

Q12 * Astrophysik * Massendefekt und Bindungsenergie

(Wiederholung aus der Jahrgangsstufe 9)

Die Masse von Atomen ist sehr klein. Daher verwendet man im atomaren Bereich gerne die so genannte atomare Masseneinheit $u = 1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

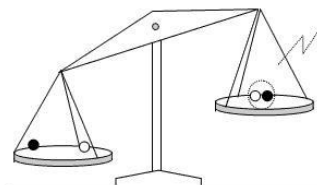
Diese Einheit entspricht exakt $1/12$ der Atommasse des Kohlenstoffisotops ^{12}C .

Genauere Messungen der Massen von Proton, Neutron und Elektron ergeben:

$$m_{\text{Proton}} = 1,007276 \text{ u} \quad m_{\text{Neutron}} = 1,008665 \text{ u} \quad \text{und} \quad m_{\text{Elektron}} = 0,000548580 \text{ u}$$

Aufgaben:

- Wie ist ein Kohlenstoffatom ^{12}C aufgebaut? Wie groß ist seine Masse in der Einheit u angegeben? Welche Gesamtmasse haben die Bausteine dieses Atoms? Was fällt auf?
- Für die Masse eines Heliumatoms $\text{He } 4$ ermittelt man experimentell sehr genau den Wert $m_{\text{Heliumatom}} = 4,002603 \text{ u}$, die Masse eines Heliumkerns beträgt $4,001506 \text{ u}$.
Vergleichen Sie mit der Gesamtmasse der Bausteine, die ein Helium 4 – Atom bzw. einen $\text{He } 4$ – Kern bilden! Was fällt auf?



Nach Albert Einsteins Relativitätstheorie sind Masse und Energie gleichwertige Größen; Masse kann also als bestimmte Form von Energie betrachtet werden.

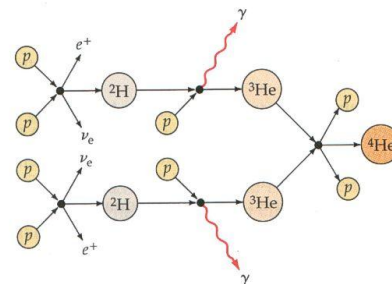
Dies findet seinen Niederschlag in der bekannten Formel $E = m \cdot c^2$.

Demzufolge ist jede Freisetzung von Energie mit einer Massenverringerung verbunden. Wird einem System hingegen Energie zugeführt, so erhöht sich seine Masse.

Merke: Ein Atomkern ist leichter als seine Bausteine. Den Massenunterschied zwischen den Bausteinen und dem Kern nennt man Massendefekt Δm .

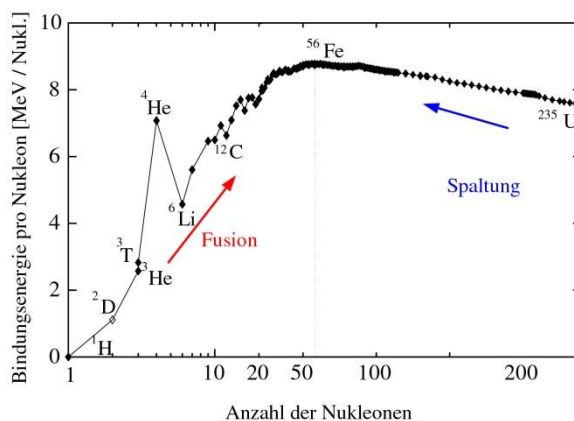
Die zugehörige Energie heißt auch Bindungsenergie $E = \Delta m \cdot c^2$.

- Die Sonne hat eine Strahlungsleistung von etwa $3,6 \cdot 10^{26} \text{ W}$.
Wie viel Masse „verliert“ die Sonne aufgrund dieser Strahlungsleistung pro Sekunde?
Woher stammt (vermutlich) diese ungeheuer große Energie?



- Das Bild zeigt für unterschiedliche Atomkerne die durchschnittliche Bindungsenergie pro Nukleon in der Einheit MeV . (Quelle: <http://www.dpg-physik.de/gliederung/fv/p/info/pix/Bindungsenergie.jpg>)

- Bestimmen Sie aus dem Diagramm die Energie in MeV , die erforderlich ist, um einen $\text{He}4$ -Atomkern bzw. einen $\text{He}3$ -Atomkern vollständig in seine einzelnen Bestandteile zu zerlegen.
- In der Sonne findet folgende Kernreaktion statt:
 ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{p} + {}^1_1\text{p}$
Begründen Sie mit den Ergebnissen aus a) und b), dass bei dieser Reaktion Energie frei wird und geben Sie diese Energie in MeV an!



Q12 * Astrophysik * Massendefekt und Bindungsenergie * Lösungen

1. Das C12-Atom besteht aus 6 Protonen, 6 Neutronen und 6 Elektronen.

$$\text{Masse des C12-Atoms: } m_{\text{C12-Atom}} = 12,000000 \text{ u}$$

Masse der Bausteine:

$$6 \cdot m_p + 6 \cdot m_n + 6 \cdot m_e = 6 \cdot 1,007276 \text{ u} + 6 \cdot 1,008665 \text{ u} + 6 \cdot 0,000548580 \text{ u} \approx 12,098937 \text{ u}$$

Die Masse aller Bausteine des Atoms ist deutlich größer als die Masse des Atoms!

$$\text{Massendefekt: } \Delta m = 12,098937 \text{ u} - 12,000000 \text{ u} = 0,098937 \text{ u}$$

2. Masse des He4-Atoms: $m_{\text{He4-Atom}} = 4,002603 \text{ u}$

Masse der Bausteine des He4-Atoms:

$$2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n + 2 \cdot m_e = 2 \cdot 1,007276 \text{ u} + 2 \cdot 1,008665 \text{ u} + 2 \cdot 0,000548580 \text{ u} \approx 4,032979 \text{ u}$$

$$\text{Massendefekt beim He4-Atom: } \Delta m = 4,032979 \text{ u} - 4,002603 \text{ u} = 0,030376 \text{ u}$$

Masse des He4-Kerns: $m_{\text{He4-Kern}} = 4,001506 \text{ u}$

Masse der Bausteine des He4-Kerns:

$$2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n = 2 \cdot 1,007276 \text{ u} + 2 \cdot 1,008665 \text{ u} \approx 4,031882 \text{ u}$$

$$\text{Massendefekt beim He4-Kern: } \Delta m \approx 4,031882 \text{ u} - 4,001506 \text{ u} = 0,030376 \text{ u}$$

$$3. \quad 3,6 \cdot 10^{26} \text{ W} = \frac{3,6 \cdot 10^{26} \text{ J}}{1 \text{ s}} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{1 \text{ s}} \Rightarrow \Delta m = \frac{3,6 \cdot 10^{26} \text{ W} \cdot 1 \text{ s}}{(3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = 4,0 \cdot 10^9 \text{ kg} = 4,0 \cdot 10^6 \text{ Tonnen}$$

Pro Sekunde verliert also unsere Sonne eine Masse von 40 Millionen Tonnen.

Diese Masse wird in Strahlungsenergie umgewandelt.

Die Energie stammt von der Fusion des Wasserstoff zu Helium (siehe Bild!).

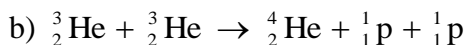
4.

- a) Erforderliche Energie, um He4 in die Bestandteile zu zerlegen:

$$E \approx 4 \cdot 7,1 \text{ MeV} = 28,4 \text{ MeV}$$

Erforderliche Energie, um He3 in die Bestandteile zu zerlegen:

$$E \approx 3 \cdot 2,5 \text{ MeV} = 7,5 \text{ MeV}$$



Zum Zerlegen der beiden He3-Kerne (auf der linken Seite der Gleichung) benötigt man

$$2 \cdot 7,5 \text{ MeV} = 15,0 \text{ MeV}, \text{ zum Zerlegen des He4-Kerns (auf der rechten Seite der Gleichung)}$$

werden 28,4 MeV benötigt.

Bei der angegebenen Reaktion müssen daher $28,4 \text{ MeV} - 15,0 \text{ MeV}$ an Bindungsenergie frei werden.