

# Regneoppgaver for KJM5900

Høsten 2004, sist oppdatert av JPO 4. august 2004.

Til mange av oppgave må du hente informasjon fra nuklidekartet ditt.

## Oppgaver til dag 1 i intensivuken

### Øvelse i bruk av nuklidekartet

- 1) På nuklidekartet som er lagt ved læreboken er det brukt fargekoder for å skille mellom de ulike typene desintegrasjoner. Lag en tabell som forklarer hva fargene symboliserer!
- 2) Nuklidekartet er organisert med antall nøytroner langs x-aksen og antal protoner langs y-aksen (figur 2.1 i læreboken på side 8). Forklar hva følgende begreper er og hvordan vi finner dem i nuklidekartet. Bruk nukliden  $^{28}\text{Si}$  som referansepunkt og gi eksempler på begrepene relativt til  $^{28}\text{Si}$  (f.eks.  $^{27}\text{Si}$  og  $^{29}\text{Si}$  er begge isotoper av Si").
  - a) Isotoper
  - b) Isotoner
  - c) Isobarer
- 3) Bruk nuklidekartet til å finne hva det tyngste grunnstoffet som kan finnes i naturen er! (Det vil si at halveringstiden må være lang nok til at det fremdeles er noe igjen av grunnstoffet fra den gangen jorden ble dannet).
- 4) Bruk nuklidekartet til å finne hva er det tyngste *stabile* grunnstoffet som finnes i naturen er!
- 5) Undersøk følgende om grunnstoffet Ar:
  - a) Hvilken stabil Ar-isotop er det mest av?
  - b) Hvilken radioaktiv Ar-isotop har lengst halveringstid?
  - c) Hvilke Ar-isotoper har halveringstider av størrelsesorden sekunder?
  - d) Hva slags  $\gamma$ -stråling sendes ut når  $^{43}\text{Ar}$  desintegrerer. Hvilken  $\gamma$ -stråling er mest intens?
- 6) Til nuklidekartet fra Karlsruhe hører det til en forklaring, denne er ikke vedlagt i boken. Vi har tilgjengelig en del slike forklaringshefter på VU55, lån et av disse og skriv ned og lær deg følgende:
  - a) Hva slags informasjon er det som er angitt i ruten for de stabile nuklidene?
  - b) Om en nuklide sender ut  $\beta$ -stråling, hvordan finner du ut hva slags  $\beta$ -stråling og hvor kraftig den er? Hva slags energienhet benyttes?
  - c) Hvordan kan du finne ut om det sendes ut  $\gamma$ -stråling når en nuklide desintegrerer?

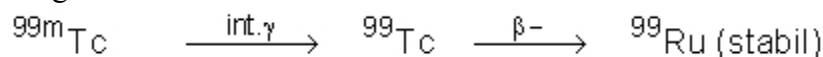
Kan du finne ut energien til  $\gamma$ -strålingen? I så fall, hvilken energienhet er benyttet?

- 7) Hvilken radioaktiv isotop av Si har lengst halveringstid? Hvordan vil en kjerne av denne nukliden desintegre inntil stabilitet?
- 8) En radionuklide som ikke kan dannes ved desintegrasjon av en annen radionuklide, kalles for skjermet. Grunnstoffet prometium (Pm,  $Z=61$ ) har ingen stabile isotoper. Finn ut hvilke Pm-isotoper som har lengst halveringstid og sett opp desintegrasjonen av disse til stabilitet. Er noen av disse Pm-isotopene skjermet?
- 9) Enkelte radionuklider desintegrerer med både  $\beta^+$  og  $\beta^-$  i konkurranse. Hvor finner vi disse radionuklidene?
- 10) Sett opp rekkene av desintegrasjoner som er mulig for nukliden  $^{179}\text{Hg}$ , inntil den når stabilitet.
- 11) På nuklidekartet er isomere angitt til venstre i delte ruter, grunntilstanden helt til høyre. For de tilfeller som er karakterisert, er det angitt med en liten "g" eller "m" hvorvidt en desintegrasjon primært fører til dannelse av grunntilstanden eller isomeren (m = metastabil). Sett opp rekkene av desintegrasjoner for nukliden  $^{121}\text{Ag}$  til stabilitet utfra dette.
- 12) I en del tilfeller er en rute (for en gitt nuklide) delt opp i flere farger. Hva betyr dette (se i forklaringen til nuklidekartet)? Bruk nuklidene  $^{211}\text{Ra}$  og  $^{214}\text{Ra}$  til å forklare dette med.
- 13) Sett opp rekken av desintegrasjoner som en kjerne av  $^{232}\text{Th}$  gjennomgår før den kommer til stabilitet (der hvor det er alternativer utelates grener med mindre enn 5% intensitet).
- 14) Et rent, nyfremstilt thoriumsalt vil ikke avgi noen  $\gamma$ -stråling, men et gammelt thoriumsalt vil avgi sterk, høyenergetisk  $\gamma$ -stråling. Hvilken energi er det på denne strålingen og hvorfor skjer dette?
- 15) Nøytronfattige nuklider kan desintegrere med både  $\beta^+$  og elektroninnfangning, nær stabilitet er bare sistnevnte mulig. Skriv opp desintegrasjonen av  $^{201}\text{Tl}$  og  $^{197}\text{Tl}$ . Hvilken stråling sendes ut i hvert av disse to tilfellene?
- 16) Den mest radiotoksiske (strålingsfarlige) komponenten i ubehandlet brukt reaktorbrensel er  $^{244}\text{Cm}$ . Hvor mange  $\beta$ -desintegrasjoner og hvor mange  $\alpha$ -desintegrasjoner må en slik kjerne utføre før den når stabilitet?
- 17) I 1980 forutsa Ivascu og Poenaru at enkelte spesielle radionuklider kunne sende ut  $^{14}\text{C}$  partikler når de desintegrerer. To radionuklider som gjør dette, er  $^{225}\text{Ac}$  og  $^{222}\text{Ra}$ . Hvilke kjerner dannes ved ved disse spesielle tilfellene?

## Oppgaver til dag 2 i intensivuken

### Regneøvelser med fundamentale formler

- 18) Regn ut desintegrasjonshastigheten av følgende (du finner halveringstider i nuklidekartet):
- $1.0 \cdot 10^{13}$  atomer  $^{99m}\text{Tc}$ .
  - $1.0 \cdot 10^{14}$  atomer  $^{14}\text{C}$ .
  - 1.0 gram  $^{239}\text{Pu}$ .
  - 1.0 gram  $^{235}\text{U}$ .
- 19) Regn ut antall atomer av følgende nuklider:
- 10 MBq av  $^{32}\text{P}$
  - 200 kBq av  $^{131}\text{I}$
- 20) En terapikilde med  $^{60}\text{Co}$  har en desintegrasjonshastighet som er  $1.0 \cdot 10^{14}$  Bq. Hvor mange gram  $^{60}\text{Co}$  inneholder den?
- 21) Et preparat merket med  $^3\text{H}$  har desintegrasjonshastighet  $3.0 \cdot 10^5$  Bq.
- Hva er desintegrasjonshastigheten av preparatet etter 3.0 år?
  - Hvor lenge må preparatet ligge før desintegrasjonshastigheten er gått ned til  $2.0 \cdot 10^5$  Bq.?
- 22) Vi har følgende radioaktive serie:



En pasient tilføres  $4.0 \cdot 10^7$  Bq  $^{99m}\text{Tc}$  i forbindelse med en nukleærmedisinsk undersøkelse. Datternukliden  $^{99}\text{Tc}$  er radioaktiv, men har meget lang halveringstid. Vis at den totale desintegrasjonshastigheten i pasienten på grunn av undersøkelsen er ubetydelig en uke etter undersøkelsen.

### Regneøvelser med radioaktiv likevekt

- 23) Oppgave 3 fra eksamen i KJ250 våren 2003:
- Regn ut desintegrasjonshastigheten av  $^{232}\text{Th}$  og  $^{228}\text{Th}$  i ett kg tørt nyfremstillet thoriumnitrat ( $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ ), der et naturlig forekommende thoriumholdig mineral er utgangspunktet. Hvorfor blir desintegrasjonshastigheten av de to thoriumisotopene den samme?
  - Hvilken vektmengde med  $^{228}\text{Th}$  finnes i dette thoriumnitratet?
  - Vi lager en isotopgenerator ved å separere radium fra 1.0 år gammelt thoriumnitrat og feste radiumisotopene på en kolonne. Det kjemiske utbyttet for prosessen er 90 %. Desintegrasjonshastigheten av  $^{228}\text{Ra}$  på kolonnen måles til 10 000 Bq. Hvor stor mengde thoriumnitrat ble brukt til å lage denne kolonnen?
  - Hva er desintegrasjonshastigheten av  $^{224}\text{Ra}$  på denne kolonnen 3.0 dager etter at den ble laget?

e) Hvilke andre radionuklider, i tillegg til  $^{224}\text{Ra}$  og  $^{228}\text{Ra}$ , finnes på kolonnen ved dette tidspunktet i nevneverdige mengder ( $> 100 \text{ Bq}$ ).

## Oppgaver til dag 4 i intensivuken

### Strålevernrelaterte oppgaver

- 24) Grunnstoffet kalium er naturlig radioaktivt.  $^{40}\text{K}$  utgjør 0.012% av alle K-isotopene. Halveringstiden er  $1.3 \cdot 10^9$  år. Atomvekten for K er 39.10 g/mol. Et menneske veier 70 kg og inneholder 140 g kalium.
- Beregn desintegrasjonshastigheten av  $^{40}\text{K}$  i denne personen.
  - Hver desintegrasjon gir i gjennomsnitt en  $\beta$ -partikkel på 400 keV. Kalium fordeler seg jevnt over hele kroppen. Anta at all  $\beta$ -stråling absorberes og husk at  $1 \text{ keV} = 1.6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$ . Beregn den helkroppss stråledose denne personen mottar fra  $^{40}\text{K}$  i løpet av et år.
- 25) Helsedirektoratet fastsatte grensen for innholdet av radioaktivt Cs i saue- og reinsdyrkjøtt til 600 Bq pr. kg etter Tjernobyl-ulykken. Vi skal i denne oppgaven anta at vi ikke har andre radioaktive Cs-isotoper enn  $^{137}\text{Cs}$  i nedfallet. Halveringstiden for denne er 30 år. Den biologiske halveringstiden for Cs i mennesker settes til 110 dager, og man antar at utskillelsen har et rent eksponentielt forløp (som for radioaktiv desintegrasjon). En person spiser 1.0 kg reinsdyrkjøtt med 6000 Bq  $^{137}\text{Cs}$  pr. kg. Alt Cs absorberes i kroppen og fordeler seg jevnt overalt.
- Hvor mange gram  $^{137}\text{Cs}$  inntas?
  - Hver desintegrasjon  $^{137}\text{Cs}$  gir i gjennomsnitt en  $\beta$ -partikkel eller et konversjonselektron med energi 200 keV. Anta at all  $\beta$ -strålingen og alle konversjonselektroner absorberes og at all  $\gamma$ -stråling forsvinner. Beregn den helkroppss stråledose denne personen får på grunn av dette måltidet.
- 26) Vi sier gjerne at etter  $10 T_{1/2}$  vil en kilde være "død". Anta at du har en  $100 \text{ GBq } ^{125}\text{I}$  kilde. Ville du kaste denne etter at det er gått 600 dager? ( $T_{1/2}$  for  $^{125}\text{I}$  er 59 dager). Hvis nei, hvor lenge ville du vente?

### Oppgaver relatert til bestemmelse av mengder radioaktivitet (telling)

- 27) Et preparat som sender ut  $\beta$ -partikler med en hastighet på 10 kBq skal måles i forskjellige detektoroppsett. Regn ut forventet tellehastighet og usikkerhet når (angi svaret i cps):
- Telleeffektiviteten er 10%
  - Telleeffektiviteten er 90%
- 28) En  $\gamma$ -detektors telleeffektivitet skal bestemmes: En kilde med desintegrasjonshastighet 25 kBq ble benyttet. Kilden sender ut  $\gamma$ -kvant med en intensitet ( $= I_\gamma$ ) på 30% (det vil si at i gjennomsnitt vil det per 100 desintegrasjoner bli sendt ut 30  $\gamma$ -kvant). Kilden ble talt i 30 minutter og  $3,15 \cdot 10^6$  tellinger. Hva er telleeffektiviteten?

- 29)  $\gamma$ -stråling fra  $^{99m}\text{Tc}$  ble målt på en NaI-detektor.  $\gamma$ -intensiteten,  $I_\gamma$ , for 141 keV linjen som benyttes er 89,1%. Telletallet ble 3712 tellinger i løpet av en 180 sekunders måling. Bakgrunnen var fra før bestemt til å være  $8,2 \pm 0,3$  cps. Hva er kildens desintegrasjonshastighet?
- 30) Vi har to målte tall A og B. Usikkerheten i A =  $\sigma_A$  og usikkerheten i B =  $\sigma_B$ . Finn usikkerheten i C når:
- $C = A + B$
  - $C = A \cdot B$
  - $C = A / B$
- 31) Hva er telleusikkerheten i målingene nedenfor? Angi svaret både i cps og prosent!
- Det ble målt i 300 sekunder og telletallet ble 10.104 tellinger.
  - Det ble målt i 300 sekunder og telletallet ble 998 tellinger.
  - Det ble målt i 300 sekunder og telletallet ble 10 tellinger
  - Det ble målt i 10 sekunder og telletallet ble 998 tellinger.
- 32) Et preparat ble målt i 15 minutter og ga 900 tellinger totalt. Bakgrunnen ble målt i 30 minutter og ble regnet ut til å være 30 cpm. Beregn netto tellehastighet til preparatet med standard avvik.
- 33) Hvor lang telletid trengs det for at brutto telletall skal ha et standard avvik på 2 %. Anta at prøven inneholder 500 dpm og at telleeffektiviteten er 10 %.
- 34) Tre påfølgende tellinger av et preparat ga disse tallene: 1055, 990, 920. Er det grunn til å tro at det er tilfeldig variasjon eller en apparatur-feil?

## Oppgavesett 1 (til uke 36) Nuklider og radioaktivitet II

### Oppgave I fra eksamen i KJ250 29. november 1985:

- 35) Denne oppgaven består av fem delspørsmål.
- Beregn desintegrasjonshastigheten til 1 g nylaget og renfremstilt  $^{231}\text{Pa}$ . Gi svaret i Bq (dps).
  - Skriv opp den viktigste desintegrasjonsskjeden fra  $^{235}\text{U}$  til stabilt Pb. Hva er forholdet mellom desintegrasjonshastigheten til  $^{231}\text{Pa}$  og  $^{235}\text{U}$  i et gammelt uran-mineral? (Eldre enn 1 million år.)
  - 1 g  $^{231}\text{Pa}$  skal utvinnes av et mineral som inneholder 70 vektprosent uran. Hvor mange kg mineral må benyttes dersom man antar at det kjemiske utbyttet er 90%?
  - $^{231}\text{Pa}$  desintegrerer med  $\alpha$ -utsendelse.  $\alpha$ -energien er 5.0 MeV. Beregn dosehastigheten (doseraten) i  $^{231}\text{Pa}$  og angi denne i Gy/år (1 Gy = 1 joule/kg). Anta at all  $\alpha$ -stråling absorberes og at protaktiniumet er nylaget.
  - Når det rene protaktiniumet har ligget en tid, vil dosehastigheten være større. Forklar dette, og anslå dosehastigheten etter 20 år når du antar at all  $\alpha$ -stråling absorberes, og all  $\beta$ -stråling unnviker.

### Oppgave 1 fra eksamen i KJ250 16. desember 1998

- 36) For å løse denne oppgaven må du ha en tabell over masseoverskudd (mass excess). Du kan for eksempel finne dette her: <http://ie.lbl.gov/toi2003/MassSearch.asp>
- Beregn massene til følgende nuklider: n,  $^1\text{H}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{142}\text{Ce}$  og  $^{238}\text{U}$ .
  - Hvilke av de sistnevnte nuklidene er den mest stabile?
  - Anta at 1,00 kg  $^2\text{H}$  fusjonerer og gir ren  $^4\text{He}$ . Hva blir endringen i masse (kg) og hvor mye energi frigjøres (MeV og kWh)?
  - Anta at 1.00 kg  $^{233}\text{U}$  fisjonerer spontant og at produktene bare er  $^{92}\text{Rb}$  og  $^{138}\text{Cs}$  samt 3 nøytroner per fisjon. Hva blir her masseendringen og energiproduksjonen?
  - Hvilken form for energi er den primære ved fisjonen? Er det strålingen eller andre former for energi?

### Oppgave 1 fra eksamen i KJ250 16. desember 1998

- 37) I omgang med radioaktive materialer må det utvises forskjellig grad av forsiktighet avhengig av hvilke stoffer/nuklider vi arbeider med. Internasjonalt har man satt opp lister over radionuklider og deres farlighet.
- En størrelse som er viktig er ALI-verdien. Hva betyr ALI og hva gjelder den.
  - Nevn minst tre egenskaper ved radioaktive nuklider som gjør dem spesielt farlige og plukk noen eksempler fra nuklidekartet.

## Oppgavesett 4 (til uke 39): Kjerneparametere og -modeller

- 1) Sett  $A = \text{konstant}$  i uttrykket for kjernens bindingsenergi  $E_B$  og løs det med hensyn på  $Z$ .
- 2) Forklar kort hvorfor vi aldri finner mer enn en stabil nuklide i isobarkjeder med odde massetall, mens vi kan finne både 1, 2 og 3 stabile nuklider i isobarkjeder der massetallet er et partall.
- 3) Forklar kort hvor vi kan finne nuklider som desintegrerer med både  $\beta^+$  og  $\beta^-$ , og hvorfor de må være odde-odde nuklider.
- 4) Beregn  $Q$ -verdien for:  ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightleftharpoons {}^4\text{He} + {}^1\text{n} + Q$ . Hvor stor kinetisk energi får de to reaksjonsproduktene?
- 5) Beregn hvor mange støt et nøytron med kinetisk energi  $E_k$  på 6.0 MeV må gjennomgå før det er termalisert ( $E_k = 0.025$  eV) i a) rent hydrogen og i b) rent bly. Vi tenker oss elastiske støt.  $M_H = M_n = 1$  og  $M_{Pb} = 207$



## Vedlegg: Konstanter og størrelser

Oppgitte nuklidemasser:

${}^1_0\text{n}$	=	1.0086652
${}^2_1\text{H}$	=	2.0141022
${}^3_1\text{H}$	=	3.0160297
${}^4_2\text{He}$	=	4.0026031