

Innhold

1	LEKSJON 12 - KJERNEENERGI PÅ JORDA, I SOLA OG I STJERNENE	1
1.1	KJERNEENERGI PÅ JORDA.....	2
1.2	SOLENS UTVIKLING DE NESTE 8 MILLIARDER ÅR	4
1.3	ENERGIPRODUKSJONEN I GAMLE SUPERKJEMPER	6
1.4	OPPGAVER.....	7

1 Leksjon 12 - Kjerneenergi på Jorda, i Sola og i stjernene



Figure 1-6
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

En hydrogenbombe baserer seg på de samme fysiske lover som “styrer” de termonukleære reaksjonene i sentrum av Sola: Masse omdannes til energi når hydrogen fusjonerer til helium (7g/kg: når ett kilogram hydrogen fusjonerer vil 7 gram gå over til energi). Denne termonukleære detonasjonen på bildet skjedde 31. oktober 1952, energien som ble frigjort tilsvarte 10.4 millioner tonn TNT. Dette er kun en milliard del av den energien som frigis fra Solen i løpet av ett sekund. (Defense Nuclear Agency)

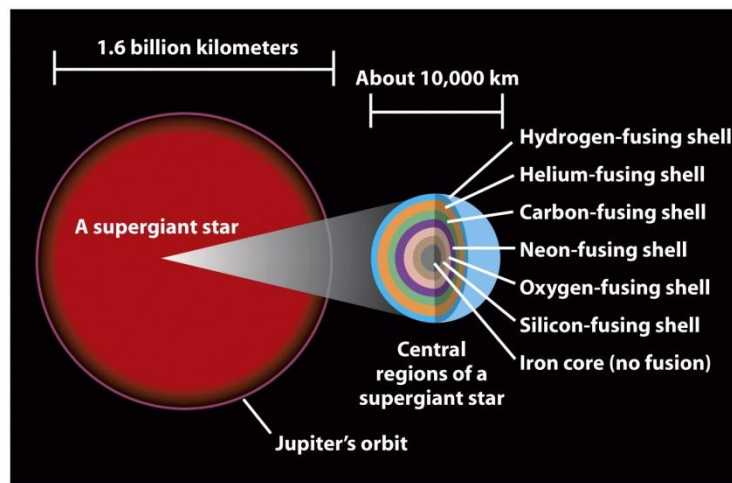


Figure 20-13
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

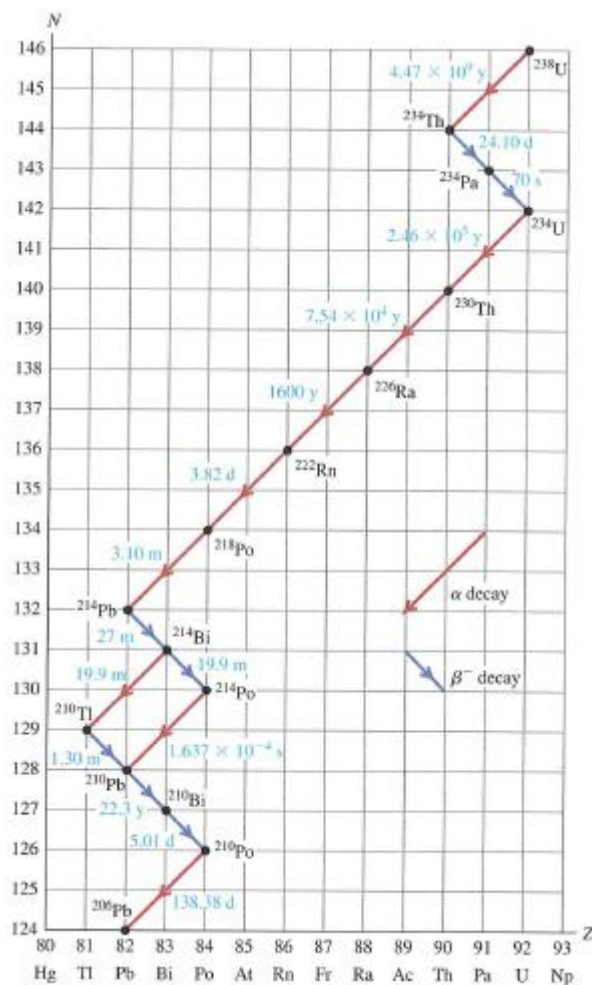
Bildet viser en gammel superkjempe i sine «siste» leveår, den har en masse som er over åtte solmasser ($8 M_{\odot}$) og har en diameter som er like stor som storaksen i Jupiters ellipsebane. Stjernens energi kommer fra en kjerne som består av fusjonerende skall, denne kjernen er av samme størrelsesorden som Jorden (eller 3 ganger Månens diameter, ca. 10 000 km). Termonekleære reaksjoner vil ikke kunne forekomme i jernkjernen fordi jern $^{56}\text{Fe}_{26}$ (91,8 %) har minst masse pr kjernepartikkel (m/A). I naturen finnes det 4 stabile jernisotoper. Grunnstoffer i naturen som har et atomnummer større enn jern og nikkel er produsert i supernovaeksplosjoner.

Neste grunnstoff i det periodiske systemet er nikkel (Ni_{28}), m/A forholdet er litt større for nikkel.

1.1 Kjerneenergi på Jorda

Kjerneenergi i Jordens kjerne?

Uranisotopen 238 er radioaktiv med lang halveringstid (4,47 milliarder år). Den radioaktive strålingen fra denne uranisotopen er alfa-stråling (heliumkjerne med stor energi). Alle isotopene i U-238 serien er radioaktive, disse bidrar til å opprettholde konveksjonene i Jordens kjerne, disse strømmingene er årsaken til jordskjelvene vi opplever her på Jorden.



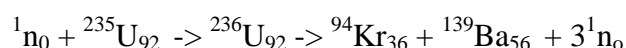
Den naturlige U-238 serien (University Physics, Pearson)

Legg merke til at den siste isotopen i kjeden er et stabilt bly isotop (Pb-206). U-238 har den lengste halveringstiden i kjeden. Isotopene U-238 og Pb-206 kan brukes til datering av Jorden og solsystemet vårt.

Atomkraftverkene bruker uranisotopen 235 som brensel

Uran har ingen stabile isotoper, noe som betyr at alle isotopene er radioaktive. De 3 isotopene vi finner i naturen er: ^{234}U (0,0055 %) med halveringstid $2,4566 \times 10^5$ år, ^{235}U (0,72 %) med halveringstid $7,04 \times 10^8$ år, og ^{238}U (99,2745 %) med halveringstid $4,471 \times 10^9$ år

I 1938 oppdaget to tyske forskere U-235 frigir energi når termiske nøytroner treffer urankjernen. I denne fisjonsprosessen dannes to nye radioaktive kjerner og tre raske nøytroner. Det er disse nye kjernene som er det radioaktive avfallet, disse atomkjernene blir liggende inne i brenselstavene. (Oppgave 1). Det er tilfeldig hvilke radioaktive kjerner som dannes i fisjons prosesser. I 1938 fant Hahn og Strassmann isotopene Kr-94 og Ba-139, i andre tilfeller kan Rb-96 og Cs-137 dannes. Det var Cs-137 som drysset ned over Norge etter ulykken i Tsjernobyl.



Energi frigis fordi massen av de to radioaktive isotopene (fisjonsproduktene) og de tre nøytronene er til sammen mindre enn massen av det ene nøytronet og uranisotopen (massedefekten eller massesvinnet er $m = 0.21u$). u er den atomære masseenheden lik en tolvtedel av Karbon - 12. I atomanlegg som produserer elektrisk strøm må der være et system som moderer hastigheten på de hurtige nøytronene som dannes i fisjonsprosessen. I Halden reaktoren benyttes tungtvann, de raske nøytronene støter ca 13 ganger med vannmolekylene. I disse støtprosessene overføres energi til vannet, vannet blir varmt og nøytronene blir "kalde". Vi kaller de "kalde" nøytronene for termiske nøytroner, fordi hastigheten er av størrelsesorden noen km/s. Nøytronene må være termiske skal de spalte nye U-235 isotoper. Kontrollstavene i reaktoren fanger opp nøytronene og disse regulerer derfor reaktorens ytelse (effekt). Halden reaktoren (1960) har en maksimalytelse på 20MW, en liten reaktor som kun produserer damp. Norge har den politikken at elektrisk kraft skal ikke produseres med uran som brensel.

28 januar 1993 var det elektriske energiforbruket i Norge 18900 MW, tilsvarer et uranforbruk på 0,26 gram pr sekund. (Oppgave 2 og 3). Nomeland kraftstasjon i Otra vassdraget produserer årlig ved normal produksjon 144GWh, denne energimengden svarer til et forbruk av 8kg U-235.

Den elektriske energiproduksjonen i Norden: 1998

Vannkraft 55 %

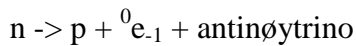
Kjernekraft 24 %

Varmekraft 20 %

Nye fornybare kilder 1 %

Legg merke til at uten kjernekraften hadde Norge vært i en vanskelig situasjon. I perioder velger Norge å importere kjernekraft fra Sverige. (NSM, L-97)

Halden reaktoren er en langsom reaktor fordi langsomme nøytroner spalter U-235 isotopen. En hurtig reaktor benytter de raske nøytronene, disse treffer U-238 isotopene og det dannes plutonium isotopen 239 (Pu-239). Plutonium har en halveringstid på 24000 år og kan benyttes i kjernekraftverkene. Pu-239 spaltes av langsomme nøytroner.



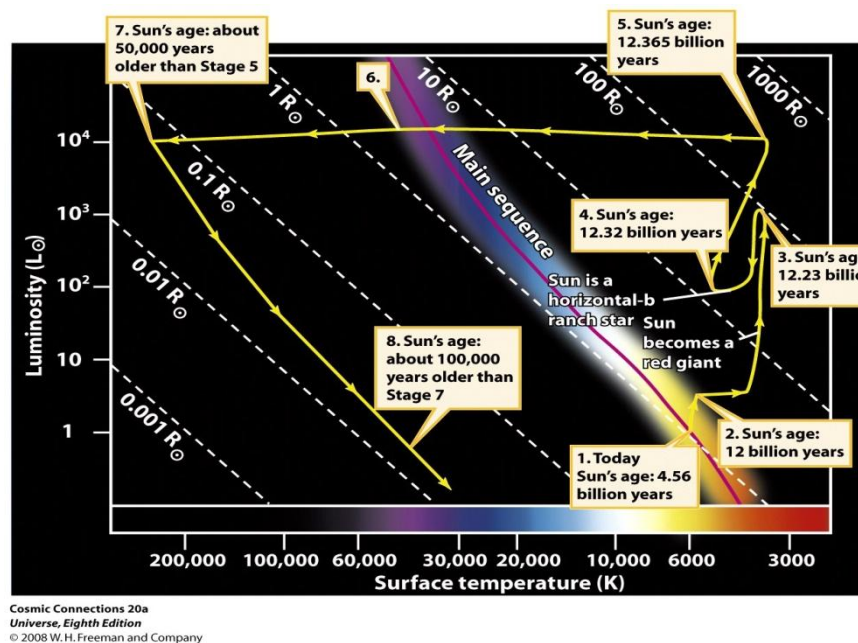
Enheten elektronvolt

Ionisasjonsenergien for H-atomet har som regel enheten elektronvolt. Energien som frigis når ett U-235 atom spaltes er 200MeV. PP-1 prosessen i Sola gir 25MeV. Den radioaktive strålingen har energien ca 1 til 2 MeV.

Definisjonen på en elektronvolt (forkortes: eV): Energimengden som et elektron (ladning: q) mottar når det passerer gjennom en elektrisk potensialdifferanse på en volt (ΔV)

$$E = q \cdot \Delta V = 1.610^{-19} \cdot C \cdot 1 \cdot V = 1.610^{-19} \cdot J = eV$$

1.2 Solens utvikling de neste 8 milliarder år (se leksjon 10)



Bildet viser Solens utvikling i HR-diagrammet

1. Hovedseriestjerne
I dag befinner Solen seg på hovedserien og er 4,56 milliarder år gammel. I kjernen går hydrogen over til Helium (PP-1: 85% og PP2: 15%)
2. Rød kjempe for første gang
Om 7,44 milliarder år vil Solen forlate hovedserien, fusjonen i kjernen stopper opp (alt hydrogenet i kjernen er brukt opp). I denne fasen starter fusjon av hydrogen til helium i skallet utenfor kjernen. Heliumkjernene faller sammen og energiproduksjonen i skallet øker. Luminositeten øker fordi overflaten øker og temperaturen avtar først og deretter stabiliserer den seg. Solen er nå blitt en rød kjempe og etter 12,23 milliarder år er radien økt med en faktor 100.
3. Heliumglimt
Heliumkjernen er på grunn av sammentrekningen blitt så varm at heliumkjernene begynner å fusjonere til karbon og oksygen. Hydrogen fortsetter å fusjonere til helium i skallet utenfor kjernen. Det ytre skallet trekker seg sammen, luminositeten (lysstyrken) avtar fordi det tar lang tid før energiproduksjonen i kjernen kommer fram til overflaten.
4. Rød kjempe for andre gang etter 12,32 milliarder år
Heliumet i kjernen er brukt opp og erstattet med karbon og oksygen. Heliumet i skallet utenfor kjernen fusjonerer. Det samme gjør hydrogenet utenfor heliumskallet. Kjernen vil for andre gang trekke seg sammen fordi ingen energiproduksjon opprettholder trykket i kjernen. Temperaturen i det ytterste avtar på grunn av radien øker. På grunn av den enorme økningen av Solen overflaten avtar luminositeten.
5. Solen når sin maksimale størrelse etter 12,365 milliarder år
Solen har oppnådd en radius som er over 100 ganger større enn radien Solen hadde på hovedserien. Deler av de ytre lag vil bevege seg ut i rommet. Kjernen vil trekke seg sammen, temperaturen blir ikke høy nok til at Karbon fusjonerer.
6. Solen blir en planetarisk tåke. Stjernen ytre lag kastes vekk og kjernen kommer til syne, av den grunn stiger overflatetemperaturen dramatisk.
7. Fusjonsprosessene avsluttes og er blitt 50 000 år eldre enn utviklingssteget 5.
Solen har mistet en stor del av den massen som holdt den varm, av den grunn opphører fusjonsprosessene. På 50 000 år har overflatetemperaturen endret seg fra ca 3500K til over 200 000K, luminositeten har i denne perioden vært konstant radien har endret seg fra over 100 R_{sol} til under 0,1 R_{sol} . Solen vil avkjøles, energien forsvinner ut i rommet som elektromagnetisk stråling. Radien avtar og temperaturen avtar.
8. Solen ender til slutt som en hvit dverg 100 000 år etter energiproduksjonen opphørte (steg 7)
Karbonet og oksygenet vil ikke klare å trekke seg sammen, de er i en degenert tilstand. Lyset er intenst på grunn av den høye temperaturen. (Øystein Elarøy «Astronomi – en kosmisk reise» avsnitt 13.7)

1.3 Energiproduksjonen i gamle superkjemper

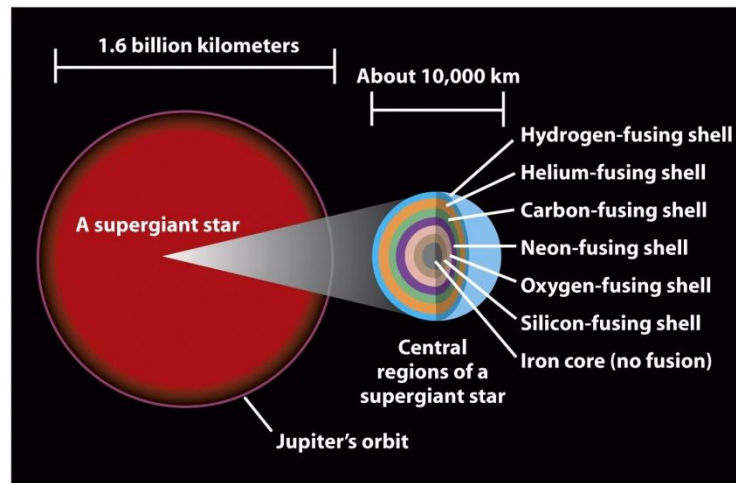


Figure 20-13
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Figuren over viser en gammel superkjempe, stjerne med masse over 8 solmasser. Denne stjernen inneholder 6 lag som brenner. Når silisium brenner dannes jern, denne fusjonsprosessen starter når temperaturen er 2,7 milliarder kelvin. Jern kan ikke fusjonere til tyngre kjerner fordi massen av partiklene i jernkjernen er mindre enn masse pr kjernepartikkel for tyngre atomkjerner.

Table 20-1 Evolutionary Stages of a 25- M_{\odot} Star

Stage	Core temperature (K)	Core density (kg/m ³)	Duration of stage
Hydrogen fusion	4×10^7	5×10^3	7×10^6 years
Helium fusion	2×10^8	7×10^5	7×10^5 years
Carbon fusion	6×10^8	2×10^8	600 years
Neon fusion	1.2×10^9	4×10^9	1 year
Oxygen fusion	1.5×10^9	10^{10}	6 months
Silicon fusion	2.7×10^9	3×10^{10}	1 day
Core collapse	5.4×10^9	3×10^{12}	$\frac{1}{4}$ second
Core bounce	2.3×10^{10}	4×10^{15}	milliseconds
Explosive (supernova)	about 10^9	varies	10 seconds

Based on calculations by Stanford Woosley (University of California, Santa Cruz) and Thomas Weaver (Lawrence Livermore National Laboratory).

Table 20-1
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Tabellen viser at hydrogen fusjonerer til helium når temperaturen i kjernen er 40 millioner kelvin.. Denne fusjonsprosessen skjer i stjerner som har en masse fra 0,4 til 4 solmasser. Helium vil fusjonere i sentrum av de røde kjempene (200 millioner kelvin), de tyngste kjernene som dannes i denne fusjonen er karbon og oksygen.

Karbonet fusjonerer ved 600 millioner grader. I denne fusjonsprosessen dannes oksygen, neon, natrium og magnesium. Stjerner med masse fra 4 til 8 solmasser vil kunne oppnå 600 millioner grader i løpet av "livet" sitt.

Neon vil fusjonere (1,2 milliarder kelvin) i stjerner med masse større enn 8 solmasser. Når neonekjernene er brukt opp, vil kjernen trekke seg sammen, temperaturen øke (1,5 milliarder K) og oksygenet vil fusjonere. I denne fusjonen dannes: Si, Mg, P, S.

Det siste grunnstoffet som fusjonerer er silisium (Si), det skjer ved en temperatur på 2,7 milliarder K. I denne prosessen dannes: S, Fe og Ni. De gamle superkjempene vil inneholde jern og nikkel i kjernen.

1.4 Oppgaver

Oppgave 1

Når et nøytron treffer U-235 kjernen dannes det 5 nye partikler, tre av disse er raske nøytroner, de to andre kan være Kr-96 og Ba-139. Finn hvor mye energi blir frigitt i denne fisjonsprosessen når massetapet er $0,21u$ ($3,2 \exp(-11)J$ eller $200MeV$)

Oppgave 2

Ett kg U-235 inneholder ca 3^{51} kjerner. Benytt svaret i oppgave 1 og bestem energien som produseres når ett kg uran spaltes ($6,9 \exp(13)J = 19GWh$).

Oppgave 3

Ta utgangspunkt i svaret (Oppgave 2) og finn hvor mange gram U-235 en husholdning i Norge vil forbruke i året. Sett årsforbruket til $20\ 000kWh$ (1g)

Oppgave 4

Sima kraftverk er et av de største vannkraftverkene i Norge, det yter totalt ca. $1000MW$. Tsjernobylnreaktoren, den som gikk i stykker, hadde også en ytelse på $1000MW$. Ta utgangspunkt i oppgave 2 og beregn hvor mange gram uran reaktoren i Tsjernobyln brukte pr sekund. ($14,6mg/s$)