Bezugssysteme

$\mathbf{v}_0 = \text{const}$ $\quad \mathbf{x}'(t=0) = \mathbf{x}(t=0)$

Galilei-Transformation

$t' = t \quad \mathbf{x}' = \mathbf{x} + \mathbf{v}_0 t \quad \mathbf{v}' = \mathbf{v} + \mathbf{v}_0 \quad m' = m \quad \nu' = \nu\left(1 + \frac{v_0}{c}\right)^{-1} \quad \nu' = \nu\left(1 - \frac{v_0}{c}\right)$

Lorentz-Transformation

$t' = \gamma\left(t + \frac{v_0 x}{c^2}\right) \quad x' = \gamma\left(x + v_0 t\right) \quad v' = \frac{v + v_0}{1 + \frac{v v_0}{c^2}} \quad m' = \gamma m \quad \nu' = \nu\sqrt{\frac{c - v_0}{c + v_0}} \quad \gamma = \left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$

Bewegung

Translation

$\mathbf{s} = \mathbf{s}_0 + \mathbf{r} \quad \mathbf{v} = \dot{\mathbf{s}} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r} \quad \mathbf{a} = \dot{\mathbf{v}} = -\boldsymbol{\omega}^2 \mathbf{r} = \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r} \quad \mathbf{p} = m\mathbf{v}$

$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \mathbf{v}^2 = \frac{1}{2}\mathbf{p} \cdot \mathbf{v} \quad \mathbf{F} = m\mathbf{a} = \dot{\mathbf{p}} \quad m$

$$\begin{aligned}
a &= v/t &&= v^2/2s &&= 2s/t^2 \\
v &= at &&= \sqrt{2as} &&= 2s/t \\
s &= \tfrac{1}{2}at^2 &&= v^2/2a &&= vt/2 \\
t &= v/a &&= \sqrt{2s/a} &&= 2s/v
\end{aligned}$$

Rotation

$\boldsymbol{\phi} \quad \boldsymbol{\omega} = \dot{\boldsymbol{\phi}} = \frac{|\mathbf{v}|}{|\mathbf{r}|} \frac{\mathbf{r} \times \mathbf{v}}{|\mathbf{r} \times \mathbf{v}|} \quad \boldsymbol{\alpha} = \dot{\boldsymbol{\omega}} \quad \mathbf{L} = \mathbf{J} \cdot \boldsymbol{\omega} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$ Präzession: $\dot{\mathbf{L}} = \boldsymbol{\omega}_P \times \mathbf{L}$

$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}\left(\mathbf{J} \cdot \boldsymbol{\omega}\right) \cdot \boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2}\mathbf{L} \cdot \boldsymbol{\omega} \quad \mathbf{T} = \mathbf{J} \cdot \boldsymbol{\alpha} = \dot{\mathbf{L}} = \boldsymbol{\omega}_P \times \mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} \quad \mathbf{J} = \int_M \left(\mathbf{r}^2 \delta_{ij} - r_i r_j\right) \mathrm{d}m = \mathbf{J}_s + M\left(\mathbf{r}_s^2 \delta_{ij} - r_{si} r_{sj}\right)$

Trägheitsmomente (Achse senkrecht durch den Schwerpunkt)

$J_{\text{Quader}} = \frac{1}{12} M \left(a^2 + b^2\right) \quad J_{\text{Ellipsoid}} = \frac{1}{5} M \left(a^2 + b^2\right) \quad J_{\text{Kreis}} = \frac{1}{2} M r^2$

Stöße

unelastisch

$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = m_1 \mathbf{v}_1' + m_2 \mathbf{v}_2' \quad \mathbf{v}_1' = \mathbf{v}_2'$

elastisch

$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = m_1 \mathbf{v}_1' + m_2 \mathbf{v}_2' \quad m_1 \mathbf{v}_1^2 + m_2 \mathbf{v}_2^2 = m_1 {\mathbf{v}_1'}^2 + m_2 {\mathbf{v}_2'}^2 \quad \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_1' = \mathbf{v}_2 + \mathbf{v}_2' \quad \mathbf{v}_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\mathbf{v}_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2}\mathbf{v}_2$

Gravitationsfeld

$\mathbf{F} = G\frac{m_1 m_2}{\mathbf{r}^2}\frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|} \quad E_{\text{pot}} = -G\frac{m_1 m_2}{|\mathbf{r}|}$

Elektrisches Feld

$\mathbf{F} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q_1 Q_2}{\mathbf{r}^2}\frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|} \quad E_{\text{pot}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q_1 Q_2}{|\mathbf{r}|}$

Leitfähigkeit

Wärmeleitfähigkeit λ $\quad \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t A} = \lambda \frac{\Delta T}{l}$ $\quad$ Elektrische Leitfähigkeit γ

Wiedemann-Franzsches Gesetz $\quad \frac{\lambda}{\gamma} = LT$ $\quad$ Lorentz-Konstante $\quad L = \frac{\pi^2}{3}\left(\frac{k}{e}\right)^2 = 2{,}2 \cdot 10^{-8}\,\frac{\mathrm{WV}}{\mathrm{AK}^2}$

Gitterschwingungen

$E_{\text{tot}} = \omega_0 L = \omega_0 n \hbar \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$

Debeye-Temperatur (Wärmekapazität von Kristallen nimmt darunter stark ab) $\quad T_D = \frac{\hbar\omega_0}{k}$

Dulong-Petitsches Gesetz (molare Wärmekapazität für $T > T_D$) $\quad C = 3R$

Kepler

1. Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren gemeinsamem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Der Radiusvektor eines Planeten überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen (Drehimpulserhaltung): $A_1 = A_2$
3. $T^2 \sim a^3 \quad \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$

Newton

1. Galileisches Trägheitsprinzip: Ein Körper bleibt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung, solange keine äußeren Kräfte auf ihn einwirken.
2. Aktionsprinzip: $\mathbf{F} = m\mathbf{a} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{p}}{\mathrm{d}t}$
3. Reaktionsprinzip: Kraft = Gegenkraft, Actio = Reactio

konservative Kräfte:	reversible Prozesse (Gravitation ... ⇒ ideale Vorgänge)
dissipative Kräfte:	irreversible Prozesse (Reibung ... ⇒ reale Vorgänge)

Thermodynamik

1. Hauptsatz: Energieerhaltung
   Bei einem Kreisprozeß ist die Summe der zugeführten Arbeit/Wärmemenge gleich der abgegebenen: $W_1 + Q_1 = W_2 + Q_2$
2. Hauptsatz: Entropiezunahme
   Bei einem Kreisprozeß ist die zugeführte reduzierte Wärmemenge kleiner/gleich der abgegebenen: $\frac{Q_1}{T1} \leq \frac{Q_2}{T_2}$

Harmonische Schwingung

DGL:	$\ddot{z} + 2\delta\dot{z} + \omega_0^2 z = \omega_0^2 z_0$	$z = A\exp(\pm \mathrm{i}\omega_0 t)$	$A = \lvert A\rvert \exp(\mathrm{i}\phi) \quad z_0 =$ Erreger
	$\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}} = \sqrt{\frac{g}{l}} = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{G\frac{M}{r^3}}$	$\overline{E}_{\mathrm{kin}} = \overline{E}_{\mathrm{pot}} = \frac{1}{2}E_{\mathrm{ges}}$	
Schwingfall	$\omega_0^2 - \delta^2 > 0$	$z = A\exp(-\delta t)\exp\left(\pm\mathrm{i}\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}t\right)$	
Kriechfall	$\omega_0^2 - \delta^2 < 0$	$z = A\exp(-\delta t)\exp\left(\pm\mathrm{i}\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}t\right)$	
Aperiodischer Grenzfall	$\omega_0^2 - \delta^2 = 0$	$z = A\exp(-\delta t)$	

Wellen

DGL: $m\ddot{z}_n + D\left((z_n - z_{n-1}) - (z_{n+1} - z_n)\right) = 0 \quad (z_n - z_{n-1}) - (z_{n+1} - z_n) = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}d^2$

$\ddot{z} - \mathbf{c}^2\nabla^2 z = 0 \qquad \mathbf{c} = \sqrt{\frac{D}{m}d^2}\frac{\mathbf{k}}{|\mathbf{k}|} \qquad \mathbf{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \qquad \mathbf{c} = \frac{\omega}{\mathbf{k}} = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$

Welle: $z = A\exp\left(\mathrm{i}\left(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - \omega t\right)\right)$

stehende Welle: $z = A\exp\left(\mathrm{i}\left(kx - \omega t\right)\right) + A\exp\left(\mathrm{i}\left(-kx - \omega t\right)\right) = 2A\cos\left(kx\right)\exp\left(-\mathrm{i}\omega t\right)$

Schwebung: $z = A\exp\left(\mathrm{i}\left(k_1 x - \omega_1 t\right)\right) + A\exp\left(\mathrm{i}\left(k_2 x - \omega_2 t\right)\right) = 2A\cos\left(\frac{|k_1 - k_2|}{2}x - \frac{|\omega_1 - \omega_2|}{2}t\right)\exp\left(\mathrm{i}\left(kx - \omega t\right)\right)$

Machscher Kegel: $\sin(\phi) = \frac{\mathbf{c}}{\mathbf{v}_s}$ Dispersion: $\mathbf{c}_{\mathrm{gr}} = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\mathbf{k}} = \frac{\mathrm{d}\lambda}{\mathrm{d}T} \quad \mathbf{c}_{\mathrm{ph}} = \frac{\omega}{\mathbf{k}} = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$

Schallgeschwindigkeit $c = \sqrt{\frac{f+2}{f}\frac{p}{\rho}} = \sqrt{\frac{f+2}{f}\frac{nkT}{nm}} = \sqrt{\frac{f+2}{3f}\overline{v^2}}$

Gasgesetze

Druck

$p = \frac{F_z}{A} = nm\overline{v_z^2} = \frac{1}{3}nm\overline{v^2} = \frac{2}{3}n\overline{E_{\text{kin}}} = nkT$

Äquipartitionsgesetz

$\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{f}{2}kT$

ideale Gasgleichung $pV_{\text{mol}} = RT \quad pV = RNT \quad N_A E_{\text{pot}} = 0$

reale Gasgleichung $\left(p + \frac{a}{V_{\text{mol}}^2}\right)(V_{\text{mol}} - b) = RT \quad N_A E_{\text{pot}} = -\frac{a}{V_{\text{mol}}}$

Barometrische Höhenformel $p(h) = p_0 \exp\left(-\frac{E_{\text{pot}}}{kT}\right)$

Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung $f(v) \sim v^2 \exp\left(-\frac{E_{\text{kin}}}{kT}\right)$

Wasser $(T_t, p_t) = (273{,}16\,\text{K}, 610{,}6\,\text{Pa}) \quad (T_k, p_k) = \left(647\,\text{K}, 2{,}17 \cdot 10^7\,\text{Pa}\right) = \left(\frac{8}{27}\frac{a}{b}\frac{1}{R}, \frac{1}{27}\frac{a}{b^2}\right) \quad V_k = V_{\text{mol}}3b$

$Q_S = 80 \cdot 4{,}187\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad Q_d = 540 \cdot 4{,}187\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Wärmemenge $Q = cm\,\Delta T$ (c: spezifische Wärmekapazität)

innere Energie $U_Z = U_0 + (W + Q) \quad U_{\text{mol}} = N_A\left(\overline{E_{\text{kin}}} + \overline{E_{\text{pot}}}\right) = CT$ (C: molare Wärmekapazität)

innere Energie eines Festkörpers $U_{\text{mol}} = 3RT$ Dulong-Petitsches Gesetz ($C = 3R$)

Enthalpie $H = pV + U$

Entropie $S_Z = S_0 + \int_0^Z \frac{1}{T}\mathrm{d}Q_{\text{rev}} = k\ln(W)$ (W: Wahrscheinlichkeit eines Zustands)

Entropie des idealen Gases $S(T,V) = S(T_0, V_0) + \frac{3}{2}R\ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + R\ln\left(\frac{V}{V_0}\right)$

Joule-Thomson-Effekt $H(T,P) = \left(\frac{f}{2} + 1\right)RT + \left(b - \frac{2a}{RT}\right)p$ Inversionstemperatur $T_i = \frac{2a}{Rb}$

isentropische Expansion con idealem Gas $\left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{-1}$

Begriffe

$T = \text{const}$	isotherm
$p = \text{const}$	isobar
$V = \text{const}$	isochor
$S = \text{const}$	isentropisch
$H = \text{const}$	isenthalpisch
$\mathrm{d}Q = 0$	adiabatisch
$\mathrm{d}Q_{\text{rev}} = 0$	reversibel adiabatisch (=isentropisch)

Wirkungsgrad

Wirkungsgrad Wärmekraftmaschine $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

Kältemaschine $\eta = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} \leq \frac{T_1}{T_2 - T_1}$

Wärmepumpe $\eta = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} \leq \frac{T_2}{T_2 - T_1}$

Licht

Reflexion/Brechung

Snellius: $n_1 \sin(\alpha_1) = n_2 \sin(\alpha_2)$

Phasengeschwindigkeit: $\mathbf{c}_n = \frac{\mathbf{c}}{n}$

Linsen (konvex): Linearvergrößerung $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$ Abbildungsgleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$

Lupe $g < f < b$ $v = \frac{s}{f} + 1$ $s = 25\,\text{cm}$ = deutliche Sehweite

Mikroskop $-b_1 > g_1 > f_{\text{Objektiv}}$ $g_2 < f_{\text{Okular}} < b_2$ (g_2 ist das Bild b_1)

Fernrohr $d_{\text{Obj-Oku}} = f_{\text{Obj}} + f_{\text{Oku}}$ $v = \frac{\tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_1)} \approx \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{f_1}{f_2}$ Auflösungsvermögen $\delta > \Delta\alpha = \frac{\lambda}{d}$

Beugung/Interferenz

Dünne Plättchen

$$\mathit{\Delta} = 2D\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin(\alpha)^2} + \frac{\lambda}{2} = 2D\sqrt{n^2 - \sin(\alpha)^2} + \frac{\lambda}{2} = 2D\cos(\alpha)$$

Kohärenzlänge

$$L_{\text{coh}} = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = \frac{2\pi}{\Delta k}$$

Doppelspalt $\mathit{\Delta} = D\sin(\alpha)$ Einzelspalt $\mathit{\Delta} = \frac{D}{2}\sin(\alpha)$ Bragg (Kristall) $\mathit{\Delta} = 2D\cos(\alpha)$

Wärmestrahlung

totales Emissionsvermögen $E(T) = \frac{W_{\text{em}}}{tA}$ $E(T) = \int_0^\infty E(\nu, T)\,\mathrm{d}\nu = \int_0^\infty E(\lambda, T)\,\mathrm{d}\lambda$ $\mathrm{d}\lambda = \left|\frac{\mathrm{d}\lambda}{\mathrm{d}\nu}\right|\mathrm{d}\nu = \frac{c}{\nu^2}\mathrm{d}\nu$

spektrales Emissionsvermögen $E(\nu, T) = \frac{W_{\text{em}}}{tA\,\Delta\nu}$

Absorptionsgrad $\alpha(\nu, T) = \frac{W_{\text{ansolut}}(\nu)}{W(\nu)}$

Kirchhoffsches Strahlungsgesetz $E_x(T) = \alpha_x(T)E_{sk}(T)$ $\Rightarrow$ $\frac{E_x(T)}{\alpha_x(T)} = E_{sk}(T)$ $\frac{E_x(\nu,T)}{\alpha_x(\nu,T)} = E_{sk}(\nu, T)$

Stefan-Boltzmann-Gesetz $E_{sk}(T) = \sigma T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\,\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\,T^4 = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2h^3}T^4$

Plancksches Strahlungsgesetz $E_{sk}(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2}\frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1}$

$E(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2}kT$ Wellengebiet ($h\nu \ll kT$): Rayleigh-Jeans-Gesetz

$E(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2}h\nu\exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right)$ Teilchengebiet ($h\nu \gg kT$): Wiensches Strahlungsgesetz

Wiensches Verschiebungsgesetz $\lambda_{\max}T = b$ $\lambda_{\max} \neq \frac{c}{\nu_{\max}}$

$E(\nu_{\max}, T) = \frac{2\pi h}{c^2}\nu_{\max}^3 \sim T^3$

Atom

Bohrsches Atommodell

1. Elektronen bewegen sich strahlungsfrei auf Kreisbahnen mit diskreten Energiewerten.
   $E_n = W_{\text{tot}}(L = n\hbar) = -R_y hc \frac{1}{n^2} = -13{,}6\,\text{eV} \frac{1}{n^2}$
2. Ein Elektron kann unter Abgabe (Aufnahme) eines Photons mit $h\nu = E_m - E_n$ von Niveau m zu n springen.
3. Der Bahndrehimpuls ist gequantelt: $L = n\hbar$

Linienspektrum von H

$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = R_y \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$

$n = 1:$	Lymann-Serie (ultraviolett)
$n = 2:$	Balmer-Serie (sichtbar und nahes ultraviolett)
$n = 3:$	Paschen-Serie (infrarot)

Rutherford-Modell

$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = m_e \omega^2 r \quad \Rightarrow \quad L^2 = \frac{m_e e^2 r}{4\pi\varepsilon_0} \quad W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} W_{\text{pot}} \quad W_{\text{tot}} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{1}{2} m_e \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} \right)^2 \frac{1}{L^2}$

Frank-Herz-Versuch: Elektronen werden mit verschiedenen Soannungen beschleunigt. Dabei können sie bei passender kinetischer Energie diese durch Anregung von Quecksilberatomen abgeben.

Compton-Streuung: Hochenergetische Photonen stoßen mit Elektronen elastisch zusammen, wobei sich ihre Energie/Wellenlänge und Richtung ändert.

Materiewellen

Photonen	$W = h\nu = \hbar\omega = \mathbf{c} \cdot \mathbf{p} \qquad \mathbf{p} = \hbar\mathbf{k} = \frac{h}{\lambda}$	Photoeffekt: $W_{\text{kin}} = h\nu - W_A$
DGL	$\mathrm{i}\hbar\dot{\Psi} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + E_{\text{pot}}\Psi$	$\Psi = \Psi_0 \exp\left(\mathrm{i}\left(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t\right)\right) = \Psi_0 \exp\left(\frac{\mathrm{i}}{\hbar}\left(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r} - Et\right)\right)$
Tunneleffekt	$\Psi = \Psi_S \exp(-Kx) \exp(-\mathrm{i}\omega t)$	$K = \frac{\sqrt{2m(E_0 - E)}}{\hbar}$ (innerhalb der Schwelle)

Atomhülle

n	Hauptquantenzahl	$1, 2, \ldots, \infty$
l	Drehimpulsquantenzahl	$0, 1, \ldots, n-1$
m	Richtungsquantenzahl	$-l, -l+1, \ldots, l$
m_S	Spinquantenzahl	$-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$

$E_n = -13{,}6\,\text{eV} \frac{Z^2}{n^2} \qquad |\mathbf{L}| = \sqrt{l(l+1)}\hbar \qquad L_Z = m\hbar$

Ionisationsenergie $\quad 4\,\text{eV} \leq E_1 \leq 25\,\text{eV}$

Besetzungswahrscheinlichkeit für höhere Energieniveaus $\quad \frac{W(E_n)}{W(E_1)} = \exp\left(-\frac{E_n - E_1}{kT}\right)$

Atomkern

Nukleon-Bindungsenergie	$E = 10\,\text{MeV}$
Nukleon-Ruheenergie	$E_r = m_n c^2 = 1\,\text{GeV}$
Kernradius	$R_k = 1{,}4 \cdot 10^{-15}\,\text{m}\, A^{\frac{1}{3}}$
Höhe des Coulombwalls	$E_{\text{pot}}(R) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\varepsilon_0 R} = Z_1 Z_2 \frac{10^{-14}\,\text{m}}{R}\, 0{,}15\,\text{MeV}$

α-Zerfall	$X_{A,Z} \to Y_{A-4,Z-2} + \alpha_{4,2}$	
	$E_B(X_{A,Z}) < E_B(Y_{A-4,Z-2}) + E_B(\alpha_{4,2})$	
β-Zerfall	$X_{A,Z} \to Y_{A,Z\pm1} + \mathrm{e}^{\mp} + \nu^{\mp}$	($\pm$: β^- bzw. β^+-Zerfall)
	$\mathrm{e}^- + X_{A,Z} \to Y_{A,Z-1} + \nu$	(K-Einfang statt +-Zerfall)
	$E_B(X_{A,Z}) < E_B(Y_{A,Z\pm1})$	
γ-Zerfall	$h\nu = E_m - E_n$	

Einheiten

Aktivität	$1\,\text{Bq} = 1\,\text{Becquerel} = 1\,\frac{\text{Zerfall}}{\text{s}}$
Energiedosis	$1\,\text{Gy} = 1\,\text{Gray} = 1\,\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Äquivalentdosis	1 Sv = 1 Sievert = Energiedosis · Qualitätsfaktor
Qualitätsfaktor	$\mathrm{e}, h\nu: 1 \qquad \mathrm{p}, \mathrm{n}: 10 \qquad \alpha, \cdots: 20$