

Physik

Dokument mit Formeln und relevanten Werten¹

Als Hilfsmittel für die Bearbeitung der Aufgaben des Pools für das Fach Physik ist – neben dem jeweiligen digitalen Hilfsmittel und dem mathematischen Formeldokument – ein Dokument vorgesehen, das nur die im Folgenden angegebenen Inhalte hat².

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Mechanik	2
2 Elektrizitätslehre und Magnetismus	11
3 Optik	21
4 Quantenphysik und Materie	23
5 Wärmelehre	25
6 Spezielle Relativitätstheorie	27
7 Kernphysik	28
8 Astrophysik	30
9 Anhang	34
9.1 Größen, Einheiten und ihre Beziehungen untereinander	34
9.2 Astronomische Entfernungsangaben	37
9.3 Vorsätze bei Einheiten	37
9.4 Tabellierte Werte	37

¹ Beim vorliegenden Dokument (Aktenzeichen: KM35-6512-70/4) handelt es sich um einen **vom Kultusministerium Baden-Württemberg für die gymnasiale Oberstufe im allgemein bildenden Bereich erstellten, inhaltlich unveränderten Auszug aus der im Rahmen der Entwicklung der gemeinsamen Abituraufgabenpools der Länder erarbeiteten mathematisch-naturwissenschaftlichen Formelsammlung (Stand: Februar 2024)**.

Das Dokument enthält aus dieser Formelsammlung nur die Teile zum Fach Physik.

² Die Möglichkeit der Verwendung anderer Formeldokumente im Unterricht wird durch dieses Dokument nicht berührt.

1 Mechanik

Newton'sche Gesetze und Kräfteaddition

- ◆ 1. Newton'sches Gesetz (Trägheitsprinzip, Trägheitsgesetz)

Unter der Bedingung $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \vec{0}$
gilt: $\vec{v} = \text{konstant}$

$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$: äußere Kräfte, die auf einen Körper (ein System) wirken;
 \vec{v} : Geschwindigkeit

- ◆ 2. Newton'sches Gesetz (Grundgleichung der Mechanik)

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

\vec{F} : Kraft; m : Masse; \vec{a} : Beschleunigung;
 t : Zeit;
 v : Geschwindigkeit

- ◆ 3. Newton'sches Gesetz (Reaktionsprinzip, Wechselwirkungsgesetz)

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

\vec{F} : Kraft

- ◆ Betrag der Gesamtkraft bei der Addition zweier Kräfte

$$F_{\text{ges}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$$

F_{ges} : Betrag der Gesamtkraft; F_1, F_2 : Beträge der Einzelkräfte; α : Winkel zwischen den Kräften

Kräfte der Mechanik

- ◆ Gewichtskraft

$$F_G = m \cdot g$$

F_G : Gewichtskraft; m : Masse;
 g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers

- ◆ Radialkraft, Zentripetalkraft

$$F_r = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

F_r : Radialkraft, Zentripetalkraft; m : Masse;
 v : Bahngeschwindigkeit; r : Radius;
 ω : Winkelgeschwindigkeit

- ◆ Federspannkraft (Hooke'sches Gesetz)

$$F_S = D \cdot s$$

F_S : Federspannkraft;
 D : Federhärte, Richtgröße;
 s : Dehnung der Feder

- ◆ Reibungskraft

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

F_R : Reibungskraft; μ : Reibungszahl;
 F_N : Normalkraft

◆ Newton'scher Strömungswiderstand

$$F_W = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

F_W : Widerstandskraft; c_w : Widerstandsbeiwert; A : Querschnittsfläche des Körpers senkrecht zur Strömung; ρ : Dichte des umströmenden Mediums; v : Relativgeschwindigkeit zwischen Körper und Medium

◆ Stokes'scher Strömungswiderstand

$$F_W = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

F_W : Widerstandskraft; η : Viskosität des umströmenden Mediums; r : Radius; v : Geschwindigkeit

◆ Auftriebskraft

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V$$

F_A : Auftriebskraft; ρ : Dichte der Flüssigkeit/des Gases; g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers; V : vom Körper verdrängtes Volumen

Bewegungen

◆ eindimensionale Bewegungen

◆ mittlere Geschwindigkeit

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

\bar{v} : mittlere Geschwindigkeit; s : Ort; t : Zeit

◆ momentane Geschwindigkeit

$$v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}(t)$$

v : Geschwindigkeit; s : Ort; t : Zeit

◆ mittlere Beschleunigung

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

\bar{a} : mittlere Beschleunigung; v : Geschwindigkeit; t : Zeit

◆ momentane Beschleunigung

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v}(t)$$

a : Beschleunigung; v : Geschwindigkeit; t : Zeit

◆ gleichförmige Bewegung

$$s(t) = v \cdot t + s_0$$

v = konstant

$$a = 0 \frac{m}{s^2}$$

s : Ort; s_0 : Anfangsort bei $t = 0\text{s}$; v : Geschwindigkeit; t : Zeit; a : Beschleunigung

◆ gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

$$v(t) = a \cdot t + v_0$$

$$a = \text{konstant}$$

s : Ort; s_0 : Anfangsort bei $t = 0\text{s}$;
 a : Beschleunigung; t : Zeit;
 v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0\text{s}$;
 v : Geschwindigkeit

◆ beliebig beschleunigte Bewegung

$$s(t) = s_0 + \int_{t_0}^t v(t) dt$$

$$v(t) = v_0 + \int_{t_0}^t a(t) dt$$

s : Ort; s_0 : Anfangsort bei $t = t_0$;
 v : Geschwindigkeit; t : Zeit;
 v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = t_0$;
 a : Beschleunigung

◆ gleichförmige Kreisbewegung

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

$$v = \omega \cdot r$$

$$\omega = \text{konstant}$$

$$a_r = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

ω : Winkelgeschwindigkeit;
 $\Delta\varphi$: überstricher Winkel;
 Δt : benötigte Zeit; T : Umlaufdauer;
 f : Frequenz;
 v : Bahngeschwindigkeit; r : Radius;
 a_r : Radialbeschleunigung

◆ Wurfbewegungen

◆ senkrechter Wurf

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot t + y_0$$

$$v_y(t) = -g \cdot t + v_0$$

$$a_y = -g$$

y : Ort; g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers; t : Zeit;
 v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0\text{s}$;
 y_0 : Anfangsort bei $t = 0\text{s}$; v_y : vertikale Geschwindigkeit; a_y : vertikale Beschleunigung

◆ waagerechter Wurf

$$x(t) = v_0 \cdot t; \quad y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + y_0$$

$$v_x = v_0; \quad v_y(t) = -g \cdot t$$

$$a_x = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; \quad a_y = -g$$

x : x-Koordinate des Ortes; v_0 : horizontale Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0\text{s}$; t : Zeit; y : y-Koordinate des Ortes; g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers;
 y_0 : y-Koordinate des Ortes bei $t = 0\text{s}$;
 v_x, v_y : Geschwindigkeitskomponente;
 a_x, a_y : Beschleunigungskomponente

◆ schräger Wurf

$$x(t) = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha$$

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha + y_0$$

$$v_x = v_0 \cdot \cos \alpha$$

$$v_y(t) = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha$$

$$a_x = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, a_y = -g$$

x : x-Koordinate des Ortes; v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0\text{s}$; t : Zeit; α : Abwurfwinkel; y : y-Koordinate des Ortes;
 g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers; y_0 : y-Koordinate des Ortes bei $t = 0\text{s}$; v_x, v_y : Geschwindigkeitskomponente;
 a_x, a_y : Beschleunigungskomponente

Dichte und Druck

◆ Dichte

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ : Dichte; m : Masse; V : Volumen

◆ Druck

$$p = \frac{F_{\perp}}{A}$$

p : Druck; F_{\perp} : Kraftkomponente senkrecht auf A ; A : Flächeninhalt

◆ Schweredruck in Flüssigkeiten

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

p : Druck; ρ : Dichte der Flüssigkeit; g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers; h : Höhe der Flüssigkeitssäule

Kraftumformende Einrichtungen

◆ schiefe Ebene

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha$$

$$F_N = F_G \cdot \cos \alpha$$

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{\ell}$$

F_H : Hangabtriebskraft; F_G : Gewichtskraft; α : Neigungswinkel der Ebene gegenüber der Horizontalen; F_N : Normalkraft; h : Höhe der schießen Ebene; ℓ : Länge der schießen Ebene

◆ Hebelgesetz

$$M_1 = M_2$$

$$F_1 \cdot \ell_1 = F_2 \cdot \ell_2$$

M : Drehmoment; F : Kraft auf Hebelarm; ℓ : Länge des Hebelarms

◆ Rollen, (lineare) Flaschenzüge

$$F_Z = \frac{1}{n} \cdot F_L$$

$$s_Z = n \cdot s_L$$

F_Z, F_L : Zug- bzw. Lastkraft; s_Z, s_L : Zug- bzw. Lastweg; n : Anzahl der tragenden Seile/Seilstücke

Mechanische Energie

◆ kinetische Energie der Translation (Bewegungsenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

E : Energie; m : Masse; v : Geschwindigkeit

◆ kinetische Energie der Rotation (Rotationsenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$$

E : Energie; J : Trägheitsmoment; ω : Winkelgeschwindigkeit

◆ potenzielle Energie im homogenen Gravitationsfeld (Lageenergie)

$$E = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

E : Energie; F_G : Gewichtskraft; h : Höhe des Körpers über dem Bezugspunkt; m : Masse; g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor)

- ◆ Energie einer idealen (Hooke'schen) Feder (Spannenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$$

E : Energie; D : Federhärte, Richtgröße;
 s : Dehnung der Feder

Mechanische Arbeit

- ◆ mechanische Arbeit

$$W = \Delta E$$

W : Arbeit; ΔE : Energiedifferenz

- ◆ Zusammenhang zwischen Arbeit, Kraft und zurückgelegtem Weg

Für $F = \text{konstant}$ und $\vec{F} \parallel \Delta \vec{s}$ gilt:

$$W = \Delta E = F \cdot \Delta s$$

W : Arbeit; ΔE : Energiedifferenz; F : Kraft;
 s : Ort

Wenn die Kraft- und Wegvektoren den Winkel α einschließen, gilt für $F = \text{konstant}$:

$$W = \Delta E = F \cdot \Delta s \cdot \cos \alpha$$

W : Arbeit; ΔE : Energiedifferenz;
 F : Kraft; s : Ort;
 α : Winkel zwischen \vec{F} und $\Delta \vec{s}$

Für eine vom Ort s abhängige Kraft $\vec{F}(s)$ gilt unter der Bedingung $\vec{F} \parallel d\vec{s}$:

$$W = \Delta E = \int_{s_1}^{s_2} F(s) ds$$

W : Arbeit; ΔE : Energiedifferenz; F : Kraft;
 s : Ort

Leistung und Wirkungsgrad

- ◆ mittlere Leistung (Energiestromstärke)

$$\bar{P} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

\bar{P} : mittlere Leistung (Energiestromstärke);
 E : Energie; t : Zeit

- ◆ momentane Leistung (Energiestromstärke)

$$P(t) = \frac{dE}{dt}$$

$$P(t) = F \cdot v(t)$$

P : Leistung (Energiestromstärke);
 E : Energie; t : Zeit; F : Kraft; v : Geschwindigkeit

- ◆ Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\Delta E_{\text{zu}}}$$

η : Wirkungsgrad;
 P_{nutz} : Betrag der abgegebenen, genutzten Leistung;
 P_{zu} : Betrag der aufgewandten, zugeführten Leistung;
 E_{nutz} : Betrag der abgegebenen, genutzten Energie;
 E_{zu} : Betrag der aufgewandten, zugeführten Energie

Energieerhaltungssatz

$$E_{\text{ges}} = E_1 + E_2 + \dots = \text{konstant}$$

E_{ges} : Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems;
 E_1, E_2, \dots : Einzelenergien innerhalb des Systems

Gravitation

- ♦ Newton'sches Gravitationsgesetz

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

F_G : Gravitationskraft; G : Gravitationskonstante; m_1, m_2 : Massen; r : Abstand der Massen

- ♦ potenzielle Energie im Gravitationsfeld

$$E = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$$

E : Energie; G : Gravitationskonstante; m_1, m_2 : Massen; r : Abstand der Massen

- ♦ Gravitationsfeldstärke

$$g = \frac{F_G}{m}$$

g : Gravitationsfeldstärke; F_G : Gravitationskraft; m : Masse des Probekörpers

Impuls

- ♦ Impuls eines Körpers

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

$$\Delta p = F \cdot \Delta t$$

$$\vec{F}(t) = \frac{d\vec{p}}{dt} = \dot{\vec{p}}(t)$$

\vec{p} : Impuls; m : Masse; \vec{v} : Geschwindigkeit;
 \vec{F} : Kraft; t : Zeit

- ♦ Impulserhaltungssatz

$$\vec{p}_{\text{ges}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots = \text{konstant}$$

\vec{p}_{ges} : Gesamtimpuls eines abgeschlossenen Systems;
 $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots$: Einzelimpulse des Systems

- ♦ Drehimpuls eines Körpers

$$L = J \cdot \omega$$

L : Drehimpuls; J : Trägheitsmoment;
 ω : Winkelgeschwindigkeit

- ♦ Drehimpulserhaltungssatz

$$\vec{L}_{\text{ges}} = \vec{L}_1 + \vec{L}_2 + \dots = \text{konstant}$$

\vec{L}_{ges} : Gesamtdrehimpuls eines abgeschlossenen Systems;
 $\vec{L}_1, \vec{L}_2, \dots$: Einzeldrehimpulse des Systems

Rotation starrer Körper

◆ Drehmoment

Unter der Bedingung $\vec{r} \perp \vec{F}$ gilt:

$$M = r \cdot F$$

M : Drehmoment; r : Radius; F : Kraft

◆ Trägheitsmoment

$$J = \sum_i m_i \cdot r_i^2$$

J : Trägheitsmoment; m_i : Masse des i-ten Massenpunkts; r_i : Abstand des i-ten Massenpunkts von der Drehachse

Zentrale gerade Stoße

◆ vollkommen unelastischer Stoß

Geschwindigkeit nach dem Stoß:

$$u = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

u : gemeinsame Geschwindigkeit nach dem Stoß; m_1, m_2 : Massen der Stoßpartner; v_1, v_2 : Geschwindigkeiten der Stoßpartner vor dem Stoß

◆ vollkommen elastischer Stoß

Geschwindigkeit nach dem Stoß:

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2) \cdot v_1 + 2m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

$$u_2 = \frac{(m_2 - m_1) \cdot v_2 + 2m_1 \cdot v_1}{m_1 + m_2}$$

u_1, u_2 : Geschwindigkeiten der Stoßpartner nach dem Stoß; m_1, m_2 : Massen der Stoßpartner; v_1, v_2 : Geschwindigkeiten der Stoßpartner vor dem Stoß

Schwingungen

◆ beschreibende Größen der Schwingung

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

$$f = \frac{n}{t}$$

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

T : Periodendauer; f : Frequenz; n : Anzahl der Perioden; t : Zeit; ω : Kreisfrequenz

◆ mechanische harmonische Schwingungen

◆ Kraftgesetz der harmonischen Schwingung

$$\vec{F}(\vec{s}) = -D \cdot \vec{s}$$

\vec{F} : Kraft; D : Richtgröße, z. B. Federhärte; \vec{s} : Auslenkung

◆ Bewegungsgleichungen der ungedämpften harmonischen Schwingung

$$s(t) = s_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Bei Vorliegen eines Nullphasenwinkels gilt:

s : Auslenkung, Elongation; s_{\max} : Amplitude; ω : Kreisfrequenz; t : Zeit; φ_0 : Nullphasenwinkel; v : Geschwindigkeit; a : Beschleunigung

$$\begin{aligned}s(t) &= s_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0) \\v(t) &= s_{\max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0) \\a(t) &= -s_{\max} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)\end{aligned}$$

- ◆ Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen Schwingung

$$\ddot{s}(t) + \frac{D}{m} \cdot s(t) = 0$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} + \frac{D}{m} \cdot s = 0$$

s : Auslenkung; D : Richtgröße, z. B. Federhärte; m : Masse

- ◆ gedämpfte harmonische Schwingung (geschwindigkeitsproportionale, schwache Dämpfung)

Für einen bei $t = 0$ s ausgelenkten Schwinger gilt:

$$s(t) = s_{\max} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos(\omega_D \cdot t)$$

$$\text{mit: } \omega_D = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$$

s : Auslenkung; s_{\max} : Anfangsamplitude; δ : Abklingkoeffizient; t : Zeit; ω_D : Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung; ω : Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung

- ◆ Differenzialgleichung der gedämpften harmonischen Schwingung

$$\ddot{s}(t) + 2\delta \cdot \dot{s}(t) + \frac{D}{m} \cdot s(t) = 0$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} + 2\delta \cdot \frac{ds}{dt} + \frac{D}{m} \cdot s = 0$$

s : Auslenkung; δ : Abklingkoeffizient; D : Richtgröße, z. B. Federhärte; m : Masse

- ◆ Periodendauer von Pendeln

- ◆ Federpendel

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$

T : Periodendauer; m : Masse; D : Federhärte, Richtgröße

- ◆ Fadenpendel (in Kleinwinkelnäherung)

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

T : Periodendauer; ℓ : Pendellänge; g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort der Schwingung

Wellen

- ◆ Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$c = \lambda \cdot f$$

c : Ausbreitungsgeschwindigkeit; λ : Wellenlänge; f : Frequenz

- ◆ harmonische Welle

- ◆ Wellenfunktion der harmonischen Welle

$$y(x, t) = y_{\max} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right)$$

y : Auslenkung; y_{\max} : Amplitude; t : Zeit; T : Periodendauer; x : Ort; λ : Wellenlänge

◆ Differenzialgleichung der harmonischen Welle

$$\ddot{y}(x,t) - c^2 \cdot y''(x,t) = 0$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - c^2 \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$$

y : Auslenkung; x : Ort; t : Zeit; c : Ausbreitungsgeschwindigkeit

◆ Wellenfunktion einer stehenden harmonischen Welle

$$y(x,t) = 2y_{\max} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{x}{\lambda}\right) \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right)$$

y : Auslenkung; x : Ort; t : Zeit;
 y_{\max} : Amplitude der einander entgegenlaufenden Wellen; λ : Wellenlänge; T : Periodendauer

◆ stehende Wellen bei zwei festen (zwei losen) Enden

$$\lambda_k = \frac{2\ell}{k+1}$$

Grundschwingung: $k = 0$

Oberschwingungen: $k = 1, 2, 3, \dots$

λ_k : Wellenlänge;
 ℓ : Länge des Wellenträgers

◆ stehende Wellen bei einem festen und einem losen Ende

$$\lambda_k = \frac{2\ell}{k + \frac{1}{2}}$$

Grundschwingung: $k = 0$

Oberschwingungen: $k = 1, 2, 3, \dots$

λ_k : Wellenlänge;
 ℓ : Länge des Wellenträgers

Akustik

◆ akustischer Dopplereffekt bei bewegtem Sender und bewegtem Empfänger

Die oberen Vorzeichen gelten jeweils für Annäherung, die unteren Vorzeichen für Entfernungszunahme.

$$f_E = f_0 \cdot \frac{c \pm v_E}{c \mp v_S}$$

f_E : vom Empfänger gemessene Frequenz;
 f_0 : vom Sender abgestrahlte Frequenz;
 c : Schallgeschwindigkeit;
 v_E : Geschwindigkeit des Empfängers;
 v_S : Geschwindigkeit der Schallquelle

◆ Schalldruck

$$p_{\text{ges}} = p_n + p \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

p_{ges} : Gesamtdruck;
 p_n : Normaldruck im Medium (konstant);
 p : Schalldruckamplitude; ω : Kreisfrequenz; t : Zeit

◆ Intensität einer Schallwelle in einem verlustfreien akustischen Medium

$$I = \frac{P}{A} = \frac{p^2}{2\rho \cdot c}$$

I : Schallintensität; P : Schallleistung;
 A : Flächeninhalt; p : Schalldruck;
 ρ : Dichte des Mediums; c : Schallgeschwindigkeit im Medium

◆ Schallintensitätspegel

$$L_I = 10 \text{ dB} \cdot \lg \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

mit: $I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

L_I : Schallintensitätspegel;
 I : Schallintensität;
 I_0 : Bezugswert der Schallintensität

◆ Schalldruckpegel

$$L_p = 20 \text{ dB} \cdot \lg \left(\frac{p_{\text{eff}}}{p_0} \right)$$

mit: $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

L_p : Schalldruckpegel;
 p_0 : Bezugswert des Schalldrucks;
 p_{eff} : Effektivwert des Schalldrucks

2 Elektrizitätslehre und Magnetismus

Stromstärke, Spannung, Widerstand, Ladung

◆ mittlere elektrische Stromstärke

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

\bar{I} : mittlere elektrische Stromstärke;
 Q : elektrische Ladung;
 t : Zeit

◆ momentane elektrische Stromstärke und elektrische Ladung

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \dot{Q}(t)$$

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt$$

I : elektrische Stromstärke;
 Q : elektrische Ladung;
 t : Zeit

◆ elektrischer Widerstand

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

R : elektrischer Widerstand;
 U : elektrische Spannung;
 I : elektrische Stromstärke

◆ Widerstand eines elektrischen Leiters

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

R : elektrischer Widerstand;
 ρ : spezifischer Widerstand;
 ℓ : Länge des Leiters;
 A : Querschnittsfläche des Leiters

Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen

♦ Reihenschaltung

$$\begin{aligned} I_{\text{ges}} &= I_1 = I_2 = \dots = I_n \\ U_{\text{ges}} &= U_1 + U_2 + \dots + U_n \\ R_{\text{ges}} &= R_1 + R_2 + \dots + R_n \end{aligned}$$

I_{ges} : Gesamtstromstärke;
 I_1, I_2, \dots : Einzelstromstärken;
 U_{ges} : Gesamtspannung;
 U_1, U_2, \dots : Einzelspannungen;
 R_{ges} : Gesamtwiderstand;
 R_1, R_2, \dots : Einzelwiderstände

♦ Parallelschaltung

$$\begin{aligned} I_{\text{ges}} &= I_1 + I_2 + \dots + I_n \\ U_{\text{ges}} &= U_1 = U_2 = \dots = U_n \\ \frac{1}{R_{\text{ges}}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \end{aligned}$$

I_{ges} : Gesamtstromstärke; I_1, I_2, \dots : Einzelstromstärken;
 U_{ges} : Gesamtspannung; U_1, U_2, \dots : Einzelspannungen;
 R_{ges} : Gesamtwiderstand; R_1, R_2, \dots : Einzelwiderstände

Kirchhoff'sche Gesetze

♦ 1. Kirchhoff'sches Gesetz (Knotenregel)

$$\sum I_{\text{zu}} = \sum I_{\text{ab}}$$

I_{zu} : Stärken der in den Knoten zufließenden Ströme; I_{ab} : Stärken der aus dem Knoten abfließenden Ströme

♦ 2. Kirchhoff'sches Gesetz (Maschenregel)

$$\sum U_i = 0$$

U_i : Einzelspannungen in einer Masche

Elektrische Leistung und Energie

♦ elektrische Leistung

$$P = U \cdot I$$

P : elektrische Leistung;
 U : elektrische Spannung;
 I : elektrische Stromstärke

♦ elektrisch übertragene Energie

$$\Delta E = P \cdot \Delta t$$

E : Energie;
 P : elektrische Leistung; t : Zeit

♦ Energiedifferenz eines geladenen Teilchens beim Durchlaufen einer elektrischen Spannung

$$\Delta E = q \cdot U$$

E : Energie; q : Ladung des Teilchens;
 U : elektrische Spannung

Elektrisches Feld

◆ Kraft zwischen Punktladungen (Coulomb'sches Gesetz)

$$F_C = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

F_C : Coulomb-Kraft;
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante;
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl; Q_1, Q_2 : Ladungen;
 r : Abstand der Ladungen voneinander

◆ elektrische Feldstärke

$$\text{allgemein: } E = \frac{F_{\text{el}}}{q}$$

Im homogenen Feld eines

$$\text{Plattenkondensators gilt: } E = \frac{U}{d}$$

Im Radialfeld einer Punktladung gilt:

$$E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

E : elektrische Feldstärke;
 F_{el} : elektrische Kraft; q : Probeladung;
 U : elektrische Spannung;
 d : Abstand der Kondensatorplatten;
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante;
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl;
 Q : felderzeugende Ladung;
 r : Abstand von der Ladung Q

◆ elektrische Flussdichte

$$D = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$$

D : elektrische Flussdichte;
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante;
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl;
 E : elektrische Feldstärke im Vakuum

◆ Flächenladungsdichte

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

$$\sigma = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$$

σ : Flächenladungsdichte;
 Q : Ladung; A : Fläche;
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante;
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl;
 E : elektrische Feldstärke im Vakuum

◆ Potenzial im elektrischen Feld

$$\text{allgemein: } \varphi = \frac{E}{q}$$

$$\text{Im homogenen Feld eines Plattenkondensators gilt: } \varphi = \frac{U}{d} \cdot s$$

$$\text{Im Radialfeld einer punktförmigen Ladung gilt: } \varphi = -\frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r}$$

φ : elektrisches Potenzial; E : Energie;
 q : Probeladung; ϵ_0 : elektrische Feldkonstante; ϵ_r : Dielektrizitätszahl; U : elektrische Spannung; d : Abstand der Kondensatorplatten; s : Abstand von der negativen Platte; Q : felderzeugende Ladung; r : Abstand von der Ladung Q

◆ elektrische Spannung als Potenzialdifferenz

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$$

U : elektrische Spannung zwischen den Orten P_1 und P_2 ; φ_1, φ_2 : elektrisches Potenzial am Ort 1 bzw. 2

Wechselstromkreis

◆ Spannung im Wechselstromkreis

Für eine sinusförmige Wechselspannung gilt:

$$U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

U : Momentanwert der elektrischen Spannung;
 U_{\max} : Scheitelwert der elektrischen Spannung;
 ω : Kreisfrequenz; t : Zeit; U_{eff} : Effektivwert der elektrischen Spannung

◆ Stromstärke im Wechselstromkreis

Für einen sinusförmigen Wechselstrom bei der Wechselspannung

$$U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \text{ gilt:}$$

$$I(t) = I_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \Delta\varphi)$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

U : Momentanwert der elektrischen Spannung;
 U_{\max} : Scheitelwert der elektrischen Spannung;
 I : Momentanwert der elektrischen Stromstärke;
 I_{\max} : Scheitelwert der elektrischen Stromstärke;
 ω : Kreisfrequenz; t : Zeit;
 $\Delta\varphi$: Phasenverschiebung zwischen U und I ;
 I_{eff} : Effektivwert der elektrischen Stromstärke

◆ Widerstände im Wechselstromkreis

◆ kapazitiver und induktiver Widerstand im Wechselstromkreis

Für eine sinusförmige Wechselspannung gilt:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$\text{mit: } \Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$$

Am Kondensator eilt der Strom der Spannung voraus.

An der Spule läuft der Strom der Spannung nach.

X_C : kapazitiver Widerstand;
 ω : Kreisfrequenz; C : Kapazität; X_L : induktiver Widerstand; L : Induktivität;
 $\Delta\varphi$: Phasenverschiebung zwischen U und I

◆ Reihenschaltung aus kapazitivem, induktiven und Ohm'schen Widerstand

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Z : Impedanz (Scheinwiderstand);
 R : Ohm'scher Widerstand; X_L : induktiver Widerstand; X_C : kapazitiver Widerstand

◆ Leistung im Wechselstromkreis

$$P_S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

$$P_W = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \Delta\varphi$$

$$P_B = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin \Delta\varphi$$

P_S : Scheinleistung;
 U_{eff} : Effektivwert der elektrischen Spannung;
 I_{eff} : Effektivwert der elektrischen Stromstärke;
 P_W : Wirkleistung; $\Delta\varphi$: Phasenverschiebung zwischen U und I ;
 P_B : Blindleistung

Kondensator

◆ Kapazität eines Kondensators

$$C = \frac{Q}{U}$$

Für den Plattenkondensator gilt:

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

C : Kapazität des Kondensators;
 Q : Ladung des Kondensators;
 U : elektrische Spannung;
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante;
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl;
 A : Flächeninhalt einer Platte;
 d : Abstand der Kondensatorplatten

◆ Energie des geladenen Kondensators (elektrische Feldenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

E : Energie;
 C : Kapazität des Kondensators;
 U : elektrische Spannung

◆ Aufladen und Entladen eines Kondensators über einen Ohm'schen Widerstand

Aufladen eines Kondensators:

$$U_C(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right)$$

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

$$Q(t) = Q_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right)$$

Entladen eines Kondensators:

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

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

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

U_C : elektrische Spannung am Kondensator;

U_0 : Quellenspannung beim Aufladen bzw. elektrische Spannung am Kondensator zu Beginn des Entladevorgangs; t : Zeit;

R : Ohm'scher Widerstand;

C : Kapazität des Kondensators;

I : elektrische Stromstärke;

I_0 : elektrische Stromstärke zu Beginn des Auf- bzw. Entladevorgangs; Q : Ladung des Kondensators; Q_0 : Ladung des Kondensators am Ende des Aufladevorgangs bzw. zu Beginn des Entladevorgangs

◆ Differenzialgleichung zur Beschreibung des Aufladevorgangs

$$\dot{Q}(t) + \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q(t) = \frac{U_0}{R}$$

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q = \frac{U_0}{R}$$

Q : Ladung des Kondensators;

R : Ohm'scher Widerstand;

C : Kapazität des Kondensators;

U_0 : Quellenspannung beim Aufladen;

t : Zeit

◆ Differenzialgleichung zur Beschreibung des Entladevorgangs

$$\dot{Q}(t) + \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q(t) = 0$$

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q = 0$$

Q : Ladung des Kondensators;

R : Ohm'scher Widerstand;

C : Kapazität des Kondensators;

t : Zeit

◆ Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren

◆ Reihenschaltung

$$Q_{\text{ges}} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Q_{ges} : Gesamtladung; Q_1, Q_2, \dots : Einzella-
dungen; U_{ges} : Gesamtspannung;
 U_1, U_2, \dots : Einzelspannungen; C_{ges} : Ge-
samtkapazität; C_1, C_2, \dots : Einzelkapazitä-
ten

◆ Parallelschaltung

$$Q_{\text{ges}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$U_{\text{ges}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Q_{ges} : Gesamtladung; Q_1, Q_2, \dots : Einzella-
dungen; U_{ges} : Gesamtspannung;
 U_1, U_2, \dots : Einzelspannungen;
 C_{ges} : Gesamtkapazität; C_1, C_2, \dots : Einzel-
kapazitäten

Magnetisches Feld

◆ magnetische Flussdichte

$$B = \frac{F}{I \cdot s}$$

Außerhalb eines geraden stromdurchflossenen Leiters gilt:

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

Innerhalb einer stromdurchflossenen langgestreckten Spule gilt:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{\ell}$$

B : magnetische Flussdichte;
 F : Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter;
 I : elektrische Stromstärke;
 s : wirksame Länge des Leiters im Magnetfeld;
 μ_0 : magnetische Feldkonstante;
 μ_r : Permeabilitätszahl des Mediums;
 r : Abstand vom Leiter; N : Windungszahl der Spule; ℓ : Länge der Spule

◆ magnetische Feldstärke

Innerhalb einer stromdurchflossenen langgestreckten Spule gilt:

$$H = N \cdot \frac{I}{\ell}$$

Außerhalb eines geraden stromdurchflossenen Leiters gilt:

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

H : magnetische Feldstärke; F : Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter; N : Windungszahl der Spule; ℓ : Länge der Spule;
 I : elektrische Stromstärke; r : Abstand vom Leiter

◆ Lorentz-Kraft auf bewegte Ladungsträger

allgemein: $\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

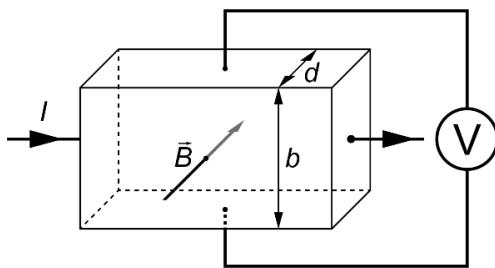
$$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Unter der Bedingung $\vec{v} \perp \vec{B}$ gilt:

$$F_L = q \cdot v \cdot B$$

F_L : Lorentz-Kraft; q : Ladung;
 v : Geschwindigkeit; B : magnetische Fluss-
dichte; α : Winkel zwischen Geschwindig-
keit und magnetischer Flussdichte

◆ Hall-Spannung



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

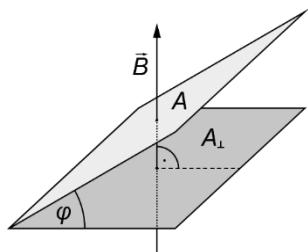
$$U_H = b \cdot v \cdot B$$

$$R_H = \frac{1}{n \cdot q}$$

U_H : Hall-Spannung; R_H : Hall-Konstante;
 I : elektrische Stromstärke durch das Plättchen;
 B : magnetische Flussdichte;
 d : Dicke des Plättchens;
 b : Breite des Plättchens;
 v : Geschwindigkeit der Ladungsträger durch das Plättchen; n : Ladungsträgerdichte; q : Ladung des Ladungsträgers

Induktion

◆ magnetischer Fluss



$$\Phi = B \cdot A_{\perp} = B \cdot A \cdot \cos \varphi$$

Φ : magnetischer Fluss;
 B : magnetische Flussdichte;
 A_{\perp} : wirksamer Flächeninhalt;
 A : Flächeninhalt;
 φ : Winkel zwischen Fläche und wirksamer Fläche

◆ Induktionsgesetz

Für eine Leiterschleife gilt:

$$U_{\text{ind}}(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -\dot{\Phi}(t)$$

Für eine Spule gilt:

$$U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Induktion durch Änderung der magnetischen Flussdichte bei A_{\perp} = konstant:

$$U_{\text{ind}} = -N \cdot A_{\perp} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$U_{\text{ind}}(t) = -N \cdot A_{\perp} \cdot \frac{dB}{dt} = -N \cdot A_{\perp} \cdot \dot{B}(t)$$

Induktion durch Änderung des wirksamen Flächeninhalts bei B = konstant:

$$U_{\text{ind}} = -N \cdot B \cdot \frac{\Delta A_{\perp}}{\Delta t}$$

$$U_{\text{ind}}(t) = -N \cdot B \cdot \frac{dA_{\perp}}{dt} = -N \cdot B \cdot \dot{A}_{\perp}(t)$$

U_{ind} : induzierte Spannung;
 Φ : magnetischer Fluss; t : Zeit; N : Windungszahl der Spule;
 A_{\perp} : wirksamer Flächeninhalt; B : magnetische Flussdichte;
 ℓ : wirksame Länge des Leiters;
 v : Geschwindigkeit des Leiters

Induktionsspannung am bewegten Leiter im homogenen Magnetfeld:

Unter der Bedingung $\vec{v} \perp \vec{B}$ gilt:

$$U_{\text{ind}} = -B \cdot \ell \cdot v$$

Transformator

- ◆ Verhältnis der Spannungen eines unbelasteten idealen Transformators

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

U_1 : elektrische Spannung an der felderzeugenden Spule (Primärspule); U_2 : elektrische Spannung an der Induktionsspule (Sekundärspule);
 N_1 : Windungszahl der felderzeugenden Spule (Primärspule); N_2 : Windungszahl der Induktionsspule (Sekundärspule)

- ◆ Verhältnis der Ströme eines stark belasteten idealen Transformators (Kurzschlussfall)

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

I_1 : elektrische Stromstärke durch die felderzeugende Spule (Primärspule); I_2 : elektrische Stromstärke durch die Induktionsspule (Sekundärspule); N_1 : Windungszahl der felderzeugenden Spule (Primärspule); N_2 : Windungszahl der Induktionsspule (Sekundärspule)

Spule

- ◆ Induktivität einer langgestreckten Spule

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{\ell}$$

L : Induktivität;
 μ_0 : magnetische Feldkonstante;
 μ_r : Permeabilitätszahl des Mediums;
 N : Windungszahl der Spule;
 A : Querschnittsfläche der Spule;
 ℓ : Länge der Spule

- ◆ Selbstinduktionsspannung einer Spule

$$U_{\text{ind}} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

allgemein:

$$U_{\text{ind}}(t) = -L \cdot \frac{di}{dt} = -L \cdot i(t)$$

U_{ind} : induzierte Spannung; L : Induktivität;
 i : elektrische Stromstärke; t : Zeit

- ◆ Energie der stromdurchflossenen Spule (magnetische Feldenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

E : Energie; L : Induktivität; I : elektrische Stromstärke

◆ Schaltvorgänge an einer Spule

Einschaltvorgang:

$$I(t) = I_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t} \right)$$

Ausschaltvorgang:

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

I : elektrische Stromstärke;
 I_0 : elektrische Stromstärke durch die Spule am Ende bzw. zu Beginn des Schaltvorgangs; R : Ohm'scher Widerstand; L : Induktivität der Spule; t : Zeit

◆ Differenzialgleichung zur Beschreibung des Ausschaltvorgangs

$$\dot{I}(t) + \frac{R}{L} \cdot I(t) = 0$$

$$\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} \cdot I = 0$$

I : Stromstärke; t : Zeit;
 R : Ohm'scher Widerstand;
 L : Induktivität der Spule

◆ Differenzialgleichung zur Beschreibung des Einschaltvorgangs

$$\dot{I}(t) + \frac{R}{L} \cdot I(t) = \frac{U_0}{L}$$

$$\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} \cdot I = \frac{U_0}{L}$$

I : Stromstärke; t : Zeit;
 R : Ohm'scher Widerstand;
 L : Induktivität der Spule;
 U_0 : Quellenspannung beim Einschalten

Elektromagnetische Schwingungen

◆ Periodendauer einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung im Schwingkreis (Thomson'sche Schwingungsgleichung)

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

T : Periodendauer; L : Induktivität;
 C : Kapazität

◆ Schwingungsgleichungen der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

Für einen bei $t = 0$ geladenen Kondensator gilt:

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

$$I(t) = -I_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$Q(t) = Q_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

U : elektrische Spannung;
 U_{\max} : maximale auftretende elektrische Spannung; ω : Kreisfrequenz; t : Zeit;
 I : elektrische Stromstärke;
 I_{\max} : maximale auftretende elektrische Stromstärke; Q : Ladung des Kondensators;
 Q_{\max} : maximale Ladung des Kondensators

◆ Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

$$\ddot{Q}(t) + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t) = 0$$

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q = 0$$

Q : Ladung des Kondensators; t : Zeit;
 L : Induktivität; C : Kapazität

◆ gedämpfte harmonische elektromagnetische Schwingung (Schwingfall)

Für einen bei $t=0\text{s}$ geladenen Kondensator gilt:

$$Q(t) = Q_{\max} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos(\omega_D \cdot t)$$

mit: $\omega_D = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$

Q : Ladung des Kondensators;
 Q_{\max} : maximale Ladung des Kondensators;
 δ : Abklingkoeffizient; t : Zeit;
 ω_D : Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung; ω : Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung

◆ Differenzialgleichung der gedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

$$\ddot{Q}(t) + 2\delta \cdot \dot{Q}(t) + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t) = 0$$

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + 2\delta \cdot \frac{dQ}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q = 0$$

mit: $\delta = \frac{R}{2L}$

Q : Ladung des Kondensators; t : Zeit;
 δ : Abklingkoeffizient; L : Induktivität;
 C : Kapazität; R : Ohm'scher Widerstand

◆ Grundfrequenz eines Dipols

$$f = \frac{c}{2\ell}$$

f : Frequenz;
 c : Ausbreitungsgeschwindigkeit;
 ℓ : Länge des Dipols

Elektromagnetische Wellen

◆ Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

c : Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum;
 μ_0 : magnetische Feldkonstante; ϵ_0 : elektrische Feldkonstante

◆ Intensität ungedämpfter elektromagnetischer Wellen

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

$$I = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \epsilon_0 \cdot E_{\max}^2$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \frac{1}{\mu_0} \cdot B_{\max}^2$$

I : Intensität; P : Leistung;
 A : Flächeninhalt;
 c : Ausbreitungsgeschwindigkeit;
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante;
 E_{\max} : maximale elektrische Feldstärke des elektrischen Felds der Welle;
 μ_0 : magnetische Feldkonstante; B_{\max} : maximale magnetische Flussdichte des magnetischen Felds der Welle

3 Optik

Geometrische Optik

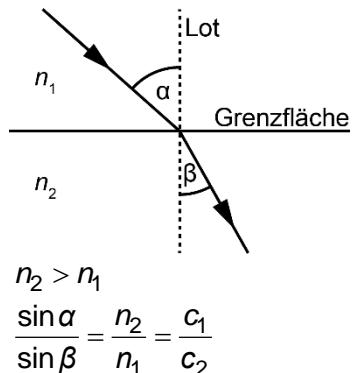
♦ Reflexionsgesetz

$$\alpha = \alpha'$$

α : Einfallswinkel;
 α' : Reflexionswinkel

♦ Brechung

♦ Brechungsgesetz



α : Einfallswinkel; β : Brechungswinkel;
 n_1, n_2 : Brechzahlen der optischen Medien;
 c_1, c_2 : Lichtgeschwindigkeiten in den optischen Medien

♦ Brechzahl

$$n = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_{\text{Medium}}}$$

n : Brechzahl des optischen Mediums;
 c_{Vakuum} : Vakuumlichtgeschwindigkeit;
 c_{Medium} : Lichtgeschwindigkeit im optischen Medium

♦ Grenzwinkel der Totalreflexion

$$\sin \alpha_G = \frac{n_2}{n_1}$$

α_G : Grenzwinkel der Totalreflexion;
 n_1, n_2 : Brechzahlen der optischen Medien

♦ Abbildungsgleichung für dünne Linsen und für Spiegel

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

f : Brennweite; g : Gegenstandsweite;
 b : Bildweite

♦ Abbildungsmaßstab für dünne Linsen und für Spiegel

$$A = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

A : Abbildungsmaßstab; B : Bildgröße;
 G : Gegenstandsgröße;
 b : Bildweite; g : Gegenstandsweite

Wellenoptik

♦ Interferenz

♦ Doppelspalt

Für Maxima gilt:

$$\frac{k \cdot \lambda}{g} = \sin \alpha_k$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

Für Minima gilt:

$$\frac{(2k-1) \cdot \frac{\lambda}{2}}{g} = \sin \alpha_k$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

λ : Wellenlänge; g : Spaltmittenabstand;
 α_k : Winkel, unter dem das Maximum bzw.
 Minimum k -ter Ordnung erscheint

♦ Gitter

Für Hauptmaxima gilt:

$$\frac{k \cdot \lambda}{g} = \sin \alpha_k$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

λ : Wellenlänge; g : Spaltmittenabstand;
 α_k : Winkel, unter dem das Hauptmaximum
 k -ter Ordnung erscheint

♦ Einzelspalt

Für Minima gilt:

$$\frac{k \cdot \lambda}{d} = \sin \alpha_k$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

λ : Wellenlänge; d : Spaltbreite;
 α_k : Winkel, unter dem das Maximum bzw.
 Minimum k -ter Ordnung erscheint

Für Maxima ab der ersten Ordnung gilt
 (Näherung):

$$\frac{(2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}}{d} = \sin \alpha_k$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

♦ Bragg-Beziehung

$$2d \cdot \sin \varphi_k = k \cdot \lambda$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

d : Netzebenenabstand; φ_k : Glanzwinkel
 (zur Netzebene); λ : Wellenlänge

♦ Rayleigh'sches Kriterium der Auflösung

$$\alpha_k = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$$

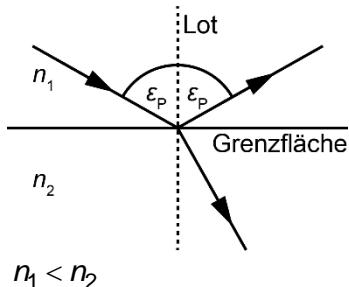
λ : Wellenlänge; d : Durchmesser der Öffnung;
 α_k : kritischer Winkel, bei dem die beiden
 Quellen gerade noch getrennt wahrgenommen werden

◆ Durchlässigkeit beim linearen Polarisationsfilter

$$\frac{I}{I_0} = (\cos \varphi)^2$$

I : Intensität der durchgelassenen Welle;
 I_0 : Intensität der einlaufenden Welle;
 φ : Winkel zwischen der Schwingungsrichtung des einfallenden Lichts und der Polarisationsachse des Filters

◆ Brewster-Gesetz zur Polarisation des Lichts, senkrecht zur Zeichenebene



$$\tan \varepsilon_P = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

ε_P : Polarisationswinkel (Einfallswinkel);
 c_1, c_2 : Lichtgeschwindigkeit im optischen Medium;
 n_1, n_2 : Brechzahlen der optischen Medien

4 Quantenphysik und Materie

Quantenobjekte

◆ Energie eines Photons

$$E = h \cdot f$$

E : Energie;
 h : Planck'sches Wirkungsquantum;
 f : Frequenz des Photons

◆ Energiebilanz beim Photoeffekt

$$E_{\text{kin,max}} = h \cdot f - W_A$$

$E_{\text{kin,max}}$: maximale kinetische Energie der Fotoelektronen;
 h : Planck'sches Wirkungsquantum;
 f : Frequenz des Photons; W_A : Auslösearbeit

◆ Impuls eines Photons

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

p : Impuls; E : Energie; c : Lichtgeschwindigkeit

◆ Wellenlänge eines Quantenobjekts (de-Broglie-Wellenlänge)

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

λ : Wellenlänge;
 h : Planck'sches Wirkungsquantum;
 p : Impuls des Quantenobjekts

◆ Compton-Effekt

$$\Delta\lambda = \lambda_C \cdot (1 - \cos \varphi)$$

$$\text{mit: } \lambda_C = \frac{h}{m \cdot c}$$

$\Delta\lambda$: Änderung der Wellenlänge;
 λ_C : Compton-Wellenlänge;
 φ : Streuwinkel (Winkel zwischen der Richtung des eingestrahlten und der Richtung des gestreuten Photons);
 h : Planck'sches Wirkungsquantum;
 m : Masse des Quantenobjekts;
 c : Lichtgeschwindigkeit

◆ Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Δx : Ortsunbestimmtheit;
 Δp_x : Impulsunbestimmtheit;
 h : Planck'sches Wirkungsquantum

◆ Energie-Zeit-Unbestimmtheitsrelation

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

ΔE : Energieunbestimmtheit;
 Δt : Zeitunbestimmtheit;
 h : Planck'sches Wirkungsquantum

◆ zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung

$$\Psi_n''(x) = \frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (E_{\text{pot}}(x) - E_n) \cdot \Psi_n(x)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Lösung für den Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden:

$$\Psi_n(x) = A_n \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right) \text{ für } 0 < x < L,$$

sonst: $\Psi_n(x) = 0$

Ψ : Wellenfunktion; m : Masse;
 h : Planck'sches Wirkungsquantum;
 x : Ort; E_{pot} : potenzielle Energie;
 E_n : Energiewerte; A_n : Normierungsfaktor;
 L : Länge des Potenzialtopfes

Atomhülle

◆ Frequenzbedingung für Übergänge zwischen den diskreten Energieniveaus

$$h \cdot f = E_m - E_n = \Delta E$$

$$n, m = 1, 2, 3, \dots$$

h : Planck'sches Wirkungsquantum;
 f : Frequenz; E_m, E_n : Energieniveaus;
 ΔE : Energiedifferenz

◆ Spektrallinien des Wasserstoffatoms

$$f = c \cdot R_H \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$n, m = 1, 2, 3, \dots$$

$$m > n$$

f : Frequenz;
 c : Vakuumlichtgeschwindigkeit;
 R_H : Rydberg-Konstante des Wasserstoffatoms

◆ Energieniveaus des Wasserstoffatoms (ohne Korrektur des mitbewegten Kerns)

$$E_n = -\frac{m_e \cdot e^4}{8\epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

E_n : Energieniveau des Wasserstoffatoms;
 m_e : Elektronenmasse; e : Elementarladung; ϵ_0 : elektrische Feldkonstante;
 h : Planck'sches Wirkungsquantum

◆ Energieniveaus eines Ein-Elektronen-Atoms (ohne Korrektur des mitbewegten Kerns)

$$E_n = -\frac{m_e \cdot e^4}{8\epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{Z^2}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

E_n : Energieniveau eines Ein-Elektronen-Atoms; m_e : Elektronenmasse; e : Elementarladung; ϵ_0 : elektrische Feldkonstante; h : Planck'sches Wirkungsquantum; Z : Ordnungszahl

◆ Moseley-Gesetz für die K_{α} -Linie eines Röntgenspektrums

$$E_{K_{\alpha}} = 13,6 \text{ eV} \cdot \frac{3}{4} \cdot (Z-1)^2$$

$E_{K_{\alpha}}$: Energie des beim K_{α} -Übergang emittierten Photons; Z : Ordnungszahl

◆ Energie im eindimensionalen Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden

$$E_n = \frac{h^2}{8m \cdot L^2} \cdot n^2$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Im Inneren gilt: $E_{\text{pot}} = 0 \text{ eV}$

E_n : Energieniveau; h : Planck'sches Wirkungsquantum; m : Masse des Quantenobjekts; L : Länge des Potenzialtopfes

◆ Materiewellenlänge bei stationären Zuständen im eindimensionalen Potenzialtopf

$$\lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

λ_n : Materiewellenlänge; L : Länge des Potenzialtopfs

5 Wärmelehre

Grundgleichung der Wärmelehre

$$Q = \Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q : aufgenommene bzw. abgegebene Wärme; E : Energie; c : spezifische Wärmekapazität; m : Masse; T : Temperatur

Entropieänderung

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T}$$

S : Entropie; Q_{rev} : reversibel aufgenommene bzw. abgegebene Wärme; T : Temperatur

Hauptsätze der Wärmelehre

◆ 1. Hauptsatz

$$\Delta U = Q + W$$

 $| U$: innere Energie; Q : Wärme; W : Arbeit

◆ 2. Hauptsatz

$$\Delta S \geq 0$$

 $| S$: Entropie**Zustandsgleichung für ideale Gase**

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant}$$

 $| p$: Druck; V : Volumen; T : Temperatur**Thermisches Verhalten von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen**

◆ Aggregatzustandsänderungen

◆ Verdampfungswärme

$$Q_V = q_V \cdot m$$

 $| Q_V$: Verdampfungswärme; q_V : spezifische Verdampfungswärme; m : Masse

◆ Schmelzwärme

$$Q_S = q_S \cdot m$$

 $| Q_S$: Schmelzwärme; q_S : spezifische Schmelzwärme; m : Masse

◆ Wärmeleitung

$$Q = \Delta E = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \cdot \Delta t$$

 $| Q$: Wärme; E : Energie;
 λ : Wärmeleitfähigkeitskoeffizient;
 A : Flächeninhalt;
 T : Temperatur; d : Dicke/Länge des Körpers; t : Zeit

◆ Thermische Längenänderung

$$\Delta \ell = \alpha \cdot \ell_0 \cdot \Delta T$$

 $| \ell$: Länge;
 α : Längenausdehnungskoeffizient;
 ℓ_0 : Ausgangslänge; T : Temperatur

◆ Thermische Volumenänderung

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

 $| V$: Volumen;
 γ : Volumenausdehnungskoeffizient;
 V_0 : Ausgangsvolumen; T : Temperatur

6 Spezielle Relativitätstheorie

Galilei-Transformation

$S \rightarrow S'$	$S' \rightarrow S$	x, y, z : Koordinaten im Inertialsystem S ; x', y', z' : Koordinaten im Inertialsystem S' ; t, t' : Zeiten in den jeweiligen Systemen; v : Relativgeschwindigkeit der Inertialsysteme S und S'
$x' = x - v \cdot t$	$x = x' + v \cdot t$	
$y' = y$	$y = y'$	
$z' = z$	$z = z'$	
$t' = t$	$t = t'$	

Lorentz-Faktor

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

γ : Lorentz-Faktor;
 v : Relativgeschwindigkeit der Inertialsysteme S und S' ; c : Lichtgeschwindigkeit

Lorentz-Transformation

$S \rightarrow S'$	$S' \rightarrow S$	x, y, z : Koordinaten im Inertialsystem S ; x', y', z' : Koordinaten im Inertialsystem S' ; t, t' : Zeiten in den jeweiligen Systemen; v : Relativgeschwindigkeit der Inertialsysteme S und S' zueinander; γ : Lorentz-Faktor; c : Lichtgeschwindigkeit
$x' = \gamma \cdot (x - v \cdot t)$	$x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t')$	
$y' = y$	$y = y'$	
$z' = z$	$z = z'$	
$t' = \gamma \cdot \left(t - \frac{v}{c^2} \cdot x \right)$	$t = \gamma \cdot \left(t' + \frac{v}{c^2} \cdot x' \right)$	

Zeitdilatation

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

Δt : Zeitdauer, die ein Beobachter aus seinem Ruhesystem S für einen Vorgang misst; γ : Lorentz-Faktor;
 Δt_0 : Zeitdauer, in der im dazu mit der Relativgeschwindigkeit v bewegten Bezugssystem S' ein Vorgang abläuft

Längenkontraktion

$$\ell = \frac{\ell_0}{\gamma}$$

ℓ : Länge eines im bewegten Bezugssystem S' ruhenden Stabes, die ein Beobachter aus seinem Ruhesystem S misst;
 ℓ_0 : Länge eines im bewegten Bezugssystem S' ruhenden Stabes, im bewegten Bezugssystem S' gemessen;
 γ : Lorentz-Faktor

Impuls

$$p = \gamma \cdot m \cdot v$$

p : Impuls; γ : Lorentz-Faktor; m : Masse;
 v : Geschwindigkeit

Energie

$$E = \gamma \cdot m \cdot c^2 = E_0 + E_{\text{kin}}$$

E : Energie; γ : Lorentz-Faktor; m : Masse;
 c : Lichtgeschwindigkeit; E_0 : Ruheenergie;
 E_{kin} : kinetische Energie

Energie-Impuls-Beziehung

$$E^2 = c^2 p^2 + E_0^2$$

E : Energie; c : Lichtgeschwindigkeit;
 p : Impuls; E_0 : Ruheenergie

7 Kernphysik**Nukleonen**

$$A = Z + N$$

A : Nukleonenzahl, Massenzahl;
 N : Neutronenzahl; Z : Protonenzahl, Kernladungszahl

Freisetzung von α -, β -, γ -Strahlung α -Zerfall:

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He$$

 β -Zerfälle:

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e + {}^0_0 \bar{\nu}_e$$

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_1 e + {}^0_0 \nu_e$$

 γ -Strahlung:

$${}^A_Z X^* \rightarrow {}^A_Z X + {}^0_0 \gamma$$

A : Massenzahl; Z : Protonenzahl, Kernladungszahl;
 X, Y : Elementsymbol;
 X^* : angeregtes Nuklid;
 $\bar{\nu}_e$: Elektron-Antineutrino; ν_e : Elektron-Neutrino

Aktivität einer radioaktiven Substanz

$$A(t) = -\dot{N}(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N(t)$$

A : Aktivität;
 N : Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne; λ : Zerfallskonstante

Zerfallsgesetz

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

$$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

mit: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

N : Anzahl der zur Zeit t noch nicht zerfallenen Kerne; N_0 : Anzahl der ursprünglich vorhandenen Kerne; λ : Zerfallskonstante; t : Zeit; $T_{1/2}$: Halbwertszeit

Absorptionsgesetz

$$z(d) = z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} = z_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{D_{1/2}}}$$

z : Zählrate (hinter einem Absorber der Dicke d); z_0 : Zählrate (ohne Absorber, gleicher Ort); μ : Schwächungskoeffizient; $D_{1/2}$: Halbwertsdicke

Energiedosis

$$D = \frac{E}{m}$$

D : Energiedosis; E : aufgenommene Energie; m : Masse

Äquivalentdosis

$$H = D \cdot q$$

H : Äquivalentdosis; D : Energiedosis; q : Qualitätsfaktor

Effektive Dosis

$$E = w_{T_1} \cdot H_{T_1} + w_{T_2} \cdot H_{T_2} + \dots$$

E : Effektive Dosis; w_{T_1}, w_{T_2}, \dots : Gewebe-Wichtungsfaktoren; H_{T_1}, H_{T_2}, \dots : Organ-Äquivalentdosen

Bindungsenergie des Kerns

$$E_B = \Delta m \cdot c^2$$

mit: $\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_K$

E_B : Bindungsenergie; Δm : Massendefekt; c : Lichtgeschwindigkeit; Z : Protonenzahl, Kernladungszahl; m_p : Protonenmasse; N : Neutronenzahl; m_n : Neutronenmasse; m_K : Kernmasse

Freierdende Energie bei Kernreaktionen (Q-Wert)

$$Q = \Delta E = (m_{\text{vor}} - m_{\text{nach}}) \cdot c^2$$

Q : Q-Wert der Kernreaktion; E : Energie; m_{vor} : Masse vor der Kernreaktion; m_{nach} : Masse nach der Kernreaktion; c : Lichtgeschwindigkeit

Kernradius

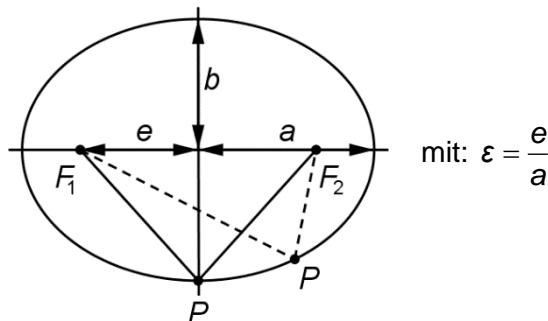
$$r_K \approx 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{A}$$

r_K : Kernradius; A : Massenzahl

8 Astrophysik**Kepler'sche Gesetze**

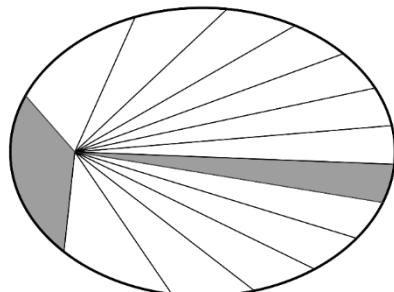
◆ 1. Kepler'sches Gesetz

Die Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.



a, b : große bzw. kleine Halbachse;
 e : lineare Exzentrizität;
 F_1, F_2 : Brennpunkte;
 P : Planet; ε : numerische Exzentrizität

◆ 2. Kepler'sches Gesetz



A : Flächeninhalt der vom Leitstrahl überstrichene Fläche;
 t : Zeit

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{konstant}$$

◆ 3. Kepler'sches Gesetz

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

T_1, T_2 : Umlaufzeiten der Objekte beim Umlauf um den Zentralkörper;
 a_1, a_2 : große Halbachsen der Objekte beim Umlauf um den Zentralkörper

Bewegung im Gravitationsfeld

◆ Bahngeschwindigkeit eines Körpers auf einer Keplerellipse

$$v = \sqrt{G \cdot M \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

v : Bahngeschwindigkeit; G : Gravitationskonstante; M : Masse des Zentralkörpers;
 r : Abstand vom Zentralkörper;
 a : große Halbachse der Bahnellipse

◆ Zweikörperproblem

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot (m_1 + m_2)}$$

mit: $a = a_1 + a_2$

T : Umlaufzeit; a_1, a_2 : große Halbachsen der Himmelskörper (gemeinsamer Schwerpunkt);
 G : Gravitationskonstante; m_1, m_2 : Massen

◆ Schwerpunktsatz

$$m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2$$

m_1, m_2 : Massen;
 a_1, a_2 : große Halbachsen der Himmelskörper (gemeinsamer Schwerpunkt)

◆ Umlaufzeiten

$$\frac{1}{T_{\text{sid}}} = \frac{1}{T_{\text{Erde}}} \pm \frac{1}{T_{\text{syn}}}$$

T_{sid} : siderische Umlaufzeit;
 T_{Erde} : Umlaufzeit der Erde;
 T_{syn} : synodische Umlaufzeit

◆ Kreisbahngeschwindigkeit

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

v : Geschwindigkeit; G : Gravitationskonstante; M : Masse des Zentralkörpers;
 r : Abstand vom Mittelpunkt des Zentralkörpers

◆ Fluchtgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$$

v : Geschwindigkeit; G : Gravitationskonstante; M : Masse des Zentralkörpers;
 r : Abstand vom Mittelpunkt des Zentralkörpers

Schwarzschild-Radius eines schwarzen Lochs

$$R_S = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$$

R_S : Radius des Ereignishorizonts des schwarzen Lochs; G : Gravitationskonstante; M : Masse des schwarzen Lochs; c : Lichtgeschwindigkeit

Strahlungsgesetze

◆ Bestrahlungsstärke

$$E = \frac{\Phi}{4\pi \cdot r^2}$$

E : Bestrahlungsstärke; Φ : Strahlungsleistung, Leuchtkraft; r : Abstand vom Körper

◆ Empirische Masse-Leuchtkraft-Beziehung (Näherung)

$$L \sim M^3$$

L : Leuchtkraft eines Hauptreihensterns;
 M : Masse des Sterns

◆ Stefan-Boltzmann-Gesetz für schwarze Strahler

$$\Phi = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Φ : Strahlungsleistung, Leuchtkraft;
 σ : Stefan-Boltzmann-Konstante;
 A : Flächeninhalt der abstrahlenden Fläche;
 T : Temperatur

◆ Wien'sches Verschiebungsgesetz

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

λ_{\max} : Wellenlänge des Maximums der spektralen Verteilung der Strahlungsintensität; T : Temperatur;
 b : Wien'sche Verschiebungskonstante

Entfernung und Helligkeit

◆ Trigonometrische Parallaxe p in Bogensekunden

$$\frac{r}{1\text{pc}} = \frac{1''}{p}$$

r : Entfernung des Sterns;
 p : trigonometrische Parallaxe

◆ Eigenbewegung

$$v_t = \mu \cdot r$$

v_t : Tangentialgeschwindigkeit;
 μ : Winkelgeschwindigkeit des Sterns (Eigenbewegung);
 r : Entfernung des Sterns

◆ Beziehung zwischen den scheinbaren Helligkeiten m_1 und m_2 zweier Sterne

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \lg\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$$

m_1, m_2 : scheinbare Helligkeiten;
 E_1, E_2 : Bestrahlungsstärken

◆ Beziehung zwischen den absoluten Helligkeiten M_1 und M_2 zweier Sterne

$$M_1 - M_2 = -2,5 \cdot \lg\left(\frac{L_1}{L_2}\right)$$

M_1, M_2 : absolute Helligkeiten;
 L_1, L_2 : Leuchtkräfte

◆ Entfernungsmodul eines Sternes

$$m - M = 5 \cdot \lg\left(\frac{r}{10\text{ pc}}\right)$$

m : scheinbare Helligkeit;
 M : absolute Helligkeit;
 r : Abstand zwischen Stern und Beobachter in pc

◆ Empirische Perioden-Helligkeits-Beziehung bei Cepheiden

$$M = -1,84 - 2,24 \cdot \lg\left(\frac{p}{1\text{d}}\right)$$

M : mittlere absolute Helligkeit;
 p : Periodendauer des δ -Cephei-Sternes in d

◆ Hubble-Beziehung

$$v = H_0 \cdot r$$

v : Radialgeschwindigkeit einer weit entfernten Galaxie; H_0 : Hubble-Parameter;
 r : Entfernung

Nichtrelativistische Näherung des optischen Doppler-Effekts

$$\frac{\Delta f}{f} \approx \pm \frac{v}{c}$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} \approx \pm \frac{v}{c}$$

f : Frequenz;
 v : Relativgeschwindigkeit von Sender und Empfänger;
 c : Lichtgeschwindigkeit; λ : Wellenlänge

9 Anhang

9.1 Größen, Einheiten und ihre Beziehungen untereinander

Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Einheitenzeichen	Beziehungen zwischen den Einheiten
Aktivität	A	Becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \frac{1}{\text{s}}$
Äquivalentdosis	H	Sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Arbeit	W	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Beschleunigung	a		$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	
Bestrahlungsstärke	E		$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	
Dichte	ρ		$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,001 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Drehmoment	M		Nm	$1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Drehimpuls	L		$\text{Nm} \cdot \text{s}$	$1 \text{ Nm} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$
Druck	p	Pascal Bar	Pa bar	$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
effektive Dosis	E	Sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
elektrische Feldstärke	E		$\frac{\text{V}}{\text{m}}$	$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$
elektrische Flussdichte	D		$\frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	
elektrische Ionenäquivalentleitfähigkeit	Λ_{eq}		$\frac{\text{S} \cdot \text{cm}^2}{\text{mol}}$	
elektrische Kapazität	C	Farad	F	$1 \text{ F} = 1 \frac{\text{C}}{\text{V}} = 1 \frac{\text{A}^2 \cdot \text{s}^4}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$
elektrische Ladung	Q	Coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$

elektrische Leitfähigkeit	κ		$\frac{S}{m}$	$1 \frac{S}{m} = \frac{1}{\Omega \cdot m}$
elektrischer Leitwert	G	Siemens	S	$1 S = \frac{1}{\Omega} = 1 \frac{A}{V}$
elektrische Spannung	U	Volt	V	$1 V = 1 \frac{W}{A} = 1 \frac{J}{C} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A}$
elektrische Stromstärke	I	Ampere	A	
elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \frac{V}{A} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A^2}$
elektrisches Potenzial	φ	Volt	V	$1 V = 1 \frac{W}{A} = 1 \frac{J}{C} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A}$
elektrochemisches Potenzial	E	Volt	V	$1 V = 1 \frac{W}{A} = 1 \frac{J}{C} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A}$
Energie	E	Joule Elektronenvolt Kilokalorie Kilowattstunde	J eV kcal kWh	$1 J = 1 Nm = 1 Ws = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$ $1 eV = 1,602176634 \cdot 10^{-19} J$ $1 kcal = 4,184 kJ$ $1 kWh = 3600 kJ$
Energiedosis	D	Gray	Gy	$1 Gy = 1 \frac{J}{kg}$
Enthalpie	H	Joule	J	$1 J = 1 Nm = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
freie Enthalpie	G	Joule	J	$1 J = 1 Nm = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
Entropie	S		$\frac{J}{K}$	
Flächeninhalt	A		m^2	
Flächenladungsdichte	σ		$\frac{As}{m^2}$	
Frequenz	f	Hertz	Hz	$1 Hz = 1 \frac{1}{s}$
Geschwindigkeit	v		$\frac{m}{s}$	
Helligkeit	m, M	Magnitude	mag	
Impuls	p		$\frac{kg \cdot m}{s}$	

Induktivität	L	Henry	H	$1H = 1 \frac{V \cdot s}{A} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2 \cdot A^2}$
Intensität	I		$\frac{W}{m^2}$	
innere Energie	U	Joule	J	$1J = 1Nm = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
Kraft	F	Newton	N	$1N = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2}$
Kreisfrequenz	ω		$\frac{1}{s}$	
Länge	ℓ	Meter	m	
Leistung	P	Watt	W	$1W = 1 \frac{J}{s} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$
magnetische Feldstärke	H		$\frac{A}{m}$	
magnetischer Fluss	Φ	Weber	Wb	$1Wb = 1V \cdot s$
magnetische Flussdichte	B	Tesla	T	$1T = 1 \frac{N}{A \cdot m} = 1 \frac{V \cdot s}{m^2} = 1 \frac{kg}{s^2 \cdot A}$
Masse	m	Kilogramm atomare Masseneinheit	kg u	$1u = 1,66053906660 \cdot 10^{-27} kg$
Schalldruckpegel	L_p	Dezibel	dB	
Schallintensitätspegel	L_I	Dezibel	dB	
spezifische Wärmekapazität	c		$\frac{J}{kg \cdot K}$	
Stoffmenge	n	Mol	mol	
Temperatur	T ϑ	Kelvin Grad Celsius	K $^{\circ}C$	$0^{\circ}C \triangleq 273,15 K$
Trägheitsmoment	J		$kg \cdot m^2$	
Viskosität	η		$\frac{kg}{m \cdot s}$	
Volumen	V	Kubikmeter Liter	$\frac{m^3}{\ell, L}$	$1m^3 = 1000 L$
Wärme	Q	Joule	J	$1J = 1Nm = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$

Wellenlänge	λ	Meter	m	
Winkelgeschwindigkeit	ω		$\frac{1}{\text{s}}$	
Zeit	t	Sekunde	s	

9.2 Astronomische Entfernungsangaben

- ◆ $1\text{Lj} = 9,4607 \cdot 10^{15} \text{ m}$
- ◆ $1\text{AE} = 1,4960 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- ◆ $1\text{pc} = 3,0857 \cdot 10^{16} \text{ m}$

9.3 Vorsätze bei Einheiten

Vorsatz	Zeichen	Faktor, mit dem die Einheit multipliziert wird	Vorsatz	Zeichen	Faktor, mit dem die Einheit multipliziert wird
Exa	E	10^{18}	Dezi	d	10^{-1}
Peta	P	10^{15}	Zenti	c	10^{-2}
Tera	T	10^{12}	Milli	m	10^{-3}
Giga	G	10^9	Mikro	μ	10^{-6}
Mega	M	10^6	Nano	n	10^{-9}
Kilo	k	10^3	Piko	p	10^{-12}
Hekto	h	10^2	Femto	f	10^{-15}
Deka	da	10^1	Atto	a	10^{-18}

9.4 Tabellierte Werte

Naturkonstanten und Näherungswerte wichtiger Größen

- ◆ Avogadro-Konstante: $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$ (definiert)
- ◆ Elementarladung: $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (definiert)
- ◆ elektrische Feldkonstante: $\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c^2} = 8,8541878128 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}}$
- ◆ Faraday-Konstante: $F = 96485,33212 \dots \frac{\text{C}}{\text{mol}}$ (definiert)
- ◆ Gravitationskonstante: $G = 6,67430 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$

- ◆ Hubble-Parameter: $H_0 = 68 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$
- ◆ ideale Gaskonstante: $R = 8,314462618\dots \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ (definiert)
- ◆ magnetische Feldkonstante: $\mu_0 = 1,256637 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$
- ◆ Normgröße der Normalfallbeschleunigung, Ortsfaktor:

$$g = 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$
 (definiert)
- ◆ Planck'sches Wirkungsquantum: $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (definiert)
- ◆ Rydberg-Konstante: $R_H = 1,096776 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}$ (Wasserstoffatom)
- ◆ Stefan-Boltzmann-Konstante: $\sigma = 5,670374419\dots \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$ (definiert)
- ◆ Vakuumlichtgeschwindigkeit $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (definiert)
- ◆ Wien'sche Verschiebungskonstante: $b = 2,897771955\dots \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ (definiert)

Elektron, Proton, Neutron, α -Teilchen

- ◆ Elektron
 - ◆ Masse: $m_e = 9,1093837015 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 - ◆ Ladung: $q_e = -1 \text{ e}$
- ◆ Proton
 - ◆ Masse: $m_p = 1,67262192369 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 - ◆ Ladung: $q_p = 1 \text{ e}$
- ◆ Neutron
 - ◆ Masse: $m_n = 1,67492749804 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 - ◆ Ladung: $q_n = 0 \text{ C}$
- ◆ α -Teilchen
 - ◆ Masse: $m_\alpha = 6,6446573357 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 - ◆ Ladung: $q_\alpha = 2 \text{ e}$

Teilchen des Standardmodells

◆ Tabelle der Quarks

Teilchen	Symbol	Ladung in e	Masse in $\frac{eV}{c^2}$
Up	u	+ 2/3	$2,16 \cdot 10^6$
Down	d	- 1/3	$4,67 \cdot 10^6$
Charm	c	+ 2/3	$1,27 \cdot 10^9$
Strange	s	- 1/3	$93,4 \cdot 10^6$
Top	t	+ 2/3	$1,73 \cdot 10^{11}$
Bottom	b	- 1/3	$4,18 \cdot 10^9$

◆ Tabelle der Leptonen

Teilchen	Symbol	Ladung in e	Masse in $\frac{eV}{c^2}$
Elektron	e^-	-1	$511,00 \cdot 10^3$
Elektron-Neutrino	ν_e	0	$< 1,1$
Myon	μ^-	-1	$105,66 \cdot 10^6$
Myon-Neutrino	ν_μ	0	$< 0,19 \cdot 10^6$
Tauon	τ^-	-1	$1,7769 \cdot 10^9$
Tauon-Neutrino	ν_τ	0	$< 18,2 \cdot 10^6$

Festgelegte Bedingungen

◆ molares Volumen idealer Gase bei $p=101,325 \text{ kPa}$

$$\diamond V_m = 22,414 \frac{\text{L}}{\text{mol}} \text{ bei } T = 273,15 \text{ K}$$

$$\diamond V_m = 24,466 \frac{\text{L}}{\text{mol}} \text{ bei } T = 298,15 \text{ K}$$

◆ Wasser

$$\diamond \text{Ionenprodukt: } K_W = 1,0 \cdot 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} \text{ bei } T = 298,15 \text{ K}$$

$$\diamond \text{spezifische Wärmekapazität: } c_W = 4,183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \text{ bei } T = 298,15 \text{ K und } p = 101,325 \text{ kPa}$$

Dichte

◆ Dichte fester Stoffe bei 25 °C

Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Aluminium	2,70	Holz (lufttrocken) Eiche Kiefer Ebenholz	0,6 ... 0,9 0,3 ... 0,7 1,1 ... 1,3
Beton	2,3	Kork	0,2 ... 0,35
Blei	11,34	Kupfer	8,96
Diamant	3,51	Magnesium	1,74
Eis (bei 0 °C)	0,917	Marmor	2,6 ... 2,8
Eisen	7,86	Papier	0,7 ... 1,2
Glas (Fensterglas)	2,4 ... 2,6	Porzellan	2,2 ... 2,4
Glas (Quarzglas)	2,20	Sandstein	2,1 ... 2,4
Gold	19,3	Silber	10,50
Granit	2,6 ... 2,8	Stahl	7,8
Graphit	2,26	Zink	7,14
Hartgummi	1,2 ... 1,8	Zinn	7,30

◆ Dichte von Flüssigkeiten bei 25 °C

Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Aceton (Propanon)	0,79	Petroleum	0,81
Benzin	0,68 ... 0,72	Quecksilber	13,53
Dieselkraftstoff	0,84 ... 0,88	Schwefelsäure (50 %)	1,397
Erdöl	0,73 ... 0,94	schweres Wasser	1,10
Ethanol	0,79	Spiritus	0,83
Glycerin	1,26	Wasser destilliert Meerwasser	1,00 1,02

◆ Dichte von Gasen bei 0 °C und 101,3 kPa

Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Ammoniak	0,00077	Ozon	0,00215
Chlor	0,00322	Propan	0,00201
Erdgas (trocken)	0,0007	Sauerstoff	0,00143
Helium	0,00018	Stickstoff	0,00125

Kohlenstoffdioxid	0,00198	Wasserstoff	0,00009
Luft (trocken)	0,00129	Xenon	0,00585
Methan	0,00072		

Dielektrizitätszahl

bei 20 °C

Stoff	ϵ_r	Stoff	ϵ_r
Bernstein	2,8	Paraffin	2,3
Glas	5 ... 16	Polystyrol	2,6
Bariumtitanat (BaTiO ₃)	100 ... 1000	Porzellan	4,5 ... 6,5
Calciumtitanat (CaTiO ₃)	150 ... 180	Transformatorenöl	2,5
Luft	1,00006	Vakuum	1
Hartpapier	3,5 ... 5	Wasser	81

Permeabilitätszahl (relative Permeabilität)

bei 20 °C

diamagnetische Stoffe		paramagnetische Stoffe		ferromagnetische Stoffe	
Stoff	μ_r	Stoff	μ_r	Stoff	μ_r
Antimon	0,999884	Aluminium	1,00002	Cobalt	80 ... 200
Gold	0,999971	Chrom	1,00028	Dynamoblech	200 ... 3000
Quecksilber	0,999966	Eisen(III)-chlorid	1,003756	Eisen	250 ... 680
Wasser	0,999991	Luft	1,00000037	Nickel	280 ... 2500
Zink	0,999986	Platin	1,0002	Sonderlegierungen	bis 900000

Spezifischer elektrischer Widerstand

bei 20 °C

♦ Metalle

Metall	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Metall	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Aluminium	0,028	Kupfer	0,0172
Blei	0,21	Quecksilber	0,96
Eisen	0,10	Silber	0,016

Gold	0,022	Wolfram	0,055
Konstantan	0,50	Zinn	0,11

◆ Kohle und Widerstandslegierungen

Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Bogenlampenkohle	60...80	Manganin	0,43
Bürstenkohle	40...100	Nickelin	0,43
Chromnickel	1,1	Stahlguss	0,18
Leitungskupfer	0,0178		

◆ Halbleiter und Isolatoren

Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Bernstein	bis 10^8	Porzellan	bis 10^{18}
Holz, trocken	$10^{11} \dots 10^{15}$	Quarzglas	$10^{13} \dots 10^{15}$
Kupferoxid	$10^3 \dots 10^8$	Silicium	$10^{-1} \dots 10^5$
Polyvinylchlorid PVC	$10^{14} \dots 10^{15}$	Transformatorenöl	$10^{12} \dots 10^{15}$
Polyethen PE	10^{12}	Wasser (destilliert)	10^{10}

Brechzahlen

Die Brechzahlen beziehen sich auf den Übergang der gelben Natriumlinien ($\lambda = 589,3 \text{ nm}$) aus dem Vakuum in den angegebenen Stoff.

Stoff	Brechzahl n	Stoff	Brechzahl n
Diamant	2,417	Augenlinse	1,40...1,41
Eis	1,31	Glycerin	1,474
Flintglas, leicht	1,608	Hornhaut	1,376
Flintglas, schwer	1,754	Kammerwasser	1,336
Kronglas, leicht	1,515	Luft	1,0003
Kronglas, schwer	1,615	Wasser	1,333
Quarzglas	1,459		

Hall-Konstante

Stoff	R_H in $\frac{m^3}{C}$	Stoff	R_H in $\frac{m^3}{C}$
Aluminium	$-3,5 \cdot 10^{-11}$	Indiumantimonid	$+7 \cdot 10^{-4}$
Bismut	$+5 \cdot 10^{-7}$	Kupfer	$-5,2 \cdot 10^{-11}$
Cadmium	$+5,9 \cdot 10^{-11}$	Palladium	$-8,6 \cdot 10^{-11}$
Germanium n-dotiert	$+5,6 \cdot 10^{-3}$	Platin	$-2,0 \cdot 10^{-11}$
Germanium p-dotiert	$+6,6 \cdot 10^{-3}$	Silber	$-8,9 \cdot 10^{-11}$
Gold	$-7,2 \cdot 10^{-11}$	Zink	$+6,4 \cdot 10^{-11}$

Auslösearbeit

Metall	W_A in eV	Metall	W_A in eV
Aluminium	4,20	Eisen	4,67
Barium	2,52	Magnesium	3,66
Cadmium	4,08	Platin	5,64
Cäsium	1,95	Wolfram	4,55
Calcium	2,87	Zink	3,95
Gold	5,47	Zinn	4,42

Längenausdehnungs- und Volumenausdehnungskoeffizienten

◆ Längenausdehnungskoeffizienten

Stoff	α in $\frac{10^{-6}}{K}$	Stoff	α in $\frac{10^{-6}}{K}$
Aluminium	23,1	Polyethen PE	200
Beton	12	Polyvinylchlorid PVC	80
weißes Floatglas	8,7	Stahl	11,7
Kupfer	16,5		

◆ Volumenausdehnungskoeffizienten

Stoff	γ in $\frac{10^{-3}}{K}$ bei 20 °C	Stoff	γ in $\frac{10^{-3}}{K}$ bei 20 °C
Benzin	1,00	Wasser	0,18
Ethanol	1,10		

Spezifische Wärmekapazitäten

♦ feste Stoffe

Stoff	spezifische Wärmekapazität c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Stoff	spezifische Wärmekapazität c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Aluminium	0,90	Mauerwerk	$\approx 0,86$
Beton	0,92	Platin	0,13
Diamant	0,50	Porzellan	$\approx 0,84$
Fensterglas	0,17	Quarzglas	0,73
Gold	0,13	Silber	0,24
Graphit	0,71	Stahl	$\approx 0,47$
Holz (Eiche)	2,39	Wolfram	0,13
Kupfer	0,38	Zink	0,39
Magnesium	1,02	Zinn	0,23

♦ Flüssigkeiten

Stoff	spezifische Wärmekapazität c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Stoff	spezifische Wärmekapazität c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Benzol	1,70	Petroleum	2,00
Ethanol	2,42	Quecksilber	0,14
Glycerin	2,39	Wasser	4,183

♦ Gase

Stoff	spezifische Wärmekapazität c_V bei konstantem Volumen in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	spezifische Wärmekapazität c_P bei konstantem Druck in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Ammoniak	1,56	2,05
Helium	3,22	5,24
Kohlenstoffdioxid	0,65	0,85
Luft	0,72	1,01
Propan	1,36	1,55
Sauerstoff	0,65	0,92
Stickstoff	0,75	1,04
Wasserdampf	1,40	1,86
Wasserstoff	10,13	14,28

Schmelztemperatur und spezifische Schmelzwärme

Stoff	Schmelztemperatur ϑ_s (bei 101,325 kPa) in °C	spezifische Schmelzwärme q_s in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Aluminium	660,3	397
Blei	327,5	26
Eis	0	334
Ethanol	-114,1	108
Gold	1064,2	65
Helium	-270 (bei 2,6 MPa)	
Kupfer	1084,6	205
Magnesium	650	382
Methanol	-97,53	69
Platin	1768,4	113
Quecksilber	-38,83	11,3
Sauerstoff	-218,79	
Silber	961,78	104
Silicium	1414	142
Stahl	723 - 1536	
Stickstoff	-210,0	
Wasser	0	334
Wasserstoff	-259,34	59
Wolfram	3422	192
Zink	419,53	111
Zinn	231,93	59

Siedetemperatur und spezifische Verdampfungswärme

Stoff	Siedetemperatur ϑ_v (bei 101,325 kPa) in °C	spezifische Verdampfungswärme q_v in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Ammoniak	-33,33	1370
Aceton	56,05	520
Ethanol	78,29	842
Glycerin	290	853
Helium	-268,93	25

Kohlenstoffdioxid	-79 (Subl.)	574
Methanol	64,6	1102
Sauerstoff	-182,95	213
Stickstoff	-195,79	198
Wasser	100	2260
Wasserstoff	-252,87	455

Schallgeschwindigkeiten

Feste Stoffe	v in $\frac{m}{s}$	Flüssigkeiten und Gase	v in $\frac{m}{s}$
Aluminium	5100	Helium	1020
Beton	3800	Kohlenstoffdioxid	260
Blei	1300	Luft bei 0 °C	332
Holz (Eiche)	4100	Luft bei 10 °C	338
Eis bei -4 °C	3230	Luft bei 20 °C	343
Glas	4000 ... 5000	Stickstoff	348
Granit	3950	Wasser bei 4 °C	1400
Kork	500	Wasser bei 20 °C	1483
Kupfer	3900	Wasserstoff	1280
Marmor	3800		
Messing	3400		
PVC, weich	80		
PVC, hart	1700		
Stahl	5100		
Ziegel	3600		

Daten zum Sonnensystem

◆ Daten der Sonne

Masse	$1,9894 \cdot 10^{30}$ kg
Mittlerer Radius	$6,9570 \cdot 10^5$ km
Mittlere Dichte	$1,4 \frac{g}{cm^3}$
Rotationsdauer am Äquator	25 d
Oberflächentemperatur	$5,8 \cdot 10^3$ K
Leuchtkraft	$3,846 \cdot 10^{26}$ W

Solarkonstante	$1,361 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$
Absolute Helligkeit	4,83
Scheinbare Helligkeit	-26,74
Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) an der Oberfläche	$274 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

◆ Daten der Erde

Große Halbachse	$1,4960 \cdot 10^8 \text{ km} = 1 \text{ AE}$
Umlaufzeit	$365,2563 \text{ d} = 31558149,54 \text{ s}$
Numerische Exzentrizität der Bahn	0,017
Masse	$5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Mittlerer Radius	$6,371 \cdot 10^3 \text{ km}$
Mittlere Dichte	$5,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) an der Oberfläche (Mitteleuropa)	$9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Neigung der Rotationsachse gegen das Lot der Bahn-ebene	$23,44^\circ$
Siderische Rotationsdauer	23,9345 h

◆ Daten des Erdmondes

Große Halbachse	$3,844 \cdot 10^5 \text{ km}$
Siderische Umlaufzeit	27,32 d
Synodische Umlaufzeit	29,53 d
Numerische Exzentrizität der Bahn	0,055
Masse	$7,349 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Mittlerer Radius	1737 km
Mittlere Dichte	$3,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) an der Oberfläche	$1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Neigung der Rotationsachse gegen das Lot der Bahn-ebene	$6,68^\circ$
Neigung der Bahnebene zur Ekliptik	$5,1^\circ$
Siderische Rotationsdauer	27,32 d

◆ Daten der Planeten

	Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
Große Halbachse in AE	0,387	0,723	1	1,52	5,20	9,58	19,2	30,1
Siderische Umlaufzeit in a	0,2408	0,6152	1	1,881	11,86	29,46	84,01	164,8
Numerische Exzentrizität der Bahn	0,21	0,0067	0,017	0,094	0,049	0,057	0,046	0,011
Masse in Erdmassen	0,0553	0,815	1	0,107	318	95,2	14,5	17,1
Mittlerer Radius in 10^3 km	2,44	6,05	6,371	3,39	69,9	58,2	25,4	24,6
Mittlere Dichte in $\frac{g}{cm^3}$	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,69	1,3	1,6
Fallbeschleunigung an der Oberfläche in $\frac{m}{s^2}$	3,7	8,9	9,8	3,7	24,8	10,4	8,9	11,2
Neigung der Rotationsachse gegen das Lot der Bahn-ebene	0,010°	177,4°	23,44°	25,2°	3,1°	26,7°	97,8°	28,3°
Neigung der Bahn-ebene zur Ekliptik	7,0°	3,4°	0	1,9°	1,3°	2,5°	0,77°	1,8°
Siderische Rotationsdauer (ggf. am Äquator) in h	1407,6	5832,5	23,934	24,62	9,93	10,66	17,24	16,11

Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T

Organ	w_T
Rotes Knochenmark, Dickdarm, Lunge, Magen, Brust, übrige Organe und Gewebe	je 0,12
Keimdrüsen	0,08
Blase, Speiseröhre, Leber, Schilddrüse	je 0,04
Haut, Knochenoberfläche, Gehirn, Speicheldrüse	je 0,01

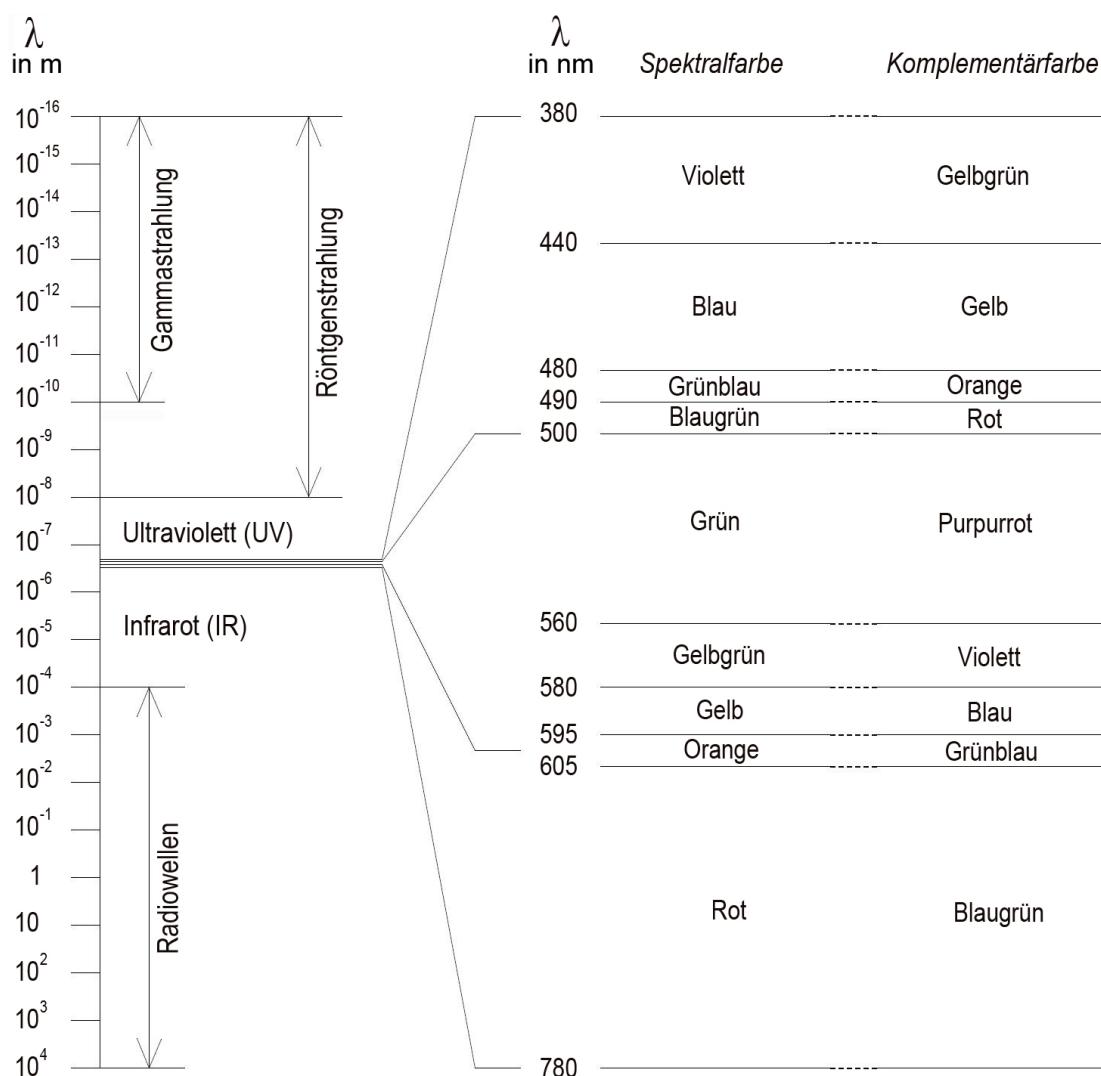
Typische Werte für Qualitätsfaktoren q

Strahlungsart	q
α	20
n	5 – 20
β, γ	1

Wellenlängen ausgewählter Spektrallinien

Element	λ in nm	relative Intensität
Helium	447,15 492,19 587,56 667,82 706,52	
Natrium	589,00 589,59	
Quecksilber	404,66 435,83 546,07 576,96 579,07	
Wasserstoff (Balmer-Serie)	410,17 (H_δ) 434,05 (H_γ) 486,13 (H_β) 656,27 (H_α)	

Spektrum der elektromagnetischen Strahlung



Kernmassen ausgewählter Nuklide

Kernmassen ausgewählter Nuklide		
Z	Nuklid	m_k in u
1	H	1
		1,007276
		2,013553
2	He	3
		3,014932
		4,001506
3	Li	6
		6,013477

4	Be	7	7,014358
		9	9,009989
		10	10,011340
5	B	10	10,010194
		11	11,006562
6	C	12	11,996708
		13	13,000063
		14	13,999950

7	N	14	13,999234
		15	14,996269
		16	16,002262
8	O	15	14,998677
		16	15,990526
		17	16,994743
		18	17,994771

Atommassen ausgewählter Nuklide

Atommassen ausgewählter Nuklide		
Z	Nuklid	m_a in u
1	H	1
		1,007825
		2,014102
2	He	3
		3,016049
		3,016029
3	He	4
		4,002603
3	Li	6
		6,015123

4	Be	7	7,016005
		9	9,012182
		10	10,013534
5	B	10	10,012937
		11	11,009305
6	C	12	12,000000
		13	13,003355
		14	14,003242
7	N	14	14,003074

7	N	15	15,000109
		16	16,006102
8	O	15	15,003066
		16	15,994915
		17	16,999132
		18	17,999161
9	F	19	18,998403
10	Ne	20	19,992440
		21	20,993847

		22	21,991385
11	Na	22	21,994438
		23	22,989769
		24	23,990963
		25	24,989954
12	Mg	24	23,985042
		25	24,985837
		26	25,982593
13	Al	27	26,981539
14	Si	28	27,976927
		29	28,976495
		30	29,973770
15	P	30	29,978315
		31	30,973762
		32	31,973908
16	S	32	31,972071
		33	32,971459
		34	33,967867
		35	34,969032
		36	35,967081
17	Cl	35	34,968853
		37	36,965903
		38	37,968010
18	Ar	36	35,967545
		38	37,962732
		39	38,964314
		40	39,962383
		41	40,964501
		42	41,963046
19	K	39	38,963707
		40	39,963998
		41	40,961825
		42	41,962402
20	Ca	40	39,962591
		42	41,958618
		43	42,958766
		44	43,955481
		45	44,956186
		46	45,953688
21	Sc	45	44,955907
22	Ti	46	45,952626
		47	46,951757
		48	47,947941
		49	48,947870
		50	49,944786
23	V	51	50,943958
24	Cr	51	50,944765
		52	51,940505
		53	52,940646
		54	53,938877
25	Mn	55	54,938043
26	Fe	54	53,939608
		55	54,938291
		56	55,934936
		57	56,935392
		58	57,933274
		59	58,934873
		60	59,934070
27	Co	55	54,941996
		56	55,939838
		57	56,936290
		58	57,935751

		59	58,933194
		60	59,933816
28	Ni	58	57,935342
		60	59,930785
		61	60,931055
		62	61,928345
		64	63,927966
29	Cu	63	62,929597
		65	64,927789
		66	65,928869
30	Zn	64	63,929142
		65	64,929241
		66	65,926034
		67	66,927127
		68	67,924844
31	Ga	69	68,925574
		71	70,924703
32	Ge	70	69,924249
		72	71,922076
		73	72,923459
		74	73,921178
		76	75,921403
33	As	75	74,921595
34	Se	74	73,922476
		76	75,919214
		77	76,919914
		78	77,917309
		80	79,916522
35	Br	79	78,918338
		81	80,916288
		82	81,916802
36	Kr	78	77,920366
		80	79,916378
		82	81,913481
		83	82,914127
		84	83,911498
		85	84,912527
		86	85,910611
		89	88,917835
		92	91,926173
37	Rb	85	84,911790
		94	93,926395
38	Sr	84	83,913419
		86	85,909261
		87	86,908877
		88	87,905612
		90	89,907728
		92	91,911038
		94	93,915356
		96	95,921719
		98	97,928693
39	Y	89	88,905838
		90	89,907142
		95	94,912820
		96	95,915909
40	Zr	90	89,904699
		91	90,905640
		92	91,905035
		94	93,906313
		95	94,908040
41	Nb	93	92,906373
		95	94,906831

42	Mo	92	91,906807
		94	93,905084
		95	94,905837
		96	95,904675
		97	96,906017
		98	97,905404
		100	99,907468
43	Tc	97	96,906361
		99	98,906250
44	Ru	96	95,907589
		98	97,905287
		99	98,905930
		100	99,904210
		101	100,905573
		102	101,904340
		104	103,905425
45	Rh	103	102,905494
46	Pd	102	101,905632
		104	103,904030
		105	104,905079
		106	105,903480
		108	107,903892
		110	109,905173
47	Ag	107	106,905092
		109	108,904756
48	Cd	106	105,906460
		110	109,903007
		111	110,904184
		114	113,903365
		116	115,904763
49	In	113	112,904060
50	Sn	114	113,902780
		115	114,903345
		116	115,901743
		118	117,901607
		120	119,902203
		122	121,903445
		124	123,905280
51	Sb	121	120,903811
		123	122,904215
52	Te	120	119,904066
		122	121,903045
		124	123,902818
		125	124,904431
		126	125,903312
		130	129,906223
53	I	123	122,905590
		127	126,904473
		131	130,906126
54	Xe	124	123,905885
		126	125,904297
		128	127,903531
		129	128,904781
		130	129,903509
		131	130,905084
		132	131,904155
		134	133,905393
		138	137,914146
55	Cs	133	132,905452
		134	133,906719
		135	134,905977
		136	135,907311

		137	136,907089
		138	137,911017
		140	139,917284
56	Ba	130	129,906326
		132	131,905061
		134	133,904508
		135	134,905688
		136	135,904576
		137	136,905827
		138	137,905247
		144	143,922955
57	La	139	138,906363
58	Ce	136	135,907129
		138	137,905994
		140	139,905448
59	Pr	141	140,907660
60	Nd	142	141,907729
		143	142,909820
		145	144,912579
		146	145,913122
		148	147,916899
61	Pm	145	144,912755
62	Sm	144	143,911999
		150	149,917282
		152	151,919739
		154	153,922216
63	Eu	151	150,919857
		153	152,921237
64	Gd	154	153,920873
		155	154,922629
		156	155,922130
		157	156,923967
		158	157,924111
		160	159,927061
65	Tb	159	158,925354
66	Dy	156	155,924284
		158	157,924415
		160	159,925204
		161	160,926939
		162	161,926805
		163	162,928737
		164	163,929181
67	Ho	165	164,930329
68	Er	162	161,928787
		164	163,929208
		166	165,930301
		167	166,932056
		168	167,932378
		170	169,935472
69	Tm	169	168,934219
70	Yb	168	167,933891
		170	169,934767
		171	170,936332
		172	171,936387
		173	172,938216
		174	173,938868
		176	175,942575
71	Lu	175	174,940777
72	Hf	176	175,941410
		177	176,943230
		178	177,943708
		179	178,945826

		180	179,946560
73	Ta	181	180,947999
74	W	180	179,946713
		182	181,948206
		183	182,950224
		185	184,953421
		186	185,954365
75	Re	185	184,952958
		187	186,955752
76	Os	187	186,955750
		188	187,955837
		189	188,958146
		190	189,958445
		192	191,961479
77	Ir	191	190,960592
		193	192,962924
78	Pt	192	191,961043
		194	193,962683
		195	194,964794
		196	195,964955
		198	197,967897
79	Au	197	196,966570
		198	197,968244
80	Hg	196	195,965833
		198	197,966769
		199	198,968281
		200	199,968327
		201	200,970303
		202	201,970644
		204	203,973494
81	Tl	203	202,972344
		204	203,973863
		205	204,974427
		207	206,977419
		208	207,982018
82	Pb	204	203,973044
		205	204,974482
		206	205,974465
		207	206,975897
		208	207,976652
		209	208,981090
		210	209,984188
		211	210,988735
		212	211,991896
		214	213,999804
83	Bi	209	208,980399
		210	209,984120
		211	210,987269
		212	211,991285
		213	212,994384
		214	213,998711
84	Po	210	209,982874
		211	210,986653
		212	211,988868
		213	212,992857
		214	213,995201
		215	214,999418
		216	216,001913
		218	218,008971
85	At	217	217,004718
86	Rn	219	219,009479
		220	220,011392

		222	222,017576
87	Fr	221	221,014254
88	Ra	223	223,018501
		224	224,020210
		225	225,023611
		226	226,025408
		228	228,031069
89	Ac	225	225,023229
		227	227,027751
		228	228,031020
90	Th	227	227,027703
		228	228,028740
		229	229,031761
		230	230,033132
		231	231,036303
		232	232,038054
		233	233,041580
		234	234,043600
91	Pa	231	231,035883
		233	233,040247
		234	234,043306
92	U	233	233,039634
		234	234,040950
		235	235,043928
		236	236,045566
		237	237,048728
		238	238,050787
		239	239,054292
		240	240,056592
93	Np	237	237,048172
94	Pu	238	238,049558
		239	239,052162
		240	240,053812
		241	241,056850
		242	242,058741
		244	244,064204
95	Am	241	241,056827
		242	242,059547

Auszug aus der Nuklidkarte

95														
94														
93														
92														
91					Pa216 105 ms α : 7,948 γ : 0,134	Pa217 3,8 ms α : 8,337 γ : 0,466	Pa218 113 μ s α : 9,616 γ : 0,92	Pa219 53 ns α : 9,90 γ : 0,92	Pa220 0,78 μ s α : 9,65 γ : 0,92	Pa221 5,9 μ s α : 9,08 γ : 0,92	Pa222 4,3 ms α : 8,21 γ : 0,92	Pa223 6,5 ms α : 8,01 γ : 0,92	Pa224 0,95 s α : 7,555 γ : 0,92	
90				Th213 0,14 s α : 7,69	Th214 0,10 s α : 7,68 γ : 0,134	Th215 1,2 s α : 7,392 γ : 0,629	Th216 26,0 ms α : 7,923 γ : 0,822	Th217 252 μ s α : 9,261 γ : 0,822	Th218 0,1 μ s α : 9,67 γ : 0,822	Th219 0,05 μ s α : 9,34 γ : 0,822	Th220 9,7 μ s α : 8,79 γ : 0,822	Th221 1,68 ms α : 8,15 γ : 0,822	Th222 2,24 ms α : 7,980 γ : 0,390	Th223 0,66 s α : 7,324 γ : 0,140
89	Ac209 90 ms α : 7,59	Ac210 0,35 s α : 7,46	Ac211 0,25 s α : 7,481	Ac212 0,93 s α : 7,38	Ac213 0,80 s α : 7,36	Ac214 8,2 s α : 7,215 γ : 0,139	Ac215 0,17 s α : 7,600 γ : 0,083	Ac216 0,44 ms α : 9,029 γ : 0,134	Ac217 69 ns α : 9,65 γ : 0,134	Ac218 1,1 μ s α : 9,205 γ : 0,134	Ac219 11,8 μ s α : 8,664 γ : 0,134	Ac220 26 ms α : 7,85 γ : 0,134	Ac221 52 ms α : 7,65 γ : 0,134	Ac222 5,0 s α : 7,009 γ : 0,140
88	Ra208 1,3 s α : 7,133	Ra209 4,6 s α : 7,143	Ra210 3,7 s α : 7,151	Ra211 13 s α : 6,907	Ra212 13,0 s α : 6,899	Ra213 2,74 min α : 6,624 γ : 0,110	Ra214 2,46 s α : 7,137 γ : 0,110	Ra215 1,67 ms α : 8,700 γ : 0,110	Ra216 0,18 μ s α : 9,349 γ : 0,110	Ra217 1,6 μ s α : 8,89 γ : 0,110	Ra218 25,6 μ s α : 8,39 γ : 0,110	Ra219 10 ms α : 7,679 γ : 0,316	Ra220 23 ms α : 7,46 γ : 0,465	Ra221 28 s α : 6,613 γ : 0,149
87	Fr207 14,8 s α : 6,767	Fr208 58,6 s α : 6,636	Fr209 50,0 s α : 6,648	Fr210 3,18 min α : 6,543	Fr211 3,10 min α : 6,535	Fr212 20,0 min α : 6,262	Fr213 34,6 s α : 6,775	Fr214 5,0 ms α : 8,426 γ : 0,644	Fr215 0,09 μ s α : 9,36 γ : 0,540	Fr216 0,70 μ s α : 9,01 γ : 1,274	Fr217 16 μ s α : 8,315 γ : 0,540	Fr218 1,0 ms α : 7,867 γ : 0,540	Fr219 21 ms α : 7,312 γ : 0,455	Fr220 27,4 s α : 6,68 γ : 0,271
86	Rn206 5,67 min α : 6,260	Rn207 9,3 min α : 6,133	Rn208 24,4 min α : 6,138	Rn209 28,5 min α : 6,039	Rn210 2,4 h α : 6,040	Rn211 14,6 h α : 5,783	Rn212 24 min α : 6,264	Rn213 19,5 ms α : 8,088	Rn214 0,27 μ s α : 9,037 γ : 0,540	Rn215 2,3 μ s α : 8,67 γ : 0,540	Rn216 45 μ s α : 8,05 γ : 0,540	Rn217 0,54 ms α : 7,740 γ : 0,540	Rn218 35 ms α : 7,133 γ : 0,540	Rn219 3,96 s α : 6,819 γ : 0,271
85	At205 26,2 min α : 5,902	At206 29,4 min α : 5,703	At207 1,8 h α : 5,759	At208 1,63 h α : 5,640	At209 5,4 h α : 5,647	At210 8,3 h α : 5,524	At211 7,22 h α : 5,867	At212 314 ms α : 7,68 γ : 0,884	At213 0,1 μ s α : 9,08 γ : 0,545	At214 0,56 μ s α : 8,819 γ : 0,063	At215 0,1 ms α : 8,026 γ : 0,063	At216 0,3 ms α : 7,804 γ : 0,063	At217 32,3 ms α : 7,069 γ : 0,063	At218 2 s α : 6,694 γ : 0,063
84	Po204 3,53 h α : 5,377	Po205 1,66 h α : 5,22	Po206 8,8 d α : 5,223	Po207 5,84 h α : 5,116	Po208 2,989 a α : 5,1152	Po209 102 a α : 4,881	Po210 102 a α : 5,30438	Po211 138,38 d α : 7,450 γ : 0,992	Po212 0,3 μ s α : 8,785 γ : 0,063	Po213 4,2 μ s α : 8,376 γ : 0,063	Po214 4,2 μ s α : 7,6869 γ : 0,376	Po215 1,78 ms α : 7,3862 γ : 0,376	Po216 0,15 s α : 6,7783 γ : 0,376	Po217 1,53 s α : 6,543 γ : 0,376
83	Bi203 11,76 h β : 1,4 γ : 0,820	Bi204 11,22 h β : 1,4 γ : 0,899	Bi205 15,31 d β : 1,764 γ : 0,803	Bi206 6,24 d β : 1,570 γ : 0,570	Bi207 31,55 a β : 1,9E19 a γ : 2,615	Bi208 3,68E5 a β : 1,9E19 a γ : 2,615	Bi209 1,9E19 a β : 1,2 γ : 0,351	Bi210 5,013 d β : 1,4649 γ : 0,351	Bi211 2,17 min β : 1,2 γ : 0,351	Bi212 60,60 min β : 1,6229 γ : 0,351	Bi213 45,59 min β : 1,051 γ : 0,351	Bi214 19,9 min β : 5,450 γ : 0,351	Bi215 7,7 min β : 1,440 γ : 0,294	
82	Pb202 5,25E4 a β : 1,4E17 a α : 0,279	Pb203 51,9 h β : 1,4E17 a α : 0,279	Pb204 1,4E17 a α : 0,279	Pb205 1,5E7 a β : 1,4E17 a α : 0,279	Pb206 stabil β : 0,6	Pb207 stabil β : 0,6	Pb208 stabil β : 0,6	Pb209 3,253 h β : 0,6	Pb210 22,3 a β : 0,047 γ : 0,047	Pb211 36,1 min β : 1,4 γ : 0,405	Pb212 10,64 h β : 0,047 γ : 0,405	Pb213 10,2 min β : 0,3 γ : 0,239	Pb214 26,8 min β : 0,7 γ : 0,352	
81	Tl201 73,1 h γ : 0,167	Tl202 12,23 d γ : 0,440	Tl203 stabil β : 0,8	Tl204 3,78 a β : 1,4	Tl205 stabil β : 1,5	Tl206 4,20 min β : 1,4	Tl207 4,77 min β : 1,4	Tl208 3,053 min β : 1,8 γ : 2,615	Tl209 2,16 min β : 1,8 γ : 1,567	Tl210 1,3 min β : 1,9 γ : 0,800				
80	Hg200 stabil	Hg201 stabil	Hg202 stabil	Hg203 46,59 d β : 0,2 γ : 0,279	Hg204 stabil	Hg205 5,2 min β : 1,5 γ : 0,204	Hg206 8,15 min β : 1,5 γ : 0,305							
79	Au199 3,139 d β : 0,3 γ : 0,158	Au200 48,4 min β : 2,3 γ : 0,368	Au201 26,4 min β : 1,3 γ : 0,543	Au202 28 s β : 3,5 γ : 0,440	Au203 60 s β : 2,0 γ : 0,218	Au204 39,8 s β : 4,3 γ : 0,437								
78	Pt198 30,8 min β : 1,7 γ : 0,543	Pt199 12,5 h β : 0,6 γ : 0,076	Pt200 2,5 min β : 2,7 γ : 1,706											
77	Ir197 8,9 min β : 2,0 γ : 0,470	Ir198 8 s β : 4,0 γ : 0,507												
	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133

			Am232 1,31 min		Am234 2,32 min		Am236 3,6 min α : 6,15	Am237 73 min α : 6,04	Am238 1,63 h α : 5,94	Am239 11,9 h α : 5,774	Am240 50,8 h α : 5,378	Am241 432,2 a α : 5,486	Am242 16 h β : 0,7	Am243 7370 a α : 5,275 β : 0,075	95	
					Pu232 34,1 min α : 6,60	Pu233 20,9 min α : 6,31	Pu234 8,8 h α : 6,202	Pu235 25,3 min α : 5,85	Pu236 2,858 a α : 5,768	Pu237 45,2 d α : 5,334	Pu238 87,74 a α : 5,499	Pu239 2,414 a α : 5,157	Pu240 6563 a α : 5,168	Pu241 14,35 a α : 4,896 β : 0,02	Pu242 3,75E5 a α : 4,901	94
Np227 51 s α : 7,68	Np228 61,4 s	Np229 4,0 min	Np230 4,6 min α : 6,66	Np231 48,8 min α : 5,28	Np232 14,7 min γ : 0,371	Np233 36,2 min α : 5,54	Np234 4,4 d γ : 0,235	Np235 396,1 d α : 5,025	Np236 1,54E5 a β : 0,481	Np237 2,14E6 a α : 4,790	Np238 2,117 d β : 0,029	Np239 2,355 d β : 0,4 γ : 0,984	Np240 65 min β : 0,9 γ : 0,106	Np241 13,9 min β : 1,3 γ : 0,175	93	
U226 0,28 s α : 7,555	U227 1,1 min α : 6,86	U228 9,1 min α : 6,68	U229 58 min α : 6,362	U230 20,8 d α : 5,888	U231 4,2 d α : 5,456	U232 68,9 a α : 5,320	U233 1,59E5 a γ : 0,226	U234 1,559	U235 2,34E7 a α : 4,824 2,46E5 a α : 4,775	U236 2,34E7 a α : 4,494 7,04E8 a α : 4,398 γ : 0,186	U237 6,75 d β : 0,2	U238 4,47E9 a α : 4,198 β : 0,060	U239 23,5 min β : 1,2 γ : 0,075	U240 14,1 h β : 0,4 γ : 0,044	92	
Pa225 1,8 s α : 7,25	Pa226 1,8 min α : 6,86	Pa227 38,3 min γ : 0,065	Pa228 22 h γ : 0,911	Pa229 1,50 d α : 6,078	Pa230 17,4 d α : 5,580	Pa231 3,28E4 a α : 5,014	Pa232 1,31 d γ : 0,027	Pa233 27,0 d β : 0,3 γ : 0,969	Pa234 1,17 min β : 0,3 γ : 0,312	Pa235 24,2 min β : 2,3 γ : 0,14	Pa236 9,1 min β : 1,4 γ : 0,642	Pa237 8,7 min β : 1,4 γ : 0,854	Pa238 2,3 min β : 1,7 γ : 1,015	91		
Th224 1,04 s α : 7,17	Th225 8,72 min α : 6,482	Th226 31 min α : 6,336	Th227 18,72 d α : 6,038	Th228 1,913 a α : 5,423	Th229 7880 a α : 4,845	Th230 7,54E4 a α : 4,687	Th231 25,5 h γ : 0,194	Th232 1,41E10 a α : 4,013 β : 0,3 γ : 0,026	Th233 2,23 min β : 1,2 γ : 0,087	Th234 24,10 d β : 0,3 γ : 0,128	Th235 7,1 min β : 0,2 γ : 0,063	Th236 37,5 min β : 1,4 γ : 0,417	Th237 119 s β : 0,2 γ : 0,665	90		
Ac223 2,10 min α : 6,647	Ac224 2,9 h α : 6,142	Ac225 10,0 d α : 5,830	Ac226 29 h α : 5,830	Ac227 21,773 a α : 5,34	Ac228 6,13 h α : 4,953	Ac229 62,7 min α : 4,953	Ac230 122 s β : 1,1 γ : 0,911	Ac231 7,5 min β : 2,7 γ : 0,455	Ac232 1,947 γ : 0,282	Ac233 7,5 min β : 3,0 γ : 0,282	Ac234 3,708 γ : 0,665	Ac235 119 s β : 3,0 γ : 0,665	Ac236 3,708 γ : 0,665	89		
Ra222 38 s α : 5,559	Ra223 11,43 d α : 5,162	Ra224 3,66 d α : 5,6854	Ra225 14,8 d β : 0,3 γ : 0,040	Ra226 1600 a β : 1,3 γ : 0,040	Ra227 42,2 min β : 1,3 γ : 0,027	Ra228 5,75 a β : 0,04	Ra229 4,0 min β : 1,8 γ : 0,072	Ra230 93 min β : 0,8 γ : 0,072	Ra231 7,5 min β : 0,8 γ : 0,072	Ra232 93 min β : 0,2 γ : 0,063	Ra233 93 min β : 1,4 γ : 0,417	Ra234 93 min β : 1,0 γ : 0,111	Ra235 93 min β : 1,0 γ : 0,111	88		
Fr221 4,9 min α : 6,341	Fr222 14,2 min α : 6,216	Fr223 21,8 min α : 5,34	Fr224 3,3 min α : 5,05	Fr225 4,0 min β : 2,6 γ : 0,182	Fr226 48 s β : 3,2 γ : 0,254	Fr227 2,47 min β : 1,8 γ : 0,090	Fr228 39 s γ : 0,474	Fr229 50,2 s γ : 0,310	Fr230 50,2 s γ : 0,310	Fr231 50,2 s γ : 0,310	Fr232 50,2 s γ : 0,310	Fr233 50,2 s γ : 0,310	Fr234 50,2 s γ : 0,310	87		
Rn220 55,6 s α : 6,288	Rn221 25 min α : 6,037	Rn222 3,825 d α : 5,48948	Rn223 23,2 min γ : 0,593	Rn224 1,78 h γ : 0,261	Rn225 4,5 min γ : 0,593	Rn226 7,4 min γ : 0,261	Rn227 Rn228 Rn229 Rn230 Rn231 Rn232 Rn233 Rn234 Rn235 Rn236 Rn237 Rn238 Rn239 Rn240 Rn241 Rn242 Rn243 Rn244 Rn245 Rn246 Rn247 Rn248 Rn249 Rn250 Rn251 Rn252 Rn253 Rn254 Rn255 Rn256 Rn257 Rn258 Rn259 Rn260 Rn261 Rn262 Rn263 Rn264 Rn265 Rn266 Rn267 Rn268 Rn269 Rn270 Rn271 Rn272 Rn273 Rn274 Rn275 Rn276 Rn277 Rn278 Rn279 Rn280 Rn281 Rn282 Rn283 Rn284 Rn285 Rn286 Rn287 Rn288 Rn289 Rn290 Rn291 Rn292 Rn293 Rn294 Rn295 Rn296 Rn297 Rn298 Rn299 Rn300 Rn301 Rn302 Rn303 Rn304 Rn305 Rn306 Rn307 Rn308 Rn309 Rn310 Rn311 Rn312 Rn313 Rn314 Rn315 Rn316 Rn317 Rn318 Rn319 Rn320 Rn321 Rn322 Rn323 Rn324 Rn325 Rn326 Rn327 Rn328 Rn329 Rn330 Rn331 Rn332 Rn333 Rn334 Rn335 Rn336 Rn337 Rn338 Rn339 Rn340 Rn341 Rn342 Rn343 Rn344 Rn345 Rn346 Rn347 Rn348 Rn349 Rn350 Rn351 Rn352 Rn353 Rn354 Rn355 Rn356 Rn357 Rn358 Rn359 Rn360 Rn361 Rn362 Rn363 Rn364 Rn365 Rn366 Rn367 Rn368 Rn369 Rn370 Rn371 Rn372 Rn373 Rn374 Rn375 Rn376 Rn377 Rn378 Rn379 Rn380 Rn381 Rn382 Rn383 Rn384 Rn385 Rn386 Rn387 Rn388 Rn389 Rn390 Rn391 Rn392 Rn393 Rn394 Rn395 Rn396 Rn397 Rn398 Rn399 Rn400 Rn401 Rn402 Rn403 Rn404 Rn405 Rn406 Rn407 Rn408 Rn409 Rn410 Rn411 Rn412 Rn413 Rn414 Rn415 Rn416 Rn417 Rn418 Rn419 Rn420 Rn421 Rn422 Rn423 Rn424 Rn425 Rn426 Rn427 Rn428 Rn429 Rn430 Rn431 Rn432 Rn433 Rn434 Rn435 Rn436 Rn437 Rn438 Rn439 Rn440 Rn441 Rn442 Rn443 Rn444 Rn445 Rn446 Rn447 Rn448 Rn449 Rn450 Rn451 Rn452 Rn453 Rn454 Rn455 Rn456 Rn457 Rn458 Rn459 Rn460 Rn461 Rn462 Rn463 Rn464 Rn465 Rn466 Rn467 Rn468 Rn469 Rn470 Rn471 Rn472 Rn473 Rn474 Rn475 Rn476 Rn477 Rn478 Rn479 Rn480 Rn481 Rn482 Rn483 Rn484 Rn485 Rn486 Rn487 Rn488 Rn489 Rn490 Rn491 Rn492 Rn493 Rn494 Rn495 Rn496 Rn497 Rn498 Rn499 Rn500 Rn501 Rn502 Rn503 Rn504 Rn505 Rn506 Rn507 Rn508 Rn509 Rn510 Rn511 Rn512 Rn513 Rn514 Rn515 Rn516 Rn517 Rn518 Rn519 Rn520 Rn521 Rn522 Rn523 Rn524 Rn525 Rn526 Rn527 Rn528 Rn529 Rn530 Rn531 Rn532 Rn533 Rn534 Rn535 Rn536 Rn537 Rn538 Rn539 Rn540 Rn541 Rn542 Rn543 Rn544 Rn545 Rn546 Rn547 Rn548 Rn549 Rn550 Rn551 Rn552 Rn553 Rn554 Rn555 Rn556 Rn557 Rn558 Rn559 Rn560 Rn561 Rn562 Rn563 Rn564 Rn565 Rn566 Rn567 Rn568 Rn569 Rn570 Rn571 Rn572 Rn573 Rn574 Rn575 Rn576 Rn577 Rn578 Rn579 Rn580 Rn581 Rn582 Rn583 Rn584 Rn585 Rn586 Rn587 Rn588 Rn589 Rn590 Rn591 Rn592 Rn593 Rn594 Rn595 Rn596 Rn597 Rn598 Rn599 Rn600 Rn601 Rn602 Rn603 Rn604 Rn605 Rn606 Rn607 Rn608 Rn609 Rn610 Rn611 Rn612 Rn613 Rn614 Rn615 Rn616 Rn617 Rn618 Rn619 Rn620 Rn621 Rn622 Rn623 Rn624 Rn625 Rn626 Rn627 Rn628 Rn629 Rn630 Rn631 Rn632 Rn633 Rn634 Rn635 Rn636 Rn637 Rn638 Rn639 Rn640 Rn641 Rn642 Rn643 Rn644 Rn645 Rn646 Rn647 Rn648 Rn649 Rn650 Rn651 Rn652 Rn653 Rn654 Rn655 Rn656 Rn657 Rn658 Rn659 Rn660 Rn661 Rn662 Rn663 Rn664 Rn665 Rn666 Rn667 Rn668 Rn669 Rn670 Rn671 Rn672 Rn673 Rn674 Rn675 Rn676 Rn677 Rn678 Rn679 Rn680 Rn681 Rn682 Rn683 Rn684 Rn685 Rn686 Rn687 Rn688 Rn689 Rn690 Rn691 Rn692 Rn693 Rn694 Rn695 Rn696 Rn697 Rn698 Rn699 Rn700 Rn701 Rn702 Rn703 Rn704 Rn705 Rn706 Rn707 Rn708 Rn709 Rn710 Rn711 Rn712 Rn713 Rn714 Rn715 Rn716 Rn717 Rn718 Rn719 Rn720 Rn721 Rn722 Rn723 Rn724 Rn725 Rn726 Rn727 Rn728 Rn729 Rn730 Rn731 Rn732 Rn733 Rn734 Rn735 Rn736 Rn737 Rn738 Rn739 Rn740 Rn741 Rn742 Rn743 Rn744 Rn745 Rn746 Rn747 Rn748 Rn749 Rn750 Rn751 Rn752 Rn753 Rn754 Rn755 Rn756 Rn757 Rn758 Rn759 Rn760 Rn761 Rn762 Rn763 Rn764 Rn765 Rn766 Rn767 Rn768 Rn769 Rn770 Rn771 Rn772 Rn773 Rn774 Rn775 Rn776 Rn777 Rn778 Rn779 Rn779 Rn780 Rn781 Rn782 Rn783 Rn784 Rn785 Rn786 Rn787 Rn788 Rn789 Rn789 Rn790 Rn791 Rn792 Rn793 Rn794 Rn795 Rn796 Rn797 Rn798 Rn799 Rn799 Rn800 Rn801 Rn802 Rn803 Rn804 Rn805 Rn806 Rn807 Rn808 Rn809 Rn809 Rn810 Rn811 Rn812 Rn813 Rn814 Rn815 Rn816 Rn817 Rn818 Rn819 Rn819 Rn820 Rn821 Rn822 Rn823 Rn824 Rn825 Rn826 Rn827 Rn828 Rn829 Rn829 Rn830 Rn831 Rn832 Rn833 Rn834 Rn835 Rn836 Rn837 Rn838 Rn839 Rn839 Rn840 Rn841 Rn842 Rn843 Rn844 Rn845 Rn846 Rn847 Rn848 Rn849 Rn850 Rn851 Rn852 Rn853 Rn854 Rn855 Rn856 Rn857 Rn858 Rn859 Rn859 Rn860 Rn861 Rn862 Rn863 Rn864 Rn865 Rn866 Rn867 Rn868 Rn869 Rn869 Rn870 Rn871 Rn872 Rn873 Rn874 Rn875 Rn876 Rn877 Rn878 Rn879 Rn879 Rn880 Rn881 Rn882 Rn883 Rn884 Rn885 Rn886 Rn887 Rn888 Rn889 Rn889 Rn890 Rn891 Rn892 Rn893 Rn894 Rn895 Rn896 Rn897 Rn898 Rn899 Rn899 Rn900 Rn901 Rn902 Rn903 Rn904 Rn905 Rn906 Rn907 Rn908 Rn909 Rn909 Rn910 Rn911 Rn912 Rn913 Rn914 Rn915 Rn916 Rn917 Rn918 Rn919 Rn919 Rn920 Rn921 Rn922 Rn923 Rn924 Rn925 Rn926 Rn927 Rn928 Rn929 Rn929 Rn930 Rn931 Rn932 Rn933 Rn934 Rn935 Rn936 Rn937 Rn938 Rn939 Rn939 Rn940 Rn941 Rn942 Rn943 Rn944 Rn945 Rn946 Rn947 Rn948 Rn949 Rn949 Rn950 Rn951 Rn952 Rn953 Rn954 Rn955 Rn956 Rn957 Rn958 Rn959 Rn959 Rn960 Rn961 Rn962 Rn963 Rn964 Rn965 Rn966 Rn967 Rn968 Rn969 Rn969 Rn970 Rn971 Rn972 Rn973 Rn974 Rn975 Rn976 Rn977 Rn978 Rn979 Rn979 Rn980 Rn981 Rn982 Rn983 Rn984 Rn985 Rn986 Rn987 Rn988 Rn989 Rn989 Rn990 Rn991 Rn992 Rn993 Rn994 Rn995 Rn996 Rn997 Rn998 Rn999 Rn999 Rn1000 Rn1001 Rn1002 Rn1003 Rn1004 Rn1005 Rn1006 Rn1007 Rn1008 Rn1009 Rn1009 Rn1010 Rn1011 Rn1012 Rn1013 Rn1014 Rn1015 Rn1016 Rn1017 Rn1018 Rn1019 Rn1019 Rn1020 Rn1021 Rn1022 Rn1023 Rn1024 Rn1025 Rn1026 Rn1027 Rn1028 Rn1029 Rn1029 Rn1030 Rn1031 Rn1032 Rn1033 Rn1034 Rn1035 Rn1036 Rn1037 Rn1038 Rn1039 Rn1039 Rn1040 Rn1041 Rn1042 Rn1043 Rn1044 Rn1045 Rn1046 Rn1047 Rn1048 Rn1049 Rn1050 Rn1051 Rn1052 Rn1053 Rn1054 Rn1055 Rn1056 Rn1057 Rn1058 Rn1059 Rn1059 Rn1060 Rn1061 Rn1062 Rn1063 Rn1064 Rn1065 Rn1066 Rn1067 Rn									

8						O13 8,58 ms $\beta^*:$ 16,7	O14 70,59 s $\beta^*:$ 1,8 $\gamma:$ 2,313	O15 2,03 min $\beta^*:$ 1,7	O16	O17	O18	O19 27,1 s $\beta^*:$ 3,3 $\gamma:$ 0,197	O20 13,5 s $\beta^*:$ 2,8 $\gamma:$ 1,057
7						N12 11,0 ms $\beta^*:$ 16,4 $\gamma:$ 4,439	N13 9,96 min $\beta^*:$ 1,2	N14	N15	N16 7,13 s $\beta^*:$ 4,3 $\gamma:$ 6,129	N17 4,17 s $\beta^*:$ 3,2 $\gamma:$ 0,871	N18 0,63 s $\beta^*:$ 9,4 $\gamma:$ 1,982	N19 329 ms $\beta^*:$ 6 $\gamma:$ 0,096
6				C9 126,5 ms $\beta^*:$ 15,5	C10 19,3 s $\beta^*:$ 1,9 $\gamma:$ 0,718	C11 20,38 min $\beta^*:$ 1,0	C12	C13	C14 5730 a $\beta^*:$ 0,2	C15 2,45 s $\beta^*:$ 4,5 $\gamma:$ 5,298	C16 0,747 s $\beta^*:$ 4,7	C17 193 ms $\beta^*:$ 1,375	C18 92 ms $\beta^*:$ 2,614
5				B8 770 ms $\beta^*:$ 14,1		B10	B11	B12 20,20 ms $\beta^*:$ 13,4 $\gamma:$ 4,439	B13 17,33 ms $\beta^*:$ 13,4 $\gamma:$ 3,684	B14 13,8 ms $\beta^*:$ 14,0 $\gamma:$ 6,090	B15 10,4 ms $\beta^*:$ 6		B17 5,1 ms $\beta^*:$ 6
4				Be7 53,29 d $\gamma:$ 0,478		Be9	Be10 1,6E6 a $\beta^*:$ 0,6	Be11 13,8 s $\beta^*:$ 11,5 $\gamma:$ 2,125	Be12 23,6 ms $\beta^*:$ 11,7		Be14 4,35 ms $\beta^*:$ 6		
3				Li6 stabil	Li7 stabil	Li8 840,3 ms $\beta^*:$ 12,5	Li9 178,3 ms $\beta^*:$ 13,6		Li11 8,5 ms $\beta^*:$ 18,5 $\gamma:$ 3,368				
2		He3 stabil	He4 stabil			He6 806,7 ms $\beta^*:$ 3,5		He8 119 ms $\beta^*:$ 9,7 $\gamma:$ 0,981					
1	H1 stabil	H2 stabil		H3 12,323 a $\beta^*:$ 0,02									
0		n1 10,25 min $\beta^*:$ 0,8											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Periodensystem der Elemente