Bindingsenergie

Een $^{2}_{1}\mathrm{H}$-kern bestaat uit 1 proton en uit 1 neutron. We berekenen de massa van de onderdelen van de kern:

$$\begin{array}{rr} \text{massa van een proton:} & 1,007276 \text{ u} \\ \text{massa van een neutron:} & 1,008665 \text{ u} \\ \hline \text{massa kern (som):} & 2,015941 \text{ u} \end{array}$$

Experimenteel vindt men dat de werkelijke massa van een $^{2}_{1}\mathrm{H}$-atoom gelijk is aan $2,01410$ u. Hierin zijn de elektronen meegerekend in de atoommassa. De massa van de kern is dus:

$$\begin{array}{rr} \text{massa van het atoom:} & 2,01410 \text{ u} \\ \text{massa van het elektron:} & 0,000549 \text{ u} \\ \hline \text{massa kern (verschil):} & 2,01355 \text{ u} \end{array}$$

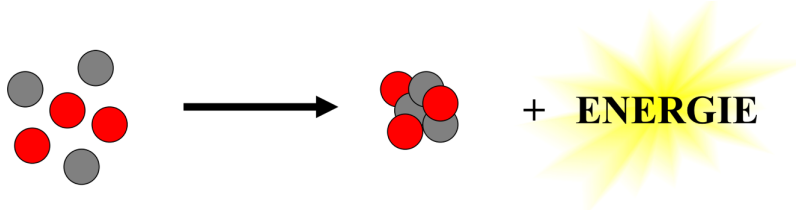
Besluit: De experimentele waarde is niet gelijk aan de verwachte waarde, die we berekend hebben. We moeten hieruit besluiten dat als protonen en neutronen samen een atoomkern vormen, er sprake is van een massaverlies of massadeficit. Soms noemt dit ook het massadefect.

Voor de $^{2}_{1}\mathrm{H}$-kern is dit massaverlies $2,015941 \text{ u} - 2,01355 \text{ u} = 0,00239 \text{ u}$.

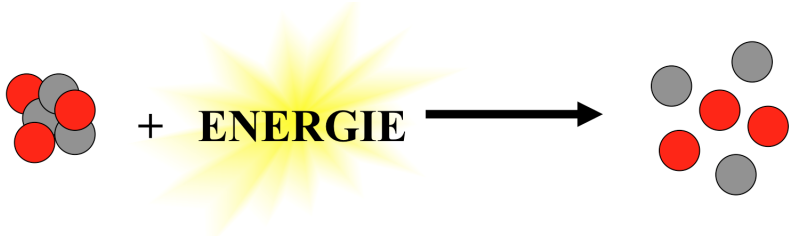
Daarmee komt een hoeveelheid energie overeen die gelijk is aan

$$\begin{aligned} E &= m \cdot c^2 \\ &= 0,00239 \text{ u} \cdot \frac{931 \text{ MeV}}{\text{u}} \\ &= 2,23 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Bij vorming van een $^{2}_{1}\mathrm{H}$-kern met een proton en een neutron is er massaverlies en komt $2,23$ MeV energie vrij.



Wil je een $^{2}_{1}\mathrm{H}$-kern splitsen in zijn proton en neutron, dan moet er 2,23 MeV energie toegevoegd worden om de bindingen te verbreken. Daarom noemt deze energie de bindingsenergie van de kern. Na de splitsing is de massa van de losse deeltjes (proton en neutron) samen groter dan het oorspronkelijke deeltje (atoomkern).



Definitie 1. De energie die overeen komt met het massadeficit is de bindingsenergie (BE) van de kern. Dit is de energie die je zou moeten toevoegen om de bindingen tussen de nucleonen te verbreken.

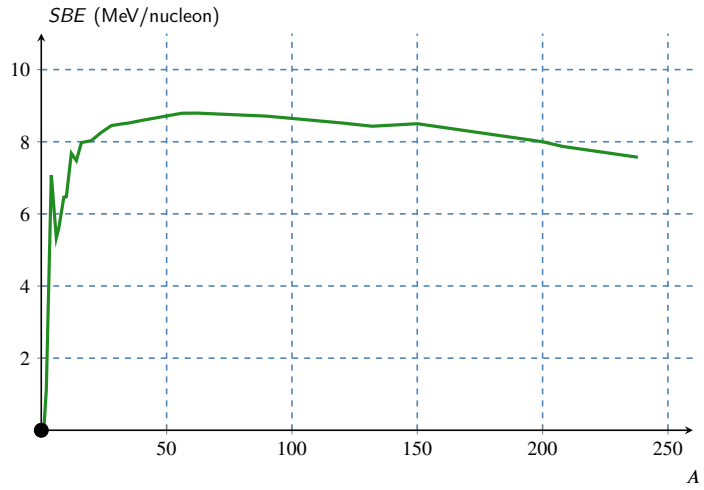
CC BY-NC-SA 4.0

Bindingsenergie

De bindingsenergie per nucleon noemt met de specifieke bindingsenergie (SBE).

Voor ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ bedraagt de specifieke bindingsenergie $2,23$ MeV$/2 = 1,12$ MeV

Hoe groter de specifieke bindingsenergie van een nuclide, hoe meer energie nodig is om de kern te splitsen in afzonderlijke kerndeeltjes en hoe stabieler de kern.



Bovenstaande grafiek toont de specifieke bindingsenergie als functie van het massagetal. De kromme vertoont een maximum bij $A = 62$ (Ni $-$ 62 met $Z = 28$). De kernen in de buurt van deze top zijn het meest stabiel. De kernen van lichtere en zwaardere nucliden zijn minder stabiel.

Uit die grafiek volgt dat uit kernen op twee manieren energie kan worden gewonnen:

(a) Lichte kernen kan je samenvoegen zodat een massadefect optreedt, waardoor er energie wordt uitgestraald. (kernfusie)

(b) Zware kernen kan je splitsen zodat een massadefect optreedt, waardoor er energie wordt uitgestraald. (kernsplijting)

We bekijken dit telkens met een voorbeeld.

Voorbeeld 1. De fusie van een ${}^{16}_{8}\mathrm{O}$-kern en een ${}^{19}_{9}\mathrm{F}$-kern.

Er ontstaat een nieuwe kern met $8 + 9 = 17$ protonen en $16 + 19 = 35$ kerndeeltjes.

Dit is een ${}^{35}_{17}\mathrm{Cl}$-kern.

Massa vóór de fusie		**Massa na de fusie**	
O-atoom	$15,9949$ u	Cl-atoom	$34,9689$ u
F-atoom	$18,9984$ u		
Totale massa	$34,9933$ u	Totale massa	$34,9689$ u
Massadefect: $34,9933$ u $-$ $34,9689$ u $= 0,0244$ u			

CC BY-NC-SA 4.0

De energie die vrijkomt bij de fusie is

$$\begin{aligned} E &= m \cdot c^2 \\ &= 0,0244 \text{ u} \cdot \frac{931 \text{ MeV}}{\text{u}} \\ &= 22,7 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Voorbeeld 2. De splijting van een $^{210}_{82}$Pb-kern in een $^{96}_{36}$Kr-kern en een $^{114}_{46}$Pd-kern.

massa vóór de splijting		**massa na de splijting**	
Pb-atoom	209,9842 u	Kr-atoom	95,9431 u
		Pd-atoom	113,9104 u
totale massa	209,9842 u	totale massa	209,8535 u
Massadefect: 209,9842 u − 209,8535 u = 0,1307 u			

De energie die vrijkomt bij de splitsing is

$$\begin{aligned} E &= m \cdot c^2 \\ &= 0,1307 \text{ u} \cdot \frac{931 \text{ MeV}}{\text{u}} \\ &= 121,7 \text{ MeV} \end{aligned}$$

CC BY-NC-SA 4.0