

Physikalische Formelsammlung

Copyright © 1996,97 by Dominik Lubeley
Stand: 04.04.1997

Erhaltungssätze

Erhaltung der Energie, W : $\sum W = const$

Erhaltung der Masse, m : $\sum m = const$

Erhaltung des Impulses, p : $\sum \vec{p} = const$

Erhaltung des Drehimpulses, L : $\sum \vec{L} = const$

Erhaltung der Ladung, Q : $\sum Q = const$

Erhaltung der Baryonenzahl, B : $\sum B = const$

Alle Baryonen (z.B. Protonen und Neutronen) haben die Baryonenzahl +1, ihre Antiteilchen -1.

Erhaltung der Leptonenzahl, L_e, L_m : $\sum L_e = const \quad \sum L_m = const$

a) Elektron (e^-) und Elektron-Neutrino ν_e erhalten die Elektronen-Leptonenzahl +1, ihre Antiteilchen (Positron, e^+ ; Anti-Elektron-Neutrino, $\bar{\nu}_e$) -1.

b) Für das Myon (m) und das Myon-Neutrino (ν_m) und ihre Antiteilchen gilt ein entsprechendes Gesetz für die Erhaltung der Myonen-Leptonenzahl.

CPT-Invarianz (Charge=Ladung; Parity=Parität (räumliche Symmetrie); Time=Zeit)

Invarianz gegen Ladungsaustausch, räumliche Spiegelung und Zeitumkehr.

Nimmt man bei einem System eine räumliche Spiegelung vor (P), ersetzt die Teilchen durch ihre Antiteilchen (C) und läßt alle Vorgänge zeitlich umgekehrt verlaufen (T, Änderung der Vorzeichen aller Geschwindigkeiten und Winkelgeschwindigkeiten), so sind die in diesem System ablaufenden Reaktionen mit denen im Ausgangssystem identisch.

Unabhängige Erhaltungssätze:

Strangeness (Seltsamkeit) S , Isospin I , Spin J , Zeitumkehr T , Parität P , Ladungsumkehr C , Charm C^* , Bottom B^* , CP-Invarianz.

Teilchen-Antiteilchen; Materie, Antimaterie

Zwei Elementarteilchen verhalten sich wie Teilchen und Antiteilchen, wenn ihre ladungsartigen Quantenzahlen, d.h. elektrische Ladung Q , Leptonenzahl L , Baryonenzahl B , Strangeness S und Charm C , entgegengesetzte Vorzeichen haben. Zu jedem Teilchen existiert ein entsprechendes Antiteilchen, das sich in den übrigen Eigenschaften, wie z.B. Masse und Lebensdauer, nicht von dem Teilchen unterscheidet und denselben Naturgesetzen gehorcht.

Kinematik

Gleichförmige Bewegung:	$v = \frac{s}{t}$	$[v] = \frac{m}{s}$
Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:	$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	$[s] = m, \text{ Meter}$
Bewegung:	$v = v_0 + a t$	
Reibung:	$F_R = \mathbf{m} \cdot F_{\text{Normalkraft}}$	
	μ : Gleitreibungszahl (schiefe Ebene: $\mathbf{m} = \tan \mathbf{a}$)	
	μ_0 : Haftreibungszahl	

Dynamik

Grundgleichung:	$\vec{F} = m \vec{a}$	$[F] = N, \text{ Newton}$
	$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$	
Arbeit und Energie:	$W = \vec{F} \vec{s}$	$[W] = Nm = J, \text{ Joule} = Ws, \text{ Wattsekunde}$
Energieerhaltungssatz:	$\sum W = const$	
Leistung:	$P = \frac{W}{t}$	$[P] = W, \text{ Watt}$
Hubarbeit:	$W = mgh$	$g = 9,807 \frac{m}{s^2}$
Beschleunigungsarbeit:	$W = \frac{1}{2} m v^2$	
Spannkraft:	$F = Ds$	D: Federkonstante $[D] = \frac{N}{m}$
Spannarbeit:	$W = \frac{1}{2} D s^2$	
Wärmeenergie:	$W = cm \Delta J$	

Impuls

Impulssatz	$\vec{p} = m \vec{v}$	$[p] = \frac{kgm}{s}$
Impulserhaltung:	$\sum \vec{p} = const$	
	$P_{\text{vorher}} = P_{\text{nachher}}$	
Unelastischer Stoß:		
Elastischer Stoß:	$v_1' = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$	
Teilelastischer Stoß:	$v_1' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - (v_1 - v_2) m_2 k}{m_1 + m_2}$	
	k : Stoßzahl	k=0 : unelastisch k=1 : elastisch

Rotation

Winkelgeschwindigkeit:	$\boldsymbol{w} = \frac{\Delta \boldsymbol{j}}{\Delta t} = \frac{2\boldsymbol{pn}}{t} = 2\boldsymbol{pf}$	$[\boldsymbol{w}] = s^{-1}$
Frequenz:	$f = \frac{n}{t}$	$[f] = s^{-1}$
Umlaufdauer:	$T = \frac{1}{f}$	
Winkelbeschleunigung:	$\boldsymbol{a} = \frac{\Delta \boldsymbol{w}}{\Delta t}$	$[\boldsymbol{a}] = s^{-2}$
Bahngeschwindigkeit:	$v = \frac{U}{T} = \frac{2\boldsymbol{pr}}{T} = \boldsymbol{wr}$	
Gleichförmige Kreisbewegung:	$\boldsymbol{j} = \boldsymbol{j}_0 + \boldsymbol{wt}$	
Beschleunigte Kreisbewegung:	$\boldsymbol{j} = \boldsymbol{j}_0 + \boldsymbol{w}_0 t + \frac{1}{2} \boldsymbol{at}^2$	
Zentripetalkraft:	$F_Z = \frac{mv^2}{r} = m\boldsymbol{w}^2 r$	
Gravitationskraft:	$F_G = \boldsymbol{g} \frac{m_1 m_2}{r^2}$	$\boldsymbol{g} = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2}$
Rotationsenergie:	$W_{rot} = \frac{1}{2} \boldsymbol{Jw}^2$	
Drehmoment:	$M = F \cdot r$	$[M] = Nm$
	r : Hebelarm (senkrechter Abstand der Wirkungslinie der Kraft vom Drehpunkt)	
	$M = \boldsymbol{J}\boldsymbol{a}$ (Spezialfall ?)	
Hebelgesetz:	$\sum M = 0$	
Trägheitsmoment:	$J = m r^2$	$[J] = kgm^2$
Drehimpuls:	$L = \boldsymbol{Jw} = pr$	$[L] = \frac{kgm^2}{s}$
Drehimpulserhaltungssatz:	$\sum \vec{L} = const$	

Kepplersche Gesetze:

1. Alle Planeten auf Ellipsenbahnen. Sonne= Brennpunkt.
2. $A_1 = A_2$ von Verbindungslinie Planet-Sonne in gleicher Zeit überschritten.
3. $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ a: Halbachsen.

Potentielle Energie im Grav.feld $W_{pot-exakt} = \boldsymbol{f}_2 - \boldsymbol{f}_1$ $\boldsymbol{f} = \boldsymbol{g} \frac{m \cdot m_{Planet}}{r}$
 wobei r variabel ist (r_2, r_1)

Schwingungen, Oszillation

Weg-Zeit-Gesetz:	$y = \hat{y} \sin \omega t$
Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz:	$v = \hat{y} \omega \cos \omega t = \hat{v} \cos \omega t = \dot{y}$
Beschleunigung-Zeit-Gesetz:	$a = -\hat{y} \omega^2 \sin \omega t = \dot{v} = \ddot{y}$
Federpendel:	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$
Fadenpendel:	$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Chemie

Masse:	$m = nA_r u$	$u = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ (atomare Maßeinh.) n: Elemente A_r : rel.
Atommasse		
Volumen:	$V = \frac{nV_m}{N_A}$	$N_A = 6,022 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$ (Avogadro- Konstante) V_m : Molvolumen
Volumenänderung von Gasen:	$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$	

Elektrostatik

Stromstärke:	I	$[I] = \text{A, Ampere}$
Ladung:	$Q = It$	$[Q] = \text{As} = \text{C, Coulomb}$
Elementarladung:		$e^- = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Ladungserhaltungssatz:	$\sum Q = \text{const}$	
Spannung:	$U = \frac{W}{Q}$	$[U] = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V, Volt}$
Elektrische Arbeit:	$W = UQ = UI t$	$[W] = \text{VAs} = \text{Ws} = \text{J}$
Elektrische Leistung:	$P = \frac{W}{t} = UI$	$[P] = \text{VA} = \text{W}$
Kirchhoffsche Knotenregel:	$\sum I_r = 0$	
Kirchhoffsche Maschenregel:	$\sum U_r = 0$	
Feldstärke:	$E = \frac{F}{Q}$	$[E] = \frac{\text{V}}{\text{m}}$
	$E = \frac{U}{d}$	(im homogenen Feld)

Kondensatoren

Kapazität: $C = \frac{Q}{U}$ $[C] = \frac{C}{V} = F, Farad$

$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$ Plattenkondensator

$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$

ϵ_r : Dielektrizitätszahl
Kugel

$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot 4\pi r$

Energie: $W = \frac{1}{2} CU^2$

Energiedichte: $V = \frac{W}{V} = \frac{CU^2}{2Ad} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \cdot E^2$

Kondensatorentladung: $U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ $\tau = \frac{T \frac{1}{2}}{\ln 2} = RC$

$I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

Kondensatoraufladung: $U(t) = U_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

$I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

Kondensator Reihenschaltung: $\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$

Kondensator Parallelschaltung: $C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

Widerstand

Widerstand: $R = \frac{U}{I}$ $[R] = \frac{V}{A} = \Omega, Ohm$

Leitwert: $G = \frac{1}{R}$ $[G] = \Omega^{-1} = S, Siemens$

Materialabhängigkeit: $R = \frac{r l}{A}$ ρ : Materialkonst. $[r] = \Omega m = \frac{\Omega mm^2}{m}$

Temperaturabhängigkeit: $R_J = R_0(1 + \alpha \Delta J)$ genauer: $+R_0 \beta \Delta J^2$
 α : Temperaturkoeffizient $[a] = \frac{1}{K}$
 $\alpha > 0$ PTC $\alpha < 0$ NTC

Widerstand Reihenschaltung: $R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

Widerstand Parallelschaltung: $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

Magnetisches Feld und Spulen

Coulombsches Gesetz: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ (Kraft 2er Punktlad. aufeinander)

Kraft zwischen 2 Leitern: $F = \frac{\mu_0 \mu_r I_1 I_2 l}{2\pi r}$ μ_0 : Magnetische Feldkonstante

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

μ_r : Permeabilitätszahl (Mat.konst.)

$\mu_r < 0$: Diamagnetische Stoffe

$\mu_r > 0$: Paramagnetische Stoffe

$\mu_r \gg 0$: Ferromagnetische Stoffe

$\mu_r = 1$: Vakuum

Kraft auf Leiter im Magnetfeld: $F = IB_s l (\cdot n)$

Magnetische Flußdichte: $B = \frac{F}{Il(\cdot n)}$ $[B] = \frac{N}{Am} = \frac{Vs}{m^2} = T, Tesla$

$B = \mu_0 \mu_r H$ Lange Zylinderspule: $H = \frac{In}{l}$

Feldstärke: $H = \frac{B}{\mu_0 \mu_r}$ $[H] = \frac{A}{m}$

Magnetischer Fluß $f = BA$ $[f] = Vs = Wb, Weber$

Elektronen

Lorentzkraft: $F_L = QvB$ $F_L = evB$
 $\vec{F}_L \perp \vec{v}$ $\vec{F}_L \perp \vec{B}$
 Es entsteht keine Arbeit, nur Ablenkung.

Elektronenbeschleunigungsarbeit: $W_e = eU$

Teilchengeschwindigkeit: $v = \sqrt{\frac{2Uq}{m}}$

Hall-Effekt: $U_H = R_H \frac{BI}{d}$ d: Dicke der Platte

Elektromagnetische Induktion

Lenzsches Gesetz: Die Induktionsspannung ist so gepolt, daß sie durch ihren Strom ihrer Ursache entgegenwirken kann.

Induktionsspannung: $U_{ind} = Blv_{senkrecht}$ $F_L = F_E$

$$U = -n\dot{\Phi} = -n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Selbstinduktionsspannung: $U = -L\dot{I} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

Eigeninduktivität (schlanke Spule) $L = \frac{\mu_0 \mu_r n^2 A}{l}$ $[L] = \frac{Vs}{A} = H$

Energie im Magnetfeld einer Spule: $W_{mag} = \frac{1}{2} LI^2$

Magnetische Energiedichte:	$V_{mag} = \frac{W_{mag}}{V} = \frac{B^2}{2 \mu_0 \mu_r}$
Spule Ausschalten:	$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \tau = \frac{L}{R} \quad [\tau] = \frac{H}{\Omega} = s$
Spule Einschalten:	$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad I(t) = I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$
Spulen Reihenschaltung:	$L_{ges} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$
Spulen Parallelschaltung:	$\frac{1}{L_{ges}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$

Wechselstrom (als Fortsetzung von „Magnetisches Feld und Spulen“ anzusehen)

Effektivwert Wechselspannung:	$U_{eff} = \frac{\hat{U}}{f}$	f : Scheitelfaktor
		f = 1 Rechteck
		f = $\sqrt{2}$ Sinus
		f = $\sqrt{3}$ Dreieck
Sinusförmige Wechselspannung:	$U(t) = \hat{U} \sin \omega t$ $I(t) = \hat{I} \sin \omega t$	$\omega = 2\pi f$
	$U_{eff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$	
	$I_{eff} = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$	
Rotierende Spule:	$\hat{U} = nBA\omega$ $f = \hat{f} \cos \omega t$	A : Spulenquerschnittsfläche
Transformator (unbel., verlustfrei):	$\frac{U_1(t)}{U_2(t)} = -\frac{n_1}{n_2}$	$\frac{U_{1,eff}}{U_{2,eff}} = \frac{n_1}{n_2} = \dot{U}$
Transformator (sekundär belastet):	$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_{1,eff}}{U_{2,eff}} = \frac{I_{2,eff}}{I_{1,eff}} = \dot{U}$	
Wirkungsgrad:	$h = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$	

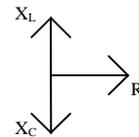
Wechselstromwiderstand

Wirkwiderstand:	$R = \frac{U}{I}$	[R] = Ω
Blindwiderstand: kapazitiv:	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	[X _C] = Ω
induktiv:	$X_L = \omega L$	[X _L] = Ω
resultierend:	$X = X_L - X_C$	[X] = Ω

Blindleitwert:	$B = \frac{1}{X}$	$[B] = S$
Scheinwiderstand:	$Z = \frac{U}{I}$	$[Z] = \Omega$
Scheinleitwert:	$Y = \frac{1}{Z}$	$[Y] = S$

Reihenschaltung: $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = IZ$
 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

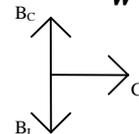
Phasenverschiebung: $\tan \mathbf{j} = \frac{X_L - X_C}{R}$



Parallelschaltung: $I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} = UY$

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

Phasenverschiebung: $\tan \mathbf{j} = \frac{B_C - B_L}{G}$



Schwingkreis

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

Wechselstrom: $I(t) = -\hat{I} \sin \omega t$

$$W_{el} = W_{mag} \Leftrightarrow \frac{1}{2} C \hat{U}^2 = \frac{1}{2} L \hat{I}^2 \Leftrightarrow \hat{I} = \hat{U} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Resonanz (Thomson-Gleichung): $X_L = X_C \Leftrightarrow T = 2\pi \sqrt{LC} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$

Wechselstromleistung

Wirkleistung: $P = UI \cos \mathbf{j} \quad [P] = W$

Blindleistung: $Q = UI \sin \mathbf{j} \quad [Q] = VA, \text{ Voltampere reaktiv}$

Scheinleistung: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [S] = VA, \text{ Voltampere}$

$$S = UI$$

Optik

Strahlenoptik

- Definitionen:
- F: Brennpunkt (Fokus)
 - f: Brennweite (+Sammellinse; -Zerstreuungslinse)
 - G: Gegenstandsgröße g: Gegenstandsweite
 - B: Bildgröße b: Bildweite

Reflexion: $\mathbf{a} = \mathbf{b}$

Brechung (Refraktion): vom dünneren-dichteren Medium => zum Lot hin

$$\frac{\sin \mathbf{a}}{\sin \mathbf{b}} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Totalreflexion: $\mathbf{a}_{\text{Grenzwinkel}} = \arcsin \frac{1}{n}$

Abbildungsmaßstab: $\mathbf{b} = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$

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

Brechkraft: $D = \frac{1}{f}$ $[D] = m^{-1} = \text{dpt, Dioptrie}$

Wellenoptik

Transversalwellen (Querwellen): Schwingung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.
(z.B. Seilwellen, elektromagn. Wellen (Wechselströme, LW, MW, SW, UKW, Mikrow., IR, Licht, UV, ...))

Longitudinalwellen (Längswellen): Schwingungsr. = Ausbreitungsrichtung (z.B. Schwallw.)
Huygenssches Prinzip: Jeder Punkt einer bestehenden Wellenfront ist Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Elementarwelle.
Die Kugelwellen überlagern sich zu einer neuen Wellenfront. Die Einhüllende aller Elementarwellen ergibt die neue Wellenfront.

Beugung (Diffraktion): Abweichung von Wellen von der geradlinigen Ausbreitung beim Auftreffen auf Hindernisse. (z.B. opt. Gitter)

Interferenz (Überlagerung): Überlagerung von Wellen, wobei Schwächung, Verstärkung und Auslöschung auftreten können.

Polarisation: Aussondern bestimmter Schwingungsrichtungen. Nur Transversalwellen können polarisiert werden.

Ausbreitungsgeschwindigkeit: $c = \frac{l}{T} = f l$

Welle $s(x,t)$: $s = \hat{s} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{l} \right)$

Beugung am Spalt: $\sin \mathbf{a}_{\min} = k \frac{l}{b}$ b: Spaltbreite

$$\sin \mathbf{a}_{\max} \approx \left(k + \frac{1}{2} \right) \frac{l}{b}$$

Beugung am Doppelspalt, Gitter: $\sin \mathbf{a}_{\max} = k \frac{l}{g}$ g: Gitterkonstante

$$\sin \mathbf{a}_{\min} \approx \left(k + \frac{1}{2} \right) \frac{l}{g}$$

Beugung an kreisf. Öffnungen: $\sin \mathbf{a}_{\min_1} = 0,610 \frac{l}{r}$ $\min_2 : 1,116$ $\min_3 : 1,619$

Auflösungsgrenze Auge, Fernrohr: $\mathbf{s} = 0,61 \frac{l}{r}$

Mikroskop: $\mathbf{s} = 0,61 \frac{l}{n \sin \mathbf{a}} = 0,61 \frac{l}{A}$ A: numerische Apertur

Atomphysik

Energie-Masse-Relation:

$$W = mc_0^2$$

1. Bohrsches Postulat:

Elektronen können den Atomkern nur auf bestimmten Bahnen strahlungslos umlaufen. Diese sind durch Quantenbedingungen festgelegt.

Quantenbedingung:

$$L = J\mathbf{w} = m_e r^2 \mathbf{w} = m_e r v = \frac{n\hbar}{2\mathbf{p}} = n\hbar$$

Plancksches Wirkungsquantum:

$$h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

2. Bohrsches Postulat:

Pro Elektronenbahn ein Energieniveau. Sprunghafter Bahnübergang (zurück) + Abgabe eines Strahlungsquants.

Frequenzbedingung:

$$W = W_m - W_n = hf \quad m, n: \text{Hauptqu.zahl der Bahn}$$

Fotoeffekt (äußerer):

$$W = W_Q - W_A = hf - W_A \quad W_A: \text{Ablösearbeit}$$

Materiewellen:

$$\mathbf{l} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

Wasserstoffatom

Bahngeschwindigkeit:

$$F_Z = F_C \Leftrightarrow v_n = \frac{e^2}{2n\epsilon_0 h}$$

Bahnradius:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \epsilon_0}{\mathbf{p} m_e e^2}$$

$$U = 2\mathbf{p} r_n = n\mathbf{l}$$

Energie:

$$W_{pot} = -\frac{m_e e^4}{4n^2 \epsilon_0^2 h^2} = -2W_{kin} \int_{\infty}^{r_n} F dr = \int_{\infty}^{r_n} \frac{Q1Q2}{4\mathbf{p} \epsilon_0 \mathbf{e}_r r^2} dr = \dots$$

Frequenzen der Strahlung:

$$f = \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \cdot R \quad R: \text{Rydberg-Frequenz}$$

$$R = 3,289842 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Radioaktive Stoffe

Kennzeichnung eines Atoms:



Z: Ordnungszahl, Kernladungszahl,

Protonenanzahl, Elektronenanzahl

A: Massenzahl, Nukleonenanzahl

$$A = Z + N$$

N: Neutronenanzahl

Kernradius:

$$r_k = r_0 \sqrt[3]{A} \quad r_0: 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

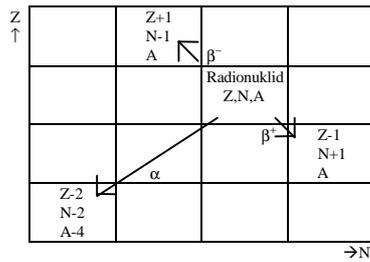
Massendefekt:

$$B = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_K \quad m_K = A_r u$$

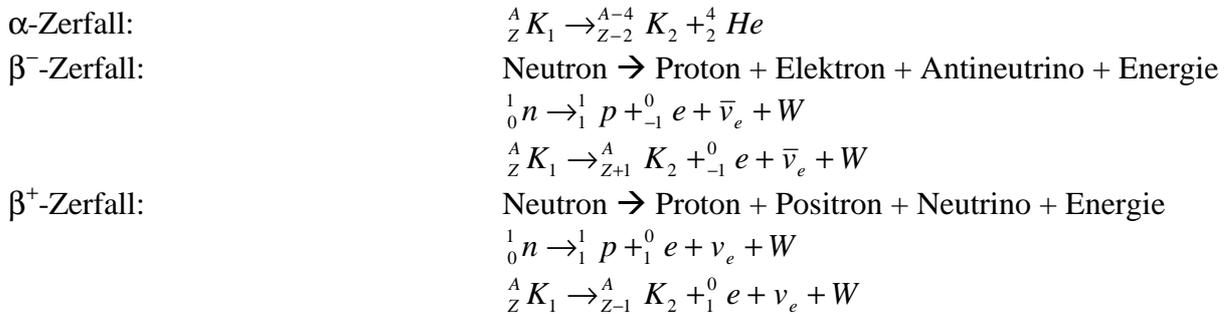
Kernbindungsenergie:

$$W_B = B c_0^2$$

Radioaktiver Zerfall



Strahlungsart	Aussenden von	Energie	Reichw.(Luft)
α , Alpha:	Heliumkerne ${}^4_2\text{He}$	5 MeV	
β^- , Beta-Minus:	Elektron ${}^0_{-1}e$	1 MeV	3m
β^+ , Beta-Plus:	Positron 0_1e	1 MeV	3m
γ , Gamma:	elektromagn. Wellen		700m



Zählrate: $z = \frac{Z}{t}$ Z: Anzahl der Impulse

Statistischer Fehler: $f = \frac{1}{\sqrt{Z}}$

Zerfallskonstante: $I = -\frac{dN}{N \cdot dt} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ $[I] = s^{-1}$

Halbwertszeit: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{I}$

Mittlere Lebensdauer: $t = \frac{1}{I} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$

Zerfallsgesetz: $N = N_0 e^{-It} = \frac{N_0}{2^{t/T_{1/2}}}$

Aktivität: $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$ für $\Delta t \ll T_{1/2}$ $[A] = \frac{1}{s} = \text{Bq, Becquerel}$

$A = I N = \frac{\ln 2 \cdot N}{T_{1/2}}$

$A = A_0 e^{-It} = \frac{A_0}{2^{t/T_{1/2}}}$

Energiedosis: $D = \frac{W}{m}$ $[D] = \frac{J}{kg} = \text{Gy, Gray}$

Äquivalentdosis: $H = QD$ $[H] = \text{Sv, Sievert}$
 Q: Qualitätsfaktor

Strahlennachweis

Ionisationskammer, in der zwischen zwei Elektroden ein elektrisches Feld herrscht. Die auftreffenden Strahlen erzeugen Ladungsträger und steuern so einen Sättigungsstrom.

Kernspurenemulsion, in deren lichtempfindlicher Schicht Strahlungen Schwärzungsspuren hinterlassen.

Wilsonsche Nebelkammer

- Wasser- und Alkoholdampf
- Strahlen (Alpha, Beta) ionisieren Luftmoleküle
- Unterdruck, Dampf schlägt sich an Luftionen nieder -> Nebeltröpfchen
Wassermoleküle lagern sich wegen Dipolcharakters an Ionen an
- Kondensspuren

Geiger-Müller-Zählrohr

- Metallrohr mit Edelgas gefüllt (0,1 bar Druck)
- durch dünnes Fenster gelangt geladenes Teilchen rein
- Ionisation von Gasatomen auf der Bahn
- Freisetzung von Elektronen
- werden durch mit ca. 500V positiv geladenen Draht in der Mitte beschleunigt
- Lawineneffekt, da weitere Gasatome Ionisiert werden
- Elektronen neutralisieren Draht, träge Postionen wandern zur neg. Außenwand
- Verschiebung der Ladungsträger führt zu Stromstoß von 10^9 e
- durch Kondensator wird nur die Differenz zum Verstärker und Zähler weitergeleitet

Blasenammer

- besser für Beta Teilchen, da geringere Dichte → längere Spur
- überhitzter flüssiger Wasserstoff von ca. 253 Grad C
- hoher Druck verhindert Sieden
- Senkung des Drucks → Siedepunkt fällt unter Temperatur der Flüssigkeit
- Teilchen veranlassen Ionisation → an Ionen entstehen Dampfbläschen
- bevor alles siedet wird Druck wieder erhöht

Szintillationszähler

- Szintillator (z.B. NaJ-Kristall in reflektierender lichtdichter Hülle)
- energiereiches Teilchen überträgt Energie auf Kristalle
- diese Strahlen Licht aus
- unter Lupe, Mikroskop sind Lichtblitze zu erkennen
- besser: Verstärkung durch Fotomultiplier (Sekundärelektronenvervielfacher)
- Fotokathode, aus der durch Licht Elektronen herausgelöst werden (Foto-elekt. Effekt)
- Elektronen werden zu positiven Dynoden beschleunigt, lösen mehrere andere Elektronen und werden zur nächsten Dynode weiterbeschleunigt
- bis zu 10 Milliarden mal so viele kommen an Anode an
- durch Kondensator wird nur die Differenz zum Verstärker und Zähler weitergeleitet

Kernreaktor

Kernreaktion

- schießt man schnelle Teilchen auf Atomkerne, so können Kernreaktionen ausgelöst werden
- durch Kernreaktionen können Neutronen freigesetzt werden - diese können selbst weitere Kernreaktionen auslösen

Kernspaltung

- Bei der Kernspaltung entstehen aus einem schweren Kern zwei etwa gleich große Spaltkerne, einige schnelle Neutronen und Gamma-Strahlung.
- Thermische Neutronen spalten die (gu)-Kerne U-233, U-235 und Pu-239. Für die Spaltung von Th-232 und U-238 benötigt man schnelle Neutronen.
- Die Spaltprodukte einer Kernspaltung sind hoch radioaktiv mit teilweise großen Halbwertszeiten. Sie senden Beta- und Gamma-Strahlung, teilweise auch verzögerte Neutronen aus.
Je Spaltung eines U-235-Kerns werden etwa 200 MeV frei.

Kettenreaktion, Kernreaktor

- Da bei einer Kernspaltung mehr als ein Neutron freigesetzt wird, besteht in einem überkritischen Block spaltbarer Kerne die Möglichkeit einer Kettenreaktion
- Damit in einem Reaktor eine Kettenreaktion abläuft, muß die Neutronenausbeute $n(W)$ größer 1 sein. Einen kleinen Wirkungsquerschnitt σ_f kann man durch eine höhere Konzentration spaltbarer Kerne im Brennstoff kompensieren
- Bremsst man die bei Spaltungen entstehenden schnellen Neutronen außerhalb des Spaltstoffs in einem Moderator ab, so kann man mit Natururan oder mit an U-235 angereichertem Uran einen thermischen Reaktor betreiben. Die Wahl des Moderators richtet sich nach der Konzentration von U-235.

Aufbau:

1. Brennstoff

- a) Natururan: 0,7% U235, 99,3% U238
Nur mit besonderem Moderator zu betreiben, da U238 einen großen Einfangsquerschnitt hat.
- b) Angereichertes Uran: U235-Gehalt > 0,7%
- c) Brutstoffe: U238, Th232 → Spaltstoffe: U233, Pu239 (bzw. U235)

2. Moderator zur Abbremsung der Neutronen auf thermische Geschwindigkeit

Entscheidend: verzögerte Neutronen < 1%, da ansonsten zuviele Schwankungen (10^{-4})
keine Reaktionszeit

3. Regelstäbe

Neutronenabsorber (z.B. Bor (Borstahl), Cadmium)

Lebensdauer einer Neutronengeneration: 10^{-4} s

Neutronenanzahl: $N = N_0 k^n$

$k=1$ Stationärer Betriebszustand

$k>1$: Atombombe; Anfahren eines Reaktors

$k<1$: keine Kettenreaktion

4. Kühlung:

H₂O, D₂O, Luft, Helium, CO₂, Na

Relativistische Mechanik

Energie-Masse-Relation:

$$W = mc_0^2$$

Relativistische Masse:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}$$

Gesamtenergie:

$$W_{\text{gesamt}} = \sqrt{(m_0 c_0^2)^2 + p^2 c_0^2}$$

Zeitdilatation:

$$t = \gamma t' = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}$$

Geschwindigkeit:

$$v = c_0 \sqrt{1 - \left(\frac{W_0}{W_0 + W_{\text{kin}}} \right)^2} \quad (\text{Näherung: } \sqrt{1-x} \approx 1 - \frac{1}{2}x)$$

$$= c_0 \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m} \right)^2} \quad \left| \quad m = m_0 + \frac{W}{c_0^2} \right.$$

$$= c_0 \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m_0 + \frac{W}{c_0^2}} \right)^2}$$

Heisenbergsche Unschärferelation:

Größen, deren Produkt die Dimension einer Wirkung hat, nennt man komplementäre Größen.

Komplementäre Größen kann man nicht gleichzeitig beliebig genau messen.

Impuls und Ort:

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Energie und Zeit:

$$\Delta W \Delta t \geq \hbar$$

Drehimpuls und Winkel:

$$\Delta L \Delta \mathbf{j} \geq \hbar$$

Konstanten der Physik (alphabetisch) (Auswahl: J.S.)

Bezeichnung	Symbol	Wert und Maßeinheit	Fehler* 10^{-6}	
Atomare Masseneinheit	$u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C})$	1,660 540 2 · 10⁻²⁷ kg	10	0,59
Avogadro-Konstante	N_A	6,022 136 7 · 10²³ mol⁻¹	36	0,59
Bohrsches Magneton	$\mathbf{m}_b = e\hbar / (2m_e)$	9,274 015 4 · 10 ⁻²⁴ A m ²	31	0,34
Bohrscher Radius	$r_1 = \mathbf{e}_0 \hbar^2 / (\mathbf{p} m_e e^2)$	5,291 772 49 · 10 ⁻¹¹ m	24	0,045
Boltzmann-Konstante	$k = R_m / N_A$	1,380 658 · 10 ⁻²³ J K ⁻¹	12	8,5
Compton-Wellenlänge des Elektrons		$\mathbf{l}_{Ce} = h / (m_e c_0)$	2,426 310	
58 · 10 ⁻¹² m	22	0,089		
Drehimpulsquantum	$\hbar = h / (2\mathbf{p})$	1,054 572 66 · 10 ⁻³⁴ J s	63	0,60
Elektrische Elementarladung	e	1,602 177 33 · 10⁻¹⁹ C	49	0,30
Elektrische Feldkonstante	$\mathbf{e}_0 = 1 / (m_0 c_0^2)$	8,854 187 817... · 10⁻¹² F m⁻¹	0	0
Elektronenradius	$r_e = \hbar a / (m_e c_0)$	2,817 940 92 · 10 ⁻¹⁵ m	38	0,13
Faraday-Konstante	$F = N_A e$	9,648 530 9 · 10 ⁴ C mol ⁻¹	29	0,30
Feinstrukturkonstante	$a = e^2 / (2\mathbf{e}_0 \hbar c_0)$	7,297 353 08 · 10 ⁻³ ≈ 1/137		33
		0,045		
Gaskonstante, molare	$R_m = kN_A$	8,314 510 J mol ⁻¹ K ⁻¹	70	8,4
Gravitationskonstante	g	6,672 59 · 10⁻¹¹ N m² kg⁻²	85	128
Gyromagnetisches Verhältnis	g_p	2,675 221 28 · 10 ⁸ T rad s ⁻¹		0,30
Josephson-Konstante	K_J	4,835 976 7 · 10 ¹⁴ Hz V ⁻¹	14	
Kernmagneton	$\mathbf{m}_k = e\hbar / (2m_p)$	5,050 786 6 · 10 ⁻²⁷ A m ²	17	
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c_0 = 1 / \sqrt{\mathbf{e}_0 \mathbf{m}_0}$	2,997 924 58 · 10⁸ m s⁻¹	exakt	0
Loschmidt-Konstante	$n_0 = N_A / V_m$	2,686 763 · 10 ²⁵ m ⁻³	23	
Magnetische Feldkonstante	$\mathbf{m}_0 = 4\mathbf{p} \cdot 10^{-7} \text{VsA}^{-1} \text{m}^{-1}$	1,256 637 061 4... · 10⁻⁶ H m⁻¹	0	0
Magnetisches Flußquantum	$\Phi_0 = h / (2e)$	2,067 834 61 · 10 ⁻¹⁵ Wb		0,30
Magnetisches Moment des Elektrons		\mathbf{m}_e	9,284 770	
1 · 10 ⁻²⁴ A m ²		0,34		
Magnetisches Protons	\mathbf{m}_p	1,410 607 61 · 10 ⁻²⁶ A m ²		0,34
Molares Normvolumen	V_m	22,414 10 · 10⁻³ m³ mol⁻¹	19	0
Normfallbeschleunigung	g_n	9,806 65 m s⁻²	Normwert	0
Plancksche-Strahlungskonstanten	$c_1 = 2\mathbf{p} \hbar c_0^2$	3,741 774 9 · 10 ⁻¹⁶ W m ²	22	
	$c_2 = \hbar c_0 / k$	1,438 769 · 10 ⁻² m K	12	
Plancksches-Wirkungsquantum	h	6,626 075 5 · 10⁻³⁴ J s	40	0,60
Quanten-Hall-Widerstand	$R_K = h / e^2$	2,581 280 56 · 10 ⁴ Ω	12	0,045
Ruhmasse des Elektrons	m_e	9,109 389 7 · 10⁻³¹	54	0,59
		0,000 548 579 903 u	13	
		= 0,510 999 06 Me V		0,30
Ruhmasse des Neutrons	m_n	1,674 928 6 · 10⁻²⁷ kg	10	0,59
		1,008 664 904 u	14	
		= 938,272 31 Me V		0,30
Ruhmasse des Protons	m_p	1,672 623 1 · 10⁻²⁷ kg	10	0,59
		1,007 276 470 u	12	

		=939,565 63 Me V		0,30
Ruhmasse des Wasserstoffatoms	m_H	$1,673\ 534 \cdot 10^{-27}$ kg	1	
Rydberg-Frequenz	$R'_\infty = m_e e^4 / (8e_0^2 h^3)$	$3,289\ 841\ 949\ 9 \cdot 10^{15}$ Hz	39	
Rydberg-Konstante	$R_\infty = m_e c_0 a^2 / (2h)$	$1,097\ 373\ 153\ 4 \cdot 10^7$ m ⁻¹	13	0,0012
Stefan-Boltzmann-Konstante	$s = 2p^5 k^4 / (15h^3 c_0^2)$	$5,670\ 51 \cdot 10^{-8}$ W m ⁻² K ⁻⁴	19	34
Spezifische Ladung des Elektrons	e / m_e	$1,758\ 819\ 62 \cdot 10^{11}$ C kg ⁻¹	53	0,30
Wellenwiderstand des Vakuums	$Z_0 = \sqrt{\mathbf{m}_0 / \mathbf{e}_0} = \mathbf{m}_0 c_0$	$376,730\ 313\ 5 \dots \Omega$		0
Wien-Konstante	b	$2,897\ 756 \cdot 10^{-3}$ m K	24	8,4

Fehler*: Absoluter Fehler der letzten angegebenen Stellen, z.B: $u=(1,660540\ 2 \pm 0,0000010) \cdot 10^{-27}$ kg.

Relativer Fehler in ppm (parts per million, 10^{-6}).