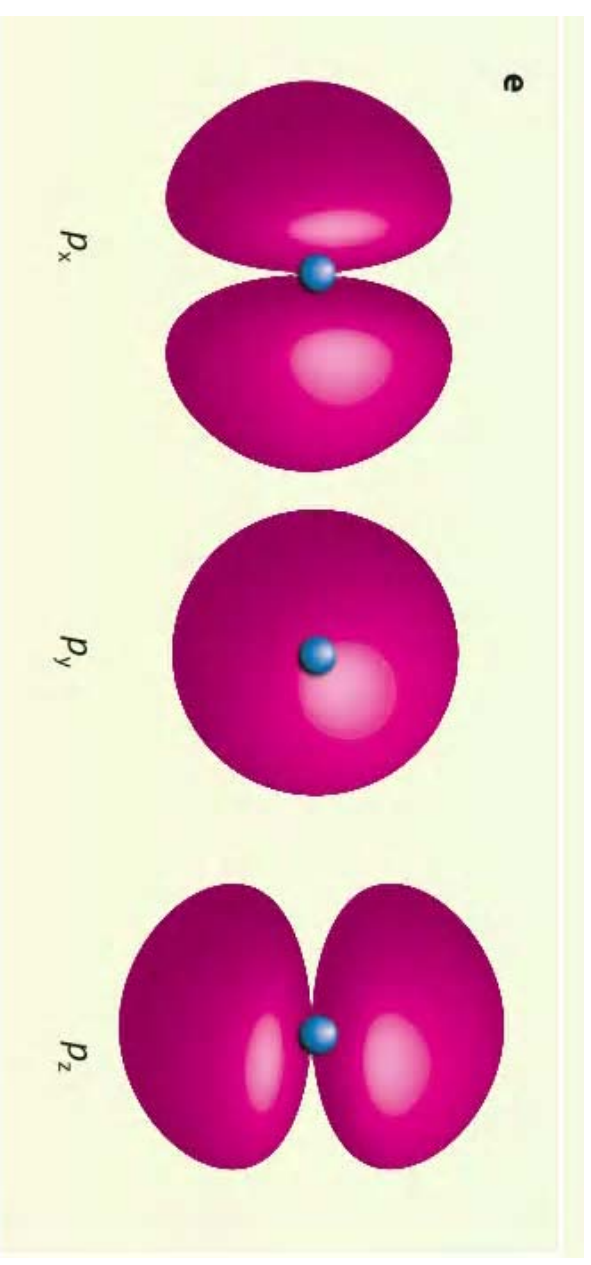
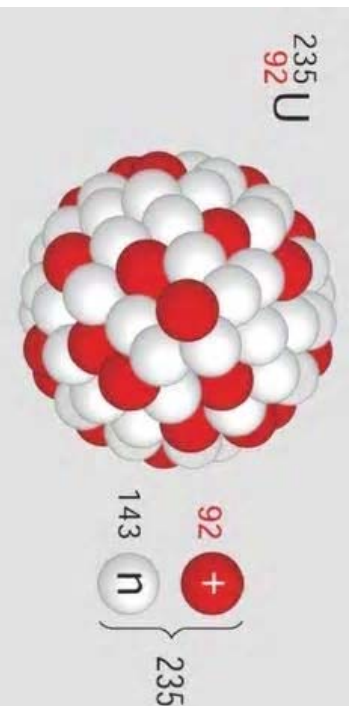
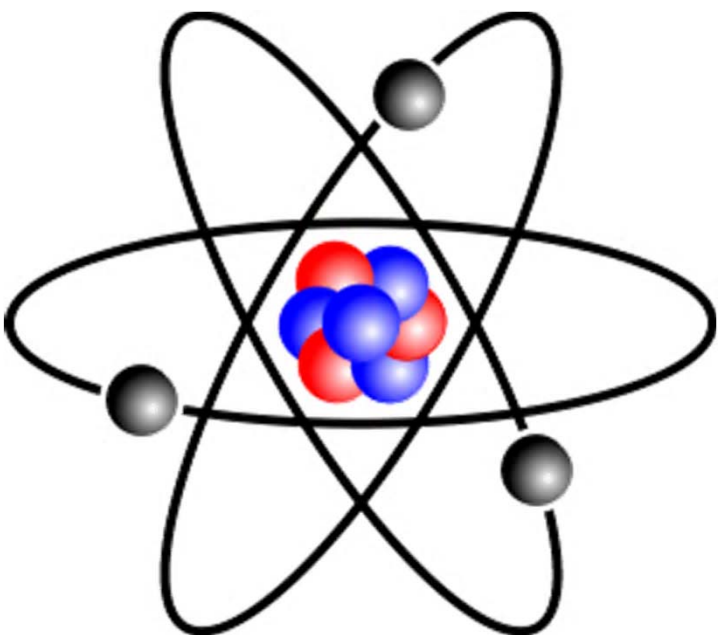


7 Kerne, Atome, Moleküle, Festkörper



Aufbau des Atoms



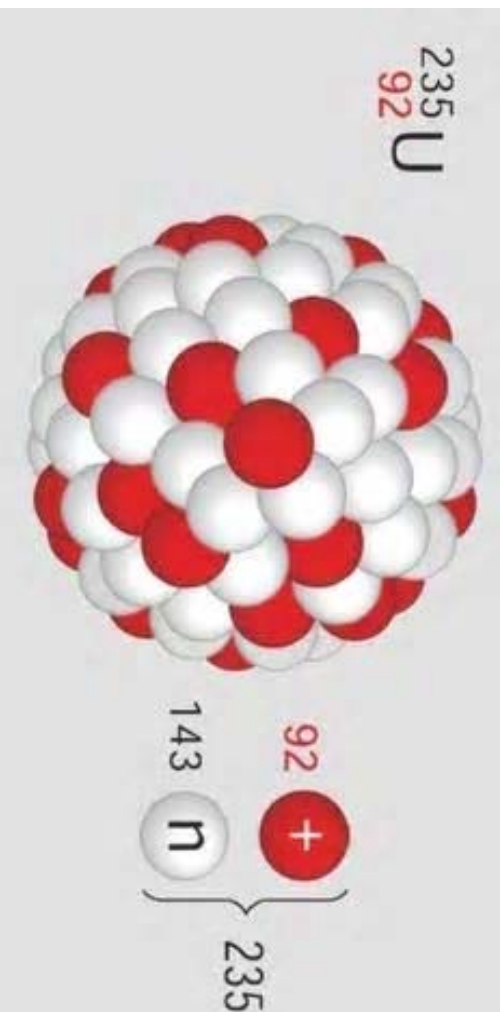
www.wikipedia.de

Particle	Relative Mass	Relative Charge	Charge / C	Mass / kg
Protons	1	+ 1	$+ 1.6 \times 10^{-19}$	1.67×10^{-27}
Neutrons	1	neutral	0	1.67×10^{-27}
Electrons	0.0005	- 1	$- 1.6 \times 10^{-19}$	9.11×10^{-31}

physicnet.co.uk

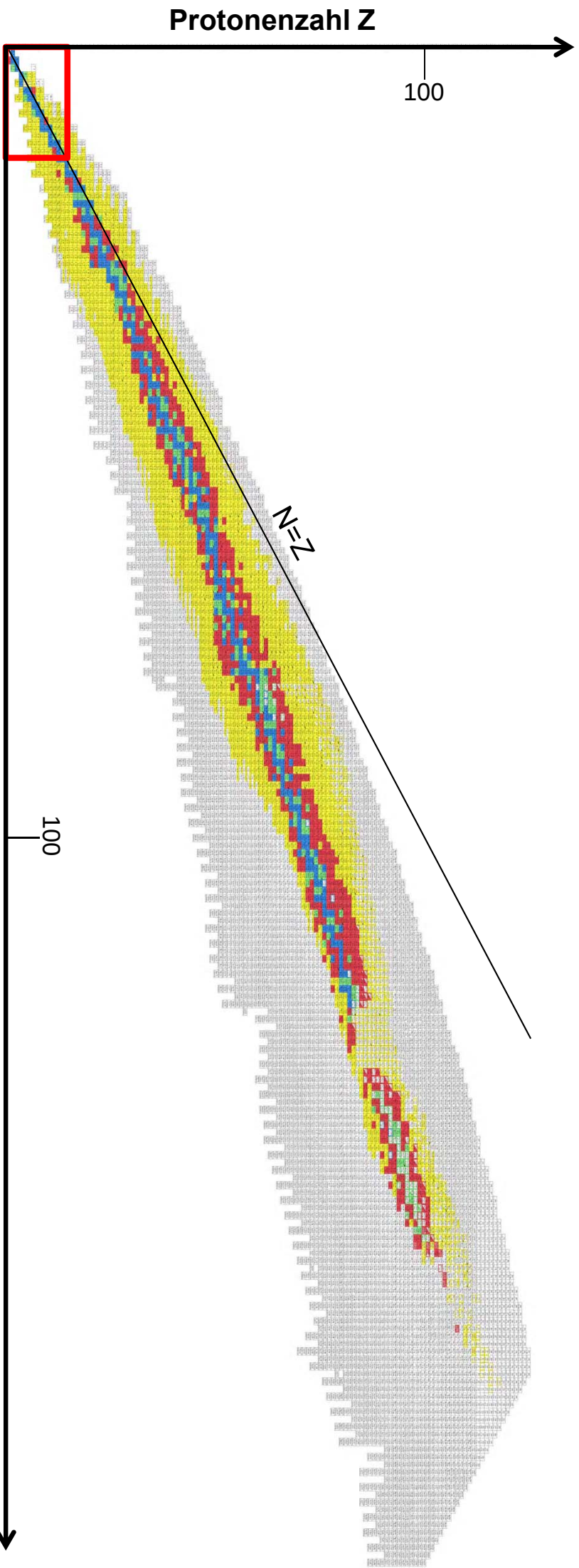
Grundkraft	wichtigste Eigenschaft	relative Stärke	Reichweite
starke Kernkraft	Nukleonenbindung	1	10^{-15} m
elektromagnetische Kraft	elektrische Ladung	10^{-2}	unbegrenzt
schwache Kernkraft	Nukleonen-umwandlung	10^{-13}	10^{-18} m
Gravitation	Masse	10^{-38}	unbegrenzt

Atomkern



www.leifiphysik.de

Nuklidkarte



Neutronenzahl N

www.ndc.jaea.go.jp



Half-life $> 5.0 \times 10^8$ y



$30 \text{ d} < \text{Half-life} < 5.0 \times 10^8 \text{ y}$



$10 \text{ m} < \text{Half-life} < 30 \text{ d}$



Half-life $< 10 \text{ m}$



Half-life not yet measured

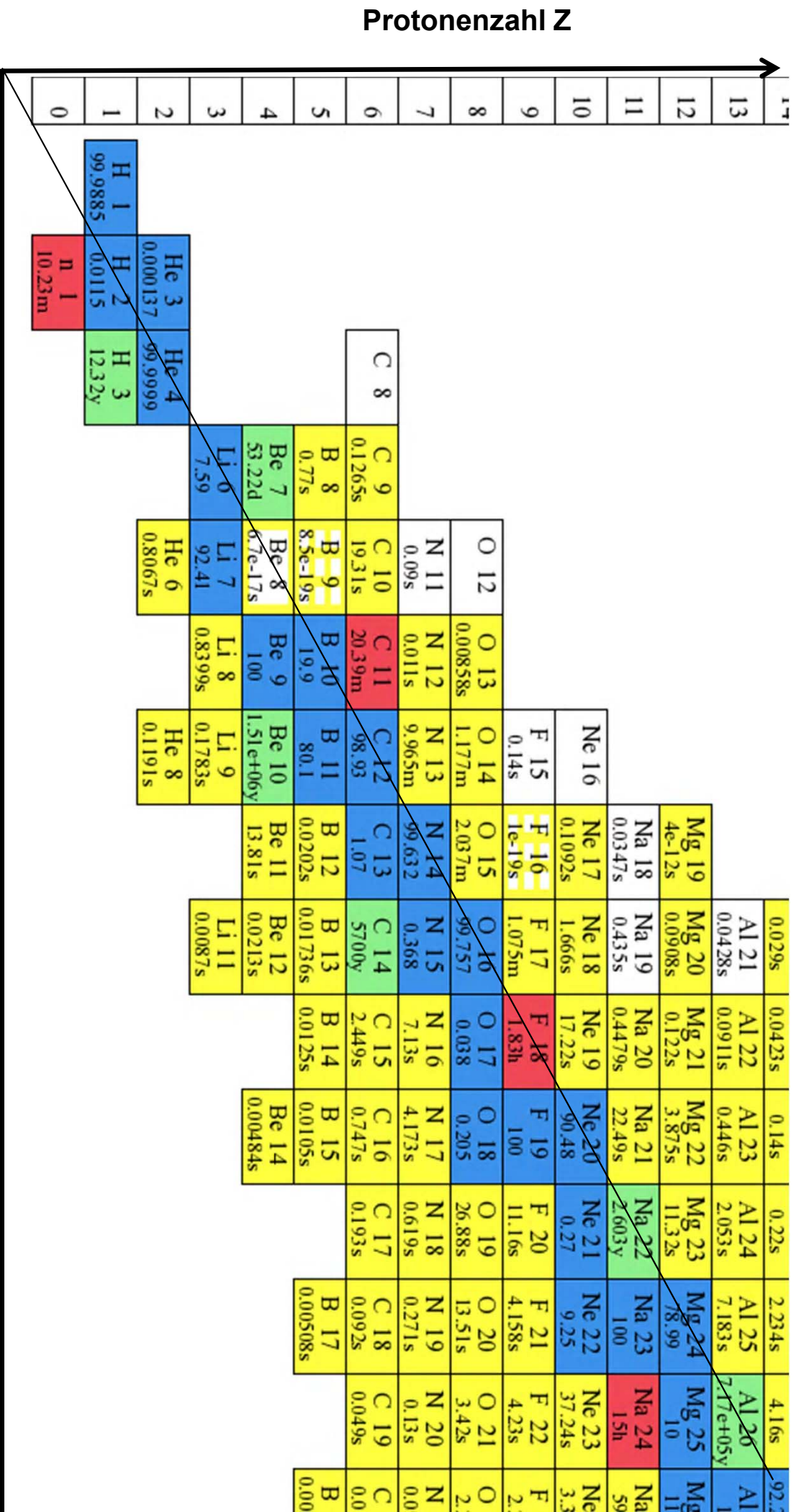


Nuclide not yet synthesized

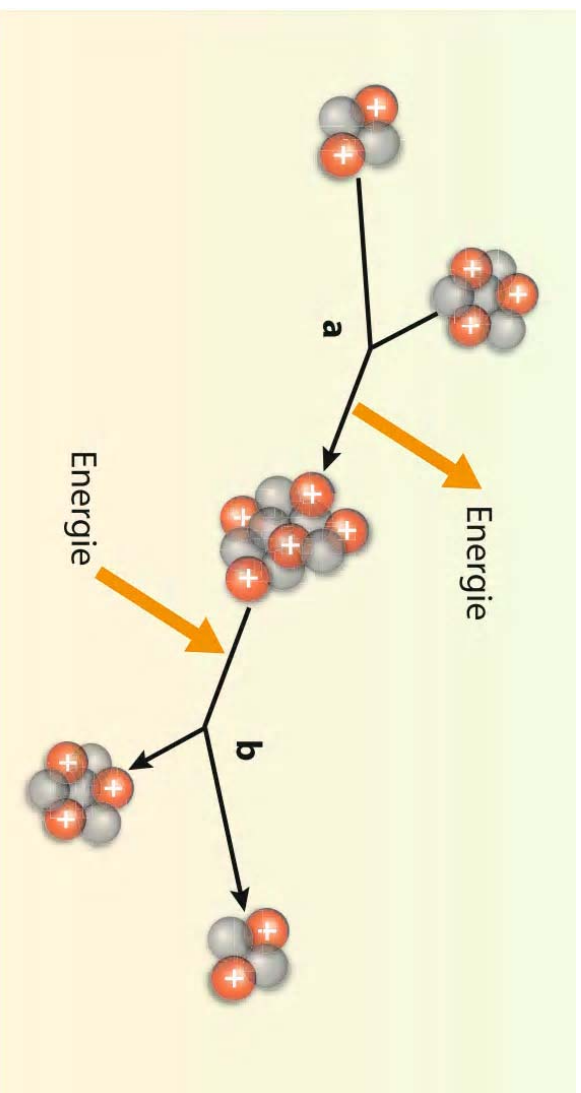


Isomer with longest half-life
Small rectangle: GS half-life

Nuklidkarte



Kernspaltung, Kernfusion

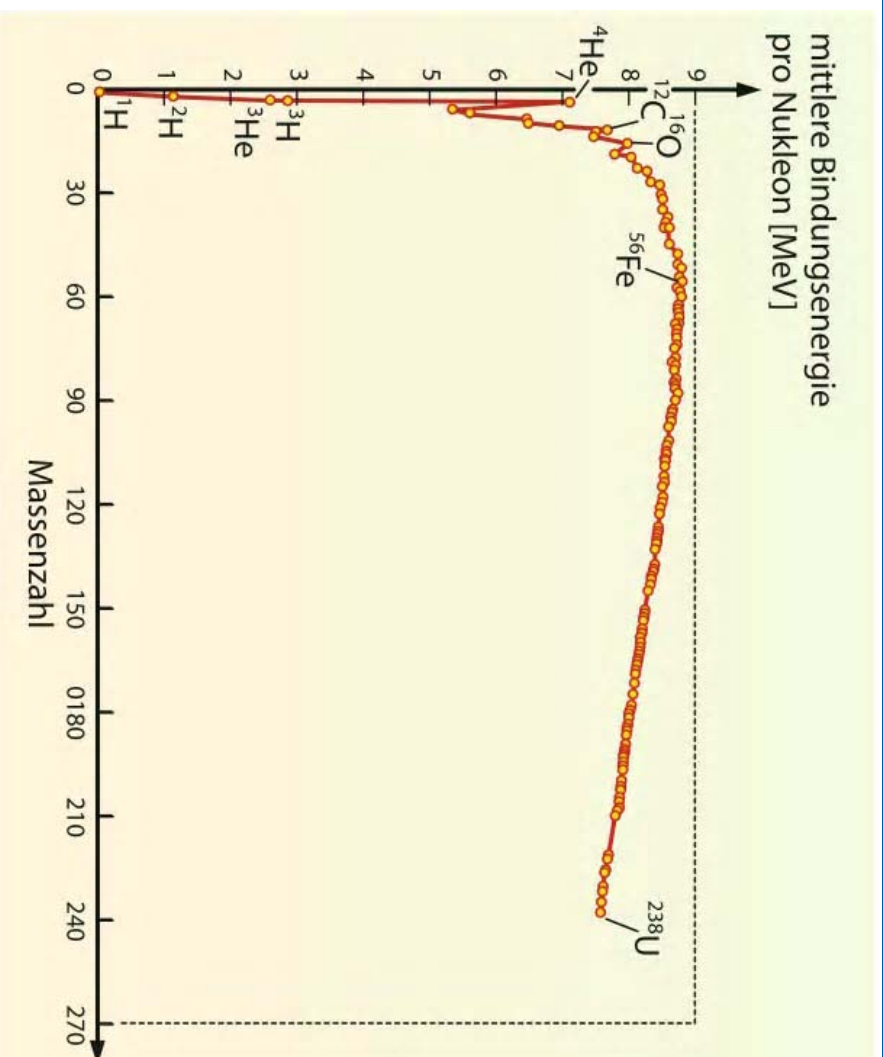


$$E = mc^2$$

Bei der **Fusion** leichter Atomkerne zu einem schwereren Kern wird ein Teil der Nukleonenmasse in Energie umgewandelt und abgestrahlt (a). Um den Kern wieder zu **spalten**, muss diese Bindungsenergie überwunden werden. Die zugeführte Energie wird dabei wieder in Masse überführt (b).

Bei schweren Kernen ist die Energiebilanz umgekehrt: Zur Fusion muss Energie zugeführt werden, bei der Spaltung wird Energie frei.

Kernspaltung, Kernfusion



In Eisenatomen wirkt die größte Bindungsenergie auf die Nukleonen, die daher in diesem Element die geringste Masse haben. Bei der Fusion leichterer Nuklide wird wegen des Massendefekts Energie frei, schwerere Elemente geben dagegen bei der Spaltung Energie ab.

Radioaktiver Zerfall

α -Zerfall:

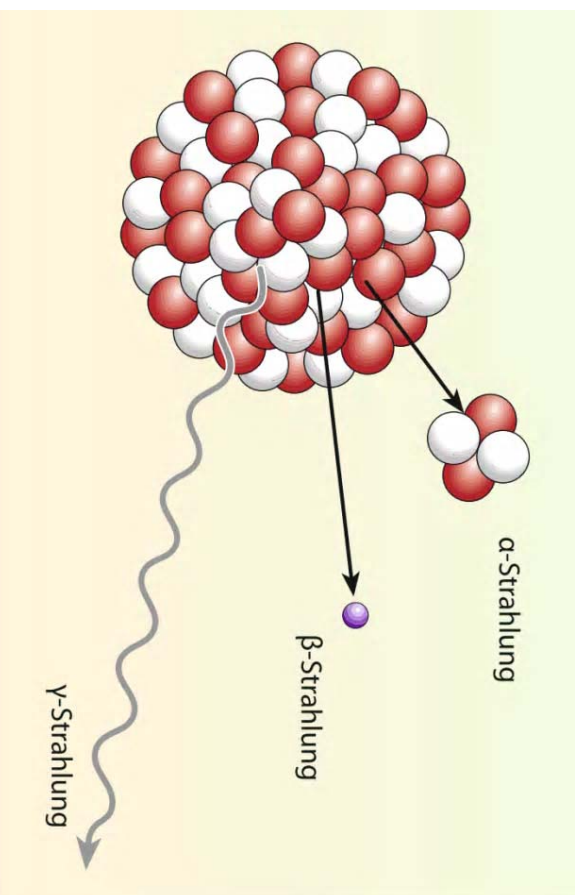
- ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He} + \Delta E$
- Abgabe von He-Kernen

β^- -Zerfall:

- ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}_e + \Delta E$
- Abgabe von Elektronen(β^- : Positronen)

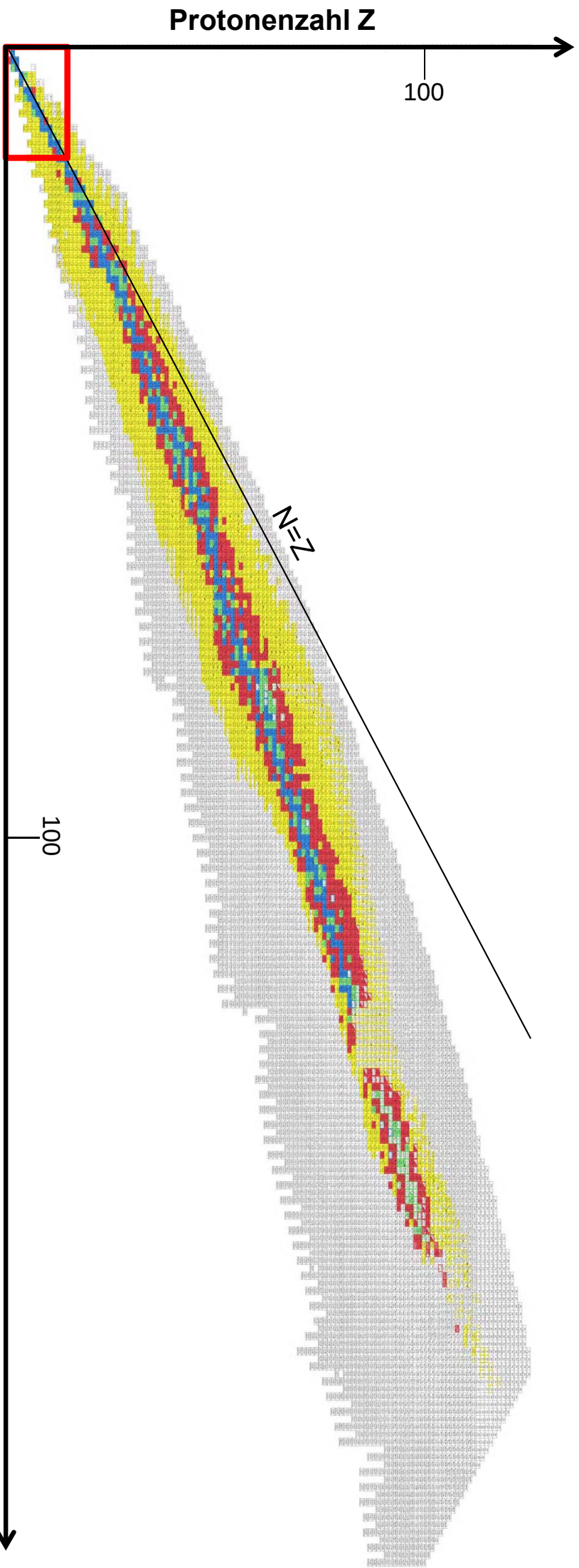
γ -Zerfall:

- ${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma$
- Abgabe von elektromagnetischer Strahlung (Röntgen)



Zerfallstyp	Ursache	Ordnungszahl	Massenzahl	Strahlung	Energie
α-Zerfall	Verhältnis Protonen/ Neutronen zu groß	-2	-4	Heliumkerne	diskret, 1,5 bis 10 MeV
β^--Zerfall	Neutronenüberschuss	+1	keine Änderung	Elektron	kontinuierlich, fast 0 bis 14 MeV
β^+-Zerfall	Protonenüberschuss	-1	keine Änderung	Positron	kontinuierlich, fast 0 bis 14 MeV
γ-Emission	Relaxation des Kerns	keine Änderung	keine Änderung	elektromagnetische γ -Strahlung	0,1 bis 20 MeV

Nuklidkarte



Neutronenzahl N

www.ndc.jaea.go.jp



Half-life $> 5.0 \times 10^8$ y



$30 \text{ d} < \text{Half-life} < 5.0 \times 10^8$ y



$10 \text{ m} < \text{Half-life} < 30 \text{ d}$



Half-life $< 10 \text{ m}$



Half-life not yet measured



Nuclide not yet synthesized



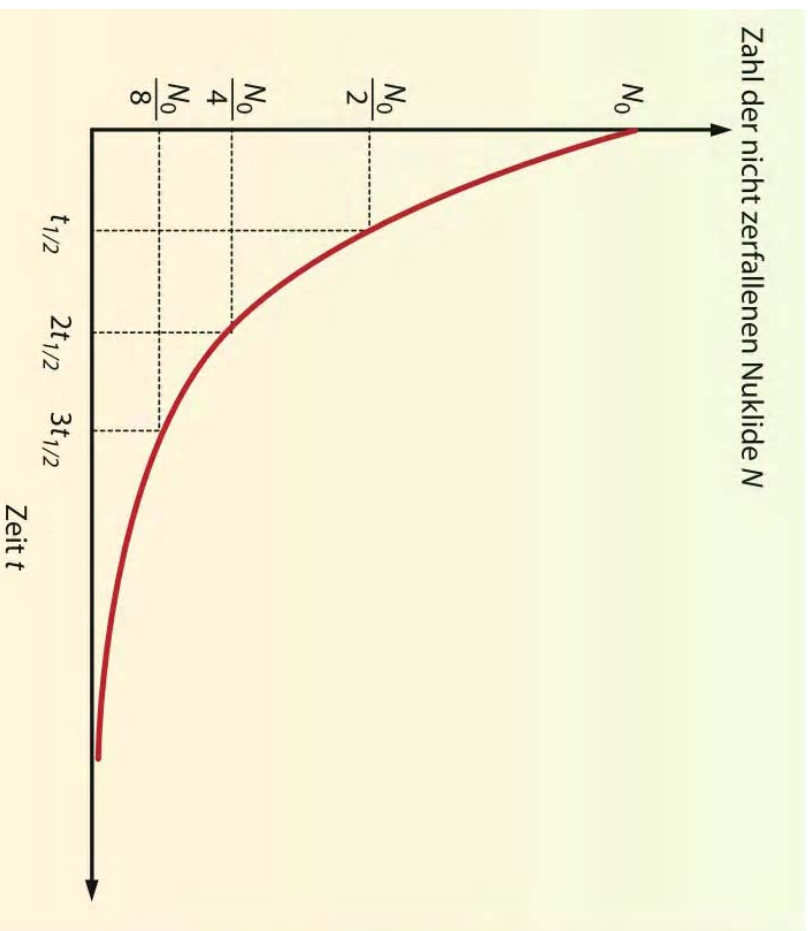
Isomer with longest half-life
Small rectangle: GS half-life

Zerfallsreihe ^{232}Th

5.4 (10)

Bk222	Bk223	Bk224	Bk225	Bk226	Bk227	Bk228	Bk229	Bk230	Bk231	Bk232	Bk233	Bk234	Bk235	Bk236	Bk237	Bk238	Bk239	Bk240
0.0569s	0.0229s	3.97e-06s	1.99e-09s	1.49s	1.83s	5.88e-08s	2.08e-08s	1.76e-08s	4.48e-07s	0.000137s	0.000873s	0.0807s	0.479s	15.5s	32.4s	2.4m	1.51m	4.8m
Cm221	Cm222	Cm223	Cm224	Cm225	Cm226	Cm227	Cm228	Cm229	Cm230	Cm231	Cm232	Cm233	Cm234	Cm235	Cm236	Cm237	Cm238	Cm239
0.0462s	0.0103s	1.46e-06s	3.02s	2.86e-08s	4.05s	7.21e-06s	4.62e-08s	2.31e-05s	6.34e-08s	0.00368s	2.55e-05s	3.04s	51s	1.13m	56.6s	3.97m	2.4h	2.9h
Am220	Am221	Am222	Am223	Am224	Am225	Am226	Am227	Am228	Am229	Am230	Am231	Am232	Am233	Am234	Am235	Am236	Am237	Am238
0.678s	0.109s	1.03e-05s	3.9e-09s	1.91e-07s	1.01e-06s	7.23e-05s	0.000286s	0.0149s	0.0741s	2.03s	3.24s	1.32m	3.2m	2.32m	9.9m	3.6m	1.227h	1.633h
Pu219	Pu220	Pu221	Pu222	Pu223	Pu224	Pu225	Pu226	Pu227	Pu228	Pu229	Pu230	Pu231	Pu232	Pu233	Pu234	Pu235	Pu236	Pu237
0.776s	0.0685s	5.94e-06s	1.37e-09s	1.27e-07s	5.33e-07s	3.59e-05s	0.000134s	0.0117s	1.1s	2m	1.7m	8.6m	34.1m	20.9m	8.8h	25.3m	2.858y	45.2d
Np218	Np219	Np220	Np221	Np222	Np223	Np224	Np225	Np226	Np227	Np228	Np229	Np230	Np231	Np232	Np233	Np234	Np235	Np236
1.53s	4.38s	0.000123s	1.81e-08s	9.57e-07s	3.78e-06s	0.000333s	0.000817s	0.035s	0.51s	1.023m	4m	4.6m	48.8m	14.7m	36.2m	4.4d	1.085y	1.54e+05y
U217	U218	U219	U220	U221	U222	U223	U224	U225	U226	U227	U228	U229	U230	U231	U232	U233	U234	U235
0.016s	0.00051s	8e-05s	8.75e-09s	4.63e-07s	1e-06s	1.8e-05s	0.0007s	0.061s	0.35s	1.1m	9.1m	58m	20.8d	4.2d	68.9y	1.59e+05y	0.00055	0.72
Pa216	Pa217	Pa218	Pa219	Pa220	Pa221	Pa222	Pa223	Pa224	Pa225	Pa226	Pa227	Pa228	Pa229	Pa230	Pa231	Pa232	Pa233	Pa234
0.167s	0.0036s	0.000113s	5.3e-08s	7.8e-07s	5.9e-06s	0.0029s	0.00051s	0.79s	1.7s	1.8m	38.3m	22h	1.5d	17.4d	3.28e+04y	1.32d	26.98d	6.7h
Th215	Th216	Th217	Th218	Th219	Th220	Th221	Th222	Th223	Th224	Th225	Th226	Th227	Th228	Th229	Th230	Th231	Th232	Th233
1.2s	0.026s	0.000251s	1.17e-07s	1.05e-06s	9.7e-06s	0.00173s	0.002237s	0.6s	1.05s	8.72m	30.57m	18.68d	1.912y	7340y	7.54e+04y	1.063d	100	22.3m
Ac214	Ac215	Ac216	Ac217	Ac218	Ac219	Ac220	Ac221	Ac222	Ac223	Ac224	Ac225	Ac226	Ac227	Ac228	Ac229	Ac230	Ac231	Ac232
8.2s	0.17s	0.000441s	6.9e-08s	1.08e-06s	1.18e-05s	0.0264s	0.052s	1.05m	2.1m	2.78m	10d	2.78d	21.77y	6.15h	1.045h	6.63m	7.5m	1.983m
Ra213	Ra214	Ra215	Ra216	Ra217	Ra218	Ra219	Ra220	Ra221	Ra222	Ra223	Ra224	Ra225	Ra226	Ra227	Ra228	Ra229	Ra230	Ra231
2.74m	2.46s	0.00155s	1.82e-07s	1.6e-06s	2.52e-05s	0.01s	0.018s	28s	36.17s	11.44d	3.66d	14.9d	1600y	42.2m	5.75y	4m	1.55h	1.717m
Fr212	Fr213	Fr214	Fr215	Fr216	Fr217	Fr218	Fr219	Fr220	Fr221	Fr222	Fr223	Fr224	Fr225	Fr226	Fr227	Fr228	Fr229	Fr230
20m	34.6s	0.0005s	8.6e-08s	7e-07s	1.9e-05s	0.022s	0.02s	27.4s	4.9m	14.2m	22m	3.33m	4m	49s	2.47m	38s	50.2s	19.1s
Rn211	Rn212	Rn213	Rn214	Rn215	Rn216	Rn217	Rn218	Rn219	Rn220	Rn221	Rn222	Rn223	Rn224	Rn225	Rn226	Rn227	Rn228	Rn229
14.6h	23.9m	0.025s	2.7e-07s	2.3e-06s	4.5e-05s	0.00054s	0.035s	3.96s	55.6s	25.7m	3.824d	24.3m	1.783h	4.66m	7.4m	20.8s	1.083m	13.2s
At210	At211	At212	At213	At214	At215	At216	At217	At218	At219	At220	At221	At222	At223	At224	At225	At226	At227	At228
8.1h	7.214h	0.314s	1.25e-07s	5.58e-07s	0.00001s	0.0003s	0.0323s	1.5s	56s	3.71m	2.3m	54s	50s	8.58s	11.7s	4.17s	3.83s	1.82s
Po209	Po210	Po211	Po212	Po213	Po214	Po215	Po216	Po217	Po218	Po219	Po220	Po221	Po222	Po223	Po224	Po225	Po226	Po227
102y	138.4d	25.2s	45.1s	4.2e-06s	0.0001643	0.001781s	0.1445s	1.46s	3.098m	1.89m	1.51m	26.2s	28.6s	9.62s	8.23s	3.63s	2.61s	1.6s
Bi208	Bi209	Bi210	Bi211	Bi212	Bi213	Bi214	Bi215	Bi216	Bi217	Bi218	Bi219	Bi220	Bi221	Bi222	Bi223	Bi224	Bi225	Bi226
3.68e+05y	100	3.04e+06y	2.14m	1.009y	15.59m	4.9m	7.7m	2.25m	1.55m	33s	7.49s	3.12s	3.75s	1.49s	1.53s	0.767s	0.743s	0.461s
Pb207	Pb208	Pb209	Pb210	Pb211	Pb212	Pb213	Pb214	Pb215	Pb216	Pb217	Pb218	Pb219	Pb220	Pb221	Pb222	Pb223	Pb224	Pb225
22.1	52.4	3.253h	22.2y	36.1m	10.64h	10.2m	26.8m	36s	1.27m	24s	16.7s	5.1s	2.68s	1.24s	1.11s	0.663s	0.588s	0.398s
Tl206	Tl207	Tl208	Tl209	Tl210	Tl211	Tl212	Tl213	Tl214	Tl215	Tl216	Tl217	Tl218	Tl219	Tl220	Tl221	Tl222	Tl223	Tl224
4.202m	4.77m	3.053m	2.2m	1.3m	5.38s	2.38s	2.33s	1.21s	1.15s	0.689s	0.629s	0.406s	0.407s	0.351s	0.361s	0.238s	0.221s	0.151s
Hg205	Hg206	Hg207	Hg208	Hg209	Hg210	Hg211	Hg212	Hg213	Hg214	Hg215	Hg216	Hg217	Hg218	Hg219	Hg220	Hg221	Hg222	Hg223
5.14m	8.32m	2.9m	41m	35s	3.47s	2.16s	1.8s	1.28s	1.02s	0.728s	0.58s	0.403s	0.389s	0.332s	0.277s	0.204s	0.174s	0.132s
Au204	Au205	Au206	Au207	Au208	Au209	Au210	Au211	Au212	Au213	Au214	Au215	Au216	Au217	Au218	Au219	Au220	Au221	Au222
39.8s	31s	1.45s	1.6s	0.92s	0.886s	0.623s	0.602s	0.376s	0.33s	0.244s	0.208s	0.16s	0.161s	0.133s	0.116s	0.0899s	0.0785s	0.0616s
Pt203	Pt204	Pt205	Pt206	Pt207	Pt208	Pt209	Pt210	Pt211	Pt212	Pt213	Pt214	Pt215	Pt216	Pt217	Pt218	Pt219	Pt220	Pt221

Halbwertszeit



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

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Beim radioaktiven Zerfall nimmt die Zahl der übrig gebliebenen Kerne N **exponentiell** mit der Zeit t ab. Unabhängig davon, wann wir die Messung starten, ist dadurch immer nach Ablauf der **Halbwertszeit** $t_{1/2}$ die Hälfte der anfänglichen Kerne zerfallen.

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

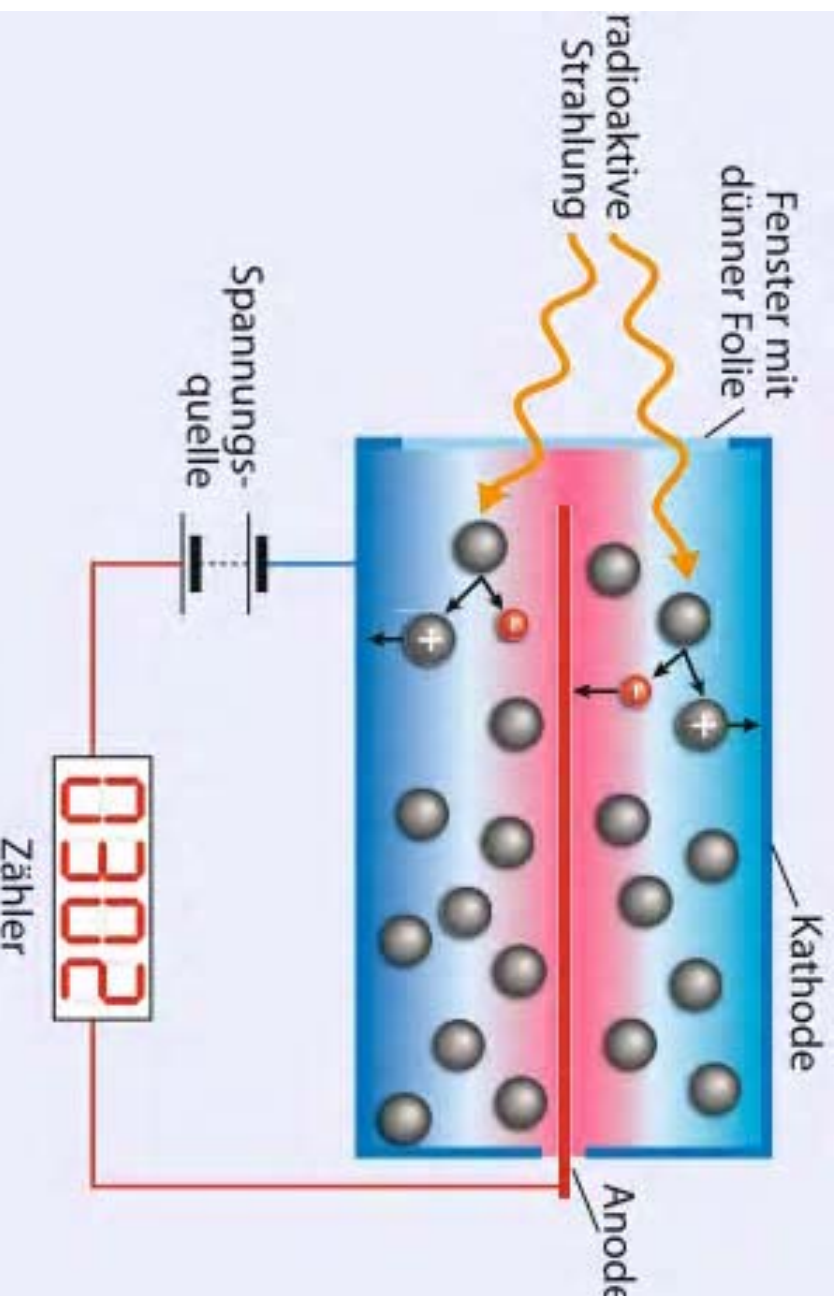
$$N(t_{1/2}) = \frac{1}{2} N_0 = N_0 \cdot e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

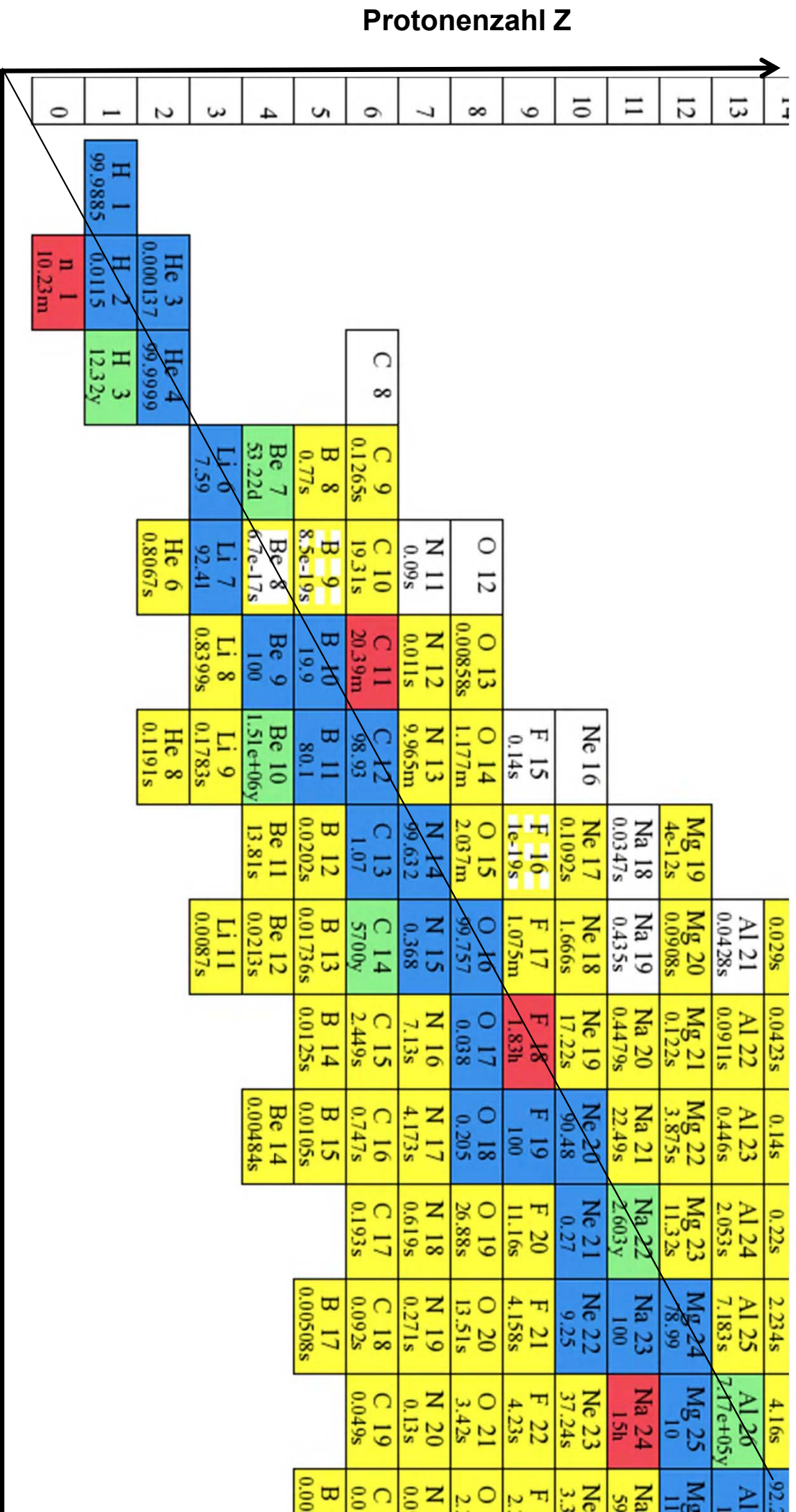
$$\Leftrightarrow 2 = e^{\lambda t_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2} \quad | \quad \frac{\ln 2}{\lambda} = t_{1/2}$$

Nachweis von Radioaktivität



Nuklidkarte



Downloaded from <https://www.cambridge.org/core>. University of Cambridge, on 01 Jun 2018 at 11:00:00, subject to the Cambridge Core terms of use, available at <https://www.cambridge.org/core/terms>. <https://doi.org/10.1017/9781315326477.008>

[illegible]

Elektron

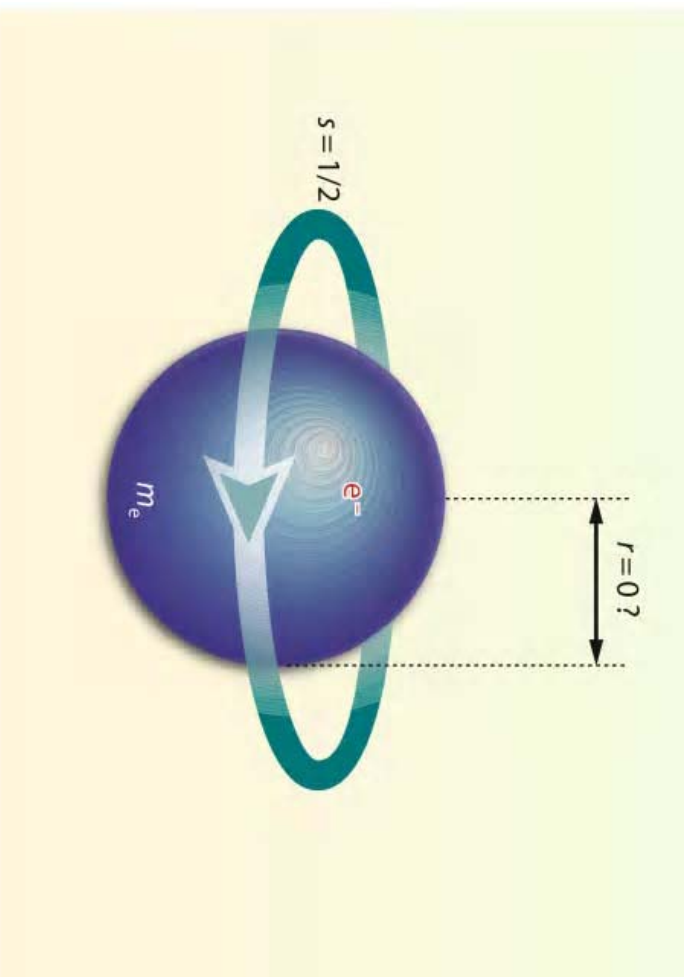


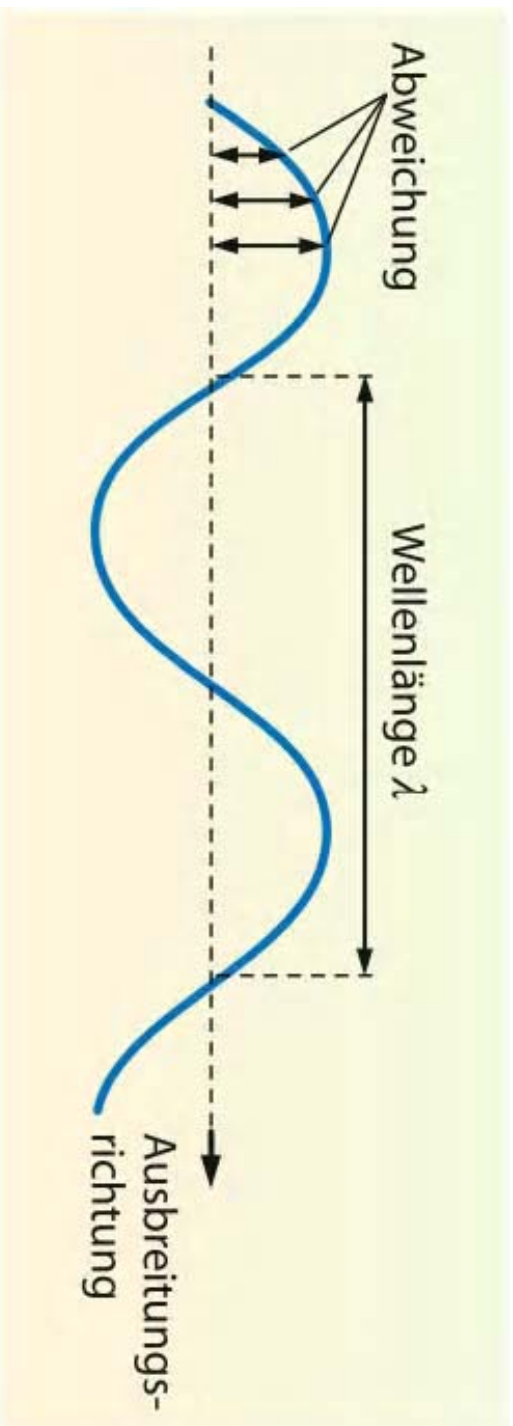
Tabelle 2.1 Daten des Elektrons

Lebensdauer	∞
Ladung	$-1 (-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})$
Spin	$\pm 1/2 \cdot \hbar$
Masse	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Durchmesser	unbekannt

Planck'sche
Wirkungsquantum

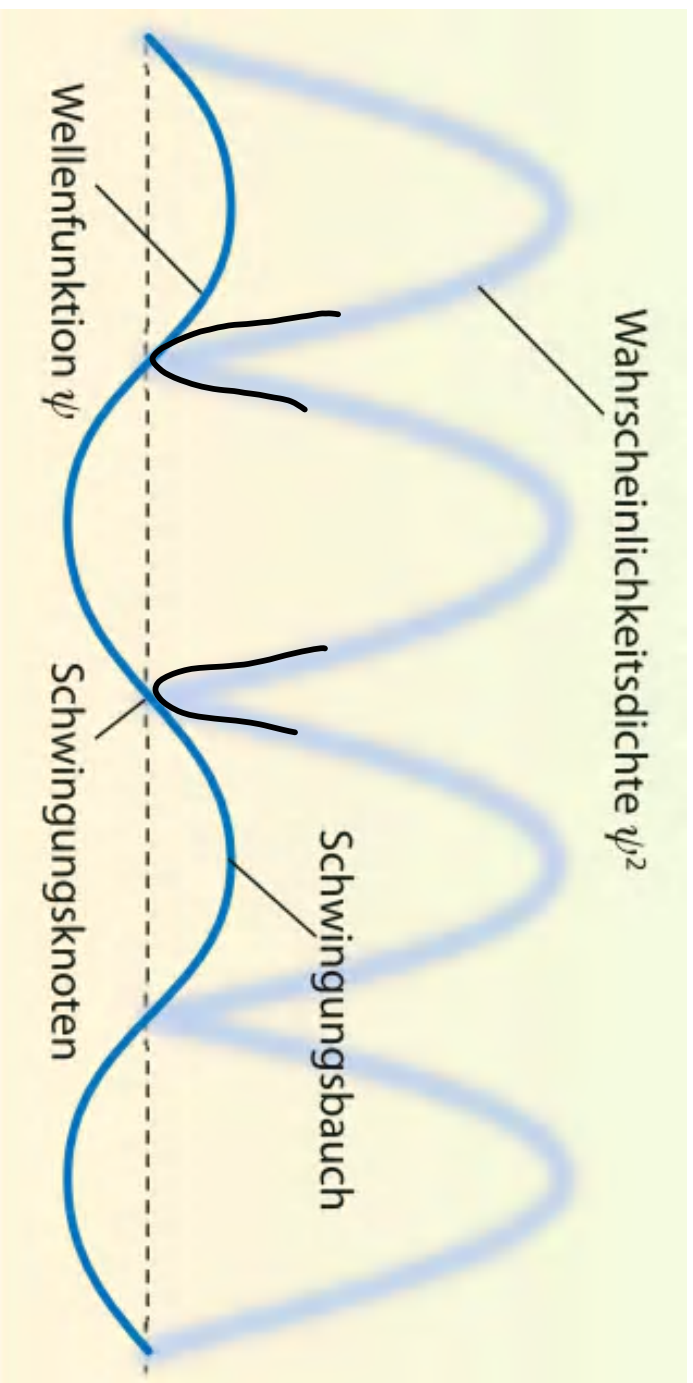
$$\begin{aligned} \hbar &= \frac{h}{2\pi} \\ &= 1,054571726(47) \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ &= 6,58211928(15) \cdot 10^{-16} \text{ eVs} \end{aligned}$$

Elektron als Welle



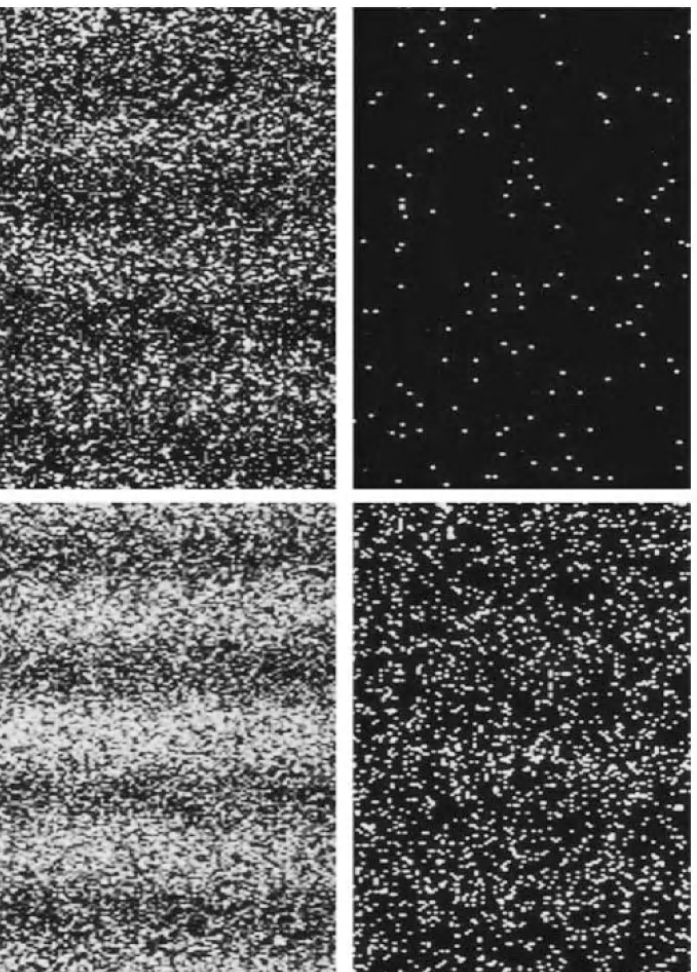
de Broglie: $\lambda = \frac{h}{p}$

Wahrscheinlichkeitsdichte



Beschreibt die Wellenfunktion eine Sinuskurve, liefert uns ihr Quadrat die Wahrscheinlichkeitsdichte als Maß dafür, das Elektron an dem jeweiligen Punkt zu finden. Im Bereich der Schwingungsbauche ist sie am größten, während die Chance an den Schwingungsknoten gleich null ist. Für dreidimensionale Wellenfunktionen erhalten wir teilweise sehr komplexe Formen für die Orbitale genannten Räume, in denen das Elektron mit 90-prozentiger Wahrscheinlichkeit anzutreffen ist.

Doppelspaltexperiment mit Elektronen



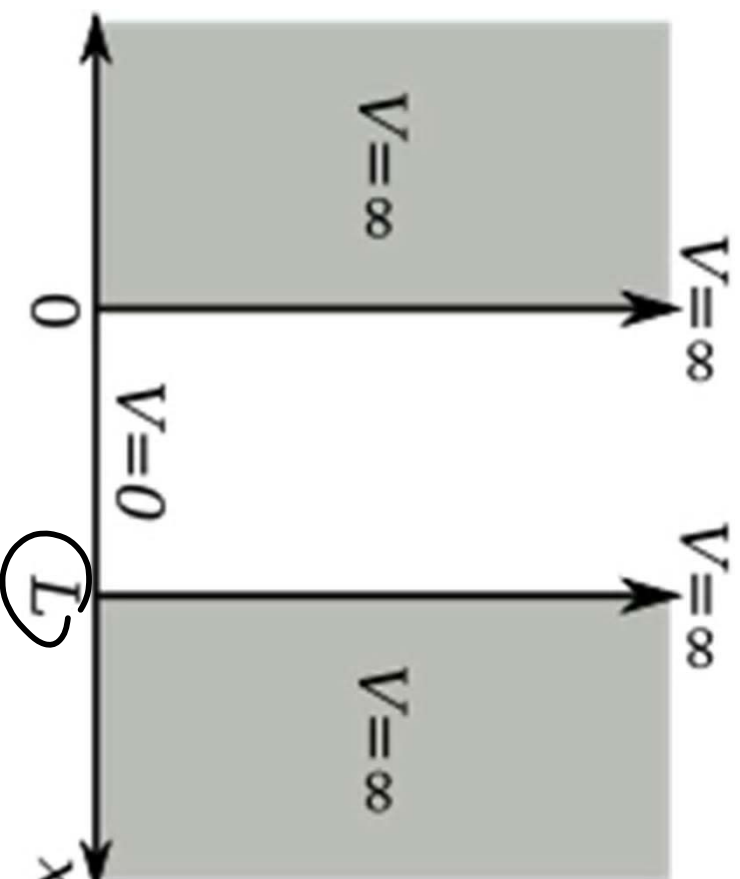
Interferenzmuster, die durch Elektronen hinter einem Doppelspalt erzeugt werden, zeigen umso deutlichere Interferenzstreifen, je höher die Anzahl der durch die Spalte tretenden Elektronen ist – hier sind es 10, 100, 3000 bzw. 70 000 Elektronen. Die Maxima und Minima im Interferenzmuster demonstrieren die Wellennatur des Elektrons. Dagegen demonstriert jeder Punkt am Schirm die Teilchennatur des Elektrons, das mit dem Detektor Energie austauscht.

$$\sqrt{2mE} = \frac{n\hbar}{2L}$$

$$E = \frac{n^2 \hbar^2}{4L^2} \cdot \frac{1}{2m}$$

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

Elektron im Kastenpotenzial



$$p = m \cdot v$$

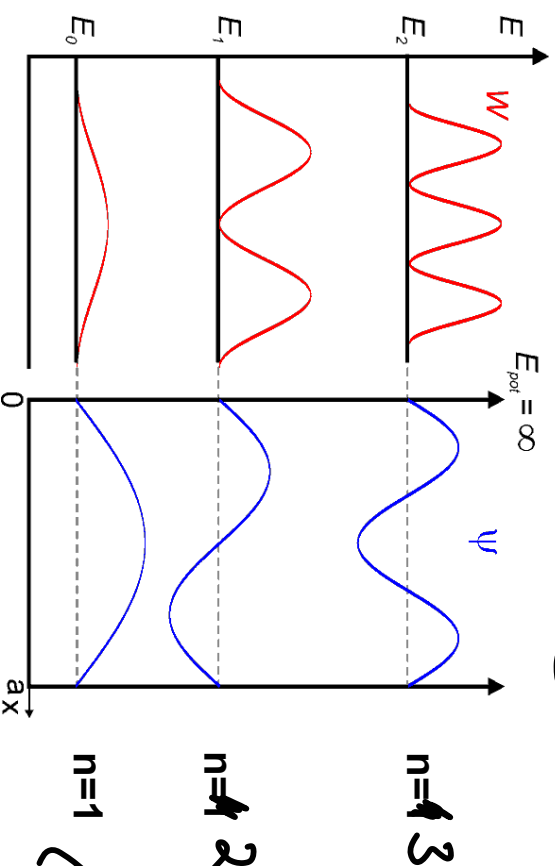
$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m}$$

$$p = \sqrt{2mE}$$

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

$$\frac{2L}{\lambda} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

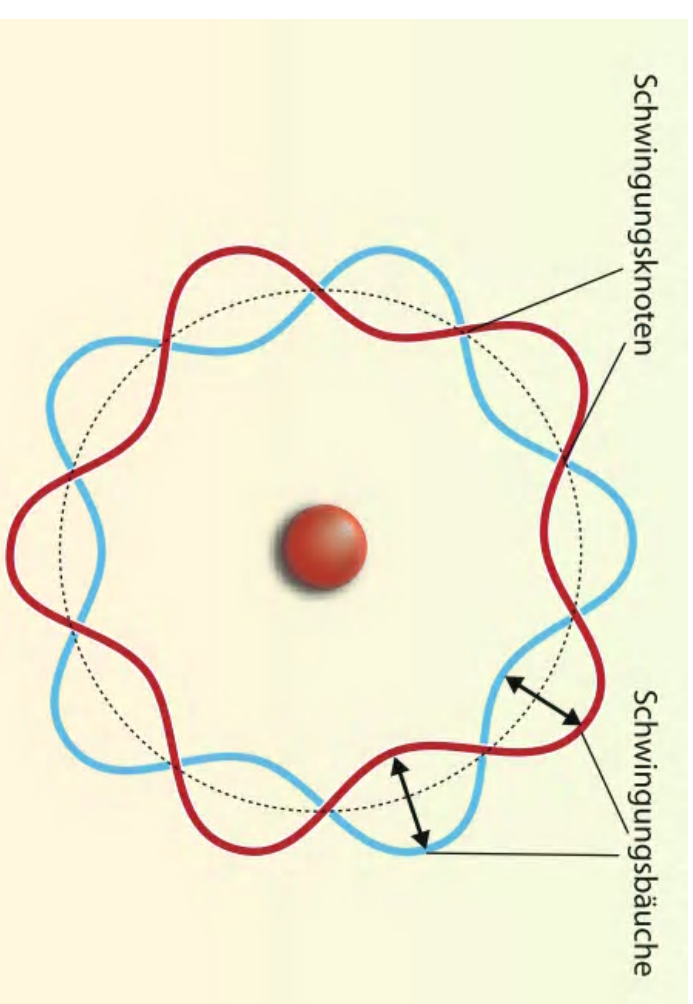
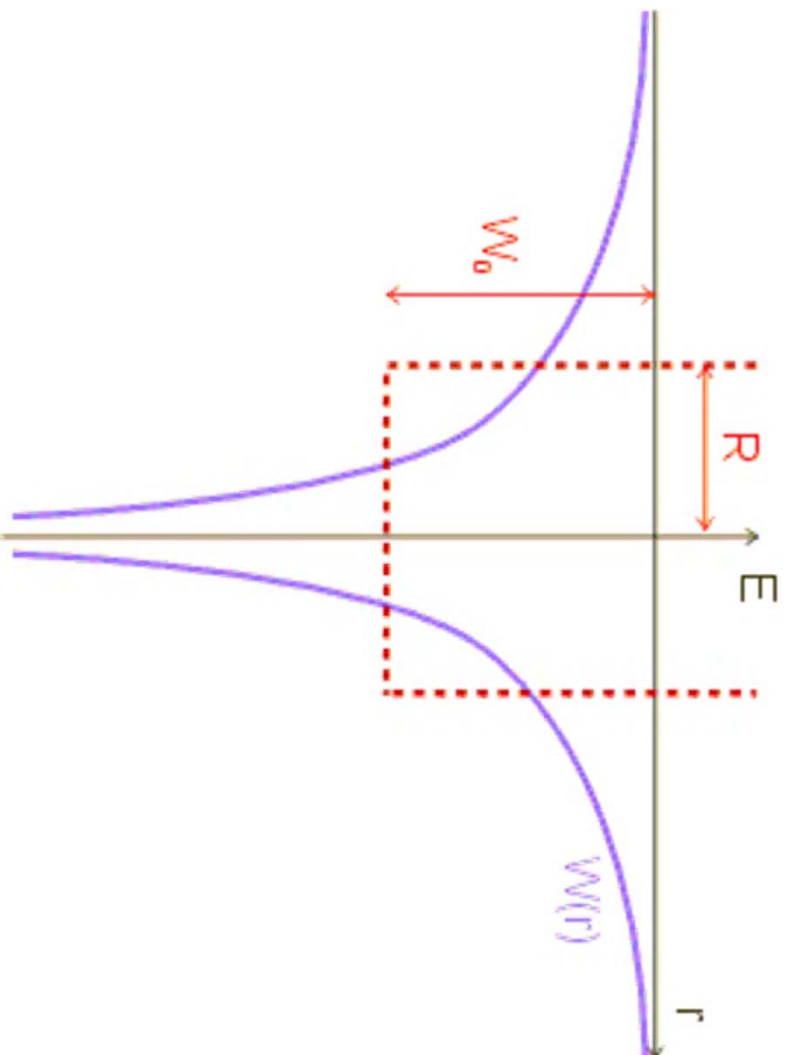
$$\Rightarrow \sqrt{2mE} = \frac{n \cdot h}{2L}$$



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

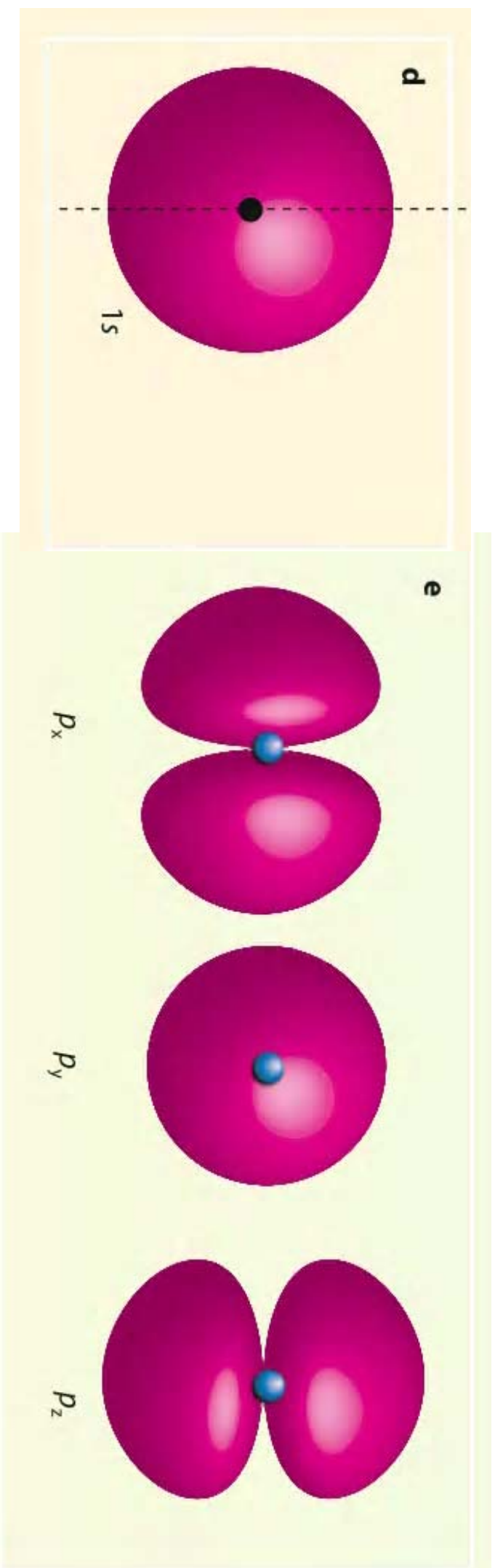
$$\Rightarrow \lambda = \frac{2L}{n}$$

Elektron im Wasserstoff



Damit sich eine kreisförmige Welle nicht selbst auslöscht, müssen ihr Anfang und Ende nahtlos ineinander übergehen. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge auf den Umfang passt. Es entsteht eine stehende Welle mit unbewegten Schwingungsknoten und Schwingungsbäuchen mit voller Amplitude.

Orbitale



Orbitale

Beschreibung der Wellenfunktion durch  Quantenzahlen:

Hauptquantenzahl n : ℓ

- $n = 1, 2, \dots$
- Orbital erstreckt sich umso weiter nach außen, je größer n ist
- maßgeblich für Energie des Elektrons

Nebenquantenzahl l (Drehimpulsquantenzahl)

- $l = 0, \dots, (n-1)$
- übliche Bezeichnung durch Buchstaben:
 - $s: l = 0$
 - $p: l = 1$
 - $d: l = 2$
 - $f: l = 3$
- bestimmt die Form der Orbitale
- kleiner Einfluß auf Energie des Elektrons

magnetische Quantenzahl m

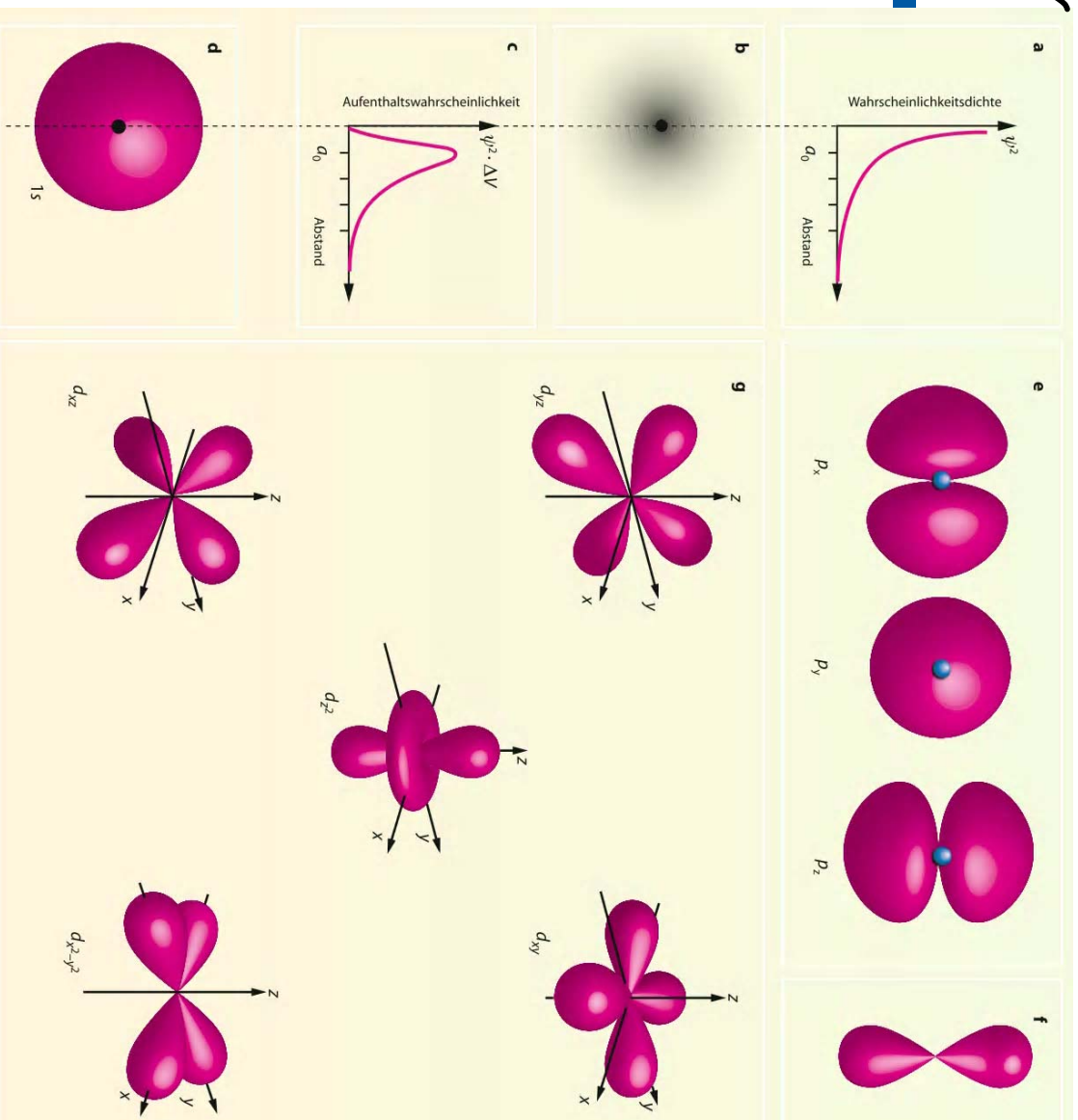
- $m = -l, -(l-1), \dots, 0, \dots, (l-1), l$
- bestimmt Ausrichtung des Orbitals

Spinquantenzahl s

- $s = -1/2, +1/2$
- Eigendreh Sinn des Elektrons

Pauli-Prinzip: In einem Atom dürfen keine zwei Elektronen in allen vier Quantenzahlen (n, l, m und s) übereinstimmen.

$$= 2p$$



$$3d$$

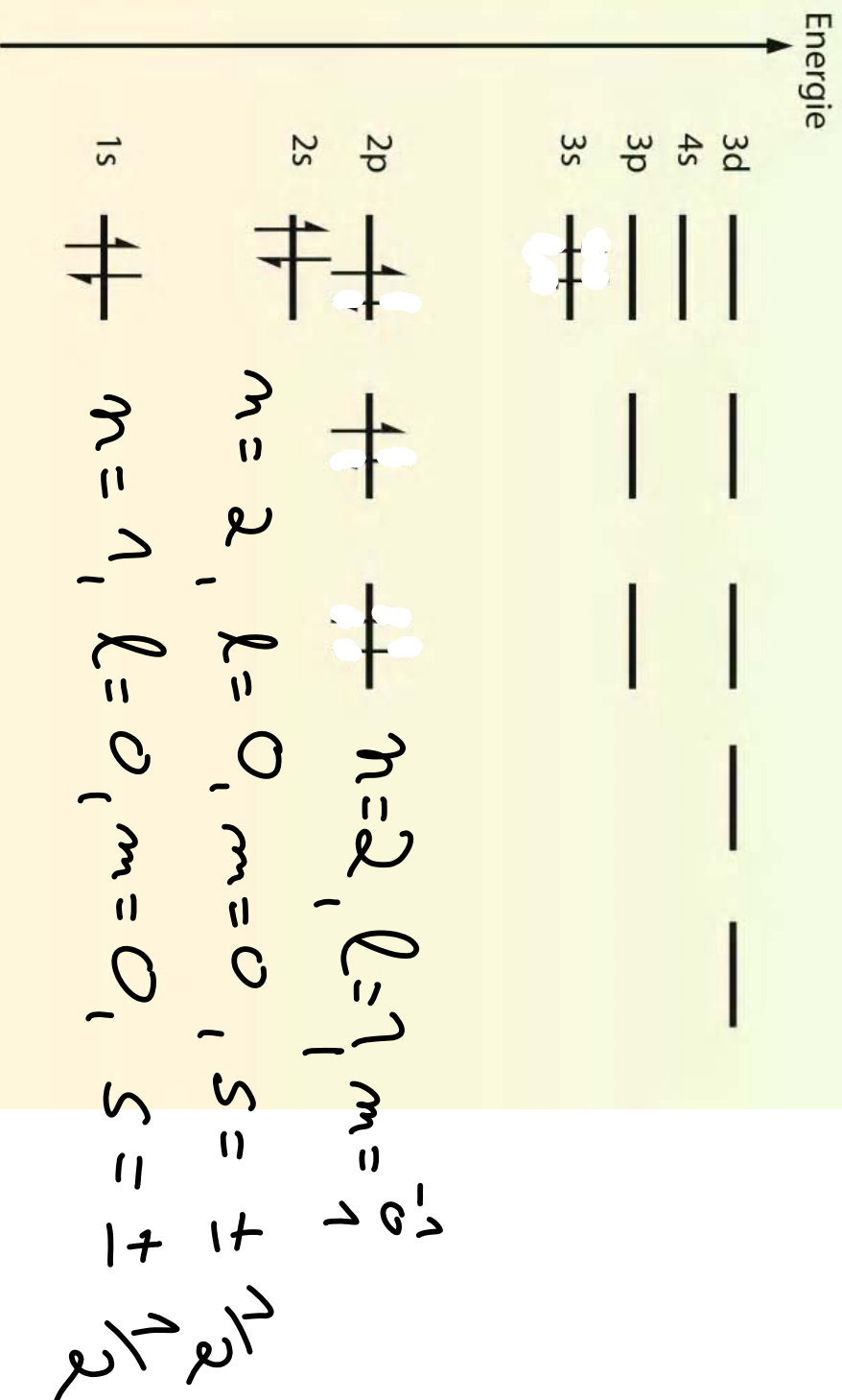
Die Orbitale des Wasserstoffatoms sind ein gutes Modell für alle Atomorbitale. Am einfachsten ist das 1s-Orbital aufgebaut (a-d). Die Wahrscheinlichkeitsdichte ist für das Elektron in Kernnähe am größten und fällt nach außen hin exponentiell ab, ohne jemals gleich null zu werden (a). Im Querschnitt erscheint das Orbital wie eine Kugelwolke mit diffusen Rändern (b). Die Kurve der Aufenthaltswahrscheinlichkeit verläuft anders als bei der Wahrscheinlichkeitsdichte, weil das Volumen ΔV der betrachteten Kugelschale immer größer wird. Dadurch nimmt die Chance, auf das Elektron zu treffen, zunächst mit steigendem Abstand zum Kern zu, erreicht beim Bohr'schen Radius a_0 ein Maximum und nimmt dann steil ab (c). Zur bildlichen Darstellung von Orbitalen wird meistens die Grenzfläche gezeichnet, innerhalb derer das Elektron mit 90-prozentiger Wahrscheinlichkeit anzutreffen ist (d). Die drei p-Orbitale haben dann die Form dicker Hanteln, die sich entlang einer Raumachse orientieren (e). Weil sie sich gegenseitig überlappen, werden sie zur Übersichtlichkeit häufig in einer vereinfachten langgestreckten Variante gezeichnet (f). Vier der fünf d-Orbitale sind kreuzförmig und ordnen sich in den Ebenen zwischen den Raumachsen an. Das fünfte d-Orbital ähnelt einer Hantel, die im zentralen Bereich von einem Torus umgeben ist (g).

(Farbe	U
rot	-0,533 ✓
blau	-1,577 ✓
grün	-1,077 ✓

Elektronenkonfiguration

Beispiel: Kohlenstoff (C)

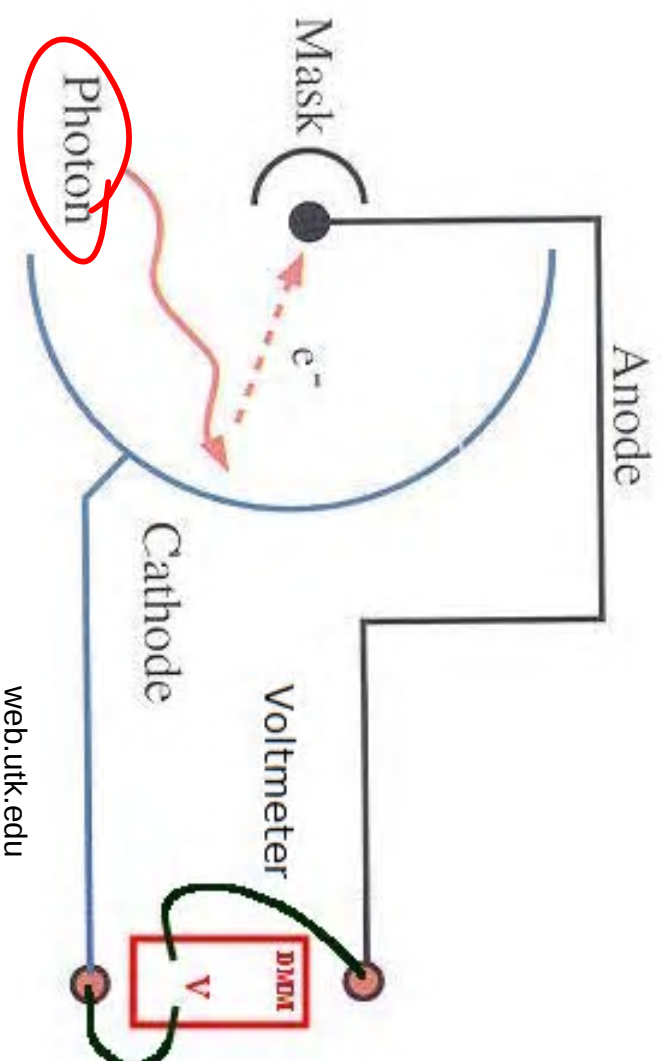
- 6 Elektronen
- $1s^2 \quad 2s^2 \quad 2p^2$



~~1s~~
~~2s 2p~~
~~3s 3p 3d~~
~~4s 4p 4d 4f~~
~~5s 5p 5d 5f ...~~
~~6s 6p 6d~~

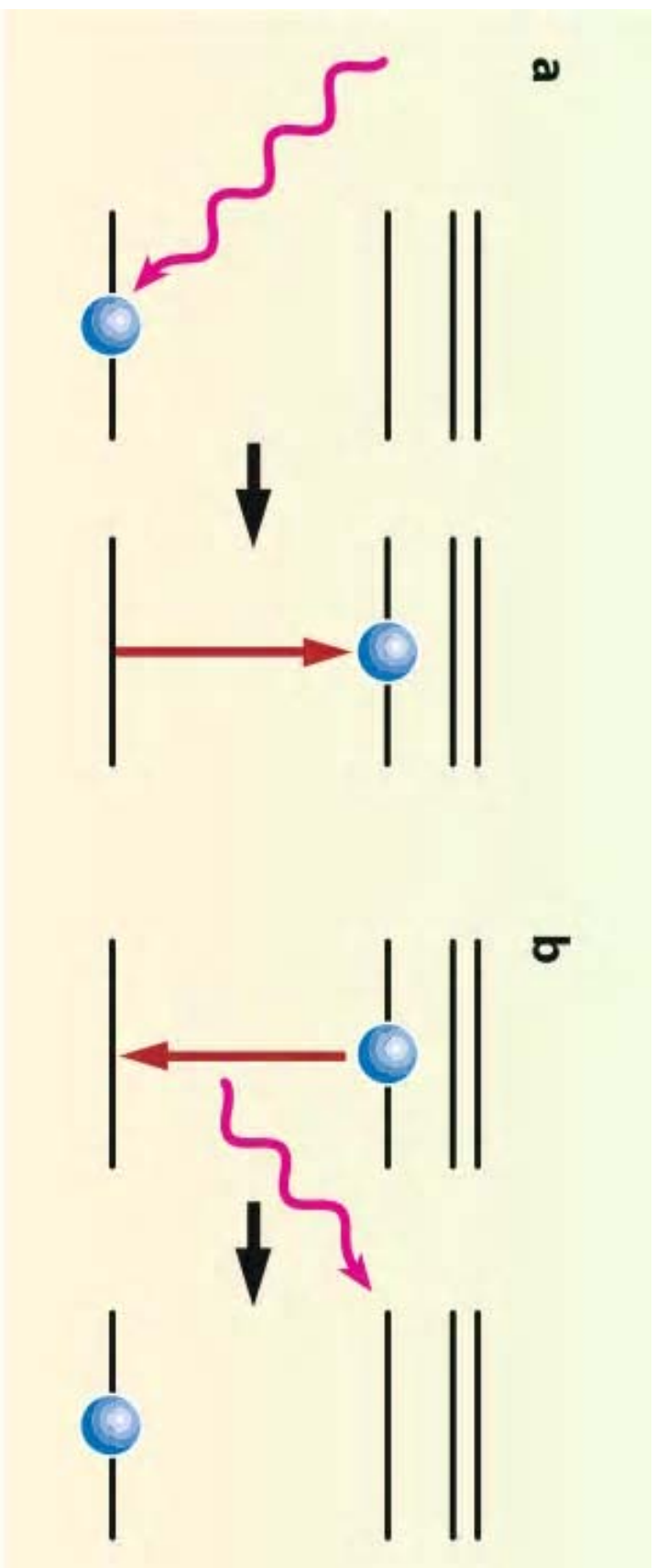
Faustregel

Photoeffekt



$$E=hf$$

Emissionsspektren



Ein Elektron, das ein Photon mit der passenden Energie (Wellenlinie) absorbieren kann, springt dadurch auf eine höhere Bahn (a). Fällt es auf eine weiter innen liegende Bahn herab, emittiert es die überschüssige Energie als Photon (b).

1s
2s 2p
3s 3p 3d
4s 4p 4d 4f
5s 5p 5d 5f ...
6s 6p 6d

