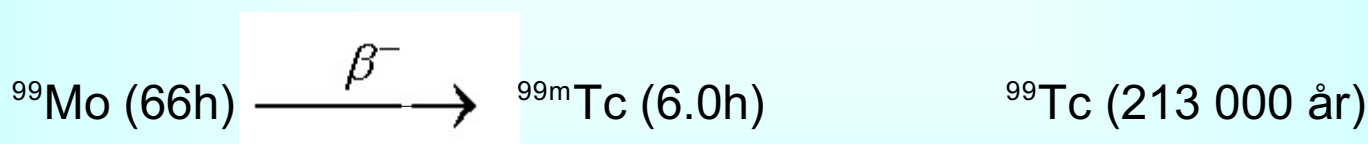




Genetisk avhengige nuklider

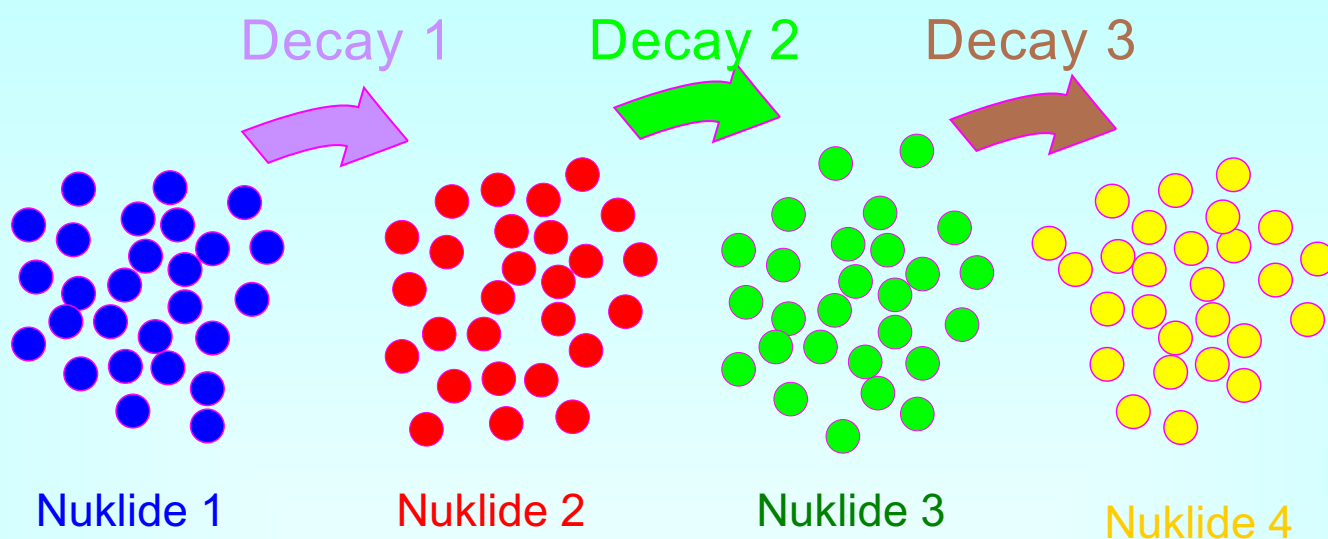
- Når en radioaktiv nuklide desintegrerer til en nuklide som også er radioaktiv, sier vi at de to nuklidene er genetisk avhengige.
- Det kan være mange nuklider etter hverandre i slike sammenhenger (f.eks. I desintegrasjon av ^{238}U , som ender i ^{206}Pb etter 14 desintegrasjoner).

Viktig eksempel:





Genetisk avhengighet



For genetisk avhengige nuklider er det viktig å huske på at det er **samme** kjerne som forandrer seg hele tiden, og gjennomgår ulike stadier før den kommer til ro i en stabil tilstand.



Mor/datter-relasjoner.

- Vi har to genetisk forbundne radionuklider, 1 og 2:
- Nuklide 1 \Rightarrow nuklide 2 \Rightarrow stabil
Vi ønsker: desintegrasjons-hastigheter som funksjon av tid og utgangsbetingelser.

Antar at nuklide 1 er første ledd.

Da har vi at:

$$N_1 = N_{1,0} e^{-\lambda_1 t}$$

i tidsrommet dt er økningen i N_2 :

$$dN_2 = (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) dt$$

eller:

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 - \lambda_1 N_{1,0} e^{-\lambda_1 t} = 0$$



Mor/datter-relasjoner forts.

Løser denne diff.-likningen:

$$N_2 \equiv uv, \Rightarrow \frac{dN_2}{dt} = v \frac{du}{dt} + u \frac{dv}{dt}$$

$$v \frac{du}{dt} + u \frac{dv}{dt} + \lambda_2 uv - \lambda_1 N_{1,0} e^{-\lambda_1 t} = 0$$

Krever: $u \left(\frac{dv}{dt} + \lambda_2 v \right) = 0$

Gir: $v = e^{-\lambda_2 t}$

$$\frac{du}{dt} e^{-\lambda_2 t} - \lambda_1 N_{1,0} e^{-\lambda_1 t} = 0 \quad \text{eller}$$

$$\frac{du}{dt} = \lambda_1 N_{1,0} e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t} \quad \text{INTEGRERER}$$

$$u = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t} + C$$



Mor/datter-relasjoner forts.

$$N_2 = uv = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} e^{-\lambda_1 t} + C e^{-\lambda_2 t}$$

C må bestemmes

$$N_{2,0} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} + C$$

$$C = N_{2,0} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} e^{-\lambda_2 t} + N_{2,0} e^{-\lambda_2 t}$$

$$= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{2,0} e^{-\lambda_2 t}$$

$$= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} e^{-\lambda_1 t} (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t}) + N_{2,0} e^{-\lambda_2 t}$$

$$= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t}) + N_{2,0} e^{-\lambda_2 t}$$

$$D_2 = \lambda_2 N_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \underbrace{D_{1,0} e^{-\lambda_1 t}}_{D_1} (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t}) + D_{2,0} e^{-\lambda_2 t}$$



Mor/datter-relasjoner forts.

Ofte vil $N_{2,0}$ og dermed $D_{2,0}$ være 0:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t})$$

$$D_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} D_1 (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t})$$

Metningsfaktoren

Hvis $\lambda_1 \ll \lambda_2$:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1 (1 - e^{-\lambda_2 t})$$

$$D_2 = D_1 (1 - e^{-\lambda_2 t})$$

- Metningsfaktoren:

- ▶ 0,999 etter 10 av datternuklidens halveringstider
- ▶ Da er $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$ og $D_1 = D_2$

- Ved flere ledd i kjeden og

$T_{1/2}(1) \gg T_{1/2}(2)$:

- ▶ $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots \dots \lambda_n N_{n1}$ og $D_1 = D_2 \dots = D_n$

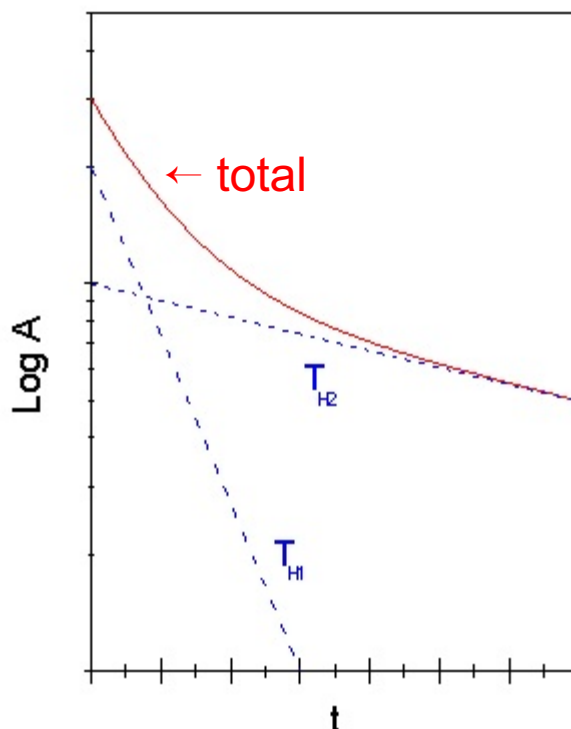


Mor/datter-relasjoner, tre tilfeller

- Kort mor/ lang datter ($\lambda_1 \gg \lambda_2$),
 $T_{1/2}(1) \ll T_{1/2}(2)$
 - ▶ **Ingen likevekt**
- Lang mor/kortere datter ($\lambda_1 < \lambda_2$),
 $T_{1/2}(1) > T_{1/2}(2)$
 - ▶ **Transient likevekt kan inntre**
- Meget lang mor/kort datter ($\lambda_1 \ll \lambda_2$),
 $T_{1/2}(1) \gg T_{1/2}(2)$
 - ▶ **Sekulær likevekt kan inntre**

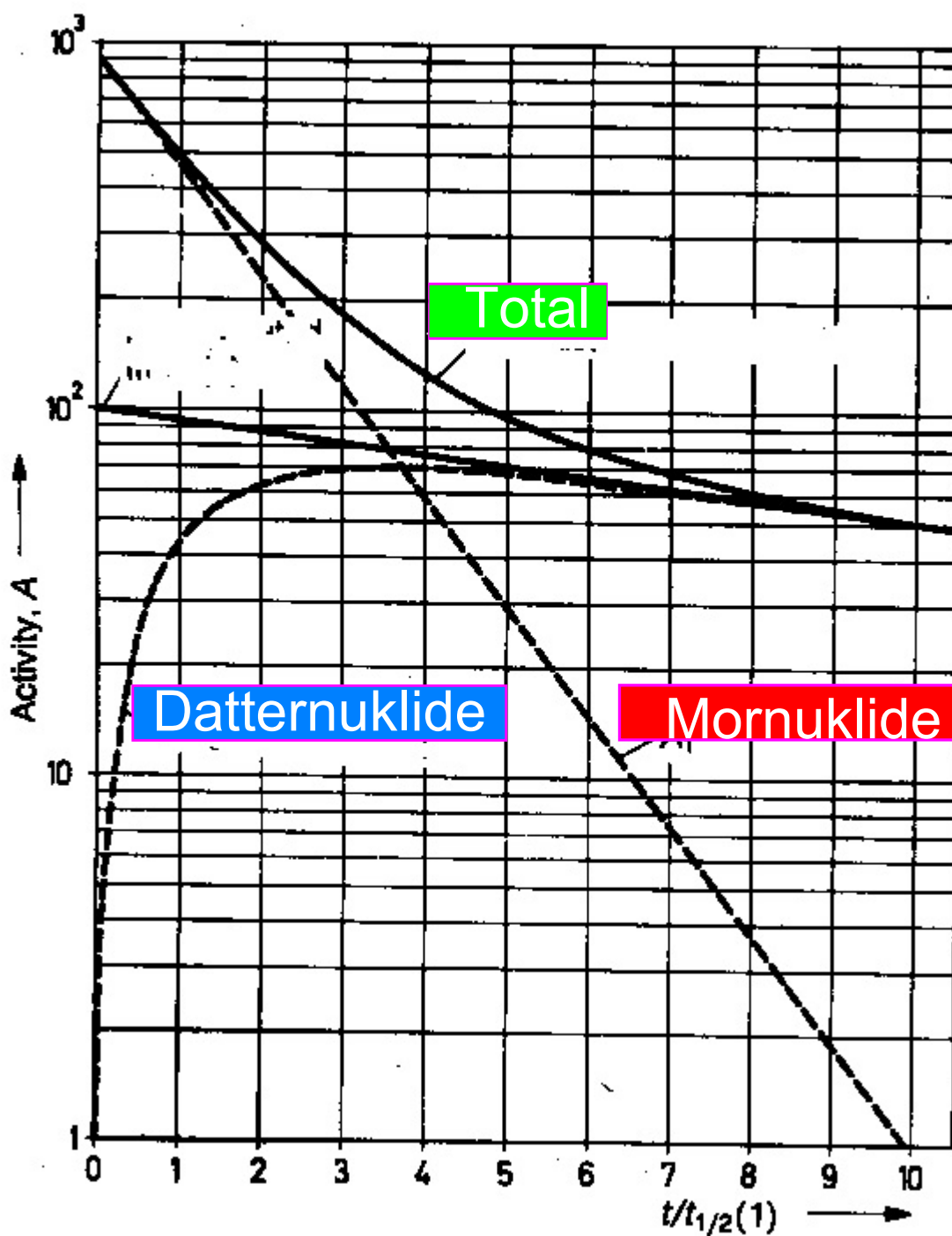


Genetisk uavhengighet

$$T_{1/2}(1) \ll T_{1/2}(2)$$


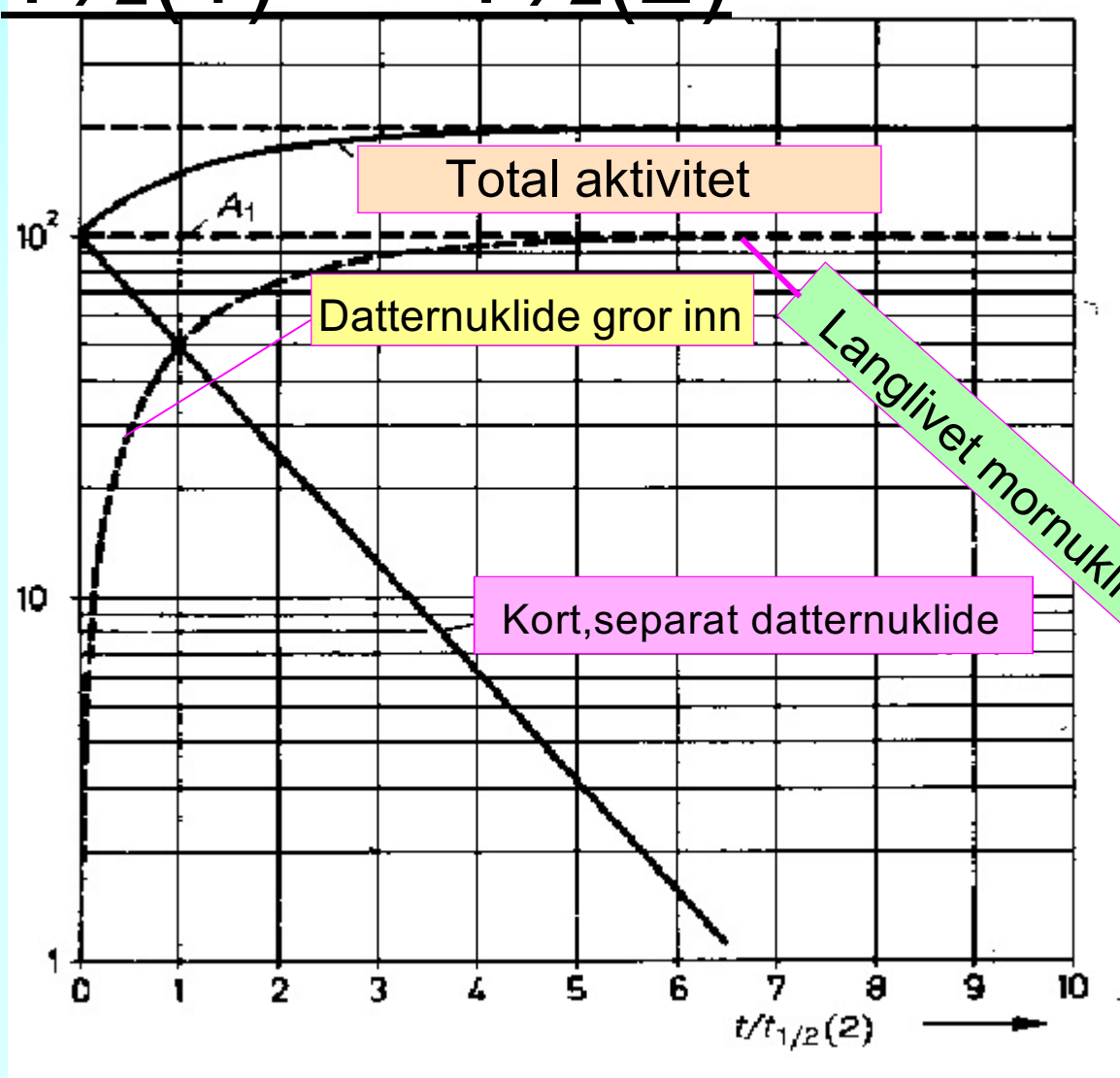


Genetisk avhengige nuklider $T_{1/2}(1) \ll T_{1/2}(2)$





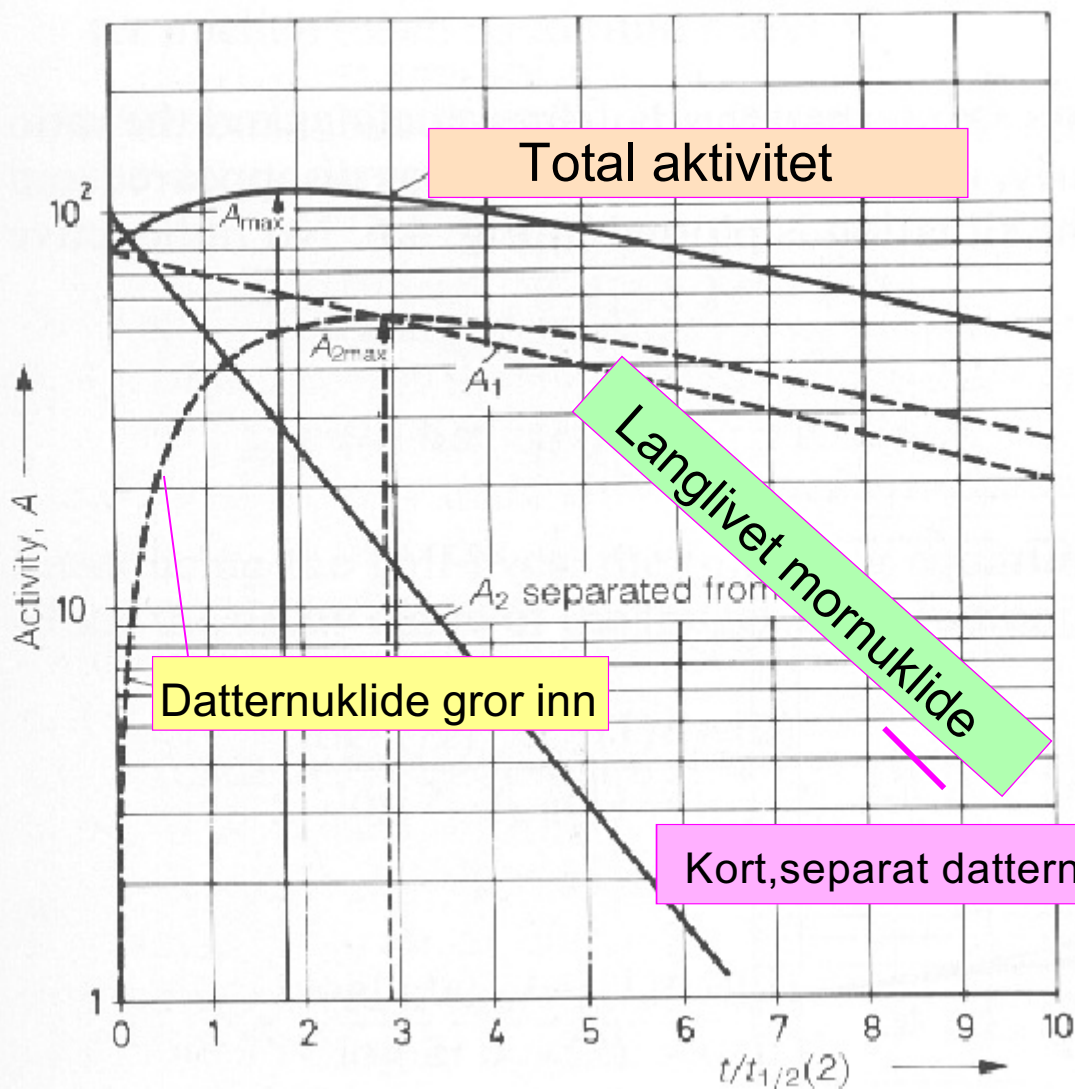
$$T_{1/2}(1) \gg T_{1/2}(2)$$



- Likevekt etter ca. $10 \cdot T_{1/2}$
- Datternukliden kan separeres fra kjemisk, og kommer tilbake.



$T_{1/2}(1) > T_{1/2}(2)$, transient likevekt



Også her kan man bruke et slikt system som en isotopgenerator

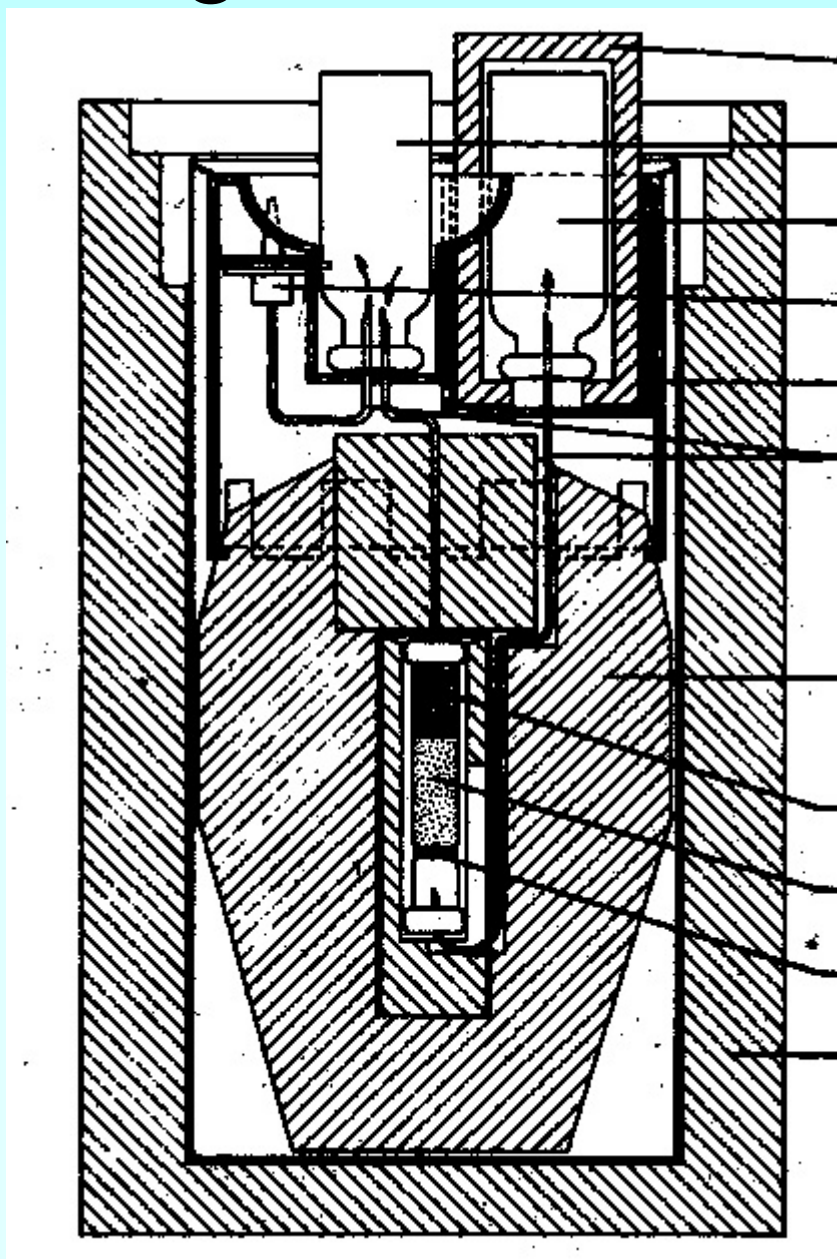


"Isotopgenerator"

- En isotopgenerator er et system der man lar en kortlivet datternuklide (eller en nuklide lenger ned i sekvensen) "gro inn", for deretter å separere den fra mornukliden ved å utnytte forskjellene i kjemiske egenskaper.
- Eksempler på praktisk bruk:
 - ▶ $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$
 - ▶ $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$
 - ▶ $^{228}\text{Th}/\dots/^{212}\text{Pb}$
 - ▶ $^{227}\text{Ac}/^{227}\text{Th}/^{223}\text{Ra}$
 - ▶ $^{238}\text{U}/\dots/^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$
- Sistnevnte naturlige isotopgenerator ble brukt av P&M Curie til å utvinne radium fra uranholdige mineraler.



^{99m}Tc -generator



Generator for eluering av ^{99m}Tc (som vannløselig $^{99m}\text{TcO}_4^-$) fra tungtløselig $^{99}\text{Mo}_2\text{O}_3$ (adsorbent på Al_2O_3)



Radioaktive serier i naturen

- Seriene av radionuklider som følger etter langlivet, naturlig forekommende nuklider:
- Starter med:
 - ▶ ^{232}Th
 - ▶ ^{238}U
 - ▶ ^{235}U
- Ender med
 - ▶ ^{208}Pb
 - ▶ ^{206}Pb
 - ▶ ^{207}Pb



Naturlig forekommende radionuklider

- To ulike typer naturlige radioaktivitet
- Primordiale nuklider (d.v.s. nuklider som er igjen etter elementsyntesen for ca. 5 milliarder år siden
 - ▶ ^{40}K
 - ▶ ^{87}Rb
 - ▶ ^{238}U (med døtre)
 - ▶ ^{235}U (med døtre)
 - ▶ ^{232}Th (med døtre)
 - ▶ OSV.....
- Kosmogene nuklider (d.v.s. nuklider som stadig nydannes ved kosmologiske kjerneprosesser i atmosfæren
 - ▶ ^{14}C
 - ▶ ^3H
 - ▶ ^{36}Cl
 - ▶ ^{39}Ar
 - ▶ OSV.....



Naturlig forekommende radionuklider



Naturlige isotoper			Kunstige isotoper	
Isotop	Aktivitet Bq/l	I % av tot. aktivitet	Isotop	Aktivitet Bq/l
K-40	$1,2 \cdot 10$	96	H-3	$10^{-2} - 2,7$
Rb-87	$1,1 \cdot 10^{-1}$	0,9	C-14	$0 - 1,5 \cdot 10^{-3}$
U-234	$4,7 \cdot 10^{-2}$	0,4	Cs-137	$7 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-1}$
U-238	$4,1 \cdot 10^{-2}$	0,3	Sr-90	$4 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-1}$
Pb-210	$5,0 \cdot 10^{-3}$	0,04	Pu-239	$7 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-4}$
Po-210	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0,03		
Ra-226	$3,6 \cdot 10^{-3}$	0,03		
U-235	$1,9 \cdot 10^{-3}$	0,02		

T.Henriksen, biofysikk, UiO