

Übersicht gkg ... pharm. Prüf.

Einführung

1 Allgemeines

2 Mechanik

3 Wärmelehre

4 Elektrizität und Magnetismus

5 Optik

6 Schwingungen und Wellen

7 Atomistische Struktur der Materie

7 Atomistische Struktur der Materie

7.1 Bausteine und Aggregatzustände der Materie

7.1.1 Atomare Einheiten: Stoffmenge (Mol), atomare Masseneinheit, Avogadro-Konstante, Definition und Größenordnung

7.1.2 Thermische Bewegung: Thermische Bewegung von Atomen und Molekülen in Flüssigkeiten und Gasen; Geschwindigkeitsverteilung (qualitativ); qualitativer Zusammenhang mit der Temperatur bei Gasen; Brown'sche Bewegung

7.1.3 Kristallgitter: Einfache räumlich-periodische Anordnungen von Atomen im kubischen Gitter; Schwingungen um „Ruhelagen“ (qualitativ, s.a. 3.5.1)

7.2 Aufbau von Atomen und Molekülen (s.a. Chem 1.2)

7.2.1 Atome: Aufbau aus Kern und Hülle; Masse und Radius von Atomen und ihren Kernen (Größenordnung)

7.2.2 Bohr'sches Atommodell: Grundzüge

7.2.3 Moleküle: Aufbau von Molekülen; Molekülschwingungen: Analogie zum Federpendel (s.a. 2.3.2), Einfluss der Substitution isotoper Nuklide (qualitativ); Molekülrotation (s.a. 2.3.5)

7.2.4 Energieniveaus und Spektren (s.a. PhAna 12.5.1):

Zusammenhang diskreter Energiestufen in Atomen mit den beobachtbaren Spektren im sichtbaren und Röntgen-Bereich; Linienspektren bei Atomen (Beispiele im Sichtbaren und bei Röntgenstrahlung); Lichtemission bei Elektronenübergängen (qualitativ); Bandenspektren bei Molekülen, Schema der Entstehung; kontinuierliche Spektren

7.2.5 Röntgenröhre: Aufbau, Betrieb und Wirkungsweise (s.a. 4.4.5); Grundzüge der Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Strahlung

7.3 Atomkerne und Kernstrahlung

- 7.3.1 Kerne und ihre Bausteine:** Proton, Neutron; Ladung und relative Masse, Vergleich mit Elektron; Kernladungszahl; Begriff isotoper Nuklide, einfache Beispiele
- 7.3.2 Kernreaktionen:** Symbole zur Darstellung von Kernreaktionen; Erhaltungssätze für Ladung und Nukleonenzahl
- 7.3.3 Radioaktivität:** Änderung von Ladung und Masse von Atomkernen in Verbindung mit α -, β - und γ -Emission, Eigenschaften von α -, β - und γ -Strahlung
- 7.3.4 Detektoren:** Strahlungsnachweis mittels Ionisationskammer, Zählrohr, Szintillationszähler (Grundzüge)
- 7.3.5 Zerfallsgesetz:** Definition der Aktivität; gebräuchliche Darstellungen; Halbwertszeit und mittlere Lebensdauer, Zusammenhang mit dem Zerfallsgesetz

7.3 Atomkerne und Kernstrahlung, Fortsetzung

7.3.6 Absorption energiereicher Strahlung: Durchdringungsfähigkeit von α –, β – und γ – und Neutronenstrahlung in festen Stoffen; Absorptionsgesetz für γ –Strahlung und Röntgenstrahlung in Materie, Abhängigkeit von der Wellenlänge

7.3.7 Dosimetrie: Energiedosis, Energiedosisleistung, Ionendosis; gebräuchliche Einheiten

7.3.8 Anwendungen aktiver und stabiler Nuklide: Grundzüge der Gewinnung radioaktiver Nuklide und der Anwendung radioaktiver Atome in der Chemie und bei Pharmaka, z.B.: ^{60}Co (Kobaltbestrahlungsquelle), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Radiodiagnostik), ^{131}I (Stoffwechseluntersuchung); Tracermethode; Anwendung ionisierender Strahlung zur Sterilisierung von Verbandmaterial und Verpackungen

Experimente Atomphysik:

- Atomares Linienspektrum (Hg)
- Franck-Hertz-Versuch
- Hallwachs-Versuch
- Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums

Atom- und Kernphysik

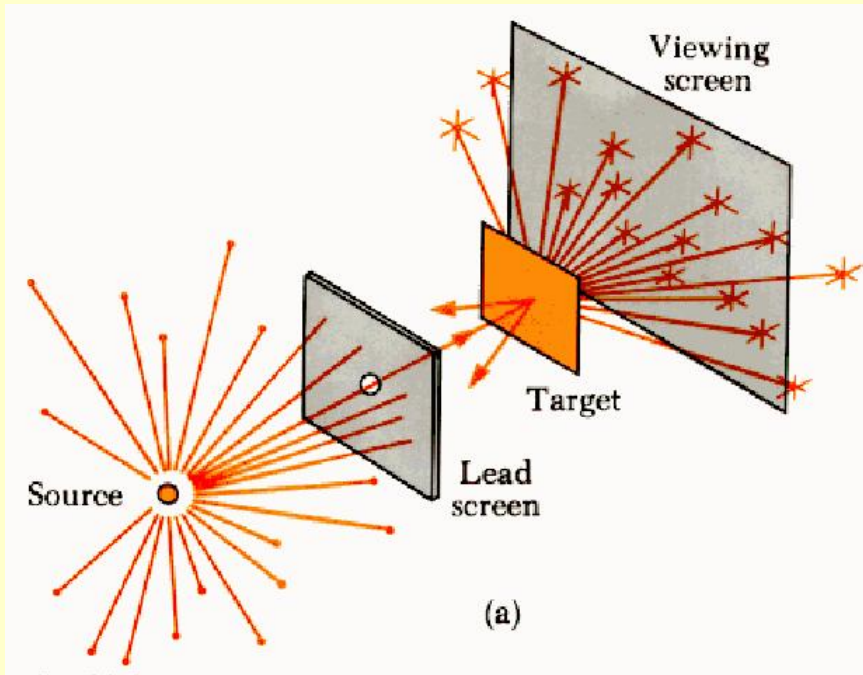
Makroskopische Welt:	Mechanik Thermodynamik Elektrizitätslehre Optik	} }	klassische Physik
Mikroskopische Welt:	Atomphysik Kernphysik Elementarteilchen	} }	„moderne“ Physik Quantenmechanik

Atomphysik: Atomhülle d. Elektronen → Aufbau v. Molekülen → Chemie

Kernphysik: Aufbau d. Atomkerns, Radioaktivität → Elementarteilchen

Anwendung in der Medizin: Röntgenstrahlung
Kernspinresonanz
Bestrahlungen
Laser (siehe Optik)
...

Rutherford'sche Streuversuche

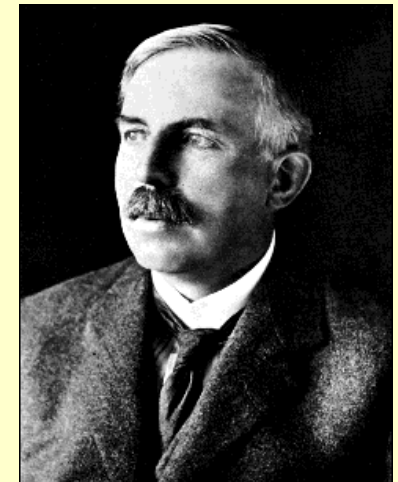


Beschuss einer Goldfolie mit α -Teilchen (zweifach pos. geladenes Helium-Atom, d.h. Helium-Kern)

Rutherford'sche Streuformel

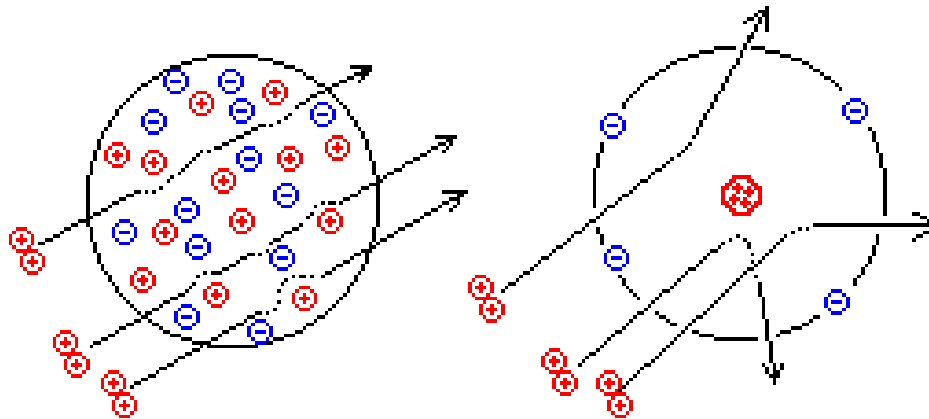
$$\frac{dn}{d\Omega} = C \frac{n}{\sin^4(\vartheta/2)}$$

Zahl der pro Raumwinkel gestreuten Projektile



Rutherford'sche Streuversuche

Rutherford's Experiment



Expected alpha particle scattering in two models of the atom

Rutherford'sche Streuformel

$$\frac{dn}{d\Omega} = C \frac{n}{\sin^4(\vartheta/2)}$$

Zahl der pro Raumwinkel gestreuten Projektile

„Target“ →

$$C = \frac{Nd}{(4E_{kin})^2} \frac{Z_1 Z_2 e^2}{(4\pi\epsilon_0)^2}$$

Häufiges Auftreten **kleiner** Streuwinkel:

→ positive Ladungen im Atom gleichmäßig verteilt

Häufiges Auftreten **großer** Streuwinkel:

→ positive Ladungen im Kern konzentriert

Resultat: positive Ladung im Kern konzentriert (+Z·e)
Elektronen als Wolke um den Kern (-Z·e)
Masse des Atoms im Kern konzentriert.

(Atom als ganzes ist neutral.)

$$r_{Atom} \approx 0,1 \text{ nm} \Rightarrow 1 \text{ \AA}$$

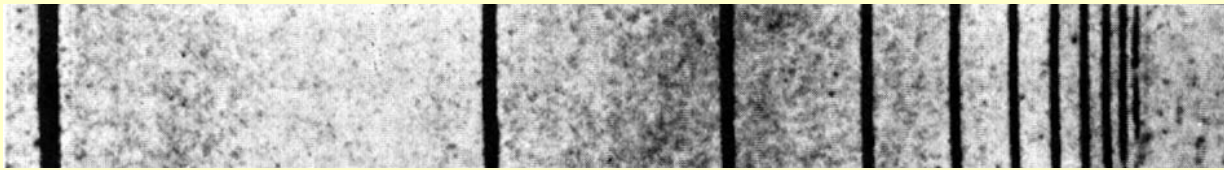
Ångström

Kernmassenzahl

$$r_{Kern} \approx r_0 \sqrt[3]{A}$$

$$r_0 \approx 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

Linienspektrum



656.3

486.1

434.0

410.2

397.0

388.9

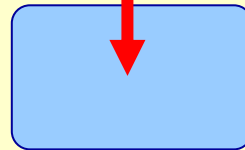
Linienspektrum
von Wasserstoff
(Photoplatte = Negativ)

$$\frac{1}{\lambda} \sim \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

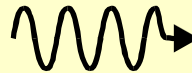
Balmer-Serie, $n = 3, 4, 5, \dots$

Emissionsspektrum

Energie

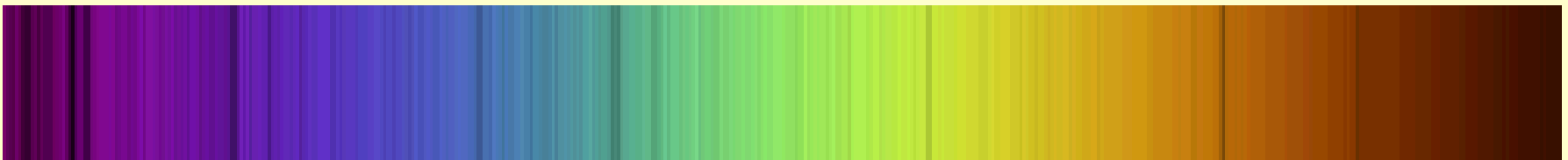


Materie



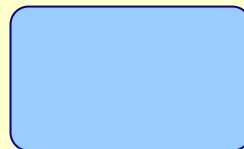
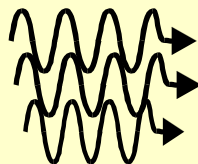
Beobachter

Spektrum der Sonne

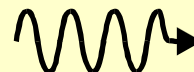


Absorptions-
spektrum

Weißes Licht



Materie



Beobachter

Spektroskopie: aus der Untersuchung der Spektrallinien

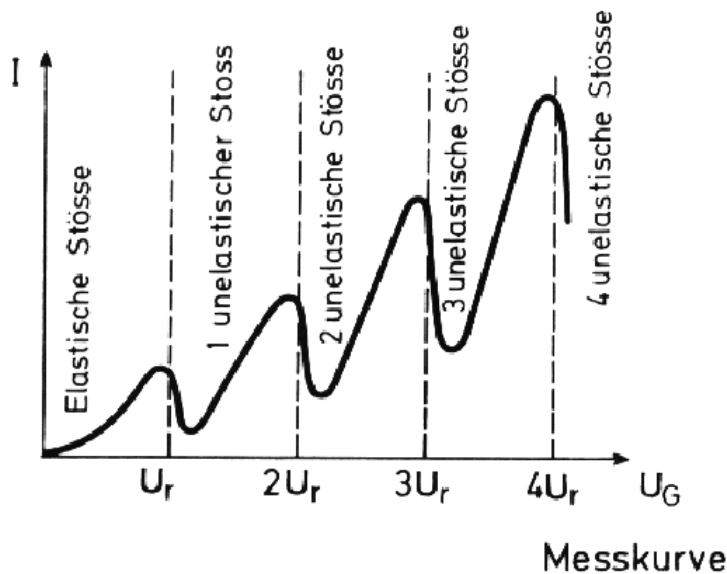
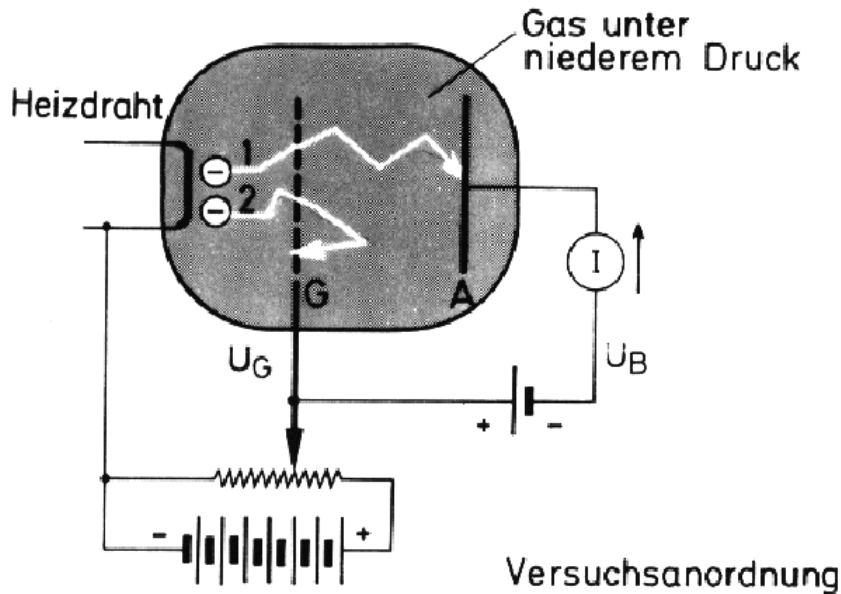
- Frequenz/Wellenlänge
- Intensität
- Linienform
- Aufspaltung
- ...



detaillierte Aussagen über

- Aufbau der Atome
- Aufbau von Molekülen,
- Eigenschaften der chemischen Bindung
- Vorkommen und Häufigkeit von Atomen/Molekülen in Materie
- Aufbau von Sternen
- Zustand der Materie (Dichte, Temperatur, Geschwindigkeit, elektrische und magnetische Felder)
- ...

Franck-Hertz-Versuch



Beschleunigung der Elektronen zw. Heizdraht und Gitter

Abbremsung zw. Gitter und Anode

Im Normalfall erreichen die Elektronen die Anode: Stromfluss

Aber bei inelastischem Stoß (Energieabgabe) der Elektronen mit Gasatomen reicht die Energie nicht mehr aus, um die Anode zu erreichen => Stromfluss sinkt.

Die Gasatome können die Energie der Elektronen nur in bestimmten „Paketen“ aufnehmen!

=> diskrete atomare Energiezustände

James Frank, Gustav Hertz 1912 - 14
Nobel-Preis 1925

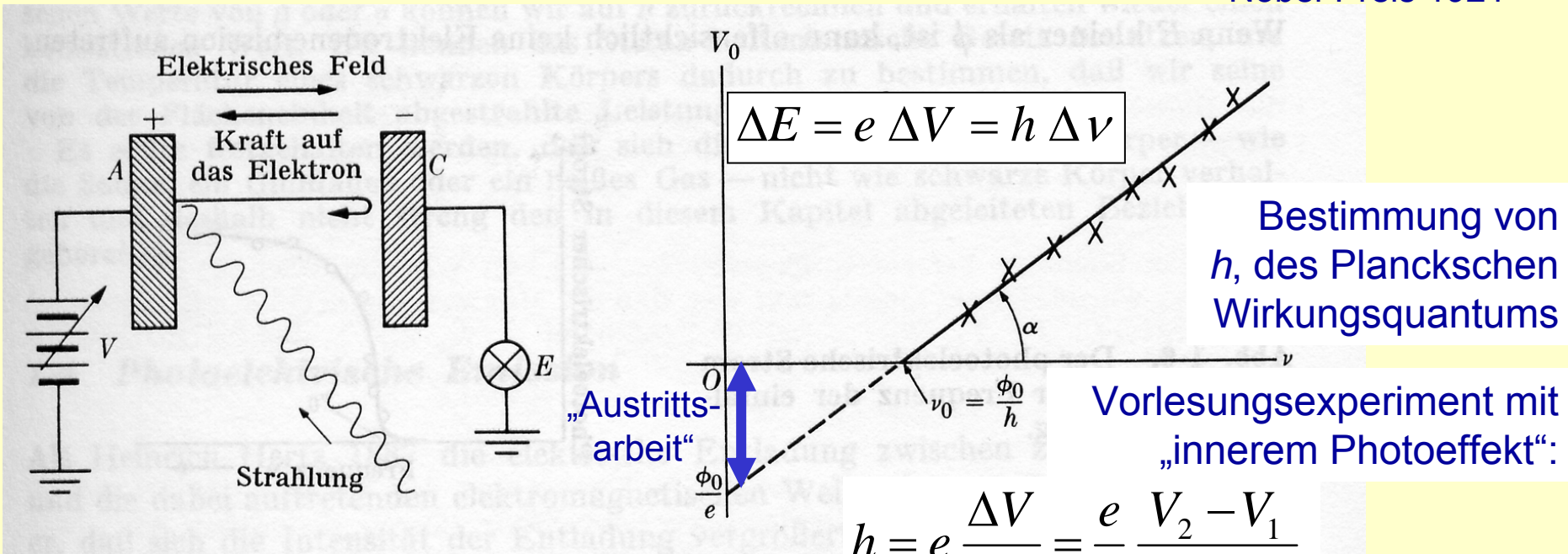
Photoeffekt

1886 Heinrich Rudolf Hertz / 1887 Hallwachs: Negativ-aufgeladene Zinkplatte wird durch Lichteinfluss entladen, positiv-aufgeladene nicht.

- Intensität des Lichtes erhöht den Elektronenstrom.
- **Aber:** Elektronen werden erst ab einer bestimmten Licht-Frequenz ausgelöst!
- Energie dieser Elektronen steigt linear mit der Frequenz des Lichtes.

→ Licht verhält sich wie Teilchen!

Erklärung durch Einstein 1905
Nobel-Preis 1921



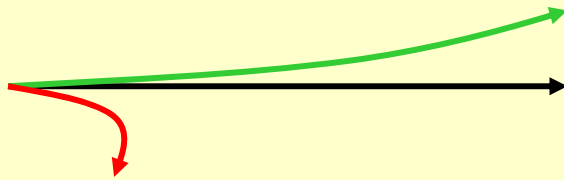
$$h = e \frac{\Delta V}{\Delta \nu} = \frac{e}{c} \frac{V_2 - V_1}{\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}}$$

Radioaktivität

Entdeckung/Untersuchung der Radioaktivität (Strahlung bei **Kern-Zerfall**)
durch Becquerel, Marie und Pierre Curie

=> 3 (Haupt-)Arten radioaktiver Strahlung:

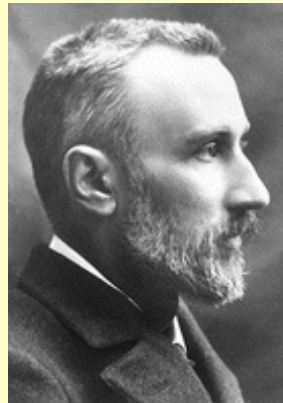
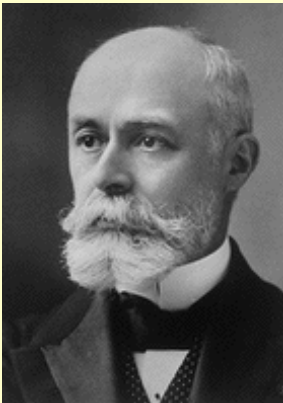
Unterscheidung z.B.
im **Magnetfeld**:



α -Strahlung: He- Kerne
Ablenkung, aber schwach

γ -Strahlung: el.-mag. Welle
keine Ablenkung

β -Strahlung: Elektronen
starke Ablenkung in andere Richtung
(genauer β^- -Strahlung)



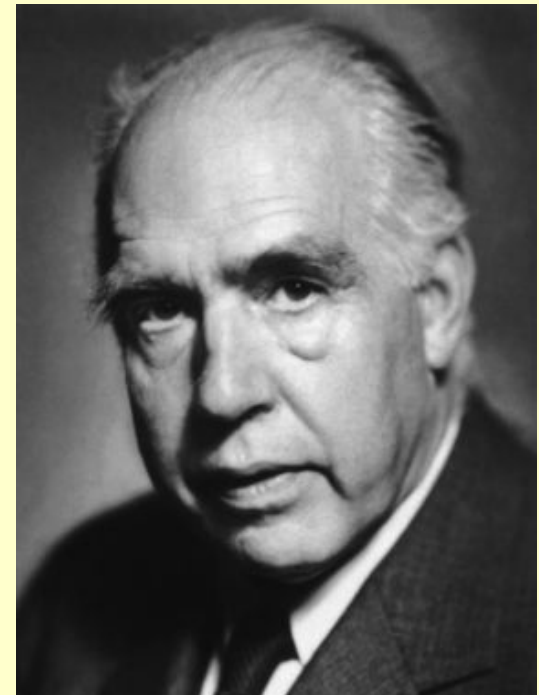
Bohrsches Atommodell

Probleme des Planetenmodells:

1. Elektronen auf Kreisbahn → beschleunigte Bewegung → Abstrahlung von el.-mag. Wellen → Energieverlust → Elektron stürzt in den Kern
1. Wegen Spiralbahn mit abnehmender Beschleunigung → kontinuierliches Spektrum!

„Lösung“ des Problems: Bohrsche Postulate 1913

Nachträgliche Rechtfertigung der Postulate durch Quantenmechanik um 1925



Bohrsche Postulate

1. Bohrsches Postulat: die Elektronen bewegen sich auf stationären Bahnen (Zuständen) mit diskreten Energien E_1, E_2, \dots, E_n , auf denen keine Energieabstrahlung erfolgt!

2. Bohrsches Postulat: die stationären Zustände sind dadurch festgelegt, dass der Bahndrehimpuls L_n des Elektrons auf der n -ten Bahn ganzzahlig (d.h. „gequantelt“) ist:

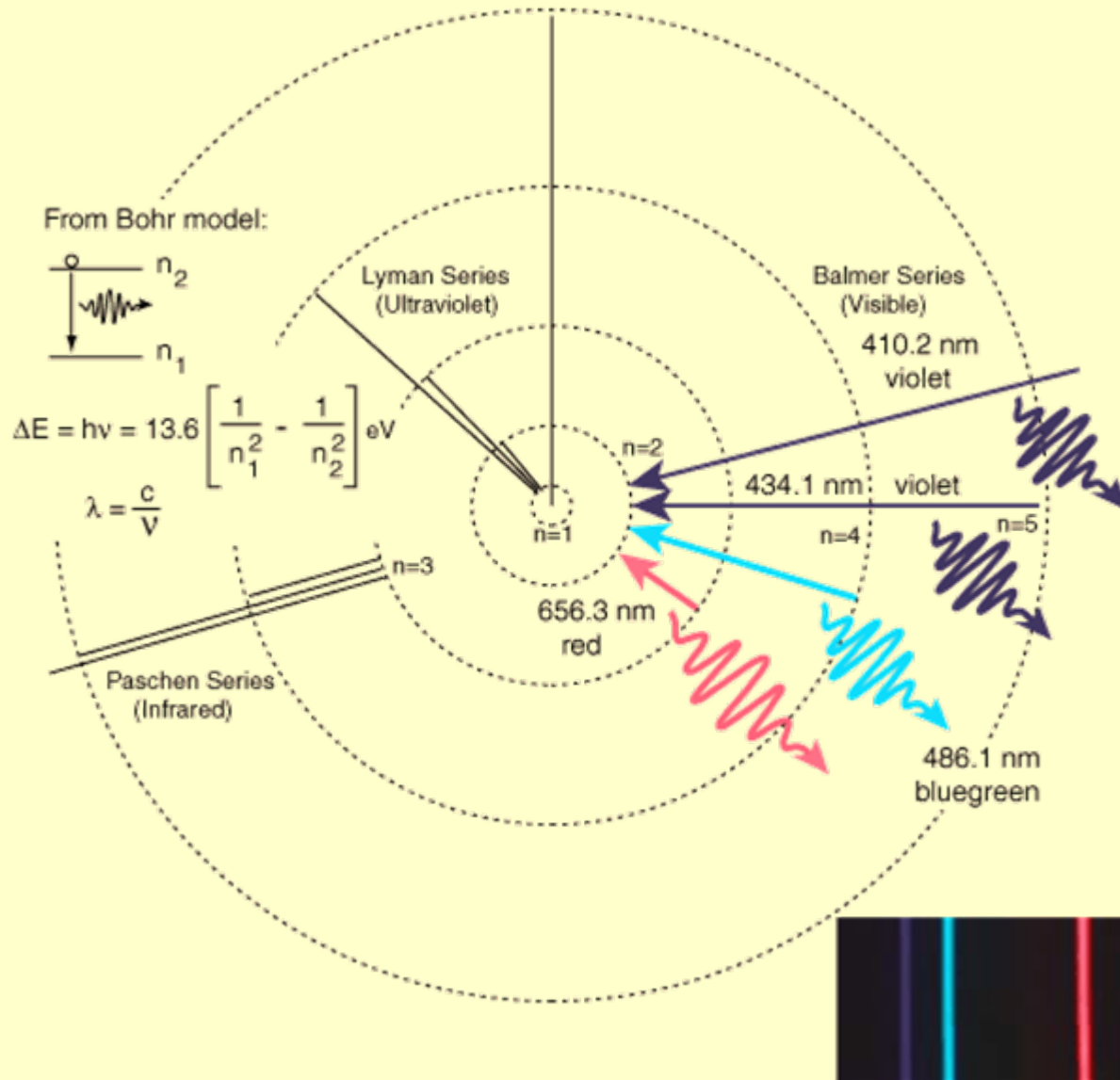
$$L_n = m_e \omega r^2 = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar$$

h ist das Plancksche Wirkungsquantum: $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Js

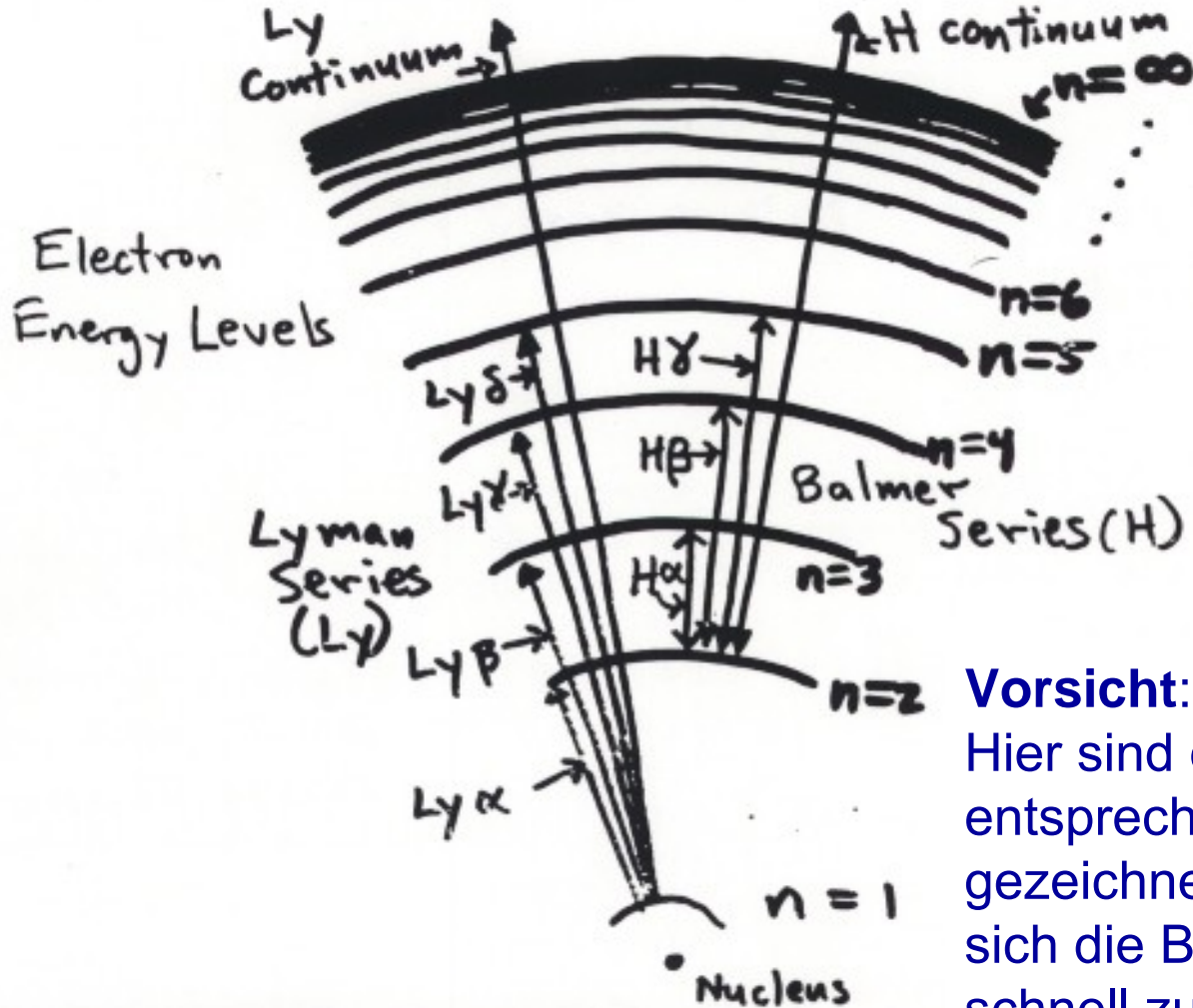
3. Bohrsches Postulat: die Abstrahlung von Energie (Lichtemission) erfolgt bei einem sprunghaften Übergang eines Elektrons von einer stationären Bahn höherer Energie E_n zu einer Bahn geringerer Energie E_m . Die Energiedifferenz wird in Form eines Lichtquants (Photon) emittiert.

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

Elektronenübergänge



Energieniveaus symbolisch



Vorsicht:

Hier sind die Abstände symbolisch entsprechend den Energien gezeichnet. Tatsächlich erhöhen sich die Bahnradien der Elektronen schnell zu sehr großen Werten. (Man spricht für hohe Hauptquantenzahlen n von „Rydberg-Atomen“.

Energieniveaus quantitativ

Aus Drehimpuls-Quantisierung $L_n = m_e \omega r^2 = n\hbar$

und Kräftegleichgewicht
(Coulomb-K. = Zentrifugal-K.)

$$\frac{Z e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m_e \omega^2 r = \frac{(n\hbar)^2}{m_e r^3}$$

folgt für die erlaubten Radien

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{Z e^2 m_e} n^2 \quad \text{sowie} \quad \omega = \frac{n\hbar}{m_e r^2}$$

und damit für die

Energie-Niveaus mit $E = E_{pot} + E_{kin}$

$$E_{pot} = -\frac{Z e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z e^2 m_e}{4\pi\epsilon_0 \hbar^2} \frac{1}{n^2} = -(Z\alpha)^2 m_e c^2 \frac{1}{n^2} \quad \text{wobei} \quad \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

„Feinstruktur-Konstante“

$$E_{kin} = \frac{m_e}{2} (\omega r)^2 = \frac{m_e}{2} \left(\frac{n\hbar}{m_e r} \right)^2 = \frac{m_e}{2} \left(\frac{Z e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar n} \right)^2 = (Z\alpha)^2 \frac{m_e c^2}{2} \frac{1}{n^2} = -\frac{E_{pot}}{2}$$

insgesamt

$$E_n = E_{pot} + E_{kin} = -(Z\alpha)^2 \frac{m_e c^2}{2} \frac{1}{n^2} = -\frac{Z^2 e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}$$

und damit für die Abstände bzw. Photonenenergien

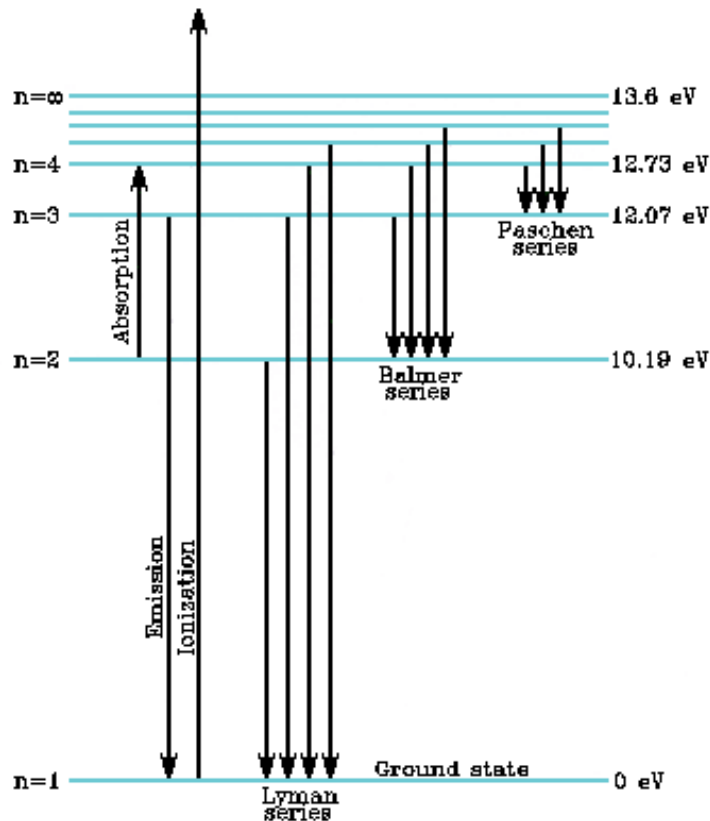
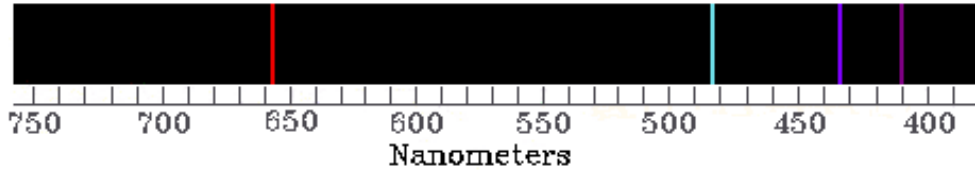
$$E_{n,m} = h\nu = (Z\alpha)^2 \frac{m_e c^2}{2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{Z^2 e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Bemerkung:

Erweiterung auf
elliptische Bahnen
(Sommerfeld)
→ „entartete“
Energieniveaus

Rydberg-Formel

HYDROGEN



bzw. die Rydberg-Formel:

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

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

mit der Rydberg-Konstanten

$$R_{\infty} = \frac{Z^2 e^4 m_e}{8 \epsilon_0^2 h^3} \approx 3.2898 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

für unendl. schweren Kern

Die Wellenlänge $\lambda = \frac{c}{\nu}$

wird oft in Ångström angegeben:

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$$

Photonenenergien $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

oft in eV: $1 \text{ eV} \approx 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$(E = e \cdot U)$

Quantenmechanik: Materiewellen

Welle-Teilchen-Dualismus

Welle
Frequenz f
Wellenlänge λ



Teilchen
Energie $E = h \cdot f$
Impuls $p = h/\lambda$

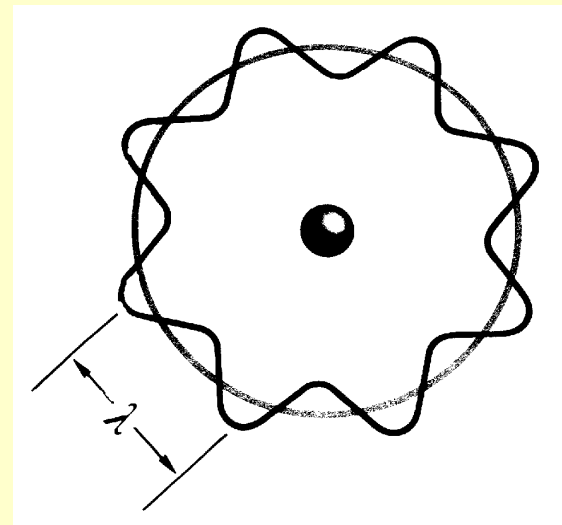


1875-1960

Gilt für **Licht (Photonen)** (Einstein)
und für **Materie (Materiewellen)** (de Broglie)

Materiewelle beschreibt Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Teilchen an dem betrachteten Ort aufhält.

Elektronenbahn um den Kern (Bohr)
→ stehende Materiewelle



Quantenmechanik: Unschärferelation

Materiewelle
 $\Psi(x)$



kein genau definierter Ort
Wahrscheinlichkeitsaussagen
 $|\Psi(x)|^2$

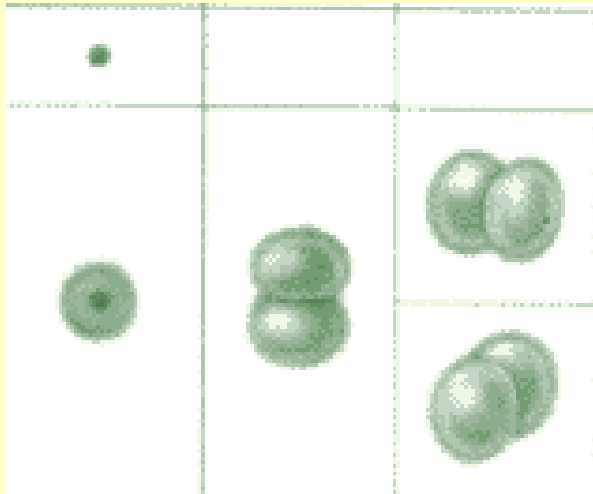


1901-1976

Heisenbergsche Unschärferelation:

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

Ort x und Impuls p können nicht beliebig genau bestimmt werden. Für das Produkt aus Ortsunschärfe Δx und Impulsunschärfe Δp setzt das Plancksche Wirkungsquantum eine feste untere Grenze.



„Wolken“ der Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen im Wasserstoff (Orbitale)

Quantenmechanik: Schrödingergleichung

Zeitunabhängige **Schrödingergleichung**:

$$E \cdot \psi(x) = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + V(x) \cdot \psi(x)$$

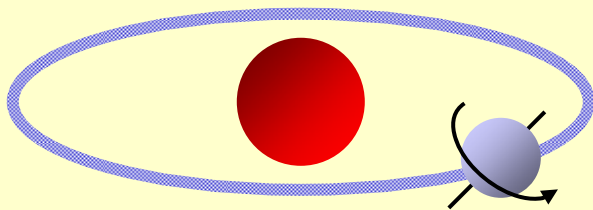
1887-1961



verknüpft **Wellenfunktion** $\psi(x)$ mit Energie E und Potential $V(x)$.

Die Schrödingergleichung hat nur bestimmte Lösungen (Zustände), die durch einen Satz von Zahlen (**Quantenzahlen**) bestimmt ist:

n	Hauptquantenzahl	Energie E	$n = 1, 2, 3, \dots$
l	Nebenquantenzahl	Bahndrehimpuls $ \vec{L} $	$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$
m	magnetische Quantenzahl	z-Komponente von \vec{L}	$m = -l, \dots, +l$
s	Spinquantenzahl	Eigendrehimpuls \vec{S}	$s = \pm 1/2$



Elektronenspin (Eigendrehimpuls)

$$S = \pm \frac{\hbar}{2}$$

Quantenmechanik: Orbitale

n	l=0 (s-Elektron)	l=1 (p-Elektron)			l=2 (d-Elektron)					l=3 (f-Elektron)						
	m=0	m=0	m=1	m=-1	m=0	m=1	m=-1	m=2	m=-2	m=0	m=1	m=-1	m=2	m=-2	m=3	m=-3
1																
2																
3																
4																

Abb. 10-29: Übersicht über die Knotenflächen zu den verschiedenen Tripeln der Quantenzahlen n , l und m bis $n = 4$.

Quantenmechanik: Pauliprinzip



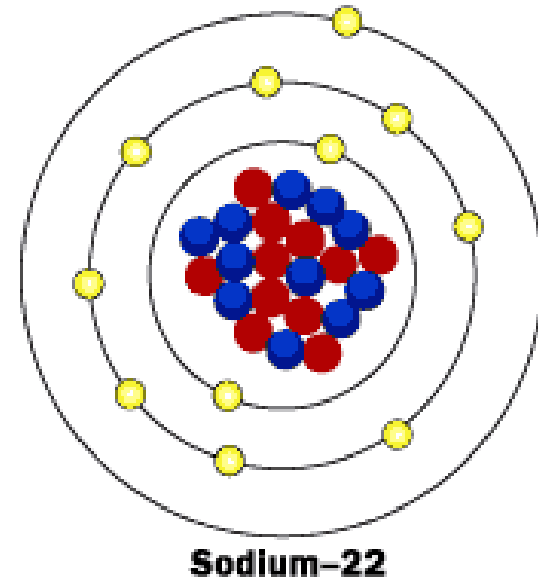
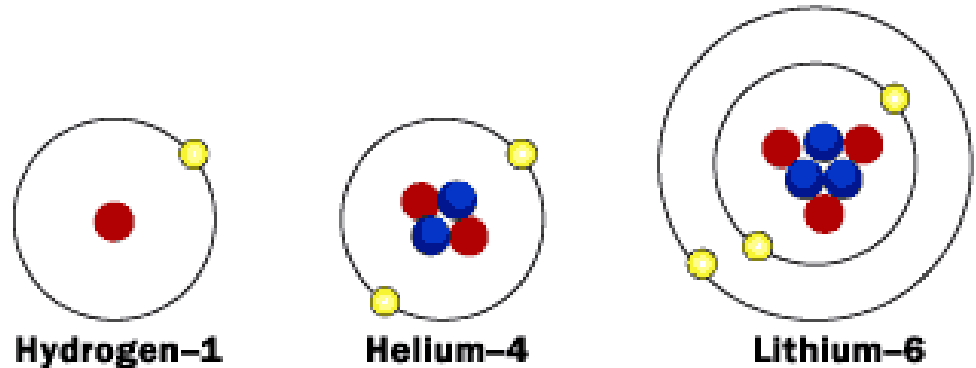
1900-1958

Pauliprinzip:

Keine 2 Elektronen in einem Atomverbund können dieselben Quantenzahlen aufweisen.

→ Aufbau des Periodensystems

Isotopes of Hydrogen, Helium, Lithium and Sodium



● Neutron ● Proton ● Electron

Experiment Kernphysik:

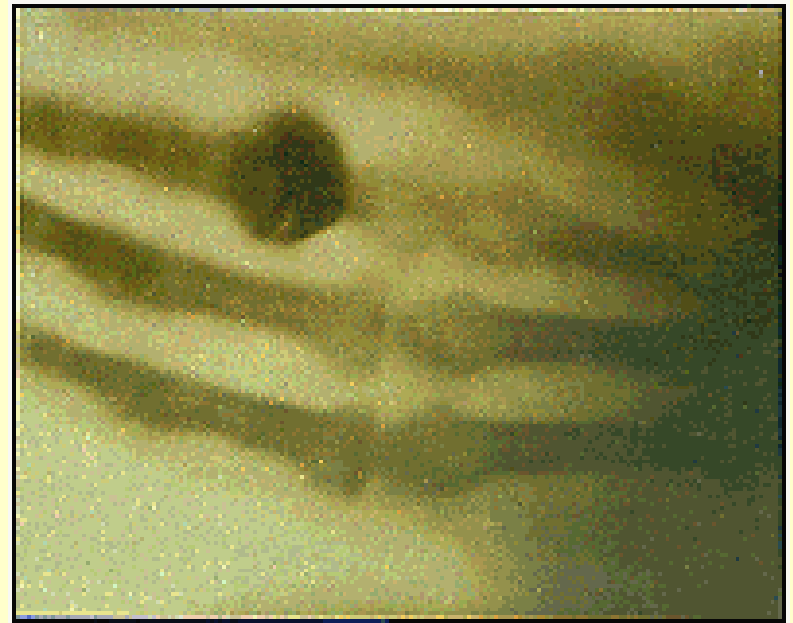
– Geiger-Müller-Zählrohr

Röntgenstrahlung



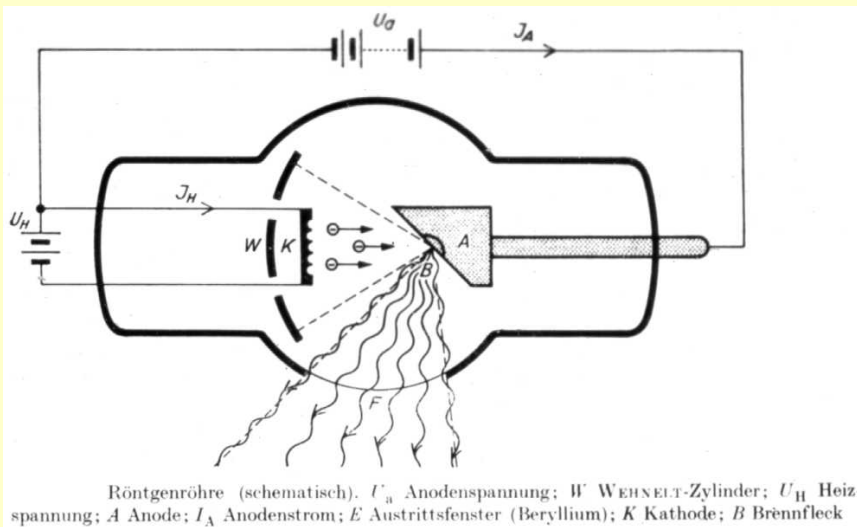
1845-1923

Röntgenstrahlen: elektromagnetische Welle mit Wellenlänge um 1 \AA und Energien von $E = h f = 1000 \text{ eV}$ bis 100.000 eV . (1 keV bis 100 keV)

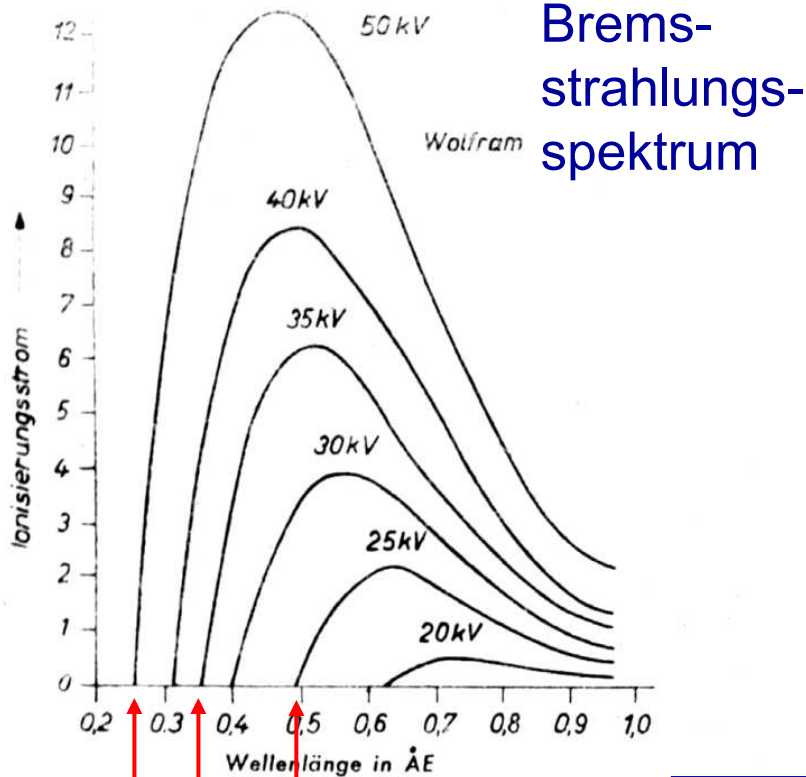


Das erste Röntgenbild

Röntgenröhre



Röntgenstrahlung: Bremsstrahlung



Abbremsung von Elektronen

\dot{I}

↓

\dot{H} Maxwellsche Gesetze

↓

\dot{E}

Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen

Grenze für

50 kV

35 kV

25 kV

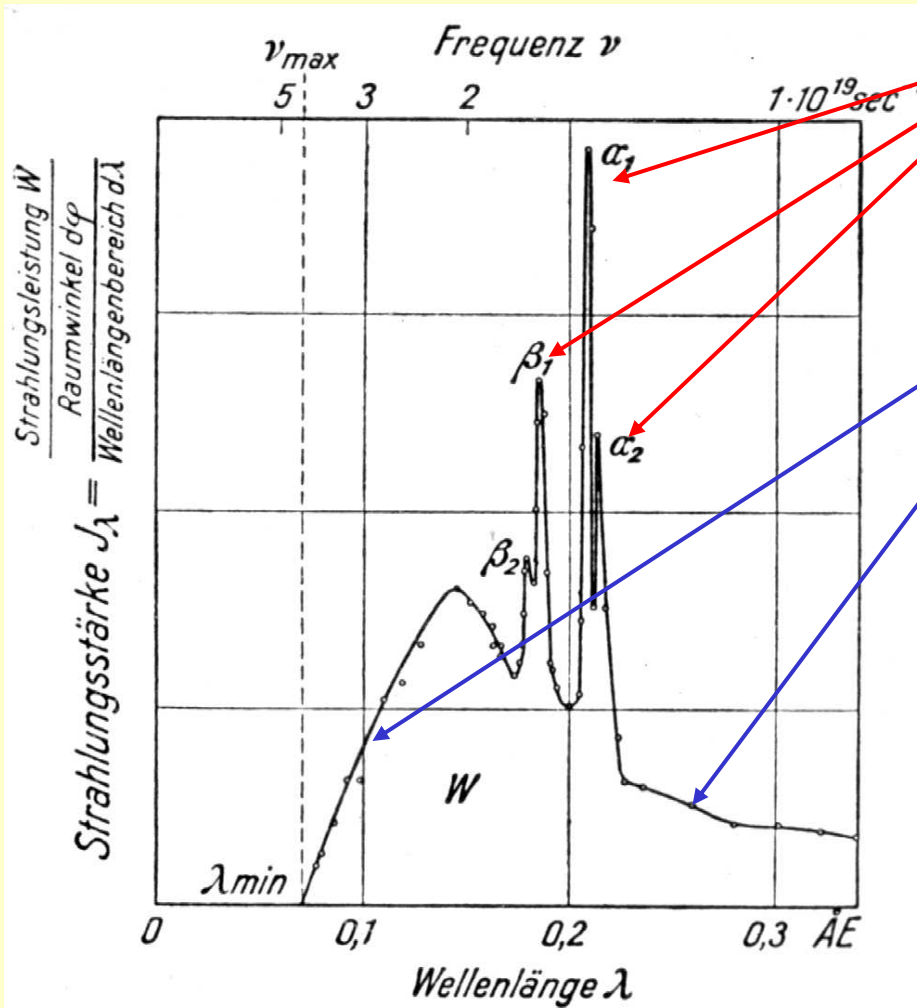
Grenzwellenlänge bestimmt durch:

kinetische Energie = Energie der Elektronen = Energie der Photonen

$$E_{kin} = e \cdot U_0 \qquad E_{Ph} = h \cdot f$$

→ $\lambda_{gr} = \frac{hc}{eU_0}$

Röntgenstrahlung: charakterist. Spektrum



Spektrale Energieverteilung der Strahlung einer massiven W-Antikathode

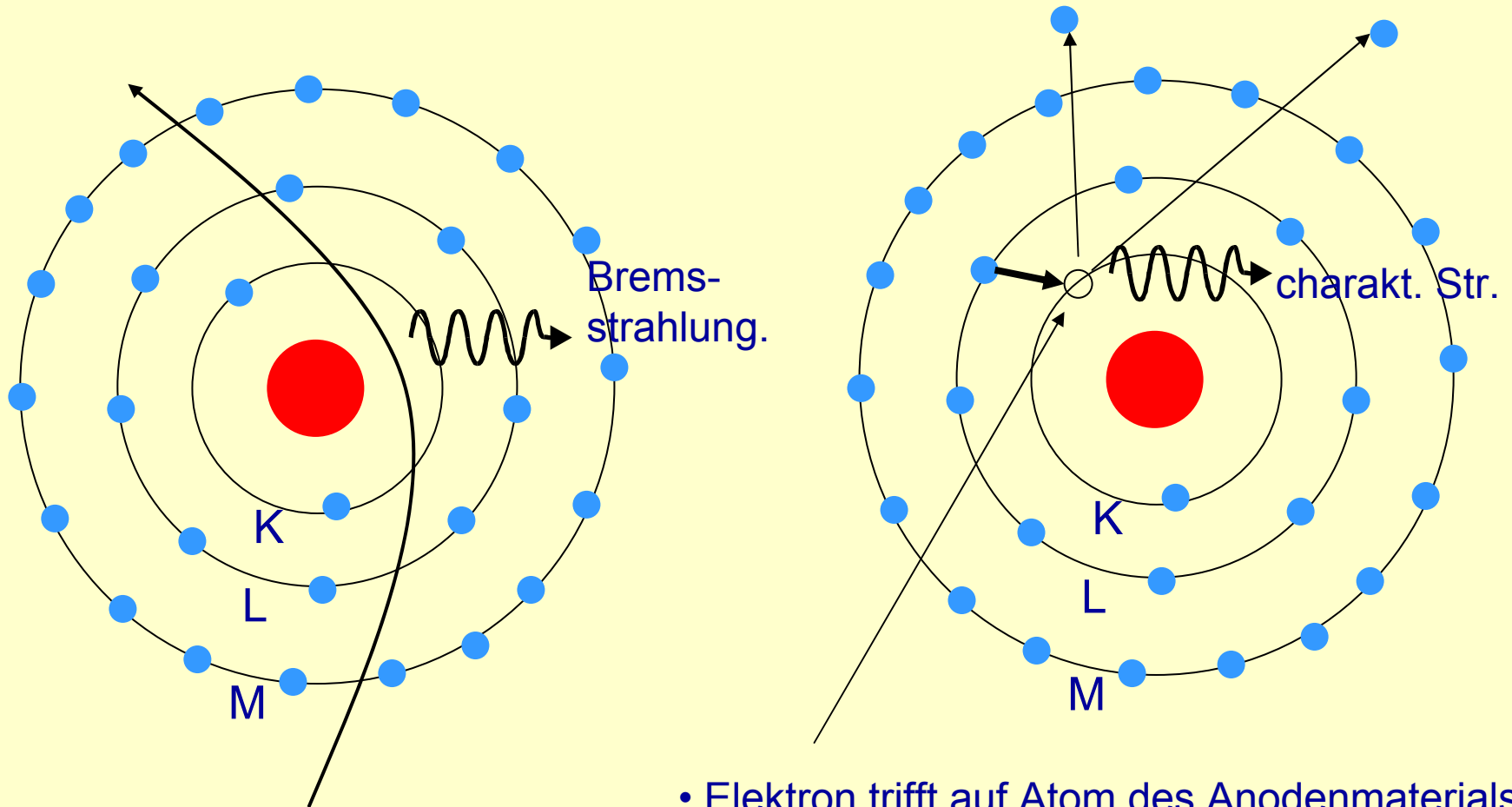
Spitzen:
charakteristisches Spektrum

Bremsspektrum

Alle vorkommenden Wellenlängen
größer als die Grenzwellenlänge

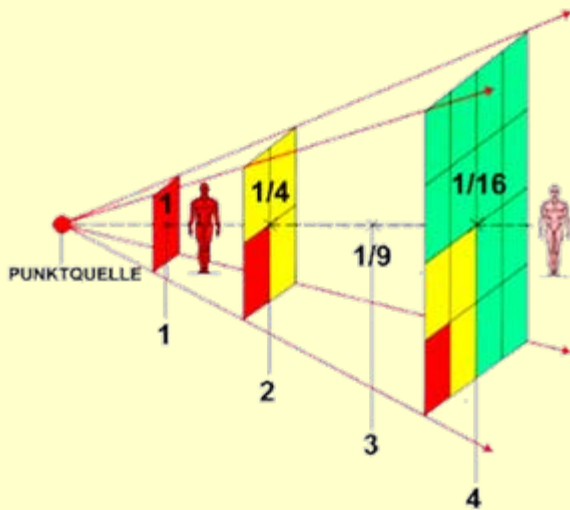
$$\lambda \geq \lambda_{gr} = \frac{hc}{eU_0}$$

Röntgenstrahlung



- Elektron trifft auf Atom des Anodenmaterials
- Elektron schlägt weiteres Elektron aus innerer Schale (K,L,..) und fliegen weiter
- Elektron aus höherer Schale rückt nach
- Emission eines Photons (Röntgenquants)

Abschwächung von Röntgenstrahlung

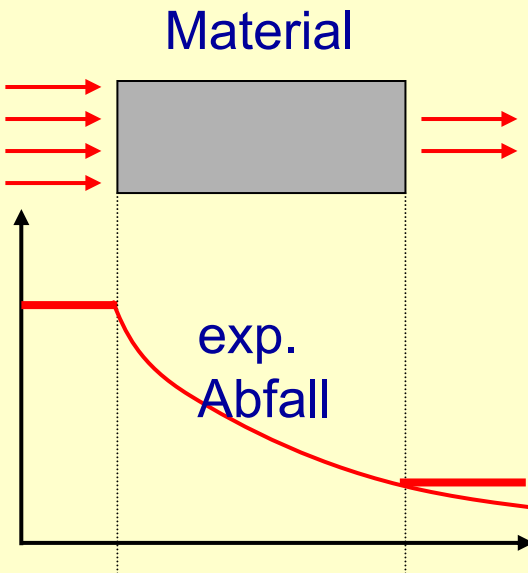


Strahlstärke im Vakuum
nimmt mit dem Quadrat des
Abstandes ab

$$I = \frac{I_0}{r^2}$$

Strahlstärke im Medium
nimmt exponentiell mit dem
Abstand ab

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu r}$$



$\mu(\lambda, Z, \rho)$: **Schwächungskoeffizient**
abhängig von

λ : Wellenlänge der Röntgenstrahlung

Z : Kernladungszahl des Materials

ρ : Massendichte der Materials

verschiedene Materialien schwächen
verschieden stark → Unterscheidung

Abschwächung von Röntgenstrahlung

Beersches Gesetz:

$$\mu(\lambda, Z, \rho) = \rho \cdot \mu_m(\lambda, Z)$$

Massenabsorptionskoeffizient:

$$\mu_m(\lambda, Z) \propto \lambda^3 \cdot Z^3$$

weiche (langwellige) Strahlung wird stärker absorbiert als harte (kurzwellige) Röntgenstrahlung

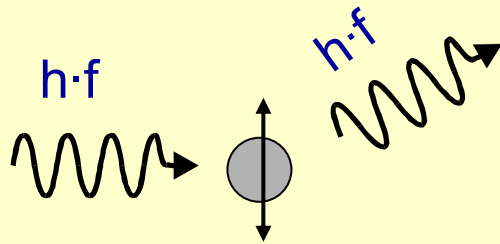
Materialien mit hoher Kernladungszahl absorbieren stärker als Materialien mit niedriger Kernladungszahl

Kohlenstoff: $Z = 12$

Blei: $Z = 82$



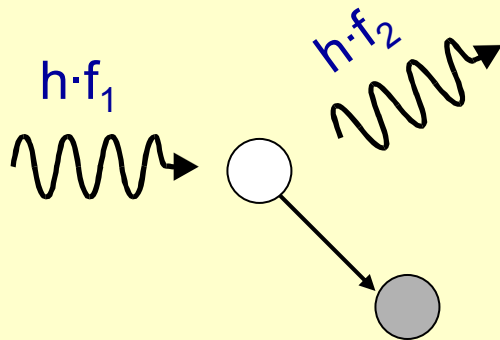
Mechanismen der Schwächung



Streuung:

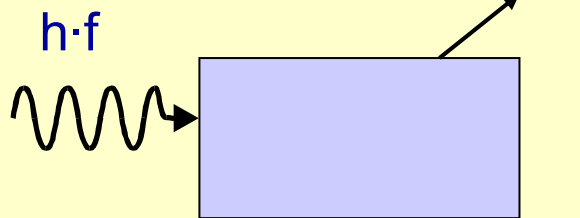
(Kohärent) **Rayleigh-Streuung:**

gestreutes Photon hat die gleiche Frequenz (Energie), aber andere Richtung



(Inkohärent) **Compton-Streuung:**

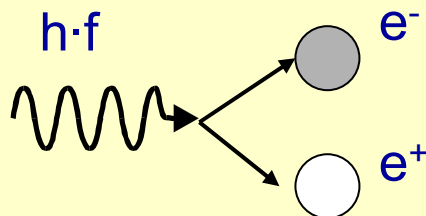
gestreutes Photon hat die kleinere Frequenz (Energie) und i.a. andere Richtung. Ein Teil der Energie wird als kinetische Energie an das Elektron abgegeben.



Absorption:

Photoeffekt:

Photon wird absorbiert und löst ein Elektron aus dem Atomverband aus, das Elektron wird frei

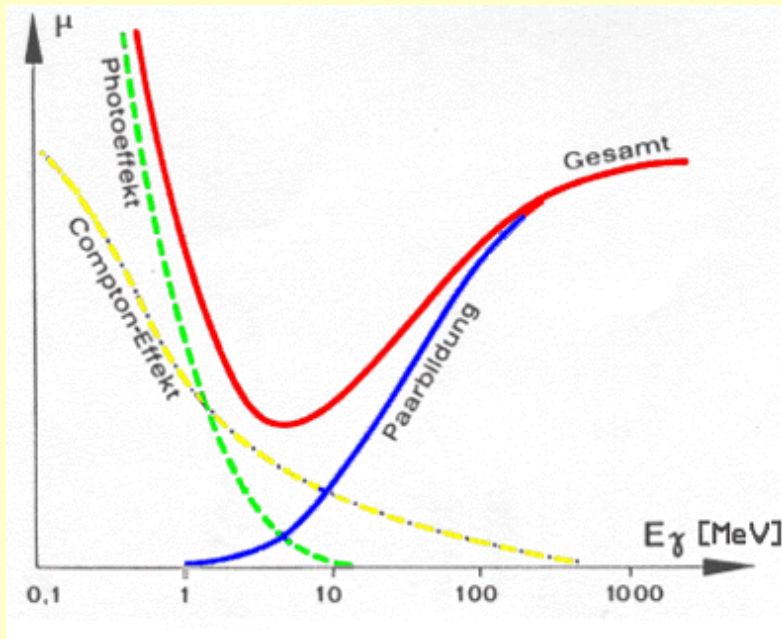


Paarbildung:

1 Photon erzeugt ein Elektron-Positron-Paar, mögl. ab

$$E_{\min} = m_e c^2 + m_p c^2 = 2 m_e c^2 = 1.02 \text{ MeV}$$

Absorption u. Nachweis v. Röntgenstrahlung

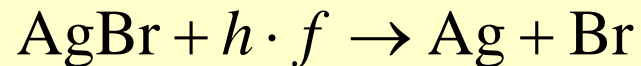


Schematischer Verlauf des Absorptionskoeffizienten als Funktion der Röntgenenergie

Nachweis von Röntgen-Strahlung durch:

Lumineszenz: Erzeugung angeregter Zustände durch Röntgen-Strahlung, Die dann durch (kaskadierte) Übergänge in den Grundzustand zerfallen und sichtbares Licht abstrahlen (Szintillationszähler)

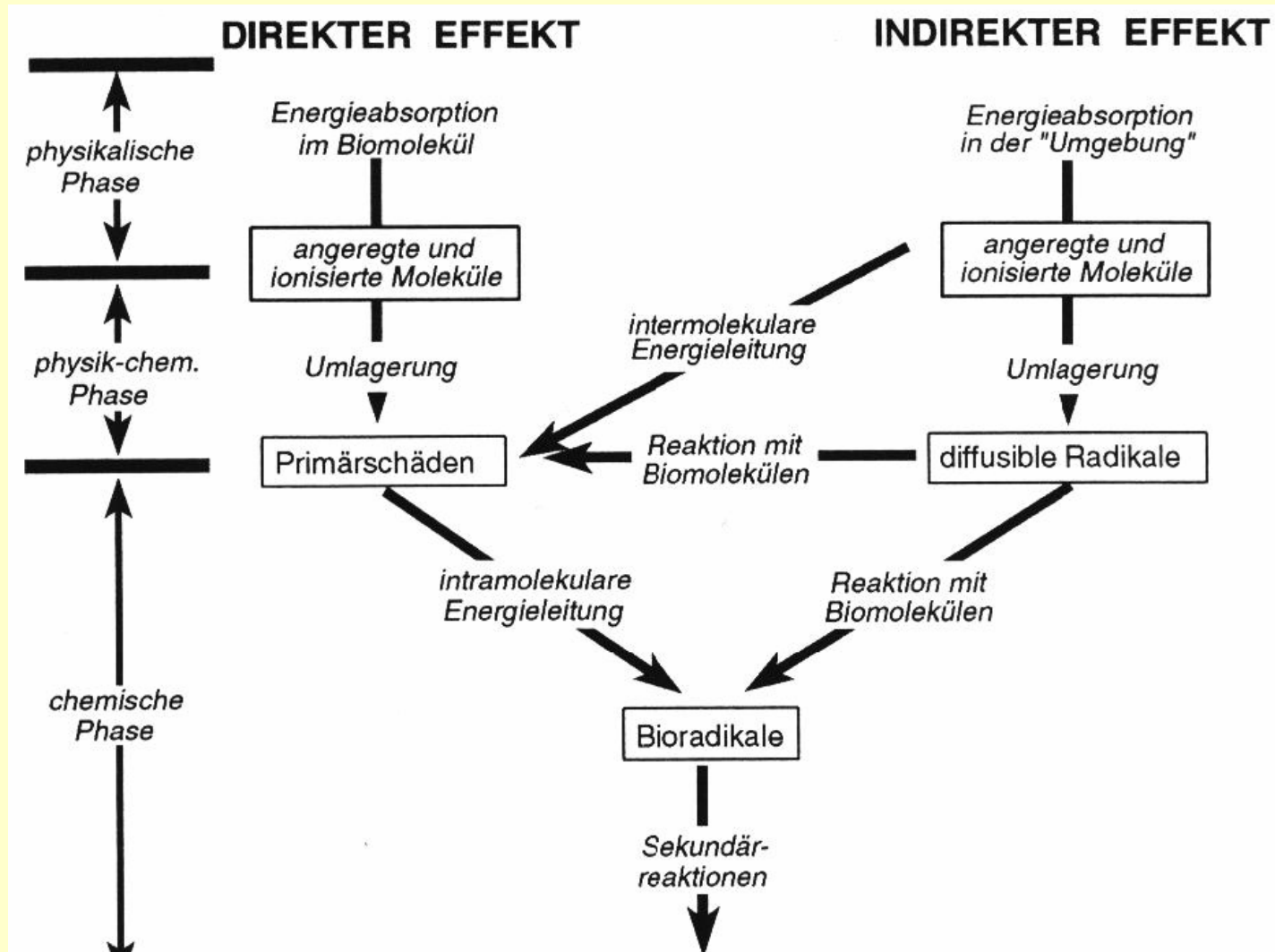
Photochemie: Schwärzung einer Photoplatte (Filmdosimeter)



Photoeffekt: Röntgen-Strahlung erzeugt in Halbleiter freie Elektronen, die als Strom messbar sind.

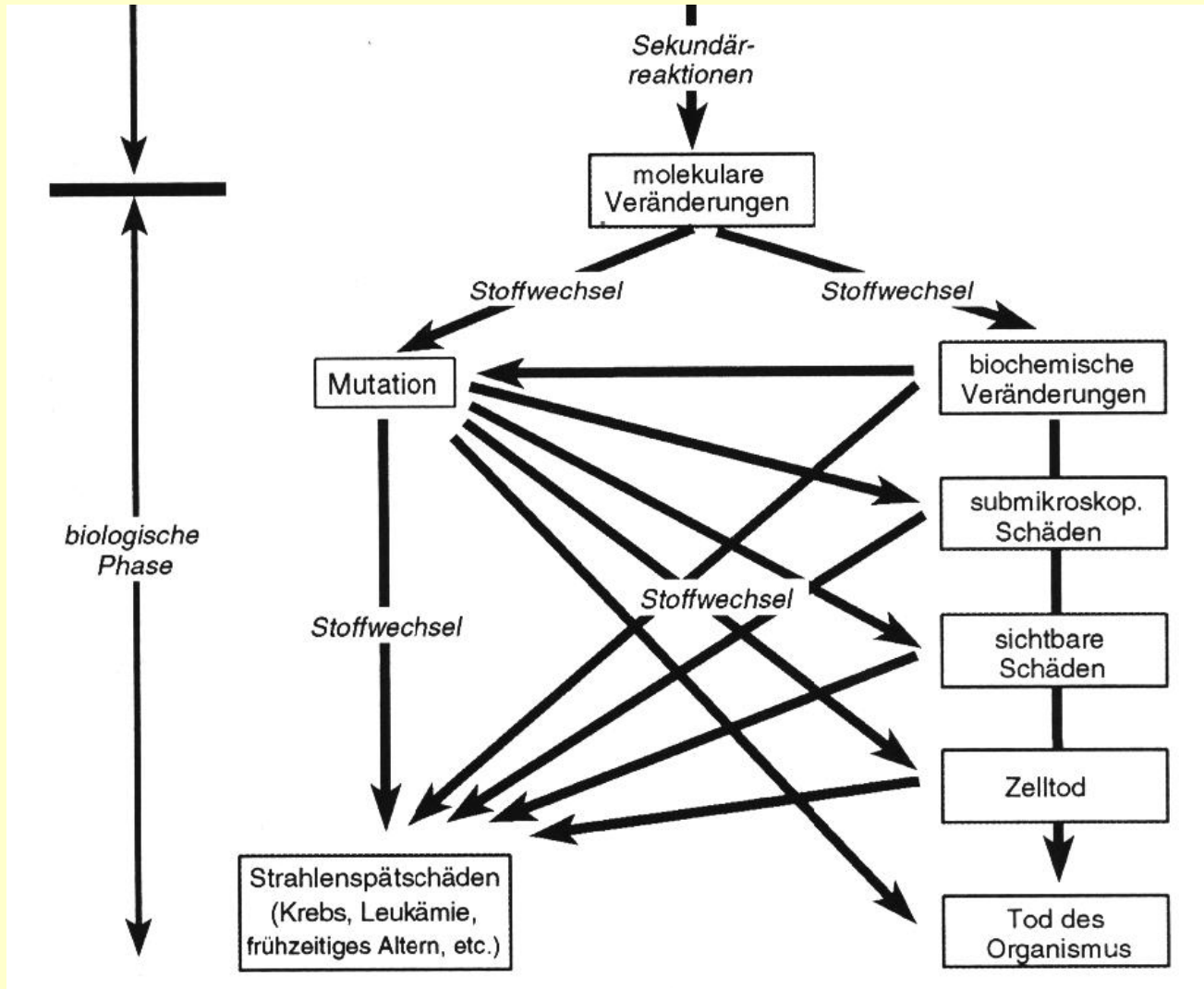
Strahlenschäden 1

Biologisch-chemische Wirkung von Strahlen: Physikalische und chemische Phasen



Strahlenschäden 2

Biologisch-chemische Wirkung von Strahlen: Biologische Phase



Atomkern

Masse im Atomkern konzentriert

Kernradius: $r_K = 10^{-15}$ m

2 Arten **Kernbausteine (Nukleon)**:

Atomradius: $r_A = 10^{-10}$ m

Proton: $m = 1.673 \cdot 10^{-27}$ kg, $q = +e$

Neutron: $m = 1.675 \cdot 10^{-27}$ kg, $q = 0$

Atomkern:

${}^A_Z X_{(N)}$ z.B. ${}^4_2 \text{He}_{(2)}$, ${}^{197}_{79} \text{Au}_{(118)}$

X = Elementsymbol

A = Z + N: Massenzahl

Z: Protonenzahl

N: Neutronenzahl

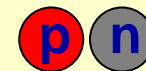
Atomare Masseneinheit: $1 \text{ AME} = 1 \text{ u} \approx 1.66057 \cdot 10^{-27}$ kg = $\frac{1}{12} m({}^{12}_6 \text{C})$

Isotope

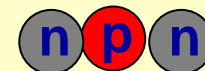
Nuklide mit gleicher Kernladungszahl Z,
(=> gleiche chemischen Eigenschaften)
verschiedenen Neutronenzahlen N bzw.
(Massenzahlen A)



${}^1_1 \text{H}$ Wasserstoff



${}^2_1 \text{H}$ Deuterium



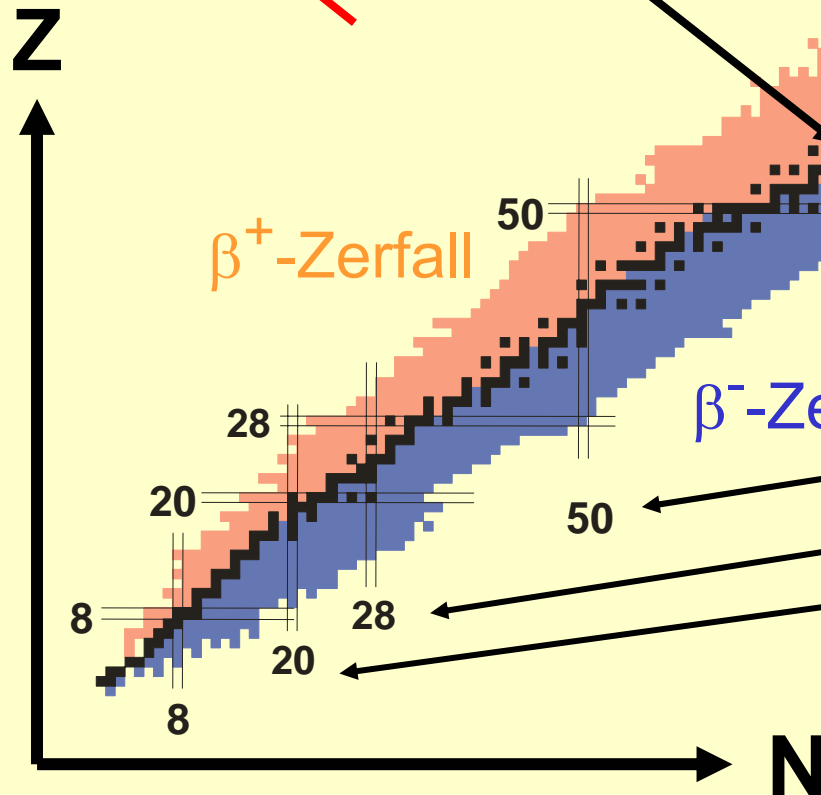
${}^3_1 \text{H}$ Tritium

Außerdem: Isotone (N konst.), Isobare (A konst.) und Isomere (angeregt)

Nuklidkarte

Anordnung der Nuklide
Analog zum Periodensystem
der Elemente

Isotope ———
Isotone |
Isobare \



Stabile Kerne

β^+ -Zerfall

β^- -Zerfall

α -Zerfall

Spaltung

Transurane

- Z = 92 Uran
- Z = 93 Neptunium
- Z = 94 Plutonium

Magische Zahlen

jeweils für Z und N
8, 20, 28, 50, 82, 126

Erklärung durch
Spin-Bahn-Term der
starken Wechselwirkung

Bindungsenergie der Kerne

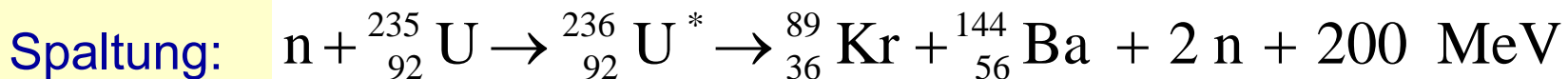
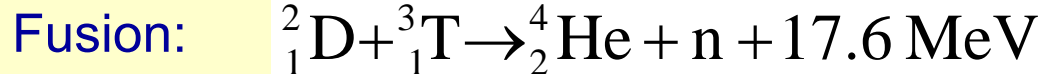
Kernmasse <
Masse der Protonen +
Masse der Neutronen

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

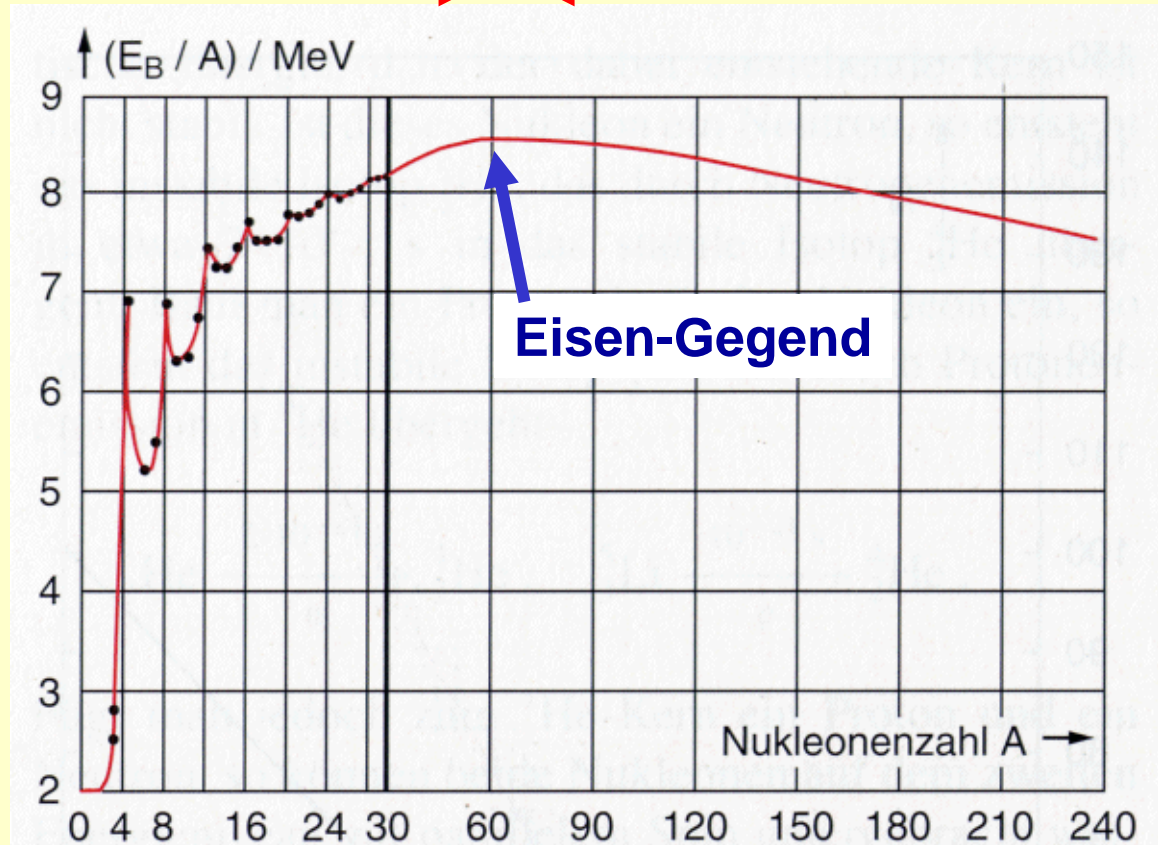
$$\Delta m \cdot c^2 = E_b$$

Δm heißt **Massendefekt**
entspricht

Bindungsenergie =
Energie, die aufgebracht
werden muss, um die
Nukleonen eines Kerns
voneinander zu trennen



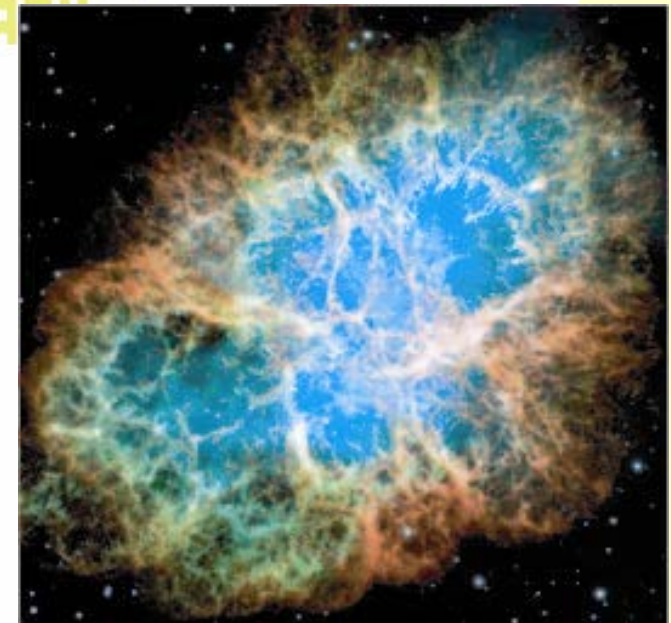
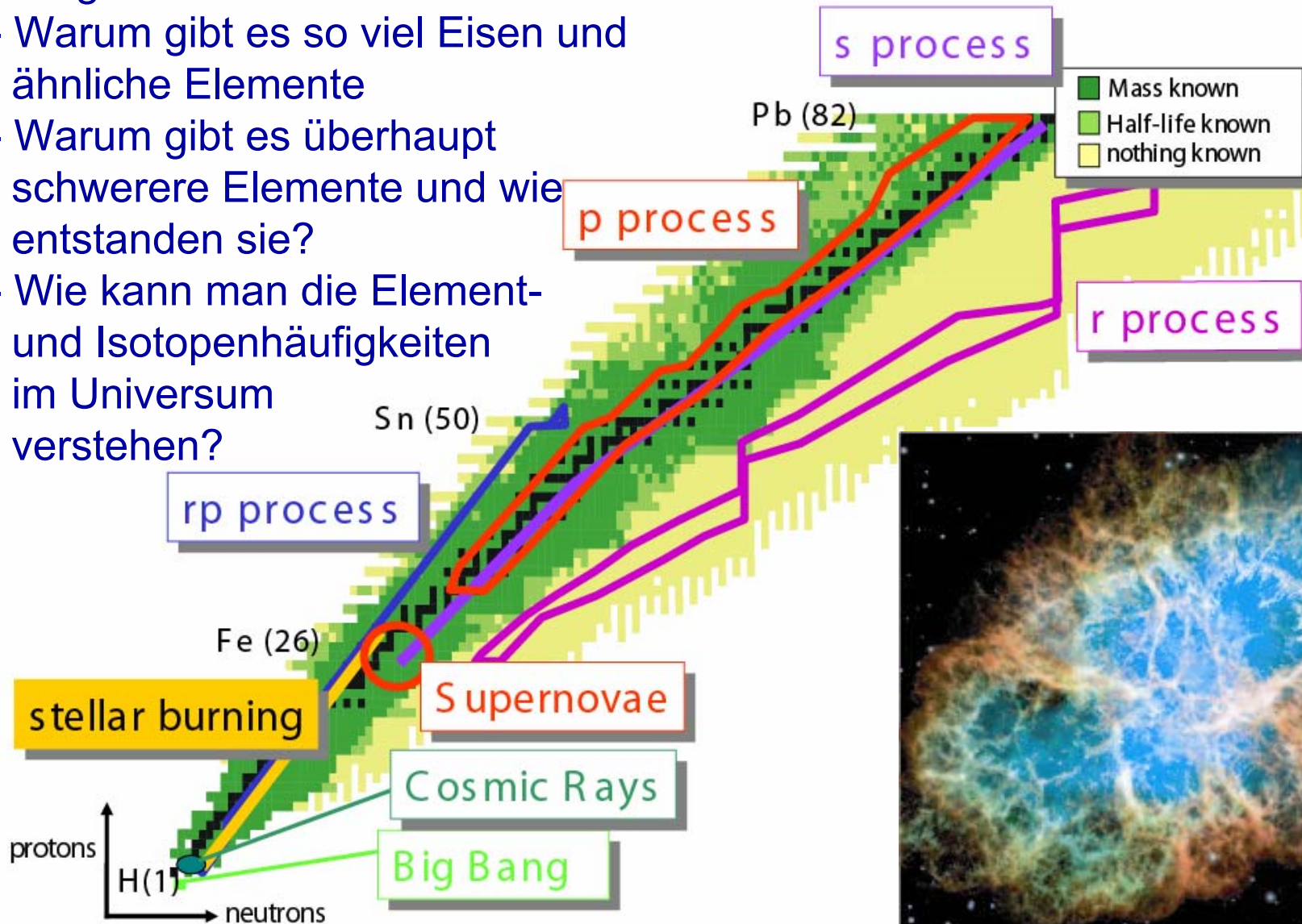
Energiegewinn durch
Kernfusion \leftarrow \rightarrow Kernspaltung



Nucleosynthese

Fragen:

- Warum gibt es so viel Eisen und ähnliche Elemente
- Warum gibt es überhaupt schwerere Elemente und wie entstanden sie?
- Wie kann man die Element- und Isotopenhäufigkeiten im Universum verstehen?



Kernspin und magnetisches Moment

Kernspin I : $\vec{I} = \vec{L} + \vec{S}$

Spin $S = \frac{1}{2}$
Bahndrehimpuls $L = 0, 1, 2$

Alle Atome mit ungerader Nukleonenzahl haben $\vec{I} \neq 0$

Magnetisches Moment $\vec{M} = g_I \frac{e}{2m_p} \vec{I}$

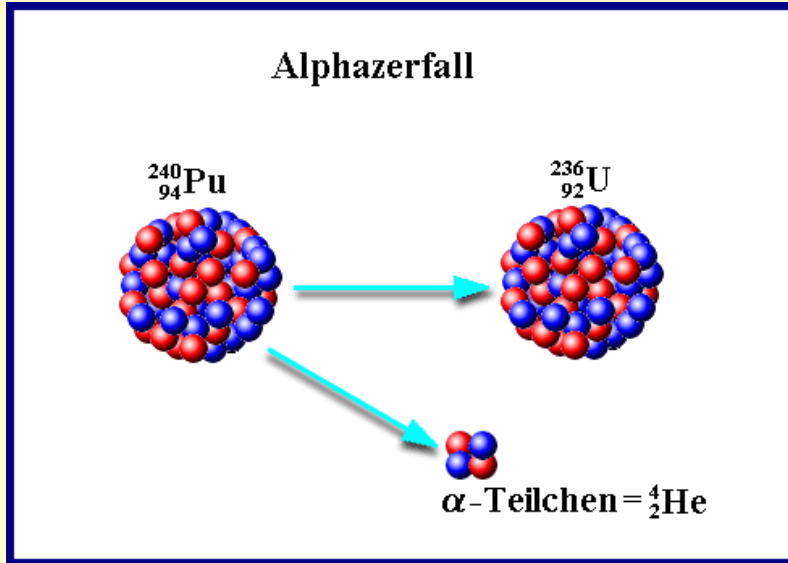
NMR: Der Kern eines Atoms wirkt wie ein „magnetischer Kreisel“. In einem äußeren Magnetfeld B führt er wegen der Drehimpulserhaltung eine Präzessionsbewegung durch. Legt man ein zeitlich veränderliches Querfeld B' an, so findet man bei der Präzessionsfrequenz eine ausgeprägte Resonanz.

Sie ist charakteristisch für den jeweiligen Kern (gyromagnetischen Verhältnis g_I).

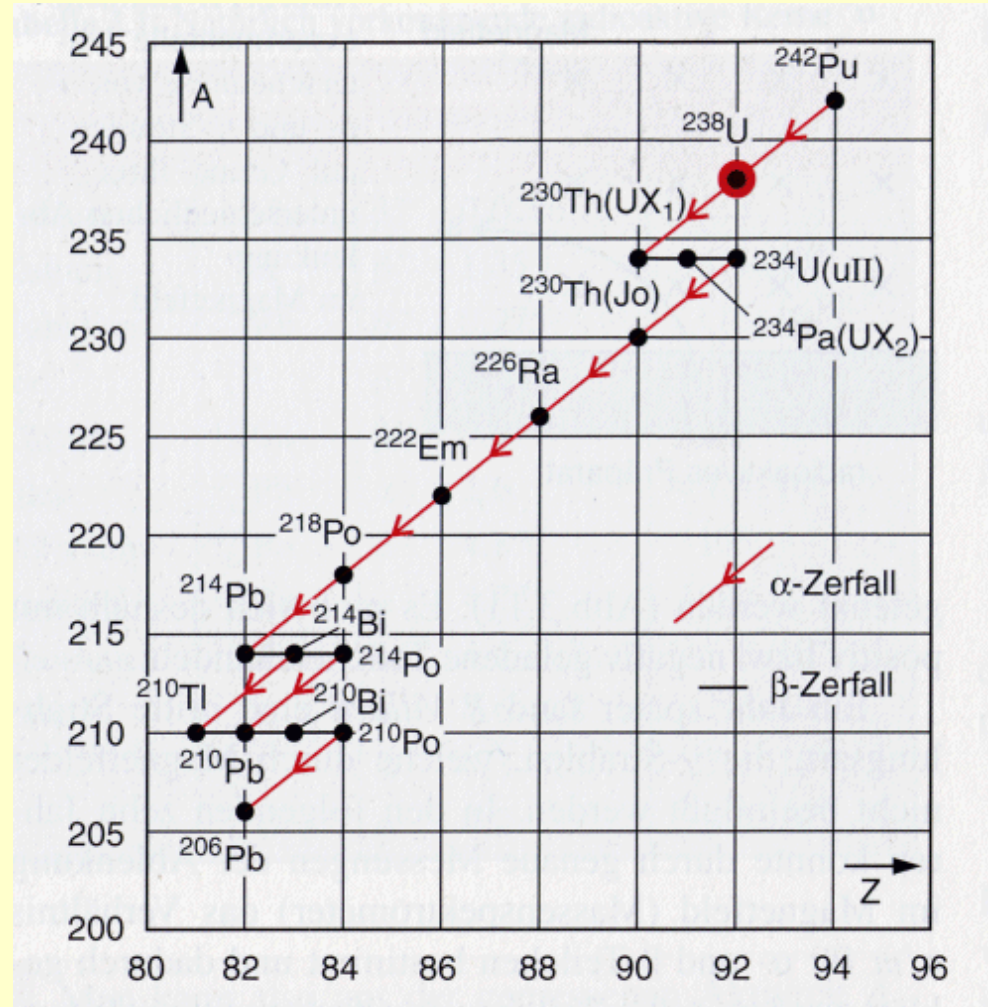
→ Kernspintomograph

Radioaktivität

Zerfall instabiler Kerne:



Zerfallsreihe von Uran-238



Zerfallsgesetz

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

Analog Absorption $\frac{dI}{dx} = -\mu I(x)$

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

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Lebensdauer}$$

$$t_{1/2} = \tau \ln 2 = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \text{Halbwertszeit}$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = \dots$$

A_0 : Anfangsaktivität

A: momentane Aktivität

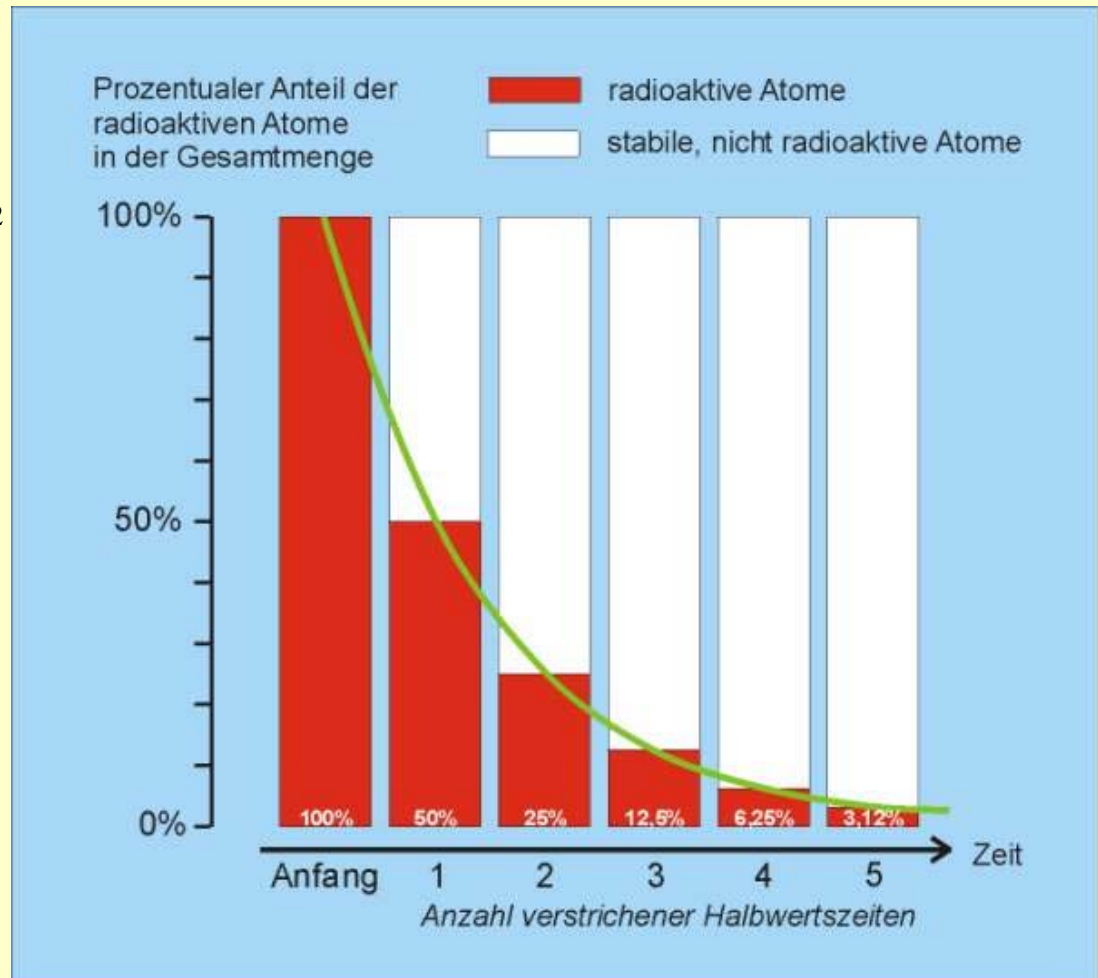
Becquerel Bq = 1/s

früher Curie Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
(entspricht 1 g Radium)

N_0 : Anfangsmenge instabiler Kerne

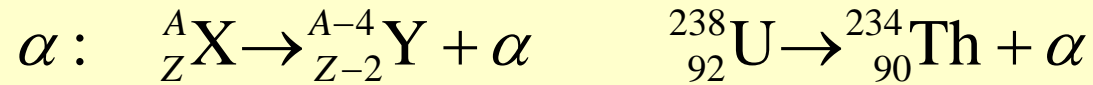
N: momentane Menge instabiler Kerne

λ : Zerfallskonstante

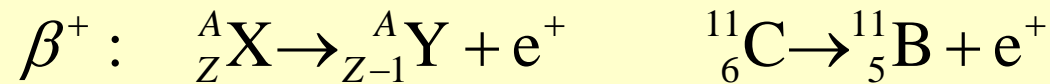
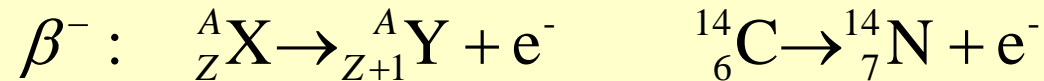


Zerfallsarten

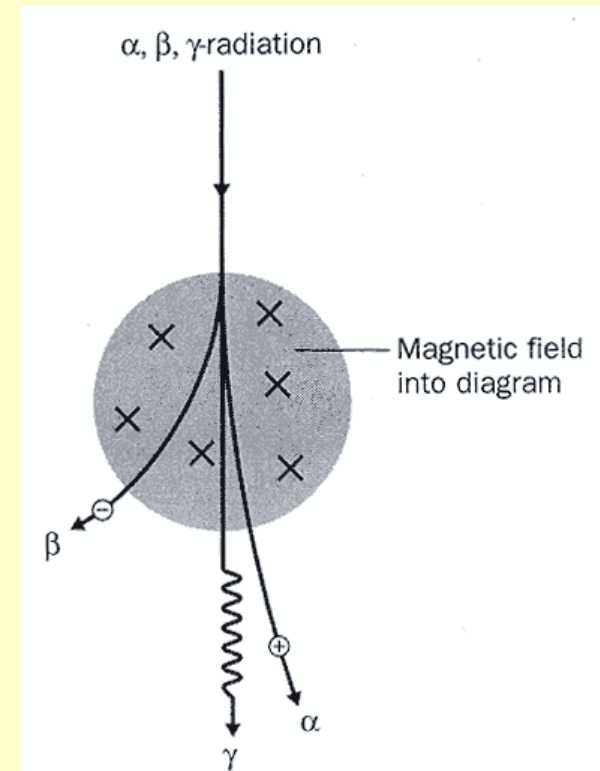
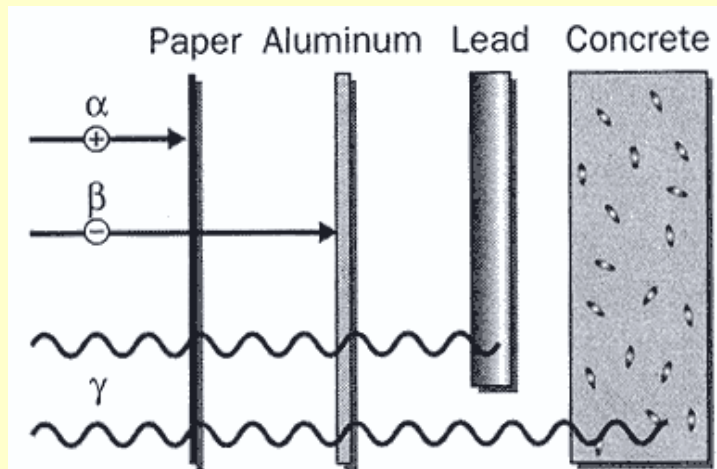
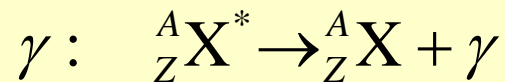
α -Zerfall: Setzt ein α -Teilchen frei ($\alpha = {}^4_2\text{He}$)



β -Zerfall: Setzt ein Elektron (e^-) oder ein Positron (e^+) frei



γ -Zerfall: Setzt elektro-magnetische Strahlung (γ) frei, $E_\gamma = h \cdot f$

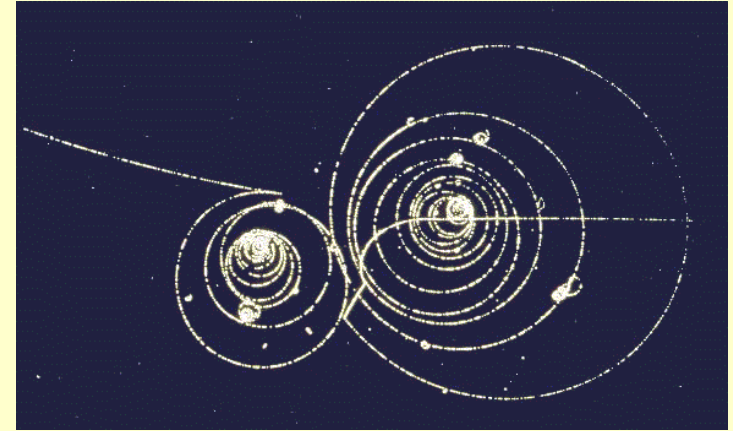


Strahlungsdetektion 1

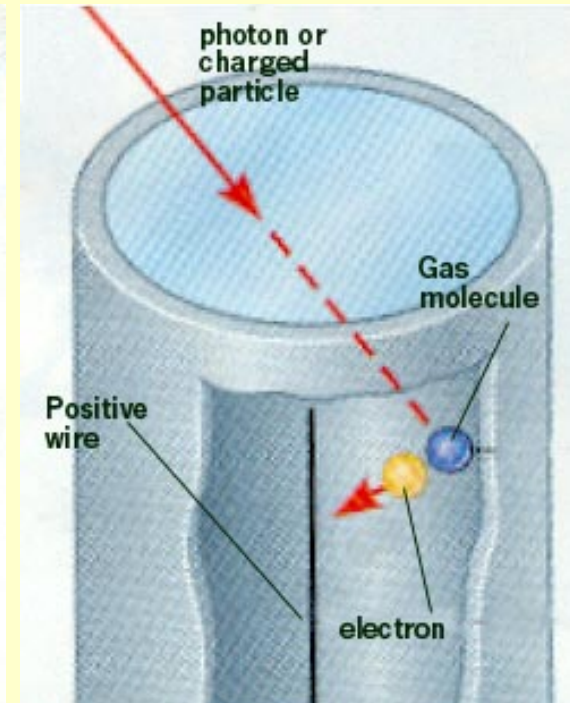
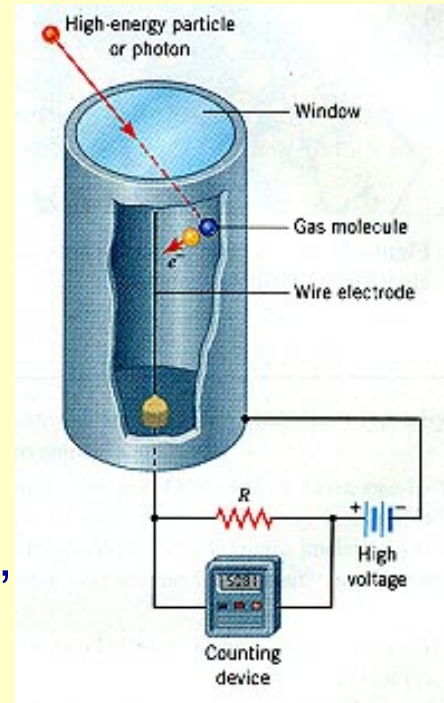
α , β , γ : können Atome ionisieren,
„ionisierende Strahlung“

Nebelkammer: Alkoholdampf in Kammer,
Wird durch Strahlung ionisiert, an den Ionen
kondensiert der Dampf => Teilchenspur

Blasenkommer: Blasenbildung in „über-
hitzer“ Flüssigkeit.



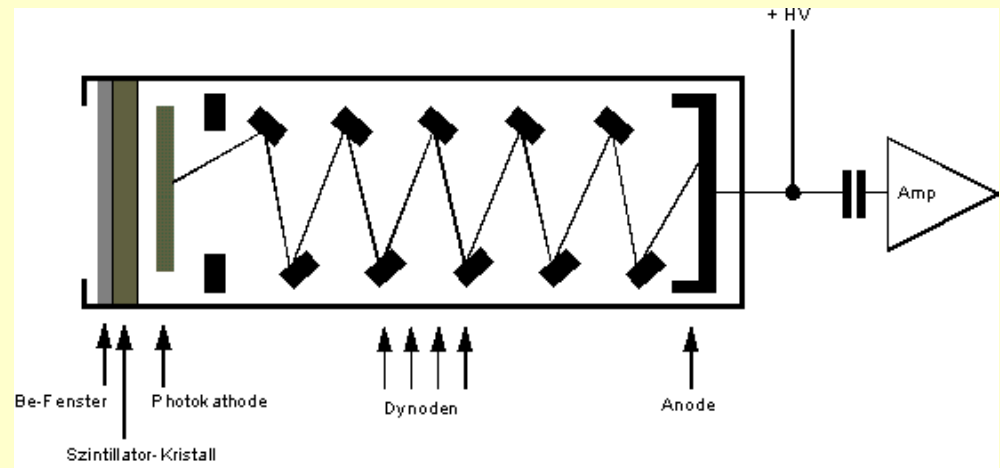
Geiger-Müller-Zählrohr:
Ionisierende Strahlung in
Metallrohr mit Argon und
Alkoholdampf. Hohe Spannung
(ca. 300 V) an Drahtelektrode,
Ionisation der Argon-Atome, die
freigesetzten Elektronen werden
auf Drahtelektrode beschleunigt
und erzeugen weitere Elektronen,
Elektronenlawine auf Draht
=> Zählimpuls



Strahlungsdetektion 2

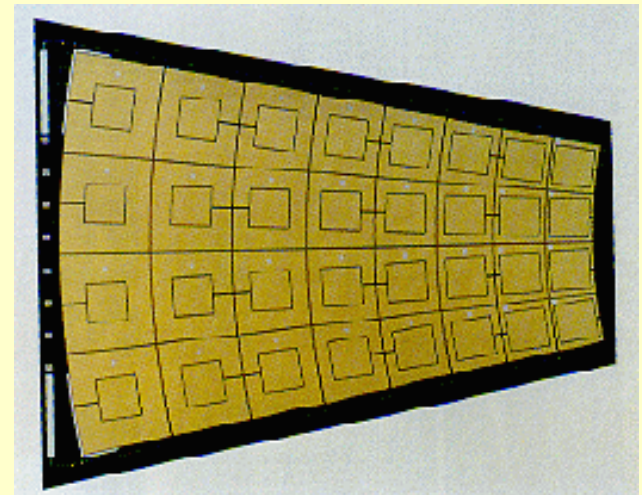
Szintillationszähler:

basiert auf Photoeffekt:
Radioaktive Strahlung führt bei bestimmten Materialien (NaJ) zu Photoluminiscenz (Lichtblitzen). Ein Photovervielfacher setzt Lichtblitze in elektrische Strompulse um, die gezählt werden.



Halbleiterdetektor:

In der Sperrschicht einer Halbleiterdiode führt Strahlung zu Ionisation, was zu einem Strompuls führt, der gemessen wird.



Dosimetrie 1

Energiedosis = $\frac{\text{aus der Strahlung aufgenommene Energie}}{\text{Gewebemasse}}$

$$D_E = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

Einheit: Gy (Gray) = J / kg

früher: 1 Rad = 10 mGy
(radiation absorbed dose)

Ionendosis = $\frac{\text{Ladung der erzeugten Ionenpaare}}{\text{Gewebemasse}}$

$$D_I = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

Einheit: C / kg

früher: Röntgen
1 R = 258 mC/kg

Äquivalentdosis = biologische Dosis

$$D_q = q \cdot D_E$$

Einheit: Sv (Sievert) = J / kg

früher: 1 rem = 10 mSv
(Röntgen equivalent man)

Bewertungsfaktoren q
(= RBW-Faktoren, relative biologische Wirksamkeit)

Röntgenstrahlung (γ)	q=1
schnelle Elektronen (β)	q=1
therm. Neutronen (n)	q=3
schnelle Neutronen (n)	q=10
He-Kerne (α)	q=15-20

Strahlungsexposition und -schutz

Abstand maximieren

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

Abschirmung maximieren

$$I = I_0 e^{-\mu r}$$

Aufenthaltsdauer minimieren

$$I \propto t$$

die 3 A's

genetische Strahlenschäden ab etwa

100 mSv/a

max. (gesetzl.) erlaubte Äquivalenzdosis
für gesamten Körper:

50 mSv/a

vgl. mit natürlicher Strahlenexposition

ca. 1 mSv/a

(große regionale Unterschiede aufgrund von Gesteinsarten und
Höhe über NN, Zuwachs durch kosm. Str. 0,1 mSv/a pro 300m

sowie mit künstlicher Strahlenexposition

ca. 0,6 mSv/a

(ebenfalls große individuelle Unterschiede, z.B. med. Untersuchungen)

Elementarteilchen

Tabelle 7.2. Charakteristische Daten einiger Teilchen mit Lebensdauern $> 10^{-22}$ s

	Teilchen	Symbol	Baryonen- zahl B	Masse (MeV/c ²)	Ladung	Spin in \hbar	Isospin T	Seltsam- keit S	Lebensdauer in s
	Photon	γ	0	0	0	1	0	0	∞
Leptonen	Neutrino	$\nu_e, \bar{\nu}_e$	0	$< 10^{-5}$	0	1/2	0		∞
		$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	0	$< 10^{-4}$	0	1/2	0	0	∞
		$\nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$	0	?	0	1/2	0		∞
	Elektron	e^+, e^-	0	0,511	$\pm e$	1/2	0	0	∞
	Myon	μ^-, μ^+	0	105,66	$\pm e$	1/2	0	0	$2,199 \cdot 10^{-6}$
Mesonen	Pionen	π^+, π^-	0	139,57	$\pm e$	0	1	0	$2,602 \cdot 10^{-8}$
		π^0	0	134,97	0	0	1	0	$8,4 \cdot 10^{-17}$
	Kaonen	K^+, K^-	0	439,71	$\pm e$	0	1/2	+1	$1,237 \cdot 10^{-8}$
		K_S^0	0	497,71	0	0	1/2		$8,82 \cdot 10^{-11}$
		K_L^0	0	497,71	0	0	1/2		$5,2 \cdot 10^{-8}$
	Eta-	η	0	548,5	0	0	0		$2,5 \cdot 10^{-17}$
		η'	0						$3,3 \cdot 10^{-21}$
	Phi-	ϕ	0	1019	0	1	0	0	$1,5 \cdot 10^{-22}$
Psi-	ψ	0	3095	0	1	0	0	10^{-20}	
Baryonen	Proton	p^+, p^-	1, -1	938,26	$\pm e$	1/2	1/2	0	∞
	Neutron	n, \bar{n}	1, -1	939,55	0	1/2	-1/2	0	918
	Lambda-	$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1, -1	1115,59	0	1/2	0	-1, +1	$2,5 \cdot 10^{-10}$
	Sigma-	$\Sigma^+, \bar{\Sigma}^+$		1189,4	$\pm e$				$8 \cdot 10^{-11}$
		$\Sigma^0, \bar{\Sigma}^0$		1192,5	0	1/2	0		$< 10^{-14}$
	Omega-	$\Sigma^-, \bar{\Sigma}^-$		1197,3	$-e$				
	Ω^-	+1	1672	$-e$	3/2	0	-2	$1,3 \cdot 10^{-10}$	

Quarks & Co.

Auch die „Elementarteilchen“ sind zum Teil zusammengesetzt, Baryonen aus je 3, Mesonen aus je zwei Quarks:

Dabei gibt es drei sog. **Familien** oder **Generationen**:

u (up)	c (charm)	t (top, truth)	Ladung/e = 2/3
d (down)	s (strange)	b (bottom, beauty)	Ladung/e = -1/3

Dazu gehört jeweils ein Leptonenpaar:

e (Elektron)	μ (Myon)	τ (Tau)
ν_e (e-Neutrino)	ν_μ	ν_τ

Dazu die Antiteilchen, die Teilchen, durch deren Austausch die Wechselwirkung vermittelt wird und evtl. „supersymmetrische Teilchen“.

Einfache Beispiele:

Proton: uud

Neutron: udd

„**Farbladung**“: bei der starken WW analog zur Coulomb-Ladung bei der el.-mag. Wechselwirkung Reale, d.h. „direkt“ beobachtbare Teilchen sind immer „farbneutral“, d.h. Teilchen mit Antiteilchen (komplementäre Farben), oder drei ergänzende