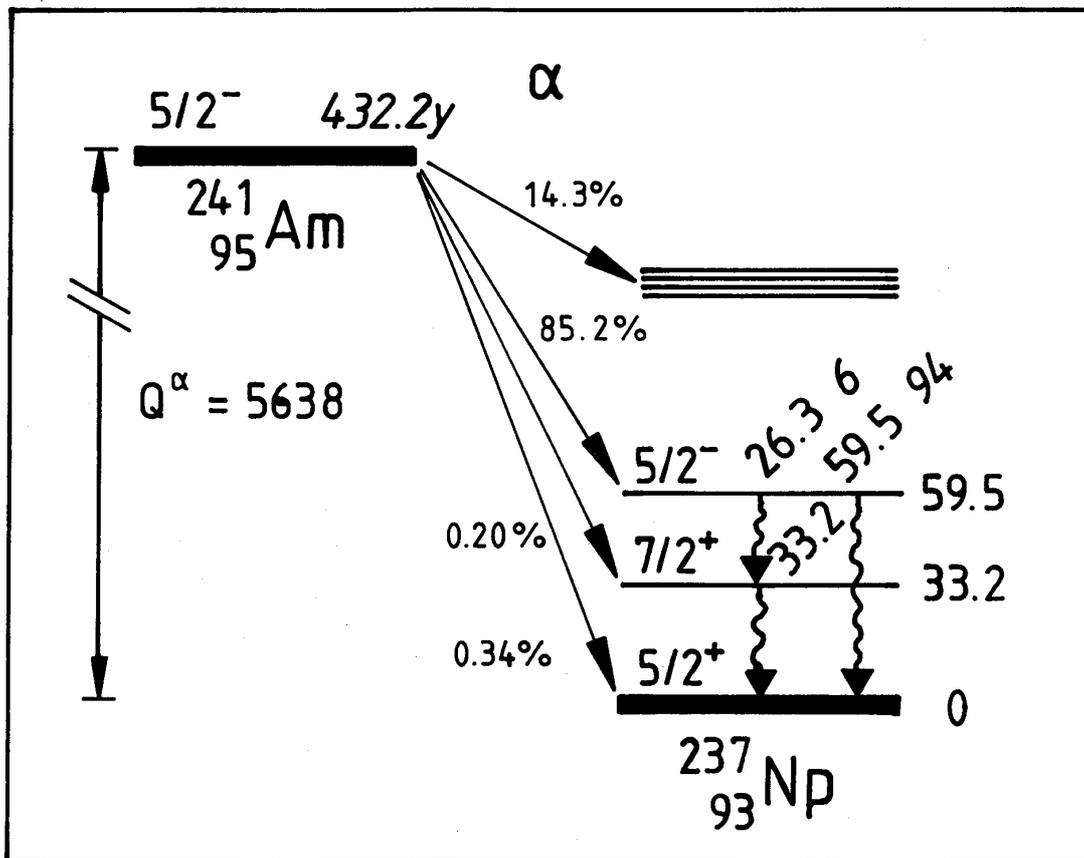
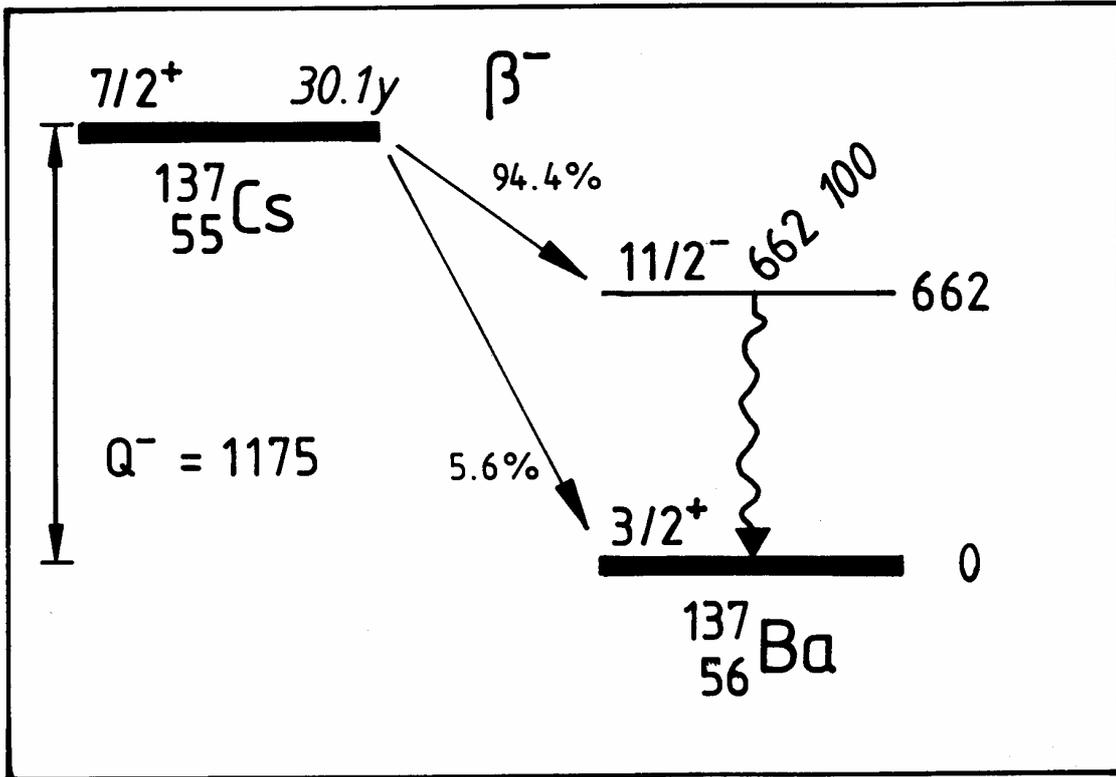


- 1a. Beschreiben Sie Eigenschaften des sichtbaren Lichtes.
- b. Charakterisieren Sie Strahlungsbereiche des elektromagnetischen Spektrums, die weniger bzw. mehr Energie besitzen als sichtbares Licht (Bezeichnungen, Eigenschaften, Besonderheiten).
- c. Welche Beziehungen bestehen zwischen der Energie  $E$ , der Frequenz  $\nu$  und der Wellenlänge  $\lambda$  einer elektromagnetischen Strahlung? Wie müssen man die Zusammenhänge nach Einsteins Erkenntnissen interpretiert werden?
- d. Berechnen Sie für sichtbares Lichtes ( $\lambda_{violett} \approx 400 \text{ nm}$  -  $\lambda_{rot} \approx 700 \text{ nm}$ ) zunächst die Energie in der SI-Einheit  $1 \text{ J}$  und dann in der Energieeinheit  $1 \text{ eV}$ .
- e. Was versteht man unter einem "kontinuierlichen", was unter einem "diskreten" Lichtspektrum? Erläutern Sie Entstehung der beiden Spektrumsarten.
  
- 2a. Beschreiben Sie den Aufbau der Atome: Was sind die Bestandteile der Hülle und des Kern? Welche Struktur hat die Hülle (Schalenbezeichnung, Besetzungszahlen,..)? Welche Größe bzw. welche Masse haben Atome bzw. Atomkerne?
- b. Beschreiben Sie Eigenschaften und Unterschiede von  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - und Röntgenstrahlung. Wie lauten die Reaktionsgleichungen der Kernumwandlungen, bei denen  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung freigesetzt werden.
- c. Was versteht man unter einer Elektroneneinfangsreaktion (EC)? Welche Strahlungsarten werden beim EC frei?
- d. Nennen Sie die Isotope der Elemente Wasserstoff und Helium. Welche sind radioaktiv, welche sind stabil?
- e. Was bezeichnet man mit den Begriffen Isotope, Isotone und Isobare?
- f. Betrachten Sie die Ausschnitte der Nuklidkarte im Anhang 1: Isobare mit der Massenzahl 5, und die Isotope  ${}^8\text{Be}$  und  ${}^9\text{B}$  existieren nicht, weil sie spontan zerfallen. In welche Bestandteile? Nennen Sie den Zerfallsprozess und berechnen Sie die frei werdende Energie.
- g. Welche Uranisotope gibt es in der Natur? Welches Isotop wird als Spaltstoff in Kernreaktoren verwendet? Warum sind andere Uranisotope nicht als Spaltstoff verwendbar? Gibt es Isotope anderer Elemente, die ebenfalls als Spaltstoff verwendet werden können?
  
3. In der Kernfusionstechnik versucht man durch Verschmelzen leichter Atomkerne Energie zu erzeugen. Beispiele für Fusionsreaktionen sind die von Lithium mit Deuterium, bei denen u. a.  ${}^4\text{He}$  als Endprodukt entsteht (Anwendung finden die gesuchten Reaktionen in Fusions Sprengsätzen, die das bei Normaltemperatur feste Lithiumdeuterid enthalten).
  - a. Aus welchen Isotopen besteht natürliches Lithium?
  - b. Stellen Sie für die Lithiumisotope und Deuterium die zu  ${}^4\text{He}$  führende Reaktionsgleichungen auf.
  - c. Berechnen Sie die frei werdende Energie pro Reaktion.
  - d. Welche Energie wird bei der kompletten Fusion von 1 kg Lithium frei. (Betrachten Sie zu Vereinfachung 1 kg des Isotops, bei dem die meiste Energie frei wird.) Welcher Menge des Sprengstoffs TNT entspricht diese Energie, wenn  $1 \text{ kt}(\text{Kilotonne TNT}) = 4,184 \cdot 10^{12} \text{ J}$
  
- 4a. Erläutern Sie (kurz) die in Anlage 4 gezeigten Zerfallsschemata von  ${}^{137}\text{Cs}$  und  ${}^{241}\text{Am}$ .
  - b. Wie groß ist die Masse bestehend aus dem Isotop  ${}^{241}\text{Am}$ , die eine Aktivität 1 GBq besitzt?
  - c. Wie groß ist der Anteil einer gegebenen Aktivität von  ${}^{137}\text{Cs}$  und  ${}^{241}\text{Am}$ , der nach 1000 jähriger Endlagerzeit zerfallen ist?
  - d. Die mittlere Flächenaktivität des  ${}^{137}\text{Cs}$  betrug nach dem Unfall von Tschernobyl in Deutschland (alte Bundesländer) etwa  $10 \text{ kBq m}^{-2}$  bei einer Gesamtfläche von  $2,5 \cdot 10^{11} \text{ m}^2$ . Welche Masse des radioaktiven Cäsiums wurde insgesamt auf diese Fläche verteilt?





Anlage 4 Zerfallsschemata



# Anlage 5 Konstanten

## Konstanten Constants

## Constantes Constantes

Ref.: E. R. Cohen, B. N. Taylor, Journal of Physical and Chemical Reference Data 17, 1795 (1988)

c	299792458 m s <sup>-1</sup>	Lichtgeschwindigkeit Speed of light	Vitesse de la lumière Velocidad de la luz
h ħ = h/2π	6,6260755 (40) · 10 <sup>-34</sup> J s 1,05457266 (63) · 10 <sup>-34</sup> J s	Planck-Konstante Planck constant	Constante de Planck Constante de Planck
u = 1/N <sub>A</sub>	1,6605402 (10) · 10 <sup>-27</sup> kg 9,3149432 (28) · 10 <sup>-2</sup> MeV	Atomare Masseneinheit Atomic mass unit	Unité de masse atomique Unidad de masa atómica
M <sub>n</sub> = N <sub>A</sub> · m <sub>n</sub> m <sub>n</sub> m <sub>n</sub>	1,008664904 (14) u 1,6749286 (10) · 10 <sup>-27</sup> kg 9,3956563 (28) · 10 <sup>2</sup> MeV	Ruhemasse des Neutrons Neutron rest mass	Masse au repos du neutron Masa en reposo del neutrón
M <sub>p</sub> = N <sub>A</sub> · m <sub>p</sub> m <sub>p</sub> m <sub>p</sub>	1,007276470 (12) u 1,6726231 (10) · 10 <sup>-27</sup> kg 9,3827231 (28) · 10 <sup>2</sup> MeV	Ruhemasse des Protons Proton rest mass	Masse au repos du proton Masa en reposo del protón
M <sub>e</sub> = N <sub>A</sub> · m <sub>e</sub> m <sub>e</sub> m <sub>e</sub>	5,48579903 (13) · 10 <sup>-4</sup> u 9,1093897 (54) · 10 <sup>-31</sup> kg 0,51099906 (15) MeV	Ruhemasse des Elektrons Electron rest mass	Masse au repos de l'électron Masa en reposo del electrón
e	1,60217733 (49) · 10 <sup>-19</sup> C 4,8032068 (15) · 10 <sup>-10</sup> esu	Elementarladung Elementary charge	Charge élémentaire Carga elemental
e/m <sub>e</sub>	1,75881962 (53) · 10 <sup>11</sup> C kg <sup>-1</sup> 5,2728086 (16) · 10 <sup>17</sup> esu g <sup>-1</sup>	Spezifische Elektronenladung Specific electron charge	Charge massique de l'électron Carga específica del electrón
r <sub>e</sub> = $\frac{e^2}{m_e c^2}$	2,81794092 (38) · 10 <sup>-15</sup> m	Elektronenradius Electron radius	Rayon de l'électron Radio del electrón
a <sub>0</sub>	5,29177249 (24) · 10 <sup>-11</sup> m	Bohr-Radius Bohr radius	Rayon de Bohr Radio de Bohr
α	7,29735308 (33) · 10 <sup>-3</sup>	Feinstruktur-Konstante Fine structure constant	Constante de la structure fine Constante de estructura fina
R <sub>∞</sub>	1,0973731534 (13) · 10 <sup>7</sup> m <sup>-1</sup>	Rydberg-Konstante Rydberg constant	Constante de Rydberg Constante de Rydberg
N <sub>A</sub>	6,0221367 (36) · 10 <sup>23</sup> mol <sup>-1</sup>	Avogadro-Konstante Avogadro constant	Constante d'Avogadro Constante de Avogadro
V <sub>m</sub>	2,241410 (19) · 10 <sup>-2</sup> m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup>	Molvolumen eines idealen Gases unter Normalbedingungen Molar volume of an ideal gas at s. t. p.	Volumen molaire d'un gaz parfait aux conditions normales Volumen molar de un gas ideal en condiciones normales
R	8,314510 (70) J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> 8,314510 (70) · 10 <sup>7</sup> erg mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	Universelle Gaskonstante Molar gas constant	Constante molaire des gaz Constante universal de los gases
k = R/N <sub>A</sub>	1,380658 (12) · 10 <sup>-23</sup> J K <sup>-1</sup> 8,617385 (73) · 10 <sup>-5</sup> eV K <sup>-1</sup>	Boltzmann-Konstante Boltzmann constant	Constante de Boltzmann Constante de Boltzmann
F = N <sub>A</sub> · e	9,6485309 (29) · 10 <sup>4</sup> C mol <sup>-1</sup> 2,89255680 (87) · 10 <sup>14</sup> esu mol <sup>-1</sup>	Faraday-Konstante Faraday constant	Constante de Faraday Constante de Faraday
1 Ci = 3,7 · 10 <sup>10</sup> Bq	Zerfälle s <sup>-1</sup> Disintegrations s <sup>-1</sup> Désintégrations s <sup>-1</sup> Desintegraciones s <sup>-1</sup>	(see also inside back cover)	1 μA = 6,2415064 · 10 <sup>12</sup> e s <sup>-1</sup> 1 eV/Atom ≅ 23 kcal mol <sup>-1</sup> 1 MeVCi ≅ 5,93 · 10 <sup>-3</sup> W 1 W ≅ 169 MeVCi
1 W ≅ 3,1 · 10 <sup>10</sup>	Spaltungen s <sup>-1</sup> Fissions s <sup>-1</sup> Fissions s <sup>-1</sup> Fisiones s <sup>-1</sup>		π = 3,141593 e = 2,718282 lg e = 0,434294 ln 10 = 2,302585 ln 2 = 0,693147
1 MWd ≅ 2,7 · 10 <sup>21</sup>	Spaltungen Fissions ≅ 1 g Fissions Fisiones	spaltbares Material fissionable material smatière fissible material fisil	

Die Zahlen in Klammern sind die Standardabweichungen.  
The standard deviations are listed in parentheses.

Les nombres entre parenthèses indiquent les écarts-types.  
Los números entre paréntesis indican las desviaciones standard.

## Lösungen:

**1a. Elektromagnetische Welle:** Welleneigenschaften - Beugung und Interferenz, Teilcheneigenschaften - Photoeffekt.

**1b. Weniger Energie als sichtbares Licht:** Infrarotstrahlung, Mikrowellenstrahlung, Radarstrahlung, Radiostrahlung. **Mehr Energie als sichtbares Licht:** Ultraviolettstrahlung, Röntgenstrahlung, Gamma-Strahlung

**1c. Energie der Strahlung:**  $E = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda}$ . Nach Einstein kann Licht (auch) als Teilchenstrahlung interpretiert werden, die Photonen der Energie  $E = h \cdot \nu$  enthält.

**1d. Energie des violetten Lichts:**  $E_{\text{violett}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{violett}}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 2,99 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4,94 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Umrechnungsfaktor:  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  oder  $1 \text{ J} = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 6,24 \cdot 10^{18} \text{ eV}$

$$E_{\text{violett}} = 4,94 \cdot 10^{-19} \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 3,08 \text{ eV}$$

**Energie des roten Lichts:**  $E_{\text{rot}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{violett}}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 2,99 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{700 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 2,83 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$E_{\text{rot}} = 2,33 \cdot 10^{-19} \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 1,76 \text{ eV}$$

**1e. Kontinuierliche Spektren** enthalte alle Frequenzen, **diskrete Spektren** Linien bestimmter fester Frequenzen. Kontinuierliche Spektren, auch Planck-Spektren genannt, charakterisieren die Wärmestrahlung. Diskrete Spektren entstehen nach einer Anregung von Atomen: Die Hüllenelektronen, die durch die Anregung in höherenergetische Zustände gebracht worden sind, können ihre Anregungsenergie in Form von elektromagnetischer Strahlung mit fester Frequenz wieder abgeben. Jedes Element hat ein eindeutiges diskretes Spektrum.

**2a.** Stichwort zum **Atomaufbau:** Kern enthält praktisch gesamte Masse, hat aber vseh kleines Volumen. Atomhülle enthält die Elektronen in bestimmte festen Energiezuständen. Masse der Hülle weniger als 1/2000 der Kernmasse. Energiezustände der Hülle besitzen Schalenstruktur: K, l, M, N, Schalen, Besetzungszahlen:  $2 \cdot n^2$  für  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$  Atome haben etwa eine Durchmesser von  $0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$ , Atomkernradien liegen im Bereich von  $10^{-14} \text{ m}$ .

**2b.  $\alpha$ -Teilchen:**  ${}^4_2\text{He}_2$  Kern bzw  ${}^4_2\text{He}_2^{++}$  - Ion wird aus dem Atomkern ausgesandt.

Umwandlungsreaktion:  ${}^A_Z\text{E}(1)_N \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{E}(2)_{N-2} + {}^4_2\text{He}_2 + Q_\alpha$

**$\beta$ -Teilchen:** Elektron oder Positron (negatives oder positives Elektron)

Umwandlungsreaktion:  ${}^A_Z\text{E}(1)_N \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{E}(1)_{N-1} + e^- + \bar{\nu} + Q_{\beta-}$

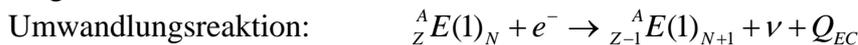
$${}^A_Z\text{E}(1)_N \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{E}(1)_{N+1} + e^+ + \nu + Q_{\beta+}$$

**$\gamma$ -Strahlung:** Elektromagnetische Wellenstrahlung, meist sehr großer Frequenz, die aus diesem Grund sehr ausgeprägte Teilcheneigenschaft (Photon) besitzt.

Umwandlungsreaktion:  $\left({}^A_Z\text{E}(1)_N\right)^* \rightarrow {}^A_Z\text{E}(1)_N + \gamma + Q_\gamma$

**2c. EC-Elektroneneinfang:** EC-ist die Alternative zum  $\beta^+$ -Zerfall. Da für die Bildung eines Positrons (Antimaterie) eine Energie vom zweifachen der Elektronenruhemasse  $2 \cdot m_e = 2 \cdot 511 \text{ keV} = 1022 \text{ keV}$  erforderlich ist, ist der  $\beta^+$ -Zerfall nicht möglich, wenn die Energiedifferenz zwischen Ausgangs- und Endzustand kleiner als  $1022 \text{ keV}$  ist. Alternativ

kann eines der Hüllenelektronen (am häufigsten das K-Elektron der innersten Schale) eingefangen werden.



**2d.** Karlsruher Nuklidkarte von 1995 enthält folgende Wasserstoff- und Heliumisotope:

**Wasserstoff:**  ${}^1\text{H}, {}^2\text{H}, {}^3\text{H}$ .  
 Stabile Isotope Wasserstoff:  ${}^1\text{H}, {}^2\text{H}$ .  
 Radioaktive Isotope von H:  ${}^3\text{H}$ .  
**Helium:**  ${}^3\text{He}, {}^4\text{He}, {}^6\text{He}, {}^8\text{He}$ .  
 Stabile Isotope Helium:  ${}^3\text{He}, {}^4\text{He}$ .  
 Radioaktive Isotope des He:  ${}^6\text{He}, {}^8\text{He}$ .

**2e. Isotope:** Atome mit A, Z, N, für die gilt: **Z = konst.**  
**Isotone:** Atome mit A, Z, N, für die gilt: **N = konst.**  
**Isobare:** Atome mit A, Z, N, für die gilt: **A = konst.**

**2f.** Bezeichnung: mass excess  $(A,Z) = m_{exc}(A,Z)$

**Massenzahl 5:**

$${}^5_2\text{He}_3 \rightarrow {}^4_2\text{He}_2 + {}^1_0n_1 + Q_1$$

$$Q_1 = m_{exc}(5,2) \cdot c^2 - (m_{exc}(4,2) \cdot c^2 + m_{exc}(1,0) \cdot c^2)$$

$$Q_1 = (11386,23 - (2424,91 + 8071,32)) \text{keV}$$

$$Q_1 = 890,00 \text{keV}$$

$${}^5_3\text{Li}_2 \rightarrow {}^4_2\text{He}_2 + {}^1_1\text{H}_0 + Q_2$$

$$Q_2 = m_{exc}(5,3) \cdot c^2 - (m_{exc}(4,2) \cdot c^2 + m_{exc}(1,1) \cdot c^2)$$

$$Q_2 = (11678,88 - (2424,91 + 7288,97)) \text{keV}$$

$$Q_2 = 1965,00 \text{keV}$$

**Massenzahl 8:**

$${}^8_4\text{Be}_4 \rightarrow {}^4_2\text{He}_2 + {}^4_2\text{He}_2 + Q_3$$

$$Q_3 = m_{exc}(8,4) \cdot c^2 - 2 \cdot m_{exc}(4,2) \cdot c^2$$

$$Q_3 = (4941,66 - 2 \cdot 2424,91) \text{keV}$$

$$Q_3 = 91,84 \text{keV}$$

**Massenzahl 9:**

$${}^9_5\text{B}_4 \rightarrow {}^4_2\text{He}_2 + {}^4_2\text{He}_2 + {}^1_1\text{H}_0 + Q_4$$

$$Q_4 = m_{exc}(9,5) \cdot c^2 - (2 \cdot m_{exc}(4,2) \cdot c^2 + m_{exc}(1,0) \cdot c^2)$$

$$Q_4 = (12415,81 - 2 \cdot 2424,91 + 7288,97) \text{keV}$$

$$Q_4 = 277,02 \text{keV}$$

**2g.** Uranisotope:  ${}^{234}\text{U}, {}^{235}\text{U}, {}^{238}\text{U}$ .  
 Spaltstoff:  ${}^{235}\text{U}$

Die Isotope  ${}^{234}\text{U}$ , und  ${}^{238}\text{U}$  besitzen gg-Kerne. Spaltstoffe in Kernreaktoren mit thermischen Neutronen bestehen aus ug-Kernen, da diese nach dem Einfang von Neutronen einen gg-Kern bilden, der wegen der frei werdenden Paarungsenergie eine große Anregungsenergie besitzt. Die große Anregungsenergie verhilft dem Zwischenkern über die Spaltschwelle. Andere Spaltstoffe sind:  ${}^{239}\text{Pu}$

**3a. Lithium:**  ${}^6\text{Li}$  und  ${}^7\text{Li}$

**3b.** Lithium + Deuterium:  
 ${}^6_3\text{Li}_3 + {}^2_1\text{H}_1 \rightarrow {}^4_2\text{He}_2 + {}^4_2\text{He}_2 + Q_1$   
 ${}^7_3\text{Li}_3 + {}^2_1\text{H}_1 \rightarrow {}^4_2\text{He}_2 + {}^4_2\text{He}_2 + {}^1_0n_1 + Q_2$

3c. Reaktionsenergien:

$$Q_1 = m_{exc}(6,3) \cdot c^2 + m_{exc}(2,1) \cdot c^2 - 2 \cdot m_{exc}(4,2) \cdot c^2$$

$$Q_1 = (14086,34 + 13135,72 - 2 \cdot 2424,91) \text{ keV} = 22372,24 \text{ keV}$$

$$Q_2 = (m_{exc}(7,3) + m_{exc}(2,1) - 2 \cdot m_{exc}(4,2) - m_{exc}(1,0)) \cdot c^2$$

$$Q_2 = (14907,70 + 13135,72 - 2 \cdot 2424,91 - 8071,32) \text{ keV}$$

$$Q_2 = 15122,28 \text{ keV}$$

3d. Man betrachte die (vollständige) Fusion von 1 kg des  ${}^6\text{Li}$  mit  ${}^2\text{H}$ .

Masse von 1 kg des  ${}^6\text{Li}$ :  $n = \frac{1000 \text{ g}}{6 \text{ g mol}^{-1}} = 166,66 \text{ mol}$ .

Zahl der  ${}^6\text{Li}$ -Atome in 1 kg:  $N = n \cdot N_A = 166,66 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1,0036 \cdot 10^{26}$

Gesamtenergie:  $E_{ges} = Q_1 \cdot N = 22,372 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,0036 \cdot 10^{26} = 2,2453 \cdot 10^{33} \text{ eV}$

$$E_{ges} = 2,2453 \cdot 10^{33} \text{ eV} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 3,5970 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

TNT-Äquivalent:  $E_{ges} = 3,5970 \cdot 10^{14} \text{ J} \cdot \frac{1}{4,184 \cdot 10^{12} \text{ J / Kilotonne TNT}}$

$$E_{ges} = 86 \text{ Kilotonnen TNT}$$

4a.  ${}^{137}\text{Cs}$  wandelt sich durch  $\beta^-$ -Zerfall in  ${}^{137}\text{Ba}$  um. Die Halbwertszeit beträgt 30,1 Jahre. 94,4% der Zerfälle führen in ein Anregungsniveau des  ${}^{137}\text{Ba}$  mit der Energie 662 keV, das anschließend eine  $\gamma$ -Strahlung der Energie 662 keV aussendet. 5,6 % der Zerfälle speisen den Grundzustand des  ${}^{137}\text{Ba}$ . Beim  $\beta^-$ -Zerfall wird eine Gesamtenergie von 1175 keV frei.

${}^{241}\text{Am}$  zerfällt durch  $\alpha$ -Emission in  ${}^{237}\text{Np}$ . Die Halbwertszeit beträgt 432 Jahre. Der  $\alpha$ -Zerfall speist nur zu 0,34% den Grundzustand des  ${}^{237}\text{Np}$ . Die Hauptintensität des  $\alpha$ -Zerfalls führt zum zweiten Anregungsniveau der Energie 59,5 keV, 0,2% zum ersten Anregungszustand bei 33,2 keV. Die restlichen 14,3% der  $\alpha$ -Zerfallsintensität speisen verschiedene höherenergetische Anregungszustände. Der zweite Anregungszustand des  ${}^{237}\text{Np}$  zerfällt zu 94% direkt durch  $\gamma$ -Abstrahlung zum Grundzustand, während 6% in Form einer  $\gamma$ - $\gamma$ -Kaskade (Energien: 26,3 keV und 33,2 keV) die Anregungsenergie übertragen. Die gesamte  $Q_\alpha$ -Energie beträgt 5638 keV.

4b. Zerfallsgesetz:  $A(t) = \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N(t)$

Zerfallskonstante  $\lambda$ :  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{432,2 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} = 5,082 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$

Aktivität:  $A_0 = 1 \text{ GBq} = 10^9 \text{ s}^{-1}$

Zahl der  ${}^{241}\text{Am}$ -Atome:  $N_0 = -\frac{A_0}{\lambda} = -\frac{10^9 \text{ s}^{-1}}{5,08210^{-11} \text{ s}^{-1}} = 1,968 \cdot 10^{19}$

Zahl pro Mol:  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Zahl der Mole:  $n = \frac{N_0}{N_A} = \frac{1,968 \cdot 10^{19}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 3,268 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$

Masse:  $m = A_r \cdot n = 241 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 3,268 \cdot 10^{-5} \text{ mol} = 7,86 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 7,86 \text{ mg}$

4c.  $^{137}\text{Cs}$ :

$$\frac{A(t = 1000 \text{ a})}{A_0} = e^{-\frac{\ln 2 \cdot 1000 \text{ a}}{30,1 \text{ a}}} = 9,97 \cdot 10^{-11}$$

$^{241}\text{Am}$ :

$$\frac{A(t = 1000 \text{ a})}{A_0} = e^{-\frac{\ln 2 \cdot 1000 \text{ a}}{432,2 \text{ a}}} = 9,97 \cdot 10^{-11} = 0,20$$

4d. Gesamtaktivität:

$$A_{ges} = \left( \frac{A}{F} \right)_{mittel} \cdot F_{ges} = 10 \cdot 10^3 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^2} \cdot 2,5 \cdot 10^{11} \text{ m}^2 = 2,5 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

Zahl der Atome:

$$N_{ges} = \left| \frac{A_{ges}}{\lambda} \right| = \frac{|A_{ges}| T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{2,5 \cdot 10^{15} \cdot 30,1 \cdot 365,25 \cdot 86400}{0,6931}$$

$$N_{ges} = 3,426 \cdot 10^{24}$$

Masse:

$$m = \frac{N_{ges}}{N_A} \cdot A_{rel} = \frac{3,426 \cdot 10^{24}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 137 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 780 \text{ g}$$