

ÜS 6 - Radioaktivität III

Stabilität von Atomkernen

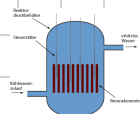
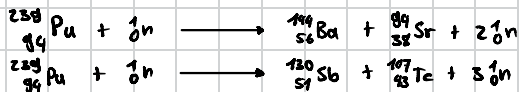
Ein Grossteil der bekannten Nuklide ist instabil, wobei instabile Isotope nur dann natürlich vorkommen, wenn ihre Halbwertszeit hinreichend gross ist.

Isotope	Atom des gleichen Elements, aber unterschiedlicher Neutronenzahl
Isotone	Atome mit derselben Neutronenzahl
Isobare	Atome mit derselben Massenzahl
Isodiaphere	Atome mit dem gleichen Neutronenüberschuss $A - 2Z$
Isomere	Metastabile angeregte Kernzustände

- Es existieren keine stabilen Isotope mit $Z > 83$
- Es existieren keine stabilen Isotope mit $\eta < 1$ (ausser ^1H , ^4He) mit $\eta = \frac{A-Z}{Z}$
- Die meisten stabilen Isotope haben eine gerade Protonen und Neutronenzahl ($I=0$)
- Sofern die Protonen- oder Neutronenzahl zu den Zahlen $2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$ gehören, sind die Kerne besonders stabil.

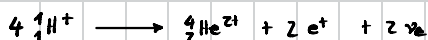
Kernspaltung

Durch den Beschuss von instabilen schweren Atomen (^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu) mit langsamen Neutronen kann es zur Kernspaltung kommen. Bei diesem Zerfall werden ebenfalls Neutronen emittiert, welche durch Moderatoren, wie H_2O oder D_2O , abgebremst werden müssen, damit sie ebenfalls Kernspaltung induzieren können.



Kernfusion

Bei der Kernfusion werden sehr leichte Kerne zu schweren fusioniert, wobei deutlich mehr Energie frei wird, als bei der Kernspaltung, jedoch müssen extreme Reaktionsbedingungen ($T \approx 10^8 \text{K}$) erfüllt sein.



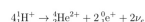
Aufgabe 1: Radioaktiver Zerfall (20 Punkte)

Vor der Entdeckung der Kernfusion und der enormen Energiemengen, die sie freisetzt, standen die Wissenschaftler vor einem ungelösten Rätsel. Sie wussten, dass die Erde mindestens viele Millionen Jahre alt ist, konnten sich aber nicht erklären, wie die Sonne so lange überleben konnte, wenn ihre Energie aus einem chemischen Verbrennungsprozess stammt.

- a) Bei der Proton-Proton-Kette, die in Sternen wie unserer Sonne abläuft, kann die Gesamtreaktion als Fusion von vier Protonen zu einem α Teilchen aufgefasst werden. Schreiben Sie die Kernreaktion auf und berechnen Sie die Energie, die bei einer einzelnen Fusionsreaktion freigesetzt wird.
- b) Der Brennstoff sind in diesem Fall die vier Protonen. Berechnen Sie die pro Gramm Brennstoff freigesetzte Energie.
- c) Unsere Sonne produziert Energie mit einer gemessenen durchschnittlichen Leistung von 3.86×10^{26} W. Wenn ihre Masse von 1.99×10^{30} kg nur aus Protonen bestünde, wie lange könnte sie durchhalten, bevor sie ihren gesamten Brennstoff verbraucht hat?

Aufgabe 1: Radioaktiver Zerfall

a) Formel für die Reaktion:



Massendefekt:

$$\Delta m = 4m_p - 2m_e - m_{\text{He}^{2+}} = 0.026502527525 \text{ u} = 4.400848232 \times 10^{-29} \text{ kg}$$

Energiefreisetzung bei der Fusionsreaktion:

$$E = \Delta mc^2 = 3.952851393 \times 10^{-12} \text{ J} = 24.68694808913 \text{ MeV}$$

b) Pro gramm:

$$\rho = 5.9118039219 \times 10^{11} \text{ J/g}$$

c) Aus der gegebenen Masse und der abgestrahlten Leistung der Sonne und unter der Annahme, dass die gesamte Masse der Sonne anfänglich nur aus Protonen besteht, die am Fusionsprozess teilnehmen, erhalten wir:

$$t = \frac{M_{\text{Sp}}}{P_{\text{S}}} = \frac{1.99 \times 10^{30} \text{ kg} \times 5.9118039219 \times 10^{11} \text{ J/kg}}{3.86 \times 10^{26} \text{ W}} = 3.05 \times 10^8 \text{ s} = 9.65 \times 10^{10} \text{ Jahre}$$

Gesamte energie:

$$E_{\text{tot}} = M_{\text{Sp}} \rho = 1.18 \times 10^{24} \text{ J}$$

Charakteristiken der Quantenmechanik

Quantenmechanik ist eine Theorie, die Physik auf sehr kleinen Größenskalen erklären kann. Sie beruht darauf, dass Atome / Moleküle sowohl Teilchencharakter, wie auch Wellencharakter (Interferenzeffekte) haben.

Heisenberg:

In der QM können wir Messgrößen (Observablen) häufig nur mit endlicher Genauigkeit angeben. Beispielsweise sagt die Heisenberg'sche Unschärferelation, dass Ort und Impuls eines Teilchens nicht mit unendlicher Genauigkeit bestimmt werden kann.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} = \frac{\hbar}{2}$$

Δx : Ortunscharfe

Δp : Impulsunscharfe

Dieses Konzept lässt sich mit Operatoren und Kommutatoren verallgemeinern (Stoff von PC III).

Schrödinger:

Die Schrödingergleichung ist eine Gleichung der verallgemeinerten Mechanik und kann quantenmechanische Systeme beschreiben. Die zeitabhängige SG postuliert noch die Zeitpropagation eines Systems. Die zeitunabhängige SG betrachtet ein System zu genau einem Zeitpunkt.

$$\text{zeitabhängige SG: } i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \hat{H} \psi$$

$$\text{zeitunabhängige SG: } \hat{H} \psi = E \psi$$

i : imaginäre Einheit ($i = \sqrt{-1}$)

$\hbar$: reduziertes Planck'sches Wirkungsquantum

$\frac{\partial}{\partial t}$: partielle Ableitung nach der Zeit

$\hat{H}$: Hamilton-Operator

ψ : Wellenfunktion