

1. Elektrostatik

1.1 elektrische Ladung existiert nur Ganzzahlig

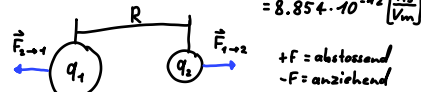
Proton = +e | Elektron = -e
Einheit Coulomb = q [C] $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 $-q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$\oplus \oplus \rightarrow$ Gleiche Ladung stoßen sich ab
 $\oplus \ominus \rightarrow$ unt. Ladung zieht sich an

Coulomb-Gesetz Punkt $\leftrightarrow$ Punkt

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

q: Ladung
R: Abstand
 ϵ_0 : elekt. Feldkonst.
 $= 8,854 \cdot 10^{-12} \left[\frac{\text{As}}{\text{Vm}} \right]$



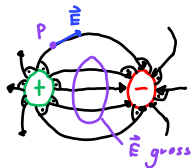
Gravitation

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

m: Masse
R: Abstand
G: Gravitation
 $= 6,673 \cdot 10^{-11} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \right]$

1.2 Elektrisches Feld ($\vec{E}$) $\left[\frac{\text{V}}{\text{m}}, \frac{\text{N}}{\text{C}} \right]$ im Punkt P

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \Leftrightarrow \vec{F} = q_0 \cdot \vec{E}$$



$\vec{E}$: Vektor, der in jedem Punkt (x,y,z) angegeben werden kann
Vektor tangential zur Feldlinie
Kein e. Feld in Leitern

$$\vec{d} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q_0}{m} \cdot \vec{E}$$

1.3 E-Feld Punktladung u. System

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \hat{r}$$

$\hat{r}$: Einheitsvektor
r: Betagsvektor

* $\vec{F}$ nur wenn: versch. Ladungen
versch. Abstände } unsymmetrisch
 $\cdot R^3$

1.3 Elektrostatistische Kraft auf Punktladung

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{q_0 q}{r^2} \cdot \hat{r}$$

1.4 Superpositionsprinzip (Punktladung)

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i = \sum_i \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{q_i}{r_i^2} \cdot \hat{r}_i$$

Energie $\vec{E}$ -Feld Radius im Ursprung

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\vec{E} = \frac{1 \sin \theta}{2\pi \epsilon_0 R}$$

2. Elektrisches Potenzial (statisch)

2.1 elektrische potenzielle Energie

$$\Delta E_{\text{pot},E} = \Delta E_{\text{pot},f} - \Delta E_{\text{pot},i} = -W$$

$$W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

$\Delta E_{\text{pot},E}$: elek. pot. Energie [J]
 $\Delta E_{\text{pot},f}$: Endzustand
 $\Delta E_{\text{pot},i}$: Anfangszustand
W: Arbeit [J]
 Φ : elekt. Potenzial $\left[\frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V} \right]$
 q_0 : Ladung [C]
 $\vec{r}_0$: Punkt [m]
 $\Delta \Phi$: Spannung [V]
kinf: E am Ende
kini: E am Anfang
 Φ_+ : Pluspol
 Φ_- : Minuspol

2.2 elektrisches Potenzial

$$\Phi(\vec{r}_0) = \frac{E_{\text{pot},E}}{q_0} = - \int_{\infty}^{\vec{r}_0} \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

2.2.1 Spannung (Potentialdifferenz)

$$\Delta \Phi = \Phi_+ - \Phi_- = \frac{\Delta E_{\text{pot},E}}{q_0} = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

2.2.2 Elektronenvolt = elektrische Energie

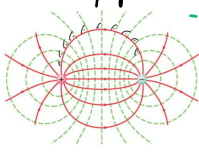
$$1 \text{ eV} = q \cdot eV = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot eV = \text{J}$$

2.3 Bsp. für Potenziale

2.3.1 Coulomb-Potenzial/Punktladung *

$$\Phi(r) = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} = \frac{E_{\text{pot}}}{q}, E_{\text{pot},E} = q_0 \Phi = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{q_0 q}{r}$$

2.3.2 Äquipotentialfläche



--- Bewegung ohne Hubarbeit

2.4 Potenzial homogenes $\vec{E}$ -Feld

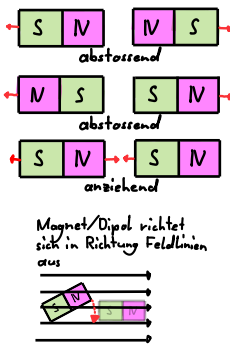
$$\vec{E} = -\vec{E}_0 \hat{y} \quad 0 < y < d$$

d.h.: Plattenabstand
 $\hat{y}$: Einheitsvekt. in y-Richtung

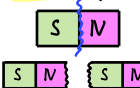
$$\Delta E_{\text{pot},E}(h) = E_{\text{pot},E}(h) - E_{\text{pot},E}(0) = qE_0 h$$

2.5 Energieerhaltungssatz

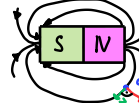
$$W_E = \Delta E_{\text{kin}} + \Delta E_{\text{pot}} = E_{\text{kin},f} - E_{\text{kin},i} + E_{\text{pot},f} - E_{\text{pot},i} = 0$$



Keine Monopole!



nur geschlossene Feldlinien!



$\vec{F}$ in $\vec{B}$ immer $\perp$ zu $\vec{v}$

Vertikale Abweichung

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2} \frac{q E_y}{m} t^2$$

Horizontale Abweichung

$$x = \frac{1}{2} a_x t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2x}{a_x}}$$

Konst. Beschleunigung

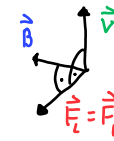
$$v_{x,f}^2 = v_{x,i}^2 + 2 a_x \Delta x$$

3. Magnetismus

3.1 Magnetische Kraft auf bewegte Ladung/Lorentzkraft

$$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B} = q \cdot \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix}$$

$$\vec{F}_L = \vec{F}_{EM}$$



$$|\vec{F}_L| = |q \vec{v} B \sin \theta|$$

3.2 Elektromagnetische Kraft/Lorentzkraft $\vec{v}$ und $\vec{B}$ müssen nicht zueinander sein

$$\vec{F}_{EM} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

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

3.3 Elektrischer Strom (Wie viele Elektronen wandern durch ein Kabel in einer gewissen Zeit)

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{U}{R} = \frac{\Delta \Phi}{R}$$

3.4 Magnetische Kraft auf einen Leiterabschnitt

$$\vec{F} = I \cdot \vec{s} \times \vec{B} = \frac{dq}{dt} \cdot \vec{s} \times \vec{B} = \frac{N \cdot dq}{dt} \cdot \vec{s} \times \vec{B} \quad \vec{s} = \vec{l}$$

3.5 Homogenes Magnetfeld $\Rightarrow$ Zyklotonenradius

$$a_r = \frac{v^2}{r}, a = \frac{F}{m} = \frac{q}{m} \cdot v B \quad \vec{v} \cdot \vec{B} = \cos 90^\circ$$

$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \quad T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{q B} \quad f = \frac{1}{T}$$

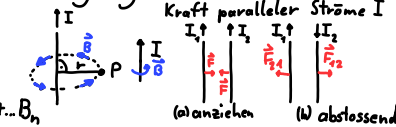


$\vec{F}$ = mag. Kraft [N]
 q = elekt. Ladung [C]
 $\vec{v}$ = Geschw. $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
 $\vec{B}$ = Magnetfeld [T]
 $\vec{E}$ = el. Feld $\left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$
I = Strom [A]
 $\vec{s}$ = Weg (Leiter) [m]
N = Anzahl
U = Spannung/Potentialdiff [V]
R = Reibung/Widerstand $\left[\frac{\text{V}}{\text{A}} \right]$
r = Zyklotonenradius
T = Zyklotonenperiode
 μ_0 = mag. Feldkonstante
 $4\pi \cdot 10^{-7}$

4. Quellen des Magnetfelds (Erzeugung $\vec{B}$ durch q mit $\vec{v}$)

4.1 Magnetfeld langen, geraden Leiter

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

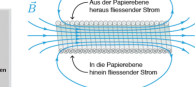
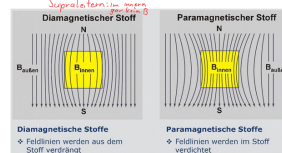


$$\sum_{i=1}^n \vec{B}_i = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$$

4.2 Magnetfeld innerhalb einer Spule

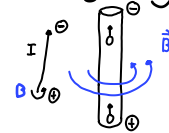
$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot I$$

wirkt abstoßend ($\mu < \mu_0$) wirkt anziehend ($\mu > \mu_0$)

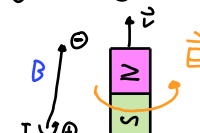


3.6 $\vec{E}$ vs. $\vec{B}$

Bewegte Ladung erzeugt Magnetfeld $\vec{B} \rightarrow \text{Kap. 4}$



Bewegter Magnet erzeugt elektrisches Feld $\vec{E}$



L.R.

5. Magnetische Induktion (herbeiführen)

5.1 Magnetischer Fluss

$$\Phi_M = \int_A \mathbf{B} \cdot d\vec{A} = \vec{B} \cdot \vec{A} \cdot \cos \theta$$

$$\Phi_{M, \text{Spule}} = N \cdot \Phi_M \quad \Phi_E = \int_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \vec{E} \cdot \vec{A} \cdot \cos \theta$$

5.2 Induktionsgesetz

$$U_{\text{ind}} = (-) \frac{d\Phi_M}{dt} \quad I = \frac{U}{R}$$

← Zeit Ableiten

5.2.1 Allgemeines Faraday-/Induktionsgesetz

$$U_{\text{ind}} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d\Phi_M}{dt}$$

5.3 Lenz'sche-Regel

LENZ'SCHE REGEL
Eine induzierte Spannung verursacht einen Strom, dessen Magnetfeld der ursprünglichen Änderung des Flusses entgegen gerichtet ist. Bei dA rechte Hand-Regel

5.4 Maximale induzierte Spannung/Amplitude

$$U_{\text{ind}} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$$

5.4.1 U_{ind}/Generatoren u. Motoren bestimmter Zeitpunkt

$$\Phi_M = N \cdot B \cdot A \cdot \cos \theta \quad U_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi_M}{dt} = - NBA \frac{d}{dt} \cos(\omega t)$$

$$\theta(t) = \omega t \quad = NBA \omega \sin(\omega t) = U_0 \cdot \sin(\omega t)$$

$$\Phi_M(t) = NBA \cos(\omega t)$$

6. Wellen

Transversale Welle

Segmentbewegung $\perp$ zur Strecke

→ Sinusförmig

Longitudinale Welle

Segmentbewegung längs der Strecke

→ Verdichtend u. Verdünnend

6.1 Allgemeine Wellenfunktion

$y = f(x - vt)$ Wellenberg-Verschiebung/Laufrichtung nach rechts

$y = f(x + vt)$ Wellenberg-Verschiebung/Laufrichtung nach links

$$\Phi_M = \text{Moy. Fluss} \quad [\text{Tm}^2 = \text{Vs}]$$

$$\Phi_E = \text{El. Fluss} \quad [\frac{\text{Vm}^2}{\text{c}} = \text{Vm}]$$

$$N = \# \text{ Windung}$$

$$U_{\text{ind}} = \text{induzierte Spannung} \quad [\frac{\text{V}}{\text{s}}]$$

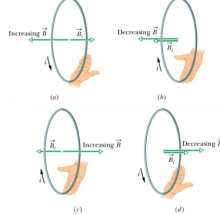
$$C = \text{umschlossene Fläche}$$

Induzierte Spannung erzeugen durch

- Magnetfeldänderung (a)
- Flächenänderung (b)
- Winkeländerung (c)

Ein sich ändernder Φ_M erzeugt ein elektrisches Feld $\vec{E}$

5.3



6.2 Harmonische/periodische Wellen

Wellen-/Ausbreitungsgeschwindigkeit c oder v

Abhängig vom Medium, unabhängig von Bewegung

$$\text{Seilwelle: } c = v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F}{m/\lambda}}$$

$$\text{Harmon. W.: } c = v = \lambda f = \frac{\omega}{k} \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda}$$

6.3 Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\lambda_1} = \frac{\sin \theta_2}{\lambda_2}$$

f hat keinen Einfluss

$$v_1 = \frac{c}{n_1}, v_2 = \frac{c}{n_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n = \frac{c}{c_n} \quad \lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

6.4 Zeitdifferenz zwischen 2 Wellen

$$\Delta t = t_s - t_p = \frac{d}{v_s} - \frac{d}{v_p} \Rightarrow d = \frac{\Delta t}{\left(\frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_p}\right)}$$

6.5 Harmonische Wellenfunktion

$$y(x, t) = y_m \cdot \sin(kx \pm \omega t + \phi) = y_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x - \frac{2\pi}{T} \cdot t + \phi\right) \text{ Ort}$$

$$v(x, t) = -\omega y_m \cos(kx - \omega t + \phi)$$

$$a(x, t) = \omega^2 y_m \sin(kx - \omega t + \phi)$$

Kreisfrequenz

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad f = \frac{1}{T} \quad T = \frac{1}{f}$$

Wellenzahl

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\text{Phase} = (kx \pm \omega t)$$

$$\text{Phasenkonstante } \phi \Rightarrow (kx \pm \omega t + \phi)$$

$$x=0 \text{ u. } t=0 \text{ ergibt } \phi$$

6.6 Energietransport in Wellen

Transversale Geschwindigkeit

$$v_y(x, t) = \frac{dy_m}{dt} y(x, t) = -\omega y_m \cos(kx - \omega t)$$

$$\Delta E_{\text{kin}}(x, t) = \frac{1}{2} \Delta m v_y^2 = \frac{1}{2} \Delta m \omega^2 y_m^2 \cos^2(kx - \omega t)$$

$$\Delta E = \Delta E_{\text{kin}}(t) + E_{\text{pot}}(t) = E_{\text{pot, max}} = E_{\text{kin, max}} = \frac{1}{2} \Delta m \omega^2 y_m^2$$

$$\text{Leistung: } P_{\text{gem}} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta m}{\Delta t} \omega^2 y_m^2 = \frac{1}{2} \frac{\mu \Delta x}{\Delta t} \omega^2 y_m^2 = \frac{1}{2} \mu v \omega^2 y_m^2$$

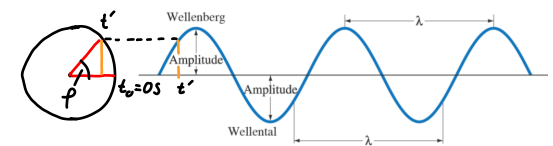
6.7 Resonanz (Frequenz der Eigenschwingung)

$$\text{Wellenlänge: } \lambda_n = \frac{2L}{n} \quad \text{Frequenz: } f_n = \frac{n \cdot v}{2L} = n \cdot f_1$$

$$\text{Periodendauer: } T_n = \frac{1}{f_n} = \frac{2L}{nv} = \frac{T_1}{n}$$

$$n = \text{ganze Zahlen}$$

$$\text{Zeit: } \Delta t = \frac{L}{c} \quad \text{hier } = 3 \cdot 10^8 \text{ s}$$



1: Wellenlänge (Abstand zw. 2 maximal)

f: Frequenz (# 1 in einer Zeit)

v=c: Ausbreitungsgeschw./Phasengeschw. $[\frac{\text{m}}{\text{s}}]$

y_m: Amplitude: max. Hoch-/Tiefpunkt zur Nulllage

y(x, t): Auslenkung der Welle am Ort x zur Zeit t

k: Wellenzahl $[\frac{1}{\text{m}}]$

ω: Kreisfrequenz = Winkelgeschw. $[\text{rad/s}]$ Wie schnell schwingt es?

f: Frequenz = Schwingung pro Sekunde [Hz]

T: Periodendauer = Zeit für eine Schwingung

θ: Einfallswinkel

Δt: Laufzeitunterschied [s]

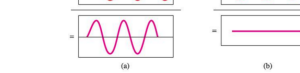
d: Entfernung Epizentrum [m]

v_s: Ausbreitungsgeschw. S-Wellen $[\frac{\text{m}}{\text{s}}]$

v_p: Ausbreitungsgeschw. P-Wellen $[\frac{\text{m}}{\text{s}}]$

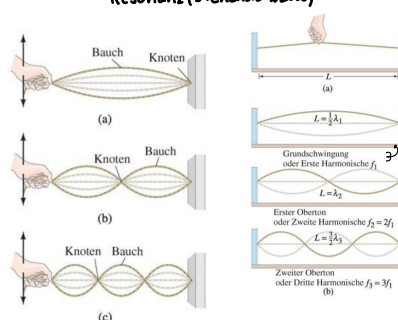
n: Brechungsindex

Interferenz



konstruktiv destruktiv

Resonanz (Stehende Welle)



Modus n	Resonanzperiode T _n
1	T ₁
2	T ₂
3	T ₃
...	T _n

Resonanzfrequenz f _n	
f ₁ = 1/T ₁	Grundschwingung
2 · f ₁	1. Harmonische/Oberton
3 · f ₁	2. Harmonische/Oberton
n · f ₁	

7. Elektromagnetische Wellen

Wellengleichung

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

$$\vec{B}(x,t) = \vec{B}_0 \sin(kx \pm \omega t) \cdot \hat{y}$$

$$E = c \cdot B \quad E = |\vec{E}|, B = |\vec{B}|$$

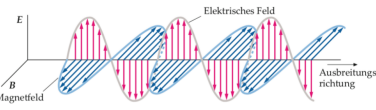
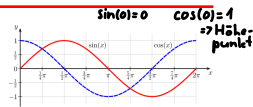
Wellenfunktion

$$\vec{E}(x,t) = \vec{E}_0 \sin(kx \pm \omega t + \rho)$$

$$\vec{B}(x,t) = \vec{B}_0 \sin(kx \pm \omega t + \rho)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad c: \text{Lichtgeschw.}$$

$$U_{\max} = B \cdot l = l \cdot B_0 \sin(kx \pm \omega t + \rho) \Rightarrow \text{gleich für } E$$



$$\vec{E} \times \vec{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \vec{k}$$

ρ : Phasenverschiebung

P : emittierte / Strahlungsleistung [W]

ϵ_0 : elekt. Feldkonstante $8.85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$

σ : Boltzmann const. $= 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

A : Oberfläche der Körpers [m²]

T : Temperatur [K]

$\lambda_{\max}$: intensivste Wellenlänge [m]

b : Wiansche const. $= 2.897 \cdot 10^{-3} m \cdot K$

I_{EM} : Intensität [$\frac{W}{m^2}$]

h : plancksche Wirkungsquantum $= 6.63 \cdot 10^{-34} Js$

p : Impuls [$\frac{kgm}{s}$]

P : Leistung [$W = \frac{kgm^2}{s^3}$]

7.1 Boltzmann-Gesetz

$$P = \epsilon_0 \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad \text{hier } \epsilon: \text{Emissionsgrad Oberfläche}$$

7.2 Wienschen Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

7.3 Intensität EM-Wellen

$$I_{EM} = \langle v_{em} \rangle \cdot c = \frac{1}{\mu_0} E_{eff} B_{eff} = \frac{1}{2\mu_0} E_0 B_0$$

$$= \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_0^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 c B_0^2$$

$$I = \frac{P}{A}$$

7.4 Photoenergie

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

7.5 Impuls eines Photons

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

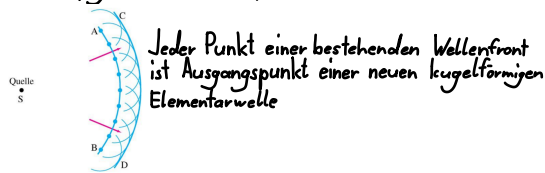
$$E_{em} = \# \text{ Photonen} \cdot hf$$

Umrechnungstabelle

Einheit	in Metern
Meter [m]	1 [m]
Millimeter [mm]	$1 \cdot 10^{-3}$ [m]
Mikrometer [μm]	$1 \cdot 10^{-6}$ [m]
Nanometer [nm]	$1 \cdot 10^{-9}$ [m]
Pikometer [pm]	$1 \cdot 10^{-12}$ [m]

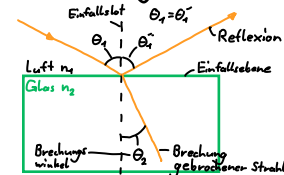
8. Optik

8.2 Huygens'sches Prinzip



Jeder Punkt einer bestehenden Wellenfront ist Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Elementarwelle

8.3 Reflexionsgesetz u. 6.3 Brechungsgesetz

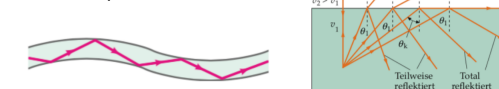


8.4 Totalreflexion

Kritischer Winkel θ_k der Totalreflexion

θ_i ist so gross, dass Licht nur reflektiert wird

$$\sin \theta_k = \frac{n_2}{n_1} \sin(90^\circ) = \frac{n_2}{n_1}$$

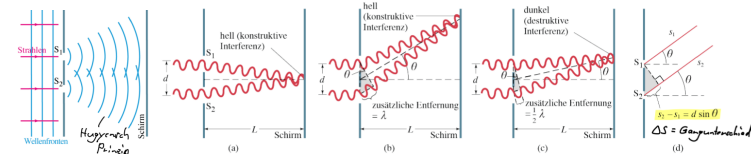


8.5 Dispersion

bezeichnet die Frequenzabhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle in einem Medium.

=> Versch. Farben (=Frequenzen) breiten sich untersch. schnell aus.

8.6 Youngsche Doppelspaltexperiment



Interferenzmaxima/-minima beim Doppelspalt:

$$d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda \quad (\text{konstruktive Interferenz, Maximum})$$

$$d \cdot \sin \theta = (m + \frac{1}{2}) \lambda \quad (\text{destruktive Interferenz, Minimum})$$

Position auf Schirm:

$$\tan \theta_m = \frac{y_m}{L}$$

$$y_m = L \cdot \tan \theta_m = m \cdot \frac{L \cdot \lambda}{d}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad m_{\max} = \sin \theta \frac{d}{\lambda} \Rightarrow \pm m \text{ mit } "0" \neq \max$$

Phasendifferenz Aufgrund Gangunterschied

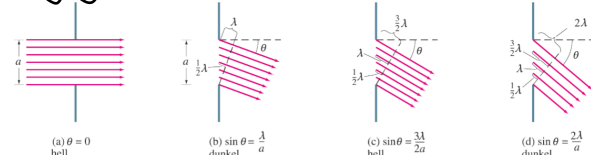
$$\Delta \phi = \frac{\Delta s}{\lambda} \cdot 2\pi$$

$$\Delta \phi = \phi_2 - \phi_1$$

$$\Delta s = s_2 - s_1 = d \cdot \sin \theta$$

$$\Delta \phi = \phi_2 - \phi_1 = (k s_2 - \omega t) - (k s_1 - \omega t) = k(s_2 - s_1) = k \Delta s = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta s$$

Beugung am Einfachspalt



Beugungsgleichung (Winkel des zentralen Beugungsmaximums)

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a} \quad (\text{erstes Minimum})$$

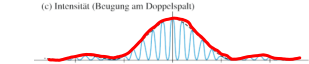
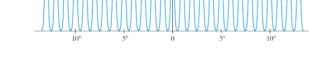
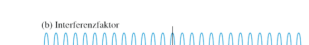
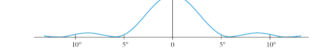
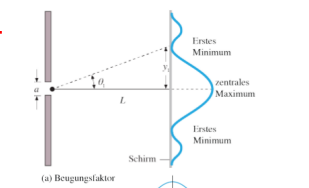
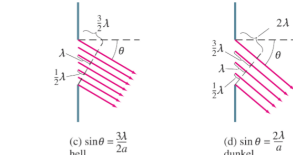
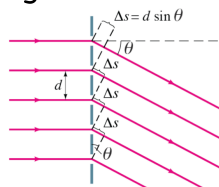
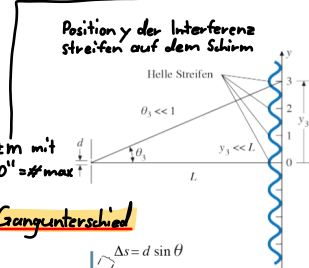
Beugungsminima (Einfachspalt)

$$a \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda \Rightarrow \text{auslöschung}$$

Gitterkonstante (Abstand zw. 2 Linien)

$$d = \frac{1}{N}$$

Winkel nimmt mit Wellenlänge zu!



Beim Doppelspalt bestimmt die Beugung die Form, die Interferenz füllt sie mit Streifen. beides zusammen ergibt die tatsächliche Intensitätsverteilung.

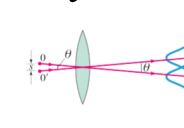
d: Abstand der beiden Spalte
 θ: Winkel zum m-ten Maximum relativ zur Lotrichtung
 m: Ordnung des Maximums, m=0, ±1, ±2.. (ganzzahlig!)
 λ: Wellenlänge des verwendeten Lichts
 x_m: Abstand des m-ten Maximums von der Mitte auf dem Schirm
 L: Abstand vom Doppelspalt zum Schirm
 Δφ: Phasendiff. (in Radiant)
 Δs: Gangunterschied = Wegdifferenz zwischen beiden Wellen
 s_n: Weg vom Spalt n zum Punkt P
 a: Spaltbreite
 D: Apparatur Durchmesser
 N: # Gitterlinien pro Länge
 Zentraler = Beugungsspektralbreite, mittleres max. Beugungshüllkurve

Auflösung optischer Instrumente

Auflösungsgrenze (Rayleigh-Kriterium)

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

Winkel für getrennte Objekterkennung



8.7 Geometrische Optik

8.7.1 Spiegel

Abbildungsgleichung Sphärischer Spiegel

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

Brennweite Sphärischer Spiegel

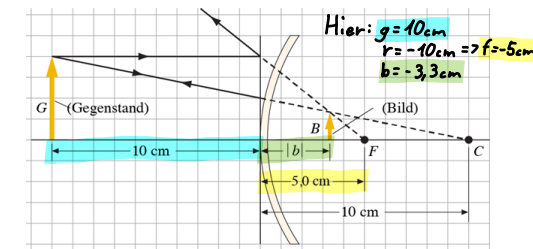
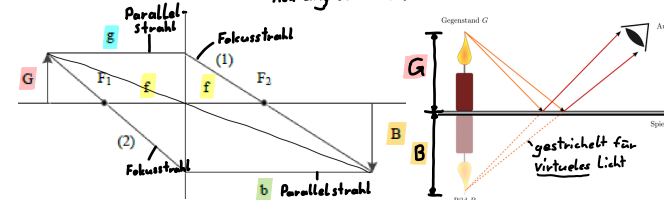
$$f = \frac{1}{2} r$$

Vergrößerung beim Sphärischer Spiegel

$$V = \frac{B}{G} = -\frac{b}{g}$$

V > 0 => aufrecht, virtuell
 V < 0 => invertiert, reell

Achtung bei Linsen!



m	Ort	Phasendifferenz Δφ	Resultat
0	Geradeaus (Mitte)	0	Zentrales Maximum (hell)
1	Seitlich (links/rechts)	2π	1. Nebenmaximum
2	weiter außen	4π	2. Nebenmaximum

Effekt	Ursache	Erscheinung
Beugung	Wellenbiegung an einem Spalt oder Hindernis	Hüllkurve des Musters (Einzelspalt)
Interferenz	Überlagerung mehrerer Wellenzüge	Streifenmuster (z.B. Doppelspalt)

Vergleich: Brechung vs. Beugung nach Wellenlänge

Merkmale	Brechung	Beugung
Physikalischer Effekt	Richtungsänderung beim Übergang in anderes Medium	Ablenkung an einem Spalt oder Hindernis
Ursache	Änderung der Lichtgeschwindigkeit im Medium	Wellencharakter & Spaltgröße
Wellenlängenverhalten	Kurzwelliges Licht wird stärker gebrochen	Langwelliges Licht wird stärker gebeugt
Beispielfarbe innen	Blau/Violett (Regenbogen)	Rot (Beugungsspektrum außen)
Typisches Beispiel	Regenbogen, Glasprisma, Linse	CD, Nebelringe, Doppelspalt
Abhängigkeit von λ	n = n(λ) => Dispersion	θ ∝ λ/a

Konkav: Löffelinnenseite f > 0, D > 0
 Konvex: Löffelaussenseite f < 0, D < 0
 f: Brennweite des Spiegels
 D: Brechkraft in Dioptrien
 g: Gegenstandsweite (Abstand Objekt-Spiegel)
 b: Bildweite (Abstand Bild-Spiegel)
 r: Krümmungsradius
 V: Vergrößerung
 B: Bildgröße/-höhe
 G: Gegenstandsgröße/-höhe

9 Radioaktivität

9.1 Struktur u. Eigenschaften des Atomkerns

Atomkern = Proton + Neutron = Nukleon

	Proton	Neutron	Elektron
Ladung	$e^+ = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	un geladen = 0	$e^- = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Masse	$m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
rel. Masse	$m_p = 1,007276 u$	$m_n = 1,008665 u$	$m_e = 0,00054858 u$
Energie	$E_p = 938,27 \text{ MeV}/c^2$	$E_n = 939,57 \text{ MeV}/c^2$	$E_e = 0,51100 \text{ MeV}/c^2$

Massenzahl = Proton + Neutron

Bsp. 1: ${}^4_2\text{He}$ 4: Massenzahl (A)
2: Ordnungszahl (Z)

Bsp. 2: ${}^4_2\text{He}$, Helium-4, He-4

$A = Z + N$ A: Massenzahl
 $N = A - Z$ Z: Ordnungszahl
N: Neutronen

Grösse u. Form der Kerne

$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

$r = r_0 \cdot A^{\frac{1}{3}}$

Ruheenergie

$E = mc^2 = u c^2$

9.2 Massendefekt

Massen einzelner Protonen, Neutronen u. Elektronen
schwerer als ganzer Atomkern
→ Widerspruch Axiom Massenerhaltung

9.3 (Kern-) Bindungsenergie

$\Delta E_B = \sum_{i=1}^A (m_i c^2) - m_K c^2$ c in MeV/u

9.4 Bindungsenergie pro Nukleon

$\Delta E_{BN} = \frac{\Delta E_B}{A}$

9.4 Radioaktiver Zerfall

Kerne in einem Atom

$N = \frac{m}{M} \cdot N_A$

Zerfallsgesetz

$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right) t}$ $\Leftrightarrow \lambda = -\frac{\ln \left(\frac{N(t)}{N(0)}\right)}{t}$

Zerfallrate / Aktivität

$R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = R_0 e^{-\lambda t}$

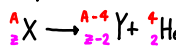
$R_0 = \lambda N_0$ $N_0 = \frac{R_0 \cdot T_{1/2}}{\ln(2)}$

Halbwertszeit u. mittlere Lebensdauer

$T = \frac{1}{\lambda}$ (mittlere Lebensdauer)

$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \ln(2) t \Leftrightarrow \lambda = \frac{\ln(2)}{t}$

Alphastrahlen



Gammastrahlen

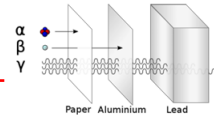


Betastrahlen

Umwandlung von Proton zu Neutron im Kern u. umgekehrt. Tritt ein, wenn zu viele oder zu wenige Neutronen

β^- -Zerfall ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + e^- + \bar{\nu}_e$ Neutron $\rightarrow$ Proton

β^+ -Zerfall ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + e^+ + \nu_e$ Proton $\rightarrow$ Neutron
Elektroneneinfang



Absorptionsgesetz

$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$ (homogene Medien monochromatisches Strahlung)

9.5 Dosimetrie / Strahlungsmessung

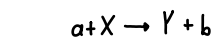
Energiedosis

$D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$

Äquivalenzdosis

$H = Q \cdot D$

10 Kernreaktion



Reaktionsenergie (Q-Wert)

$Q = (m_a + m_X - m_b - m_Y) c^2$

$Q = E_{\text{kin},b} + E_{\text{kin},Y} - E_{\text{kin},a} - E_{\text{kin},X}$

$Q > 0$: Energie wird freigesetzt

$Q < 0$: Reaktion nimmt Energie auf

$1 u = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$

erhalten bleibende Grössen
- elektr. Ladung
- Nukleonenzahl
- gesamte Energie (inkl. mc^2)
- Impuls
 $\Rightarrow$ Masse bleibt nicht erhalten

Q: Reaktionsenergie [J]/[MeV]
a: einwirkendes Teilchen (Proton/Neutron)
X: Zielkern
b: emittiertes Teilchen
Y: Produktkern

