

11.16

En radioaktiv serie begynner med $^{235}_{92}\text{U}$ og inneholder 7 α - og 4 β -utsendinger.
Finn slutt nukliden.

Fusjon og fisjon

11.17

Hva menes med fusjon? Og fisjon?
Hva er felles for begge disse reaksjonstypene?

11.18

a) Se på tabellen over masse per nukleon på side 296.

Hvordan er verdiene i tabellen regnet ut?

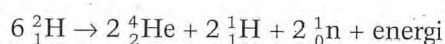
Hva viser tallene i tabellen?

b) Se på grafen på side 297 og forklar hva det vil si at grafen fra begge kanter heller mot et minimum ved nukleontallet 50–70 (Fe).

Hva forteller grafen til venstre for Fe, og hva betyr hellingen til høyre for Fe når det gjelder mulighetene for massesvinn?

11.19

En av flere mulige kjernereaksjoner som omdanner hydrogen til helium, er denne:

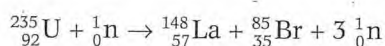


- Kontroller at bevaringslovene er fulgt.
- Vis at reaksjonen fører til massesvinn.
- Hva betyr «energi» på høyre side i reaksjonsuttrykket?

(^2_1H er en nuklide som hører til grunnstoffet hydrogen. Den kalles også deuterium, og sammen med oksygen gir den tungtvann. I 6 tonn vanlig vann er det ca. 1 liter tungtvann.)

11.20

Et mulig reaksjonsuttrykk for spalting av $^{235}_{92}\text{U}$ i en kjernereaktor er



- Finn reaksjonsenergien i en slik spalting.
- Hvor mye energi blir frigjort ved spalting av alle kjernene i 1,0 kg U? Gi svaret i kilowattimer.

Utnytting av kjerneenergi

11.21

Hva slags funksjon har

- brenselstavene
- moderatoren
- kontrollstavene i et kjerneenergiverk

11.22

Hva slags miljøskader kan det være snakk om fra kjerneenergiverk?

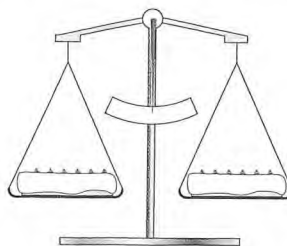
11.309

I grunnboka har vi sagt at masse og energi hører sammen på en bestemt måte.

a) Hvordan er denne sammenhengen?

På skålvakta på figuren står det to kaker. Den ene er varm, og den andre er kald. Vekta er i balanse.

b) Hvordan vil skålvakta stille seg etter hvert som tida går? (Dette er et tankeeksperiment.)



11.03

$^0_{-1}\text{e}$ og β

11.05

1, 2, 3, 1
6, 7, 13, 6
47, 60, 107, 47
92, 147, 239, 92

11.08

a) $^{12}_6\text{C}$ b) $^{14}_8\text{O}$ c) $^{12}_6\text{C}$ d) ^7_3Li

11.13

3,8 mg

11.14

b) 3,1 h

11.15

a) 4,2 Bq

11.09

a) $9,00 \cdot 10^{16}$ J

11.11

b) $1,25 \cdot 10^{-13}$ J

11.12

60 μg

11.16

$^{207}_{82}\text{Pb}$

11.19

b) $0,0464 \text{ u} = 7,71 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$

11.19 b) $0,0464 \text{ u} = 7,71 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$
11.20 a) $2,67 \cdot 10^{11} \text{ J}$ b) $1,90 \cdot 10^7 \text{ kWh}$

11.310

Arbeidet med å trekke opp en gammeldags vekkerklokke kan settes til 0,36 J.

- Hvor mye større eller mindre blir massen til klokka?
- Hun som trakk opp klokka, veier kanskje mindre etterpå. Hvor mye?

11.311 +

Beskriv de prosessene som måtte forekomme hvis bly, $^{208}_{82}\text{Pb}$, skulle bli til gull, ^{79}Au , gjennom α - og/eller β -utsendinger.

11.312

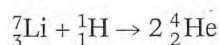
Er det mulig å «lage» gull? Forklar.

11.313

Velg et eksempel selv og gjør rede for innholdet i den kjente likningen $E_r = m_s c^2$.

11.314

Når et proton med den kinetiske energien (bevegelses-energien) $E_k = 4,80 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ treffer et litiumatom, kan vi få reaksjonen

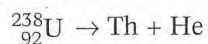


der de to α -partiklene til sammen har den kinetiske energien $1,41 \cdot 10^{-12} \text{ J}$.

Finn massene til H- og He-atomene i fysikktabellen og beregn massen til litiumatomet.

11.315

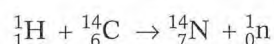
- Hva skjer med en kjerne som sender ut en α -partikkel?
Fullfør reaksjonsuttrykket



- Den α -partikkelen som oppstår, har kinetisk energi, og den uranklumpen som sender ut α -partikler, får høyere temperatur enn omgivelsene.
Hvor kommer energien fra?

11.316

Beregn den minste kinetiske energien protonet kan ha for at denne reaksjonen skal være mulig:

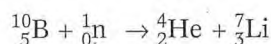
**11.317 +**

Hvis vi bombarderer ^6_3Li med nøytroner, oppstår det en α -partikkel og en partikkel som er radioaktiv. Sluttproduktene har da $7,7 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ større kinetisk energi enn startstoffene.

- Skriv reaksjonslikningen og oppgi hvilken partikkel som blir dannet.
- Beregn partikkelens atommasse.

11.318

Ved bestråling av $^{10}_5\text{B}$ med nøytroner får vi denne prosessen:



Beregn reaksjonsenergien for prosessen.

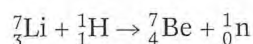
11.319 +

En $^{238}_{92}\text{U}$ -kjerne som er i ro, sender ut en α -partikkel. Restkjernen er en Th-kjerne, og den får en kinetisk energi på $1,1 \cdot 10^{-14} \text{ J}$.

- Skriv reaksjonslikningen. Hvilke bevaringslover bruker du her?
- α -partikkelen får ved den nevnte reaksjonen en kinetisk energi på $6,7 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.
Hvor stor fart har α -partikkelen når den har massen $m = 4,0 \text{ u}$?
- Hvor stort massesvinn kan du regne ut for denne reaksjonen?

11.320 +

Når vi bombarderer ^7_3Li med protoner, ^1_1H , kan denne reaksjonen finne sted:



Når vi i dette tilfellet adderer massene, finner vi at høyre side har større masse. Forskjellen er 0,0018 u.

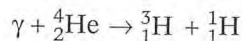
- Hvor kan den tilsvarende energien komme fra?
- Ta bare hensyn til energiregnskapet og finn den minste kinetiske energien protonet må ha for at prosessen skal finne sted når Li-atomet ligger i ro til å begynne med.

11.321 +

Massen til $^{24}_{12}\text{Mg}$ er mindre enn massen til $^{24}_{13}\text{Al}$. Forklar hvorfor en $^{24}_{12}\text{Mg}$ -kjerne som ligger i ro, ikke kan sende ut et elektron.

11.322 +

Et foton kan spalte en heliumkjerne (α -partikkel) i en tritiumkjerne (${}^3_1\text{H}$ -kjerne) og et proton etter reaksjonsuttrykket

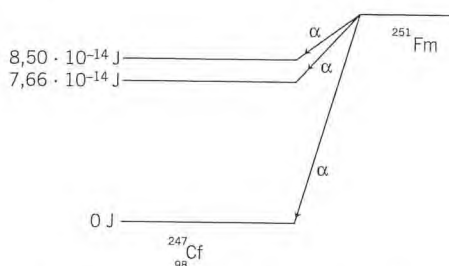


Hva betyr tallene her?

Hvilken energi må et foton minst ha for at denne spaltningen skal finne sted?

11.323 +

Nukliden ${}^{251}\text{Fm}$ er radioaktiv og blir omdannet til grunntilstanden eller en eksitert tilstand av nukliden ${}^{247}\text{Cf}$. Figuren viser de aktuelle energinivåene for ${}^{247}\text{Cf}$.



- Hva er de mulige frekvensene til den gamma-strålingen som kan registreres i forbindelse med alfa-strålingen?
- Sett opp reaksjonslikningen for prosessen.
- Vis at reaksjonsenergien er lik $1,20 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ når prosessen går til grunntilstanden av ${}^{247}\text{Cf}$.

Radioaktiv omdanning

11.324

Tabellen nedenfor viser resultatene fra en måleserie som ble gjort på et stykke radioaktiv materiale av en bestemt nuklide. Aktiviteten i materialet ble målt hver time ved at tallet på radioaktive utsendinger per 10 s ble registrert.

Tid/h	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$A/(10 \text{ s})^{-1}$	63	58	51	46	42
Tid/h	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
$A/(10 \text{ s})^{-1}$	37	35	30	27	25

- Bruk resultatene i tabellen til å lage en graf som viser aktiviteten som funksjon av tida.

- Bestem en verdi for halveringstida til det radioaktive materialet.
- Bruk RST-tabellen til å finne en god kandidat til hvilken nuklide vi har med å gjøre.

11.325

På et visst tidspunkt har vi 1 g av thorium-234. Denne radioaktive isotopen har en halveringstid på om lag 24 d.

- Hvor lang tid tar det før vi har igjen $\frac{1}{32} \text{ g Th}$?
- Hvor lang tid tar det før 75 % av det opprinnelige thoriumet er omdannet?

11.326

Poloniumnukliden Po-218 har halveringstida 3,1 min. På et bestemt tidspunkt har vi 10 μg av denne radioaktive nukliden.

- Hvor mye har vi igjen etter 20 min?
- Hvor lang tid tar det før vi har igjen 2,0 μg ?

11.327

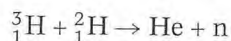
En radioaktiv serie begynner med den radioaktive nukliden Th-232. Serien ender i stabil nuklide etter 6 alfautsendinger og 4 betautsendinger.

Hva er den stabile nukliden?

Fusjon og fisjon

11.328

- Fullfør reaksjonsuttrykket.



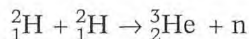
- Hvor mye energi gir en slik reaksjon?
- Hvor mye energi gir 10^{26} slike reaksjoner?

Svaret i c vil svare til et forbruk på ca. 1 kg av utgangsstoffene.

- Hvor langt rekker denne energien i en skolebygning der vi antar at gjennomsnittsforbruket av strøm og fyringsolje til sammen svarer til bruken av 40 kW?

11.329

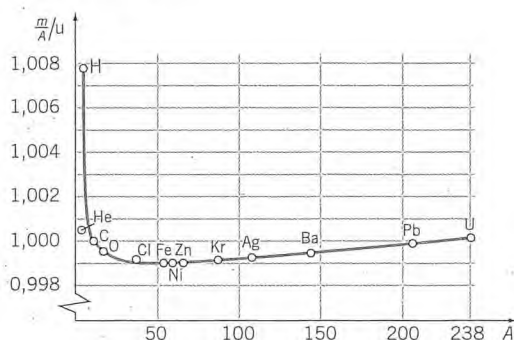
I framtida kan det ble aktuelt å utnytte kjernefysiske fusjonsreaksjoner i energiverk. En av de mulige reaksjonene er



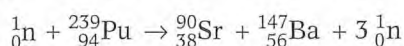
- Når vi skriver opp slike reaksjonslikninger, passer vi på at noen såkalte bevaringslover blir oppfylt. Forklar innholdet av to slike lover som er aktuelle her.
- Beregn reaksjonsenergien i reaksjonen ovenfor.

11.330

- Ta utgangspunkt i figuren og fortell om prosessene fusjon og fisjon.



I en bestemt type kjernereaktor (formeringsreaktor) blir ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ spaltet til lettere kjerner i en slik prosess:



- Hvor stort massesvinn er det i denne prosessen?
- Regn også ut reaksjonsenergien i prosessen.

11.331 +

I en fusjonsreaksjon kan kjernene av hydrogenisotopene deuterium og tritium reagere og gi en heliumkjerne. For at sammensmeltingen (fusjonen) skal være mulig, må kjernene komme tilstrekkelig nær hverandre. Det kan skje hvis hver av hydrogenisotop-kjernene har en tilstrekkelig høy kinetisk energi. Ifølge kinetisk gasteori er den midlere translatoriske kinetiske energien E_k for partiklene i en gass ved temperaturen T gitt ved

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

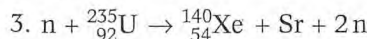
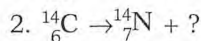
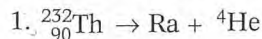
der k er boltzmannkonstanten.

Hvilken temperatur må blandingen av deuterium og tritium ha for at den midlere kinetiske energien skal være $1,60 \cdot 10^{-15}$ J?

11.332

- Hvilke bevaringslover gjelder for en kjerne-reaksjon?

Fullfør uttrykkene nedenfor.

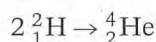


- Hver av de tre reaksjonene i a er et eksempel på en av følgende reaksjonstyper: fisjon, fusjon, α -stråling, β -stråling.

Bestem reaksjonstypen i hver reaksjon.

11.333 +

Vi kan tenke oss å bruke denne fusjonsreaksjonen til å produsere elektrisk energi:



- Hvor mye energi kan bli frigjort i en enkelt reaksjon?
- Hvis vi kan utnytte 35 % av denne energien og vi ønsker å produsere $2,0 \cdot 10^7$ W, hvor mye deuterium (${}^2\text{H}$) går det da med på ett døgn?

Utnytting av kjerneenergi

11.334

En uranreaktor bruker 20,0 g ${}^{235}_{92}\text{U}$ i løpet av 180 døgn. Ved hver fisjon blir det frigjort $3,20 \cdot 10^{-11}$ J.

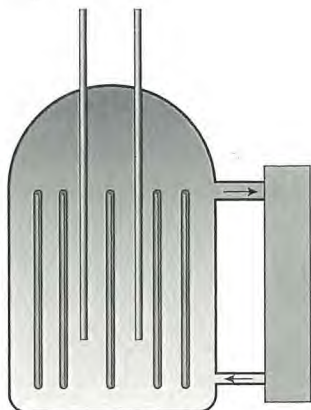
- Hvor mye energi blir frigjort når 1,00 kg uran fisjonerer?
- Hvor mye energi produseres per sekund i reaktoren?
- Hvor mye kull måtte vi brenne for å få frigjort like mye energi som i oppgave a? For hvert kilogram kull som brenner, kan vi få ut $3,20 \cdot 10^7$ J i form av varme.

11.335

I en fisjonsreaktor bruker de U-235 som brensel. Hvilken påstand eller hvilke påstander er rette?

- Fisjonsnøytronene kan gi nye fisjoner uten å bli utsatt for kollisjoner.
- Massen per nukleon er større for fisjonsproduktene enn for urankjernen.
- Fisjonsproduktene er aldri radioaktive.
- Moderatoren setter ned farten på fisjonsnøytronene.

11.336



- a) Ta utgangspunkt i figuren og forklar hvordan denne fisjonsreaktoren omdanner kjerneenergi til termisk energi.
- b) Hvordan produseres så den elektriske energien i et kjerneenergiverk?

Blandede oppgaver

11.337

- a) En atomkjerne av et vilkårlig grunnstoff X kan skrives som A_ZX .
Hva står A og Z for?
Hva mener vi med isotoper av et grunnstoff?
- b) Vi har tre former for stråling fra radioaktive stoffer: α -, β - og γ -stråling.
Forklar hva slags stråling hver av disse er.
Nevn kort hva som skjer med A og Z når kjernen sender ut α -stråling, og når den sender ut β -stråling.
- c) Føy til det som mangler i reaksjonene:
- ${}^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{214}_{82}\text{Pb} + ?$
 - ${}^{208}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{214}_{82}\text{Bi} + \beta$
 - ${}^{214}_{82}\text{Bi} \rightarrow ? + \beta$

11.338

- a) Hvilke tre typer stråling har vi fra radioaktive stoffer?
Hvordan oppstår slik stråling?
- b) Hvilke partikler er X og Z i disse to reaksjonsuttrykkene?
- ${}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\text{Np} + X$
 - ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{90}_{39}\text{Y} + Z$

11.339

- a) Bruk fysikktabellen og bestem partiklene X, Y, Z og ΔE i følgende reaksjoner:
- ${}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}^{235}\text{U} + X$
 - ${}^{137}\text{Cs} \rightarrow {}^{137}\text{Ba} + Y$
 - ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + Z$
 - ${}^1_0\text{n} + {}^{235}\text{U} \rightarrow {}^{94}\text{Sr} + \Delta E + 3 {}^1_0\text{n}$
- b) Hvilke ulike typer kjernereaksjoner er reaksjonene 1, 2, 3 og 4 eksempler på?
- c) Regn ut massesvinnet i reaksjon 3.
- d) En av reaksjonene i a kan danne grunnlag for en kjedereaksjon.
Hvilken reaksjon er det?
Forklar hva en kjedereaksjon er.
Nevn eksempler på praktisk bruk av kjedereaksjoner.
- e) Lag en skisse som viser hvordan massen per nukleon varierer med nukleontallet, og forklar kort ut fra denne skissen hvordan energi kan frigjøres i kjernereaksjoner.
- f) ${}^{137}\text{Cs}$ er en radioaktiv isotop av cesium med halveringstid 30 år. En beholder med radioaktiv avfall fra et kjerneenergiverk inneholder 1,0 kg ${}^{137}\text{Cs}$.
Hvor lang tid tar det før innholdet av ${}^{137}\text{Cs}$ er redusert til 1,0 g?

11.340

- Fusjonsreaktoren ITER som bygges i Sør-Frankrike skal produsere energi via fusjonsprosesser.
- a) Forklar hva vi mener med fusjon og fisjon.
Hva er det som gjør at disse prosessene frigjør energi?

- ITER skal brenne deuterium (${}^2_1\text{H}$) og tritium (${}^3_1\text{H}$) til helium (${}^4_2\text{He}$). Prosessen produserer én partikkel til.
- b) Skriv opp reaksjonslikningen og finn ut hvilken partikkel som produseres.
Vis at reaksjonsenergien er om lag $2,8 \cdot 10^{-12}$ J.

- Det er planlagt at reaktoren skal produsere en maksimal energimengde på $5,0 \cdot 10^{11}$ J i løpet av 1000 s.
- c) Hvor mange reaksjoner må til for å få denne energien?

11.310

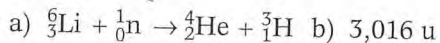
- a) $4,0 \cdot 10^{-18}$ kg større
b) $4,0 \cdot 10^{-18}$ kg mindre

11.314

$$7,01 \text{ u} = 1,16 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

11.316

$$1,00 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

11.317**11.318**

$$4,47 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

11.319

- a) ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$
b) $1,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
c) $7,6 \cdot 10^{-30} \text{ kg} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ u}$

11.320

b) $2,7 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

11.322

$$3,18 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

11.323

- a) $f/10^{20} \text{ Hz}$: 1,28, 1,16, 0,125
b) ${}^{251}_{100}\text{Fm} \rightarrow {}^{247}_{98}\text{Cf} + {}^4_2\text{He}$

11.324

b) 6,6 h c) Pa-234

11.325

a) 120 d b) 48 d

11.326

a) 0,11 μg b) 7,2 min

11.327

Pb-208

11.328

- a) ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
b) $2,82 \cdot 10^{-12} \text{ J}$
c) $2,82 \cdot 10^{14} \text{ J}$
d) $7,05 \cdot 10^9 \text{ s}$ (223 år)

11.329

b) $5,24 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

11.330

- b) 0,193 u (0,192745) = $3,20 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$
c) $2,88 \cdot 10^{-11} \text{ J}$

11.331

$$7,73 \cdot 10^7 \text{ K}$$

11.332

- a) 1. ${}^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{226}_{88}\text{Ra} + {}^4_2\text{He}$
2. ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$
3. ${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 2{}^1_0\text{n}$
b) 1. α -stråling 2. β -stråling 3. fisjon

11.333

a) $3,82 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ b) 8,6 g

11.334

a) $8,20 \cdot 10^{13} \text{ J}$ b) 105 kJ/s c) $2,56 \cdot 10^6 \text{ kg}$

11.335

4)

11.337

- c) 1. ${}^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{214}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$
2. ${}^{214}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{214}_{83}\text{Bi} + {}^0_{-1}\text{e}$
3. ${}^{214}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{214}_{84}\text{Po} + {}^0_{-1}\text{e}$

11.338

b) 1. $X = {}^4_2\text{He}$ 2. $Z = {}^0_{-1}\text{e}$

11.339

a) $X = {}^4_2\text{He}$ $Y = {}^0_{-1}\text{e}$
 $Z = {}^1_0\text{n}$ $\text{Æ} = {}^{139}_{54}\text{Xe}$

- b) α -stråling, β -stråling, fusjon, fisjon
c) $3,13 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$ ($1,88 \cdot 10^{-2} \text{ u}$)
d) 4. f) Om lag 300 år (299)

11.340

- b) ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
c) $1,8 \cdot 10^{23}$