

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (1)

Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie sind Grundvoraussetzung für jede Anwendung oder schädigende Wirkung radioaktiver Strahlung

unerwünschte Wechselwirkungen \Rightarrow **Strahlenschäden**
 erwünschte Wechselwirkungen \Rightarrow **Anwendungen**
Messung

Dominierender Prozess \Rightarrow **Ionisierung**

Die meisten Messprozesse für radioaktive Strahlung sind identisch mit allgemeinen Methoden zum Nachweis **ionisierender Strahlung**

Ionisationswirkung unterschiedlicher Teilchen

Energie der Teilchen in MeV	Ionenpaare / cm		
	α -Teilchen	Protonen	β -Teilchen
1	60 000	8 000	50
10	16 000	1 000	45

α -Strahlung ist dicht ionisierende Strahlung

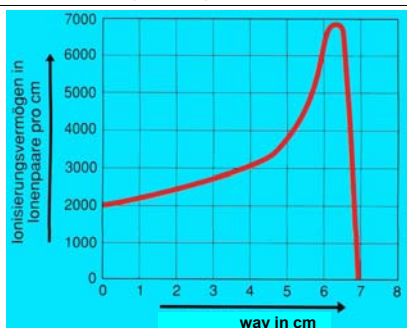
49

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (2)

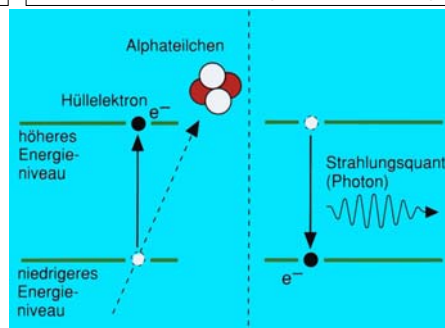
Wechselwirkungen zwischen α -Strahlung und Materie

Dicht ionisierende Strahlung: starke Wechselwirkungen, geringe Reichweite

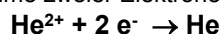
Ionenpaarbildung entlang der Bahn eines α -Teilchens



Photonenemission als Folge von α -Strahlung



Letztlich wird durch Aufnahme zweier Elektronen ein He-Atom gebildet



50

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (3)

Wechselwirkungen zwischen β -Strahlung und Materie

Schwach ionisierende Strahlung:

- Ionisierungsvermögen ist 100 -1000-mal geringer als die von α -Strahlung
- als letzte Stufe entsteht ein Anion oder ein Kation wird neutralisiert
- unterschiedliche Mechanismen sind möglich

Energieabgabe durch Streuung

- Streuung eines β -Teilchen von seinem Weg
- Die Wahrscheinlichkeit des Prozesses steigt mit abnehmender Energie des Teilchens

Anionenbildung



51

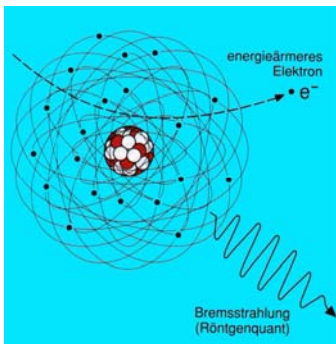
4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (4)

Wechselwirkungen zwischen β -Strahlung und Materie

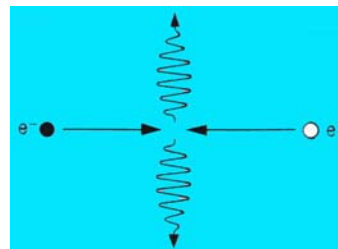
Schwach ionisierende Strahlung:

- Ionisierungsvermögen ist 100 -1000-mal geringer als die von α -Strahlung
- als letzte Stufe entsteht ein Anion oder ein Kation wird neutralisiert
- unterschiedliche Mechanismen sind möglich

Energieabgabe durch Wechselwirkungen mit der Elektronenhülle (Bremsstrahlung)



Annihilation eines Positrons



Bildung zweier γ -Quanten in einem Winkel von exakt 180°

52

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (5)

Wechselwirkungen zwischen γ -Strahlung und Materie 3 unterschiedliche Mechanismen

Photoeffekt

- Wechselwirkung zwischen γ -Quanten und Elektronen innerer Schalen
- Emission eines Photoelektrons (Ionisierung)
- Die Elektronenlücke wird durch ein Elektron aus äußeren Schalen geschlossen
- dominiert bei niedrigen Photonenenergien
- „Absorption“ der γ -Quanten

Comptoneffekt

- Wechselwirkung zwischen γ -Quanten und Elektronen äußerer Schalen (Compton-Elektronen)
- Emission eines Compton-Elektrons (Ionisierung)
- dominiert bei mittleren Photonenenergien
- γ -Quanten verlieren an Energie (Verschiebung zu größeren Wellenlängen)

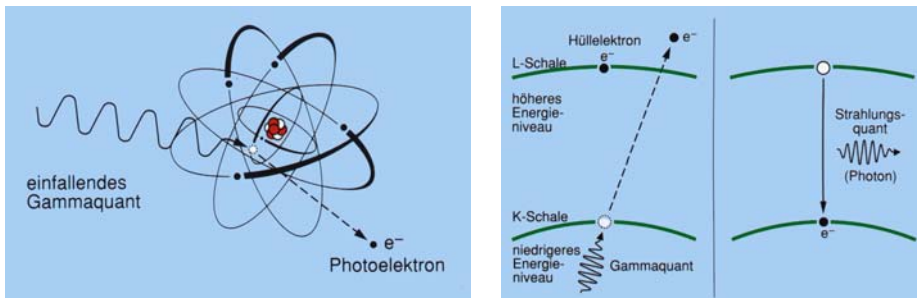
Paarbildung

- Wechselwirkung zwischen γ -Quanten und dem elektrischen Feld eines Atomkerns
- Bildung eines Elektrons und eines Positrons
- Mindestenergie ist erforderlich
- dominiert bei hohen Quantenenergien

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (6)

Wechselwirkungen zwischen γ -Strahlung und Materie Photoeffekt

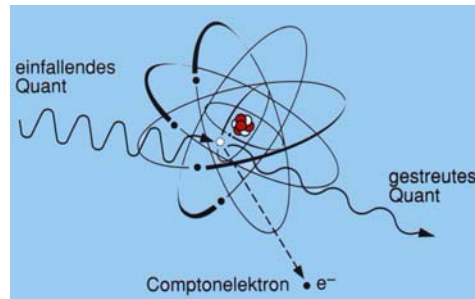
- Wechselwirkung zwischen γ -Quanten und Elektronen innerer Schalen
- Emission eines Photoelektrons (Ionisierung)
- Die Elektronenlücke wird durch ein Elektron aus äußeren Schalen geschlossen (Röntgenfluoreszenz, sekundäre Strahlung)
- **dominiert bei niedrigen Quantenenergien**
- „Absorption“ der γ -Quanten



4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (7)

Wechselwirkungen zwischen γ -Strahlung und Materie Compton-Reaktion

- Wechselwirkung zwischen γ -Quanten und Elektronen äußerer Schalen (Compton-Elektronen)
- Emission eines Compton-Elektrons (Ionisierung)
- dominiert bei mittleren Quantenenergien
- γ -Quanten verlieren Energie (Verschiebung zu größeren Wellenlängen)
- Das resultierende Quant kann weitere Compton-Reaktionen oder eine Photo-Reaktion eingehen

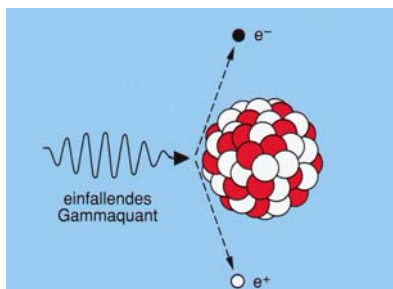


55

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (8)

Wechselwirkungen zwischen γ -Strahlung und Materie Paarbildung

- Wechselwirkungen zwischen γ -Quanten und dem elektrischen Feld von Atomkernen
- Bildung eines Elektron-Positron-Paares
- Mindestenergie ist erforderlich
- Das entstehende Positron reagiert sofort mit einem Elektron (Bildung von zwei γ -Quanten niedrigerer Energie)
- Dominiert bei hohen Photonenenergien



- Mindestenergie: **1,022 MeV**

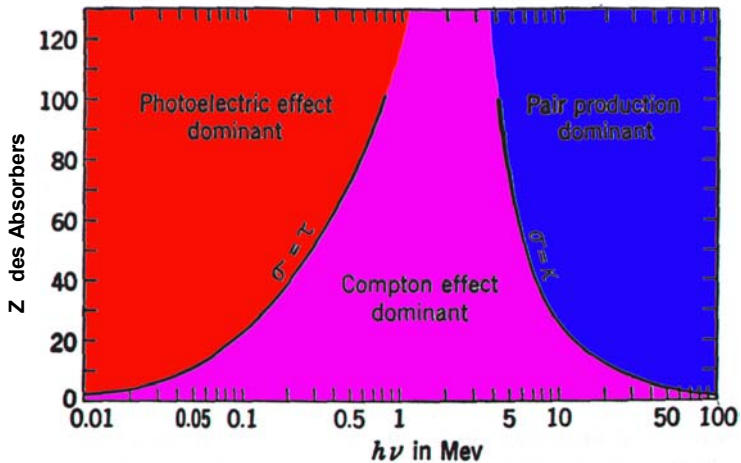
$$E = m c^2$$

- muss zur Bildung der Massen eines e^+ und eines e^- ausreichen
- überschüssige Energie ist kinetische Energie der Produkte

56

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (9)

Wechselwirkungen zwischen γ -Strahlung und Materie
 Auftretswahrscheinlichkeit der einzelnen Wechselwirkungen



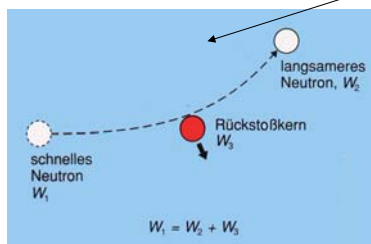
57

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (10)

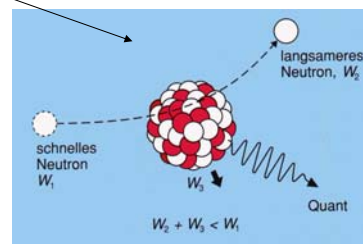
Wechselwirkungen zwischen Neutronen und Materie

- Neutronen besitzen keine Ladung und wechselwirken somit nicht mit der Elektronenhülle (keine direkte Ionisierung)
- Wechselwirkungen zwischen Neutronen und Materie sind Wechselwirkungen mit Atomkernen (nur sekundäre Ionisierungsprozesse sind möglich)
- Hauptmechanismen: **elastische und inelastische Stöße, Neutronen-Einfangreaktionen**

Elastische und inelastische Stöße



Energiebereich: 10 keV - 1 MeV



Energiebereich: 1 - 10 MeV

- Emission überschüssiger Energie als γ -Quanten

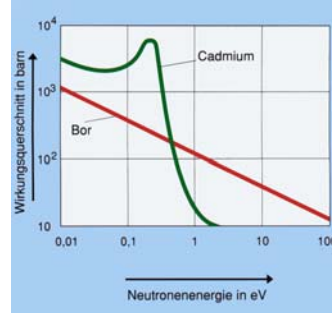
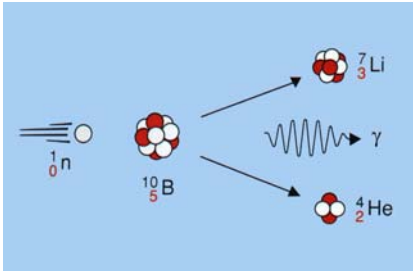
58

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (11)

Wechselwirkungen zwischen Neutronen und Materie

Neutroneneinfang

- Kernreaktion
- meist werden instabile Produkte gebildet, die einem (sekundären) radioaktiven Zerfall unterliegen (e.g. β - oder γ -Strahlung)



Der Wirkungsquerschnitt ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit einer Kernreaktion (barn = $10^{-28}m^2$)

59

4) Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (12)

Zusammenfassung

Universeller Effekt \Rightarrow Ionisierung

Direkt ionisierende Strahlung:

- α -Strahlung (hohe Ionisierungsdichte, geringe Reichweite)
- β -Strahlung (mittlere Ionisierungsdichte, mittlere Reichweite)

Indirekt ionisierende Strahlung:

- γ -Strahlung
 - (Photoeffekt $E_e = E_\gamma$)
 - (Compton-Effekt $E_e < E_\gamma$)
 - (Paarbildung $E_\gamma > 1 \text{ MeV}$)
- Neutronenstrahlung (sekundäre α -, β - und/oder γ -Strahlung)

Universelles Prinzip zur Messung radioaktiver Strahlung

\Rightarrow Messung der Ionisierung

60