

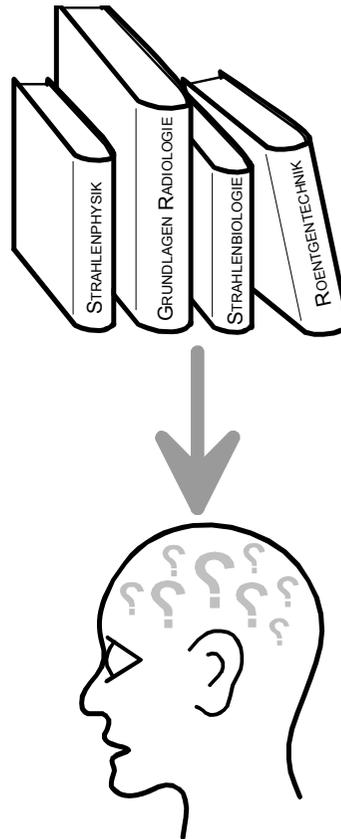
Radiologie Modul I



Teil 1
Grundlagen Röntgen

Teil 1

Inhalt



- Physikalische Grundlagen Röntgen
- Strahlenbiologie
- Technische Grundlagen Röntgen



Inhalt

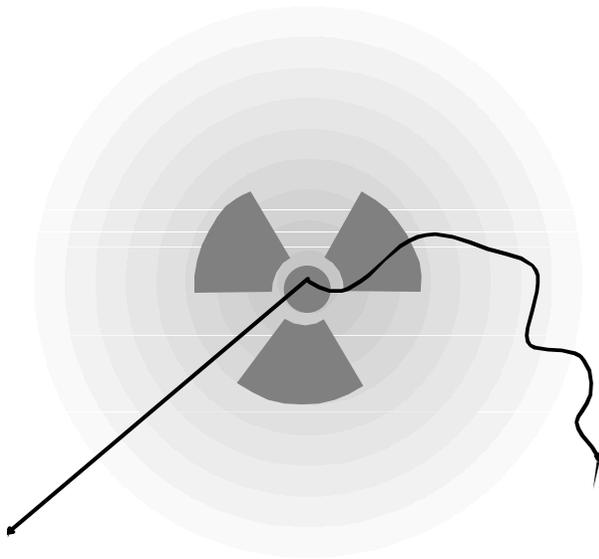
- Grundbegriffe
- Erzeugung ionisierender Strahlung
- Wechselwirkungen
- Die Energiedosis



Lernziele

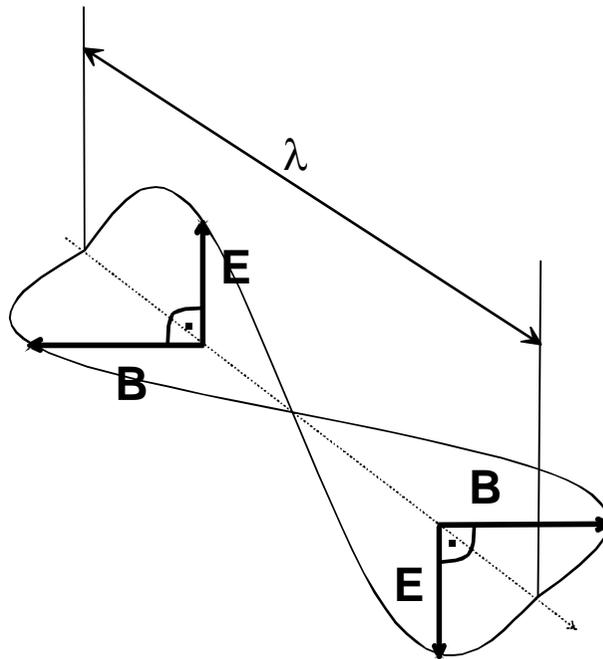
- Grundbegriffe in eigenen Worten erläutern können
- Entstehung ionisierender Strahlung erklären können
- Gesetze der Schwächung von Röntgenstrahlung anwenden können
- mit Energiedosisbegriff vertraut sein

Der Begriff der Strahlung



- Energietransport durch Wellen oder Teilchen
- Beispiele:
Photonen
Elektronen

Elektromagnetische Wellen



- räumliche Ausbreitung elektrischer und magnetischer Felder
- charakterisiert durch:
Wellenlänge λ
Frequenz ν
Geschwindigkeit c

Wellen-Teilchen-Dualismus

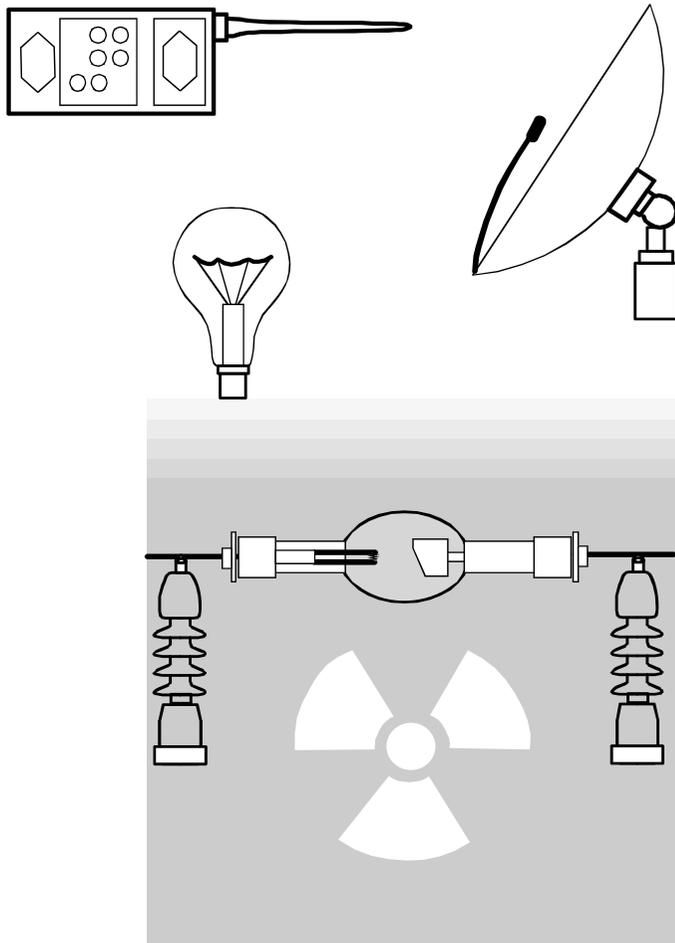
$$E_{\gamma} = h \cdot \nu = h \frac{c}{\lambda}$$

- Energie eines einzelnen Photons abhängig von:

Frequenz ν

bzw. Wellenlänge λ

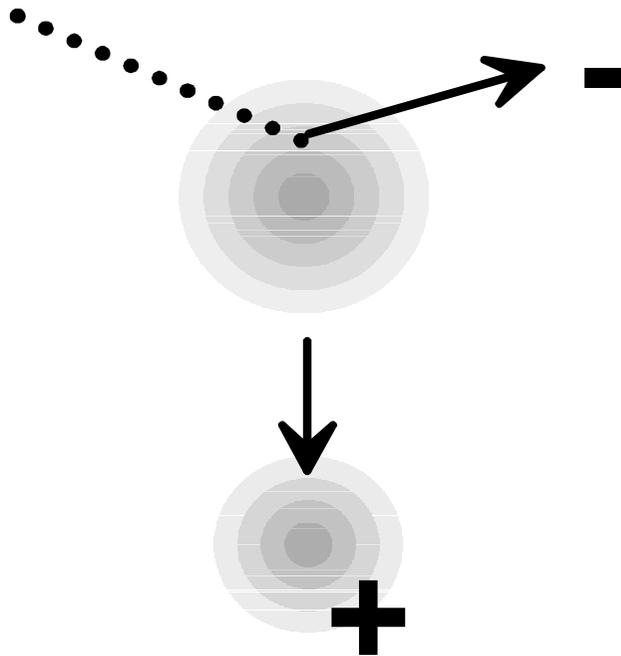
Grundbegriffe



Erscheinungsformen

- Radio- und Radarwellen
- Infrarot
- sichtbares Licht
- UV
- Röntgen- und γ -Strahlung

Ionisierende Strahlung



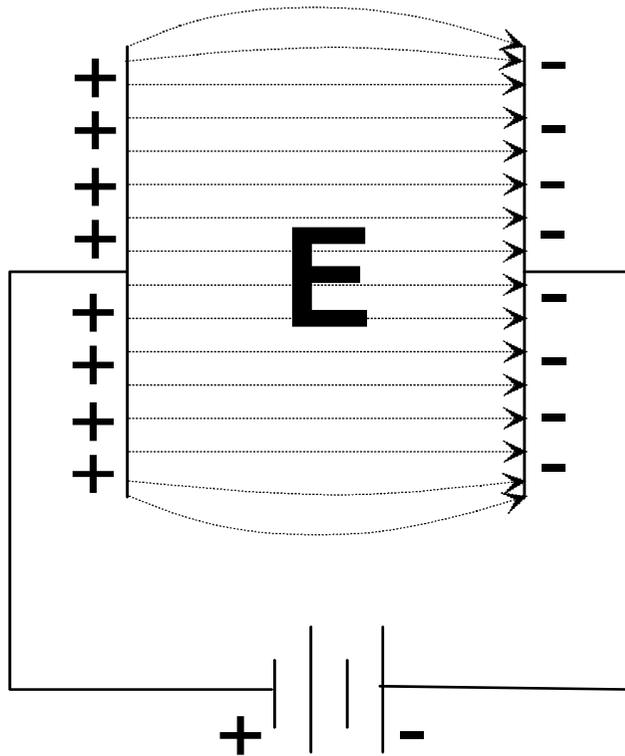
- Ionisation = Ladungstrennung
- Ionisation durch einzelnes Teilchen (Photon, Elektron, ...) → ionisierende Strahlung

$$E_{kin} = q \cdot U$$

Das Elektronenvolt

- Kraft = Ladung mal elektrische Feldstärke
- Energie (Arbeit) $E =$ Kraft mal Weg
- Spannung $U =$ elektrische Feldstärke mal Weg

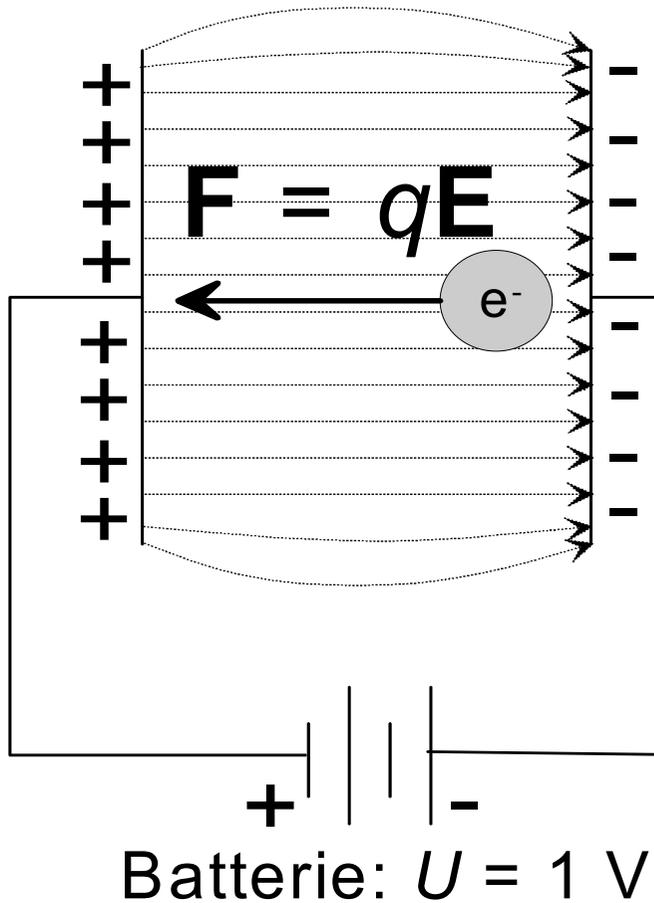
Das Elektronenvolt



Batterie

- elektrisches Feld zwischen zwei Platten durch Anlegen einer Spannung U (Batterie)

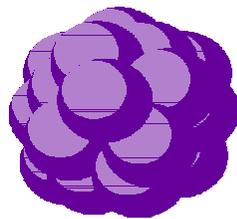
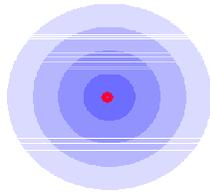
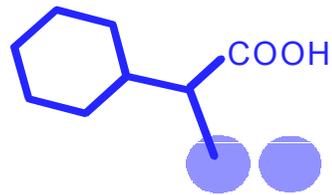
Das Elektronenvolt



- Elektron im elektrischen Feld
- Spannung = 1 V
- kinetische Energie nach durchlaufen der Spannung von 1 V = $1.6022 \times 10^{-19}\text{ J}$

$$= 1\text{ eV}$$

Grundbegriffe



Bindungsenergien

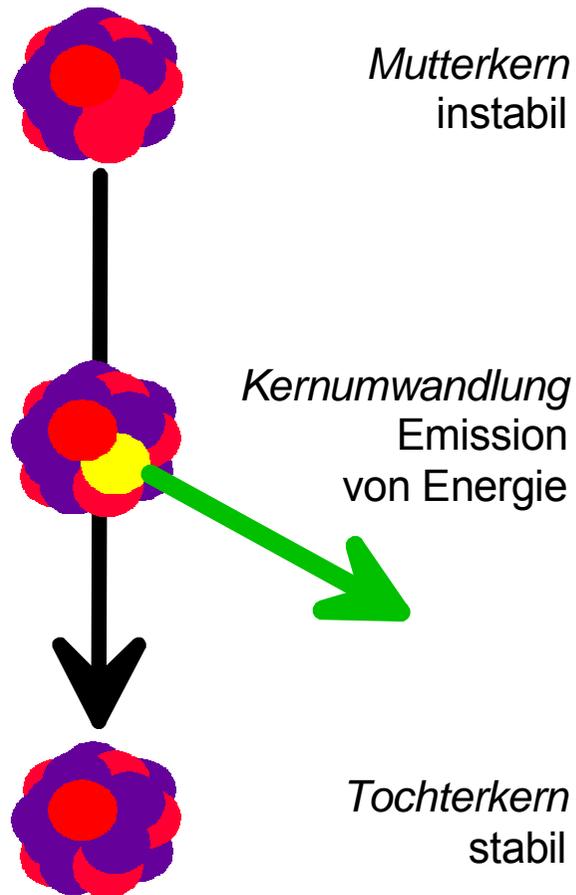
- Moleküle: wenige eV
- Atome: einige eV (äussere Hülle) bis viele keV (innere Hülle)
- Atomkerne: einige MeV

Inhalt



- Grundbegriffe
- Erzeugung ionisierender Strahlung

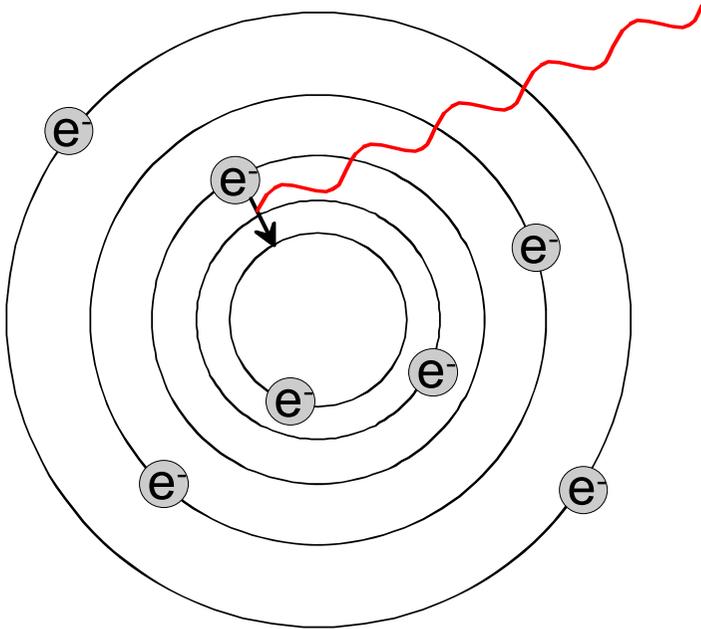
Erzeugung von Strahlung



Radioaktiver Zerfall

- Zerfall instabiler Atomkerne
- Energieabgabe durch Strahlung (α , β , γ)
- Tochterkern stabil oder instabil (Zerfallsketten)

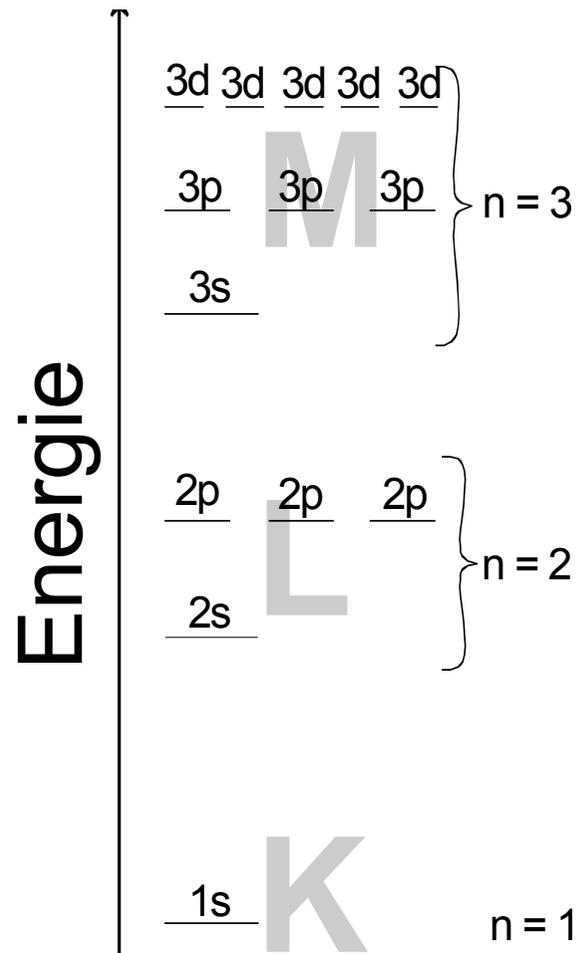
Erzeugung von Strahlung



Röntgenstrahlung

- Nachrutschen eines Elektrons aus einer höheren Schale
- Energieabgabe durch Strahlung (Photonen)
- Andere Prozesse: Bremsstrahlung

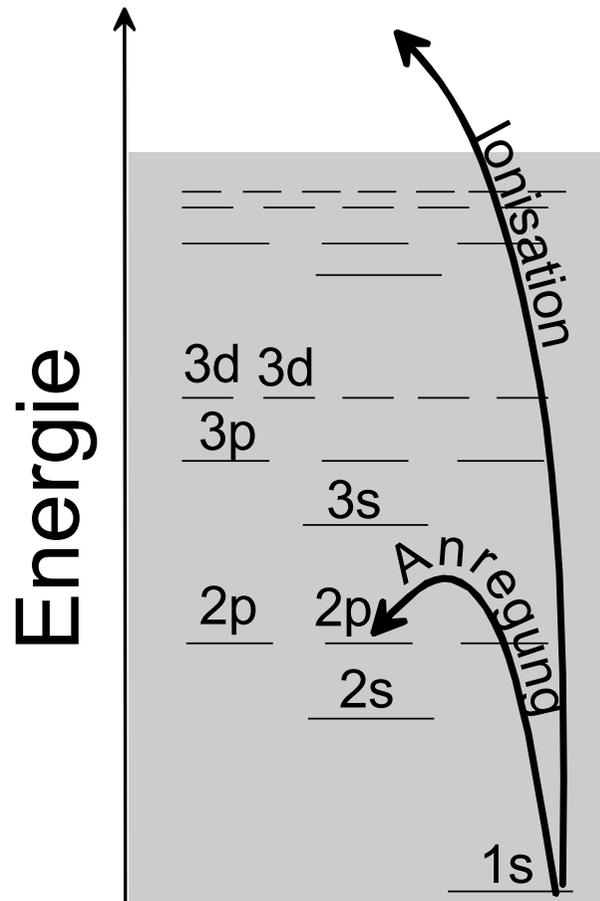
Erzeugung von Strahlung



Elektronenhülle

- verschiedene Energieniveaus
→ Schalen (K, L, M, ...)
- innerhalb Schalen verschiedene Orbitale

Erzeugung von Strahlung

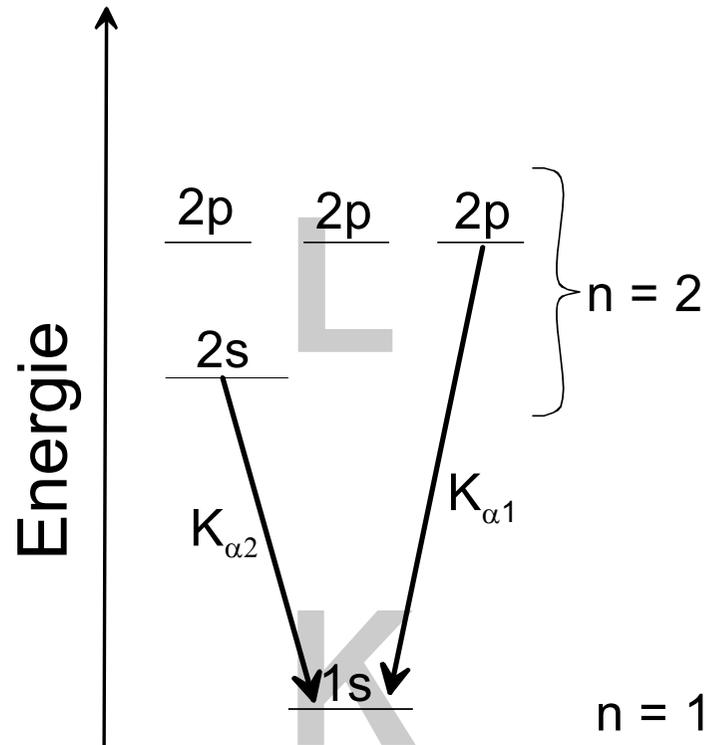


Anregung & Ionisation

- Anregung: Auf Elektron übertragene Energie **kleiner** als Bindungs-Energie
- Ionisation: Auf Elektron übertragene Energie **grösser** als Bindungs-Energie

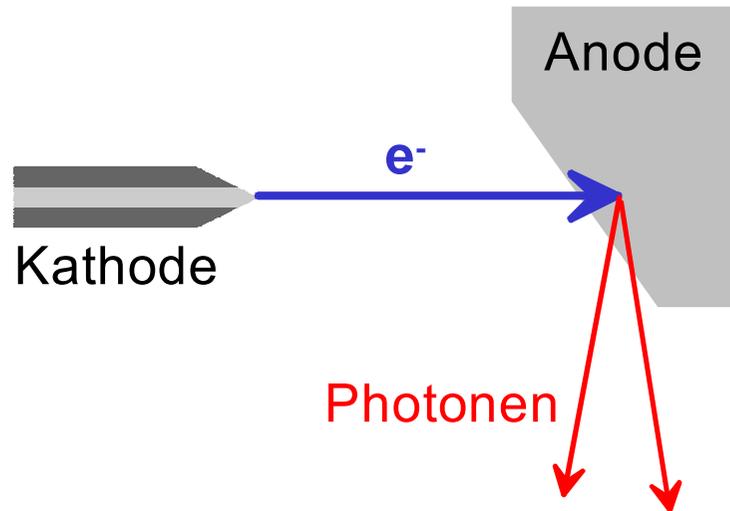
Erzeugung von Strahlung

Charakt. Strahlung



- Übergang zwischen L- und K-Schale
→ K_{α} -Linien
- Übergang zwischen M- und K-Schale
→ K_{β} -Linien

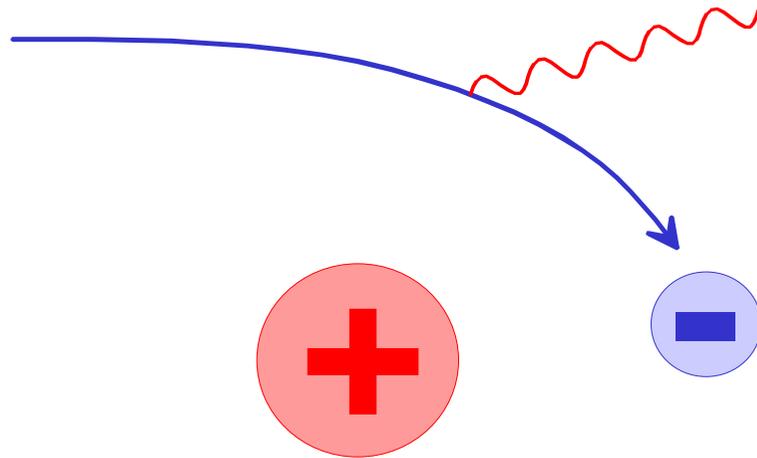
Erzeugung von Strahlung



Prinzip Röntgenröhre

- Hochspannung zwischen Kathode und Anode
- Austritt von Elektronen aus der Kathode und Beschleunigung
- Abbremsen der Elektronen im Anodenmaterial

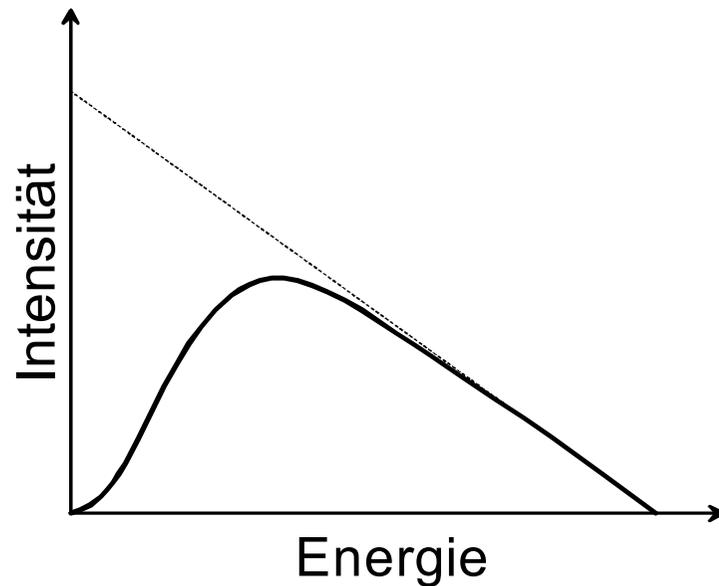
Erzeugung von Strahlung



Bremsstrahlung

- Ablenkung und Abbremsung von Elektronen
→ beschleunigte Ladung
- Emission von Strahlung

Erzeugung von Strahlung

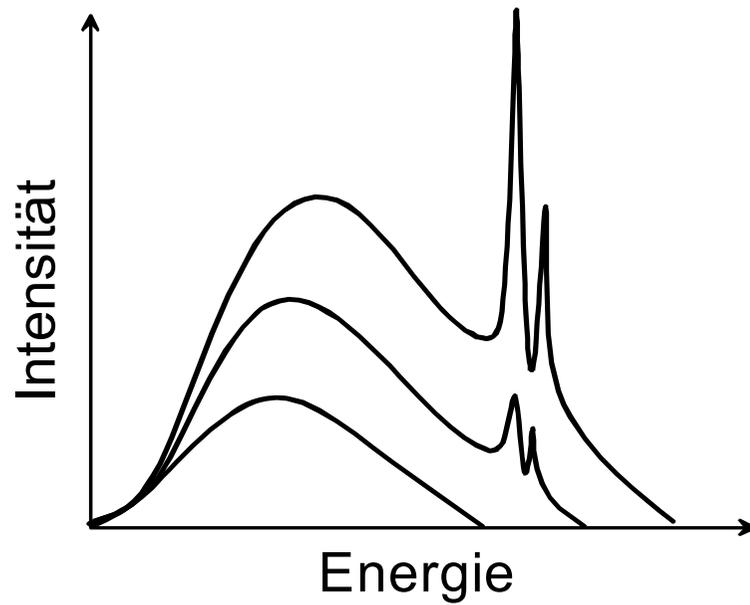


Bremsberg

- maximale Photonenenergie = kinetische Energie der Elektronen ($q \cdot U$)
- Energieabgabe in einem einzelnen Wechselwirkungsprozess unwahrscheinlich
- Absorption der niederenergetischen Photonen im Anodenmaterial

Erzeugung von Strahlung

Röntgenspektrum



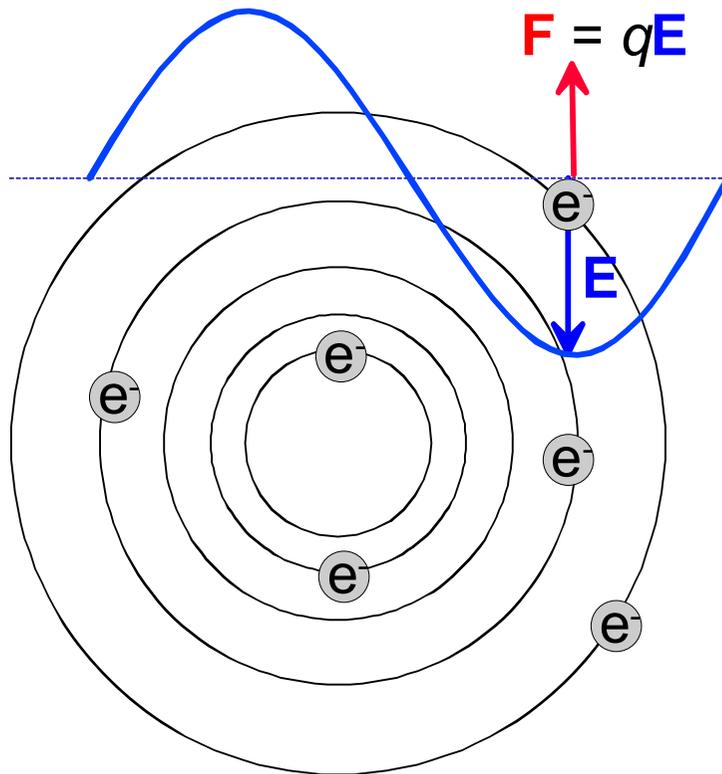
- Bremsstrahlung
- charakteristische Strahlung



Inhalt

- Grundbegriffe
- Erzeugung ionisierender Strahlung
- Wechselwirkungen

Wechselwirkungen

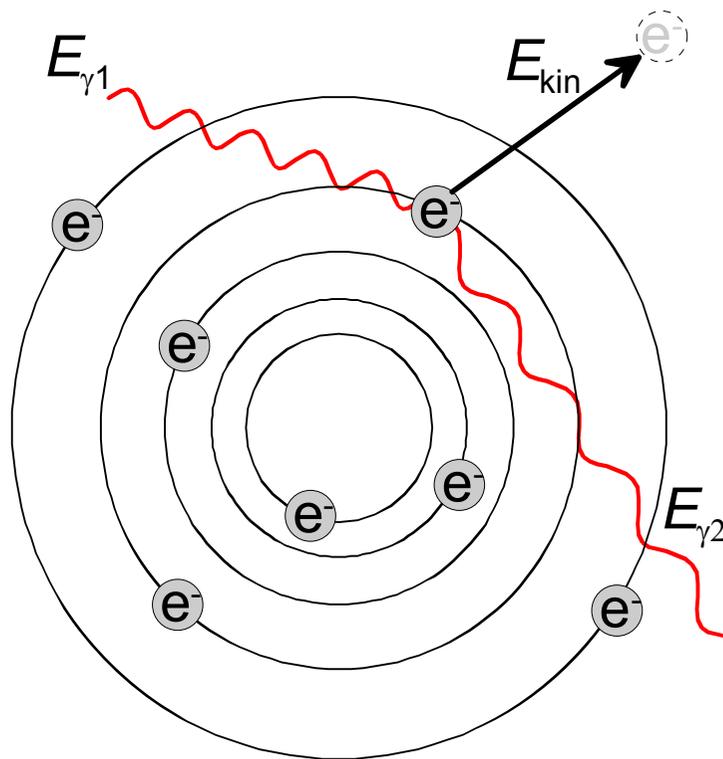


Wechselwirkungen

- elektromagnetische Strahlung
→ elektrisches Feld
- Kraftwirkung auf Hüllenelektron
- Energieübertragung auf Hüllenelektron

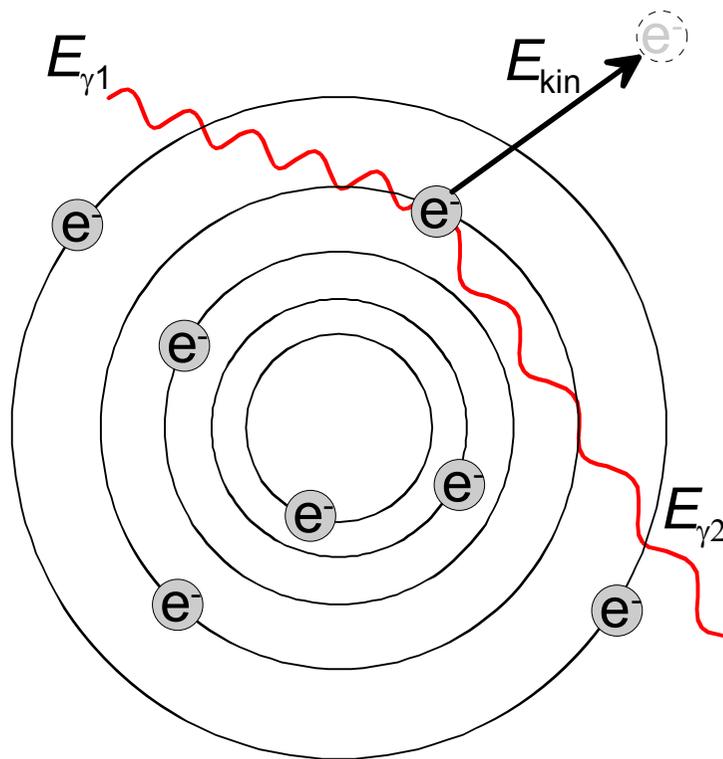
Wechselwirkungen

Comptoneffekt



- Energieübertragung auf Hüllenelektron
- Hüllenelektron fliegt weg
- Photon wird gestreut

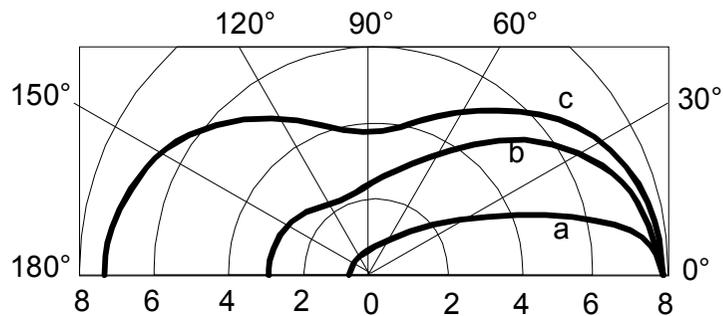
Wechselwirkungen



Comptoneffekt

- vorwiegend äussere Hüllenelektronen betroffen
- wichtigster Streuprozess zwischen ca. 100 keV bis 2 MeV
- Bedeutung in der Diagnostik: Produziert Streustrahlung

Wechselwirkungen

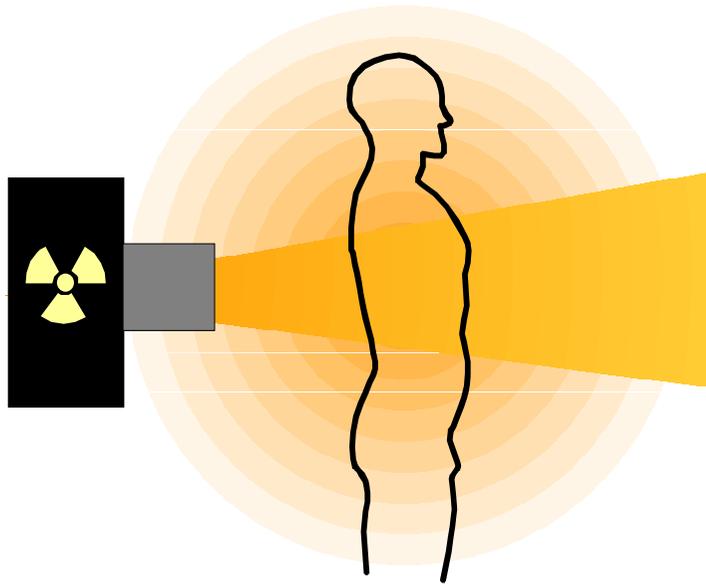


- (a) 3 MeV
- (b) 200 keV
- (c) 10 keV

Streustrahlung

- tiefe Energien (c): Viel Rückstreuung
- hohe Energien (a): Vorwärtsstreuung dominiert

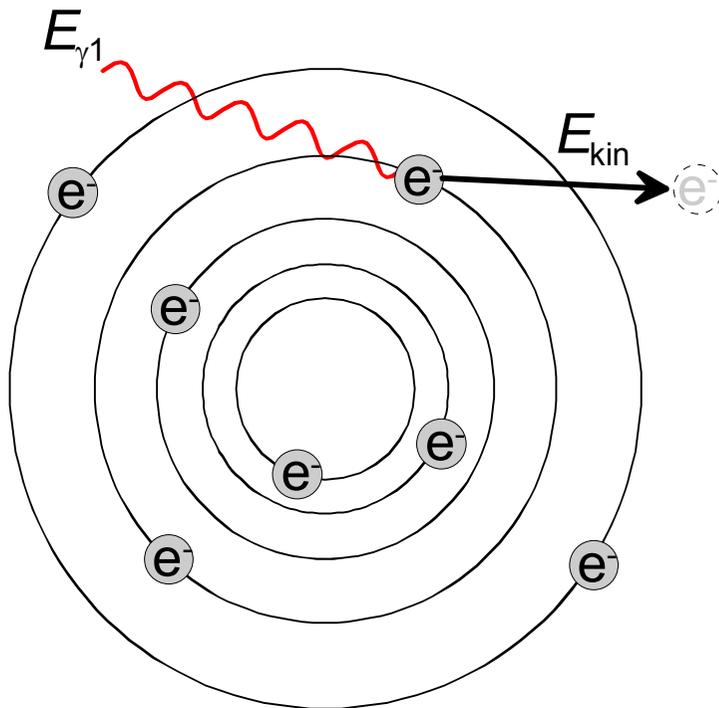
Wechselwirkungen



Streustrahlung

- Strahlenschutzproblem
- Einfluss auf Bildqualität

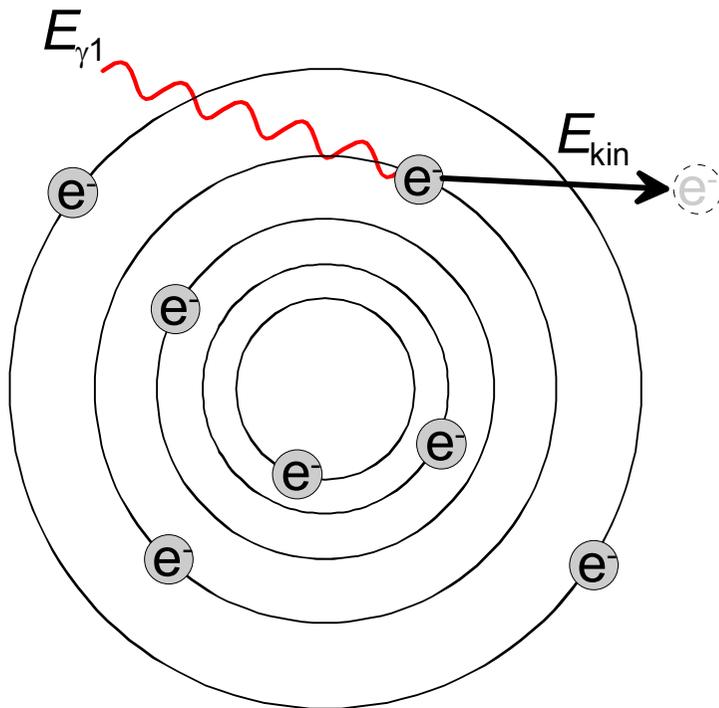
Wechselwirkungen



Photoeffekt

- Energieübertragung auf Hüllenelektron: **ALLE** Energie des Photons in kinetische Energie des Elektrons umgewandelt
- Hüllenelektron fliegt weg
- **KEIN** gestreutes Photon

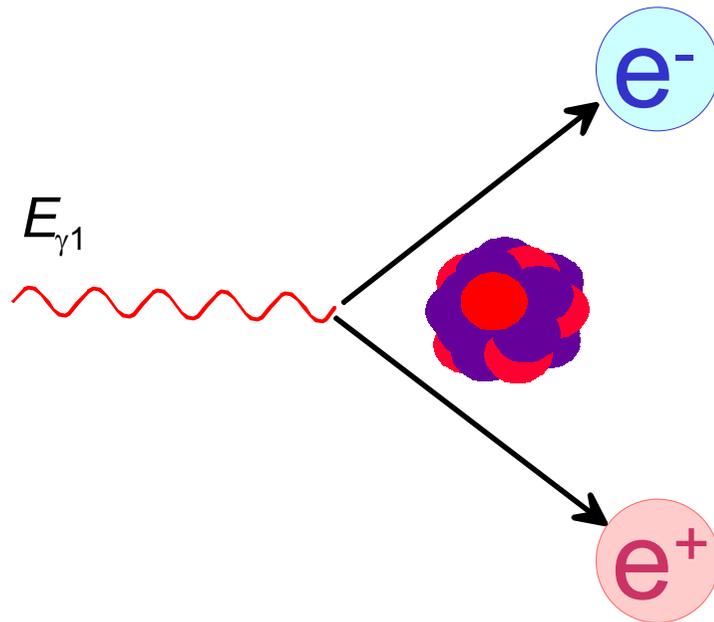
Wechselwirkungen



Photoeffekt

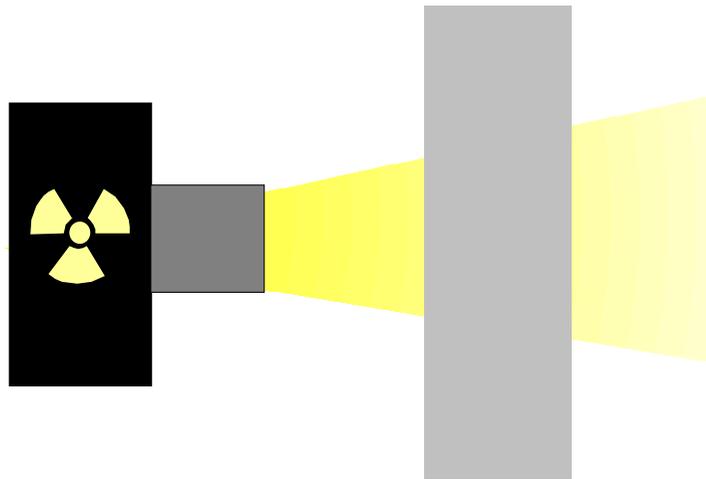
- vorwiegend innere Hüllenelektronen betroffen
- häufig bei tiefen Energien (unterhalb 100 keV)
- vorwiegend bei schweren Elementen:
Calcium →
Knochenkontrast im Röntgenbild

Wechselwirkungen



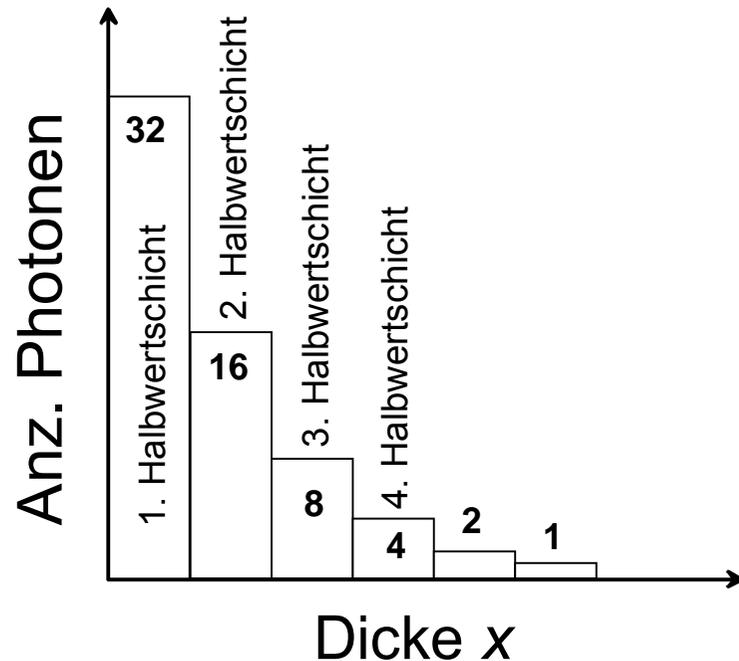
Paarbildung

- Äquivalenz zwischen Energie und Masse ($E = mc^2$)
- Photonenenergie grösser 1.022 MeV
- Elektron-Positron-Paar entsteht



Absorption / Schwächung

- Schwächung stark bei
→ schweren und dichten
Materialien
→ niedrigen
Photonenenergien
- je dicker der Absorber,
desto stärker die
Schwächung

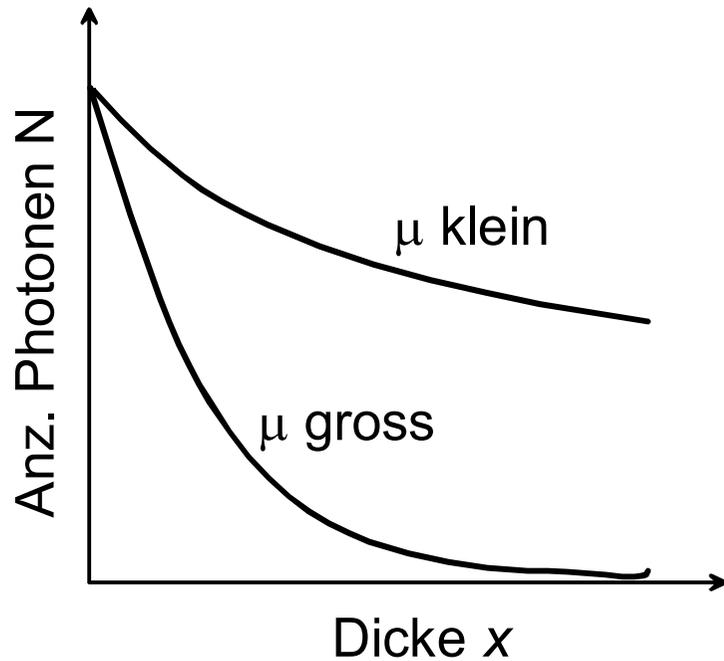


Beer-Lambertsches Gesetz

- konstante Schichtdicke, bei der 50% der Photonen absorbiert werden:
→ Halbwertschicht
- nach 2 Halbwertsschichten $\frac{1}{4}$ der Strahlungsintensität
- exponentielle Abschwächung

Wechselwirkungen

Absorptionskoeffizient μ

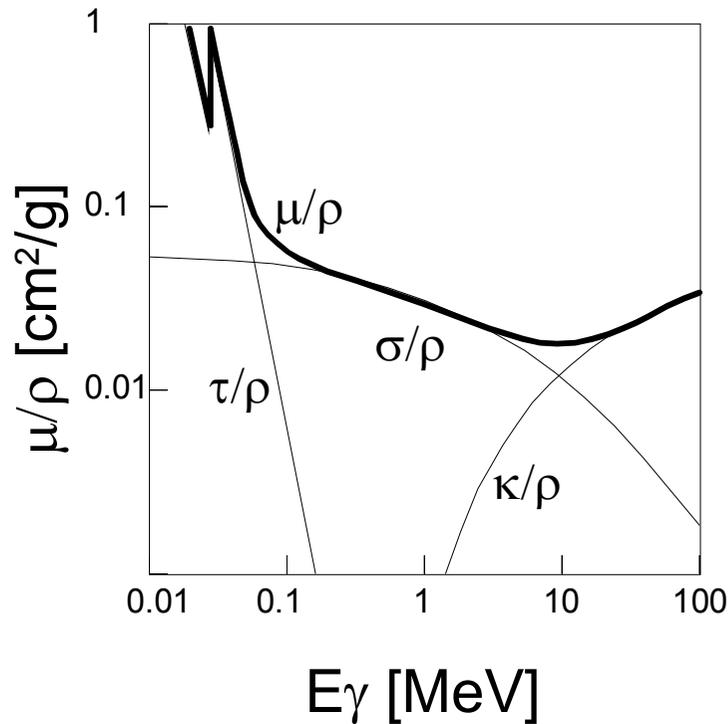


- grosses μ
→ kleine Halbwertschicht
- kleines μ
→ grosse Halbwertschicht

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x}$$

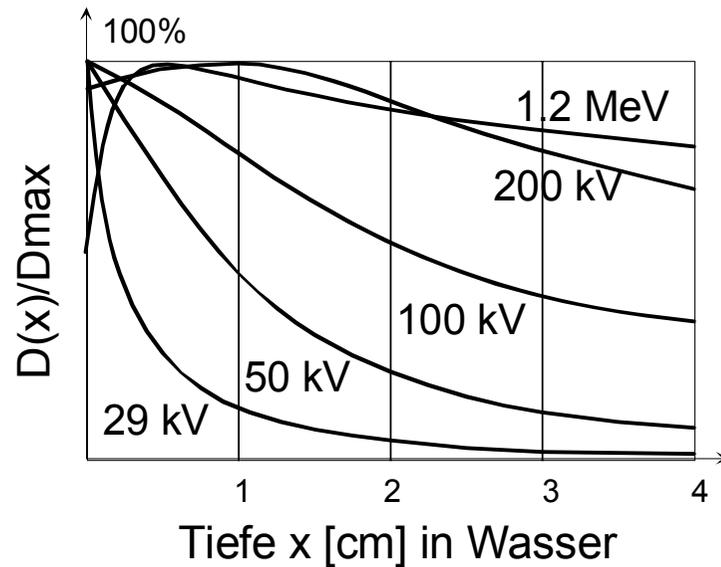
Wechselwirkungen

Energieabhängigkeit



- bei tiefen Energien dominiert der Photoeffekt (τ/ρ)
- zwischen 100 keV und ca. 2 MeV dominiert der Comptoneffekt (σ/ρ)
- Paarbildung (κ/ρ) findet oberhalb 1.022 MeV statt

Wechselwirkungen



Energieabhängigkeit

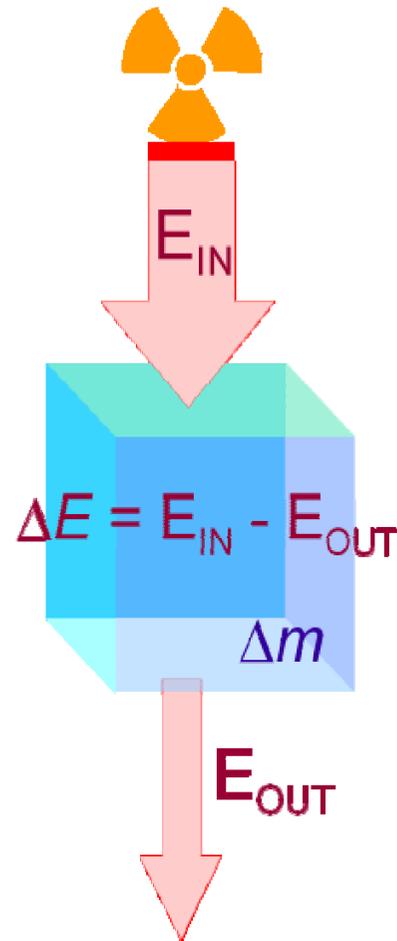
- Beer-Lambertsches Gesetz gilt nicht immer!
- Faustregel für Röntgenstrahlung unterhalb 150 keV:
je höher die Photonenenergie, desto grösser die Durchdringungsfähigkeit



Inhalt

- Grundbegriffe
- Erzeugung ionisierender Strahlung
- Wechselwirkungen
- Die Energiedosis

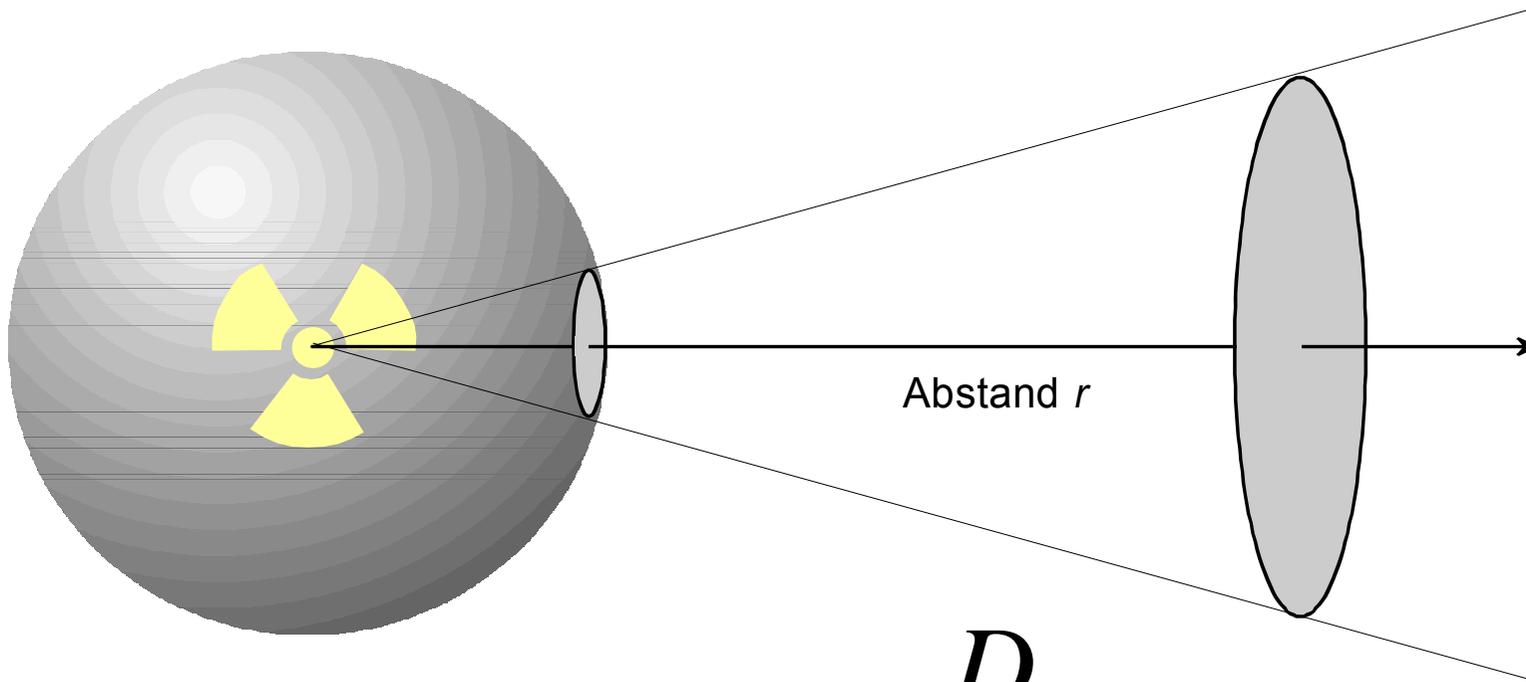
Die Energiedosis



Definition

- Strahlungsenergie ΔE , die pro Masse Δm absorbiert wird.
- SI-Einheit: Joule / kg = Gy

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



$$D(r) = \frac{D_0}{r^2}$$



Ende

- Grundbegriffe
- Erzeugung ionisierender Strahlung
- Wechselwirkungen
- Die Energiedosis