

Klausuraufgaben	Auswirkung der Radioaktivität am lebenden Organismus	© Jörn Schneider 2008
-----------------	---------------------------------------------------------	--------------------------



Nicht erst die letzten Castortransporte haben die Diskussion um die Nutzung der Kernenergie wieder verstärkt in die Öffentlichkeit gebracht. Doch was genau im menschlichen Körper geschieht, wenn dieser radioaktiver Strahlung ausgesetzt wird, das wissen nur die wenigsten Mitbürger. Die radioaktive Strahlung besteht hauptsächlich aus α , β , und γ -Strahlung. Künstliche radioaktive Elemente senden auch Positronen und schnelle Neutronen aus. Alle Strahlungsarten schädigen lebende Organismen.

Zur Erinnerung:



α -Strahlung: Schnelle Heliumkerne mit Energien im MeV-Bereich

β -Strahlung: Schnelle Elektronen mit Energien im keV bis MeV-Bereich

γ -Strahlung: Photonen im MeV-Bereich

Aufgaben:

- a) Viele radioaktive Stoffe senden alle drei Strahlungsarten gleichzeitig aus. Überlegen sie eine geeignete Versuchsanordnung, um die drei Strahlungsarten aufzutrennen. Beschreiben sie dabei ausführlich die Vorgänge in der Versuchsanordnung und die zur Erklärung benötigten Gesetzmäßigkeiten (Formeln).
- b) α -Strahlung dringt nur wenige Zentimeter in einen lebenden Organismus ein. Sie verursacht z.B. auf der Haut einen dem Sonnenbrand ähnlichen Strahlenbrand. β -Strahlung und besonders die γ -Strahlung durchdringt den Körper fast ungehindert. Trotzdem verursachen diese Strahlungsarten schwere Strahlenschäden, vor allem an den inneren Organen. Dabei sind verschiedene physikalischen Möglichkeiten der Wechselwirkung bei β -Strahlung und γ -Strahlung mit dem menschlichen Körper möglich. Einer davon ist der Comptoneffekt. Welche weiteren Möglichkeiten gibt es? Erläutern sie die einzelnen Effekte kurz.
- c) Der Comptoneffekt tritt bei der Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie auf. Beschreiben sie diesen Effekt ausführlich und berechnen sie die sogenannte Comptonwellenlänge in der Einheit Pikometer [pm] und in der Einheit Elektronenvolt [eV].
- d) Neben der radioaktiven Strahlung ist auch die Röntgenstrahlung eine Gefahr für den menschlichen Körper. Erklären sie den Aufbau einer Röntgenröhre und die Entstehung der Röntgenstrahlung. Skizzieren sie dazu auch ein typisches Spektrum einer Röntgenröhre und zeigen sie, welcher Bereich der Bremsstrahlung und welcher Bereich dem Material der Röntgenröhre zuzuordnen ist.

Klausuraufgaben	Auswirkung der Radioaktivität am lebenden Organismus	© Jörn Schneider 2008
------------------------	-----------------------------------------------------------------	--------------------------

- a) Die austretende Strahlung wird entweder durch das elektrische Feld eines Plattenkondensators oder durch ein homogenes magnetisches Feld geschickt.

Elektrisches Feld: α -Strahlung besteht aus positiv geladenen Heliumkernen. Diese werden im elektrischen Feld zum Minuspol beschleunigt. Die angreifende Kraft ist die elektrische Kraft.
 β -Strahlung besteht aus Elektronen mit negativer Ladung. Diese werden im elektrischen Feld zum Pluspol beschleunigt. Die angreifende Kraft ist ebenfalls die elektrische Kraft.
 γ -Strahlung wird vom elektrischen Feld nicht beeinflusst.

$$F_{el} = E \cdot q$$

$$F_{el} = \frac{U}{d} \cdot q$$

mit E = Feldstärke, q = Ladung
für den Plattenkondensator ist $E = U/d$
 $q_{(\alpha\text{-Strahlung})} = + e$ e = Elementarladung
 $q_{(\beta\text{-Strahlung})} = - e$

Magnetisches Feld : Im magnetischen Feld werden bewegte Ladungen durch die Lorentzkraft abgelenkt. Diese ist von der Magnetfeldstärke, der Geschwindigkeit der Teilchen und ihrer Ladung abhängig. Die Richtung der Ablenkung lässt sich mit der Linken-Hand-Regel für die Elektronen und mit der Rechten-Hand-Regel für die Heliumkerne bestimmen. Werden z.B. die Elektronen nach oben abgelenkt, werden die Heliumkerne im gleichen Magnetfeld nach unten abgelenkt.
 γ -Strahlung wird vom magnetischen Feld nicht beeinflusst.

$$F_{Lorentz} = q \cdot v \cdot B$$

B = Magnetfeldstärke
v = Geschwindigkeit
 $q_{(\alpha\text{-Strahlung})} = + e$ e = Elementarladung
 $q_{(\beta\text{-Strahlung})} = - e$

Klausuraufgaben	Auswirkung der Radioaktivität am lebenden Organismus	© Jörn Schneider 2008
------------------------	-----------------------------------------------------------------	--------------------------

b)

Effekt	Beschreibung
Photoeffekt	γ -Strahlung regen die inneren Elektronen eines Atoms so weit an, dass das Elektron das Atom verlässt (Ionisation). Als Folgeprozess fallen äußere Elektronen auf die innere Schale. Dabei werden energiereiche Photonen (Röntgenstrahlung) erzeugt, die ebenfalls das Gewebe schädigen.
Bremsstrahlung	β -Strahlung (freie, bewegte Elektronen) werden im elektrischen Feld eines Atomes abgebremst. Dabei wird Röntgenstrahlung frei.
Paarbildung	γ -Strahlung mit mehr als 2 MeV kann in der Nachbarschaft von schweren Atomen ein Elektron-Positron-Paar bilden. Beide Teilchen reagieren mit der umgebenden Materie weiter.
Paarzerstrahlung	Treffen Positronen auf ein Elektron so zerstrahlen sie vollständig in ein Photon. Dieses kann ebenfalls die umgebende Materie schädigen.
Comptoneffekt	(siehe Aufgabe c)

- c) Der Comptoneffekt tritt bei Röntgenstrahlung und Strahlung höherer Energie auf. Dabei handelt es sich um einen elastischen Stoß zwischen einem Photon und einem Elektron in einem Atom. Dabei wird ein Teil der Energie des eingestrahnten Photons an das Elektron übertragen. Nach dem Stoß ist die Frequenz des Photons und damit seine Energie kleiner. Die Menge der abgegebenen Energie wird nur von dem Winkel des Stoßes bestimmt und weder von dem Material noch von der Frequenz des eingestrahnten Photons. Bei einem Winkel von 90° ist die Übertragung von Energie maximal.

Unter der Comptonwellenlänge versteht man die maximale Wellenlängendifferenz zwischen eingestrahelter und abgestrahlter Röntgenstrahlung. Dies ist beim Winkel θ von 90° erreicht.

$$\Delta \lambda = \frac{h}{m_e \cdot c} \cdot (1 - \cos \theta)$$

$$\lambda_{\text{Compton}} = \frac{h}{m_e \cdot c}$$

$$\lambda_{\text{Compton}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}$$

$$\lambda_{\text{Compton}} = 2,43 \text{ pm}$$

Die Wellenlänge und die Energie ist über das Plancksche Wirkungsquantum verknüpft.

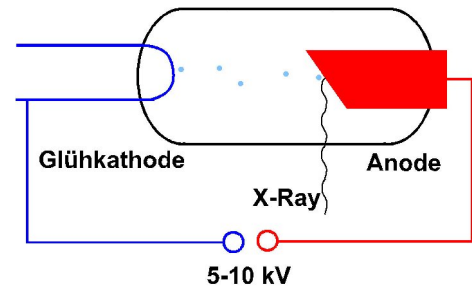
$$E_{\text{Photon}} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$E_{\text{Photon}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}}$$

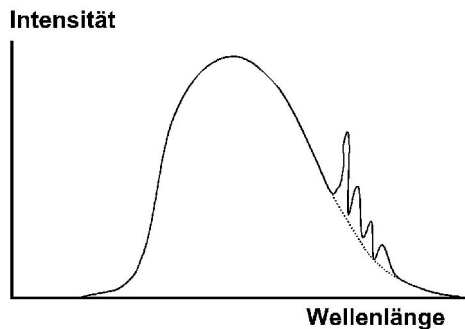
$$E_{\text{Photon}} = 8,187 \cdot 10^{-14} \text{ J} \quad 1\text{eV} \hat{=} 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{Photon}} = 5,1 \text{ MeV}$$

- d) Von einer Glühkathode werden Elektronen auf einen schräg angeschnittenen Anodenblock beschleunigt. Die Beschleunigungsspannung beträgt ungefähr 5000-10.000 Volt. Die Elektronen ionisieren durch Stöße die inneren Elektronen in den Atomkernen aus dem Anodenmaterial. Bei dem Rückfall von Elektronen auf die jetzt freie inneren Schalenplätze wird unter anderem Röntgenstrahlung mit einer für das Anodenmaterial charakteristischen Wellenlänge abgestrahlt.



Die beschleunigten Elektronen werden aber auch im elektrischen Feld der Atomkerne abgebremst. Die frei werdende Energie wird als Bremsstrahlung abgegeben. Dabei entsteht ein kontinuierliches Röntgenspektrum, dessen Lage und Energiemaximum nur von der Beschleunigungsspannung abhängt.



Die Bremsstrahlung allein bildet eine Gaußkurve, deren Lage nur von der Beschleunigungsspannung abhängt. Die „Zacken“ auf der rechten Seite werden durch das Anodenmaterial erzeugt und sind charakteristisch für dieses. Ihre Lage ist unabhängig von der Beschleunigungsspannung.