Hinweis

Die vorliegende Lösung wurde im Rahmen der jeweiligen Lehrveranstaltung an der Universität Bonn erstellt. Sofern im oberen Teil der ersten Seite oder auf der unten angegebenen Webseite nicht anders vermerkt, wurde diese Lösung von mir, Marvin Zanke, alleine angefertigt und eingereicht. Bei allem in einer anderen Farbe als dem üblichen Blau handelt es sich in der Regel um Korrekturen von mir oder des Tutors. Für mehr Informationen und meine gesamten Unterlagen, siehe:
https://www.physics-and-stuff.com/

Ich erhebe keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit der vorliegenden Lösungen! Dies gilt ebenso für obengenannte Korrekturen.

26.11.2025 Physik V Blatt 5 — Trim Kasabaci, Marvin Zanke

Nr. 1

$$\frac{^{235}U}{^{238}U} = \frac{1}{138} \qquad N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{mit } \lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$$

$$\Rightarrow N_{235}(t) = N_0^{235} e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}^{235}} t}, \quad N_{238}(t) = N_0^{238} \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}^{238}} t}$$

$$\frac{1}{138} = \frac{N_{235}(t)}{N_{238}(t)} = \underbrace{\frac{N_0^{235}}{N_0^{238}}}_{1} \cdot e^{-\ln(2) t \left[\frac{1}{T_{1/2}^{235}} - \frac{1}{T_{1/2}^{238}}\right]}$$

$$\Leftrightarrow -\ln(138) = -\ln(2) t \left[\frac{T_{1/2}^{238} - T_{1/2}^{235}}{T_{1/2}^{235} \cdot T_{1/2}^{238}}\right]$$

$$\Leftrightarrow t = \frac{\ln\left(\frac{138}{2}\right) \cdot T_{1/2}^{235} \cdot T_{1/2}^{238}}{T_{1/2}^{238} - T_{1/2}^{235}}$$

$$= 3{,}8107 \cdot 10^9 \text{ Jahre}$$

(V)

1-6 $\log\left(\frac{a}{b}\right) \neq \frac{\log a}{\log b}$

$= \log a + \log b$

1.5

2. $^{235}U + n \rightarrow {}^{148}La + {}^{87}Br + n$

$E_{B,U235} = 1783{,}885$ MeV

$E_{B,La148} = 1213{,}09$ MeV

$E_{B,Br87} = 748{,}68$ MeV

$\Delta E = E_{B,La148} + E_{B,Br87} - E_{B,U235}$

$= 177{,}885$ MeV

molare Masse: $M_{U235} = 235{,}04392996 \frac{g}{mol}$

$\Delta E_{ges} = \frac{N_A}{M_{U235}} \cdot \Delta E$

$= 4{,}558 \cdot 10^{29}$ eV

$D + T \rightarrow {}^4He + n$

$\Delta E = E_{B,He4} - (E_{B,D} + E_{B,T})$

$= 17{,}6$ MeV

$E_{B,D} = 2{,}22$ MeV

$E_{B,T} = 8{,}48$ MeV

$E_{B,He4} = 28{,}3$ MeV

molare Massen:

D_2O: $M = 20{,}0286 \frac{g}{mol}$

T_2O: $M = 22{,}0315 \frac{g}{mol}$

Sowohl D_2O, als auch T_2O haben ein 2:1 Verhältnis an D bzw. T in Bezug auf O.

ja aber das Verhältnis D bzw T zu D_2O / T_2O ist auch 2:1

$\Rightarrow$ Anteil an D: $2{,}00447 \cdot 10^{22} \frac{1}{g}$

T: $1{,}8222 \cdot 10^{22} \frac{1}{g}$

$$\Delta E_{ges} = 1{,}8222 \cdot 10^{22} \frac{1}{g} \cdot \Delta E$$
$$= 3{,}207 \cdot 10^{23}\ eV$$

$\Rightarrow$ Bei der ersten Reaktion wird 10^6 mal mehr Energie frei. If

$\Rightarrow$ Anteil D $= \frac{N_A}{M(D_2O)} \cdot 2$

(2) ist auch O(MeV)!

und nicht (2/3)

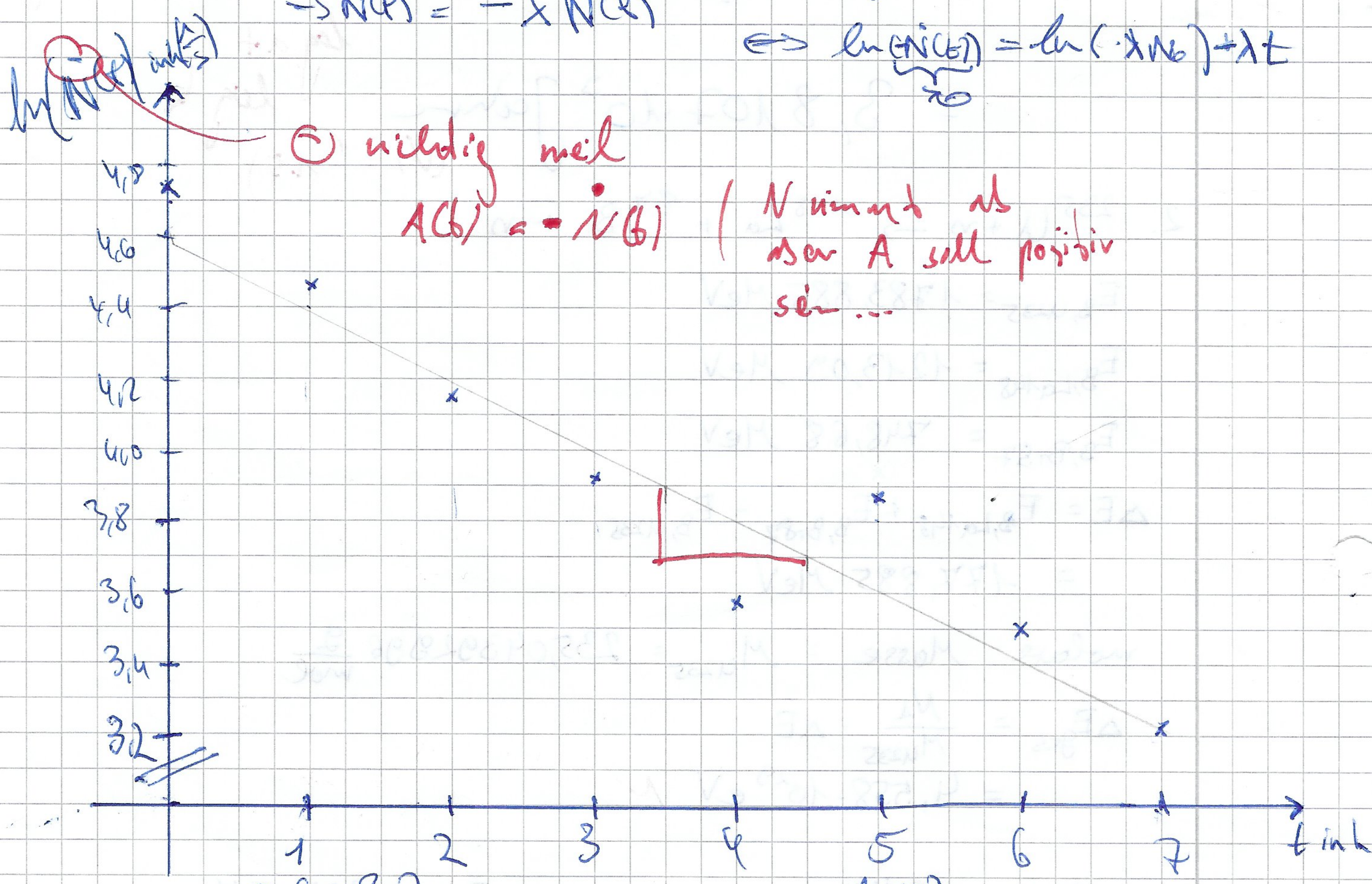
3. Es gilt: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$

$$\rightarrow \dot{N}(t) = -\lambda N(t)$$

$$\Leftrightarrow \ln(\underbrace{-\dot{N}(t)}_{>0}) = \ln(-\lambda N_0) - \lambda t$$

$\ominus$ wichtig weil $A(t) = -\dot{N}(t)$

(N nimmt ab aber A soll positiv sein...)



$$-\lambda = m = \frac{3{,}9 - 3{,}7}{-1h} = -0{,}2 \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{0{,}2} = 3{,}466\ h$$

Nein, nicht mit $\sqrt{N}$ Fehlern verträglich. If

↳ Begründung?

(3)

Nr. 2

1. $M(A,Z) = (N \cdot m_N + Z \cdot m_p + Z m_e) - a_V A + a_S A^{2/3} + a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}}$

$+ \underbrace{a_a \frac{(N-Z)^2}{4A}}_{= \frac{(A-2Z)^2}{4A} a_a} + a_p \delta / A^{1/2}$

Zu vernachlässigen sind für große Werte von A nur der Paarungsterm und der Oberflächenterm. ✓ nur gefragt Dass der Paarungsterm sehr klein wird, sieht man sofort, da nur A in der Formel vorkommt. ? (1)

Für die Oberfläche gilt außerdem: $\frac{\text{Oberfläche}}{\text{Volumen}} = \frac{4\pi R^2}{4/3 \pi R^3} = \frac{3}{R_0 A^{1/3}} \to 0$ im Tröpfchenmodell für $A \to \infty$. auch da, war aber nicht gefragt

Die anderen Terme sind nicht zu vernachlässigen, da nicht klar ist, in welchem Verhältnis $\frac{N}{Z}$ steht. hmm

2. Bei schweren Kernen kann durch Protonemission zwar Bindungsenergie ←pro Nukleon gewonnen werden, dafür hat der Kern allerdings auch ein gebundenes Nukleon weniger. Während der Anstieg hier relativ gering ist, kann man durch Emission eines Helium-Kerns mehr Bindungsenergie pro Nukleon für den verbleibenden Kern erreichen und zusätzlich noch Bindungsenergie des α-Teilchens gewinnen, welche einen sehr hohen Wert für kleine Ordnungszahlen (verglichen mit den anderen Elementen) annimmt. Proton alleine keine Bindungsenergie ! (2) gut

3. Im Grunde zerfällt der Kern eher über α-Zerfall als Deuteron oder Tritium-Zerfall. ✓ Allerdings ist es immer noch wahrscheinlicher, dass er mit einem Tritium-Zerfall zerfällt, als mit Deuteron, da der Zugewinn an Bindungsenergie pro Nukleon (≈3 MeV/Nukleon) größer ist als für Deuteron (≈ 1,1 MeV/Nukleon) und der

Verlust an Bindungsenergie durch die geringere Nukleonenzahl im verbleibenden Kern trotz gleichzeitiger Erhöhung der Bindungsenergie im Kern für große Ordnungszahlen. 1.5

~~Alle~~ alle Beliebten Argumente wurden genannt (*)

4. $M(A,Z) = (N \cdot m_N + Z \cdot m_p + Z \cdot m_e) - a_V A + a_S A^{2/3} + a_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} + a_a \frac{(N-Z)^2}{4A} + a_p \frac{\delta}{A^{1/2}}$

Im Antisymmetrieterm sind Proton und Neutron völlig gleichberechtigt, sowie in allen anderen Termen ebenfalls ($A = Z + N$). Der einzige Term, der einzig und allein für das Proton die Bindungsenergie verringert, ist der Coulombterm. Dadurch sind Neutronen stärker gebunden als Protonen. | ✗

0.5

(-) allerdings kann man nicht diese wiederum eine pauschale Aussage machen...

(✗✗) nur wenn $Z = N$, das ist aber für schwere stabile Kerne nicht gegeben und das ist eben nicht der Fall, weil der Coulombterm für stabile Kerne kompensiert werden muss (durch mehr Neutronen)

Nr 3

$$^{236}_{92}U \longrightarrow \,^{118}_{46}Pd + \,^{118}_{46}Pd$$

Der einzige elektrostatische Term in der Weizsäcker Massenformel ist der Coulombterm $E = E_c = a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}}$

Für den oberen Zerfall gilt nun:

$$E' = E_c^1 + E_c^2 = a_c \frac{(Z/2)^2}{(A/2)^{1/3}} + a_c \frac{(Z/2)^2}{(A/2)^{1/3}}$$

$$= a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{-1/3} + a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{-1/3}$$

$$= a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} \cdot \underbrace{\left[2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{-1/3}\right]}_{\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} \approx 0{,}63}$$

$$\Rightarrow E - E' = \Delta E = \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right) \cdot a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}}$$

$$\Rightarrow \Delta E \approx 0{,}37 \, a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}}$$ frei werdende

$\approx 362 \, MeV$ Energie ✓

Die insgesamt frei werdende Energie berechnet sich zu

$B(236, 92) = 1790{,}41 \, MeV$

$B(118, 46) = 991{,}893 \, MeV$

$\Rightarrow \Delta E = 191{,}376 \, MeV$ (2)

Offensichtlich ist die elektrostatisch frei werdende Energie kompensiert durch andere Energieverluste in der Weizsäcker massenformel welche sind das?

→ Oberfläche! siehe auch hier

2. Der Oberflächenterm und Coulombterm sind für die Spaltung verantwortlich. Während der Oberflächenterm bei Spaltung größer wird, verringert sich die Coulombabstoßung durch die Deformation und letztendlich Spaltung des „Tröpfchens". (1)

Bei $^{243}_{94}Pu$ wird die meiste Energie frei Zeigen

3. $E_D = \underbrace{\varepsilon^2 [\frac{2}{5} a_s A^{2/3}}_{(1)} - \underbrace{\frac{1}{5} a_c A^{-1/3} Z^2}_{(2)}]$

Durch das Modell des Ellipsoids erhält man einige Korrekturen für die Bindungsenergie in der W.S.M.F:
Während der Oberflächenterm für die Deformation zu einem Ellipsoid größer wird (größere Oberfläche → weniger potentielle Energie gespeichert im Volumenterm), wird die Coulombabstoßung verringert (stärkere Bindung) der Protonen weiter entfernt.

Kriterien für Stabilität: $E_D > 0$: Metastabiler Zustand
Niedriger Potentialwall → tunneln möglich; Spaltung beobachtbar
$\frac{Z^2}{A}$ kleiner $\Rightarrow T_{1/2}$ größer

1.5

für welches $\frac{Z^2}{A}$ Verhältnis ist dies der Fall?

4. Der Kern mit dem kleinsten E_D lässt sich am leichtesten Spalten. negativsten

~~Demnach wäre~~ $^{240}_{94}Pu$ der Kern, welcher sich am leichtesten Spalten lässt. In der Nuklidkarte stellt man dann allerdings fest, dass Thorium-228 die kleinste Halbwertszeit hat, und somit leichter zu spalten ist als die anderen Kerne.

zeigen

1

aber der Zerfall ist ja dominiert vom α-Zerfall
↳ hier geht es ja nur um die spontane Spaltung

17/40