

Radioaktiva isotoper och joniserande strålning

Niklas Dahrén



Isotoper och radioaktiva isotoper

- ✓ **Isotoper:** Ett grundämnes atomer kan förekomma i lite olika varianter, dessa varianter kallas för isotoper. Alla isotoper av samma grundämne har lika många protoner (samma atomnummer), men olika antal neutroner (olika masstal).
- ✓ **Radioaktiva isotoper:** Radioaktiva isotoper är isotoper med en energirik och instabil atomkärna som med tiden tenderar att sönderfalla till en stabilare atomkärna, samtidigt som olika typer av joniserande strålning sänds ut.
- ✓ **Vilka är radioaktiva?:** Alla isotoper med atomnummer över 82 är radioaktiva. Det finns dock även radioaktiva isotoper med lägre atomnummer.



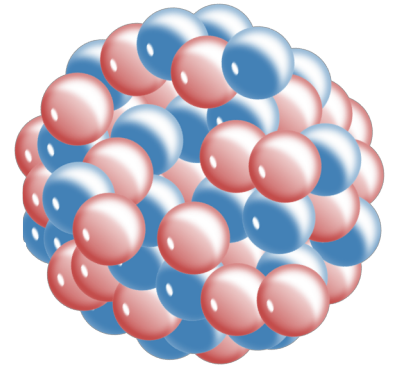
*Tre isotoper av kol varav
kol-14 är radioaktiv*

Joniserande strålning

- ✓ **Joniserande strålning:** Joniserande strålning är strålning som har förmågan att slå ut elektroner ur atomer och molekyler som den kolliderar med, vilket förvandlar dessa till joner (laddade partiklar).
- ✓ **Kan skada organ och orsaka cancer:** Den joniserande strålningen förstör olika molekyler inuti kroppen, inkl. DNA-molekyler, vilket bl.a. kan leda till organskador och cancer.
- ✓ **Tre vanliga typer av joniserad strålning som avges från radioaktiva isotoper:**
 1. **Alfastrålning:** En alfapartikel (heliumkärna; 2 protoner och 2 neutroner) avges.
 2. **Betastrålning:** En betapartikel (elektron) avges.
 3. **Gammastrålning:** Elektromagnetisk strålning (fotoner) med hög frekvens/kort våglängd avges. Gammastrålning är mycket energirikare än vanligt ljus. Det är det som gör att den är joniserande.

Den starka kärnkraften håller ihop atomkärnan

- ✓ **Den starka kärnkraften håller ihop atomkärnan:** Den starka kärnkraften (kallas också för "stark växelverkan") är en kraft som finns inuti atomkärnan. Den verkar mellan neutroner och protoner och fungerar som ett "lim" som håller ihop atomkärnan. Den starka kärnkraften har kort räckvidd, men är mycket stark.
- ✓ **Utan den starka kärnkraften skulle alla atomkärnor vara instabila:** Utan den starka kärnkraften skulle alla atomkärnor vara instabila och sönderfalla eftersom atomkärnorna innehåller positiva protoner som repellerar (stöter bort) varandra.
- ✓ **Den starka kärnkraften förmedlas av gluoner:** Den starka kärnkraften förmedlas av en sorts "limpartiklar" som kallas för gluoner (från det engelska ordet för lim; "glue"). Gluonerna finns inuti nukleonerna (protonerna och neutronerna) och håller där ihop kvarkarna med varandra. Gluonerna verkar även mellan olika nukleoner och "limmar" därmed ihop hela atomkärnan.



Protonerna i atomkärnan repellerar varandra men kärnkraften fungerar som ett lim som övervinner repulsionen.

Varför sönderfaller vissa atomkärnor?

1. Atomkärnan är energirik/instabil eftersom den är för stor och innehåller för många protoner:

- Av de radioaktiva isotoper som förekommer i naturen så har de allra flesta stora och tunga atomkärnor.
- Stora atomkärnor innehåller ofta för många protoner, vilket innebär att det blir svårt för den starka kärnkraften att hålla ihop atomkärnan p.g.a. alla protoner som repellerar varandra. Atomkärnan riskerar därför att sönderfalla genom att delar av atomkärnan lossnar.
- För tyngre atomer är tendensen att de stabilaste atomkärnorna har fler neutroner än protoner. Fler neutroner ger en starkare kärnkraft (fler gluoner), men ingen ökad repulsion. Är det för mycket protoner så kan dock inte neutronerna motverka repulsionen.

2. Atomkärnan är energirik/instabil eftersom förhållandet mellan protoner och neutroner inte är optimalt:

- Det finns även en del radioaktiva isotoper i naturen som har lätta atomkärnor och därmed också få repellerande protoner.
- Anledningen till instabiliteten och sönderfallet är då ofta att förhållandet mellan protoner och neutroner inte är optimalt (t.ex. för många neutroner jämfört med protoner) vilket ger en energirik och instabil atomkärna som tillslut sönderfaller.
- För lättare atomer är tendensen att de stabilaste/energifattigaste atomkärnorna har en jämnare fördelning av neutroner och protoner, jämfört med instabila atomkärnor. Förklaringen är dock väldigt komplex.

Radioaktiva isotoper sönderfaller och bildar stabila isotoper

Radioaktiv isotop:
Instabil/energirik
atomkärna



Stabil isotop:
Stabil/energifattig
atomkärna



Instabila/energirika atomkärnor:

1. Stora atomkärnor med alldeles för många repellerande protoner.
2. Atomkärnor som har en icke optimal fördelning mellan protoner och neutroner.

**Joniserande strålning
(alfa-, beta-, gammastrålning)**

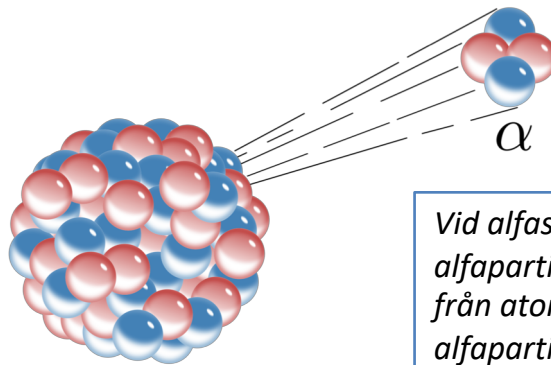
Stabila/energifattiga atomkärnor:

1. Atomkärnor som inte har för många repellerande protoner.
2. Atomkärnor med en optimal fördelning mellan protoner och neutroner.

Alfasönderfall sker om atomkärnan är för stor och innehåller för många protoner

- ✓ **Alfasönderfall:** Alfasönderfall innebär att atomkärnan delas i två bitar och att alfastrålning bestående av en alfapartikel (heliumkärna; 2 protoner + 2 neutroner) avges. Den atomkärna som då blir kvar är stabilare än den ursprungliga (innehåller färre protoner som repellerar varandra). Förutom alfastrålning så sänds som regel även gammastrålning ut (fotoner).

Uran-238 genomgår alfasönderfall:



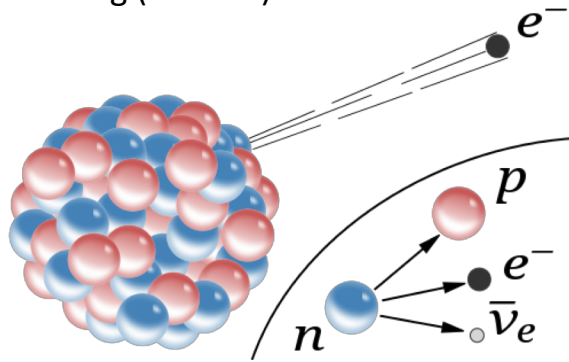
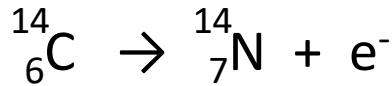
Vid alfasönderfallet sänds en alfapartikel (heliumkärna) ut från atomkärnan. När en alfapartikel sänds ut kallas det för alfastrålning. Resultatet blir en stabilare atomkärna.

- ✓ **Atomnumret och masstalet förändras:** Vid alfasönderfall minskar antalet nukleoner (protoner och neutroner) i atomkärnan, vilket ger både ett lägre atomnummer och ett lägre masstal. Det förändrade atomnumret innebär samtidigt att ett nytt grundämne/atomslag har bildats.

Betasönderfall sker om förhållandet mellan protoner och neutroner inte är optimalt

- ✓ **Betasönderfall:** Den vanligaste formen av betasönderfall innebär att atomkärnans fördelning mellan protoner och neutroner förändras genom att en neutron omvandlas till en proton, en elektron och en antineutrino; $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$. Protonen stannar kvar medan övriga partiklar avges från atomen. Den atomkärna som då bildas är stabilare än den ursprungliga. Elektronen kallas för en betapartikel och när den avges så kallar man det för betastrålning. Förutom betastrålning sänds som regel även gammastrålning (fotoner) ut.

Kol-14 genomgår betasönderfall:



Vid betasönderfallet omvandlas en neutron till en proton, en elektron och en antineutrino. Elektronen kallas för betapartikel och när den avges kallas det för betastrålning. Resultatet blir en stabilare atomkärna.

- ✓ **Atomnumret förändras medan masstalet är oförändrat:** Vid betasönderfall förblir masstalet detsamma eftersom totala antalet nukleoner (protoner och neutroner) inte förändras. Fördelningen mellan protonerna och neutronerna förändras dock, vilket ger ett annat atomnummer. Vid den vanligaste formen av betasönderfall så blir atomnumret högre (+1). Det förändrade atomnumret innebär samtidigt att ett nytt grundämne/atomslag har bildats.

Uppgift 1:

^{230}Th är en isotop av det radioaktiva grundämnet torium. Antag att en atom av denna isotop utstrålar en alfa-partikel. Vilket atomnummer, masstal och kemisk beteckning har atomen som bildas då alfa-partikeln har avgivits?

Lösning:

Atomnummer: Först måste vi ta reda på atomnumret för torium. I det periodiska systemet ser vi att det är 90. En alfa-partikel består av 2 protoner och 2 neutroner. Om 2 protoner försvinner så blir det nya atomnumret 88 ($90 - 2 = 88$).

Masstal: Om totalt 4 kärnpartiklar/nukleoner försvinner så blir det nya masstalet 226 ($230 - 4 = 226$).

Kemisk beteckning: För att lista ut detta måste vi leta upp atomen som har atomnummer 88 i det periodiska systemet. Vi ser att det är radium, med beteckningen "Ra".

Svar: $^{226}_{88}\text{Ra}$

Atomnummer: 88

Masstal: 226

Kemisk beteckning: Ra (radium)

Uppgift 2:

En atom av isotopen ^{90}Sr genomgår ett betasönderfall. Vilket atomnummer, masstal och kemiskt tecken har atomen som bildas när beta-partikeln avges?

Lösning:

Atomnummer: Först måste vi ta reda på atomnumret för Sr (strontium). I det periodiska systemet ser vi att det är 38. En beta-partikel bildas när en neutron omvandlas till bl.a. en proton och en elektron. Om en proton tillkommer så blir det nya atomnumret 39 ($38+1=39$).

Masstal: En neutron försvinner, samtidigt som en proton bildas, vilket innebär att det totala antalet kärnpartiklar är oförändrat. Masstalet är därför fortfarande 90 ($90+0=90$).

Kemisk beteckning: För att lista ut detta måste vi leta upp atomen som har atomnummer 39 i det periodiska systemet. Vi ser att det är yttrium, med beteckningen "Y".

Svar: $^{90}_{39}\text{Y}$

Atomnummer: 39

Masstal: 90

Kemisk beteckning: Y (yttrium)

Hur stoppas strålningen?

1. α -strålning/alfastrålning (heliumkärnor; 2 protoner och 2 neutroner):

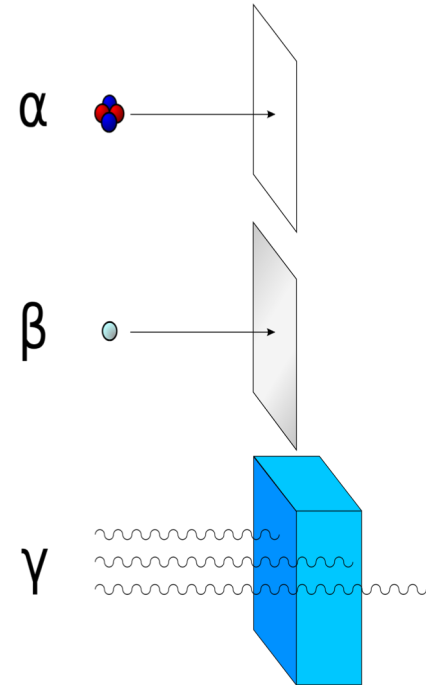
Alfastrålning stoppas mycket lätt av material i dess väg. Dess räckvidd är cirka 10 cm i luft, och den stoppas av ett papper. Den kan inte heller tränga igenom människors hud. Det är dock mycket farligt om du äter eller andas in något som skickar ut alfastrålning. Inuti kroppen finns det ingen skyddande hud, utan strålningen når direkt fram till cellerna inuti kroppen.

2. β -strålning/betastrålning (elektroner):

Betastrålningen har en räckvidd på ungefär en centimeter i vävnad och 10 meter i luft. Betastrålning kan enkelt stoppas med t.ex. en plåt, glasrutor eller en aluminiumplatta. Om vi utsätts för direkt bestrålning så absorberas elektronerna av huden och kan där orsaka brännskador och cancer. Betastrålningen är dock farligast om vi andas in eller äter något som sänder ut betastrålning.

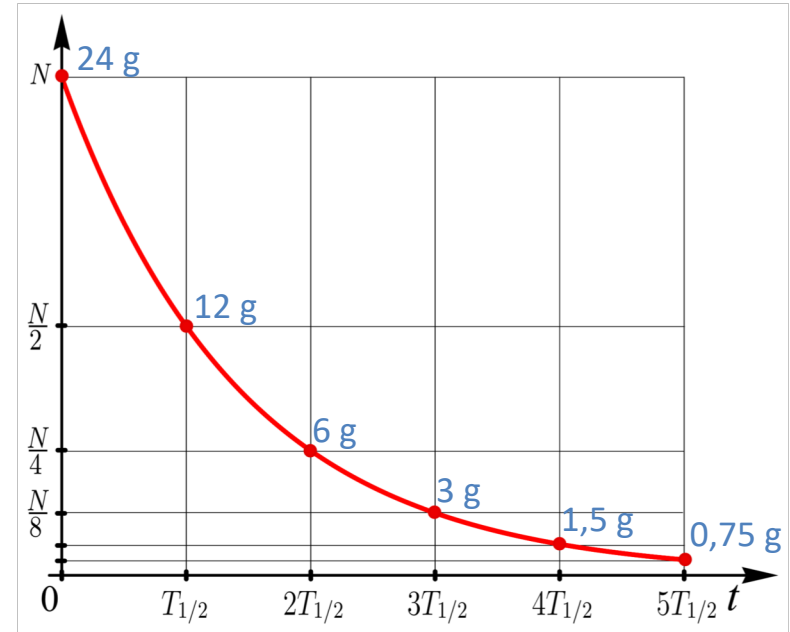
3. γ -strålning/gammastrålning (fotoner):

Gammastrålarna tränger obehindrat in i kroppen men gör faktiskt mindre skada inne i kroppen än de andra strålningstyperna. För att bromsa gammastrålningen krävs ett flera centimeter tjockt blylager.



Halveringstid

- ✓ **Halveringstid:** Halveringstid är den tid det tar tills enbart halva mängden (50 %) av den radioaktiva isotopen finns kvar. Resten har då sönderfallit till stabilare isotoper. Begreppet halveringstid används ofta för att kunna ange hur snabbt olika isotoper sönderfaller.
- ✓ **Exempel:** Som ett exempel återstår hälften av en given mängd av den radioaktiva isotopen kol-14 efter ungefär 5 730 år (halveringstiden) oavsett hur stor mängden var från början. Resten har då omvandlats till isotopen kväve-14.
- ✓ **Halveringstiden för en enda atom av en isotop:** Om vi har ett prov med enbart en enda atom av en isotop så är sannolikheten 50 % att atomen har sönderfallit efter att halveringstiden har passerat och 50 % att den fortfarande finns kvar i ursprunglig form.



Mängden av ämnet halveras för varje gång en halveringstid har passerat

Halveringstider för olika radioaktiva isotoper

Ämne:	Halveringstid:
Uran-238	4,5 miljarder år
Uran-235	703,8 miljoner år
Plutonium-239	24000 år
Kol-14	5730 år
Cesium-137	30 år
Jod-131	8,1 dygn
Radon-222	3,8 dygn
Polonium-214	0,00015 sekunder

Uppgift 3:

Du placerar 100 g cesium-137 i en burk och stänger locket. Hur många g cesium-137 finns kvar i burken efter 90 år? Halveringstiden för cesium-137 är 30 år.

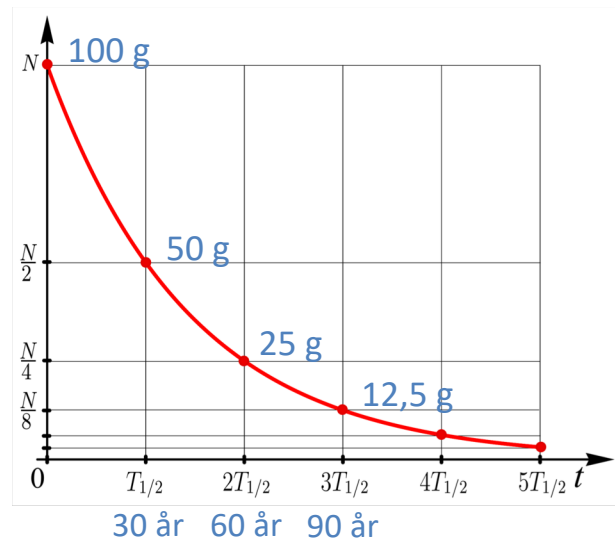
Lösning:

Mängden av ämnet halveras för varje gång en halveringstid har passerat. Efter en halveringstid (30 år) är det kvar 50 g ($100/2=50$). Efter ytterligare en halveringstid (30 år) är det kvar 25 g ($50/2=25$). Efter ytterligare en halveringstid (30 år) är det kvar 12,5 g ($25/2=12,5$). Se diagrammet.

Vi kan även räkna ut det på följande sätt: $100 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 12,5$ gram.

Svar:

12,5 gram cesium-137 finns kvar efter 90 år (tre halveringstider).



Tre olika kolisotoper

- ✓ **Det finns tre olika isotoper av kol:** Det finns tre naturligt förekommande isotoper av kol, varav kol-12 och kol-13 (^{12}C och ^{13}C) är stabila. Den tredje, kol-14 (^{14}C), är radioaktiv med en halveringstid på 5730 år.

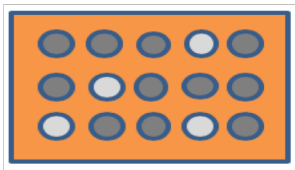
	Kol-12:	Kol-13:	Kol-14:
Beteckning:	^{12}C	^{13}C	^{14}C
Atomnummer och masstal:	Atomnummer: 6 Masstal: 12	Atomnummer: 6 Masstal: 13	Atomnummer: 6 Masstal: 14
Förekomst:	98,9 %	1,1 %	Mycket små mängder (spårmängder).
Mer info:	Stabil isotop. Den klart vanligaste isotopen av kol. En viktig beståndsdel i allt levande.	Stabil isotop.	Radioaktiv isotop. Halveringstid på 5730 år. Bildas naturligt i atmosfären genom neutronstrålning av kväveatomer; $^{14}\text{N} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{14}\text{C} + ^1_1\text{H}$ (neutronstrålningen kommer från solen).

Kol-14-metoden

- ✓ **Alla organismer får i sig kol-14:** Kol-14 finns i mycket små mängder i allt som lever. Kol-14 bildas i atmosfären (neutronstrålning + kväve) och reagerar med syre och bildar koldioxid. Växterna får i sig lite av denna koldioxid genom fotosyntesen och alla djur får i sig koldioxid med kol-14 när de äter dessa växter.
- ✓ **Mängden kol-14 minskar när organismen dör:** När t.ex. ett djur eller en växt dör så slutar det att få i sig nytt kol-14, men eftersom kol-14-atomerna är radioaktiva och sönderfaller, så kommer mängden och andelen kol-14 minska med tiden. Desto längre tid organismen har varit död, desto mindre kol-14 finns det kvar.
- ✓ **Åldersbestämning med kol-14:** Om vi mäter mängden kol-14, och jämför med mängden kol-12, i organiskt material från t.ex. ett dött djur (som har blivit bevarad på något sätt) och tar hjälp av halveringstiden för kol-14 (5730 år) så kan vi räkna ut hur lång tid som har gått sedan djuret dog. Vi måste dock även veta hur mycket kol-14 som fanns i djuret när den levde så att vi har något att jämföra med.

Kol-14-metoden

Ett djur som fortfarande lever

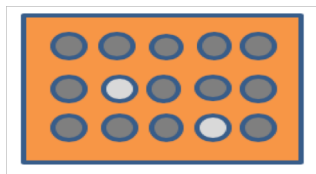


● = Kol-12

○ = Kol-14

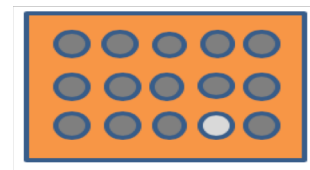
Mängden kol-14 och förhållanden mellan kol-14 och kol-12 är konstant under hela djurets liv.
Obs. Andelen kol-14 är lägre i verkligheten än på bilden!

Ett djur som dog för 5730 år sedan



Halveringstiden för kol-14 är 5730 år, vilket innebär att mängden kol-14 är halverad när djuret har varit död så länge.

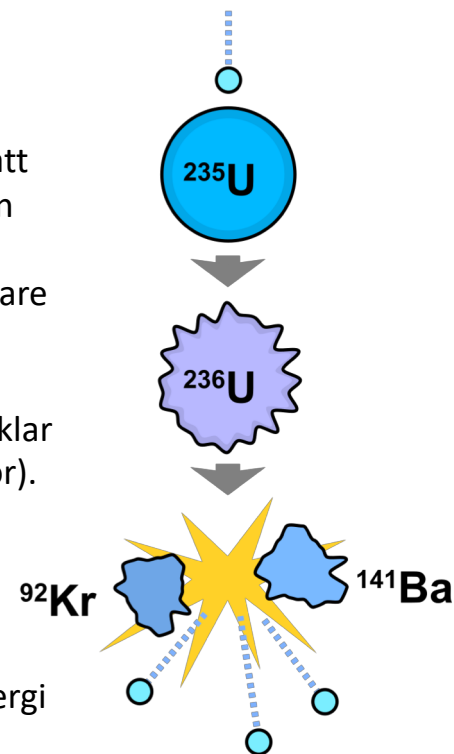
Ett djur som dog för 11460 år sedan (5730 + 5730)



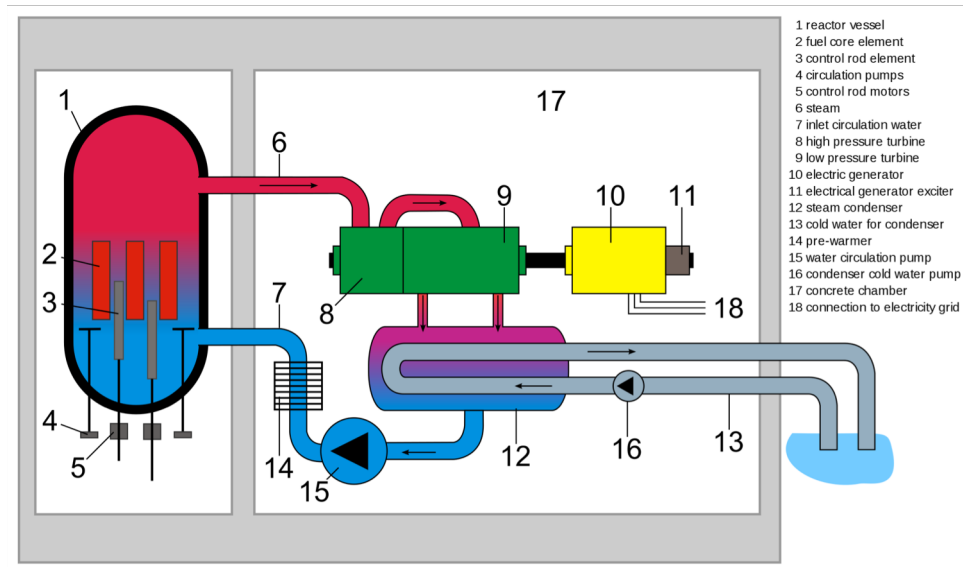
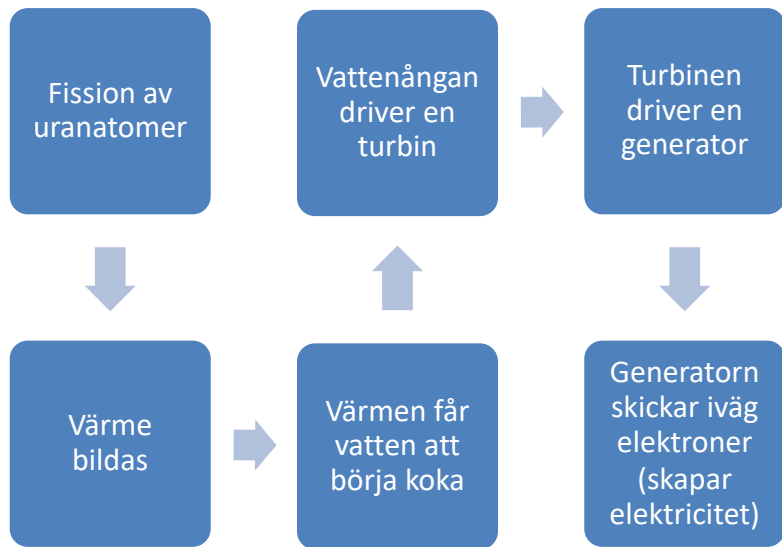
Efter ytterligare en halveringstid (5730 år) har mängden kol-14 halverats en gång till.

Fission

- ✓ **Fission:** Fission är ett annat ord för "kärnklyvning", och är en process där en tung atomkärna delas i två eller flera mindre atomkärnor. Kärnklyvningen kan ske genom att den tunga atomkärnan beskjuts med en neutron. När en tung atomkärna träffas av en neutron börjar den först vibrera och strax därefter sönderfaller den till lättare atomkärnor. Ofta är dessa bildade atomkärnor instabila och sönderfaller till ännu lättare atomkärnor.
- ✓ **Fissionen frisätter partiklar:** I de allra flesta fall ger fissionen uppkomst till olika partiklar som t.ex. fria neutroner, betapartiklar (fria elektroner) och alfapartiklar (heliumkärnor).
- ✓ **En kedjereaktion startar:** De frigjorda neutronerna kan tränga in i andra tunga atomkärnor och sätta igång nya fissionsreaktioner – en kedjereaktion har då startat.
- ✓ **Fission frisätter energi:** Fissionen är en s.k. exotermisk reaktion vilket betyder att energi avges. I en fissionsreaktion avges denna energi både som gammastrålning och som värme.
- ✓ **Används i kärnkraftverk och i kärnvapen:** Fission används för att producera energi i kärnkraftverk och för att driva explosionen i kärnvapen.



Hur fungerar ett kärnkraftverk?



Se gärna fler filmer av Niklas Dahrén:

<http://www.youtube.com/Kemilektioner>

<http://www.youtube.com/Medicinlektioner>

