

KJM 1060 - Radiokjemidelen

Forelesning 6: Anvendelser

127

Oversikt (6)

- Nøytronaktiveringsanalyse:
 - ▶ Kjernereaksjoner med nøytroner.
 - ▶ Nøytronkilder.
 - ▶ Kvalitativ og kvantitativ analyse med nøytronaktivering.
- Bruk av radioaktive nuklider som sporstoff
 - ▶ Hva er en tracer?
 - ▶ Eksempler
- Kjernekraft
- Eksempler på medisinske anvendelser (hvis tid)

128

Radioaktive tracere (sporstoff)

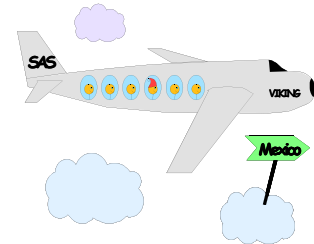
- En tracer er et stoff tilsatt en prosess for å studere utviklingen i prosessen og dens mekanismer.
 - ▶ Traceren kan enten være aktiv eller passiv: Den er aktiv hvis den tar del i prosessen, passiv hvis den kun følger en del av prosessen.
 - ▶ En passiv tracer må ikke forstyrre eller påvirke prosessen på noen måte.
 - ▶ En aktiv tracer deltar i prosessen på en kvalitativ og kvantitativ måte, og benyttes til å måle gitte egenskaper i det systemet den er satt inn i.

129

Eksempel på tracer eksperiment

(C) Prof. Tor Bjørnstad (IFE)

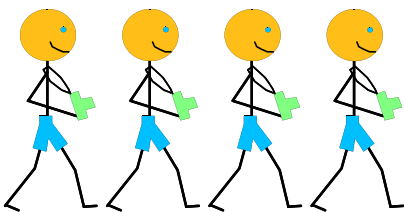
The purpose of the experiment is to trace the movement of Norwegian tourists in Mexico.



Norwegian tourists fly from Oslo to Mexico City and is released ("injected") there.

130

Hvordan ser en norsk turist ut?



Normally and basically he looks like other tourists from the world. To recognise it has to be "labelled" uniquely.

131

Eksempel: En god passiv tracer

The tracer movement one should be like a "passive" tracer, like the



The "nisse" (the backpack and the Norwegian flag) tells us that this is the Norwegian troop.

132

Tracere med forskjellige merkelapper

Does the Norwegian flag work in all situations or do we have to use different labels in different situations?



Does not work in Mexico

Does not work in Scotland

Does not work in Bayern

Does not work in Norway

133

Eksempel på en ikke-passiv tracer

The tracer shows a delay relative to the main mass bulk flow. This one is more interested in modern art than the rest of the troop, and is therefore lagged behind.

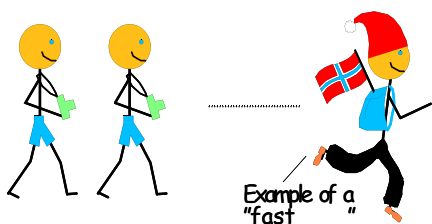


Example of a sorbing tracer

134

Eksempel 2 på en ikke-passiv tracer

This tracer shows a more rapid movement than the rest of the mass flow. It can therefore not be used to trace the movement of the Norwegian tourist troop.



Example of a "fast"

135

Tracer kategorier

- Vi kan dele tracere inn i tre hovedtyper, basert på hvordan de lages, håndteres, brukes og analyse metode:
 - Radioaktive atomer eller merkede molekyler.
 - Ikke-radioaktive kjemiske spesier.
 - Isotopforhold mellom stabile isotoper av et grunnstoff

136

Eksempel: Miljøstudier

- Radioaktive tracere: ^3H , som HTO, $^{22}\text{Na}^+$, ^{82}Br , $^{60}\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$. Analysene gjøres med radioanalyse metoder.
- Ikke-radioaktive tracere: SCN^- , Cl^- , In-EDTA , Fluorescein. Analysene gjøres med standard kjemiske metoder, nøytron-aktiveringsanalyse eller fluorescence spektroskopi.
- Isotop-forhold: H/D ved å bruke tungvann, D_2O . Analysen gjøres ved massespektroskopi.

137

Kjernekraft

- Enorme mengder energi frigjøres hvis en tung kjerne spaltes.
- Kjerner lettere enn uran vil ikke spontant spaltes, selv om dette er energetisk gunstig.
 - Spaltingen skjer når Coulombkreftene blir sterkere enn kjernekreftene, slik at to omtrent like store deler av kjernen blir skjøvet fra hverandre.



138

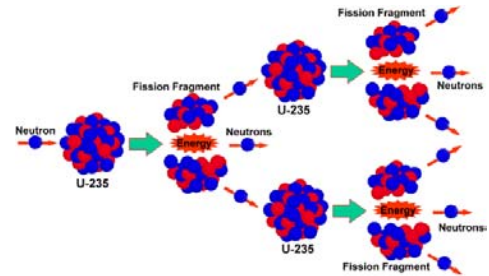
Fisjon

Nøytronene fra en kjerne som går i stykker kan spalte en annen atomkjerne:



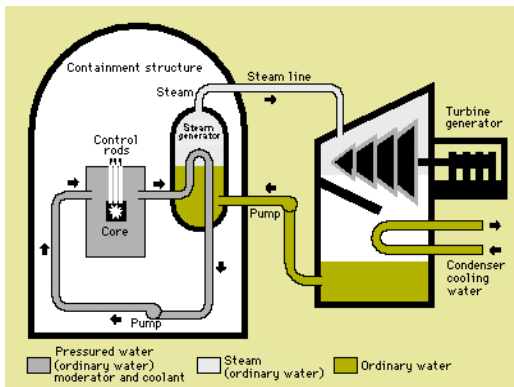
139

Kjedereaksjon



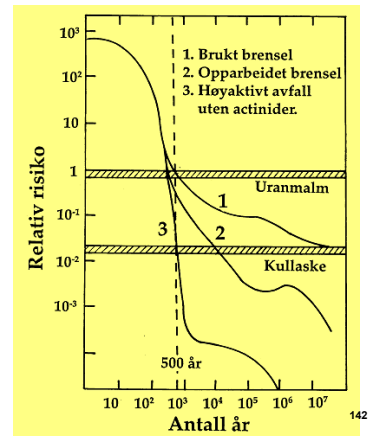
140

Kjernereaktor



141

Kjernekraft - avfall



142

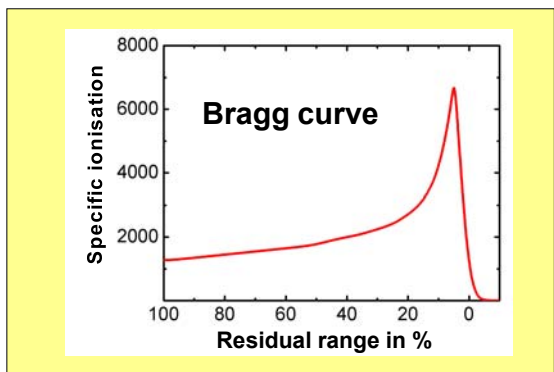
Kjernekraft i fremtiden?

143

Medisinske anvendelser av radioaktivitet

144

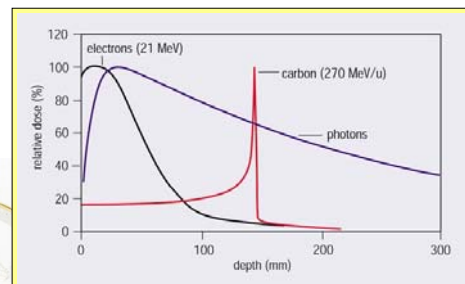
Bragg kurve



145

Stråleterapi

PSI "Gantry"

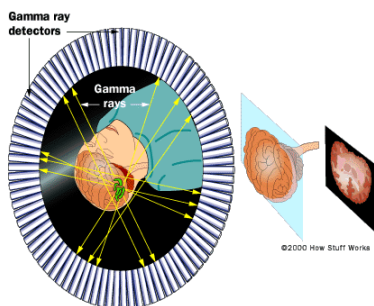


Bragg-kurven blir mer og mer "skarp" jo tyngre partikkelen er.

Det er derfor meget attraktivt å behandle kreft med tungionestråler, siden nesten all dosen kan konsentreres i kreftcellen.

146

PET - positron-emisjon-tomografi



147

Radioaktive grunnstoff i naturen

- Uran (92) og Thorium (90) var kjent fra gammelt av, men deres radioaktive egenskaper ble først oppdaget rundt 1900.
- Undersøkelser av naturlig forekommende radioaktivitet identifiserte polonium (84), radon (86), radium (88), actinium (89) og protaktinium (91).
- Senere ble også francium (87) funnet.
- Noen av hullene i det periodiske system skyldes at det ikke finnes stabile (nok) isotoper av disse grunnstoffene.
 - Technetium (43), promethium (61) og astat (85) kunne ikke studeres før de var blitt laget kunstig.

148

Det periodiske system anno 1941

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	(43)	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57-71 La-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	(85)	86 Rn
87 Ra	88 Ac	89 Th	90 Pa	91 U	(92)												
		93 U	94 Np	95 Pu	(96)	(97)	(98)	(99)	(100)								
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	(61)	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			

149

På jakt etter transuraner

- Kort etter oppdagelsen av nøytronet i England og kunstig induert radioaktivitet i Frankrike prøvde Enrico Fermi og medarbeidere å lage grunnstoff tyngre enn uran (transuraner) ved å bombardere uran med nøytroner (1934).
 - Fra datidens periodiske system forventet man at grunnstoff 93 skulle oppføre seg kjemisk likt med Re. Den kjemiske separasjonsmetoden de benyttet var imidlertid ikke spesielt selektiv og det var usikkert om aktiviteten med 13 min halveringstid som ble observert virkelig var en isotop av grunnstoff 93.

150

På villspor...

- Ida Noddack publiserte en artikkel der aktiviteten observert av Fermi et al. istedenfor ble tilordnet grunnstoff med omtrent halvparten av urans masse.
 - Ideen om at uran hadde delt seg i to omtrent like store deler var imidlertid for revolusjonerende og ble ikke trodd.
- De neste fem årene trodde man derfor at man hadde klart å lage transuraner.
 - En lang rekke isotoper av grunnstoff 93 og 94 ble publisert "oppdaget".
- I 1939 forstod Hahn, Strassmann og Meitner at aktiviteten som ble observert var nøytronrike isotoper av lettere grunnstoffer - nøytronene hadde spaltet urankjernene i to deler.

151

Kjemiske studier av syntetiserte grunnstoffer

- For å kunne studere grunnstoff som ikke finnes i naturen må man ha maskiner som kan fusjonere og/eller transmutere atomkjerner.
- Oppfinnelsen av syklotronen og oppdagelsen av fisjon var milepæler:
 - Syklotronen gav tilgang på høyenergetiske partikler for bombardement av atomkjerner.
 - Fisjon gav spaltningprodukt som ikke finnes i naturen og enda viktigere: Nøytroner som kan brukes til å bygge tyngre atomkjerner.

152

Partikkelakseleratorer

- Ernest Orlando Lawrence foreslo i 1929 hvordan man kunne bygge en maskin for å akselerere ioner til høye energier. Han bygget en slik maskin året etter, den kunne akselerere protoner opp til 80 keV.
- Dagens maskiner, basert på de samme prinsipper, kan akselerere protoner opp til GeV energier.



Lawrences første syklotron, holdt av Glenn Seaborg.

153

37-tommers syklotronen i Berkeley



154

Neptunium, plutonium og WWII

- Siden 1931 hadde Lawrence forbedret sin syklotron flere ganger, hver gang økte energi og intensitet (og størrelsen!).
 - Dette var starten på de virkelig store maskinene innen forskning.
- I 1940 ble neptunium, Z=93, laget for første gang i Berkeley av McMillan og Abelson.
 - De benyttet 60-tommers syklotronen til Lawrence.
- Året etter ble plutonium (Z=94) laget, også i Berkeley.
 - I 1942 var det laget makromengder av Pu, noe som var viktig for å konstruere kjemiske prosesser for å skille Pu fra fisjonsprduktene i Hanford reaktoren (som startet opp i 1944).
- Arbeidet med de kjemiske prosessene ble ledet av Glenn Seaborg, som skulle komme til å spille en betydelig rolle i den videre jakten på transuraner, samt forståelsen av deres kjemiske egenskaper.

155

Americium og curium

- Seaborgs gruppe klarte i 1944 å separere og identifisere grunnstoff 96, curium.
 - $^{239}\text{Pu} + \alpha \rightarrow ^{242}\text{Cm} + n$
- Samme år ble også grunnstoff 95, americium syntetisert og identifisert.
 - $^{239}\text{Pu} + 2n \rightarrow ^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am} + \beta^-$
- En rekke kjemiske undersøkelser ble utført for å isolere produktene:
 - Forskjellige antakelser vedrørende løseligheten til forbindelser av disse grunnstoffene ble utprøvd.
 - Muligheten for å oksidere fluorider fra lave oksidasjonstrinn (ikke løselig) til høyere (løselig).
 - Muligheten for at det ikke kunne oksideres i det hele tatt ble også prøvd.



Første synlige mengde Am, laget i 1944.

156

Actinide innskuddsserien

- En hovedgrunn til at Seaborg klarte å identifisere transuranene var hans forståelse av at man måtte sette inn en ny innskuddsserie (f-serie) i det periodiske system: Actinidene.
 - Dette er den mest radikale omrokking av det periodiske system som noengang er gjort etter Medeleev opprinnelig tabell fra det 19de århundre.
 - Grunnstoff 95 og 96 var for eksempel ikke homologer til Co-gruppen og Ni-gruppen og ble derfor ikke identifisert før man tok hensyn til at transuranene var actinider!



Opphavsmannen til navnet på grunnstoff 106, seaborgium.

157

Glenn T. Seaborg

- Seaborgs actinidekonsept var en av grunnene til at han senere ble tildelt Nobelprisen.
- I 1949 og 1950 klarte Seaborg et al. å lage grunnstoff 97 (Bk) og 98 (Cf) ved å bombardere henholdsvis ^{241}Am og ^{242}Cm med α -partikler.
- I løpet av årene 1944-1974 laget og identifiserte Seaborg og medarbeidere 9 grunnstoff (Z=95-102, samt 106).



158

Atomnummer:	Grunnstoff:	Oppdagere:	År:	Fremstilling:
93	Neptunium	McMillan og Abelson	1940	$n + ^{238}\text{U}$
94	Plutonium	Seaborg et al.	1940	$^2\text{H} + ^{238}\text{U}$
95	Americium	Seaborg et al.	1944	$n + ^{239}\text{Pu}$
96	Curium	Seaborg et al.	1944	$^4\text{He} + ^{239}\text{Pu}$
97	Berkelium	Thompson og Seaborg et al.	1949	$^4\text{He} + ^{241}\text{Am}$
98	Californium	Thompson og Seaborg et al.	1950	$^4\text{He} + ^{242}\text{Cm}$
99	Einsteinium	Berkeley, Argonne og Los Alamos	1952	Funnet i aske fra kjerneeksplosjon
100	Fermium	Berkeley, Argonne og Los Alamos	1952	Funnet i aske fra kjerneeksplosjon
101	Mendelevium	Ghiorso, Thompson og Seaborg et al.	1955	$^4\text{He} + ^{253}\text{Es}$
102	Nobelium	Dubna	1965	$^{15}\text{N} + ^{243}\text{Am}$
103	Lawrencium	Berkeley og Dubna	1961-1971	$^{10}\text{B}, ^{11}\text{B} + \text{Cf}, ^{16}\text{O} + ^{249}\text{Am}$

• Opp til grunnstoff Z=98 ble de umiddelbare forgjengerne benyttet som "byggestener"

• Grunnstoff 99 og 100 ble uventet funnet i avfallet etter kjerneeksplosjonen "Mike"

• Grunnstoff 101 var det siste som ble laget ved å legge til en He-kjerne.

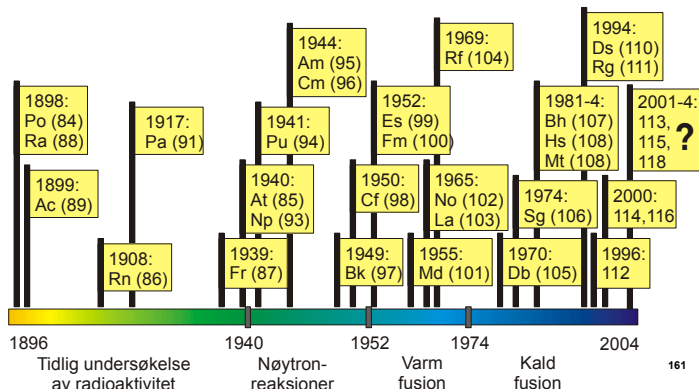
• For å komme videre måtte man benytte de mye mer eksotiske tungionereaksjonene

Det periodiske system

1																	18	
H												B	C	N	O	F	Ne	
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs											118
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			

160

Syntetiserte grunnstoff



161

"Et atom av gangen kjemi"

- Å lage stadig tyngre grunnstoff ble vanskeligere og vanskeligere.
 - Så lenge man benyttet α -partikler var man tvunget til å benytte tyngre og tyngre targets.
- Mendelevium, Z=101, var det siste grunnstoffet som ble laget på denne måten:
 - I 1955 benyttet Berkeley gruppen et uhyre lite ^{253}Es target (kun ca. 10^9 atomer, $1/10^9$ -del av et mg) til å lage 17 atomer av ^{256}Md i reaksjonen: $^{253}\text{Es} + 40 \text{ MeV } \alpha \Rightarrow ^{256}\text{Md} + n$
 - Man benyttet her for første gang "rekyll-separasjonsteknikken", utviklet av Albert Ghiorso.

162

Tungjoneakseleratorer

- For å lage enda tyngre grunnstoff tok man i bruk tyngre "prosjektil".
 - For eksempel ble grunnstoff 102, nobelium, laget i reaksjonen $^{246}\text{Cm} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{246}\text{No} + 4n$.
 - Slike reaksjoner kalles gjerne for "varm fusjon" på grunn av den relativt store eksitasjonsenergien på mellomproduktet (^{250}No).
 - 4-5 nøytroner sendes ut for å "kjøle" ned kjernen.
- Kun et fåtall akseleratorer i verden var (og er) i stand til å produsere intense stråler av tunge ioner, som er nødvendig for slike eksperimenter.

163

UNILAC ved GSI



Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt, Germany

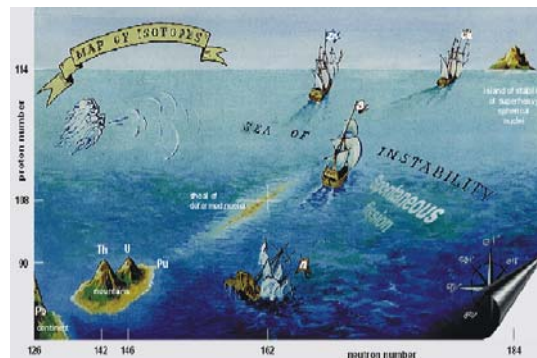
164

GSI kontrollrom



165

Kapselas mot SHE



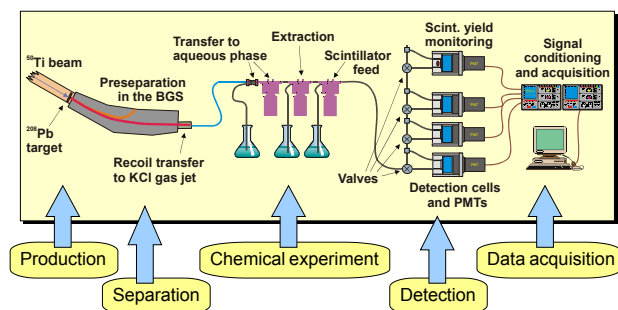
166

Kald fusjons reaksjoner

- For å lage de aller tyngste grunnstoffene har man tatt i bruk "kald fusjons" reaksjoner. Disse reaksjonene tar i bruk tyngre prosjektiler og lettere targets enn varm fusjons reaksjonene.
 - For eksempel ble grunnstoff 110 laget i reaksjonen $^{208}\text{Pb} + ^{62}\text{Ni} \rightarrow ^{269}\text{110} + 4n$
- Produksjonshastigheten er så lav for slike reaksjoner at det stilles ekstreme krav til separasjon og deteksjon.
 - Det mest avanserte oppsett for dette er SHIP ved GSI.

167

SISAK



168