

Fysikk 1 - Kapittel 4: Kjernefysikk - 06.02.2015

Løsningsskisser

Generell kommentar:

Må være nøye med avrunding i slutt svar, det mest unøyaktige tallet i mellomregningene bestemmer antall gjeldende siffer i sluttsvaret. Selv om atommasser er oppgitt med mange siffer er lyshastigheten bare gitt med 3 gjeldende siffer!

Oppgave 1

a) Hvilke 3 bevaringslover har vi i en kjernereaksjon?

Bevaring av: (Se øverst side 72 og side 73.)

1. Ladningstall (protontall, atomnummer) (Z)
2. Nukleontall (A)
3. Energi.

b) Byggestenene i all materie i universet er inndelt i to hovedgrupper, hva heter disse?

Kvarker og leptoner. (Se figur øverst side 67.)

c) Hvilke former for radioaktiv stråling har vi?

1. Alfastråling. (He-kjerner: ${}^4_2\text{He}$.) (Se midt på side 70.)
2. Betastråling. (Elektroner: ${}^{-1}_0e$.)
3. Gammastråling. (Elektromagnetisk stråling med høy frekvens.)
4. Nøytronstråling.)

d) Hvilke naturkrefter kjenner vi til i tillegg til gravitasjonskrefter?

List opp fra den sterkeste til den svakeste.

Sterk kjernekraft, elektromagnetisk kraft, svak kjernekraft og gravitasjonskraft.
(Se tabell nederst side 67.)

e) Lag en skisse som viser hvordan massen per nukleon varierer med nukleontallet, og forklar hvorfor fusjon har større potensiale enn fisjon som energiproducent.

Se graf midt på side 75.

Fusjon: $H + H \rightarrow He + \text{energi}$

Vi ser av grafen at nukleonene i He har A/Z på ca. 1.00...u, mens H har A/Z litt over 1.008...u

Forskjellen i masse, Δm , som blir gjort om til energi med $E = \Delta mc^2$, er derfor ca. 0.08u per nukleon.

Ser vi tilsvarende på fisjon med U som går over til lettere stoffer til høyre i grafen ser vi at det her bare blir et massesvinn per nukleon på ca. 0.001u.

Eller for å si det enkelt; grafen er brattere på venstresiden og gir større massesvinn som blir til energi (fusjon) enn på høyresiden.

f) Hvilke andre fordeler vil fusjonsreaktorer ha?

Mindre radioaktivitet avfall.
Mindre radioaktiv stråling.
Bra tilgang på brennstoff.
Tryggere kjernekraftverk. (Lett å stoppe prosessen, liten fare for å løpe løpsk.)
(Se side 77.)

g) Hvorfor har vi ikke klart å sette i drift fusjonsreaktorer per idag?

For å få fusjons-reaksjonene til å skje kreves det svært høye temperaturer, så utfordringen er å få til så høye temperaturer.
(Se side 77.)

Oppgave 2

Fyll ut manglende tall (merket "?") i følgende kjernereaksjoner:

a) ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ (Hydrogen fusjon: På Solen og i fremtidens fusjonsreaktor.)

b) ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}$ (Eksempel på beta-stråling.)

c) ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$

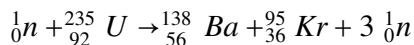
d) ${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$ (Chadwick: Oppdagelse av nøytron.)

e) ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$ (Rutherford: Første kjernereaksjon i et laboratorium.)

f) ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ (Hydrogen fusjon.)

Oppgave 3.

En av de mulige reaksjonsuttrykkene for spaltning av ${}^{235}_{92}\text{U}$ i en kjernereaktor er



a) Finn reaksjonsenergien i en slik spaltning.

$$\begin{aligned} m_n + m_U &= m_{Ba} + m_{Kr} + 3m_n + \Delta m \\ \Delta m &= m_n + m_U - (m_{Ba} + m_{Kr} + 3m_n) = \\ &= (1.00866 + 235.04392 - (137.90523 + 94.93984 + 3 \cdot 1.00866))u = \\ &= 0.18153u = 0.18153 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27} = 3.013398 \cdot 10^{-28} [\text{kg}] \\ E &= \Delta mc^2 = 3.013398 \cdot 10^{-28} (3 \cdot 10^8)^2 \approx 2.71 \cdot 10^{-11} [\text{J}] = 27.1 [\text{pJ}] \end{aligned}$$

b) Hvor mye energi blir frigjort ved spaltning av alle kjernene i 1.0 kg Uran?

Antall kjerner i 1 kg U:

$$n = \frac{1 [\text{kg}]}{235.04392u[\text{kg}]} = \frac{1}{235.04392 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}} = 2.56 \cdot 10^{24}$$

$$\begin{aligned} \text{Total energi: } E_{1kg} &= nE = 2.56 \cdot 10^{24} \cdot 27.1 \cdot 10^{-12} \\ &\approx 6.94 \cdot 10^{13} \text{ [J]} = 69.4 \text{ [TJ]} \end{aligned}$$

c) Norges årlige energiforbruk er 223 TWh (2005, SSB). Hvor mange kg Uran trengs for å frigjøre så mye energi?

Norges årlige energiforbruk:

$$E_N = 223 \text{ [TWh]} = 223 \cdot 60 \cdot 60 \text{ [TJ]} = 8.028 \cdot 10^5 \text{ [TJ]}$$

Vi trenger altså (teoretisk) så mange kg Uran:

$$\frac{E_N}{E_{1kg}} = \frac{8.028 \cdot 10^5}{69.4} \approx 11600 \text{ [kg]}$$

Oppgave 4.

Deuterium-Tritium-reaksjonen i oppgave 2 a) frigjør energien 2.8 pJ.

Regn ut den frigjorte energien når 1.0 kg deuterium-tritium-blanding reagerer.

Masse som frigjør $E = 2.8 \text{ [J]}$:

$$\begin{aligned} m &= m_D + m_T = (2.01410 + 3.01605)u = 5.0302u \\ &5.0302 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27} \approx 8.35 \cdot 10^{-27} \text{ [kg]} \end{aligned}$$

$$1 \text{ kg gir energi: } E_{1kg} = \frac{1}{8.35 \cdot 10^{-27}} \cdot 2.8 \cdot 10^{-12} \approx 3.4 \cdot 10^{14} \text{ [J]} = 340 \text{ [TJ]}$$

$$\begin{aligned} \text{(Ganske mye: } 340 \text{ [TJ]} = 340 \text{ [TWS]} = \frac{340}{60 \cdot 60} \text{ [TWh]} = 9.4 \cdot 10^{-2} \text{ [TWh]} = \\ 94 \text{ [GWh] !)} \end{aligned}$$

Oppgave 5.

En kjernereaktor basert på fisjon har en elektrisk effekt på 3.0 GW.

Hvor mange slike reaktorer trenger vi for å dekke Norges årlige energiforbruk?

(Bruk 223 Twh, som i oppgave 3c) .)

Norge i et år:

$$E_N = 223 \text{ [TWh]} = 223 \cdot 60 \cdot 60 \text{ [TJ]} = 8.028 \cdot 10^{17} \text{ [J]}$$

Reaktorens energiproduksjon i et år:

$$E_R = Pt = 3.0 \cdot (60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365) = 9.46 \cdot 10^{16} \text{ [J]}$$

$$\text{Antall reaktorer: } n = \frac{E_N}{E_R} = \frac{8.028 \cdot 10^{17}}{9.46 \cdot 10^{16}} \approx 8.5$$

Trenger altså 9 slike reaktorer.

Noen tall og opplysninger:

$$u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$c = 3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$${}^1_0n : \quad m/u = 1.008664904$$

$${}^1_1p : \quad m/u = 1.007276470$$

$${}^1_1H : \quad m/u = 1.00783$$

$${}^2_1H : \quad m/u = 2.01410$$

${}^3_1\text{H}$:	$m/u = 3.01605$
${}^4_2\text{He}$:	$m/u = 4.00260$
${}^3_2\text{He}$:	$m/u = 3.01603$
${}^{85}_{36}\text{Kr}$:	$m/u = 84.91561$
${}^{92}_{36}\text{Kr}$:	$m/u = 91.926156$
${}^{95}_{36}\text{Kr}$:	$m/u = 94.93984$
${}^{141}_{56}\text{Ba}$:	$m/u = 140.914411$
${}^{138}_{56}\text{Ba}$:	$m/u = 137.90523$
${}^{235}_{92}\text{U}$:	$m/u = 235.04392$