

# Aurinko

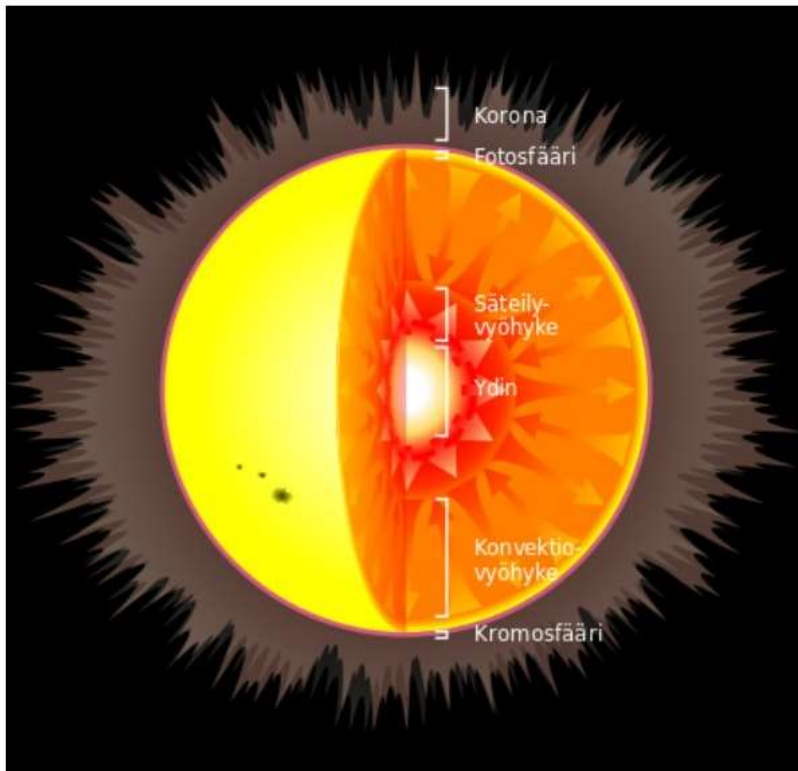
Aurinko on TÄHTI eli se

- on hyvin suuri massakeskittymä  
( $m = 1,989 \cdot 10^{30}$  kg)
  - pysyy koossa gravitaation vaikutuksesta
  - tuottaa energiaa lähinnä vedyn fuusio-reaktiolla
  - on niin kuuma, että se valaisee ja säteilee energiaa ympäröivään avaruuteen
- 
- pitää kiertolaisinaan PLANEETTOJA eli merkittävästi pienempiä massakeskittymiä, jotka pysyvät gravitaatiovoiman vuoksi kiertoliikkeessä

Mikään tähti ei voi olla valtavan paljon meidän aurinkoamme pienempi eikä suurempi. Liian pieni tähti ei "syty", koska gravitaatio ei pysty tiivistämään ainetta kyllin tiheäksi ja liian suuri tähti hajoaa liian voimakkaan energiantuotannon vuoksi jo vedyn fuusion aikana.

# Auringon rakenne

Lähde: Wikipedia



- AURINGON YTIMESSÄ vety fuusioituu heliumiksi, jolloin vapautuu hyvin runsaasti energiaa
- energia siirtyy SÄTEILYVYÖHYKKEEN yli lähinnä röntgensäteilynä
- KONVEKTIOVYÖHYKKEELLÄ energia siirtyy erittäin kuumien plasmavirtausten mukana (konvektio tarkoittaa sitä, että väliainelähtee liikkeelle)

- FOTOSFÄÄRI on auringon valaiseva osa
- auringon kaasukehä voidaan jakaa kahteen osaan: KROMOSFÄÄRI antaa auringon valolle sen punakeltaisen sävyn, KORONA on kaasukehän harva ja hyvin kuuma uloin osa

## Auringon koostumus

Tyypillisten tähtien tapaan aurinko sisältää lähinnä vetyä ja heliumia, muita alkuaineita on erittäin vähän:

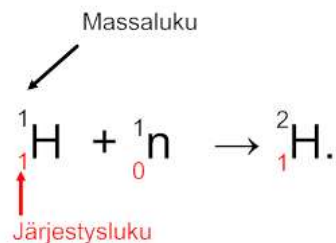
Lähde: Wikipedia

Vety	73,46 %
Helium	24,85 %
Happi	0,77 %
Hiili	0,29 %
Rauta	0,16 %
Neon	0,12 %
Typpi	0,09 %
Pii	0,07 %
<u>Magnesium</u>	0,05 %
Rikki	0,04 %

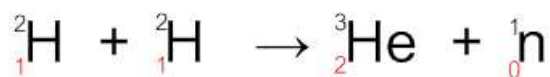
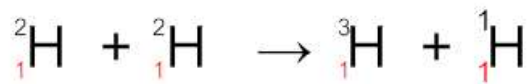
# Auringon fuusioreaktiot

Fuusioreaktioissa vety ja sen raskaampi versio eli deuterium muuttuvat vähitellen heliumiksi.

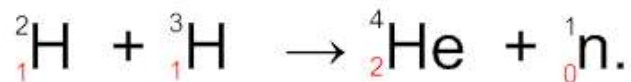
Fuusion ehtona on se, että vety-ydin eli protoni sieppaa yhden neutronin, jolloin syntyy raskasta vetyä eli deuteriumia:



Seuraavaksi deuteriumytimet reagoivat keskenään, jolloin voi syntyä joko tritiumia ( ${}^3_1\text{H}$ ) tai helium - 3-ytimiä ( ${}^3_2\text{He}$ ):



Hyvin haluttu fuusioreaktio, jossa vapautuu suhteellisesti ottaen hyvin paljon energiaa, on deuteriumin ja tritiumin reaktio, jossa syntyy heliumia ja neutroneja:



Kun valtaosa tähden massasta on muuttunut heliumiksi, fuusioreaktiot jatkuvat, jolloin muodostuu raskaampia alkuaineita. Reaktiot päättyvät rautaan ja nikkeliin (massaluku  $A \approx 60$ ).

## Auringon myöhemmät vaiheet

- kun vety alkaa loppua auringosta, sen sisäosat tiivistyvät ja ulko-osa laajenee
- lopulta aurinko muuttuu sisäosiltaan **VALKEAKSI KÄÄPIÖKSI**
- auringon läpimitta kasvaa jopa sata-kertaiseksi ja nielaisee lähimmät sisäplaneetat, mm. Merkuriuksen ja Venuksen (Auringosta tulee Punainen Jättiläinen)

- samalla sen reunaosat hajoavat planetaarisena sumuna avaruuteen
- aurinkoamme merkittävästi raskaammat tähdet voivat räjähtää SUPERNOVANA ja kutistua NEUTRONITÄHDIKSI tai MUSTIKSI AUKOIKSI
- mustan aukon syntymisen edellytyksiä tarkastellaan myöhemmin

## **Miten tähti tai planeetta jäähtyy?**

Maapallon pitkää kehityshistoriaa on perusteltu mm. sillä, että jo pelkästään hehkuvan planeetan jäähtyminen kestää hyvin kauan.

Mutta kuinka nopeasti maapallo voi jäähtyä?

Oleellista:

- maapallo jäähtyy SÄTEILEMÄLLÄ ja vain PINNASTA
- säteily sinänsä on hyvin tehokas lämpötilaerojen tasaaja
- toisaalta esimerkiksi maapallo on massaltaan huikean suuri ja suuri massa on aina myös suuri energiavarasto

Yksinkertainen malli: Säteily pienentää kappaleen sisäenergiaa:

$$\underbrace{-\sigma AT^4}_{\text{Säteilee}} = \underbrace{cm \frac{dT}{dt}}_{\text{Jäähtyy}}$$

Ratkaisu:

$$T(t) = \frac{T_o}{\left\{1 + \frac{3\sigma AT_o^3 t}{cm}\right\}^{1/3}}$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$   
= Stefan-Boltzmannin vakio  
 $A = \text{maapallon pinta-ala}$   
 $= 5,15 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$   
 $c = (\text{kiven}) \text{ ominaislämpökapasiteetti}$   
 $= 1000 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$   
 $m = \text{maapallon massa}$   
 $= 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$   
 $T_o = \text{alkulämpötila}$   
 $T(t) = \text{loppulämpötila}$

Jos  $T_o = 1000 \text{ K}$  ja

$t = 80000 \text{ a} = 2,52 \cdot 10^{12} \text{ s}$ , niin  $T \approx 297 \text{ K}$ .

Jos oletetaan, että maapallo on PALLO, niin pallon pinta-ala  $A = 4\pi R^2$  ja tilavuus  $V = 4/3\pi R^3$ . Silloin maapallon massa  $m = \rho V = \rho \cdot 4/3\pi R^3$ .

Kaavoissa  $R$  = maapallon säde ja  $\rho$  = maapallon massatiheys. Silloin edellä esitetty lämpötilan kaava sievenee muotoon

$$T(t) = \frac{T_o}{\left\{1 + \frac{9\sigma T_o^3 t}{c\rho R}\right\}^{1/3}}$$

Johtopäätös:

- Maapallon jäähtyminen on hyvinkin voinut kestää satoja tuhansia vuosia
- Tarkemmat laskut vaativat sitä, että maapallon lämpötilajakauma  $T = T(r)$  täytyy ottaa huomioon
- Silloin päädyttäisiin ilmeisesti sinänsä todenmukaiseen tulokseen, että vain maapallon pinta on jäähtynyt ja sisäosa on edelleenkin hyvin kuuma