$\overline{W}=kT$ Rayleigh-Jeans: $\omega(\nu)=n(\nu)\overline{W}\,d\nu=(8\pi\nu^2/c^3)kT\,d\nu$
UV-Katastrophe Foto-/Comptoneff. Elektronenbeugung Spektrallinien Stern-Gerlach-Experiment
KLASSISCH

$\overline{W}=h\nu/(e^{h\nu/kT}-1)$ Planck: $w(\nu)d\nu=(8\pi\nu^3h)/c^3)\,d\nu/(e^{h\nu/kT}-1)$ Wien: $\lambda_m T=2{,}88\cdot10^{-3}$
Stefan Boltzmann $P=\sigma T^4$ $\sigma=2\pi^5(k)^4/(15h^3c^2)$
STRAHLUNGSVERT.

Absorption: $W_{ki}=B_{ki}\,\omega(\nu)$
Ind. Emiss.: $W_{ik}=B_{ik}\,\omega(\nu)$
Spont. Emiss. $W_{ik}=A_{ik}$ LASER
Gleichgew: $B_{ki}\,\omega(\nu)N_k=A_{ik}N_i+B_{ik}\,\omega(\nu)N_i$, N_i: Anz. d. Atome

$B_{ik}=\frac{g_i}{g_k}B_{ki}$ $A_{ik}=\frac{8\pi h\nu^3}{c^3}B_{ik}$
$\frac{W_{ind}}{W_{spd.}}=1/(e^{h\nu/kT}-1)$ $W_{ik}/W_{ki}=(1+A_{ik}/(B_{ik}\,w(\nu)))\,N_i/N_k$

Unterscheidbar => klassisch => MB
$dn_{MB}=g(E)dE/e^{E/kT}$ $g(E)dE=dN$
Ununterscheidbar => qm
$dn_{BE}=g(E)dE/(e^{E/kT}-1)$
$dn_{FD}=g(E)dE/(e^{(E-E_F)/kT}+1)$
BE: Kondensat FD: Pauli
Elektronengas: $g(E)dE=\frac{4\pi a^3}{h^3}(2m)^{3/2}\sqrt{E}\,dE$ Fermi-Energie: $E_F=h^2/(8m)\,(3N/\pi a^3)^{2/3}$
Photonengas: $g(E)dE=\frac{8\pi a^3}{h^3c^3}E^2dE$ STATISTIK
BE: $N(E)=(\pi/3)(8a^3E^3)/(h^3c^3)$

Photoeff. $E_{kin}=h\nu-W_A$ Compton: $\Delta\lambda=\lambda_c(1-\cos\Theta)$ $\lambda_c=\frac{h}{m_ec}$
$\lambda=\frac{h}{p}$ Bragg: $n\lambda=2d\sin\Theta$
Wellenzahl $k=2\pi/\lambda$ $p=E/c$
$\vec p=\hbar\vec k$ Photon: $S=1$ $m_s=\pm\hbar$
=> links zirk. polarisiert el. Welle
$\Psi=Ce^{i(kx-\omega t)}=Ce^{i/\hbar(px-Et)}$
$v_{Ph}=\omega/k$ $v_g=d\omega/dk$ $\omega=\frac{E}{\hbar}$
$\nabla c=\nu$ Wellenpaket WELLEN
$\Psi=\int_{-\infty}^{\infty}g(k)\,e^{i(\omega(k)t-kx)}dk$
Wellenvektor d. Zentrums: $\vec p=\hbar\vec k_0$
$\Delta x\Delta p\geq\hbar/2\leq\Delta E\Delta t$ Auseinanderlaufen: $\Delta x\geq(\hbar t)/(2m\Delta x_0)$
$E=h\nu=\hbar\omega$ Nullpunktsenergie
$E\geq\hbar^2/(8m(\Delta x)^2)$

$\langle A\rangle=\int dV\,\psi^*\hat A\psi$ $\hat A\psi=A\psi$
gleichzeitig messbar: $(\hat A\hat B-\hat B\hat A)\psi=0$
$\hat p=i\hbar\nabla$ $\hat E_{kin}=-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta$ OPERATOREN
$\hat H=\hat E_{pot}-\hat E_{kin}$ $\hat{\vec l}=-i\hbar\vec r\times\nabla$
$\hat L_z=-i\hbar\,\partial/\partial\varphi$ $|\hat L^2|=l(l+1)\hbar^2$
$\langle L_z\rangle=m\hbar$ zeitabhängige SG
$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi=\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta+\hat E_{pot}\right]\psi=\hat H\psi$
zeitunabh. $E\psi=\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta+\hat E_{pot}\right]\psi$
E_{pot} = konst.
$\Rightarrow\Psi(\vec r,t)=\psi(\vec r)e^{i(E/\hbar)t}$

Bohr: $L=n\hbar$ $r_n=\frac{n^2h^2\varepsilon_0}{\pi\mu Ze^2}=\frac{n^2}{Z}a_0$
$E=-\frac{\mu e^4Z^2}{8\varepsilon_0h^2n^2}=-R_y^*\frac{Z^2}{n^2}$
Coulomb: $E_{pot}=-Ze^2/(4\pi\varepsilon_0r)$
$V_{eff}=-\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0r}+\frac{l(l+1)\hbar^2}{r^2}$
$\frac{1}{\lambda}=R_y\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)$ $R_y^*=hcR_y=13{,}6\,eV$
norm. Zeeman: $\Delta E_m=m\mu_BB$
anomaler: $\Delta E=g_j\mu_BB\Rightarrow m_j$
Spin-Bahn => Feinstruktur: $a=\frac{\mu_0Ze^2\hbar^2}{8\pi m_e^2r^3}$
$E_{n,j,l}=E_n+\frac{a}{2}(j(j+1)-l(l+1)-s(s+1))$
rel. Korrektur: $\Delta E_{n,l}=-E_n\frac{Z^2\alpha^2}{n}\left(\frac{3}{4n}-\frac{1}{l+\frac12}\right)$ Sommerfeld: $\alpha=e^2/(4\pi\varepsilon_0\hbar c)$
WF symm <=> Triplett
Moseley $E=h\nu_{ik}=R_y(Z-S)^2\left(\frac{1}{n_k^2}-\frac{1}{n_i^2}\right)$ K-Serie: $S\approx1$ L-Serie: $S\approx7{,}4$
$E(r)=D(1-e^{-(r-r_0)})^2$ Morse
harm. Oszill. $E_n=\hbar\omega(v+\frac12)$
$\omega=\sqrt{D/m}$ $F=-Dx$ ENERGIE
Anharmonizität: $\Delta E_{vib}=\hbar\omega_0\left(1-\frac{\hbar\omega_0}{2D}(v+1)\right)$ starrer Rotator
$E_{rot}=(1/2)I\omega^2=\frac{J^2}{2I}$ $\Delta E_{rot}=\frac{(J+1)}{\mu R^2}\hbar^2$; $\mu=\frac{M_1M_2}{M_1+M_2}$ Absorptionsfreq:
$\nu=\frac{\Delta E_{rot}}{h}=\frac{(J+1)\hbar}{2\pi\mu R^2}=2B_ec(J+1)$
$B_e=\frac{\hbar}{4\pi c\mu R^2}$ nicht-starrer Rot.
$E_{rot}=B_ehcJ(J+1)-D_ehcJ^2(J+1)^2+H_ehcJ^3(J+1)^3\pm\ldots$ $D_e=\frac{\hbar^3}{4\pi ck^2\mu^2R_e^6}$
$H_e=\frac{3\hbar^5}{4\pi ck^2\mu^3R_e^{10}}$
Potentialtopf: $E_n=\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\pi^2}{a^2}n^2$
$E_{nx,ny}=\frac{\hbar^2\pi^2}{2m}\left(\frac{n_x^2}{a^2}+\frac{n_y^2}{b^2}\right)$

inkl. Korrektur: HFS/LS
$E_{nlj}=E_n\left[1+\frac{Z^2\alpha^2}{n}\left(\frac{1}{j+\frac12}-\frac{3}{4n}\right)\right]$
$E_{HFS}=E_{n,j,l}+\frac{A}{2}[F(F+1)-j(j+1)-I(I+1)]$ $A=g_I\mu_KB_j/\sqrt{j(j+1)}$
$E_j(n,L,S)=$ f. LS-Kopl.
$E(n,L,S)+\frac12C[J(J+1)-L(L+1)-S(S+1)]\hbar^2$
$C\propto Z^4/n^3$ $\Delta E\propto Z^2/n^3$

$m=\gamma m_0$ Wahrscheinlichkeit e^- im Abstand r: $W(r)=4\pi r^2|\psi|^2dr$
Pauliprinz.: gesamt-WF antisymm.

$\Delta l=\pm1$; $\Delta m_l=0,\pm1$; $\Delta j=0,\pm1$ bis auf $j=0\leftrightarrow j=0$; $\Delta S=0$; $\Delta L=0,\pm1$
$\Delta M_L=0,\pm1$; $\Delta S=0$
$1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^{10}4p^65s^2$
LS-Kopl.: $\Delta E_{FS}<\Delta E(L,S)$
=> Multiplett n,l: $2l+1$ n: n^2
l = s p d f g (m): σ π δ φ γ
$\mu_B=\frac{e\hbar}{2m_e}$ $\gamma_s=g_e\frac{\mu_B}{\hbar}$ $g_e\approx2{,}0023$
$\vec\mu_j=-\frac{e}{2m_e}(\vec l+g_e\vec s)=-g_j\mu_B\frac{\vec J}{\hbar}$
$g_j=1{,}5+\frac{S(S+1)-l(l+1)}{2j(j+1)}$ $\vec F=\vec j+\vec I$
$\vec\mu_l=-g_l\mu_B\frac{\vec l}{\hbar}$ $\mu_{l,z}=-g_l\mu_Bm_l$
$\vec\mu_s=-g_e\mu_B\frac{\vec S}{\hbar}$ $\mu_{s,z}=-g_e\mu_Bm_s$
$\mu_K=\frac{e\hbar}{2m_p}$ $\vec\mu_I=g_I\mu_K\frac{\vec I}{\hbar}$
$F=|j-I|\ldots|j+I|$ QUANTENZAHLEN

$\psi^S=c_1\psi_A\pm c_2\psi_B$ symm./antisymm. LCAO
Bindend: $E^s(R)=\frac{H_{AA}+H_{AB}}{1+S_{AB}}$
$E^a(R)=\frac{H_{AA}-H_{AB}}{1-S_{AB}}$ antibindend
$2p_z\Rightarrow\sigma2p$ $2p_{x,y}\Rightarrow\pi2p$
$2s\Rightarrow\sigma2s$ $1s\Rightarrow\sigma1s$

I Abgeschl. Schalen => $L=S=J=0$
II S max. wegen WW mit Pauli vereinbar
III nach II: $M_L=\sum m_l$ max.
(Verteilung d. Valenzelektronen)
IV < halbvoll => J minimal
HUND > halbvoll => J maximal

$u=1{,}66\cdot10^{-27}kg$ $\alpha\approx\frac{1}{137}$
$k=1{,}38\cdot10^{-23}J/K$
$\lambda_c=2{,}43\cdot10^{-12}m$ $F=-DB$
$\varepsilon_0=8{,}86\cdot10^{-12}C/Vm$ Pm $4d^{10}5s^1$
$\mu_0=4\pi10^{-7}H/m$ 1. Ngr.
$m_p=1{,}67\cdot10^{-27}kg$
$R=1{,}10\cdot10^7\,1/m$
$\sigma=5{,}67\cdot10^{-8}W/m^2K^4$
$\mu_B=9{,}27\cdot10^{-24}J/T$ $R^*=R_yhc$
$a_0=5{,}3\cdot10^{-11}m$ $E=-\mu B$

$E^2-p^2c^2=m^2c^4$ $S^*=\frac{2\pi^4k^4}{15h^3c^2}\cos\Theta\,T^4$ $\Delta x\Delta k=1$ $\langle\mu_j\rangle=\mu_j\frac{\vec J}{|\vec J|}$ $\psi=Ae^{ikx}-Be^{-ikx}$
$\frac{mv^2}{r}=m\omega^2r$ Beugungsmax: $\frac{2n+1}{2}\lambda=d\sin\alpha$

$R=\left|\frac{k-k'}{k+k'}\right|^2$ $T=\frac{4kk'}{(k+k')^2}$ $k=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$ $k'=\frac{\sqrt{2m(E-E_0)}}{\hbar}$ Tunnel: $T=e^{-\delta L}$ $\delta=\sqrt{\frac{2m(E_0-E)}{\hbar^2}}$ Eindringwahrscheinl. $E=e^{-\delta L^2}$