



Universität
Münster

Physik für Mediziner, Zahnmediziner und Pharmazeuten

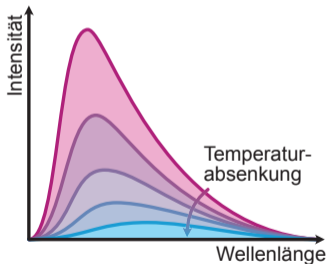
Iris Niehues

Physikalisches Institut, Universität Münster

19.01.2026

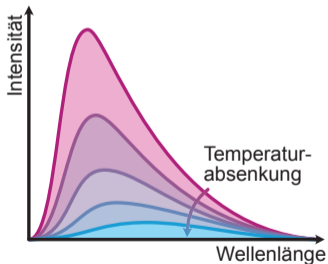
Atom- und Kernphysik

► Theorie bis 1900



Max Planck: Lichtquanten

$$\Delta E = n \cdot h \cdot f \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots$$



Planck-Konstante und Energiequantelung

$$\Delta E = n \cdot h \cdot f \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots$$

f Frequenz (in Hz); h elementares **Wirkungsquantum**/ **Planck-Konstante**

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \quad (\text{Einheit: eV = Elektronenvolt})$$

→ Energie der Strahlung ist *gequantelt*

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{\omega}{2\pi} = \hbar \cdot \omega$$

oder mit $\lambda \cdot f = c \rightarrow E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

Übungsaufgabe 13.1: Wellenlänge und Energie

Welche der folgenden Ausdrücke hat nicht die Form einer Energie?

A $p \cdot V$

p : Druck, V : Volumen

B $U \cdot I \cdot t$

U : Spannung, I : Stromstärke, t : Zeit

C $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

m : Masse, v : Geschwindigkeit

D $h \cdot f$

h : Planck Konstante, f : Frequenz

E $\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

g : Erdbeschleunigung, t : Zeit

Welche der folgenden Ausdrücke hat nicht die Form einer Energie?

A $p \cdot V$

p : Druck, V : Volumen

B $U \cdot I \cdot t$

U : Spannung, I : Stromstärke, t : Zeit

C $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

m : Masse, v : Geschwindigkeit

D $h \cdot f$

h : Planck Konstante, f : Frequenz

E $\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

g : Erdbeschleunigung, t : Zeit

Gesamtintensität der abgegebenen Strahlung

$$I_{\text{ges}} = \sigma \cdot T^4$$

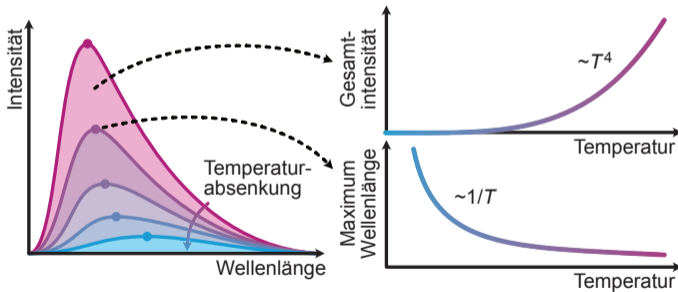
$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \text{ Stefan-Boltzmann-Konstante}$$

gesamte Strahlungsleistung $P = \sigma \cdot T^4 \cdot A$

mit A Fläche des Körpers

Wien'sche Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\max} \sim \frac{1}{T}$$



Photon hat Energie $E = h \cdot f$

Strahlungsenergie Q_e : Gesamtenergie von N Photonen

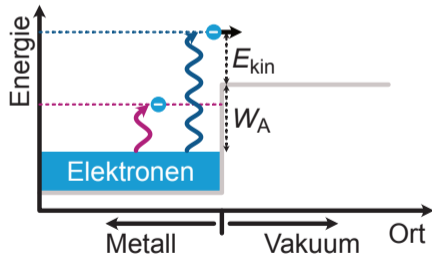
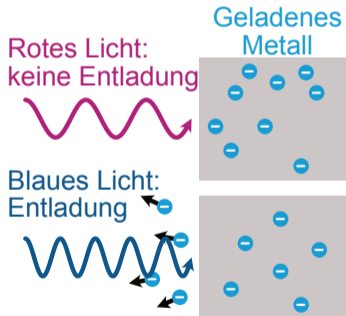
$$Q_e = N \cdot h \cdot f$$

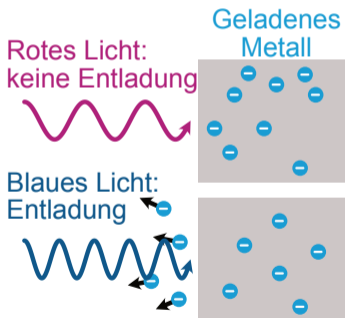
Strahlungsleistung

$$\Phi_e = \frac{Q_e}{\Delta t} = \frac{N}{\Delta t} \cdot h \cdot f \quad \rightarrow \quad \frac{dQ_e}{dt} = \frac{dN}{dt} \cdot h \cdot f$$

Einheit: $[\Phi_e] = \text{W (Watt)}$ mit $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$

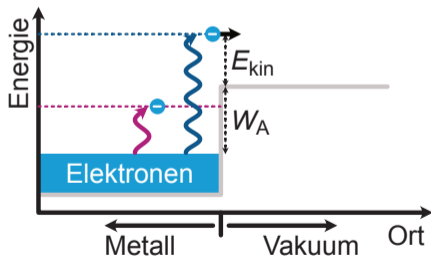
Übungsaufgabe 13.2: Strahlungsleistung



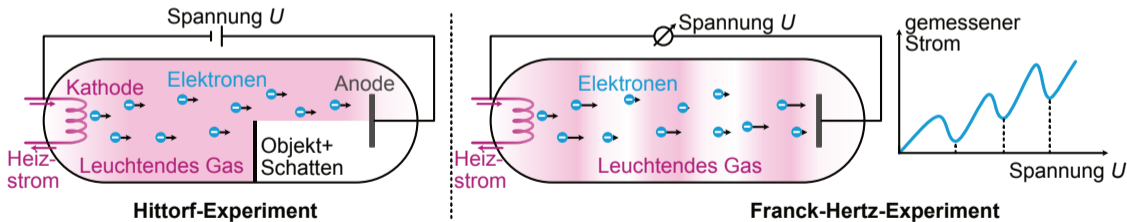


$$E_{\text{Licht}} = h \cdot f > W_A$$

$$E_{\text{kin}} = h \cdot f - W_A$$



- ▶ Beobachtung im Experiment von Franck-Hertz



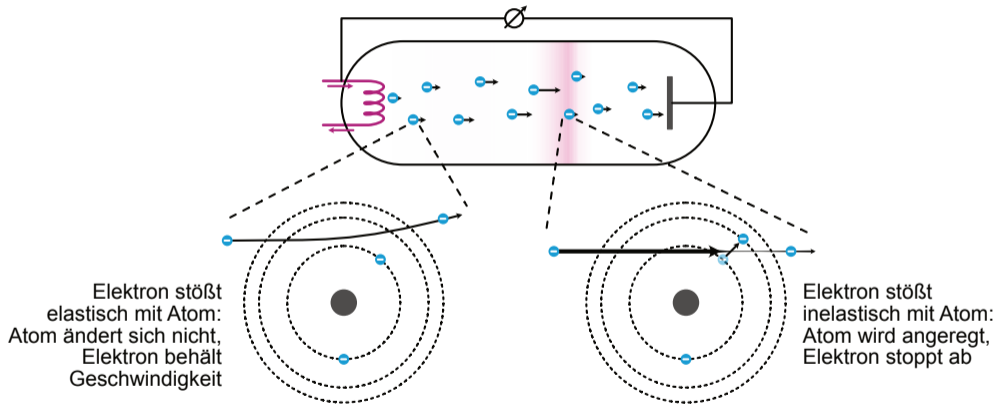
- ▶ Energie des Elektrons: Quantenzahl $n = 1, 2, 3, \dots$ (Hauptquantenzahl)

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot E_{\text{Ry}}$$

Rydberg-Energie $E_{\text{Ry}} \approx 13,6 \text{ eV} \approx 2,17 \cdot 10^{-18} \text{ J}$

Chemie: $n = 1, 2, 3, \dots \rightarrow$ *Schalen* K, L, M, ...

Bohr'sches Atommodell - Franck-Hertz-Versuch



Elemente

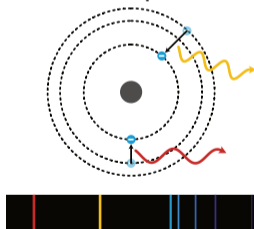
1 H Wasserstoff																	2 He Helium										
3 Li Lithium		4 Be Beryllium		(Erd)Alkalimetalle										(Halb)Metalle				5 B Bor		6 C Kohlenstoff	7 N Stickstoff	8 O Sauerstoff	9 F Fluor	10 Ne Neon			
11 Na Natrium		12 Mg Magnesium		Übergangsmetalle																13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphor	16 S Schwefel	17 Cl Chlor	18 Ar Argon		
19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titan	23 V Vanadium	24 Cr Chrom	25 Mn Mangan	26 Fe Eisen	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Kupfer	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsen	34 Se Selen	35 Br Brom	36 Kr Krypton										
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirkonium	41 Nb Niob	42 Mo Molybdän	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silber	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Zinn	51 Sb Antimon	52 Te Tellur	53 I Iod	54 Xe Xenon										
55 Cs Cäsium	56 Ba Barium	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantal	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platin	79 Au Gold	80 Hg Quecksilber	81 Tl Thallium	82 Pb Blei	83 Bi Bismut	84 Po Polonium	85 At Astat	86 Rn Radon											
87 Fr Francium	88 Ra Radium	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tenness	118 Og Oganesson											
																		Lanthanoide & Actinoide									
57 La Lanthan	58 Ce Cer	59 Pr Praseodym	60 Nd Neodym	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium													
89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uran	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium													

$$E_{\text{Licht}} = h \cdot f = E_{n_2} - E_{n_1} = \left(-\frac{1}{n_2^2} \cdot E_{\text{Ry}} \right) - \left(-\frac{1}{n_1^2} \cdot E_{\text{Ry}} \right)$$

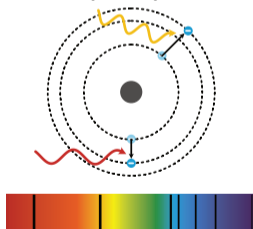
$$= \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \cdot E_{\text{Ry}}$$

n_1 und n_2 ganze Zahlen

Emissionsspektrum



Absorptionsspektrum



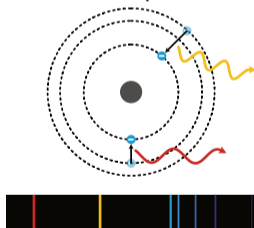
$$E_{\text{Licht}} = h \cdot f = E_{n_2} - E_{n_1} = \left(-\frac{1}{n_2^2} \cdot E_{\text{Ry}} \right) - \left(-\frac{1}{n_1^2} \cdot E_{\text{Ry}} \right)$$

$$= \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \cdot E_{\text{Ry}}$$

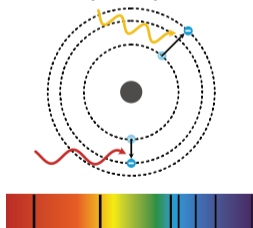
n_1 und n_2 ganze Zahlen

- ▶ charakteristischen Linien in optischen Spektren von Gasen

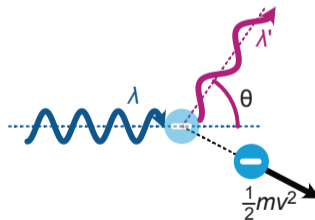
Emissionsspektrum



Absorptionsspektrum



- ▶ Stoß zwischen einem Lichtteilchen (einem Photon) und einem Elektron



Impuls Licht mit Wellenlänge λ_{Photon}

$$p_{\text{Photon}} = \frac{h}{\lambda_{\text{Photon}}}$$

Wellenlänge Elektron mit Impuls p_{Elektron}

$$\lambda_{\text{Elektron}} = \frac{h}{p_{\text{Elektron}}}$$

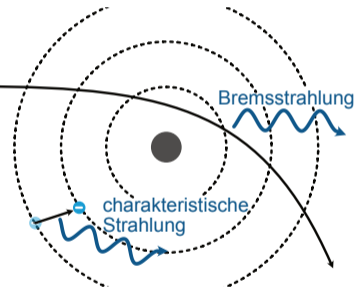
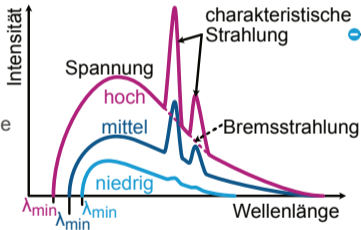
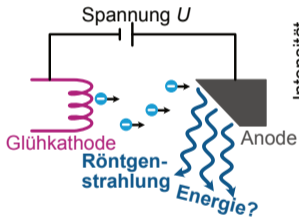
Änderung der Wellenlänge des Photons durch die Streuung

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

m_e Masse des Elektrons, c Lichtgeschwindigkeit, h Planck-Konstante und θ Streuwinkel

Elektron vor dem Stoß in Ruhe:

$$\Delta E = h \cdot \Delta f = \frac{1}{2} m_e v^2$$



→ maximale Geschwindigkeit der Elektronen → Beschleunigungsspannung der Anode U_A

Die kinetische Maximalenergie:

$$E_{\max} = h \cdot f_{\max} = E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_e v^2 = e \cdot U_A$$

kleinstmögliche Wellenlänge, Duane-Hunt-Gesetz :

$$\lambda_{\min} = \frac{c}{f_{\max}} = \frac{h \cdot c}{E_{\max}} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_A}$$

Wie hängt die Maximalenergie von Röntgenquanten E_{\max} von der Anodenspannung U der Röntgenröhre ab?

A $E_{\max} \sim U^{-1}$

B $E_{\max} \sim U^0$

C $E_{\max} \sim U^{1/2}$

D $E_{\max} \sim U$

E $E_{\max} \sim U^2$

Wie hängt die Maximalenergie von Röntgenquanten E_{\max} von der Anodenspannung U der Röntgenröhre ab?

A $E_{\max} \sim U^{-1}$

B $E_{\max} \sim U^0$

C $E_{\max} \sim U^{1/2}$

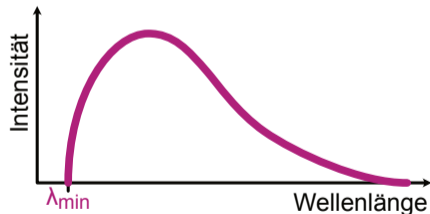
D **$E_{\max} \sim U$**

E $E_{\max} \sim U^2$

Das Spektrum der Bremsstrahlung einer Röntgenröhre (Intensität I_λ als Funktion der Wellenlänge λ) hat die in der Figur gezeichnete Form.

Die Grenzwellenlänge λ_{\min} ist bestimmt durch die

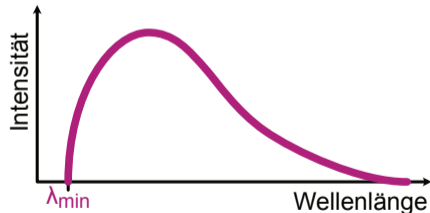
- A Strahlungsabsorption in der Wandung bzw. im Austrittsfenster der Röhre
- B elektrische Leistung der Röntgenröhre
- C Energie der im Restgas der Röhre erzeugten Ionen
- D Energie der auf die Anode treffenden Elektronen
- E Größe des Elektronenstromes



Das Spektrum der Bremsstrahlung einer Röntgenröhre (Intensität I_λ als Funktion der Wellenlänge λ) hat die in der Figur gezeichnete Form.

Die Grenzwellenlänge λ_{\min} ist bestimmt durch die

- A Strahlungsabsorption in der Wandung bzw. im Austrittsfenster der Röhre
- B elektrische Leistung der Röntgenröhre
- C Energie der im Restgas der Röhre erzeugten Ionen
- D Energie der auf die Anode treffenden Elektronen**
- E Größe des Elektronenstromes



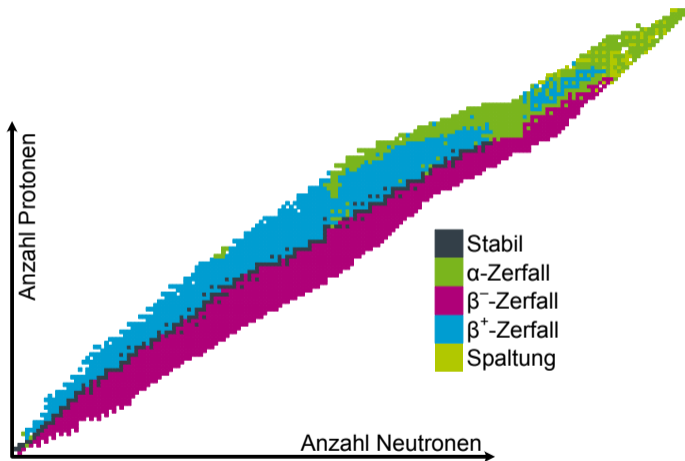
Etwa welche kinetische Energie erreicht in einer Röntgenröhre ein aus der Kathode austretendes Elektron (mit einer Anfangsgeschwindigkeit in Richtung Anode von null und der Ladung $1,6 \cdot 10^{-19}$ C) beim Auftreffen auf die Anode, wenn die Spannung zwischen Kathode und Anode der Röhre 100 kV beträgt?

- A $1,6 \cdot 10^{-24}$ J
- B $6 \cdot 10^{-24}$ J
- C $6 \cdot 10^{-18}$ J
- D $1,6 \cdot 10^{-17}$ J
- E $1,6 \cdot 10^{-14}$ J

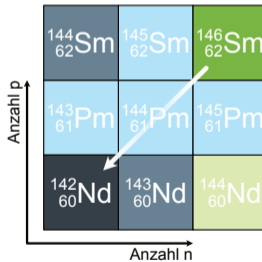
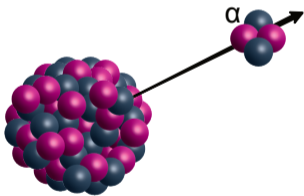
Etwa welche kinetische Energie erreicht in einer Röntgenröhre ein aus der Kathode austretendes Elektron (mit einer Anfangsgeschwindigkeit in Richtung Anode von null und der Ladung $1,6 \cdot 10^{-19}$ C) beim Auftreffen auf die Anode, wenn die Spannung zwischen Kathode und Anode der Röhre 100 kV beträgt?

- A $1,6 \cdot 10^{-24}$ J
- B $6 \cdot 10^{-24}$ J
- C $6 \cdot 10^{-18}$ J
- D $1,6 \cdot 10^{-17}$ J
- E **$1,6 \cdot 10^{-14}$ J**

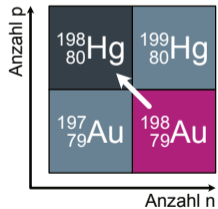
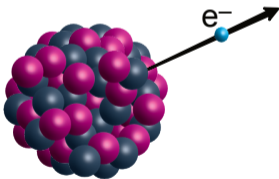
Atomkern - Nuklidkarte



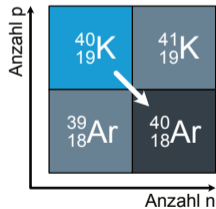
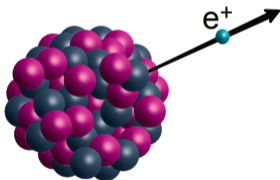
Radioaktivität: α Zerfall



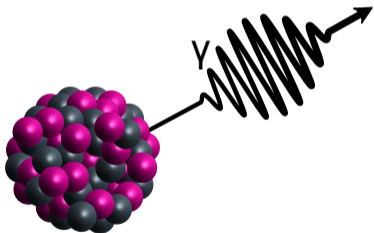
Radioaktivität: β^- Zerfall



Radioaktivität: β^+ Zerfall



- ▶ Energetische Abregung des Kerns
- ▶ Aussendung eines Photons γ -Quant



Welche Aussage trifft nicht zu? Beim α -Zerfall eines radioaktiven Atomkerns gilt:

- A Die Ordnungszahl nimmt um 2 ab.
- B Die Nukleonenzahl nimmt um 2 ab.
- C Die Kernladungszahl nimmt um 2 ab.
- D Die Neutronenzahl nimmt um 2 ab.
- E Die Protonenzahl nimmt um 2 ab.

Welche Aussage trifft nicht zu? Beim α -Zerfall eines radioaktiven Atomkerns gilt:

- A Die Ordnungszahl nimmt um 2 ab.
- B Die Nukleonenzahl nimmt um 2 ab.**
- C Die Kernladungszahl nimmt um 2 ab.
- D Die Neutronenzahl nimmt um 2 ab.
- E Die Protonenzahl nimmt um 2 ab.

Ordnen Sie der Betastrahlung die zugehörige Teilchenart zu:

- A Photonen
- B Elektronen
- C Neutronen
- D Wasserstoff-Kerne
- E Helium-Kerne

Ordnen Sie der Betastrahlung die zugehörige Teilchenart zu:

- A Photonen
- B Elektronen**
- C Neutronen
- D Wasserstoff-Kerne
- E Helium-Kerne

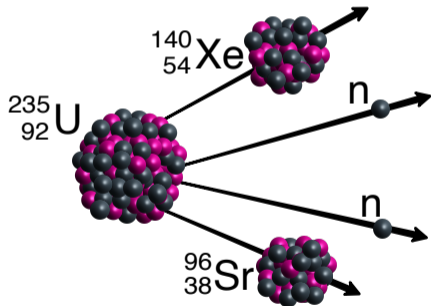
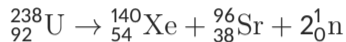
Steigt beim radioaktiven Zerfall die Ordnungszahl der Tochtersubstanz gegenüber der der Muttersubstanz an, so muss

- A eine α -Strahlung vorliegen
- B eine β -Strahlung vorliegen
- C eine γ -Strahlung vorliegen
- D ein künstlich radioaktiver Stoff zerfallen sein
- E keine der Aussagen trifft zu

Steigt beim radioaktiven Zerfall die Ordnungszahl der Tochtersubstanz gegenüber der der Muttersubstanz an, so muss

- A eine α -Strahlung vorliegen
- B eine β -Strahlung vorliegen**
- C eine γ -Strahlung vorliegen
- D ein künstlich radioaktiver Stoff zerfallen sein
- E keine der Aussagen trifft zu

Beispiel Uran (U) nach Xenon (Xe) und Strontium (Sr):



$$N_{\text{ra}}(t) = N_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

N_0 radioaktiven Kerne bei $t = 0$

τ die Zerfallszeit/Lebensdauer:

Zeit nach der noch $e^{-1} = 36,8\%$ der ursprünglichen N_0 Kerne vorhanden sind

Halbwertszeit $T_{1/2}$: 50% der ursprünglichen N_0 Kerne

$$T_{1/2} = \ln(2) \cdot \tau \approx 0,69 \cdot \tau$$

Typische Halbwertszeiten

Isotop	$T_{1/2}$
^{131}I	8 Tage
^3H	12 Jahre
^{137}Cs	30 Jahre
^{239}Pu	24 Tsd. Jahre
^{235}U	704 Mio. Jahre
^{238}U	4,5 Mrd. Jahre

Zerfallskonstante $\lambda = \frac{1}{\tau} \rightarrow$ Wahrscheinlichkeit, dass ein Kern zerfällt

Zerfälle pro Zeit: **Aktivität**

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

Einheit Bequerel (Bq): $1 \text{ Bq} = \frac{1}{\text{s}}$

spezifische Aktivität: Aktivität pro Masse $\frac{A}{m}$

Gemeinsames Kennzeichen des Zerfallsgesetzes für radioaktive Stoffe, des Schwächungsgesetzes für Röntgenstrahlen und des Lambert-Beerschen Gesetzes ist

- A Darstellbarkeit durch eine Exponentialfunktion
- B Abhängigkeit von der Zeit
- C Abhängigkeit von der Schichtdicke
- D Beschreibung eines unter allen Umständen mit Photonenstrahlung verbundenen Vorganges
- E Beschreibung des Durchganges von Strahlung durch Materie

Gemeinsames Kennzeichen des Zerfallsgesetzes für radioaktive Stoffe, des Schwächungsgesetzes für Röntgenstrahlen und des Lambert-Beerschen Gesetzes ist

- A **Darstellbarkeit durch eine Exponentialfunktion**
- B Abhängigkeit von der Zeit
- C Abhängigkeit von der Schichtdicke
- D Beschreibung eines unter allen Umständen mit Photonenstrahlung verbundenen Vorganges
- E Beschreibung des Durchganges von Strahlung durch Materie

Welche der Beschreibungen entspricht am ehesten der Aktivität einer radioaktiven Substanz?

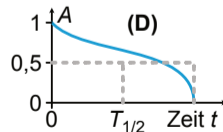
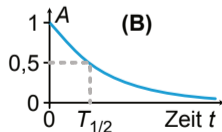
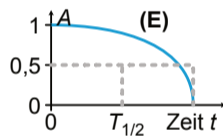
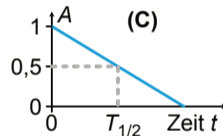
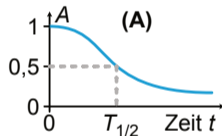
- A Anzahl der radioaktiven Kerne geteilt durch die Zerfallskonstante
- B Anzahl der radioaktiven Kerne multipliziert mit deren mittlerer Lebensdauer
- C Anzahl der Zerfälle geteilt durch die mittlere Lebensdauer der radioaktiven Kerne
- D Anzahl der Zerfälle pro Sekunde
- E Zerfallskonstante geteilt durch die Anzahl der radioaktiven Kerne

Welche der Beschreibungen entspricht am ehesten der Aktivität einer radioaktiven Substanz?

- A Anzahl der radioaktiven Kerne geteilt durch die Zerfallskonstante
- B Anzahl der radioaktiven Kerne multipliziert mit deren mittlerer Lebensdauer
- C Anzahl der Zerfälle geteilt durch die mittlere Lebensdauer der radioaktiven Kerne
- D **Anzahl der Zerfälle pro Sekunde**
- E Zerfallskonstante geteilt durch die Anzahl der radioaktiven Kerne

Durch welches der folgenden Diagramme wird die Abhängigkeit der Aktivität A einer radioaktiven Quelle von der Zeit richtig wiedergegeben (Halbwertszeit: $T_{1/2}$)?

- A A
- B B
- C C
- D D
- E E



Durch welches der folgenden Diagramme wird die Abhängigkeit der Aktivität A einer radioaktiven Quelle von der Zeit richtig wiedergegeben (Halbwertszeit: $T_{1/2}$)?

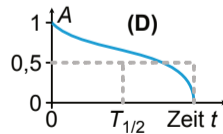
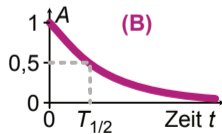
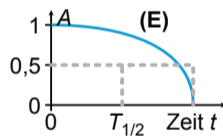
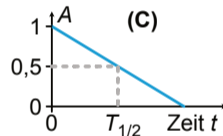
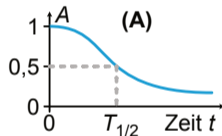
A A

B **B**

C C

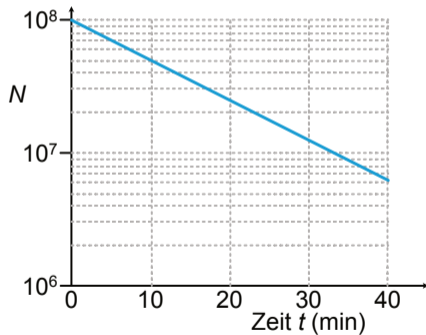
D D

E E



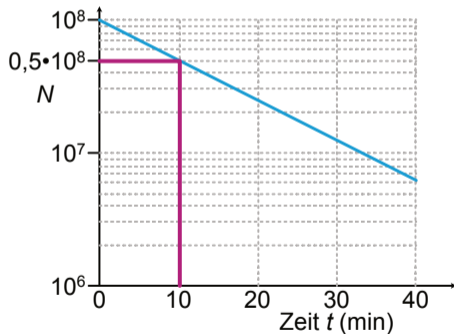
Im dargestellten Diagramm ist die Anzahl N der noch nicht zerfallenen Atomkerne eines radioaktiven Präparates logarithmisch gegen die Zeit t aufgetragen. Wie groß ist etwa die Halbwertszeit?

- A etwa 5 Minuten
- B etwa 10 Minuten
- C etwa 20 Minuten
- D etwa 30 Minuten
- E größer als 30 Minuten



Im dargestellten Diagramm ist die Anzahl N der noch nicht zerfallenen Atomkerne eines radioaktiven Präparates logarithmisch gegen die Zeit t aufgetragen. Wie groß ist etwa die Halbwertszeit?

- A etwa 5 Minuten
- B etwa 10 Minuten**
- C etwa 20 Minuten
- D etwa 30 Minuten
- E größer als 30 Minuten



Um Transport, Anreicherung und Metabolismus eines Pharmakons im menschlichen Körper zu verfolgen, wird das Pharmakon durch ein künstliches radioaktives Isotop markiert. Die (physikalische) Halbwertszeit des Radionuklids beträgt 20 min.

Nach welcher Zeit sind noch etwa 6% vom ursprünglichen Radionuklid vorhanden (d.h. noch nicht radioaktiv zerfallen)?

- A 40 Minuten
- B 80 Minuten
- C 120 Minuten
- D 3 Stunden
- E 5 Stunden

Um Transport, Anreicherung und Metabolismus eines Pharmakons im menschlichen Körper zu verfolgen, wird das Pharmakon durch ein künstliches radioaktives Isotop markiert. Die (physikalische) Halbwertszeit des Radionuklids beträgt 20 min.

Nach welcher Zeit sind noch etwa 6% vom ursprünglichen Radionuklid vorhanden (d.h. noch nicht radioaktiv zerfallen)?

- A 40 Minuten
- B 80 Minuten**
- C 120 Minuten
- D 3 Stunden
- E 5 Stunden

Eine Substanz besteht aus einem radioaktiven Nuklid und seinem nicht radioaktiven Zerfallsprodukt. Die Aktivität der Substanz betrug vor einer Stunde 1000 kBq. Momentan beträgt sie 900 kBq.

Wie groß ist die Aktivität eine Stunde später?

- A 870 kBq
- B 850 kBq
- C 830 kBq
- D 810 kBq
- E 800 kBq

Eine Substanz besteht aus einem radioaktiven Nuklid und seinem nicht radioaktiven Zerfallsprodukt. Die Aktivität der Substanz betrug vor einer Stunde 1000 kBq. Momentan beträgt sie 900 kBq.

Wie groß ist die Aktivität eine Stunde später?

- A 870 kBq
- B 850 kBq
- C 830 kBq
- D 810 kBq**
- E 800 kBq

In der Nuklearmedizin kommt u. a. das radioaktive Sauerstoffisotop ^{15}O zum Einsatz. Seine Aktivität nimmt in 20 min auf etwa 0,1% des ursprünglichen Wertes ab. Etwa wie groß ist die Halbwertszeit des Nuklids?

- A 10^{-3} s
- B 0,5 s
- C 0,2 min
- D 2 min
- E 1000 min

In der Nuklearmedizin kommt u. a. das radioaktive Sauerstoffisotop ^{15}O zum Einsatz. Seine Aktivität nimmt in 20 min auf etwa 0,1% des ursprünglichen Wertes ab. Etwa wie groß ist die Halbwertszeit des Nuklids?

- A 10^{-3} s
- B 0,5 s
- C 0,2 min
- D **2 min**
- E 1000 min

In den Laborfußboden ist eine durch ein Missgeschick verschüttete, radioaktive Substanz eingedrungen. Ihre Halbwertszeit beträgt zwei Monate.

Wie viel der ursprünglichen Radioaktivität besitzt die Substanz nach einem Jahr?

- A $\frac{1}{8}$
- B $\frac{1}{16}$
- C $\frac{1}{32}$
- D $\frac{1}{64}$
- E $\frac{1}{128}$

In den Laborfußboden ist eine durch ein Missgeschick verschüttete, radioaktive Substanz eingedrungen. Ihre Halbwertszeit beträgt zwei Monate.

Wie viel der ursprünglichen Radioaktivität besitzt die Substanz nach einem Jahr?

- A $\frac{1}{8}$
- B $\frac{1}{16}$
- C $\frac{1}{32}$
- D $\frac{1}{64}$
- E $\frac{1}{128}$

Eine Substanz besteht aus einem radioaktiven Nuklid und seinem nicht radioaktiven Zerfallsprodukt. Die Aktivität der Substanz betrug vor genau 4 Jahren 125 kBq. Heute beträgt sie 100 kBq.

Wie groß wird die Aktivität sein, wenn in genau 4 Jahren erneut gemessen werden wird?

- A 25 kBq
- B 50 kBq
- C 75 kBq
- D 80 kBq
- E 90 kBq

Eine Substanz besteht aus einem radioaktiven Nuklid und seinem nicht radioaktiven Zerfallsprodukt. Die Aktivität der Substanz betrug vor genau 4 Jahren 125 kBq. Heute beträgt sie 100 kBq.

Wie groß wird die Aktivität sein, wenn in genau 4 Jahren erneut gemessen werden wird?

- A 25 kBq
- B 50 kBq
- C 75 kBq
- D **80 kBq**
- E 90 kBq

In welcher SI-Einheit wird die Aktivität einer radioaktiven Substanz wiedergegeben?

A $\frac{1}{s}$

B s

C $\frac{J}{s}$

D $\frac{J}{kg}$

E $\frac{J}{m}$

In welcher SI-Einheit wird die Aktivität einer radioaktiven Substanz wiedergegeben?

A $\frac{1}{s}$

B s

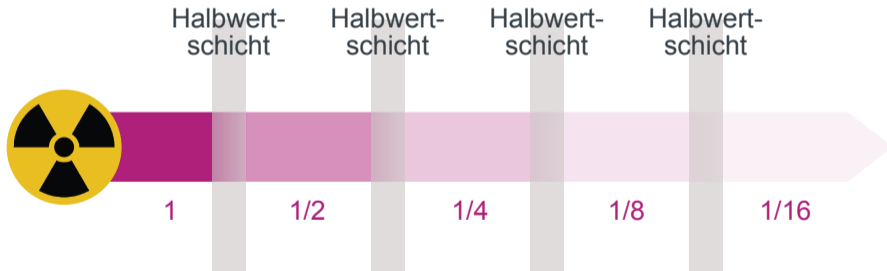
C $\frac{J}{s}$

D $\frac{J}{kg}$

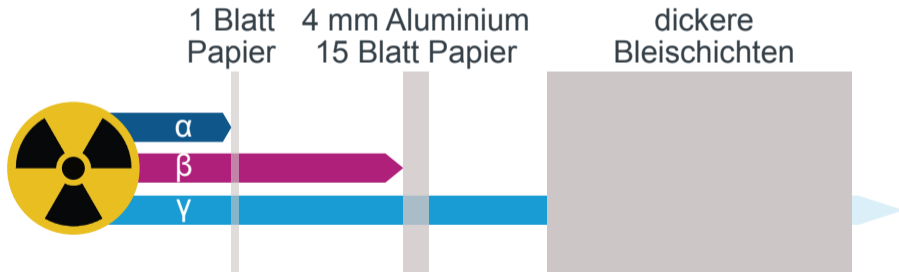
E $\frac{J}{m}$

Intensität (I), Eindringtiefe d

$$I(d) = I_0 e^{-d/\delta}$$



Typische Abschirmdicken



Eine (parallel eintreffende) monoenergetische γ -Strahlung werde in einer Bleischicht von 8 mm Dicke zur Hälfte absorbiert, zur Hälfte durchgelassen.

Welcher Anteil der Strahlung wird dann von einer Bleischicht von 24 mm Dicke durchgelassen?

- A 1/3
- B 1/6
- C 1/8
- D 1/16
- E 1/27

Eine (parallel eintreffende) monoenergetische γ -Strahlung werde in einer Bleischicht von 8 mm Dicke zur Hälfte absorbiert, zur Hälfte durchgelassen.

Welcher Anteil der Strahlung wird dann von einer Bleischicht von 24 mm Dicke durchgelassen?

- A 1/3
- B 1/6
- C 1/8
- D 1/16
- E 1/27

Die Intensität einer Röntgenstrahlung wird durch eine (quer zur Strahlung angebrachte) 0,1 mm dicke Bleiplatte um 50% reduziert. Es wird vereinfachend angenommen, dass die einfallenden Strahlen monoenergetisch (100 keV-Photonen) und zueinander parallel sind.

Mit einer 0,4 mm dicken Bleiplatte erreicht man dann eine Abschwächung um etwa

- A 68%
- B 75%
- C 87%
- D 94%
- E 99%

Die Intensität einer Röntgenstrahlung wird durch eine (quer zur Strahlung angebrachte) 0,1 mm dicke Bleiplatte um 50% reduziert. Es wird vereinfachend angenommen, dass die einfallenden Strahlen monoenergetisch (100 keV-Photonen) und zueinander parallel sind.

Mit einer 0,4 mm dicken Bleiplatte erreicht man dann eine Abschwächung um etwa

- A 68%
- B 75%
- C 87%
- D **94%**
- E 99%

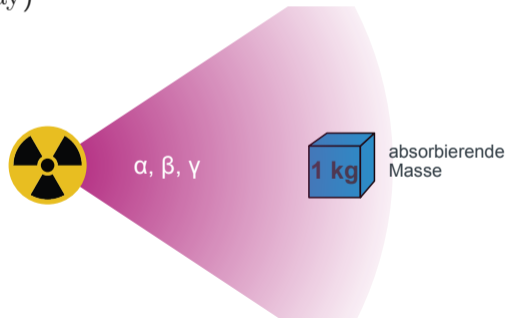
Energiedosis: Energieübertrag ΔE pro Masse m

$$D_{R,T} = \frac{\Delta E}{m} \quad \text{Einheit : } [D_{R,T}] = \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gy (Gray)}$$

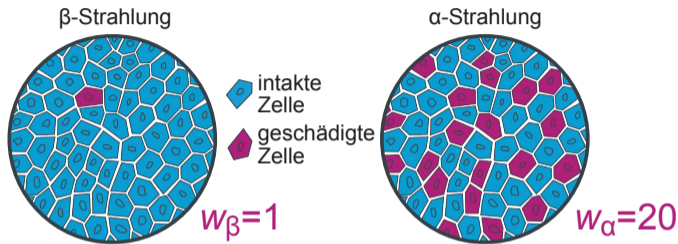
betrachteten Strahlung (R =radiation) und Gewebe (T =tissue)

Energiedosisleistung im Abstand r

$$\dot{D}_{R,T} = \frac{dD_{R,T}}{dt} \sim \frac{1}{r^2}$$



Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R



Äquivalenzdosis oder Organdosis H_T

$$H_{R,T} = w_R \cdot D_{R,T} \quad \text{Einheit : } [H_{R,T}] = \text{Sv (Sievert)}, \quad 1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Äquivalenzdosisleistung: $\dot{H}_{R,T} = \frac{dH_{R,T}}{dt}$

Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R

Strahlungsart und Energiebereich	Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R
Photonen alle Energien	1
Elektronen alle Energien	1
Neutronen	
$E < 10$ keV	5
10 keV $< E < 100$ keV	10
100 keV $< E < 2$ MeV	20
2 MeV $< E < 20$ MeV	10
$E > 20$ MeV	5
Protonen alle Energien	5
α -Teilchen, Spaltfragmente	20

Tabelle: Nach ICRP 60 (International Commission on Radiological Protection) von 1991.

gesamt Äquivalenzdosen

$$H_{T,\text{ges}} = \sum_{\text{R}} H_{\text{R},\text{T}} = \sum_{\text{R}} w_{\text{R}} \cdot D_{\text{R},\text{T}}$$

effektive Dosis

$$E = \sum_{\text{T}} w_{\text{T}} \cdot H_{\text{T},\text{ges}}$$

Gewebe-Wichtungsfaktoren w_{T}

Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T

Organ und Gewebe	Gewebe- Wichtungsfaktor w_T (ICRP 60 / ICRP 103)
Keimdrüsen	0,20 / 0,08
Knochenmark (rot)	0,12 / 0,12
Dickdarm	0,12 / 0,12
Lunge	0,12 / 0,12
Magen	0,12 / 0,12
Harnblase	0,05 / 0,04
Brust	0,05 / 0,12

Tabelle: Nach ICRP 60 (International Commission on Radiological Protection) von 1991 und ICRP 103 von 2007.

Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T

Organ und Gewebe	Gewebe- Wichtungsfaktor w_T (ICRP 60 / ICRP 103)
Leber	0,05 / 0,04
Speiseröhre	0,05 / 0,04
Schilddrüse	0,05 / 0,04
Haut	0,01 / 0,01
Knochenoberfläche	0,01 / 0,01
Gehirn	- / 0,01
Speicheldrüsen	- / 0,01
Übrige Organe / Gewebe	0,05 / 0,12

Tabelle: Nach ICRP 60 (International Commission on Radiological Protection) von 1991 und ICRP 103 von 2007.

Im Abstand 1 m von einem punktförmigen, radioaktiven γ -Strahler beträgt die Energiedosisleistung in Luft $8 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg h}}$. Wie groß ist etwa die aufgenommene Energiedosis bei 2 m Abstand und 5-stündigem Aufenthalt? (Die Schwächung durch die 1 m bzw. 2 m dicke Luftschicht sei vernachlässigbar klein.)

- A $5 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$
- B $10 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$
- C $20 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$
- D $40 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$
- E $80 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$

Im Abstand 1 m von einem punktförmigen, radioaktiven γ -Strahler beträgt die Energiedosisleistung in Luft $8 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg h}}$. Wie groß ist etwa die aufgenommene Energiedosis bei 2 m Abstand und 5-stündigem Aufenthalt? (Die Schwächung durch die 1 m bzw. 2 m dicke Luftschicht sei vernachlässigbar klein.)

A $5 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$

B $10 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$

C $20 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$

D $40 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$

E $80 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$

Ein Patient mit Schilddrüsenüberfunktion hat radioaktives Jod-131 erhalten, damit sein Schilddrüsengewebe teilweise zerstört wird. Jod-131 ist ein β - und γ -Strahler, wobei die β -Strahlung praktisch vollständig im Körper absorbiert wird. Der Patient wird als punktförmige γ -Strahlenquelle angesehen. Bei Entlassung aus der stationären Behandlung beträgt die (Äquivalent) Dosisleistung $3,5 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ in 2 m Entfernung. Das ist gerade die in der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin angeführte Obergrenze. Zwischen Patient und Messgerät befindet sich jeweils Luft, wobei die Schwächung der Strahlung in Luft zu vernachlässigen ist.

Etwa wie groß ist in 6 m Entfernung die vom Patienten erzeugte (Äquivalent) Dosisleistung unter diesen Annahmen?

- A $0,1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
- B $0,4 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
- C $1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
- D $2 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
- E $3 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$

Ein Patient mit Schilddrüsenüberfunktion hat radioaktives Jod-131 erhalten, damit sein Schilddrüsengewebe teilweise zerstört wird. Jod-131 ist ein β - und γ -Strahler, wobei die β -Strahlung praktisch vollständig im Körper absorbiert wird. Der Patient wird als punktförmige γ -Strahlenquelle angesehen. Bei Entlassung aus der stationären Behandlung beträgt die (Äquivalent) Dosisleistung $3,5 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$ in 2 m Entfernung. Das ist gerade die in der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin angeführte Obergrenze. Zwischen Patient und Messgerät befindet sich jeweils Luft, wobei die Schwächung der Strahlung in Luft zu vernachlässigen ist.

Etwa wie groß ist in 6 m Entfernung die vom Patienten erzeugte (Äquivalent) Dosisleistung unter diesen Annahmen?

- A $0,1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
- B $0,4 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$**
- C $1 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
- D $2 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$
- E $3 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$

Bei einem Patienten mit schwerer Spondylitis ankylosans wird der Alphastrahler ^{224}Ra (in Form von Radium-224-Chlorid) therapeutisch eingesetzt.

α -Strahlung besteht aus

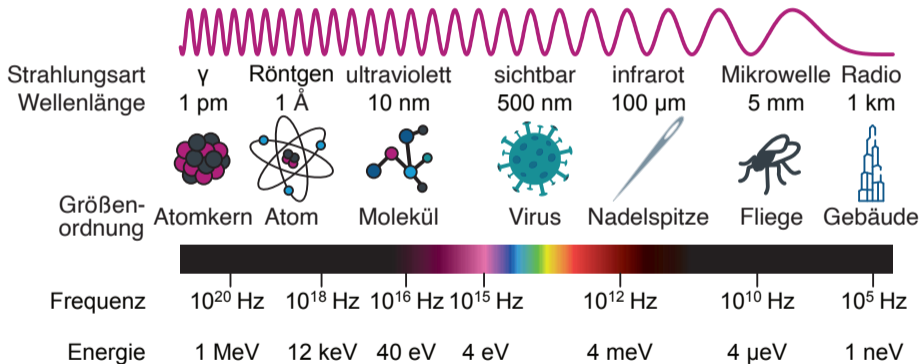
- A Elektronen
- B ^1_1H -Kernen
- C ^4_2He -Kernen
- D Photonen
- E Positronen

Bei einem Patienten mit schwerer Spondylitis ankylosans wird der Alphastrahler ^{224}Ra (in Form von Radium-224-Chlorid) therapeutisch eingesetzt.

α -Strahlung besteht aus

- A Elektronen
- B ^1_1H -Kernen
- C **^4_2H -Kernen**
- D Photonen
- E Positronen

Elektromagnetisches Spektrum



Welcher der nachfolgenden Wellenlängenbereiche entspricht am ehesten dem Bereich des sichtbaren Lichtes?

- A 100 – 400 nm
- B 200 – 500 nm
- C 300 – 600 nm
- D 400 – 700 nm
- E 500 – 900 nm

Welcher der nachfolgenden Wellenlängenbereiche entspricht am ehesten dem Bereich des sichtbaren Lichtes?

- A 100 – 400 nm
- B 200 – 500 nm
- C 300 – 600 nm
- D **500 – 700 nm**
- E 500 – 900 nm

UV-Strahlung (ultraviolette Strahlung) liegt in einem bestimmten Bereich im elektromagnetischen Spektrum.

Welche der folgenden Wellenlängen passt am besten zu einer UV-Strahlung, genauer zu einer UV-A-Strahlung?

- A 330 pm
- B 330 nm
- C 660 nm
- D 990 nm
- E 3,3 μm

UV-Strahlung (ultraviolette Strahlung) liegt in einem bestimmten Bereich im elektromagnetischen Spektrum.

Welche der folgenden Wellenlängen passt am besten zu einer UV-Strahlung, genauer zu einer UV-A-Strahlung?

- A 330 pm
- B **330 nm**
- C 660 nm
- D 990 nm
- E 3,3 μm

Ordnen Sie die folgenden elektromagnetischen Wellen nach ihrer Wellenlänge.

λ_1 : weiche Röntgenstrahlung

λ_2 : γ -Strahlung

λ_3 : sichtbares Licht

λ_4 : Radiokurzwellen

A $\lambda_4 < \lambda_3 < \lambda_1 < \lambda_2$

B $\lambda_2 < \lambda_1 < \lambda_3 < \lambda_4$

C $\lambda_4 < \lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$

D $\lambda_3 < \lambda_4 < \lambda_2 < \lambda_1$

E $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_4$

Ordnen Sie die folgenden elektromagnetischen Wellen nach ihrer Wellenlänge.

λ_1 : weiche Röntgenstrahlung

λ_2 : γ -Strahlung

λ_3 : sichtbares Licht

λ_4 : Radiokurzwellen

A $\lambda_4 < \lambda_3 < \lambda_1 < \lambda_2$

B $\lambda_2 < \lambda_1 < \lambda_3 < \lambda_4$

C $\lambda_4 < \lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$

D $\lambda_3 < \lambda_4 < \lambda_2 < \lambda_1$

E $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_4$