mu_r \kappa}}$	σ Zugspannung N/m ²
	elektromagnetische Welle		ω Kreisfrequenz rad/s
	elektromagnetische Welle		c_0 Vakuumlichtgeschwindigkeit m/s
			μ_0 magnetische Feldkonstante H/m
			μ_r relative Permeabilität —
			ϵ_r relative Permittivität —
			κ elektrische Leitfähigkeit S/m
			n Brechzahl —

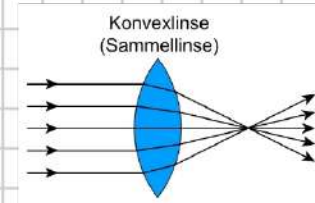


Konvex
→
verkleinert
aufrecht

Konkav
→
verkleinert
verkehrt
aufrecht vergrößert



Reflexion an glatter Oberfläche



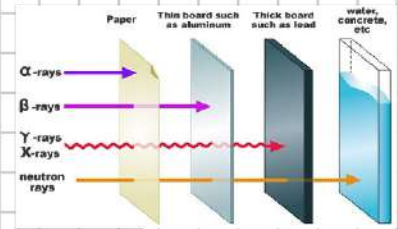
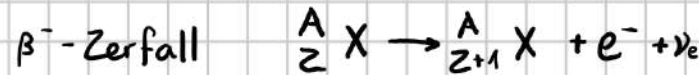
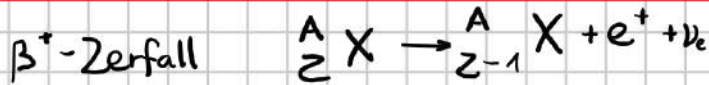
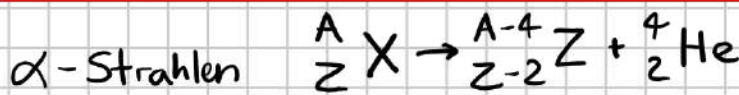
Atom

Massenspektrometer $r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$

$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ Mol} = 6 \cdot 10^{23} \text{ Atome}$

$E = mc^2$



$M = \frac{m}{n} = N_A \cdot m_m$

M = Molare Masse in g/mol

m = Masse in g

n = Stoffmenge in Mol

N_A = Avogadro-Konstante

m_m = Molekülmasse in g

Halbwertszeit $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ $\lambda = -\frac{\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)}{t}$
 λ = Zerfalls konstante
 $t_{1/2}$ = in Sekunden oder Tagen

Kernradius $r = r_0 \cdot A^{1/3}$
 $r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
 $A = 16$ (Sauerstoff-16)

Äquivalenzdosis H

Gray = $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ [Gy]

$H = Q \cdot D = Q \cdot \frac{\text{Deponierte Energie}}{\text{Masse}}$

Ionisierung

$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = h \cdot f$

Halbwertsdicke $I = I_0 \cdot 2^{-\frac{D}{\lambda}}$

Dosisrate $D = \Gamma \frac{A}{R^2}$

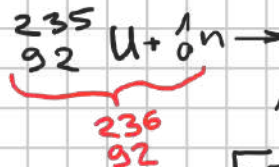
Dosisleistungskonstante $\Gamma = 0,092$

Phasendifferenz



$f = 680 \text{ Hz}$ $c = 340 \text{ m/s}$

$t = \frac{0,18}{340} = 5,29 \cdot 10^{-4} \text{ s}$



$234,993 + 1,008 = 236,001$

$132,882 + 100,899 + 2 \cdot 1,008 = 235,797$

$\Delta U = 0,204$
 $E = 0,204 \cdot 931,5 \text{ MeV/c}^2 = 190,026 \text{ MeV}$

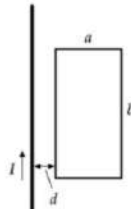
Anz Reaktionen für 100 MW

$190,026 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,04 \cdot 10^{-11} \text{ J}$

$\frac{100 \cdot 10^6 \text{ W}}{3,04 \cdot 10^{-11}} = 3,29 \cdot 10^{18}$

Aufgabe

- Parallel zur Seite b einer Schleife der Fläche $a \cdot b$ fließt im Abstand d ein Strom I.
- Berechnen Sie den Fluss des durch den Strom verursachten Magnetfelds durch die Schleife.
- Setzen Sie folgende Zahlen ein: $a = 5,0 \text{ cm}$, $b = 10 \text{ cm}$, $d = 2,0 \text{ cm}$, $I = 20 \text{ A}$.
- Überprüfen Sie die Einheiten.



Das Feld um einen langen Leiter ist gemäss Ampère $B(R) = \frac{\mu_0 I}{2 \pi R}$

Der Fluss durch ein schmales Rechteck ist $d\Phi = B(R) dA = \frac{\mu_0 I}{2 \pi R} b dR$

Integral $\Phi = \int d\Phi = \int_a^{a+b} B(R) dA = \int_a^{a+b} \frac{\mu_0 I}{2 \pi R} b dR = \frac{\mu_0 I b}{2 \pi} \ln\left(\frac{a+b}{a}\right)$

Die Differenz der Logarithmen ersetzt durch den Logarithmus des Quotienten:

$\Phi = \frac{\mu_0 I b}{2 \pi} \ln\left(\frac{d+a}{d}\right)$

Mit Zahlen eingesetzt:

$\Phi = \frac{4 \pi \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 0,1}{2 \pi} \ln\left(\frac{0,02+0,05}{0,02}\right) = 5,01 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2 \text{ kg}}{\text{s}^2 \text{ A}} = 0,5 \mu \text{ Wb}$

Stimmen die Einheiten? Das Magnetfeld in Tesla hat die Einheit einer Flussdichte, der magnetische Fluss ist das Weber (Wb).

Das Tesla bekommen wir aus der Lorentzkraft als $T = \frac{N}{\text{m} \cdot \text{A}} = \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2 \cdot \text{A}} = \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \cdot \text{A}}$

Der Fluss ist Feld $\cdot$ Fläche: $[\Phi] = T \cdot \text{m}^2 = \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{A}}$ - wie oben

Wieviele Interferenz Maxima

$\frac{0,4 \text{ m}}{0,0325 \text{ m}} = 12,3$

= Max 13 + 1 in Mitte