Formelsammlung Physik I & II

Nora Zoller

	Bedeutung	Einheit
A	Amplitude	
B	B-Feld	$T = N\,A^{-1}\,m^{-1}$
c	Ausbreitungs-geschwindigkeit	$m\,s^{-1}$
c	Dämpfungsstärke	$kg\,s^{-1}$
c	Wärmekapazität (spezifisch)	$J\,kg^{-1}\,K^{-1}$
c_W	Widerstandsbeiwert	
C	Wärmekapazität (molar)	$J\,mol^{-1}\,K^{-1}$
D	Brechkraft	$dpt = m^{-1}$
D	Federkonstante	$N\,m^{-1} = kg\,s^{-2}$
$\vec{E}$	Elektrisches Feld	$N\,C^{-1} = V\,m^{-1}$
E	Energie	$J = N\,m = kg\,m^2\,s^{-2}$
f	Frequenz	$Hz = s^{-1}$
F	Kraft	$N = m\,kg\,s^{-2}$
I	Stromstärke	$A = C\,s^{-1}$
I	Trägheitsmoment	$kg\,m^2$
k	k-Wert	$W\,m^{-2}\,K^{-1}$
k	Wellenzahl	m^{-1}

	Bedeutung	Einheit
L	Drehimpuls	$kg\,m^2\,s^{-1}$
L	Länge	m
M	Drehmoment	$N\,m = kg\,s^{-2}$
m	Magnetisches Moment	$A\,m^2$
M	Masse	kg
n	Brechungsindex	
n	Stoffmenge	mol
N	Teilchenzahl	
p	Druck	$Pa = N\,m^{-2} = m^{-1}\,kg\,s^{-2}$
p	Impuls	$N\,s = m\,kg\,s^{-1}$
P	Leistung	$W = J\,s^{-1} = N\,m\,s^{-1}$
Q	Ladung	$C = A\,s$
Q	Wärme	$J = N\,m = kg\,m^2\,s^{-2}$
$\dot{Q}$	Wärmefluss	$W = J\,s^{-1}$
R	Widerstand	$\Omega = V\,A^{-1}$
S	Entropie	$J\,K^{-1}$
T	Periode	s
T	Temperatur	K
T	Zeit	s
U	Innere Energie	$J = N\,m = kg\,m^2\,s^{-2}$

	Bedeutung	Einheit
U	Spannung	$V = J\,C^{-1}$
V	Volumen	m^3
W	Arbeit	$J = N\,m = kg\,m^2\,s^{-2}$
α	Wärmeübertragungskoeff.	$W\,m^{-2}\,K^{-1}$
β	Vergrösserung	
η	Viskosität	$N\,s\,m^{-2}$
η	Wirkungsgrad	
λ	Wärmeleitfähgikeit	$W\,m^{-1}\,K^{-1}$
μ_0	Haftreibungszahl	
μ	Gleitreibungszahl	
ω	Winkelgeschwindigkeit Kreisfrequenz	s^{-1}
ϕ_M	magnetischer Fluss	$T\,m^2$
Φ	Austrittsarbeit	eV/J
ρ	Dichte	$kg\,m^{-3}$
ρ	spezifischer Widerstand	$\Omega\,m$
φ_0	Phasenverschiebung	

1 Allgemeines

Algorithmus (Anti-Blackout)

1. Aufgabe **ruhig** durchlesen.
2. **Nicht nur überfliegen!**
3. Was ist gegeben? Umrechnen in SI-Eiheiten.
4. Was ist gesucht?
5. Lösungsweg **überlegen**.
6. Passende Formeln aufschreiben.
7. Durchführung Lösungsweg mit Variablen.
8. Einheitencheck.
9. Zahlen einsetzen.
10. Ausrechnen.
11. Runden.
12. Plausibilität des Resultats überprüfen.

2 Physikalische Konstanten

Boltzman-Konstante $k = 1.38 \cdot 10^{-23}\, J\, K^{-1}$
Elektrische Feldkonstante $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}\, C^2\, N^{-1}\, m^{-2}$
Elektronenmasse $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}\, kg$
Elementarladung $e_0 = 1.602 \cdot 10^{-19}\, C$
Fallbeschleunigung $g = 9.81\, m\, s^{-2}$
Gravitationskonstante $G = 6.674 \cdot 10^{-11}\, m^3\, kg^{-1}\, s^{-2}$
Lichtgeschwindigkeit $c_{Vakuum} = 2.9979 \cdot 10^8\, m\, s^{-1}$
Schallgeschwindigkeit $c_{Schall} = 343\, m\, s^{-1}$
Magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\, N\, A^{-2}$
Plancksches Wirkungsquantum $h = 6.6262 \cdot 10^{-34}\, J\, s = 4.1357 \cdot 10^{-15}\, eV\, s$
Universelle Gaskonstante $R = 8.314\, J\, mol^{-1}\, K^{-1}$

3 Präfixe

T	Tera	10^{12}	P	Piko	10^{-12}
G	Giga	10^9	n	Nano	10^{-9}
M	Mega	10^6	μ	Mikro	10^{-6}
k	Kilo	10^3	m	Milli	10^{-3}
h	Hekto	10^2	c	centi	10^{-2}
da	Deka	10^1	d	dezi	10^{-1}

4 Umrechnungen

$$1\, bar = 10^5\, Pa$$
$$1\, atm = 1,0133 \cdot 10^5\, Pa$$
$$1\, psi = 6,8948 \cdot 10^3\, Pa$$

$$1\, eV = 1.602 \cdot 10^{-19}\, J$$

$$\frac{\vartheta}{1^\circ\, C} = \frac{T}{1\, K - 273.15}$$
$$T = \vartheta \cdot \frac{1\, K}{1^\circ\, C} + 273.15\, K$$

$$1\, m\, s^{-1} = 3.6\, km\, h^{-1}$$

$$1\, T = 10^4\, G$$

5 Mathe

α	0	30	45	60	90
$\sin\alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos\alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\tan\alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	-

$$\sin\alpha = \frac{y}{r} = y$$
$$\cos\alpha = \frac{x}{r} = x$$
$$\tan\alpha = \frac{y}{x}$$

$$\sin(90^\circ - \alpha) = \cos\alpha$$
$$\cos(90^\circ - \alpha) = \sin\alpha$$

$$\sin\alpha = \frac{Gegenkathete}{Hypothenuse}$$
$$\cos\alpha = \frac{Ankathete}{Hypothenuse}$$
$$\tan\alpha = \frac{Gegenkathete}{Ankathete}$$

$$\vec{a} \times \vec{b} = |\vec{a}| \cdot \left|\vec{b}\right| \cdot \sin\alpha$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

6 Mechanik

6.1 Kinematik des Massenpunktes

Gleichförmige Bewegung ohne Beschleunigung

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t$$
$$v(t) = \dot{x}(t) = v_0$$

Ungleichförmige Bewegung mit Beschleunigung

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$$
$$v(t) = \dot{x}(t) = v_0 + a \cdot t$$
$$a(t) = \dot{v}(t)$$

Schiefer Wurf Achtung, mehrere Winkel α möglich bei gegebenem x!

$$x(t) = v_0 \cdot t \cdot \cos(\alpha)$$
$$y(t) = v_0 \cdot t \cdot \sin(\alpha) - \frac{g}{2} \cdot t^2$$

Kreisbewegung auf einer Kreisbahn

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$$
$$\Delta\varphi = \frac{b}{r}$$
$$v(t) = r \cdot \omega(t)$$
$$a = \frac{v^2}{r}$$

6.2 Newtonsche Axiome

Erstes Axiom Jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder gleichförmigen geradlinigen Bewegung, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.

Zweites Axiom Wird eine Masse beschleunigt, so muss eine Kraft wirken

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}(t) = m\ddot{r}(t)$$

Drittes Axiom actio = reactio

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

6.3 Kräfte

Gravitationskraft (Newton)

$$F_N = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Reibungskraft .

Haftreibung von ruhenden Körpern

$$F_H = \mu_0 \cdot F_N$$
$$F_H = m \cdot a_{max}$$

Gleitreibung kleiner als Haftreibung, bei $a > a_{max}$

$$\vec{F}_r = -\mu F_N \frac{\vec{v}}{v}$$

Widerstandskraft (z.B. Sinkflug eines Fallschirms, siehe 6.9)

$$F_W = F_G$$
$$F_W = p_{Stau} \cdot A \cdot c_w$$

Auftriebskraft (z.B. Abheben eines Flugzeugs, siehe 6.9)

$$F_A = F_G$$
$$F_A = (p_u - p_o) \cdot A$$
$$p_u + \frac{\rho \cdot v_u^2}{2} = p_o + \frac{\rho \cdot v_o^2}{2}$$

Federkraft .

$$F = -D \cdot x$$

Beschleunigtes/Rotierendes Bezugssystem Scheinkräfte

$$\vec{F}_{Coriolis} = 2 \cdot m \cdot (\vec{v} \times \vec{\omega})$$
$$\vec{F}_{Zentrif} = m \cdot \omega^2 \cdot \dot{\vec{r}}$$

6.4 Arbeit, Leistung und Energie

Arbeit Kraft entlang eines Weges

$$W = F_s \cdot s = F \cdot s \cdot \cos\varphi$$
$$\int_{s_1}^{s_2} \vec{F}(s)\,\mathrm{d}\vec{s}$$

Hubarbeit Unterschied in der potentiellen Energie

$$W_H = m \cdot g \cdot h$$

Elastische Verformungsarbeit gegen Federkraft

$$W = \frac{D\,s^2}{2}$$

Beschleunigungsarbeit Unterschied in der kinetischen Energie

$$W_B = m\frac{a^2 t^2}{2} = m\frac{v^2}{2}$$

Leistung Arbeit pro Zeit

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad \text{bzw.} \quad P = \vec{F}(t) \cdot \vec{v}(t)$$

Energie Arbeitsvermögen

Potentielle Energie Lageenergie

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$
$$E_{pot} = \frac{D}{2} x^2$$

Kinetische Energie Bewegungsenergie

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

Erhaltungssatz In einem abgeschlossenen System bleibt die Summe aller Energien konstant.

6.5 Impulssatz und Drehimpulssatz

Kraftstoss Zeitintegral der Kraft

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t)\,\mathrm{d}x = \vec{p}(t_2) - \vec{p}(t_1)$$

Gerader zentraler Stoss Bewegung eindimensional

vollkommen elastischer Stoss keine Energieumwandlung in Wärme oder Deformation

$$\vec{v_1}' = \frac{(m_1 - m_2)\vec{v_1} + 2m_2\vec{v_2}}{m_1 + m_2}$$
$$\vec{v_1}' = \frac{(m_2 - m_1)\vec{v_2} + 2m_1\vec{v_1}}{m_1 + m_2}$$

vollkommen unelastischer Stoss Kugeln bleiben nach dem Stoss zusammen

$$\vec{v_1}' = \vec{v_2}' = \vec{v}'$$
$$\vec{v}' = \frac{m_1\vec{v_1} + m_2\vec{v_2}}{m_1 + m_2}$$

Impuls Erhaltungsgrösse

$$\vec{p}(t) = m \cdot \vec{v}(t) = m \cdot \dot{\vec{r}}$$
$$\dot{\vec{p}}(t) = \vec{F}$$

Impulssatz Gesamtimpuls bleibt erhalten.

$$\sum_{i=1}^{N} \vec{p}_i = const$$

Drehimpulssatz Drehimpuls eines Massenpunktes ist konstant, wenn kein Drehmoment wirkt.

Drehmoment Drehende Wirkung einer Kraft

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$
$$|\vec{M}| = M = |\vec{r}| \cdot |\vec{F}| \cdot \sin x = |\vec{r} \times \vec{F}|$$

Drehimpuls Erhaltungsgrösse

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

Drallsatz Drehmoment bewirkt Änderung von Drehimpuls

$$\dot{\vec{L}} = \vec{M}$$

6.6 Bewegung starrer Körper

Schwerpunktssatz Auf jeden Massenpunkt eines Körpers wirkt eine Kraft mit einem externen Anteil und einem Anteil auf Grund der Wechselwirkung mit anderen Massenpunkten.

Allgemeine Bewegung eines starren Körpers: Translation, Schwerpunktsbewegung und Rotation.

Schwerpunkt: Mit der Masse gewichtetes Mittel der Massenkoordinaten

$$\vec{r}_s = \frac{\sum_{i=1}^{N} m_i \vec{r}_i}{m}$$

Schwerpunktsbewegung: hängt nicht vom Angriffspunkt der externen Kräfte ab (Schwerpunkt bewegt sich immer so, wie wenn alle Kräfte im Schwerpunkt angreifen würden und die gesamte Masse im Schwerpunkt konzentriert wäre), wird nicht von inneren Kräften beeinflusst

Trägheitsmoment Widerstand eines starren Körpers gegenüber einer Änderung seiner Rotationsbewegung, hängt von der Drehachse ab

$$I = \sum_{i=1}^{N} m_i \cdot r_i^2 = \int_V r^2 \cdot \mathrm{d}m = \rho \cdot \int_V r^2 \mathrm{d}V$$

Rotationsenergie kinetische Energie

$$E_{kin,rot} = \frac{I \cdot \omega^2}{2}$$

Kinetische Energie einer Rollbewegung Translationsbewegung des Schwerpunktes mit Geschwindigkeit v und Drehbewegung um den Schwerpunkt mit Winkelgeschwindigkeit $\omega = v/R$

$$E_{kin} = \underbrace{\frac{m \cdot v^2}{2}}_{\text{Translation}} + \underbrace{\frac{I_s \cdot \omega^2}{2}}_{\text{Rotation}}$$

Kreiselbewegung Durch drei Winkel φ, ϑ und ψ beschrieben

Eigenrotation Winkel ψ beschreibt Rotation um die Symmetrieachse

Präzession Winkel φ beschreibt Richtung der Projektion der Symmetrieachse auf die xy-Ebene, Präzessionsperiode T_P

$$T_P = \frac{4\,\pi^2\, I}{M\, T}$$

Nutation Winkel ϑ beschreibt Neigungswinkel

6.7 Freie Schwingungen (ohne äusseren Einfluss)

Harmonische Schwingung Rückstellkraft proportional zur Auslenkung und ohne Dämpfung also ohne Reibungsverluste

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$
$$v(t) = \dot{x}(t) = \omega \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$
$$a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{x}(t) = -\omega^2 \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Gedämpfte Schwingung Der Schwingung wird laufend Energie entzogen, oft proportional zur Geschwindigkeit

$$x(t) = A \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$
$$A(t) = A \cdot e^{-\delta\, t}$$

Parameter von Schwingungen

Kreisfrequenz/Eigenfrequenz ω_0

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

Periode T Zeit, für die gilt $x(t+T) = x(t)$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

Frequenz f Anzahl Schwingungen pro Sekunde

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

Amplitude A
maximale Auslenkung

Phasenverschiebung φ_0
Zwei Schwingungen sind phasenverschoben, wenn die Periodenlängen übereinstimmen, aber die Zeitpunkte ihrer Nulldurchgänge nicht

Abklingzeit τ
Nach $\frac{1}{\delta}$ fällt die Amplitude auf den $\frac{1}{e}$ten Teil ab

Dämpfungsstärke c für grosse c wird ω imaginär und es kommt keine Schwingung zustande

6.8 Erzwungene Schwingungen (äusserer Einfluss)

Anregung periodisch

$$F(t) = F_0 \cos(\Omega \cdot t)$$

Frequenz f entspricht der Frequenz Ω der Anregung

6.9 Strömungslehre

Grundlagen .

Stationäre Strömungsmuster Strömung im Gleichgewicht, keine zeitliche Änderung

Strömende Medien nicht kompressibel

Stromlinienbild Geschwindigkeitsvektor an jeder Stelle die Richtung der Tangenten an die Stromlinie durch diese Stelle, Stromlinien können sich nicht schneiden (Geschwindigkeit an jeder Stelle eindeutig)

Kontinuitätsgleichung In einer Stromröhre (Teilchen können Röhre nicht verlassen) muss die gesamte Masse der Teilchen, die A_1 passiert, bei A_2 wieder erscheinen.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Bernoulli-Gleichung Beschleunigung durch Druckdifferenz

Druck p Kraft pro Flächeneinheit

$$p = \frac{F}{A}$$

Bernoulli-Gleichung Energieerhaltung (siehe 6.3)

$$\underbrace{p}_{StatischerDruck} + \underbrace{\frac{\rho \cdot v^2}{2}}_{Staudruck} = const$$

Gesetz von Hagen-Poiseuille Laminare Strömung (Bewegung ohne Wirbel und Turbulenzen)

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi r^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{l}$$

Reibungsgesetz mit Viskosität η

$$F_R = \eta \cdot A \cdot \frac{v_0}{d}$$

Strömungswiderstand umströmter Körper .

Staudruck dynamischer Druck

$$p_{Stau} = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Widerstandskraft (siehe 6.3)

$$F_W = c_W \cdot A \cdot p_{Stau}$$

7 Thermodynamik

7.1 Einführung

Wärmeinhalt Summe aller kinetischen und potentiellen Energien eines Stoffes

7.2 Ideale Gasgleichung

Eigenschaften des idealen Gases .

- Eigenvolumen der Gasmoleküle gegenüber dem Volumen des Gases vernachlässigbar
- Bewegungsenergie der Gasmoleküle viel grösser als potentielle Energie zwischen Molekülen
- Stösse zwischen Gasmolekülen und mit Wänden sind elastisch (keine Bewegungsenergie verloren)

Zustandsgleichung des idealen Gases universelle Gasgleichung

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T$$
$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Isotherm (Boyle-Mariott)

$$p \cdot V = const.$$

Adiabatisch Poisson

$$p \cdot V^{\gamma} = const.$$
$$\gamma = \frac{C_{mp}}{C_{mV}}$$

Isobar (Gay-Lussac)

$$\frac{V}{T} = const.$$

Isochor (Amontons)

$$\frac{p}{T} = const.$$

7.3 Kinetische Gastheorie

Mittlere kinetische Energie eines Gasmoleküls

$$\frac{3}{2}kT$$

Geschwindigkeitsverteilung Anzahl $N(v) \cdot dv$ der Gasmoleküle, die eine Geschwindigkeit zwischen v und $(v + dv)$ haben

$$N(v)dv = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv$$

7.4 Erster Hauptsatz der Thermodynamik

Formulierung In einem abgeschlossenen System bleibt die Summe aller Energien konstant.

$$\Delta U = \Delta W + \Delta Q$$

Wärmeübertrag $\Delta W = 0$

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$
$$= n \cdot C \cdot \Delta T$$

Volumenänderungsarbeit $\Delta W \neq 0$

$$\Delta W = -p \cdot \Delta V = \int_{V_1}^{V_2} p(V) \cdot \mathrm{d}V$$

Thermodynamische Prozesse Zustandsänderung eines thermodynamischen Systems

Isotherm T konstant

Isochor V konstant

Isobar p konstant

Adiabatisch $\Delta Q = 0$

Allgemein Q und W keine Zustandsgrössen (prozessabhängig!), U Zustandsgrösse

Gleichverteilungssatz und Wärmekapazität .

Freiheitsgrade f Anzahl unabhängige Parameter eines Systems, hier Moleküle eines idealen Gases (punktförmig 3, starre Hantel 5, schwingende Hantel 7, mehratomig starr 6)

Innere Energie eines idealen Gases (nur Temperaturabhängig)

$$U = N \cdot \frac{f}{2} \cdot k \cdot T = n \cdot \frac{f}{2} \cdot R \cdot T$$

Isochore molare Wärmekapazität bei isochoren Prozessen

$$C_{mV} = \frac{f}{2} \cdot R$$

Isobare molare Wärmekapazität bei isobaren Prozessen

$$C_{mp} = \left(\frac{f}{2} + 1\right) \cdot R$$

Adiabatische Zustandsänderungen Kein Wärmeaustausch mit der Umgebung

$$\Delta Q = 0 \qquad \text{und damit} \qquad \Delta U = \Delta W$$

7.5 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik

Formulierung Es gibt keine Maschine, die Wärme vollständig und fortlaufend in Arbeit umwandelt.

Reversible und irreversible Prozesse Bei einem reversiblen Prozess kann das System nach Ablauf des Prozesses wieder in den Anfangszustand zurückgebracht werden, ohne Änderungen in der Umgebung zurückzulassen. Bei langsamer Prozessführung sind isotherme Prozesse nahezu reversibel.

Wärmekraftmaschinen wandeln Wärme teilweise in Arbeit um.

Kältemaschinen nehmen Wärme aus einem kalten Wärmereservoir und geben eine um die hineingesteckte Arbeit grössere Wärmemenge an ein wärmeres Wärmereservoir ab.

Wirkungsgrad η

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\text{geleistete Arbeit}}{\text{eingebrachte Wärme}}$$
$$\eta_{rev}^{WKM} > \eta_{irrev}^{WKM}$$

Carnot Maschine reversibler Kreisprozess

1. Isotherme Expansion (bei T_h)
2. Adiabatische Expansion
3. Isotherme Kompression (bei T_k)
4. Adiabatische Kompression

$$\eta = \frac{T_h - T_k}{T_h} = 1 - \frac{T_k}{T_h}$$

7.6 Entropie

Eigenschaften Zustandsgrösse, Mass für die Nicht-Reversibilität eines Prozesses

Entropieänderung bei einem Prozess entspricht der übertragenen Wärmeenergie dividiert durch die Temperatur, bei der die Wärmeenergie übertragen wird.

$$\mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q_{rev}}{T} \qquad [S] = J\,K^{-1}$$
$$\Delta S = 0 \qquad \text{für reversible Prozesse}$$
$$\Delta S > 0 \qquad \text{für irreversible adiabatische Prozesse}$$
$$\Delta S < 0 \qquad \text{für irreversible Kreisprozesse}$$

7.7 Phasenumwandlungen

Phasen Aggregatzustände eines Stoffes: fest, flüssig, gasförmig

Phasenumwandlung Übergang zwischen verschiedenen Phasen, auch zwischen zwei verschiedenen kristallinen Formen

Energie für einen Phasenübergang benötigte Energie Q ist materialabhängig

$$Q_{schmelz} = c_{schmelz} \cdot m$$
$$Q_{verdampf} = c_{verdampf} \cdot m$$

Sättigungsdampfdruck Im Gleichgewicht zwischen Flüssigkeit und Gas üben Moleküle in der Gasphase einen temperaturabhängigen Druck auf die Oberfläche aus. Dieser ist unabhängig von der Gegenwart anderer Gase.

Relative Luftfeuchtigkeit φ

$$\varphi = \frac{\textit{tatsächliche Dampfkonzentration}}{\textit{Sättigungsdampfkonzentration}} \cdot 100\,\%$$
$$= \frac{\textit{tatsächlicher Dampfdruck}}{\textit{Sättigungsdampfdruck}} \cdot 100\,\%$$

Taupunkt Relative Luftfeuchtigkeit $100\,\%$

p,T-Diagramme Überblick über bei verschiedenen Drücken und Temperaturen auftretende Gleichgewichtszustände

Kältemaschinen entnehmen einem kalten Reservoir Wärme und geben sie zusammen mit der aufgewendeten Arbeit an ein warmes Reservoir ab

7.8 Wärmeübertragung

Wärmeleitung Verbindet ein Stab der Länge l und Querschnittsfläche A zwei Wärmespeicher und kann der Stab keine Wärme an seinen Seitenflächen abgeben, so beobachtet man einen Wärmefluss vom heisseren zum kälteren Speicher durch den Stab.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \frac{A}{l}(T_1 - T_2)$$
$$[\dot{Q}] = J\,s^{-1} = W \qquad [\lambda] = W\,m^{-1}\,K^{-1}$$

Konvektion Wärme wird durch Strömung übertragen

Freie Konvektion Strömung beruht auf Dichteunterschied infolge Temperaturdifferenz

Erzwungene Konvektion Keine freie Konvektion

k-Wert Energie, die pro Sekunde, pro Quadratmeter und pro Grad Temperaturunterschied durch eine bestimmte Konstruktion fliesst

$$\dot{Q} = k \cdot \Delta T \cdot A \qquad k = \frac{\lambda}{l}$$
$$\frac{1}{k_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$$

Vergleich der Wärmeleitfähigkeit
Wärmeübertrag durch Konvektion reduziert tatsächlichen k-Wert

Wärmeübertragungskoeffizient α beschreibt Wärmeübertrag zwischen Fluid und Wand

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (T_{Fluid} - T_{Wand})$$

Wärmestrahlung Körper senden auf Grund ihrer erhöhten Temperatur elektromagnetische Strahlung aus

Planck'sches Strahlungsgesetz beschreibt Intensitätsverteilung der Wärmestrahlung eines schwarzen Referenzkörpers als Funktion der Wellenlänge.

Wien'sches Strahlungsgesetz Für jede Temperatur existiert eine Wellenlänge, bei der die Strahlungsleistung maximal ist.

8 Elektrizität

8.1 Elektrostatische Felder

Strom I .

Stromstärke Ladungen, die pro Sekunde durch ein Objekt fliessen

$$I = \frac{Q}{t}$$
$$Q = I \cdot t$$

Ladungen Positive und negative Ladungen, gleiche Ladungen stossen sich ab, ungleiche Ladungen ziehen sich an

Kleinste Ladungsmenge Elementarladung e_0

Ladungserhaltung In einem abgeschlossenen System bleibt die Ladung erhalten.

Coulombkraft Kraftwirkung zwischen zwei Punktladungen

$$\vec{F}_{01} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_0 \cdot Q_1}{(\vec{r}_0 - \vec{r}_1)^2} \cdot \frac{\vec{r}_0 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}_1|}$$

Superpositionsprinzip Wirkungen von einzelnen Ladungen lassen sich addieren

$$\vec{F}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{q \cdot Q_i}{(\vec{r} - \vec{r}_i)^2} \cdot \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$$

Elektrisches Feld Beeinflussung einer Probeladung

$$\vec{F}(\vec{r}) = q \cdot \vec{E}(\vec{r})$$
$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{(\vec{r} - \vec{r}_i)^2} \cdot \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$$

Richtung des E-Feldes Richtung der Kraft auf eine positive Probeladung

E-Feld eines Ringes mit Radius r und Ladung Q und Abstand x zum Ring

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{x \cdot Q}{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

E-Feld zwischen zwei Platten mit entgegengesetzter Ladung von gleichem Betrag ist homogen

E-Feld mit Ladungsdichte bei einer kontinuierlichen Ladungsverteilung

1. Ladung eines kleinen Bereichs ds: dq
2. E-Feld von ds: dE / dE_x / dE_y
3. Integration über s: E / E_x / E_y

$$\rho(\vec{r}\,') = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta V}$$
$$\vec{E}(\vec{r}) = \int_V \mathrm{d}\vec{E}(V')$$
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \int_V \frac{\rho(\vec{r}\,')}{(\vec{r} - \vec{r}\,')^2} \cdot \frac{\vec{r} - \vec{r}\,'}{|\vec{r} - \vec{r}\,'|}$$

Elektrisches Dipolmoment p

$$p = 2d \cdot q$$

Darstellung eines Vektorfeldes:

- Ein Pfeil an der Stelle $\vec{r}$ beschreibt das Feld $\vec{E}(\vec{r})$ an dieser Stelle, Pfeillänge proportional zur Stärke und Pfeilrichtung in Richtung des E-Feldes.
- Feldlinien zeigen das E-Feld, Tangenten an die Feldlinien zeigen die Richtung und Dichte der Feldlinien proportional zur des E-Feldes. Feldlinien beginnen bei der positiven und enden bei der negativeren Ladung.

8.2 Potential und Spannung

Elektrostatische Arbeit Für die Bewegung einer Probeladung durch ein elektrisches Feld muss die elektrostatische Kraft (wegunabhängig!) überwunden werden.

$$W_{1\to 2} = \int_1^2 -q \cdot \vec{E}(\vec{r})\,\mathrm{d}\vec{r} = (-q) \cdot \int_1^2 \vec{E}(\vec{r}) \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

Elektronenvolt Kinetische Energie eines Teilchens mit der Ladung 1 e (Elementarladung), wenn es im Vakuum eine Spannung von 1 Volt durchläuft.

Spannung U Arbeit pro Probeladung

$$\text{Spannung } U_{12} = \text{Potentialdifferenz } \varphi_{12}$$
$$\varphi_{12} = U_{12} = \frac{W_{1\to 2}}{q} = -\int_1^2 \vec{E}(\vec{r}) \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$
$$[U] = V = J\,C^{-1}$$

Potential φ Potentialdifferenz zwischen einer Stelle im Unendlichen und dieser Stelle

$$\varphi_1 = \varphi(\vec{r}) = \varphi_{\infty 1} = \frac{W_{\infty 1}}{1} = -\int_\infty^1 \vec{E}(\vec{r}) \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$
$$\varphi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$$

Äquipotentialflächen Flächen, auf denen alle Punkte dasselbe Potential haben, zwischen diesen Punkten besteht keine elektrische Spannung. $\vec{E}(\vec{r})$ ist an jeder Stelle $\vec{r}$ der Äquipotentialfläche senkrecht zur Äquipotentialfläche. Oberflächen eines Leiters entsprechen einer Äquipotentialfläche.

$$U_{12} = 0 = -\int_1^2 \vec{E}(\vec{r}) \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

8.3 Elektrischer Strom

Elektrischer Strom Strom fliesst per Definition vom Plus zum Minuspol. Elektronen fliessen aber von der negativen zur positiven Seite eines Metallstabes.

Driftgeschwindigkeit v_D Konstante mittlere Geschwindigkeit der Elektronen

Mittlere Stromstärke I

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Momentane Stromstärke I

$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \dot{Q}(t)$$

Strom in einem geraden Drahtstück mit Querschnittsfläche A, Elektronendichte n und Driftgeschwindigkeit v_D

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{v_D \cdot \Delta t \cdot A \cdot n \cdot e_0}{\Delta t} = v_D \cdot A \cdot n \cdot e_0$$

Ohmsches Gesetz .

Elektrischer Widerstand R

$$R = \frac{U}{I}$$

Ohmsches Gesetz (Widerstand unabhängig von der Stromstärke)

$$U = R \cdot I$$

Spezifischer Widerstand ρ Materialkonstante, um den Einfluss von l und A korrigiert

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l}$$

Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes

Materialklassen Temperaturabhängigkeit und Absolutwerte des spezifischen Widerstandes charakteristisch

Leiter: $\rho < 10^{-4}\,\Omega\, m$
Halbleiter: $10^{-4}\,\Omega\, m < \rho < 10^{12}\,\Omega\, m$
Isolator: $\rho > 10^{12}\,\Omega\, m$

Parallelschaltung von Widerständen

$$I = I_1 + I_2$$
$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$
$$\frac{1}{R_{total}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$$

Serienschaltung von Widerständen

$$U = U_1 + U_2$$
$$R_{total} = R_1 + R_2$$
$$R_{total} = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

Elektrische Leistung P Arbeit der Spannung an der Ladung bei einer Ladungsverschiebung

Mittlere Leistung $P(t)$

$$\Delta W(t) = \Delta Q \cdot U(t)$$
$$P(t) = \frac{\Delta W(t)}{\Delta t}$$

Momentane Leistung $P(t)$

$$P(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta W(t)}{\Delta t}$$
$$P(t) = U(t) \cdot I(t)$$

8.4 Magnetfelder

Magnetfeld Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern

Feldlinien zeigen lokal die Richtung und mit ihrer Dichte die Stärke des Magnetfeldes, immer geschlossen

Magnetische Pole Immer paarweise, gleiche Pole stossen einander ab, ungleiche Pole ziehen sich an

Biot-Savartsches Gesetz Beitrag des Leiterstückes $\mathrm{d}\vec{r}_2$ mit Strom I_2 zum Magnetfeld an der Stelle $\vec{r}_1$

$$\mathrm{d}\vec{B}(\vec{r}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{[I_2 \cdot \mathrm{d}\vec{r}_2 \times (\vec{r}_1 - \vec{r}_2)]}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$
$$\mathrm{d}\vec{F}_{12} = I_1 \cdot \mathrm{d}\vec{r}_1 \times \mathrm{d}\vec{B}(\vec{r}_1)$$

Magnetfeld eines ganzen Leiters (einer Kurve C)

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \int_C \frac{I \cdot \mathrm{d}\vec{r}' \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$
$$\left|\vec{B}\right| = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Richtung des B-Feldes Rechte-Hand-Regel: Daumen zeigt in technische Stromrichtung, gekrümmte Finger geben Richtung der Feldlinien an

Magnetfeld im inneren einer langen Spule Spule der Länge L mit N Windungen

$$\left|\vec{B}_{innen}\right| = \mu_0 \frac{N}{L} \cdot I$$

Lorentzkraft Kraft eines Magnetfeldes $\vec{B}(\vec{r})$ auf einen Strom I im Leiterstück $\mathrm{d}\vec{r}$ an der Stelle $\vec{r}$

$$\mathrm{d}\vec{F}_L = I \cdot \mathrm{d}\vec{r} \times \vec{B}(\vec{r})$$

Lorentzkraft für ein einzelnes geladenes Teilchen mit Ladung Q und Geschwindigkeit $\vec{v}$ in einem Magnetfeld $\vec{B}$

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

Drehmoment auf eine Leiterschleife Drehbar gelagerte stromdurchflossene Leiterschleife erfährt in einem homogenen Magnetfeld ein Drehmoment, nur Ströme parallel zur Drehachse erzeugen ein Drehmoment bezüglich der Drehachse (Achtung: Drehmoment wirkt auf jede Windung einer Spule!)

$$\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$$

Magnetisches Moment der Leiterschleife mit Fläche A

$$\vec{m} = I \cdot A \cdot \vec{n}$$

Halleffekt Zusammenspiel von elektrostatischen und magnetischen Kräften, proportional zum wirkenden B-Feld. Ladungen bewegen sich deshalb gerade durch den Leiter.

$$\left|\vec{F}_{Lorentz}\right| = \left|\vec{F}_{Elektrost.}\right|$$
$$e_0 \cdot v_D \cdot B = E \cdot e_0$$

Hall-Spannung U_H Bei positiven Ladungen ändert sich das Vorzeichen der Hall-Spannung

$$U_H = A_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$$

Hall-Konstante A_H

$$A_H = \frac{1}{n \cdot e_0}$$

8.5 Induktion

Faradays Gesetz Ändert sich der von einer Leiterschleife umschlossene magnetische Fluss, wird in der Leiterschleife eine Spannung induziert, die umso grösser ist, je grösser die Flussänderung pro Zeiteinheit ist.

Magnetischer Fluss ϕ_M durch eine Fläche A

$$\phi_M = \int_A \vec{B}(\vec{r}) \cdot \mathrm{d}\vec{f} = B \cdot A$$

Magnetischer Fluss ϕ_M durch eine Spule mit Radius r und N Windungen

$$\phi_M = N \cdot B \cdot \pi r^2$$

Induzierte Spannung U_{ind}

$$U_{ind} = -\frac{\mathrm{d}\phi_M(t)}{\mathrm{d}t} = -\dot{\phi}_M(t)$$

Lenzsche Regel Induktionsspannung und Induktionsstrom sind so gerichtet, dass sie ihrer Ursache entgegenwirken.

8.6 Magnetismus in Materie

Magnetisches Moment eines Elektrons

$$\vec{m} = \vec{m}_{Bahn} + \vec{m}_{Spin} \approx -\frac{e_0}{2 \cdot m_{e^-}} \cdot \left(\vec{L} + 2 \cdot \vec{S}\right)$$

Moment des Elektrons auf seiner Bahn $\vec{m}_{Bahn}$

$$|\vec{m}_{Bahn}| = I \cdot \pi \cdot r^2 = f \cdot e_0 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$f = \frac{|\vec{v}|}{2\pi \cdot r} \qquad \left|\vec{L}\right| = m_{e^-} \cdot |\vec{v}|\, \vec{r}$$

$$\vec{m}_{Bahn} \approx -\frac{e_0}{2 \cdot m_{e^-}} \cdot \vec{L}$$

Moment $\vec{m}_{Spin}$ des Elektrons durch den Spin $\vec{S}$.

$$\vec{m}_{Spin} = -\frac{e_0}{m_{e^-}} \cdot \vec{S}$$

Magnetisierung $\vec{M}$ des Festkörpers mit Volumen V

$$\vec{M} = \frac{\vec{m}}{V}$$

Magneten .

Paramagneten Magnetisierung ist Null (Atomare magnetische Momente sind nicht geordnet)

Ferromagneten Magnetisierung auch ohne äusseres Feld (atomare magnetische Momente lokal oder total parallel ausgerichtet)

Erzeugtes Magnetfeld $\vec{B}_M$

$$\vec{B}_M = \mu_0 \cdot \vec{M}$$

8.7 Wechselstromkreis

Wechselspannung mit Amplitude $\hat{U}$

$$U(t) = \hat{U} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Wechselstrom mit Amplitude $\hat{I} = \frac{\hat{U}}{R}$

$$I(t) = \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Leistung eines Wechselstromes

Momentane Leistung $P(t)$

$$P(t) = \frac{\hat{U}^2}{2R} \cdot [1 + \cos(2\omega \cdot t)]$$

Durchschnittliche Leistung P

$$\overline{P}(t) = \frac{R\hat{I}^2}{2}$$

Selbstinduktion Strom, der durch eine Spule fliesst, erzeugt ein $\vec{B}$-Feld und damit einen magnetischen Fluss in der Spule

Induktionsspannung über eine Spule mit N_1 Windungen und dem Fluss durch eine Windung $\phi_1(t)$

$$U_{ind} = -\dot{\phi}(t) = -N_1 \cdot \dot{\phi}_1(t)$$

Transformator besteht aus zwei induktiv gekoppelten Spulen, so dass jeweils eine Windung der einen Spule dem selben magnetischen Fluss ausgesetzt ist wie eine Windung der anderen Spule

$$\frac{U_1(t)}{U_2(t)} = -\frac{N_1}{N_2}$$

9 Optik

9.1 Strahlenoptik

Geometrische Optik beschreibt Phänomene korrekt, wenn beteiligte Objekte viel grösser sind als die Wellenlänge des Lichts

9.2 Reflexion

Reflexionsgesetz Einfallender Lichtstrahl, reflektierter Lichtstrahl und Einfallslot (Oberflächennormale im Auftreffpunkt) liegen in einer Ebene. Einfallswinkel α_1 und Reflexionswinkel α_2 zum Einfallslot hin gemessen sind gleich.

Sphärische Spiegel Bilder können eine andere Grösse haben als das Original

Hohlspiegel mit Kugelradius r, Gegenstandsweite g, Bildweite b, Brennweite f

$$f = \frac{r}{2} \qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

$g > 2f \Rightarrow$ Bild reell, umgekehrt, verkleinert
$2f > g > f \Rightarrow$ B. reell, umgekehrt, vergrössert
$g < f \Rightarrow$ B. virtuell, aufrecht, vergrössert

Abbildungsmassstab β

$$\beta = \frac{|b|}{g}$$

9.3 Brechung

Brechungsindex Verhältnis aus der Vakuumlichtgeschwindigkeit und der Lichtgeschwindigkeit im Medium

$$n_{Medium} = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_{\text{Medium}}} \qquad n \geq 1$$

Brechungswinkel beziehen sich auf das Lot zur Grenzfläche

Brechungsgesetz Welle aus einem Medium mit Brechungsindex n_1 trifft mit Winkel α_1 auf ein Medium mit Brechungsindex n_2

$$\frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha_2)} = \frac{n_2}{n_1}$$

Totalreflexion Lichtstrahl bewegt sich von einem Medium mit grösserem Brechungsindex n_1 in ein Medium mit kleinerem Brechungsindex n_2, es gibt nicht für alle Einfallswinkel α_1 eine Lösung für den Ausfallswinkel α_2

Grenzwinkel der Totalreflexion $\alpha_{1,kritisch}$

$$\alpha_{1,kritisch} < \frac{\pi}{2}$$

Sammellinsen Parallel zur optischen Achse einfallende Strahlen laufen Brechung an der Linse durch den Brennpunkt F

Vergrösserung β der Linse

$$\beta = \frac{b}{g}$$

Abbildungsgeichung für dünne Linsen

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

Brechkraft D Kehrwert der Brennweite

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

9.4 Optische Geräte

Sehwinkel ϵ entscheidend für die wahrgenommene Grösse eines Objekts der Grösse G aufgrund seiner Entfernung s

$$\tan \epsilon = \frac{G}{s}$$

Vergrösserung Γ von optischen Geräten

$$\Gamma = \frac{\tan(\epsilon_{\text{mit}})}{\tan(\epsilon_{\text{ohne}})}$$

Lupe Zu betrachtender Gegenstand wird in den Brennpunkt der Lupe gesetzt

Normvergrösserung der Lupe mit minimaler Sichtdistanz s_0

$$\Gamma = \frac{s_0}{f}$$

Mikroskop besteht aus zwei Sammellinsen (Objektiv und Okular), der Abstand zwischen den Brennpunkten von Okular und Objektiv ist die Tubuslänge t

Normvergrösserung des Mikroskops mit minimaler Sichtdistanz s_0

$$\Gamma = \frac{\tan(\epsilon_{\text{mit}})}{\tan(\epsilon_{\text{ohne}})} = \frac{s_0 \cdot t}{f_{OB} \cdot f_{OK}}$$

Maximaler Sehwinkel ϵ_{ohne} und ϵ_{mit}

$$\tan(\epsilon_{\text{ohne}}) = \frac{G}{s_0}$$
$$\tan(\epsilon_{\text{mit}}) \approx \frac{G \cdot t}{f_{OB} \cdot f_{OK}}$$

10 Wellen

10.1 Wellenfunktion

Beschreibung Die zeit- und ortsabhängige Funktion $\psi(x,t)$ gibt für jede Stelle x und für jede Zeit t die Auslenkung oder Stärke der Welle an.

$$\psi(x,t) = f(x - c \cdot t)$$

Harmonische Wellen mit Wellenzahl k (siehe 6.7)

$$\psi(x,t) = A \cdot \cos[k(x - ct) - \varphi]$$
$$\psi(x,t) = A \cdot \cos[kx - \omega t - \varphi]$$

Wellenlänge λ räumliche Periodizität der Welle

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

Periode T zeitliche Periodizität der Welle

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{k \cdot c}$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit c der Welle (z.B. Lichtgeschwindigkeit)

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Kreisfrequenz ω der Welle

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2\pi f$$

10.2 Interferenz

Interferenz ist die Überlagerung von Wellen

Zweistrahlinterferenz mit zwei Quellpunkten Q_1 und Q_2 für Kreiswellen und Radiusunterschied zwischen zwei Kreisen λ

Konstruktive Interferenz Zwei Wellenberge treffen zusammen, ihre Amplituden addieren sich zu einem Maximum. Im Schnittpunkt der zwei Kreise. Konstruktive Interferenz an einem beliebigen Punkt P falls:

$$r_1 - r_2 = n \cdot \lambda$$
mit $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$

Destruktive Interferenz Wellenberg trifft auf Wellental, die resultierende Amplitude verschwindet. Destruktive Interferenz an einem beliebigen Punkt P falls:

$$r_1 - r_2 = (2 \cdot n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$
mit $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$

Optik Überlagerung wichtig im Fernfeld (Abstand von den Quellen viel grösser als Abstand d zwischen den Quellen selber) Winkel $\sin(\alpha_n)$ unter denen konstruktive Interferenz beobachtet werden kann

$$\sin(\alpha_n) = \frac{n \cdot \lambda}{d}$$

10.3 Beugung

Definition Abweichung vom geradlinigen Strahlenverlauf an Begrenzungen oder Öffnungen. Grösse der Begrenzung oder Öffnung muss von der Grössenordnung der Wellenlänge der Strahlung sein.

Beugung am Einzelspalt An jeder Stelle des Spaltes wird eine Elementarwelle ausgelöst, diese überlagern sich und es treten Interferenzen auf. Winkel $\alpha_{1,min}$ zwischen ursprünglicher Strahlungsrichtung und Richtung des ersten Beugungsminimums:

$$\sin(\alpha_{1,min}) = \frac{\lambda}{s}$$

Dies entspricht dem minimalen Winkel, unter dem zwei Bildpunkte noch unterschieden werden können.

Beugung an Mehrfachspalten An einem Mehrfachspalt tritt Interferenz zwischen den Strahlen der einzelnen Spalten und Beugung an den Spalten auf.

10.4 Quantenoptik

Quantennatur des Lichtes Licht entspricht einem Strom von einzelnen Energiepaketen / Lichtquanten / Photonen. Diesen kann ein Impuls und eine Energie zugeordnet werden.

Frequenz Farbe des Lichts

Intensität Stärke der $\vec{E}$ und $\vec{B}$ Felder

Photoeffekt Freisetzen von Elektronen aus einer Metalloberfläche mittels elektromagnetischer Strahlung

Maximale kinetische Energie $E_{kin,max}$ der emittierten Elektronen mit Austrittsarbeit Φ

$$E_{kin,max} = U_B \cdot e_0 = h \cdot f - \Phi$$

Grenzspannung U_B Die maximale kinetische Energie der emittierten Elektronen reicht nicht mehr aus, um gegen die Potentialdifferenz U_B anzulaufen

$$U_B = -\frac{\Phi}{e_0} + f \cdot \frac{h}{e_0}$$