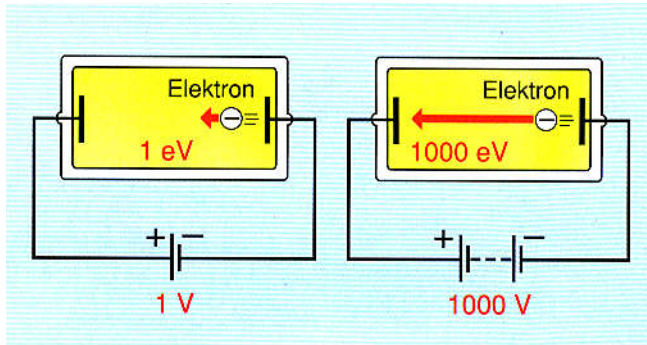


Radioaktivität und Strahlenschutz

FOS: Energie von Strahlungsteilchen und Gammaquanten

Energieeinheit Elektronenvolt (eV)

Bekannte Energieeinheiten: $1\text{Nm} = 1\text{J} = 1\text{Ws}$



1eV ist die Energie, die ein Elektron aufnimmt, wenn es beim freien durchlaufen einer Spannung von 1V beschleunigt wird. Je höher die Spannung, desto größer die Bewegungsenergie der Teilchen.

Quelle: Informationskreis Kernenergie
Veranschaulichung der Energieeinheit eV

Vielfache von eV:

1 Kiloelektronenvolt (keV) = 10^3 eV

1 Megaelektronenvolt (MeV) = 10^6 eV

1 Gigaelektronenvolt (GeV) = 10^9 eV

Für Umrechnungen gilt:

1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J

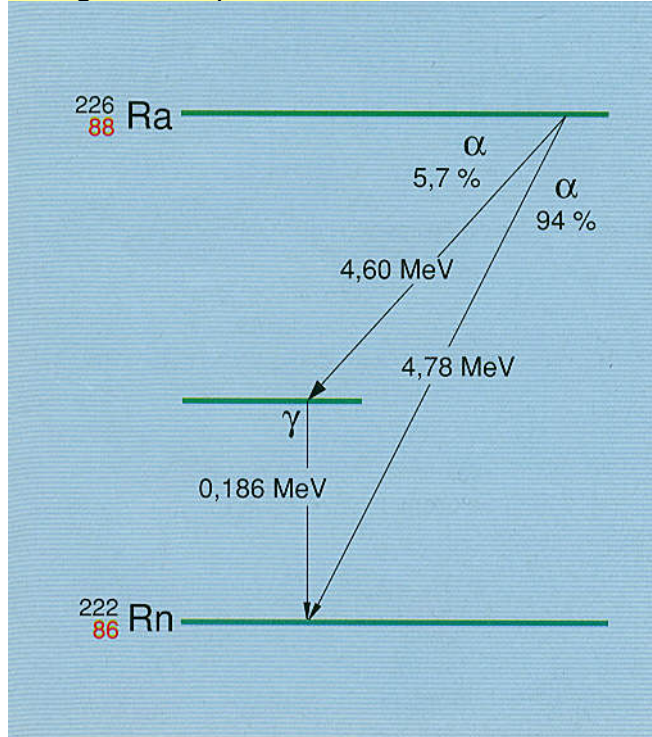
1 J = $6,242 \cdot 10^{18}$ eV = $6,242 \cdot 10^{12}$ MeV

Beispiele: Bewegungsenergie eines Gasmoleküls bei Zimmertemperatur $E = 0,04$ eV
Diese Energie wird auch thermische Energie genannt.

Thermische Neutronen zur Spaltung von U – 235 $E = 0,0253$ eV.

Das entspricht einer mittleren Geschwindigkeit von 2200 m/s.

Energie von Alphateilchen



Die von einem Atomkern ausgesandten Alphateilchen besitzen alle dieselbe Energie oder beim Zerfall in mehrere Gruppen unterschiedliche Energien. Die Alphateilchen einer Gruppe haben aber immer dieselbe Energie.

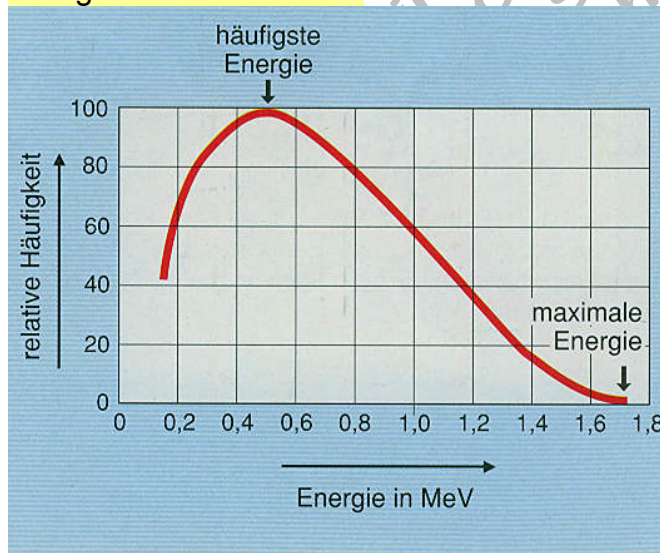
Hat ein Alphateilchen die Maximalenergie erhalten, ist der Kern in den Grundzustand übergegangen. Ist die Energie des Alphateilchen kleiner, befindet sich der Kern noch in einem angeregten Zustand. Die restliche Energie des angeregten Kerns wird in Form eines Gammaquants abgegeben

Quelle: Informationskreis Kernenergie
Umwandlungsschema für Ra – 226

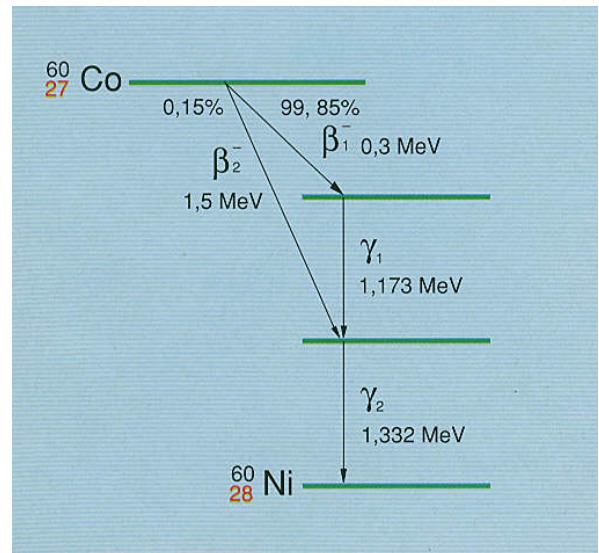
Energie einiger Alphateilchen.

Radionuklid	Alphaenergie in MeV	Radionuklid	Alphaenergie in MeV
Rn – 222	5,48948; ...	Ra – 226	4,7843; 4,601; ...
U – 238	4,196; ...	Pu – 239	5,157 ; 5,144 ; ...

Energie von Betateilchen



Quelle: Informationskreis Kernenergie
Energieverteilung beim Beta – Zerfall P – 32



Quelle: Informationskreis Kernenergie
Umwandlungsschema für Co - 60

Die beim Betazerfall auftretenden Elektronen oder Positronen besitzen alle unterschiedliche Energien. Sie können zwischen Null und einem Maximalwert liegen, wobei die größte Häufigkeit für jedes Radionuklid bei einem bestimmten Energiewert liegt.

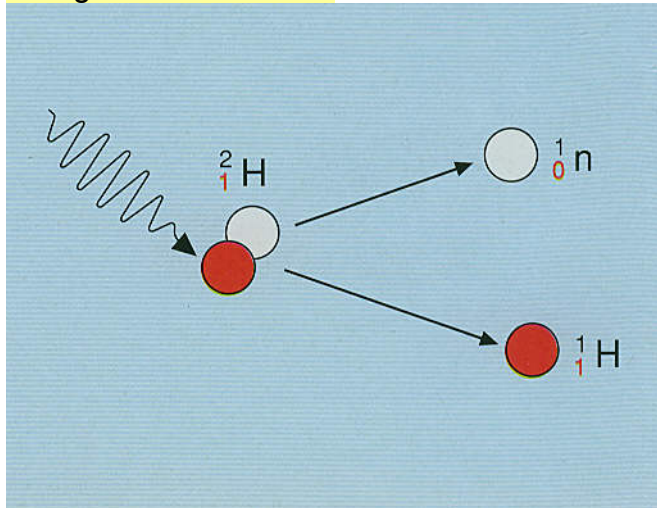
Die mittlere Energie \bar{E} der Betateilchen ergibt sich zu:

$$\bar{E} = \frac{1}{3} E_{\max}$$

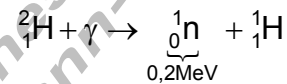
Die kontinuierliche Energieverteilung rührt daher, dass beim Betazerfall außer dem Elektron (Positron) ein Antineutrino (Neutrino) entsteht.

Die frei werdende Zerfallsenergie verteilt sich dann nach Zufall in beliebigen Bruchteilen der Maximalenergie auf die beiden Elementarteilchen.

Energie von Neutronen

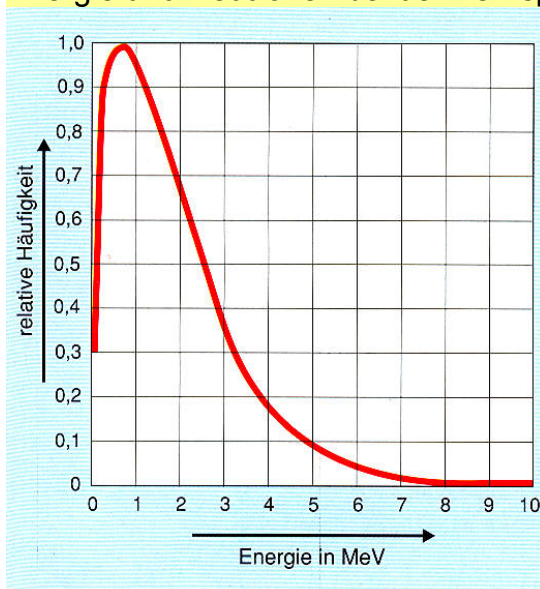


Bei der Freisetzung von Neutronen mit Hilfe von Gammaquanten (Kernphotoeffekt) entstehen Neutronen, die alle eine einheitliche Geschwindigkeit und damit auch gleich viel Bewegungsenergie besitzen.

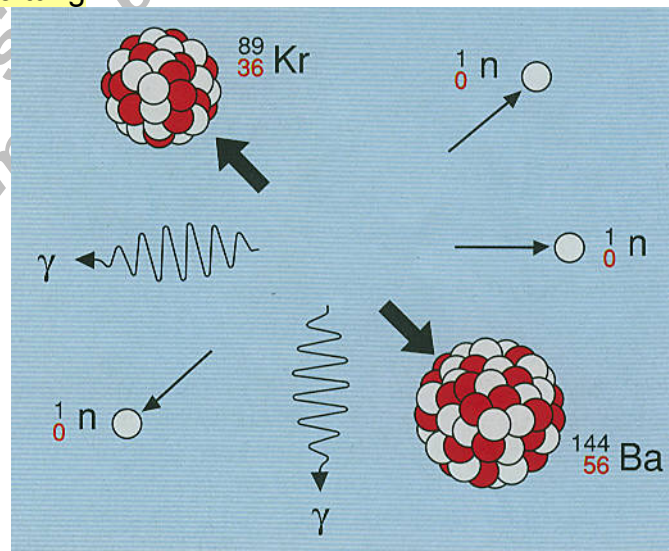


Quelle: Informationskreis Kernenergie
Strahlungseinfang beim Deuterium

Energie und Neutronen bei der Kernspaltung



Quelle: Informationskreis Kernenergie
Energieverteilung der Neutronen, die bei der Spaltung von U – 235 entstehen



Quelle: Informationskreis Kernenergie
Modell einer Kernspaltung:
Spaltproduktkerne und Neutronen, die bei der Kernspaltung entstehen, besitzen Bewegungsenergie

Bei der Spaltung eines U – 235 Kerns werden ca. 210 MeV Energie frei.

Energiebilanz bei der Kernspaltung

Art der Energie	Energie
Bewegungsenergie der Spaltproduktkerne	175 MeV
Bewegungsenergie der prompten Neutronen	5 MeV
Energie der bei der Spaltung spontan entstehenden Gammastrahlung	7 MeV
Energie der Betateilchen (Betazerfall der Spaltprodukte)	7 MeV
Energie der Gammaquanten beim Zerfall der Spaltprodukte	6 MeV
Energie der Neutrinos	10 MeV
Summe	210 MeV

Werden die Teilchen an der umgebenden Materie abgebremst, erhöhen sie die kinetische Energie der Materieteilchen und damit die Temperatur.

In einem Kernreaktor können von den 210 MeV anfallender Energie nur etwa 90% also 190 MeV genutzt werden.

Die Energie der Gammaquanten wird nur zum Teil im inneren des Reaktors absorbiert.

Die Energie der Neutrinos kann nicht genutzt werden (kaum Wechselwirkung).

Die Zerfallsenergie der Spaltprodukte wird z.T. erst im radioaktiven Abfall des Reaktors frei.


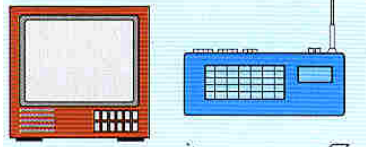






Berechnungsbeispiel: Um eine Stadt der Größe Hamburgs (1,7 Mio Ew) mit el Energie zu versorgen, reicht ein Kernkraftwerk der Größe $E_{el} = 1200 \text{ MW}$ aus. Der Wirkungsgrad der Anlage beträgt $\eta = E_{el} / E_{th} = 1/3 \Rightarrow E_{th} = 3600 \text{ MW}$

Wie viel Kernspaltungen pro Sekunde sind dafür erforderlich?

$$E_{th} = 3600 \text{ MW} = 3600 \text{ J/s} = 3,6 \cdot 10^9 \text{ J/s} \quad (1 \text{ J/s} = 6,242 \cdot 10^{18} \text{ eV/s})$$

$$\Rightarrow E_{th} = 3,6 \cdot 10^9 \cdot 6,242 \cdot 10^{18} \text{ eV/s} \approx 2,2 \cdot 10^{28} \text{ eV/s} \Rightarrow N = \frac{2,2 \cdot 10^{28} \text{ eV/s}}{1,9 \cdot 10^8 \text{ eV}} \approx \underline{\underline{1,2 \cdot 10^{20} \text{ Sp/s}}}$$

Energie und Wellenlänge der Gammastrahlen

Strahlenart	Frequenz in s^{-1}	Wellenlänge in m	Energie	
			in eV	in J
Niederfrequenz 	Hz	$3 \cdot 10^0$	$1,24 \cdot 10^{-14}$	$1,99 \cdot 10^{-33}$
		$3 \cdot 10^1$	$1,24 \cdot 10^{-13}$	$1,99 \cdot 10^{-32}$
		$3 \cdot 10^2$	$1,24 \cdot 10^{-12}$	$1,99 \cdot 10^{-31}$
kHz		$3 \cdot 10^3$	$1,24 \cdot 10^{-11}$	$1,99 \cdot 10^{-30}$
		$3 \cdot 10^4$	$1,24 \cdot 10^{-10}$	$1,99 \cdot 10^{-29}$
Hochfrequenz UKW/KW/MW/LW 	MHz	$3 \cdot 10^5$	$1,24 \cdot 10^{-9}$	$1,99 \cdot 10^{-28}$
		$3 \cdot 10^6$	$1,24 \cdot 10^{-8}$	$1,99 \cdot 10^{-27}$
MHz		$3 \cdot 10^7$	$1,24 \cdot 10^{-7}$	$1,99 \cdot 10^{-26}$
		$3 \cdot 10^8$	$1,24 \cdot 10^{-6}$	$1,99 \cdot 10^{-25}$
GHz Radar 		$3 \cdot 10^9$	$1,24 \cdot 10^{-5}$	$1,99 \cdot 10^{-24}$
		$3 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$1,99 \cdot 10^{-23}$
Höchstfrequenz 		$3 \cdot 10^{11}$	$1,24 \cdot 10^{-3}$	$1,99 \cdot 10^{-22}$
		$3 \cdot 10^{12}$	$1,24 \cdot 10^{-2}$	$1,99 \cdot 10^{-21}$
THz IR 		$3 \cdot 10^{13}$	$1,24 \cdot 10^{-1}$	$1,99 \cdot 10^{-20}$
		$3 \cdot 10^{14}$	$1,24 \cdot 10^0$	$1,99 \cdot 10^{-19}$
Licht UV 		$3 \cdot 10^{15}$	$1,24 \cdot 10^1$	$1,99 \cdot 10^{-18}$
		$3 \cdot 10^{16}$	$1,24 \cdot 10^2$	$1,99 \cdot 10^{-17}$
Röntgenstrahlen 		$3 \cdot 10^{17}$	$1,24 \cdot 10^3$	$1,99 \cdot 10^{-16}$
		$3 \cdot 10^{18}$	$1,24 \cdot 10^4$	$1,99 \cdot 10^{-15}$
energiereiche Strahlung Quanten der Höhenstrahlung γ-Strahlen 		$3 \cdot 10^{19}$	$1,24 \cdot 10^5$	$1,99 \cdot 10^{-14}$
		$3 \cdot 10^{20}$	$1,24 \cdot 10^6$	$1,99 \cdot 10^{-13}$
		$3 \cdot 10^{21}$	$1,24 \cdot 10^7$	$1,99 \cdot 10^{-12}$
		$3 \cdot 10^{22}$	$1,24 \cdot 10^8$	$1,99 \cdot 10^{-11}$
		$3 \cdot 10^{23}$	$1,24 \cdot 10^9$	$1,99 \cdot 10^{-10}$
		$3 \cdot 10^{24}$	$1,24 \cdot 10^{10}$	$1,99 \cdot 10^{-9}$

Quelle: Informationskreis Kernenergie
 Beziehung zwischen Frequenz, Wellenlänge und Energie elektromagnetischer Wellen

Gammaquanten bilden eine elektromagnetische Wellenstrahlung, die dieselbe Natur hat wie z.B. Rundfunkwellen, das sichtbare Licht oder Röntgenstrahlen.

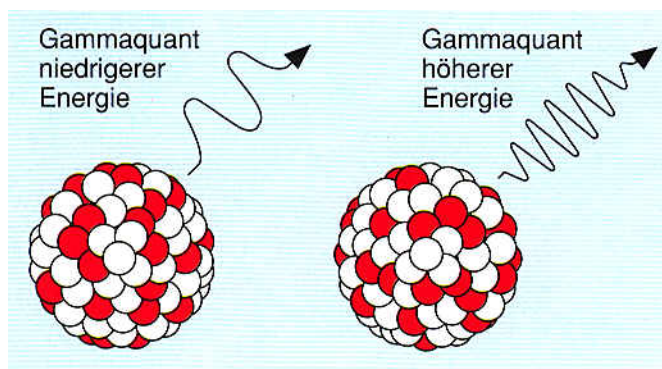
Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen beträgt im Vakuum etwa 300.000 km/s (Lichtgeschwindigkeit).

Sie ist unabhängig von der Energie der Gammaquanten.

Die Energie der Gammaquanten kann bis zu 10^7 mal so groß sein wie die Energie der Lichtquanten.

Die Energie eines einzelnen Quants ist nur von seiner Wellenlänge bzw. seiner Frequenz abhängig.

Je größer die Frequenz, bzw. je kleiner die Wellenlänge ist, desto größer ist auch seine Energie.



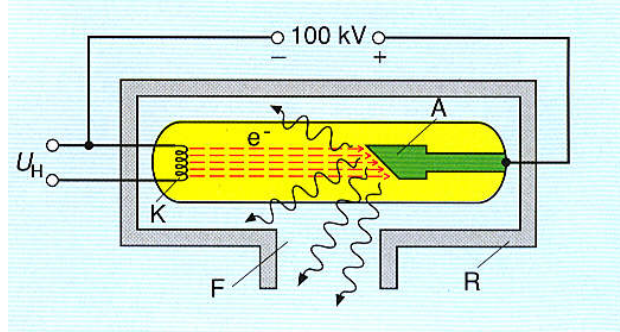
Gammaenergie einiger Radionuklide:

Be – 7	K – Einfang	0,478 MeV
N – 16	Beta – Minus	6,129 MeV
Na – 22	Beta – Plus	1,275 MeV
U – 235	Alpha	0,168 MeV

Quelle: Informationskreis Kernenergie

Wellenlänge bzw. Frequenz eines Quants bestimmen seine Energie (Modellvorstellung)

Energie und Wellenlänge bei Röntgenstrahlen



Quelle: Informationskreis Kernenergie

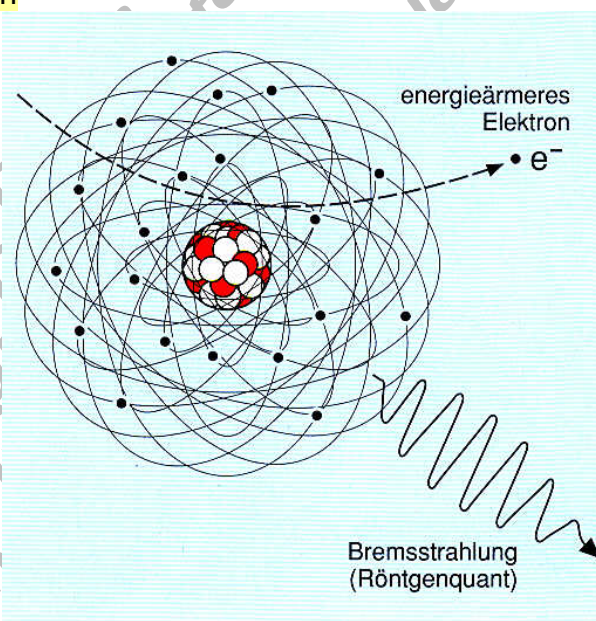
Vereinfachte Schaltzeichnung einer Röntgenröhre

In einer luftleeren Glasröhre stehen sich Kathode und Anode gegenüber.

Aus der glühenden Kathode treten Elektronen aus, die durch eine hohe Spannung zwischen Kathode und Anode beschleunigt werden.

Treffen sie auf die Wolframanode, entsteht Röntgenstrahlung.

Dabei wird nur 1% der Bewegungsenergie in Röntgenstrahlung, aber 99% in Wärme umgewandelt.



Quelle: Informationskreis Kernenergie

Erzeugung von Bremsstrahlung durch Abbremsung eines Elektrons im elektrischen Feld eines Atoms (Modellvorstellung)

In einer Röntgenröhre entsteht überwiegend **Röntgenbremsstrahlung**.

Ihre Entstehung kann man sich im Modell folgendermaßen vorstellen:

Ein beschleunigtes Elektron dringt in ein Atom des Anodenmaterials ein und wird dabei ganz oder teilweise abgebremst.

Die verlorengegangene Bewegungsenergie wird in Form eines Röntgenquants abgegeben.

Röntgenstrahlen treten überall dort auf, wo beschleunigte Elektronen abgebremst werden (Fernseher, Bildschirm, Elektronenbeschleuniger).