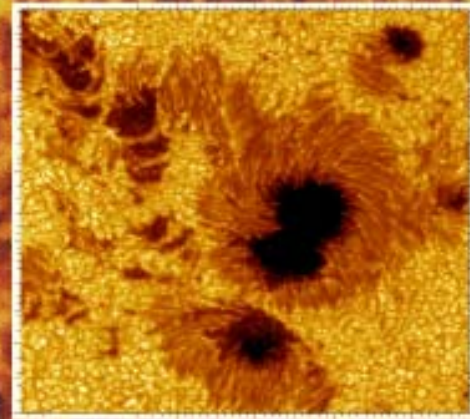


Solen och andra stjärnor
26 juli 2006

Kap 4 Solen

Here comes the sun

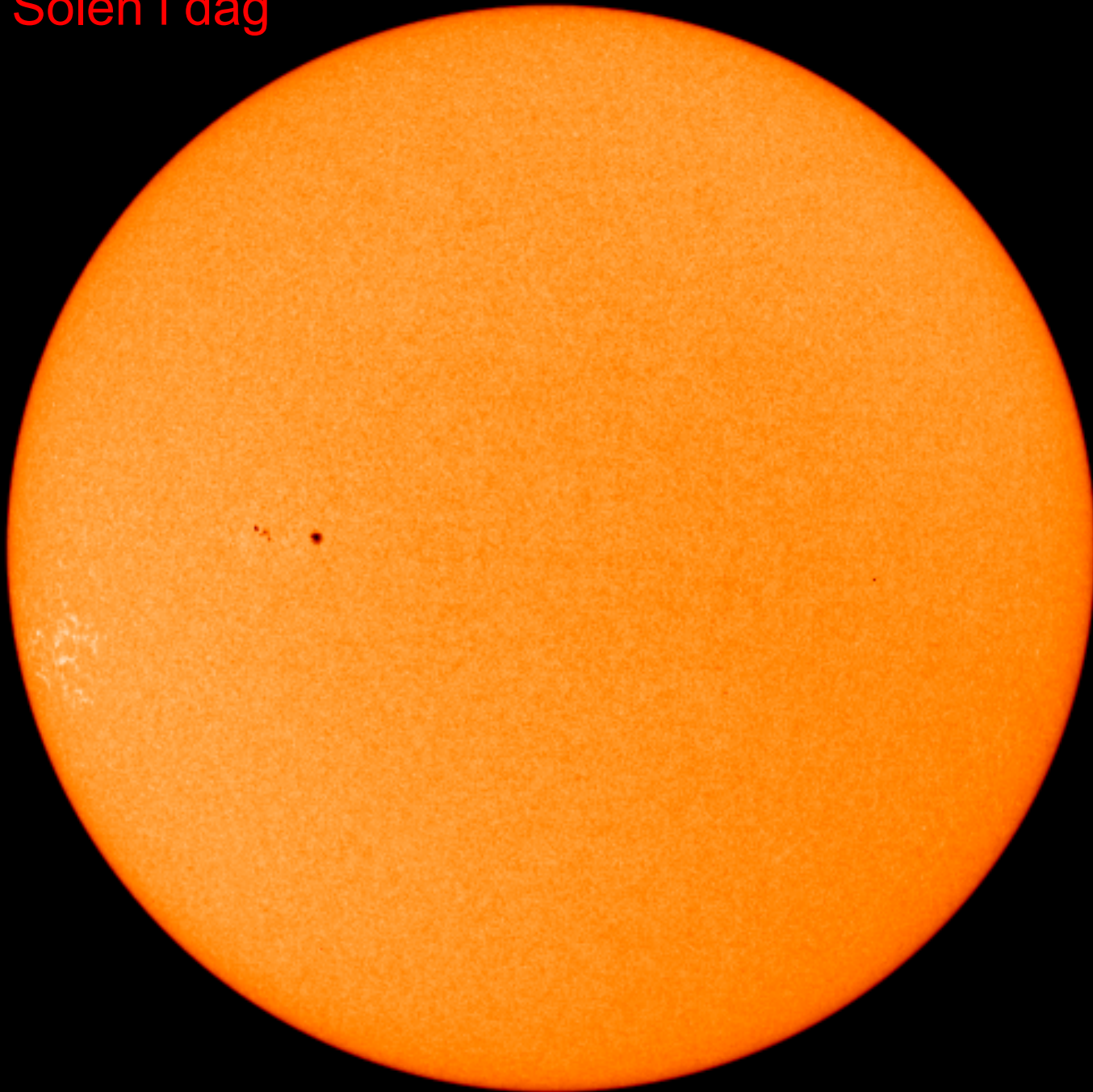
*"Following the light of the sun,
we left the Old World."
Christopher Columbus*



Stefan Larsson



Solen i dag



“Solvagnen” drog enligt nordisk mytologi solen över himlen. “Solvagnen” på bilden är från bronsåldern och hittades 1902 i Trundholm, Danmark.



Stonehenge och solens position?



Det är fortfarande oklart varför Stonehenge byggdes men man har uppenbarligen kunnat registrera tidpunkterna för sommar och vintersolstånd.

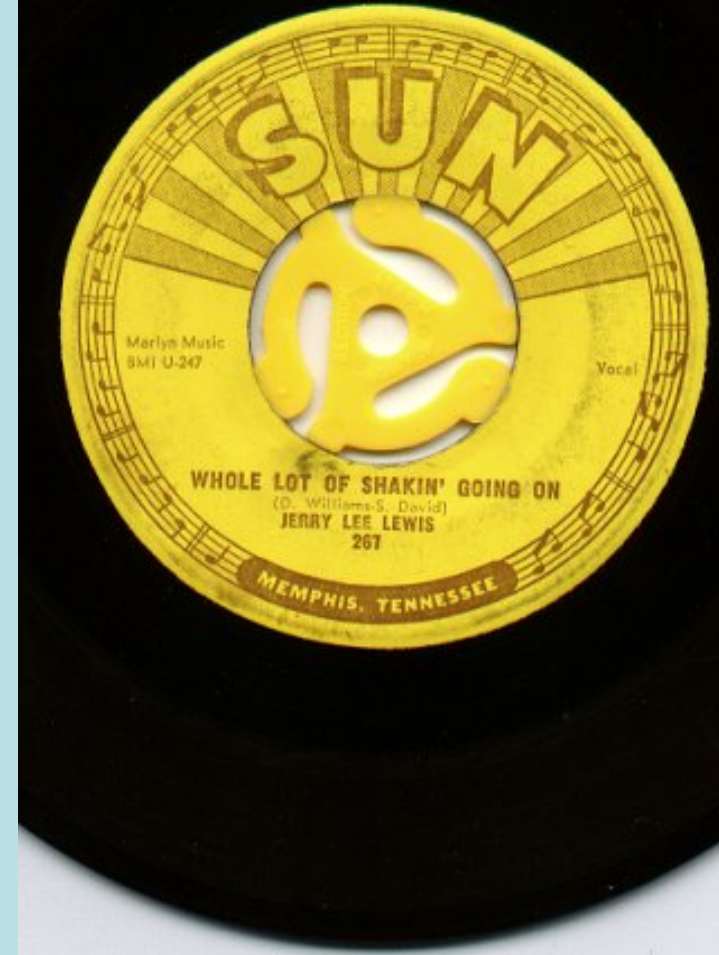


Vår sol är en av c:a 100 miljarder
stjärnor i Vintergatan.
Som stjärna är den ganska "medel",
medelmassa, medelålder....

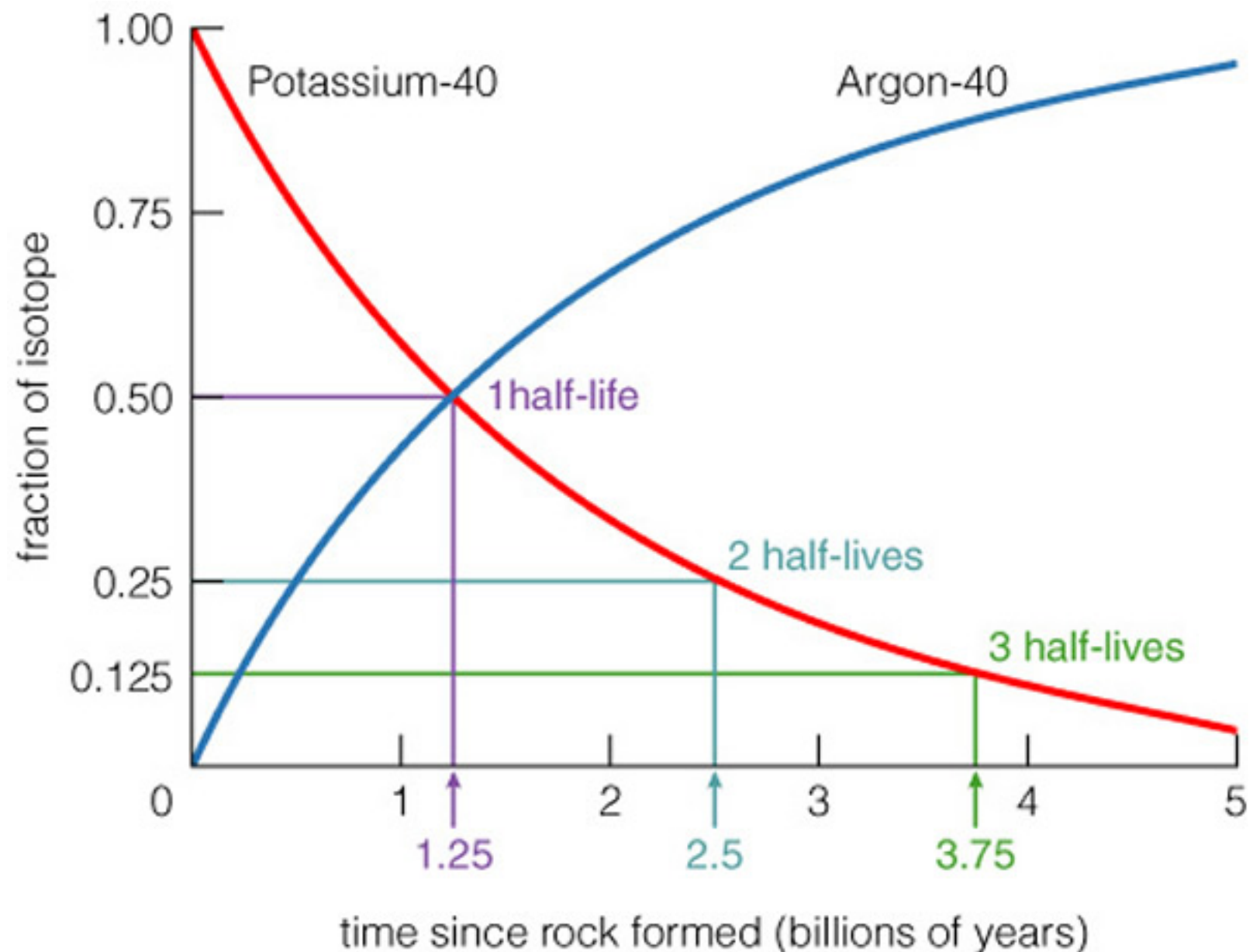


Sun records

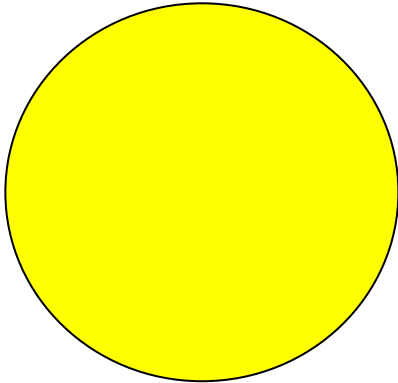
Ålder: $4,5 \cdot 10^9$ år
Massa: $2 \cdot 10^{30}$ kg
Radie: 700 000 km (~100 gånger Jorden)
Sammansättning, H, He, etc
Struktur: Kärna -> fotosfär, kromosfär, korona
Energiproduktion: Fusion
Energitransport: Strålning, konvektion
Magnetfält: Solfläckar, protuberanser, utbrott
Solvinden och dess påverkan på Jorden.
Pulsationer
Neutriner



Potassium (eng) = Kalium (sv)



Vad är en stjärna?



Solen är ett gasklot.

Diameter drygt 100 gånger Jordens

74% väte

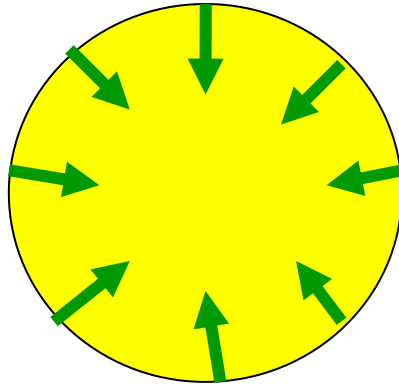
25% helium

1% övriga grundämnen

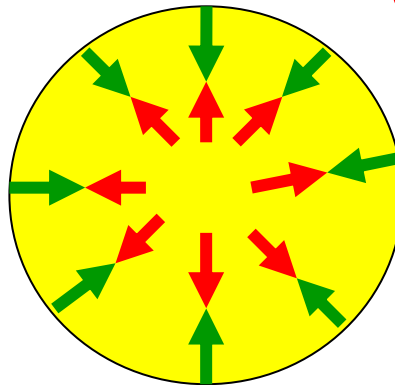
Yttemperatur = 5770 K

En stjärna är i jämvikt,
den varken expanderar eller kontraherar.

Gravitationen drar ihop stjärnan.

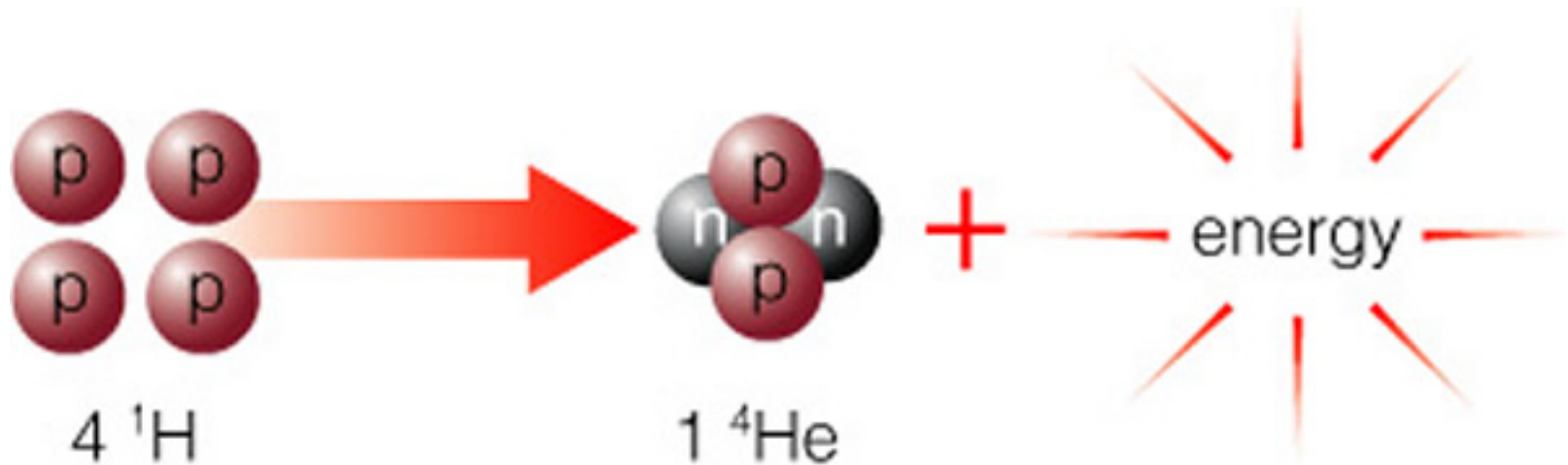


När den pressas ihop ökar
temperaturen och trycket
tills trycket balanserar
gravitationen. => Stjärnan
är i jämvikt!



Temperatur solens
centrum = 15,6 miljoner
grader

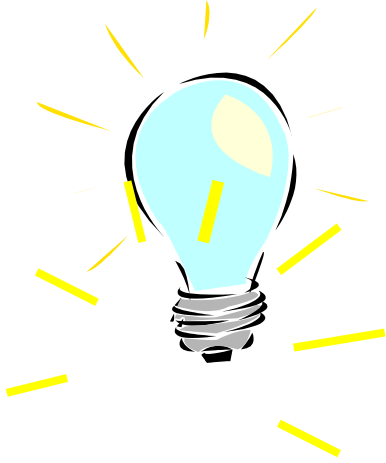
Energin produceras genom fusion.



1 kg väte -> 0,993 kg helium

Massan minskar med 0,7%!

$$E = mc^2$$



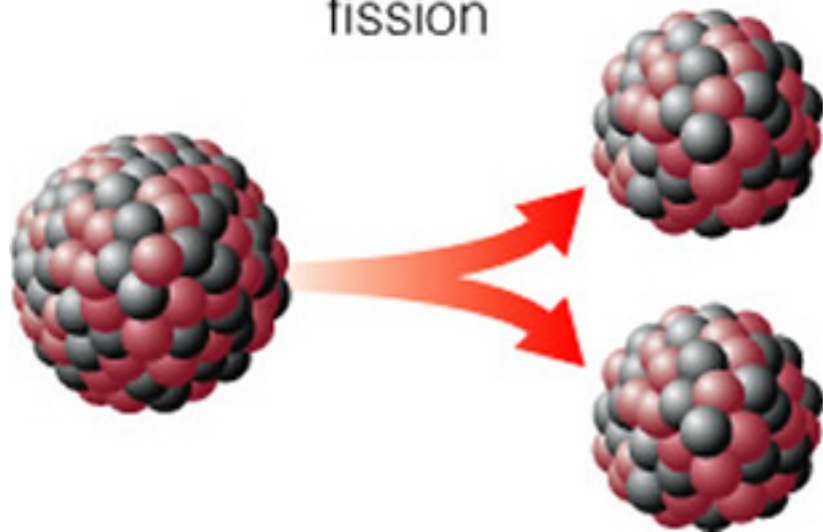
Solens lyser som en $3,9 \times 10^{26}$ W
glödlampa.

Varje sekund omvandlas
600 miljoner ton Väte => Helium

Solens massa minskar med
4 miljoner ton per sekund!

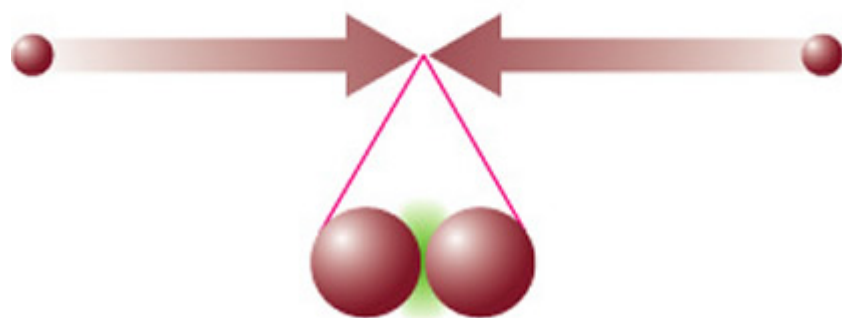
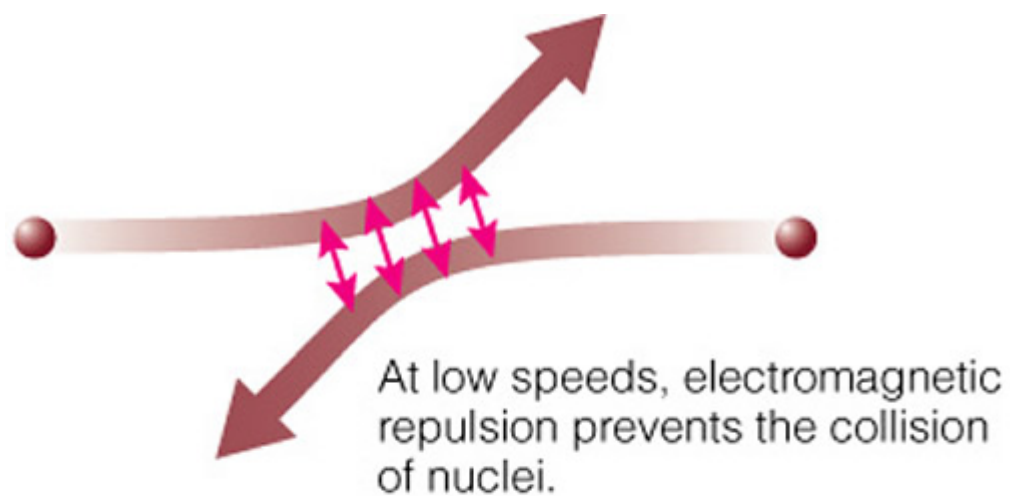
$$(E = mc^2)$$

fission

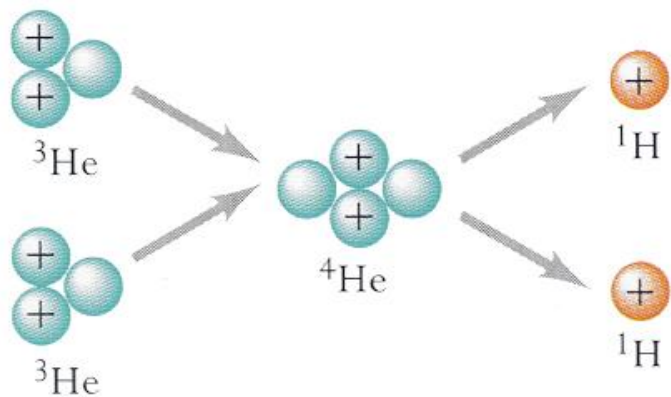
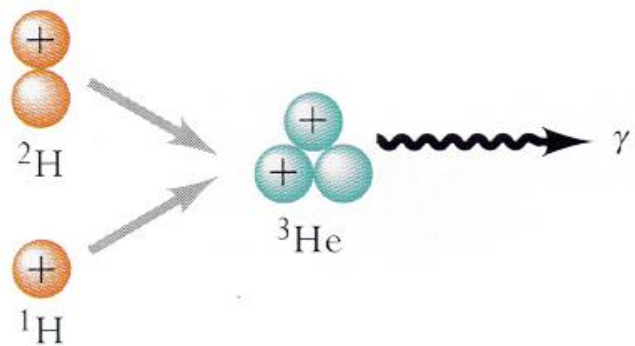
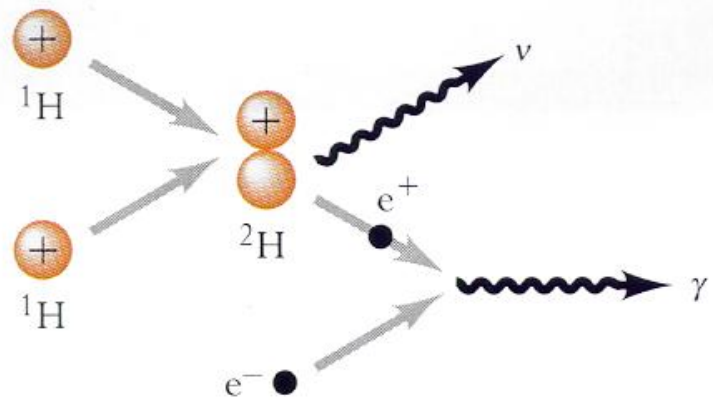


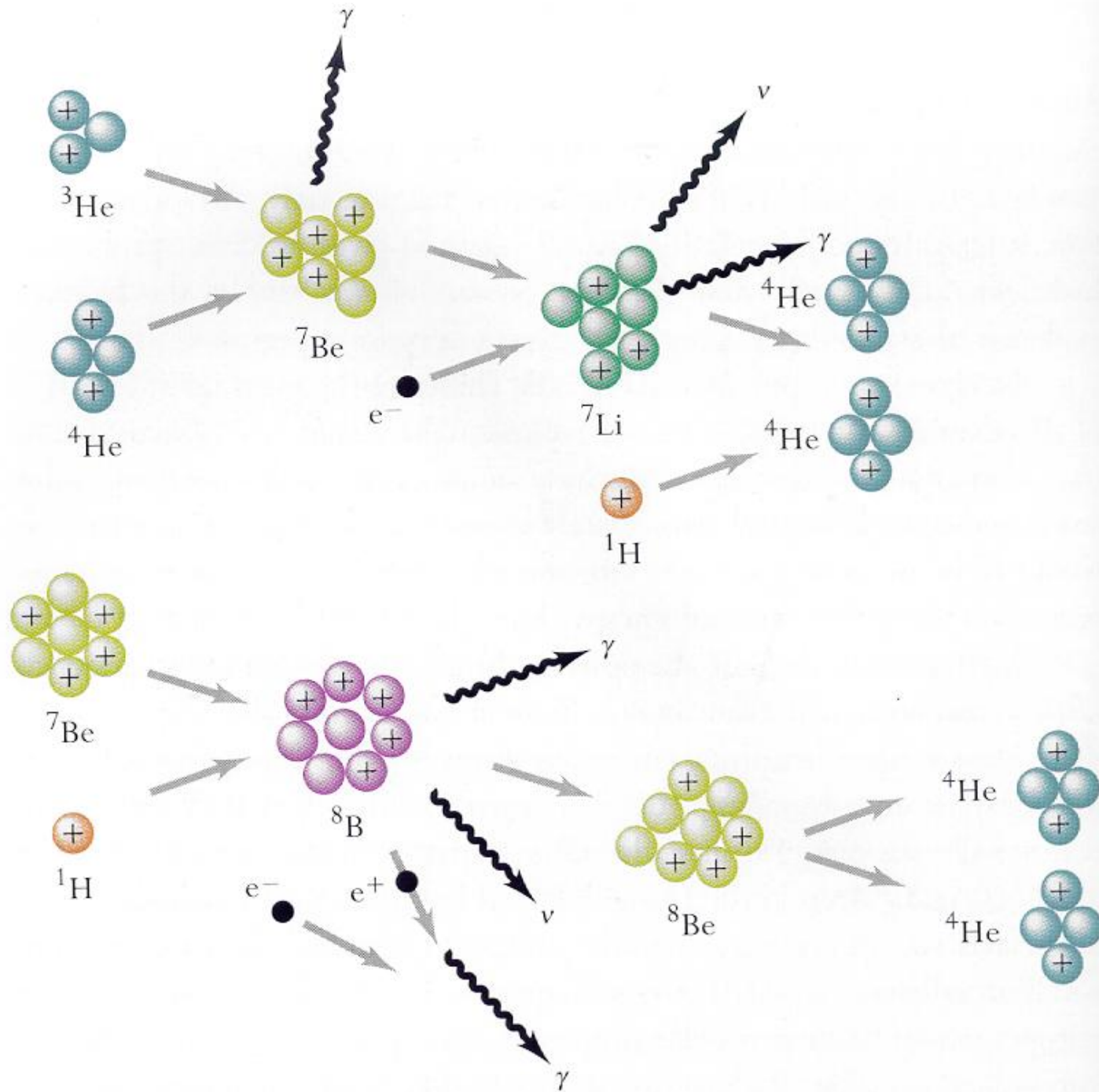
fusion

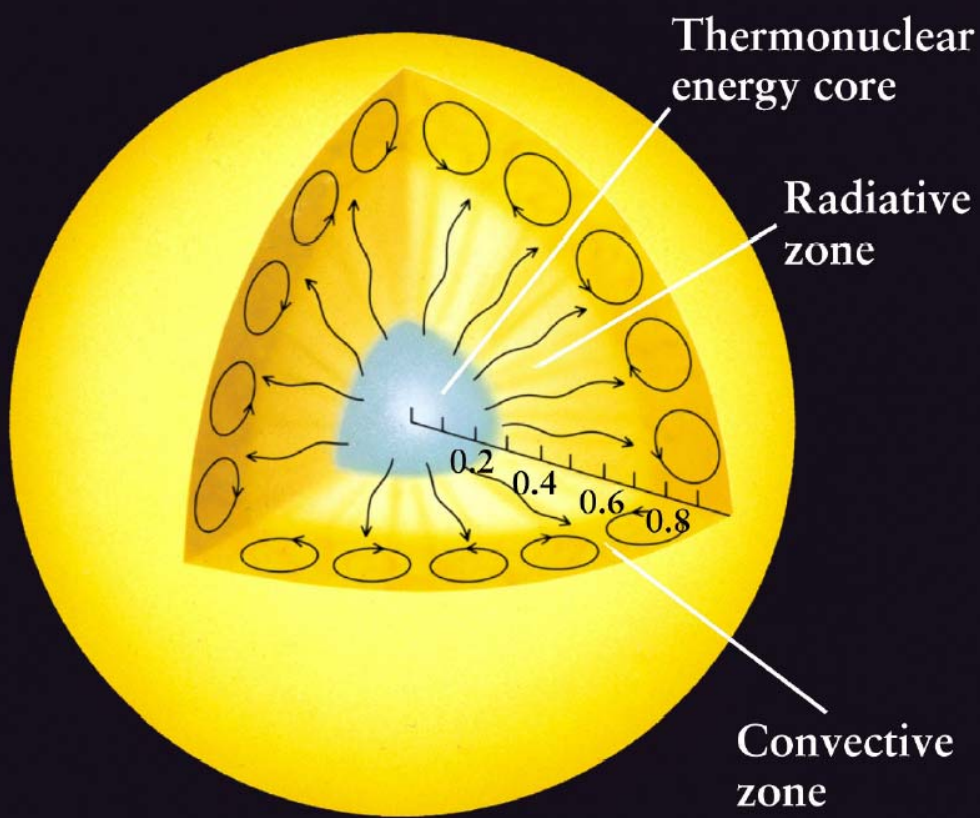




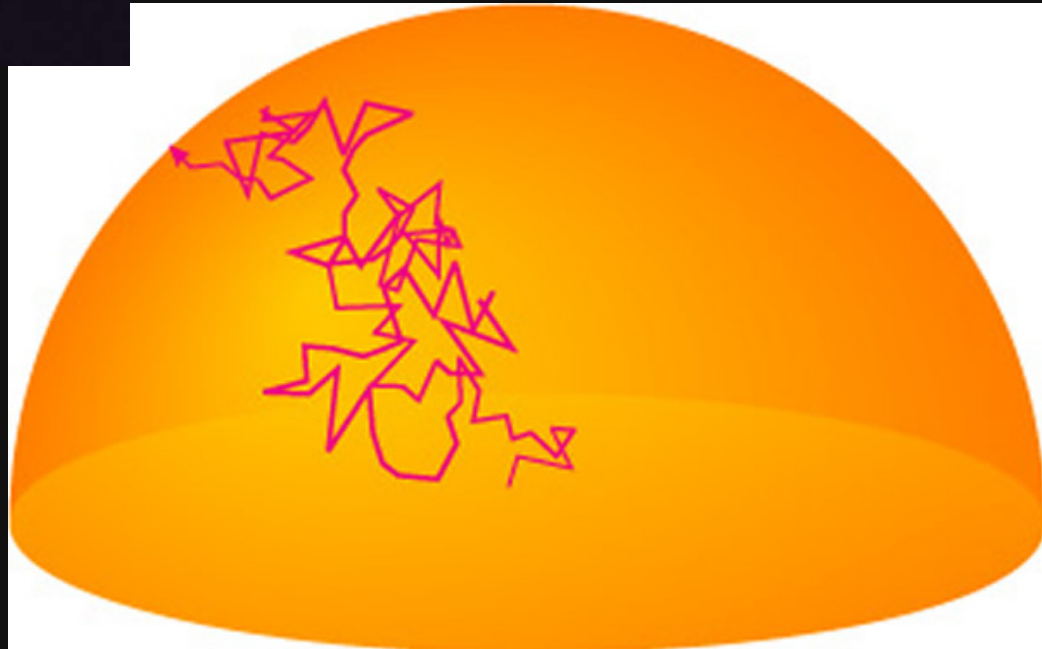
At high speeds, nuclei come close enough for the strong force to bind them together.



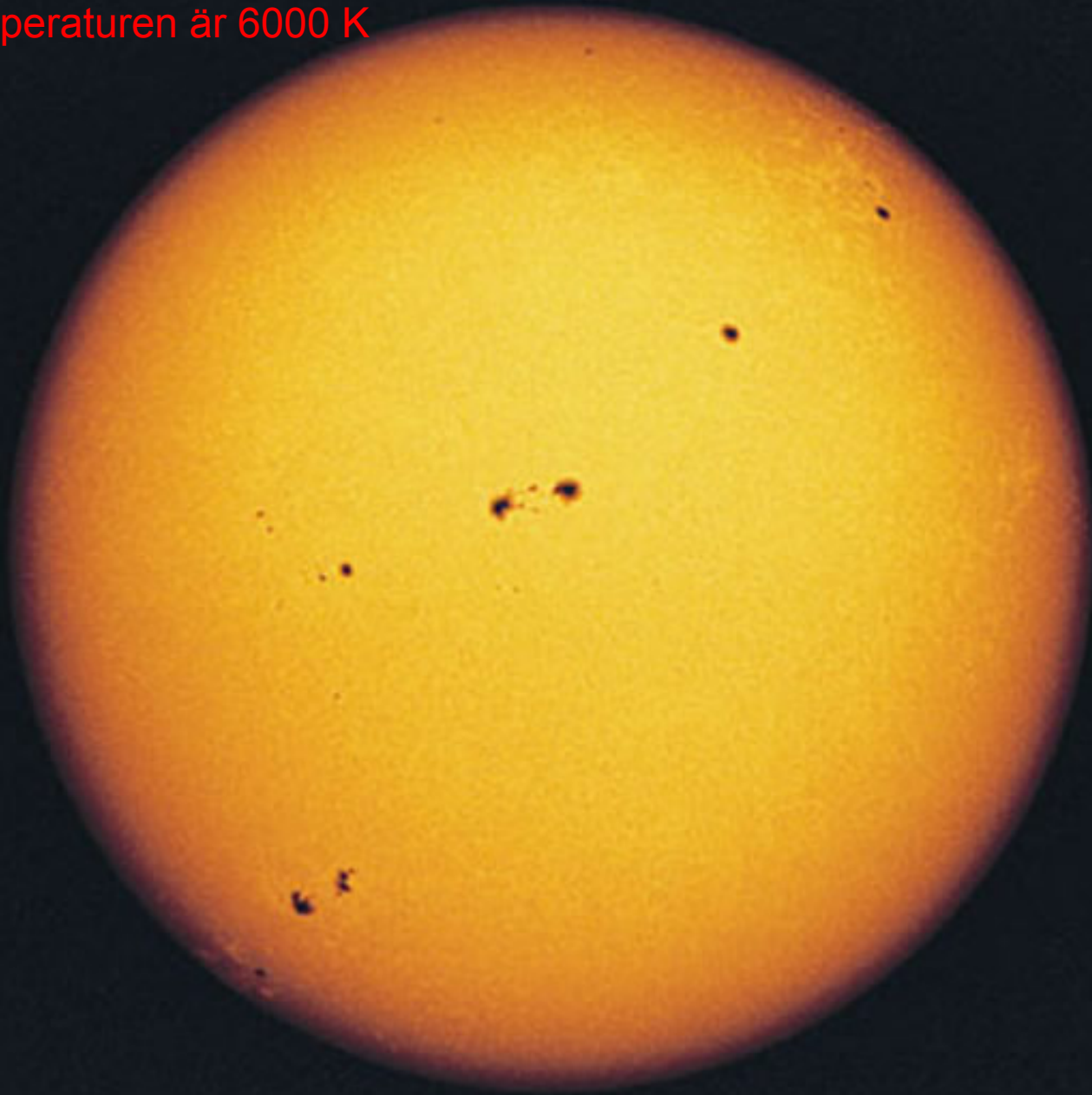




Kärnförbränningen sker i centrum och det tar flera 100 000 år för strålningen att ta sig ut ur solen.

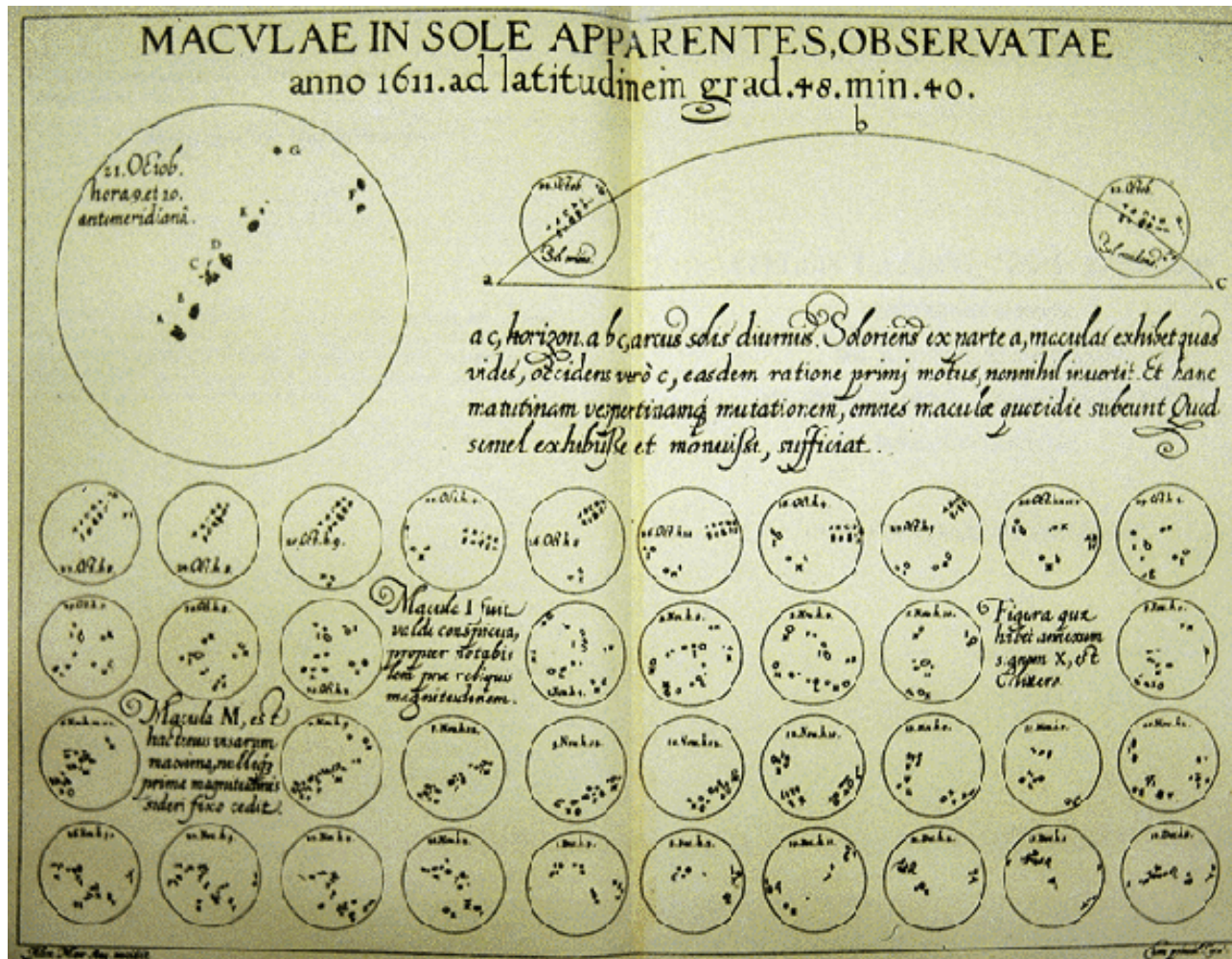


Solen är ogenomskinlig. Ljuset vi ser kommer från fotosfären där temperaturen är 6000 K



Första systematiska studierna av solfläckar gjordes 1611 av Christoph Scheiner. Scheiner var en jesuitisk matematiker vid universitetet i Ingolstadt i sydtyskland.

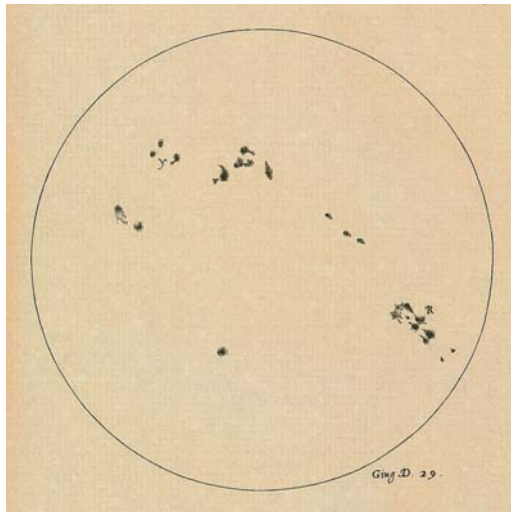
Han argumenterade att eftersom solen är perfekt kan den inte ha några fläckar. De måste i stället, menade han, vara satelliter till solen som bara kunde ses när de passerade framför solskivan.

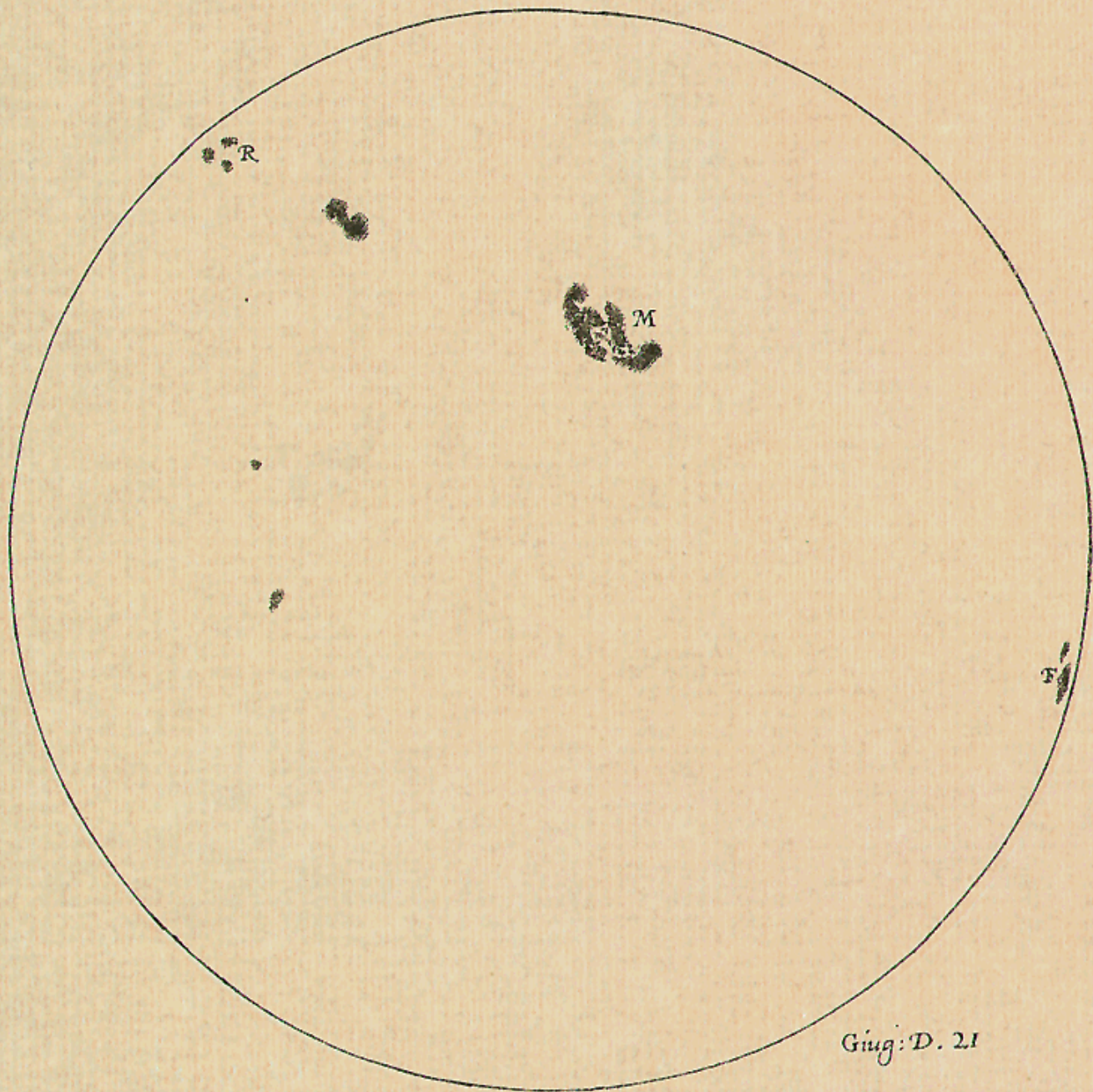


1612 började Galileo göra regelbundna observationer av solen.

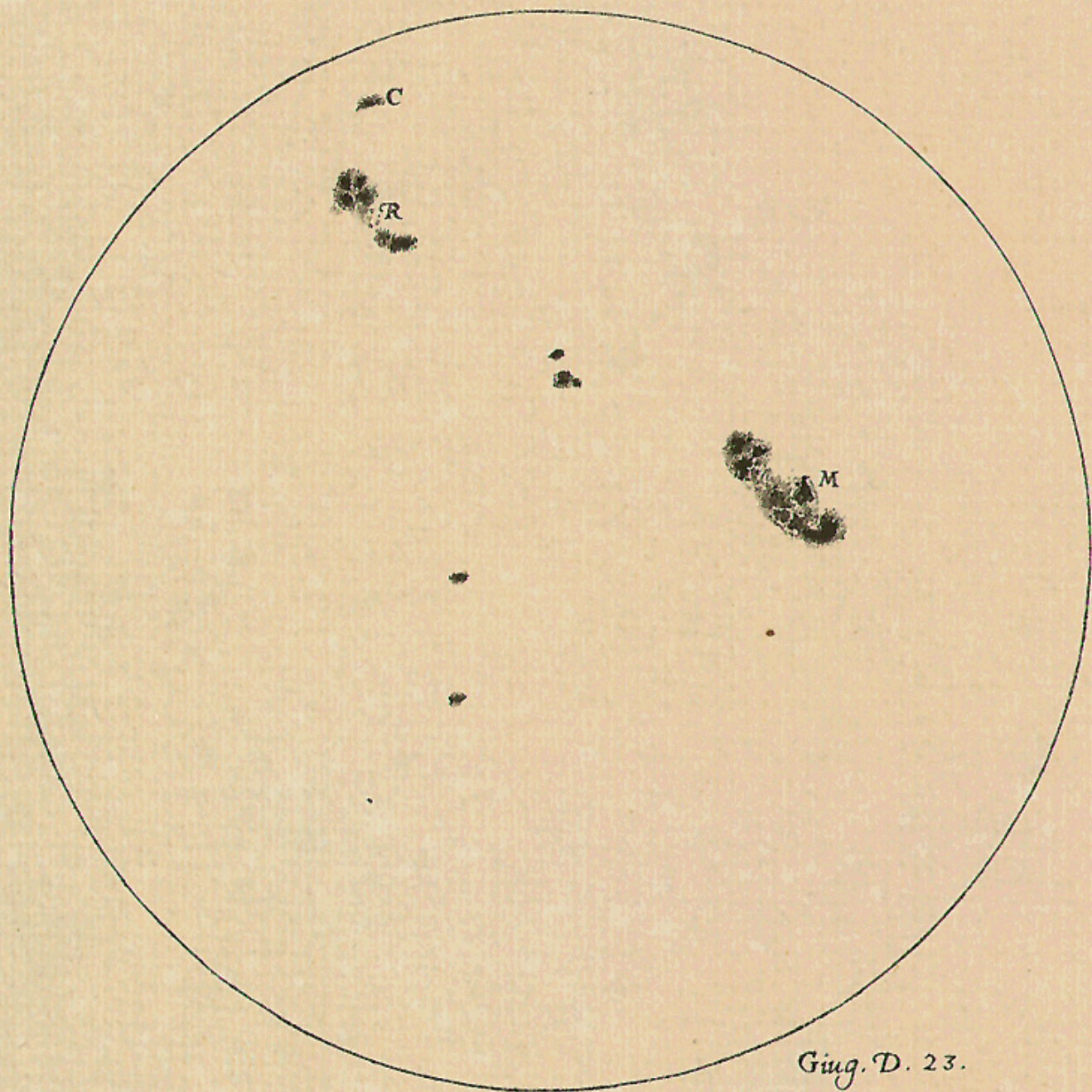
Han kritiserade Schneiders slutsatser och argumenterade för att fläckarna fanns på solytan och följde dess rotation.

Från solfläckarnas rörelse över solytan kunde han bestämma **solens rotationsperiod**

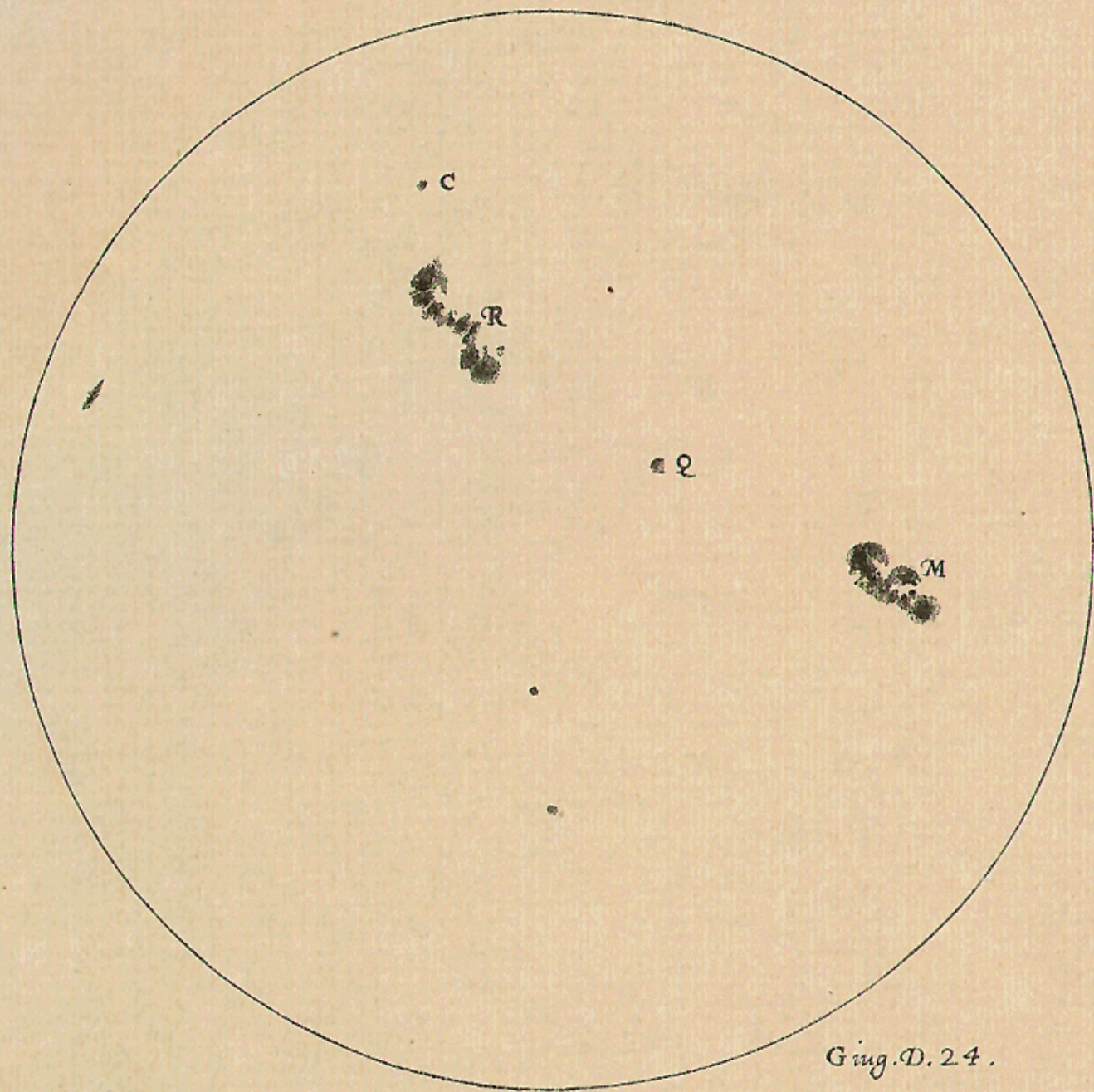




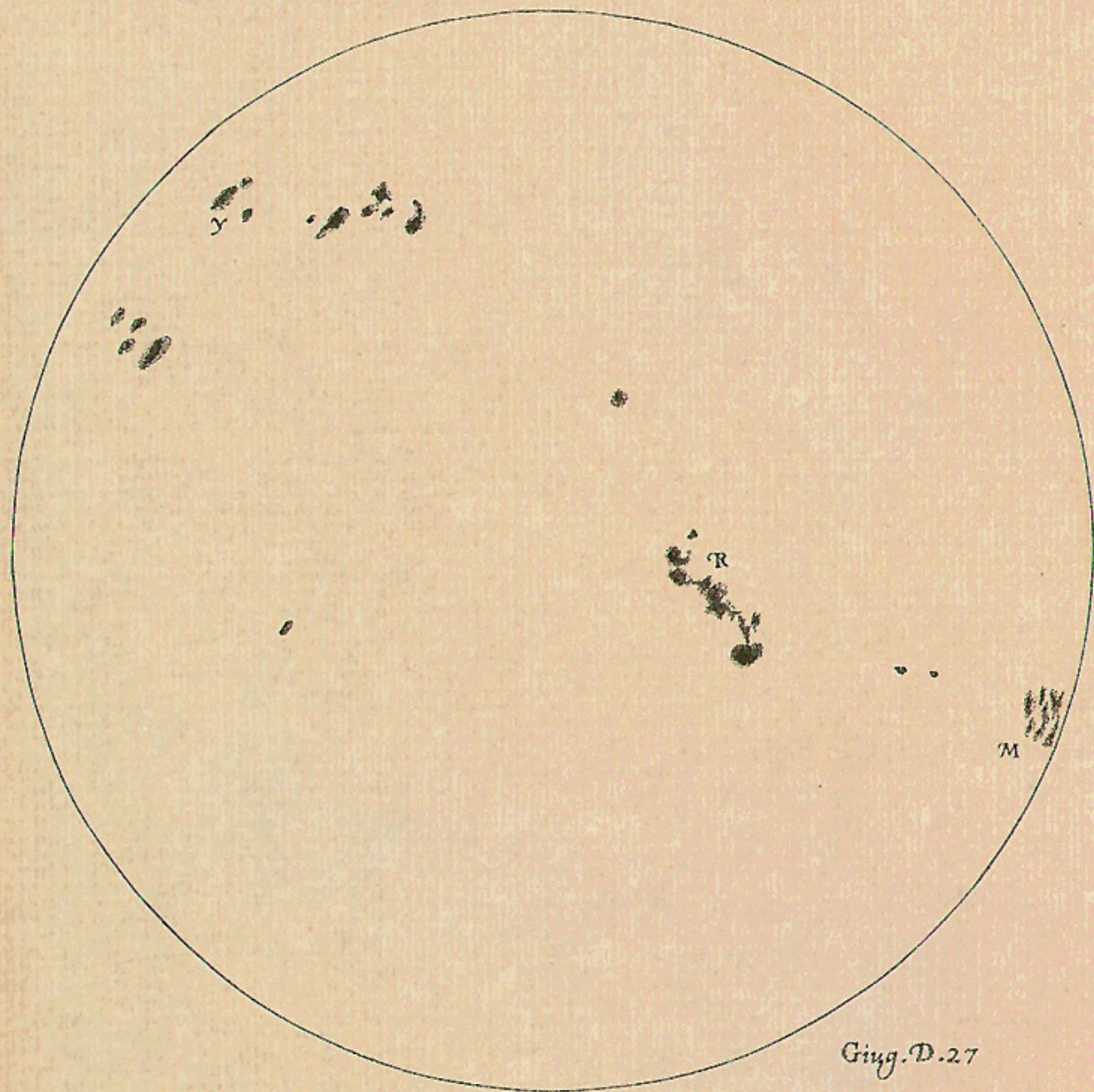
Giug: D. 21



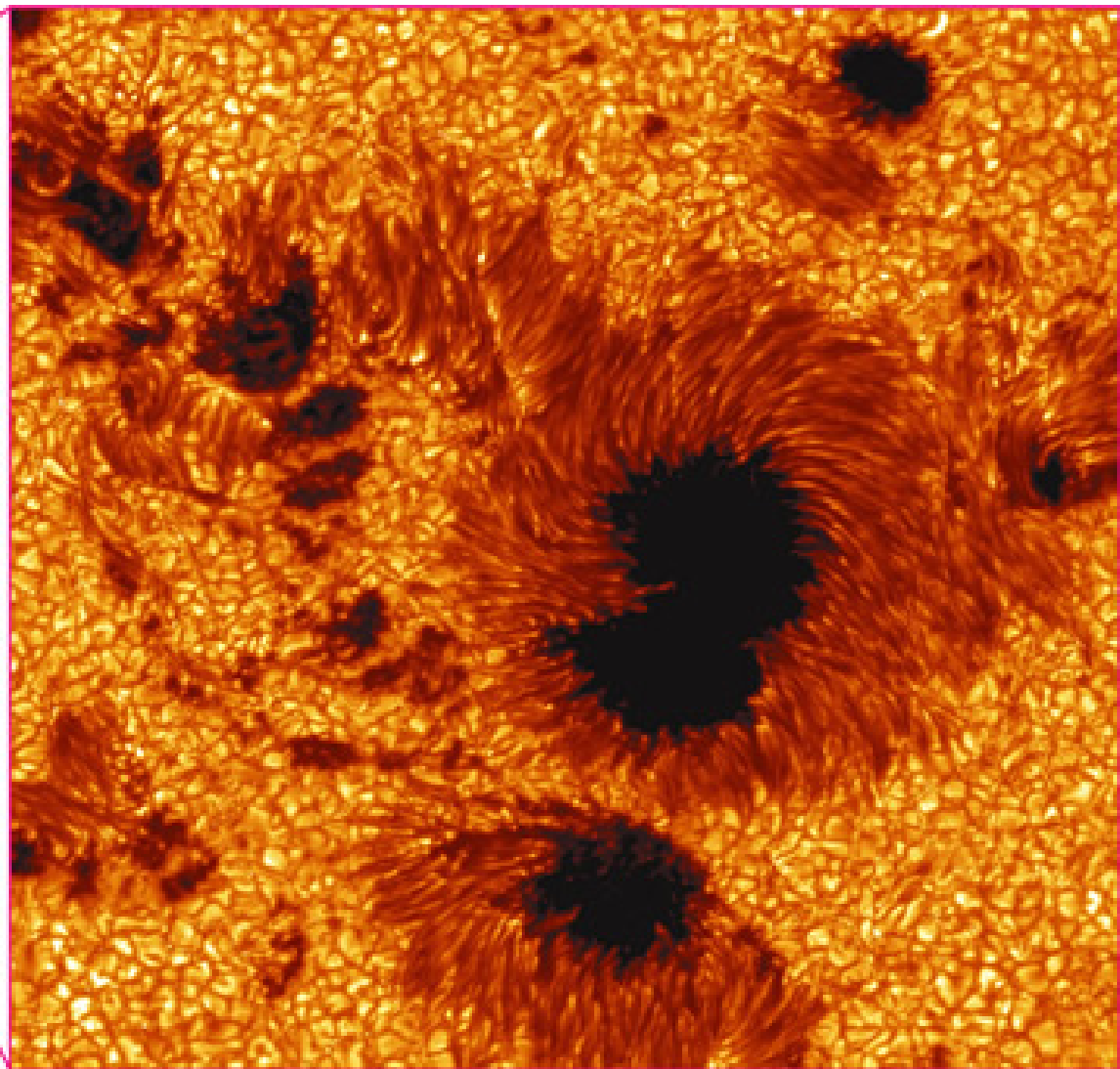
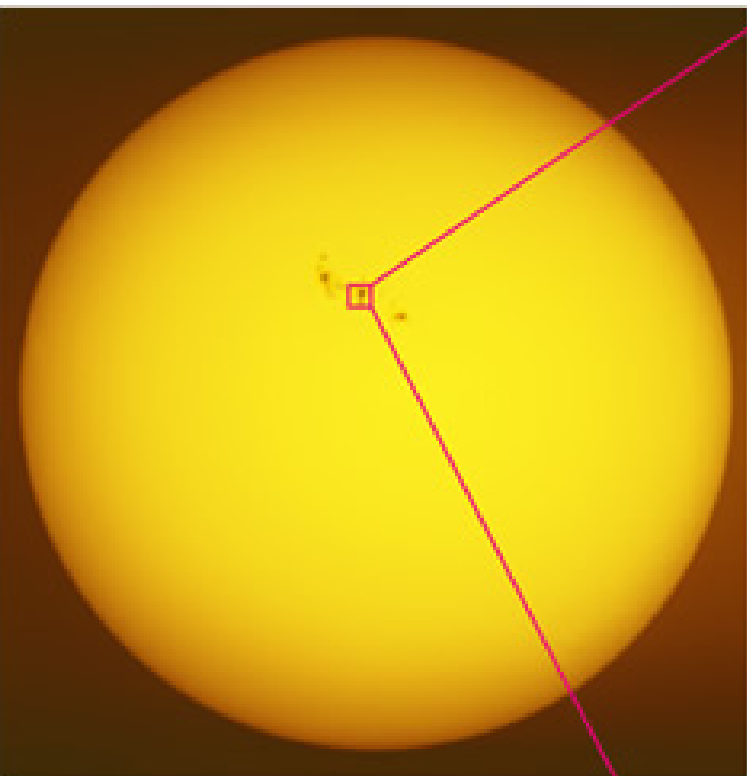
Ging. D. 23.



Ging. D. 24.

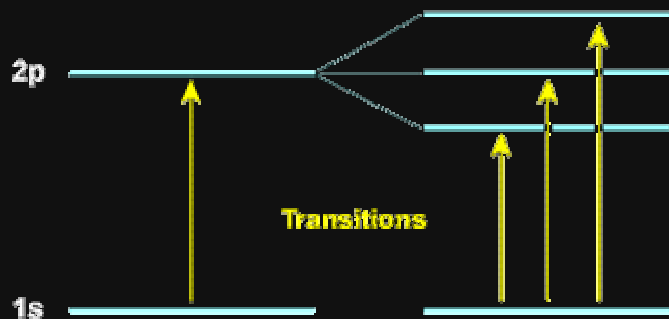


Ging. D. 27



Solfläckarna ser mörka ut jämfört med den omgivande solytan därför att temperaturen i fläckarna är 1000 – 1500 grader lägre.

Zeemaneffekten



Energy
Levels

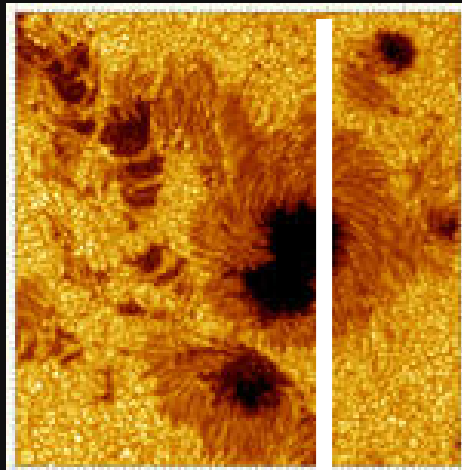


No Magnetic Field



Magnetic Field

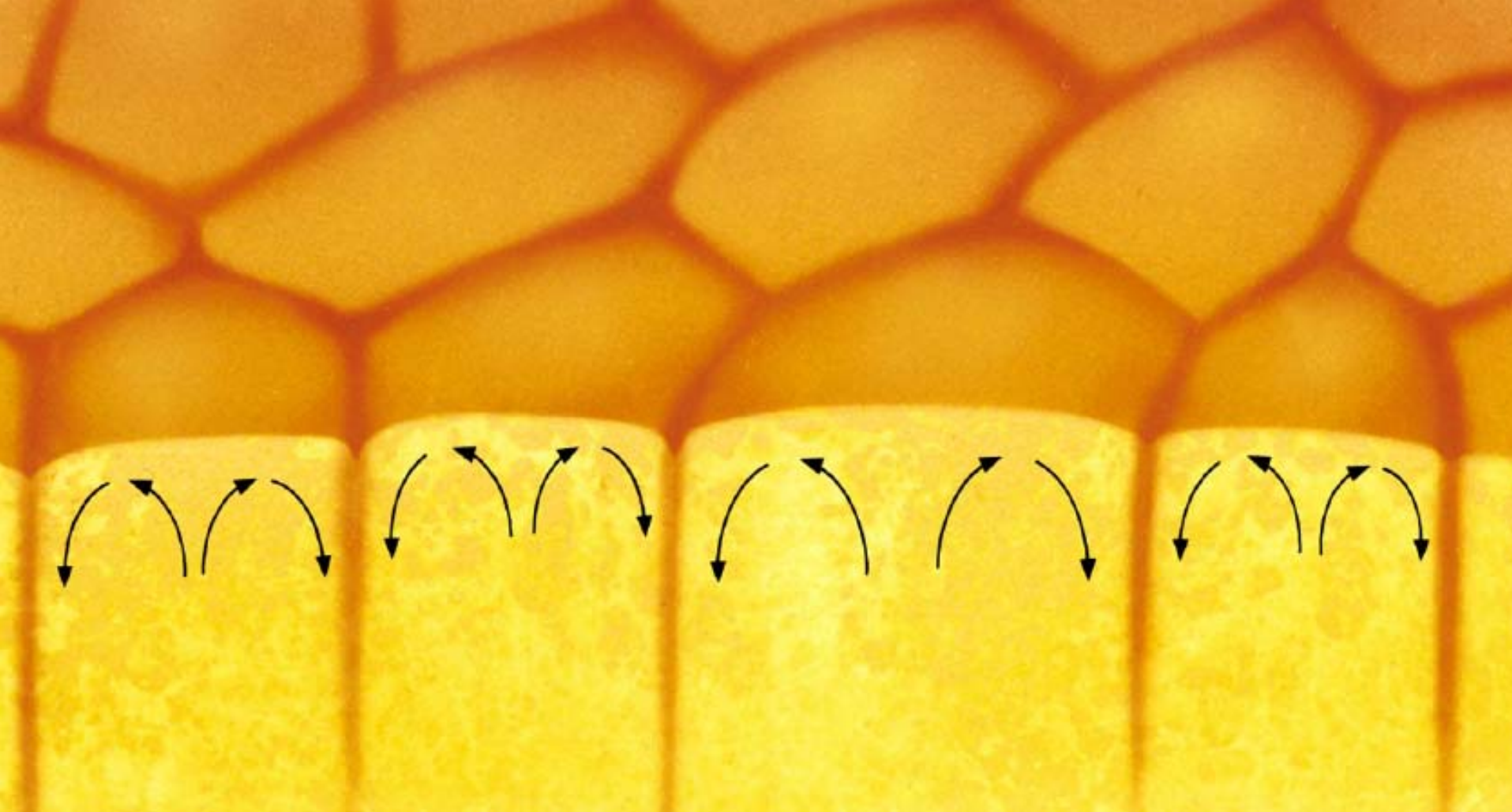
Spectra



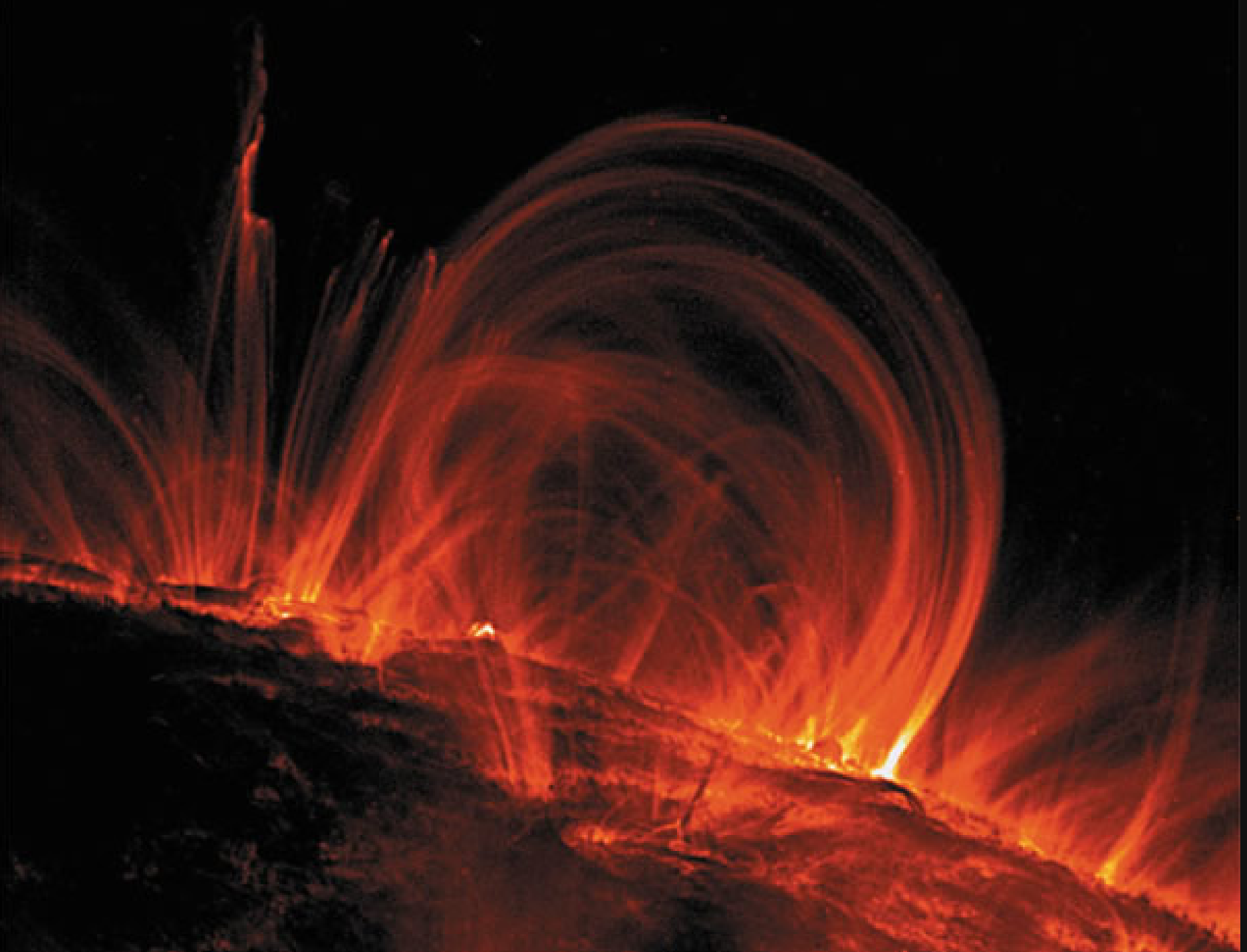
Single line —

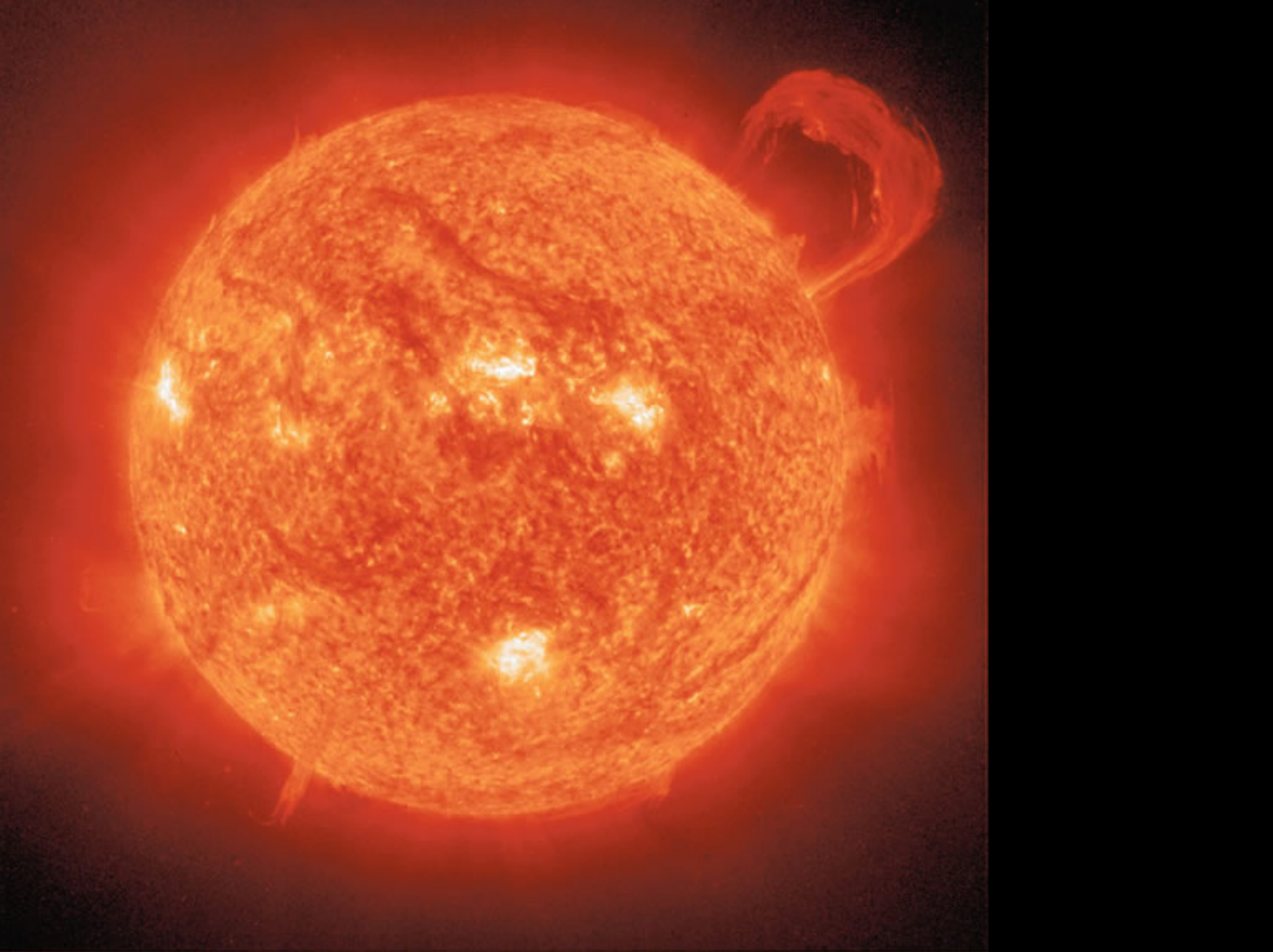
Split line 

Single line —

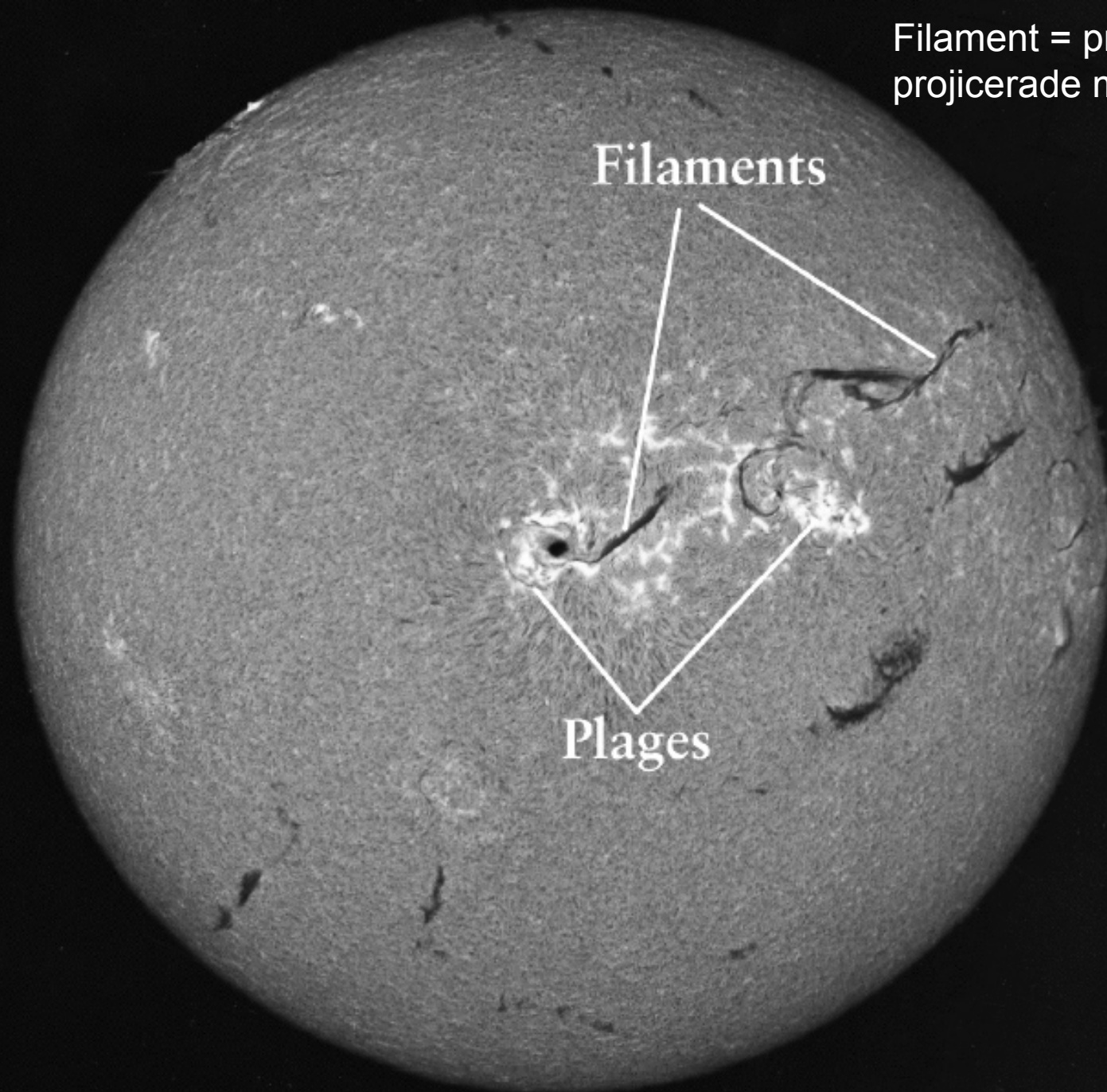


Granulation: 5 – 10 min, c:a 1000 km



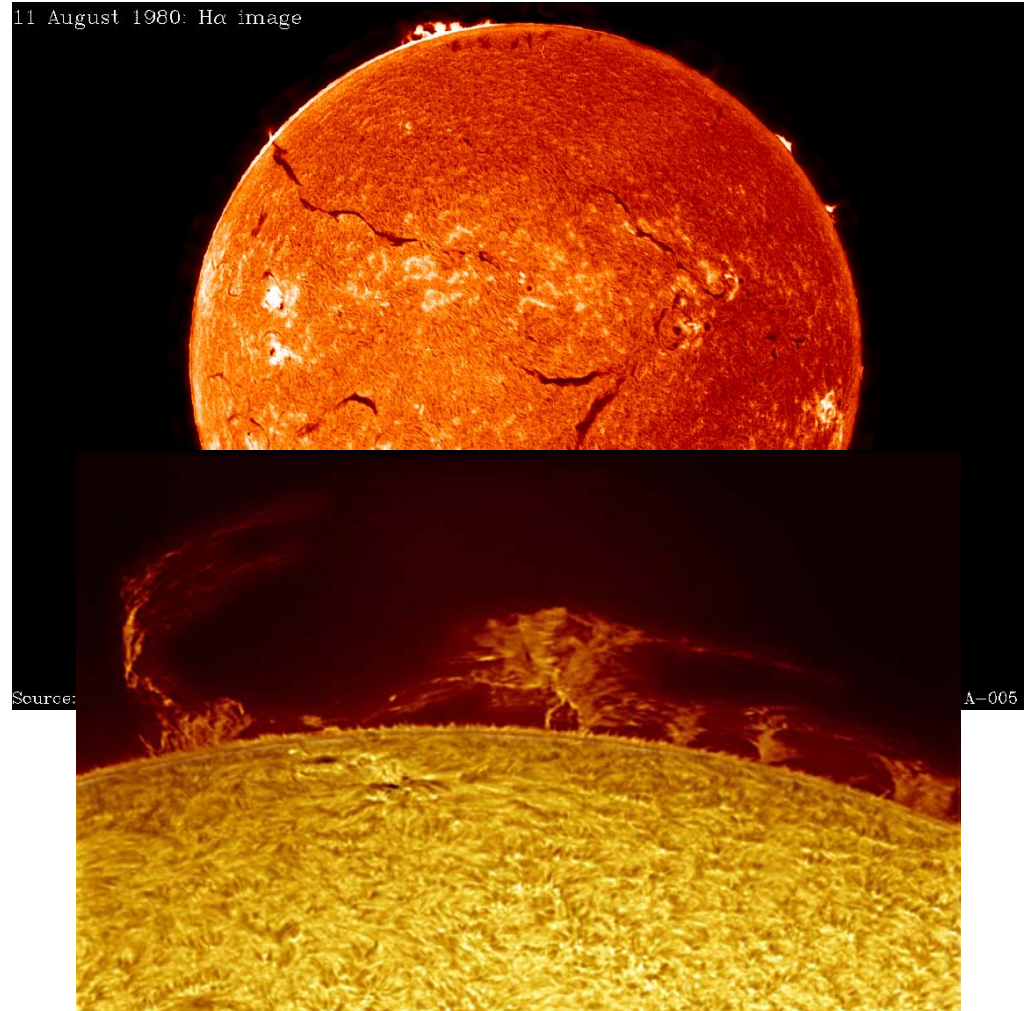


Filament = protuberanser
projicerade mot solskivan.

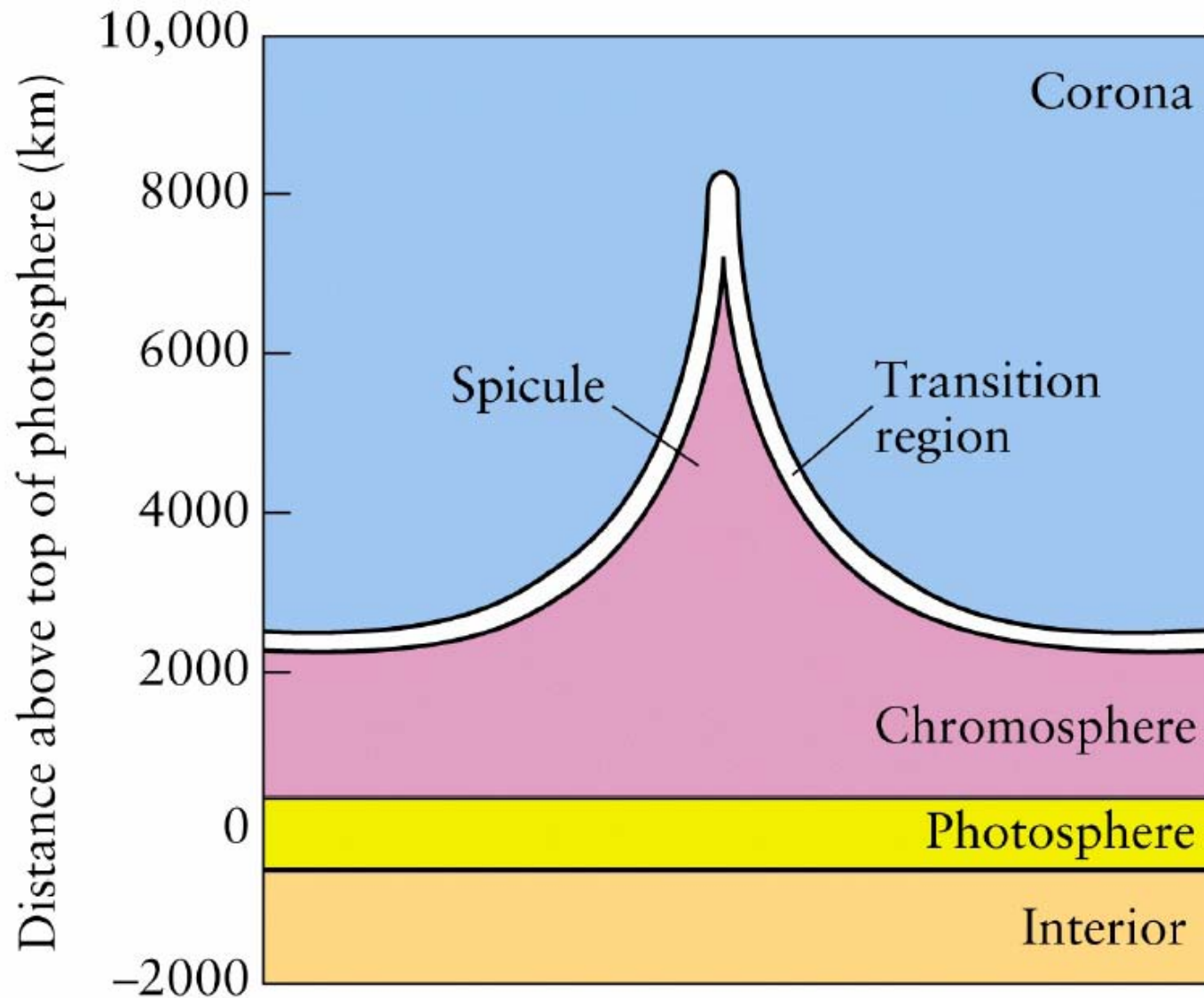


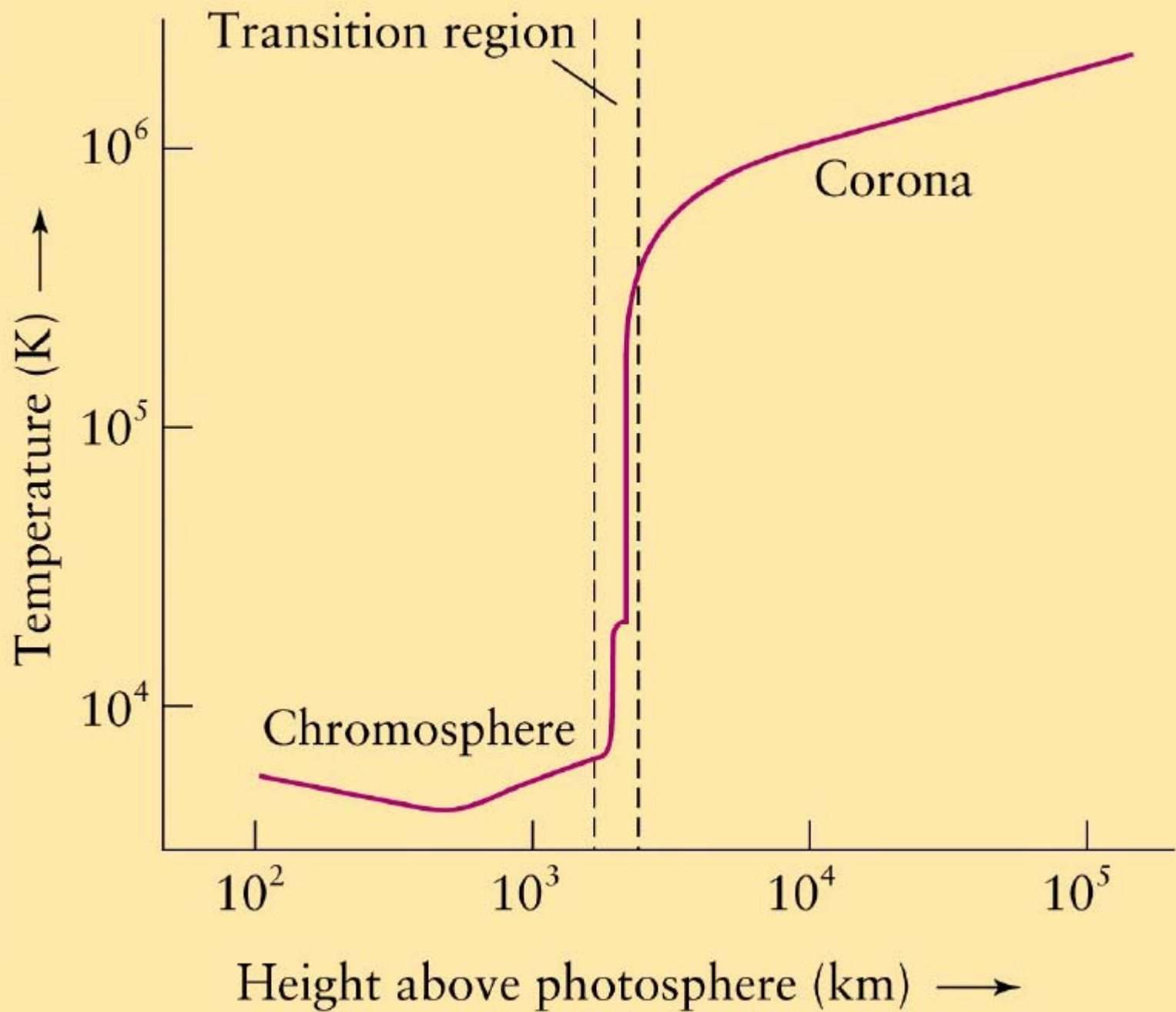
Filaments/Prominences

- ❑ This image is taken through a filter centered on a spectral line of Hydrogen ($H\alpha$) that forms above the surface of the Sun
- ❑ Interesting new features seen on this image are filaments, dark string-like structures visible on the disk, and prominences, bright structures extending outward over the limb
- ❑ Physically, filaments and prominences are one and the same, namely condensations of cooler gas high up in the solar atmosphere.



Spikuler = "kall" och tät gas som skjuter upp i koronan

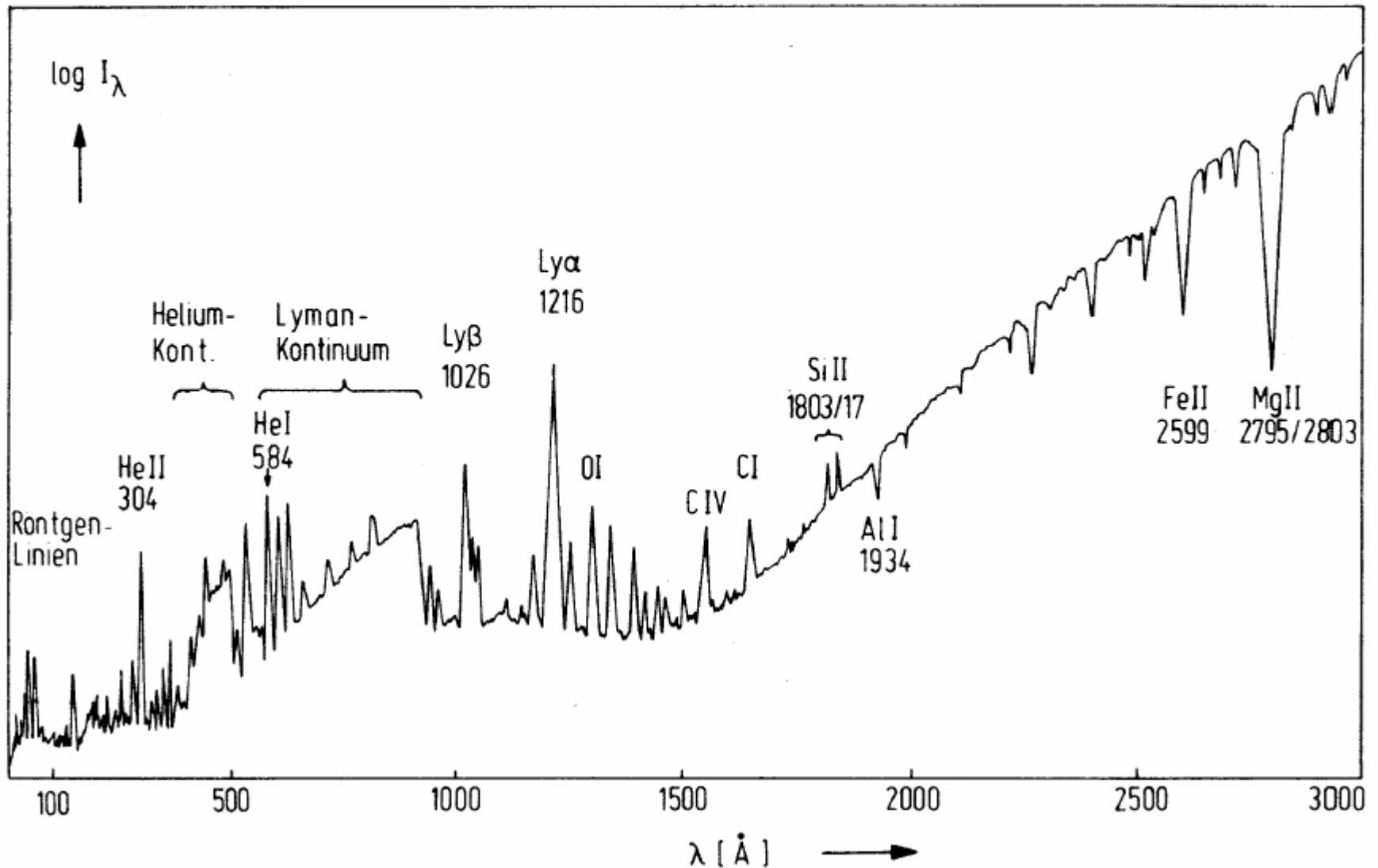






SOLAR ULTRAVIOLET SPECTRUM

Scheffler & Elsässer, courtesy Karin Muglach



"Koronium"-linjer?

Grotrien, Edlén 1942: Förbjudna linjer från högt joniserade tillstånd.

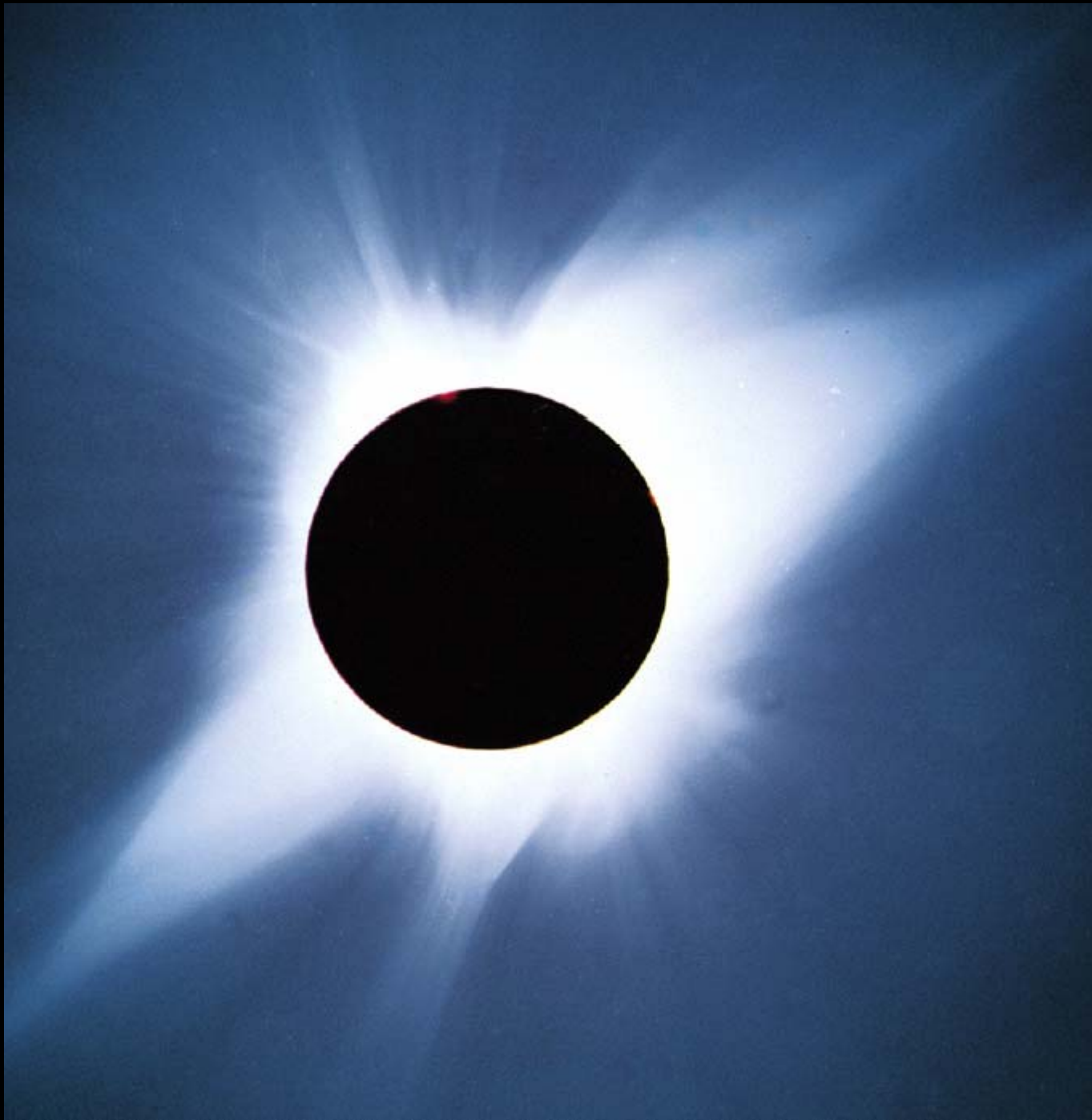


"Förbjuden" linje = Elektronövergång med mycket liten sannolikhet.
Vid normal täthet förlorar elektronen sin energi
vid kollisioner innan den hinner emittera strålning.

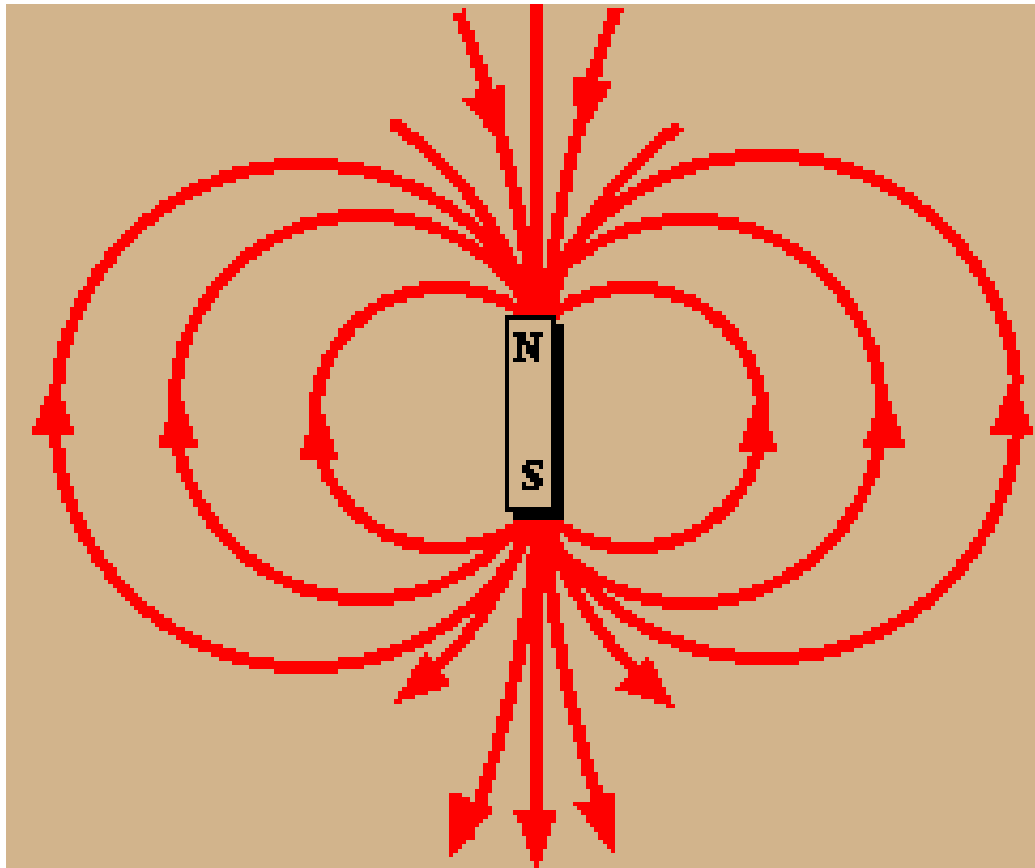
Emission från högt joniserat järn (Fe IX och Fe X)

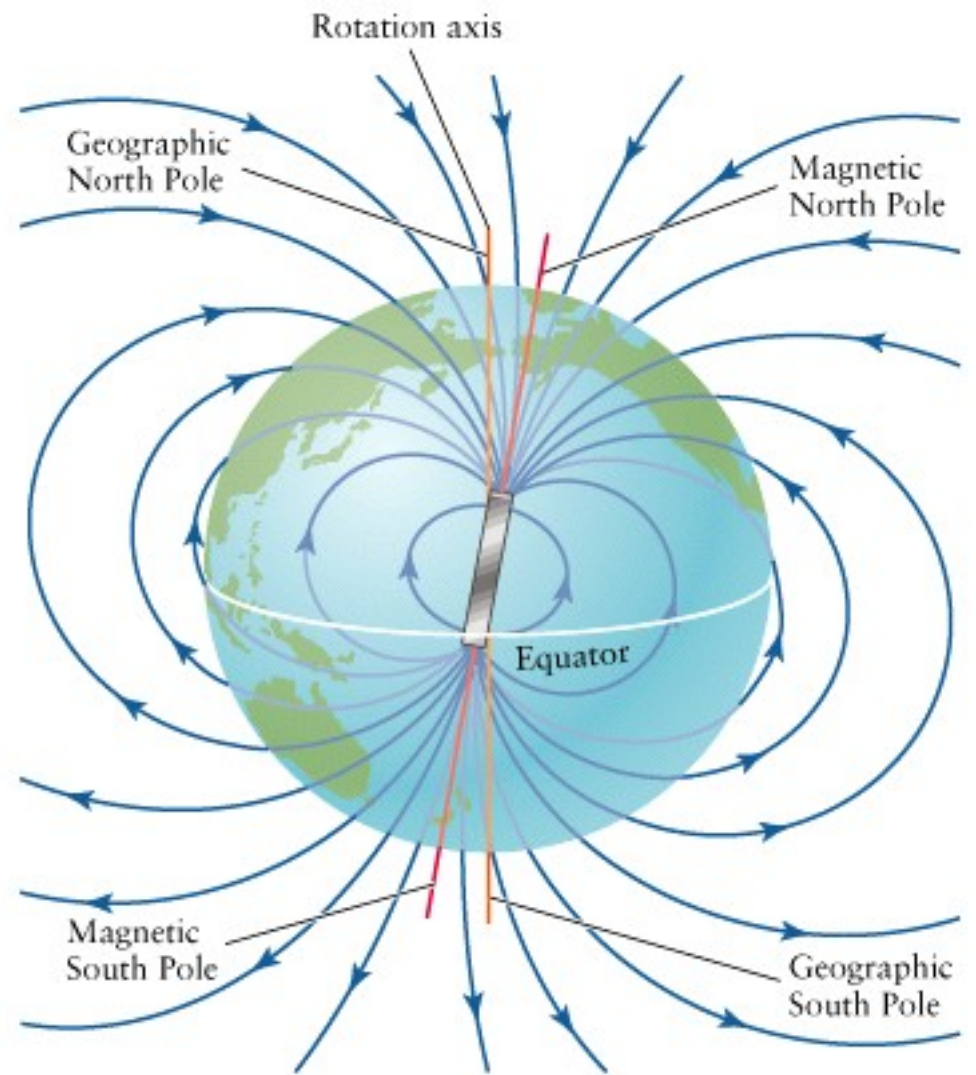
1 million degrees K

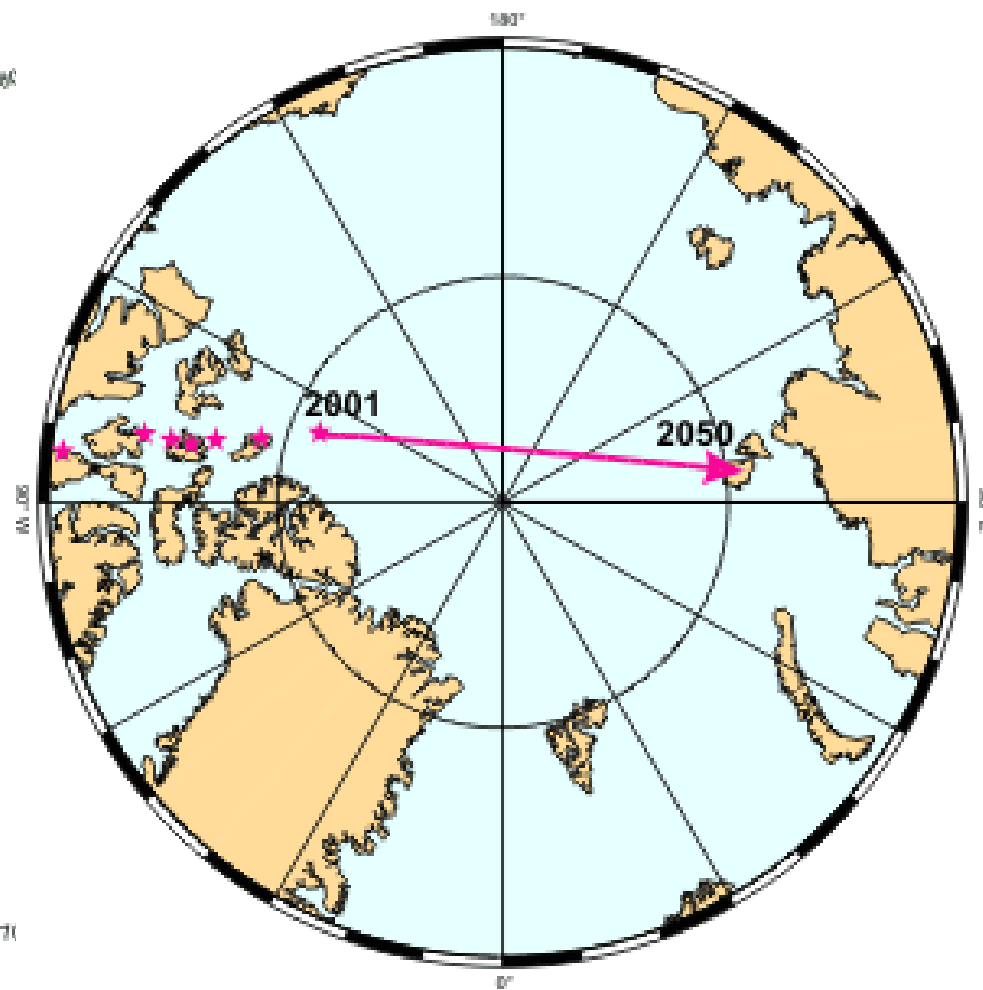
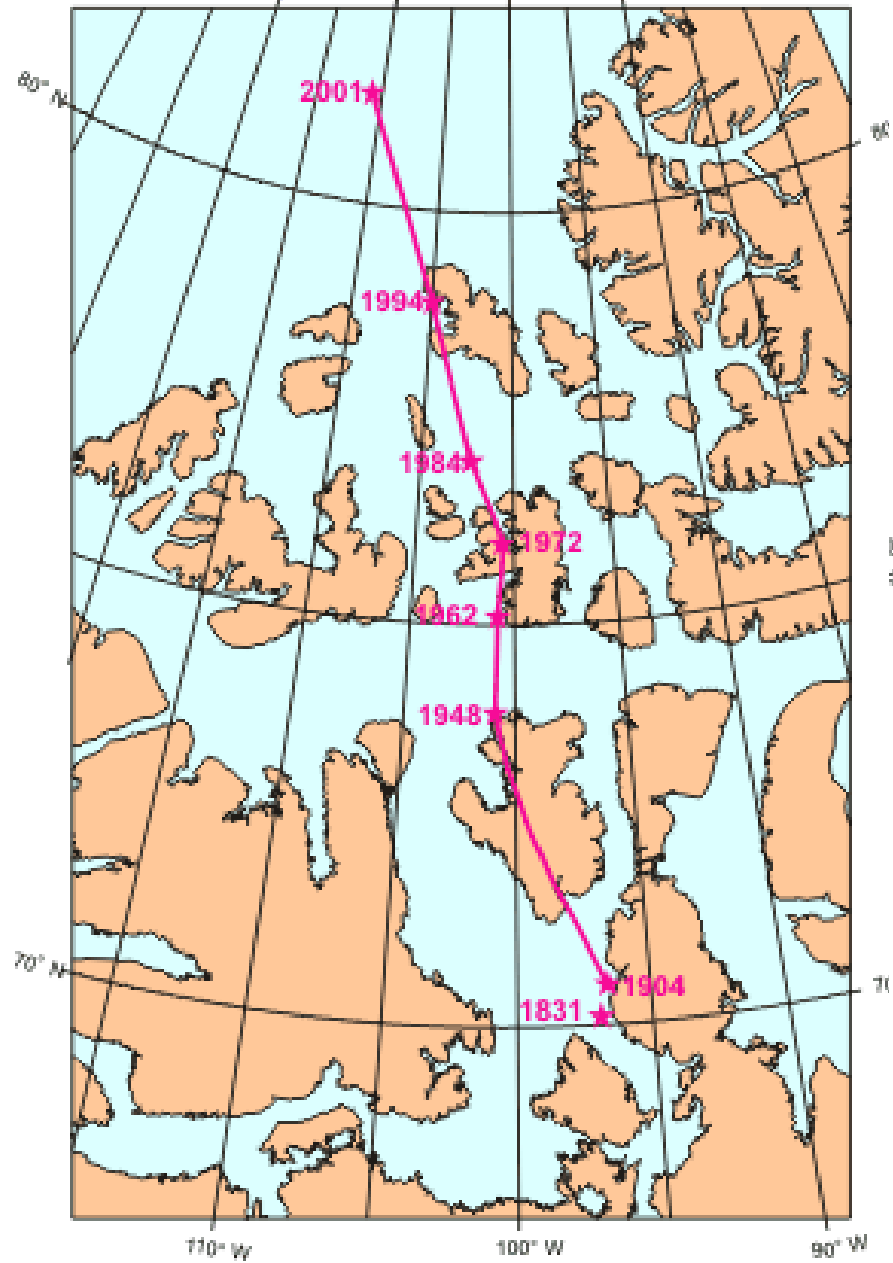


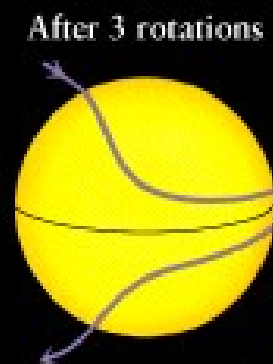
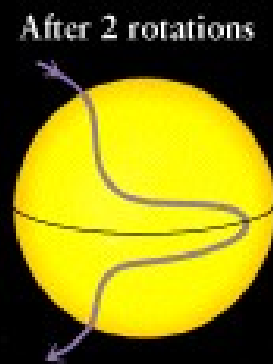
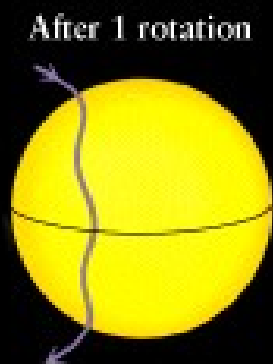
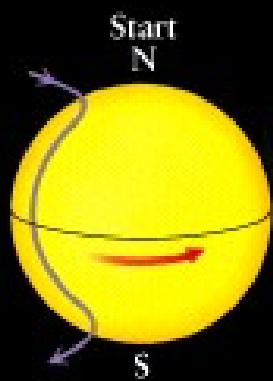


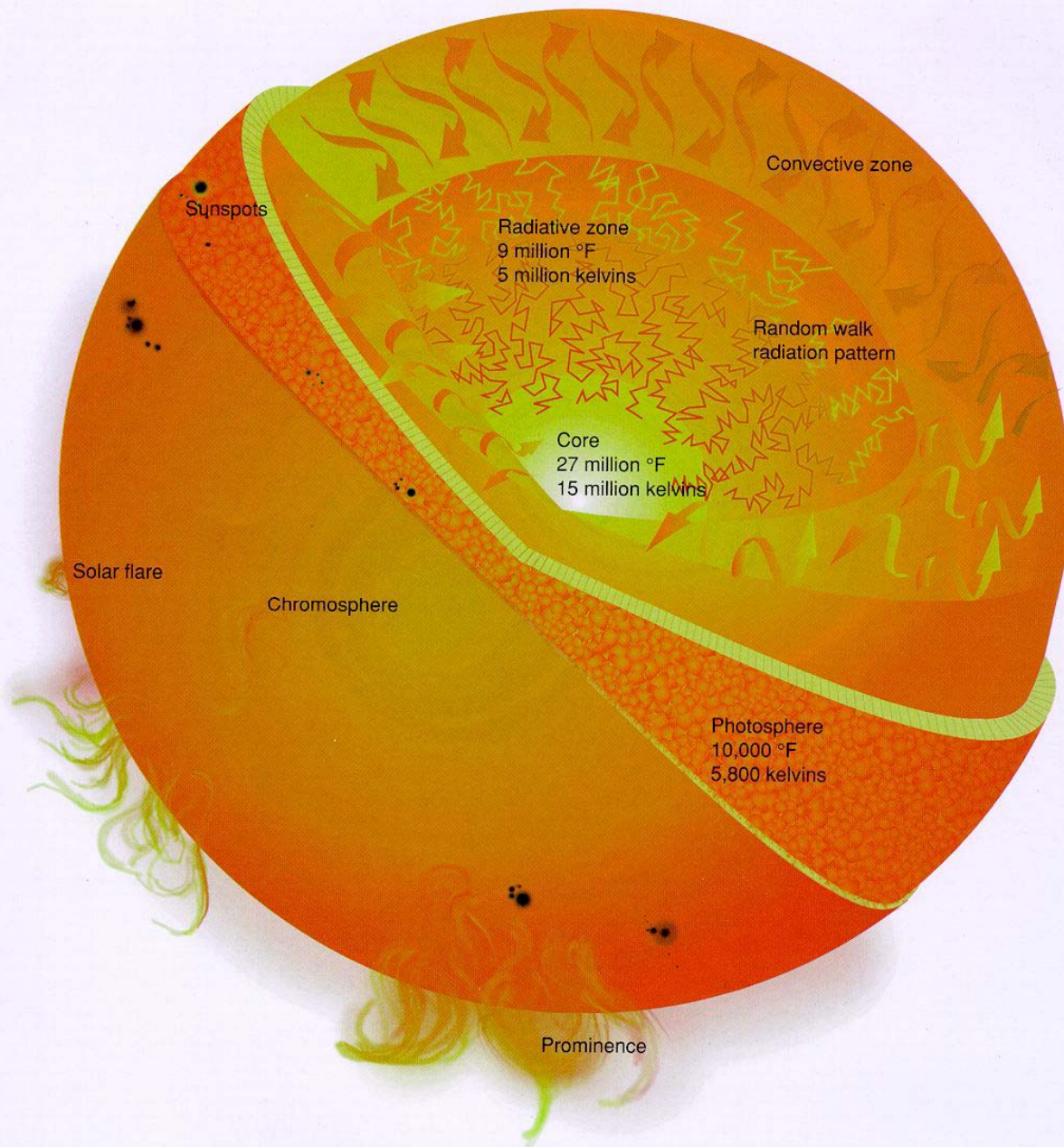
Ett dipolfält har en nord- och en syd-pol.



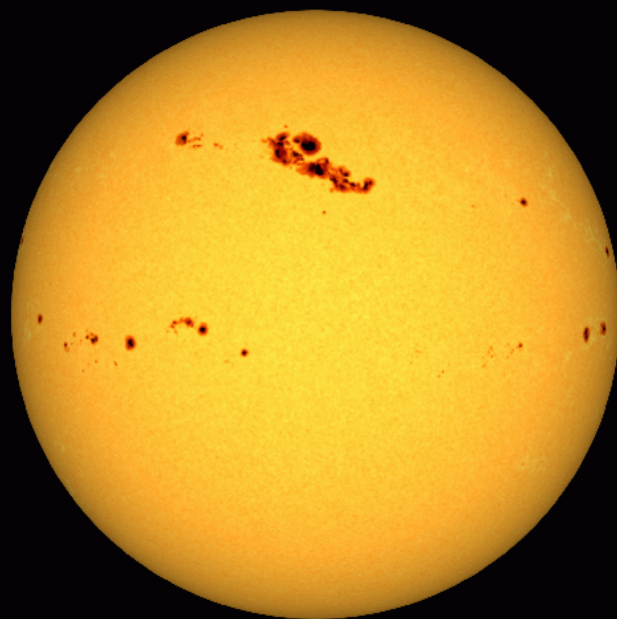
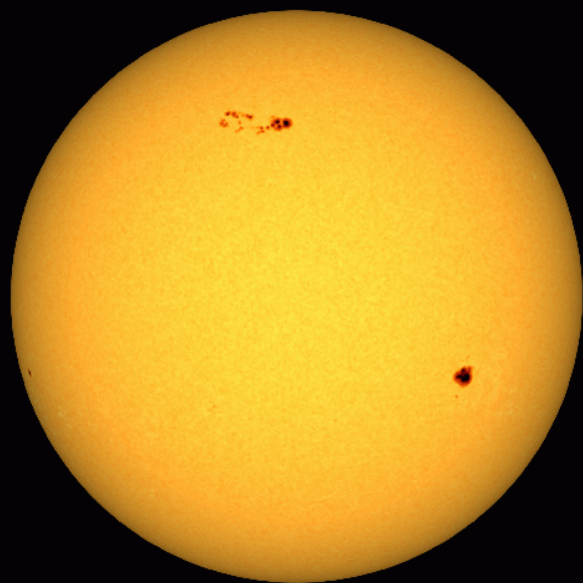




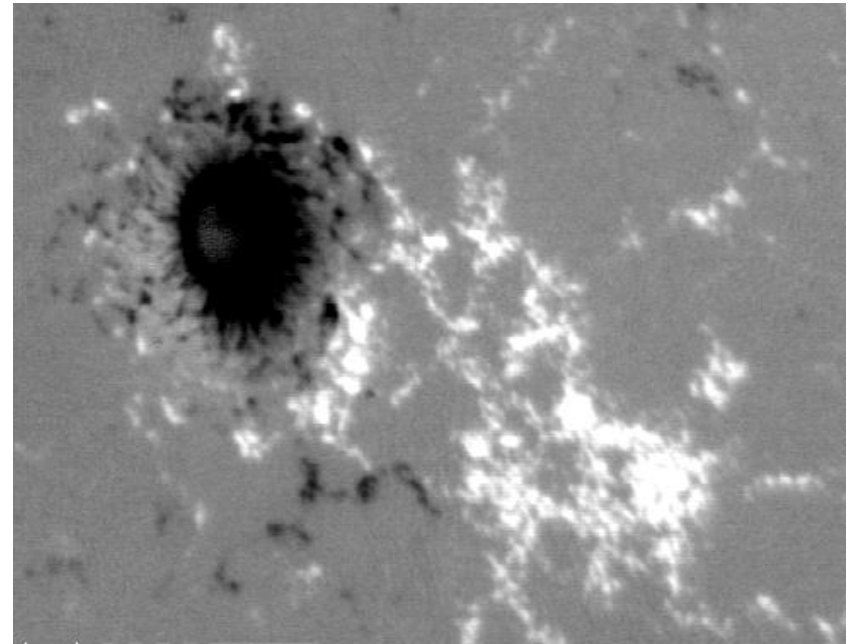
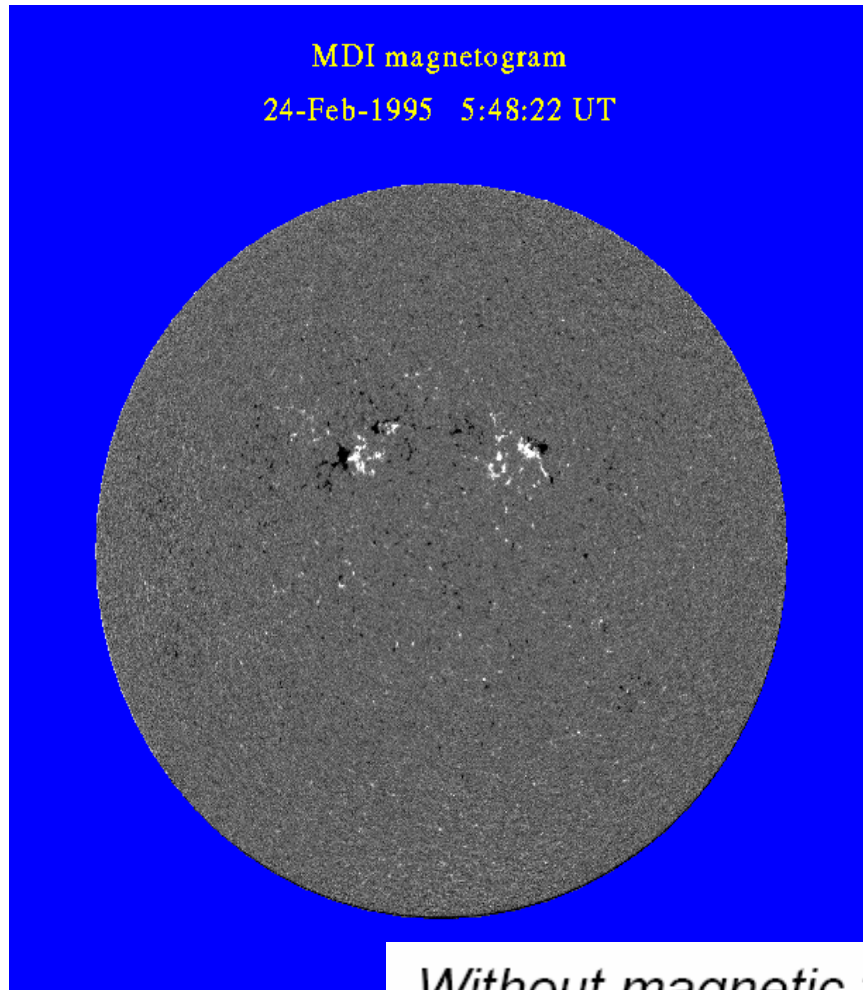




INTERNAL STRUCTURE OF THE SUN



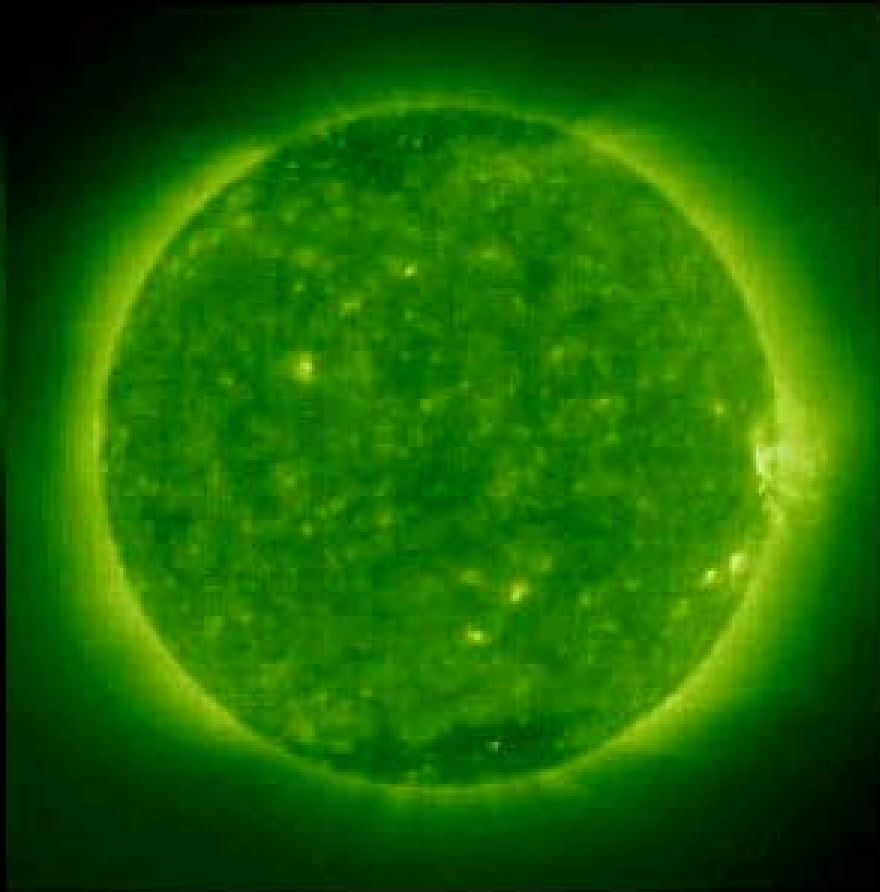
Magnetogram



*Without magnetic fields the Sun would be as boring a star
as the nighttime astronomers think it is.*

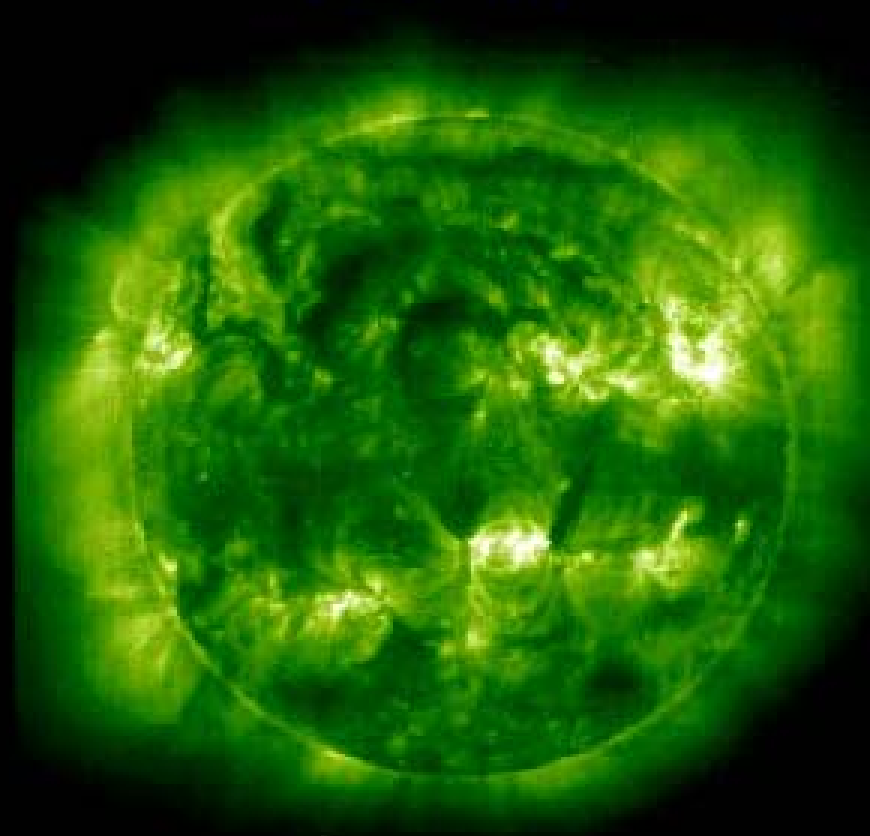
R.B. Leighton

EIT 195 Å
Dec. 1996

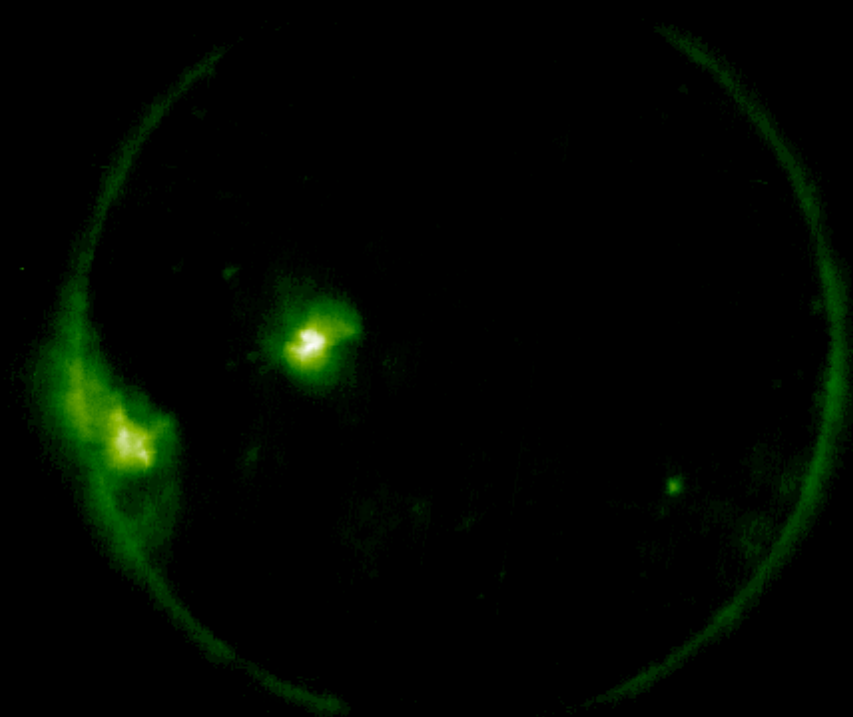
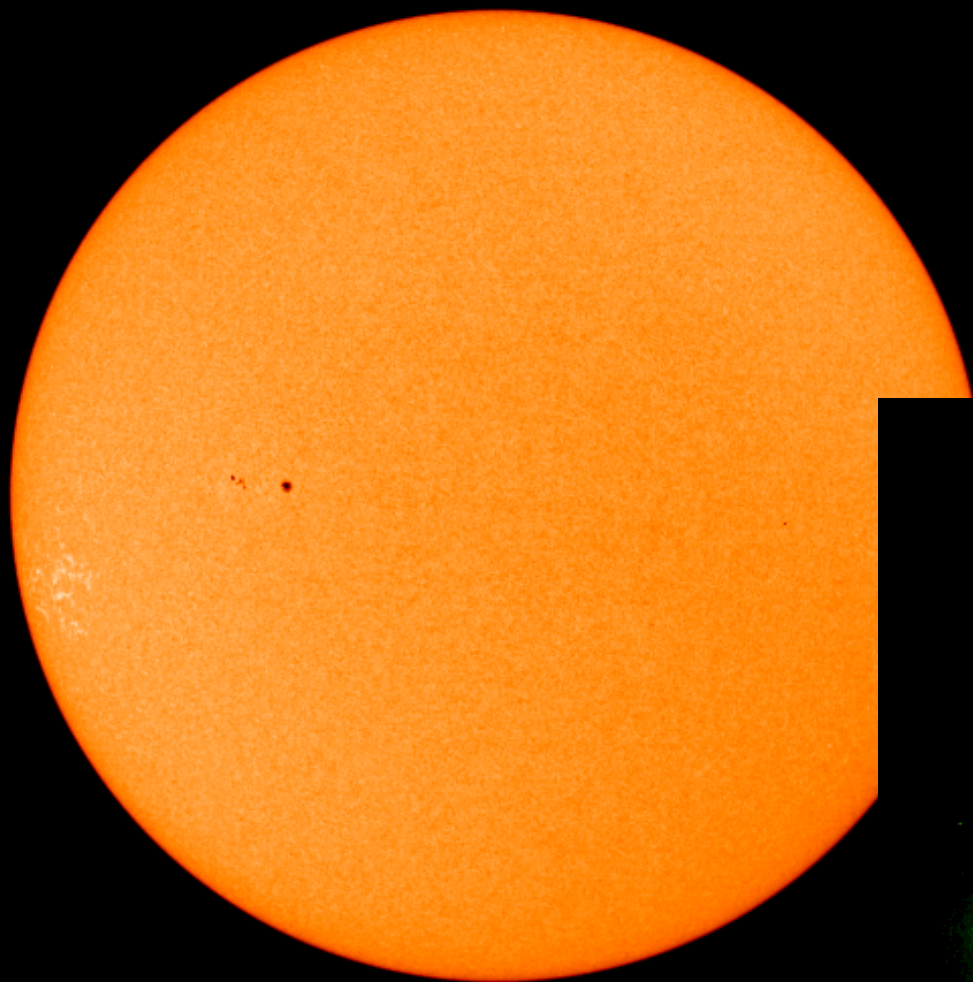


Solfläcksminimum

EIT 195 Å
June 1999



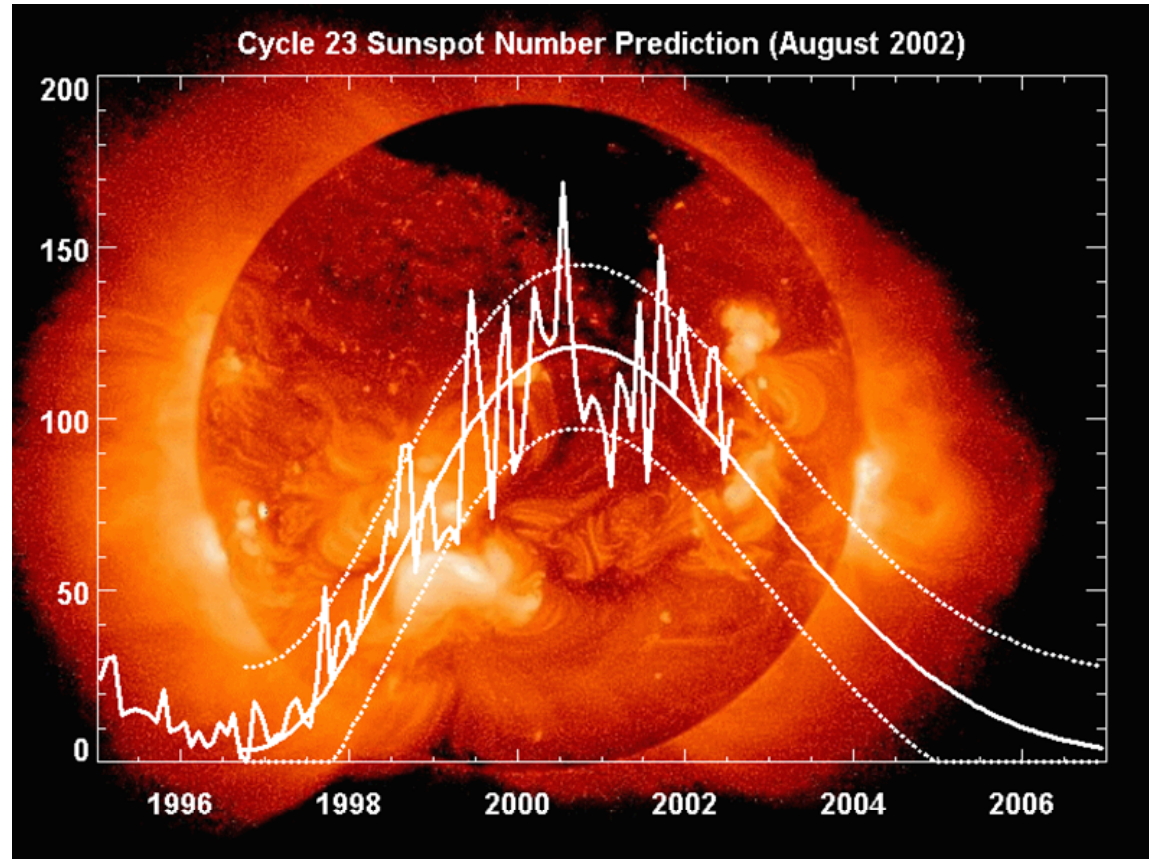
Solfläcksmaximum

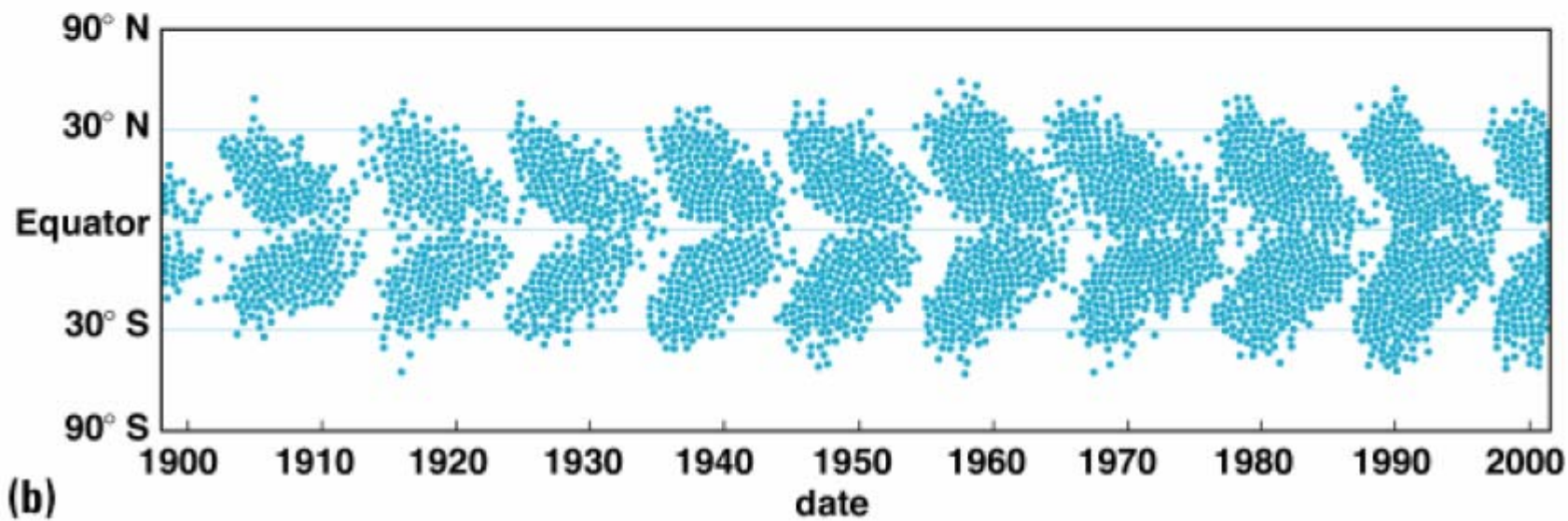
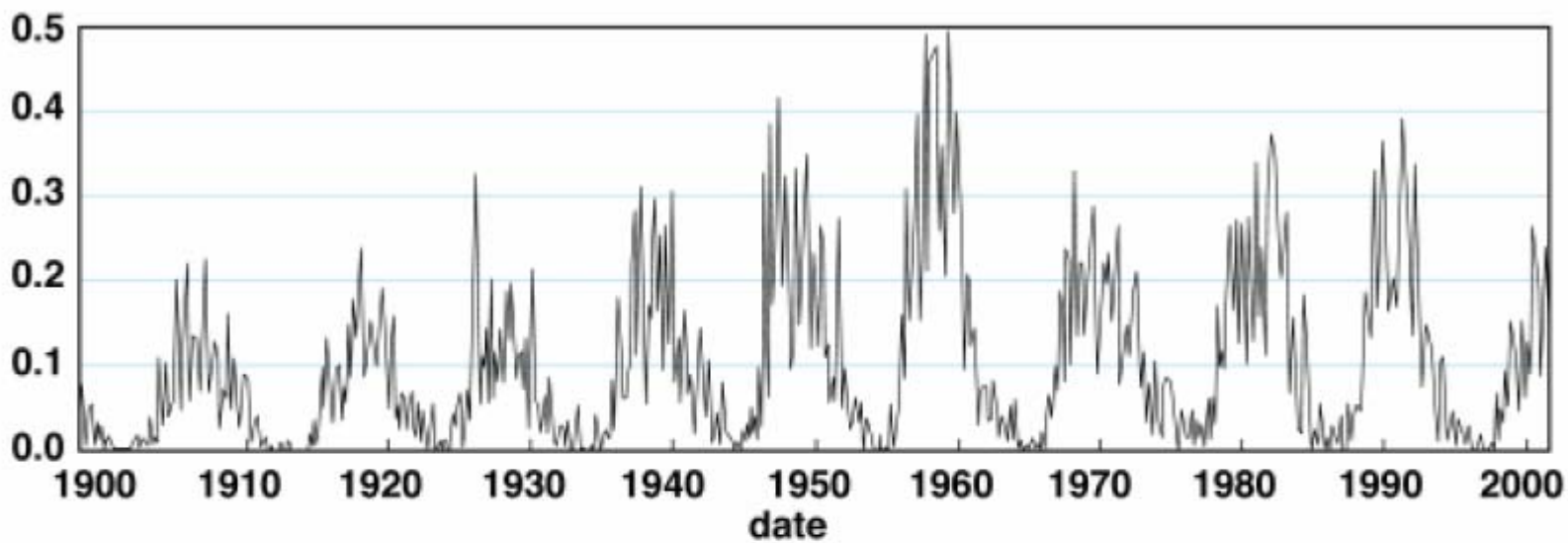


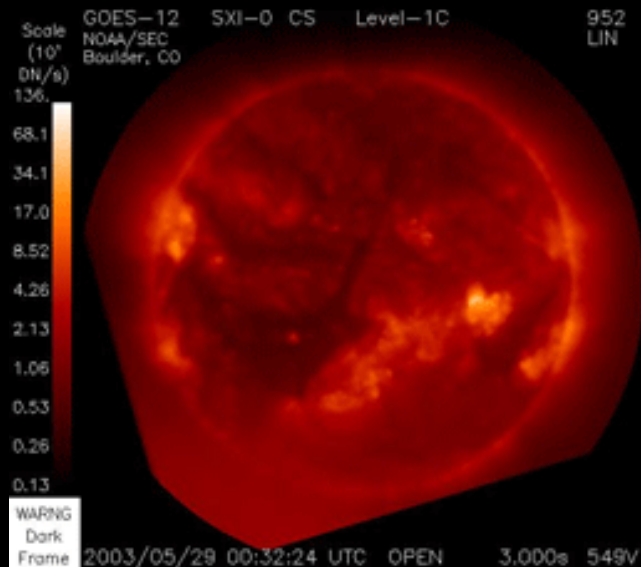
2006/07/26 10:27:59 UT

The solar cycle

The Sun follows an 11-year activity cycle. One indicator of solar activity is the number of sunspots. This chart shows that the Sun was near its peak level or “solar maximum” at late 2000 or early 2001.

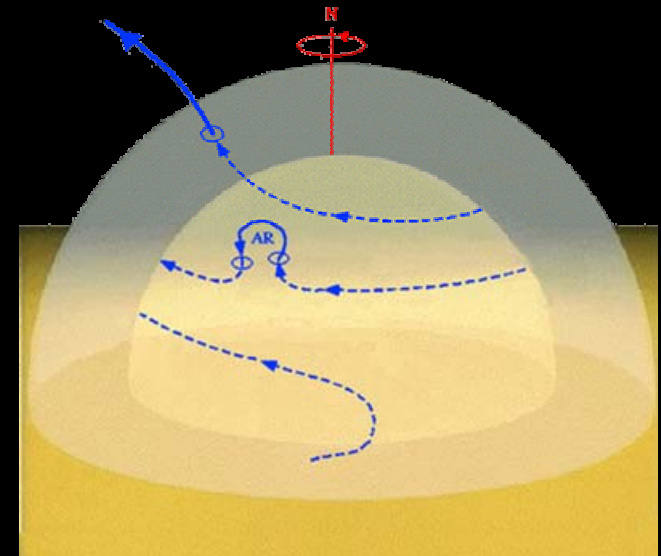




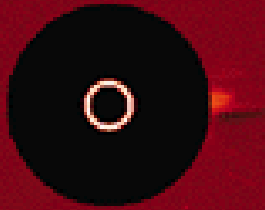


Solutbrott (*Solflare*) observerades för första gången i samband med kraftiga norrsken 1859.

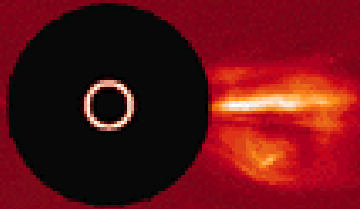
Ett solutbrott är en våldsam explosion där magnetisk energi motsvarande miljontals vätebomber frigörs. Ett utbrott varar normalt 1 - 20 minuter.



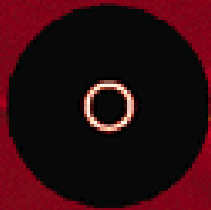
07:08 UT



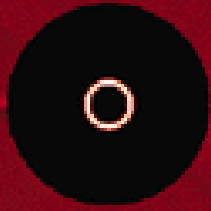
10:08 UT



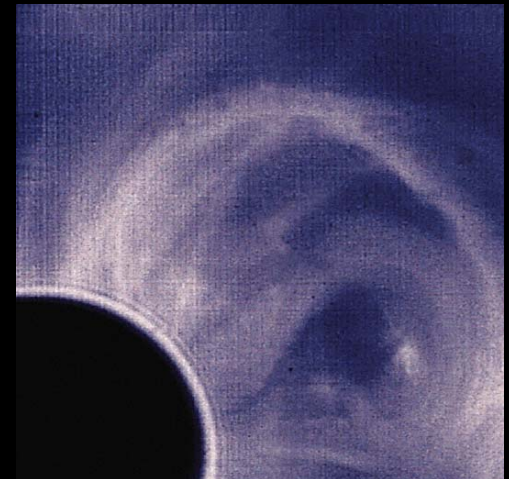
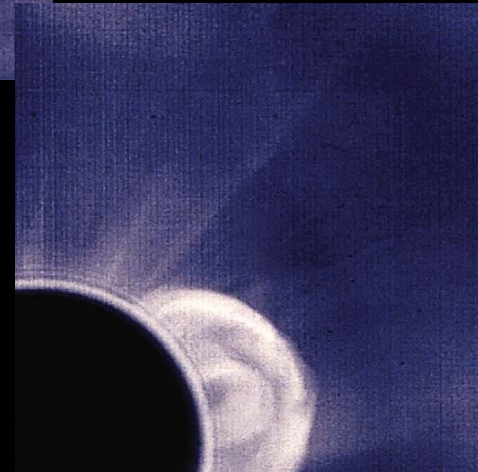
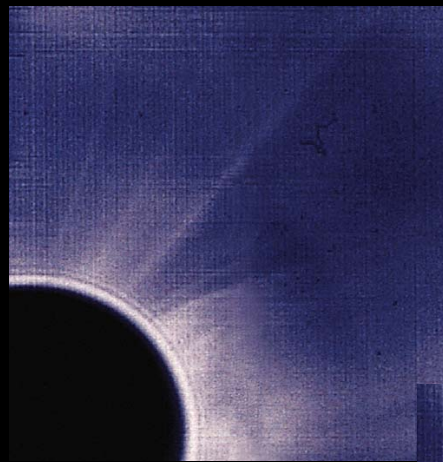
13:14 UT



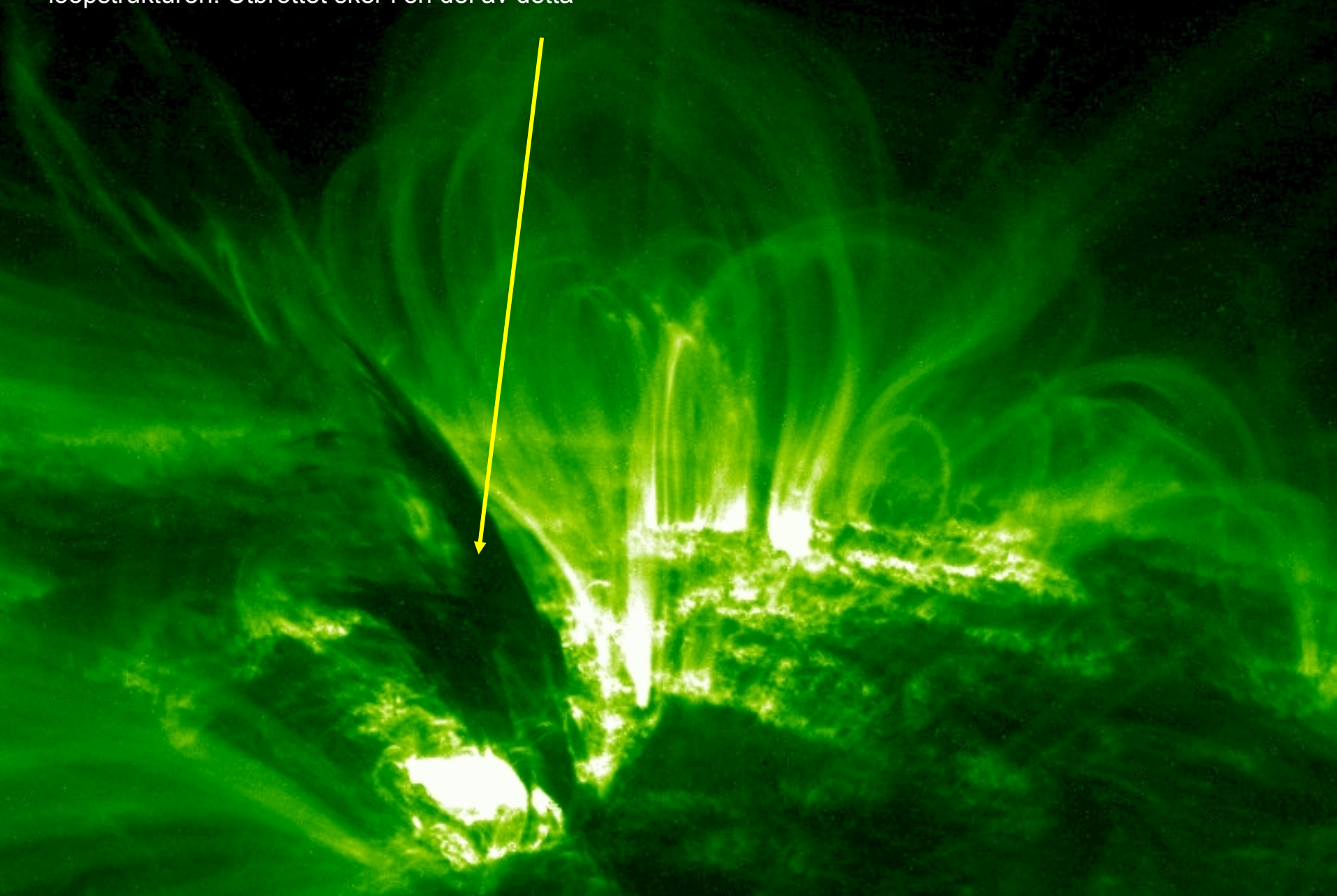
15:10 UT



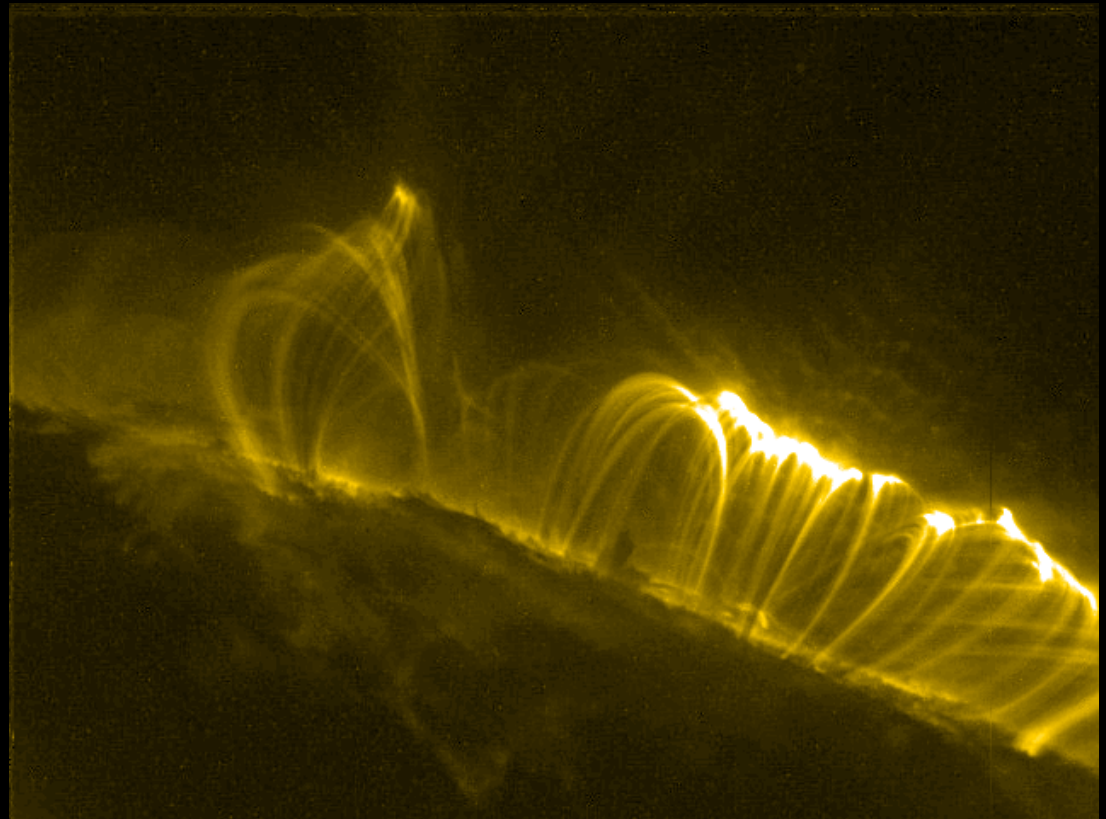
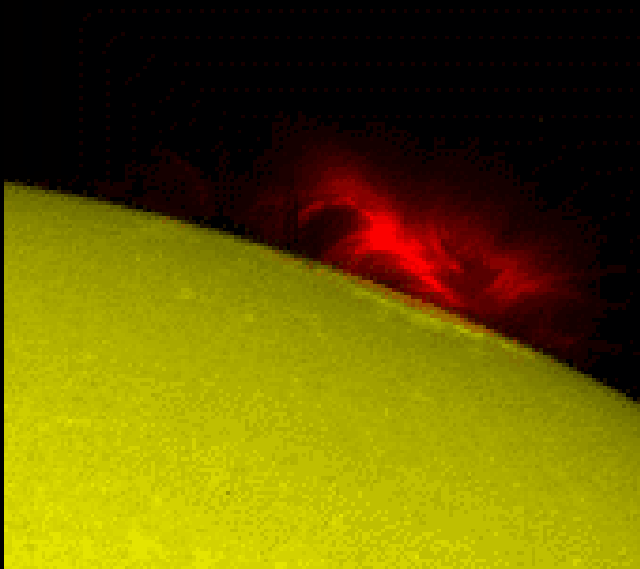
Coronal Mass Ejection



Röntgenbild som visar ett M1.8 flare den 21 Mars 2001. Notera den komplexa loopstrukturen. Utbrottet sker i en del av detta

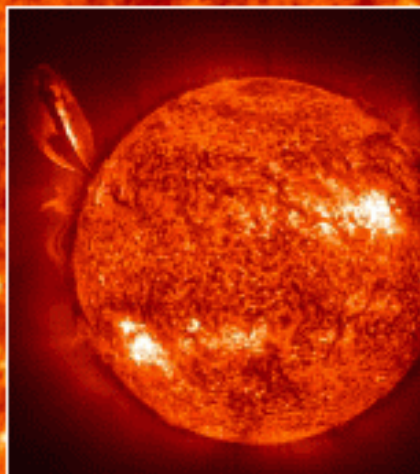
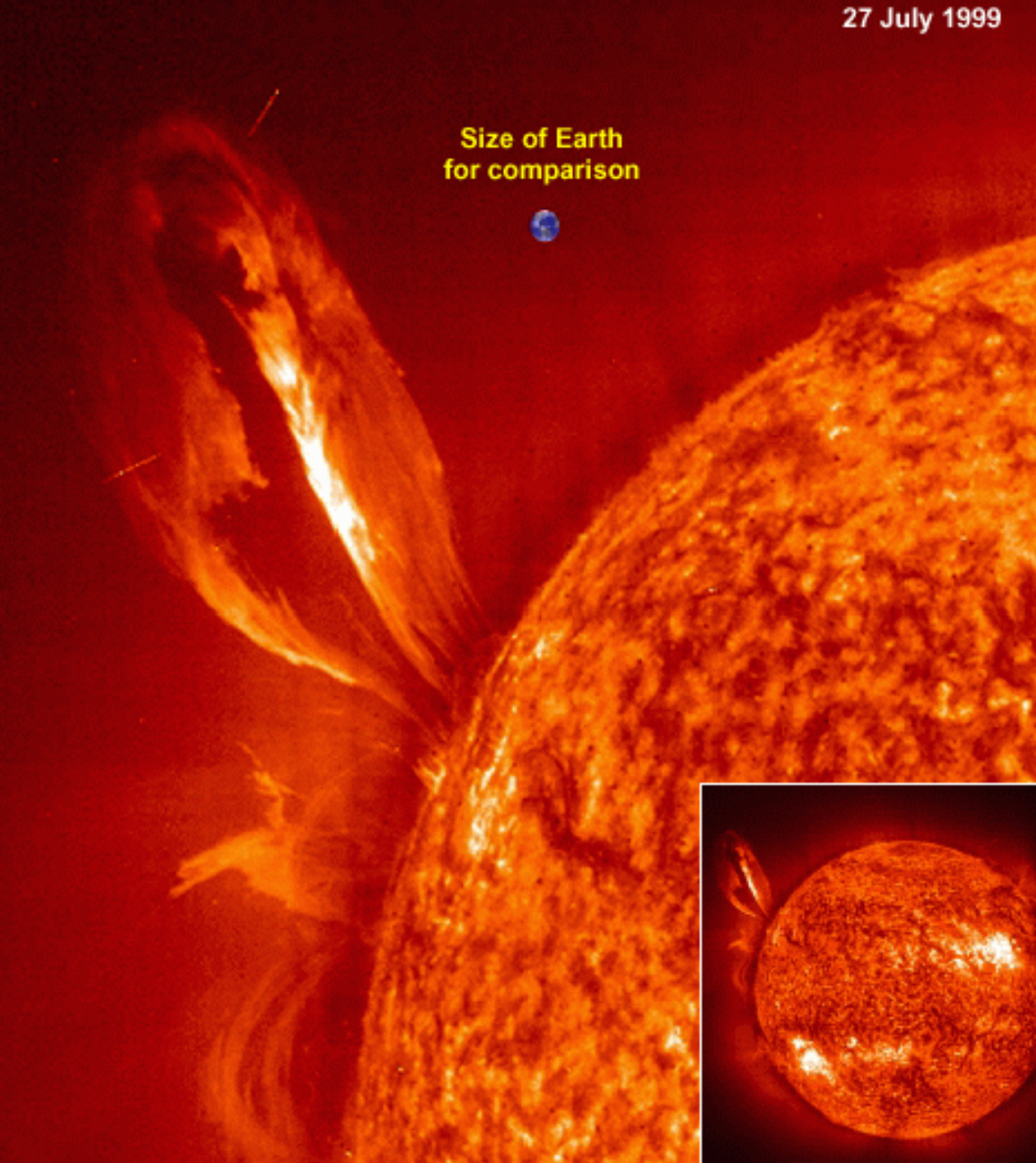


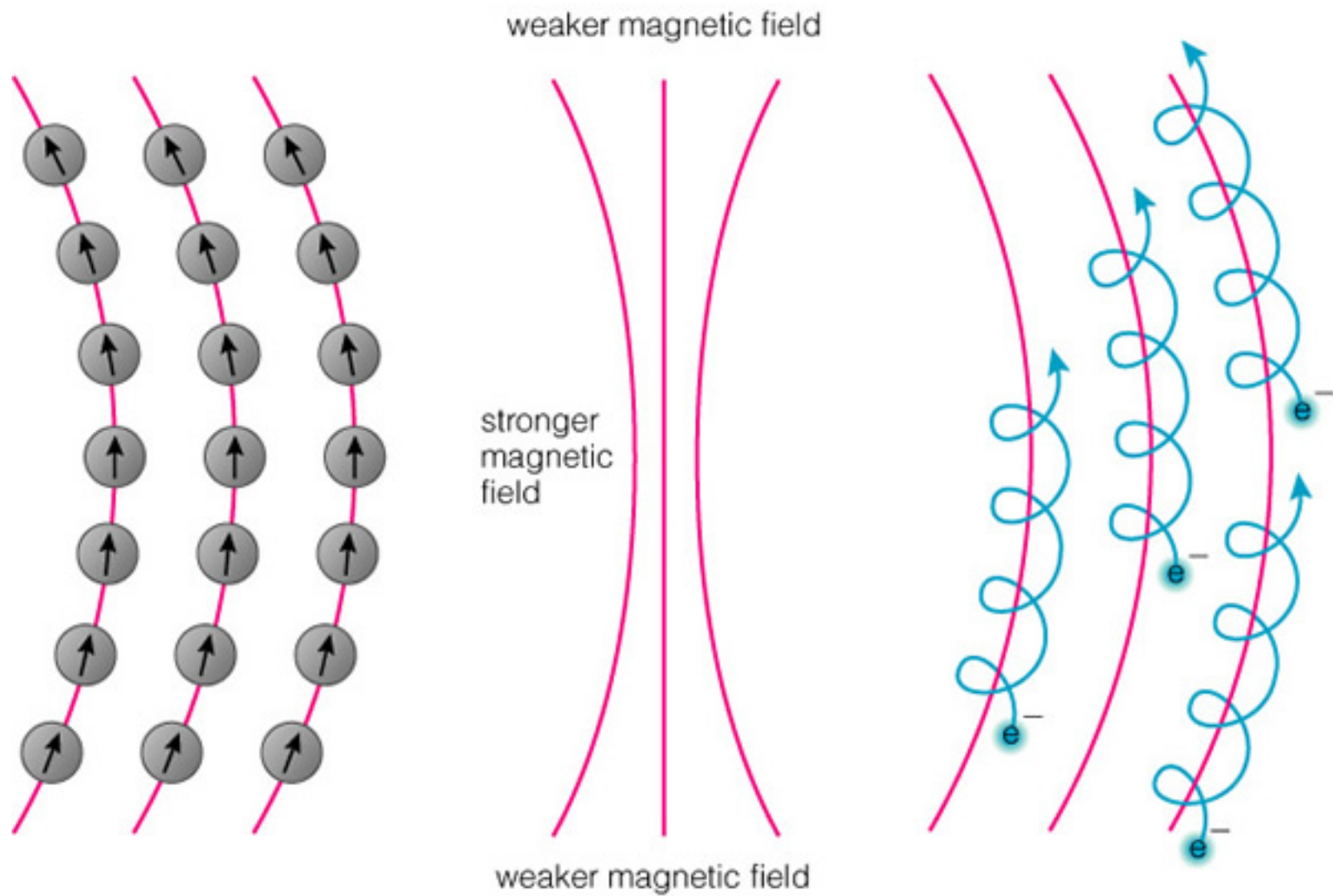
Den 28 Oktober 2003 observerade satelliten TRACE, det hittills kraftigaste röntgenutbrottet på solen (se film).



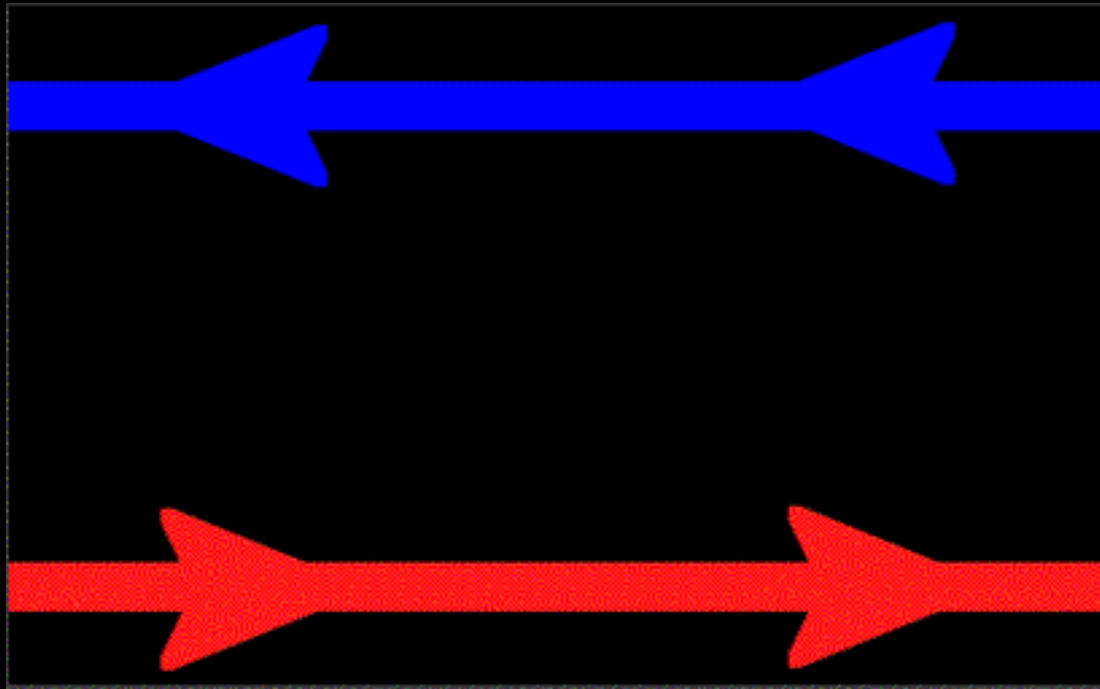
27 July 1999

Size of Earth
for comparison



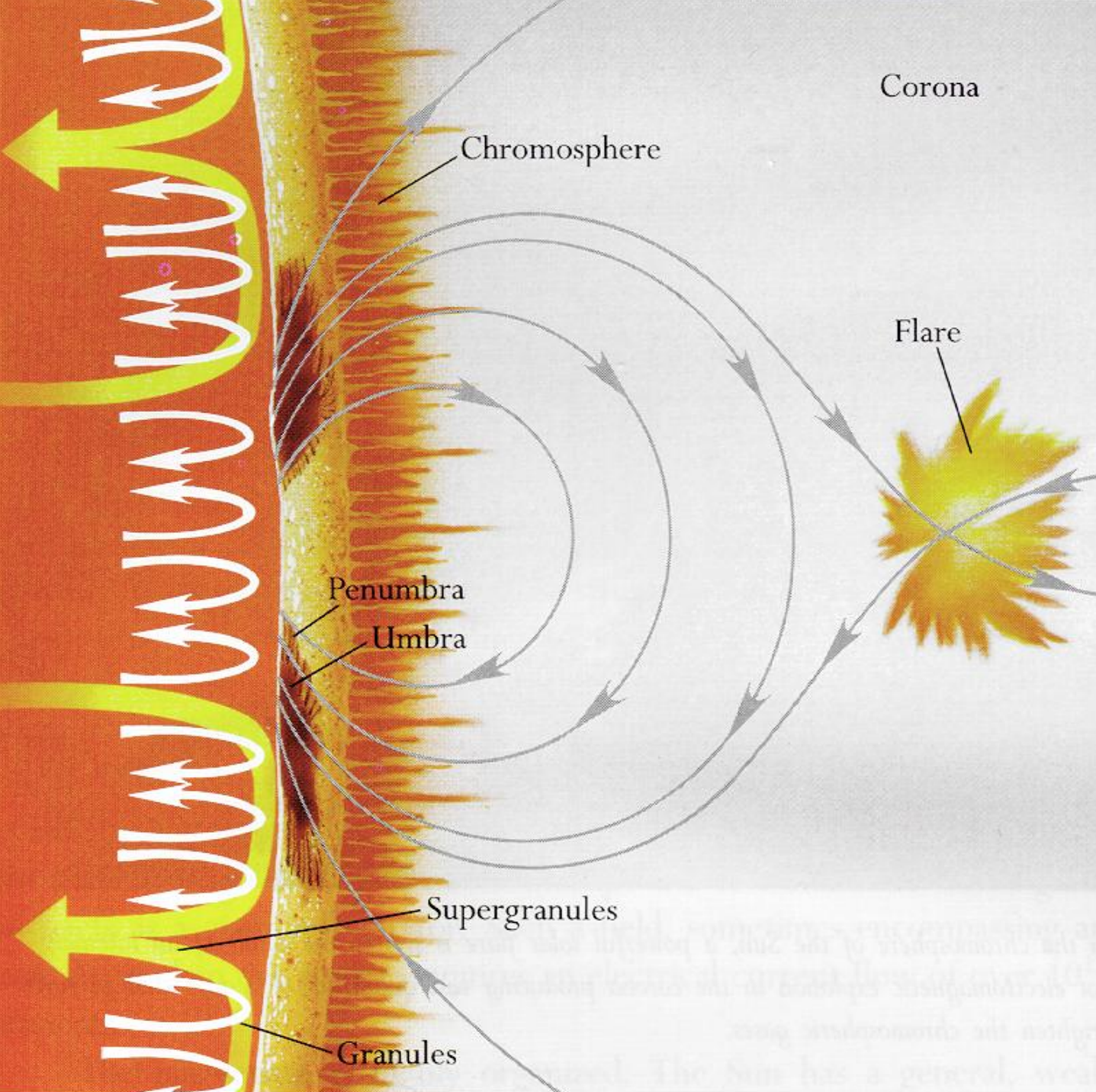


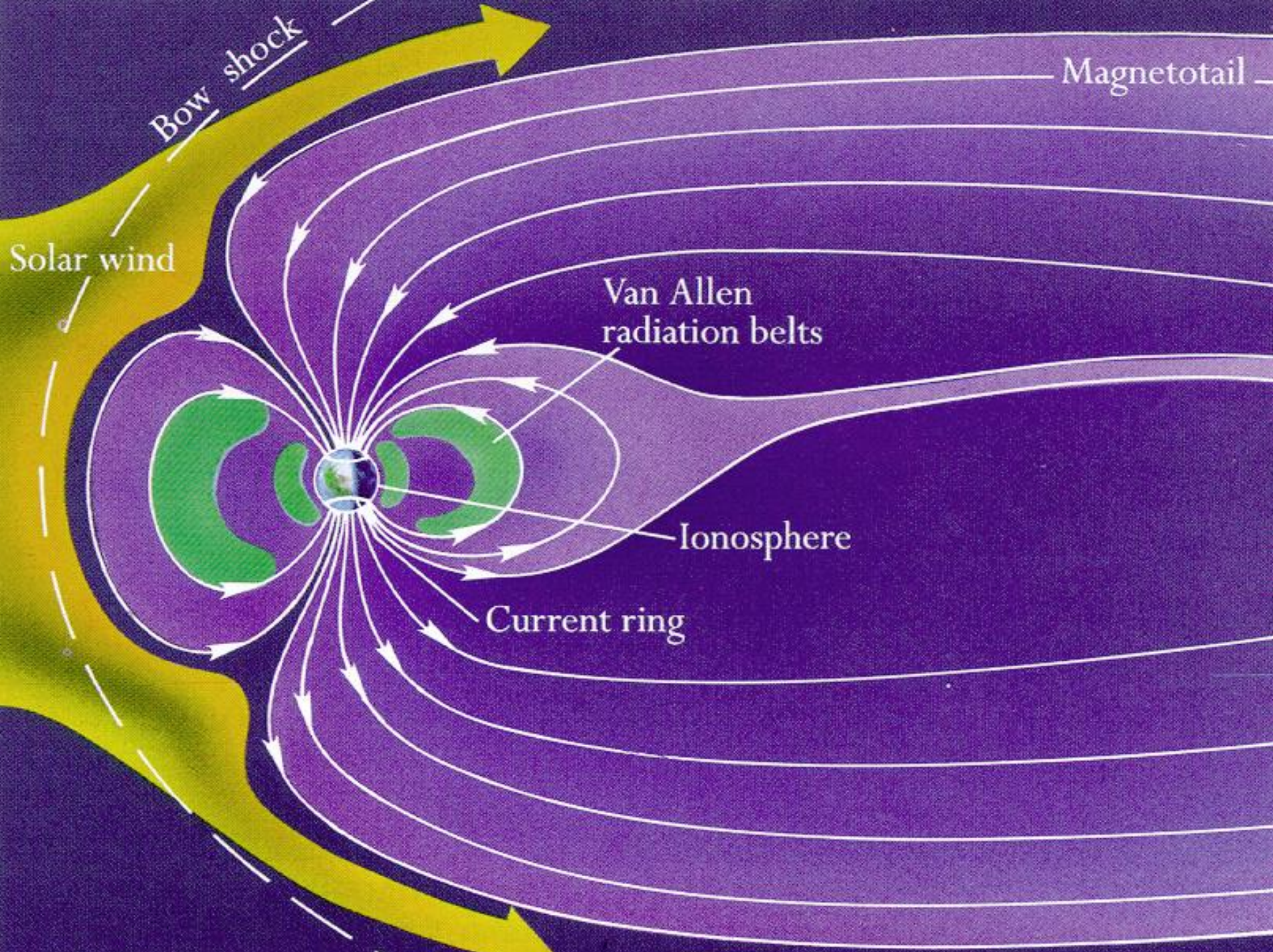
Magnetic reconnection





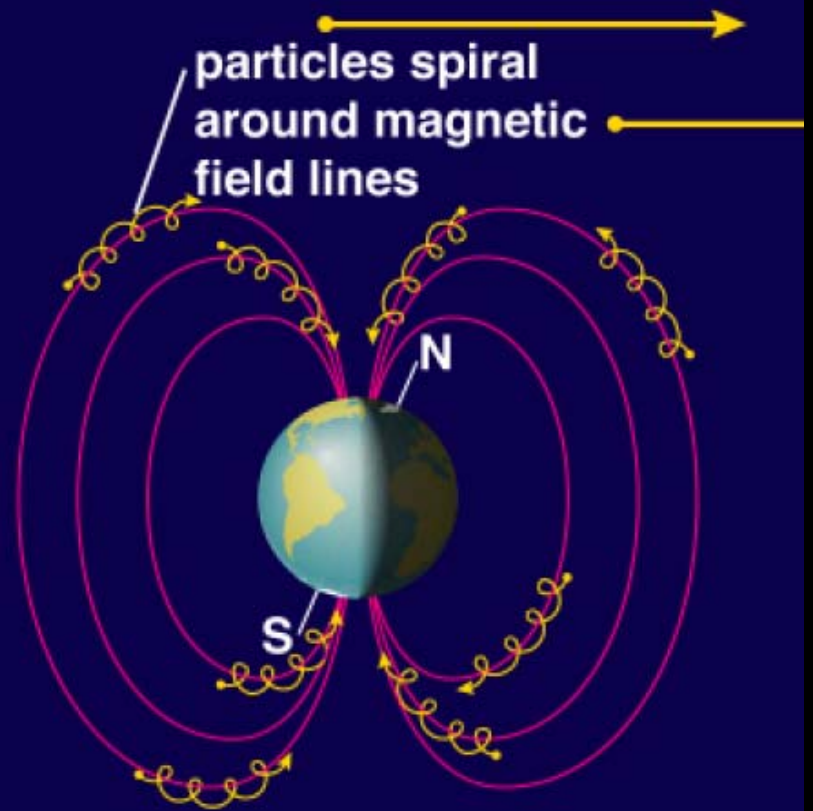
SOLAR EXPLOSIVE FLARE WITH CORONAL MASS EJECTION

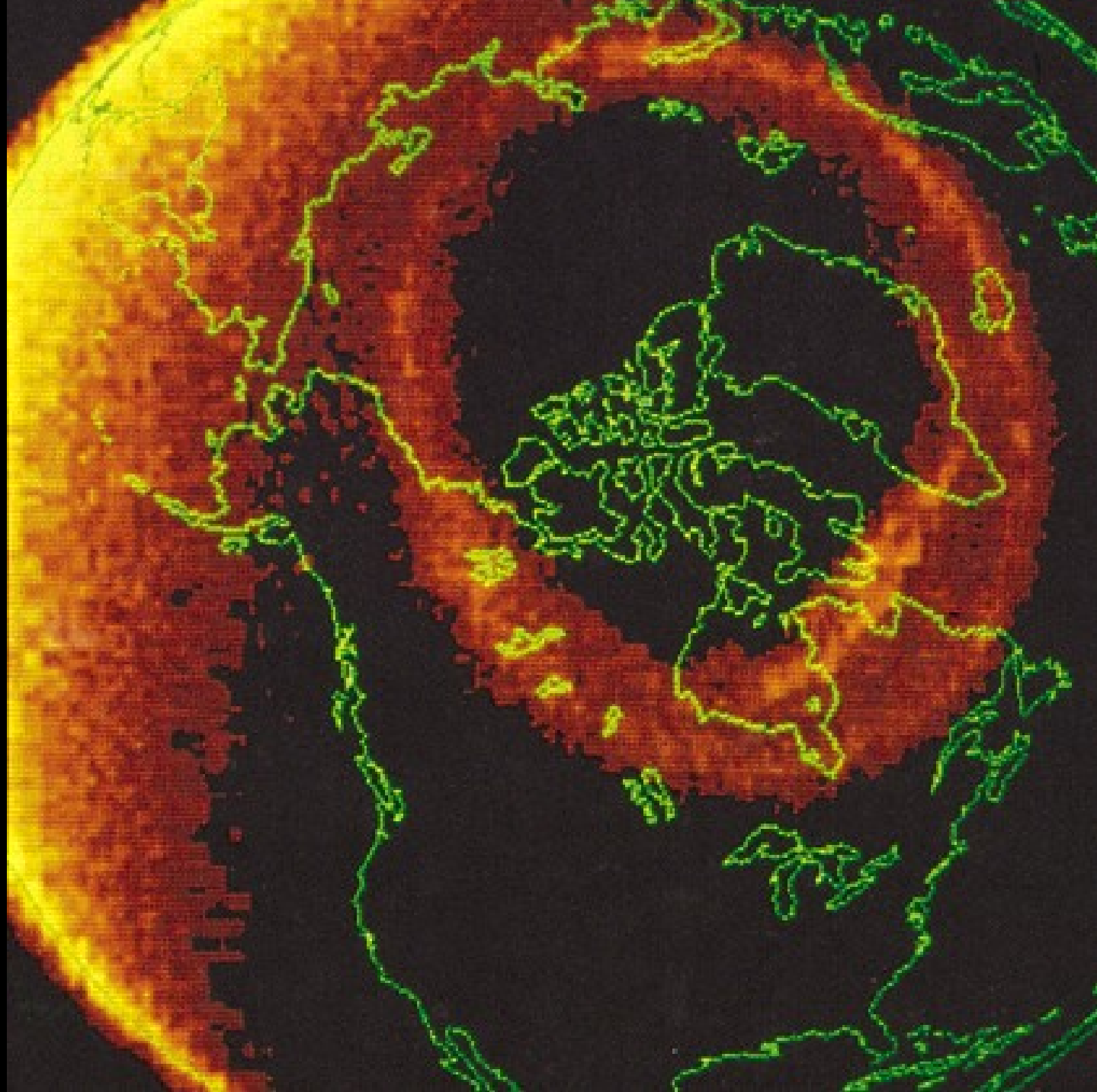




**stream of solar
particles from
solar wind**

**particles spiral
around magnetic
field lines**



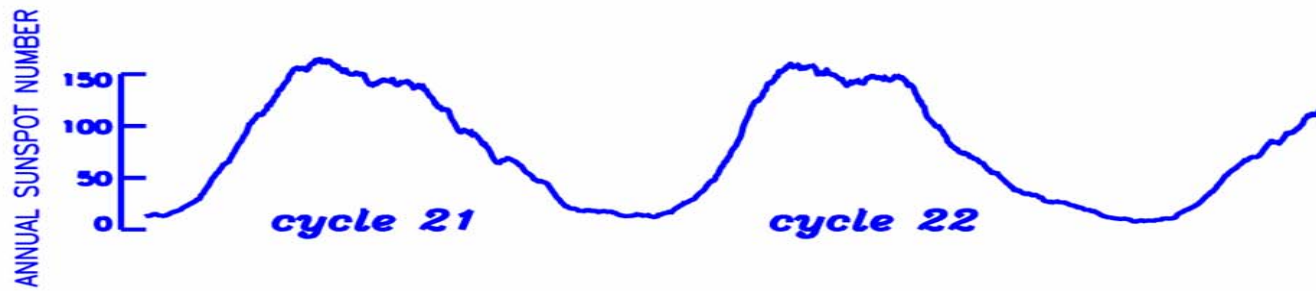
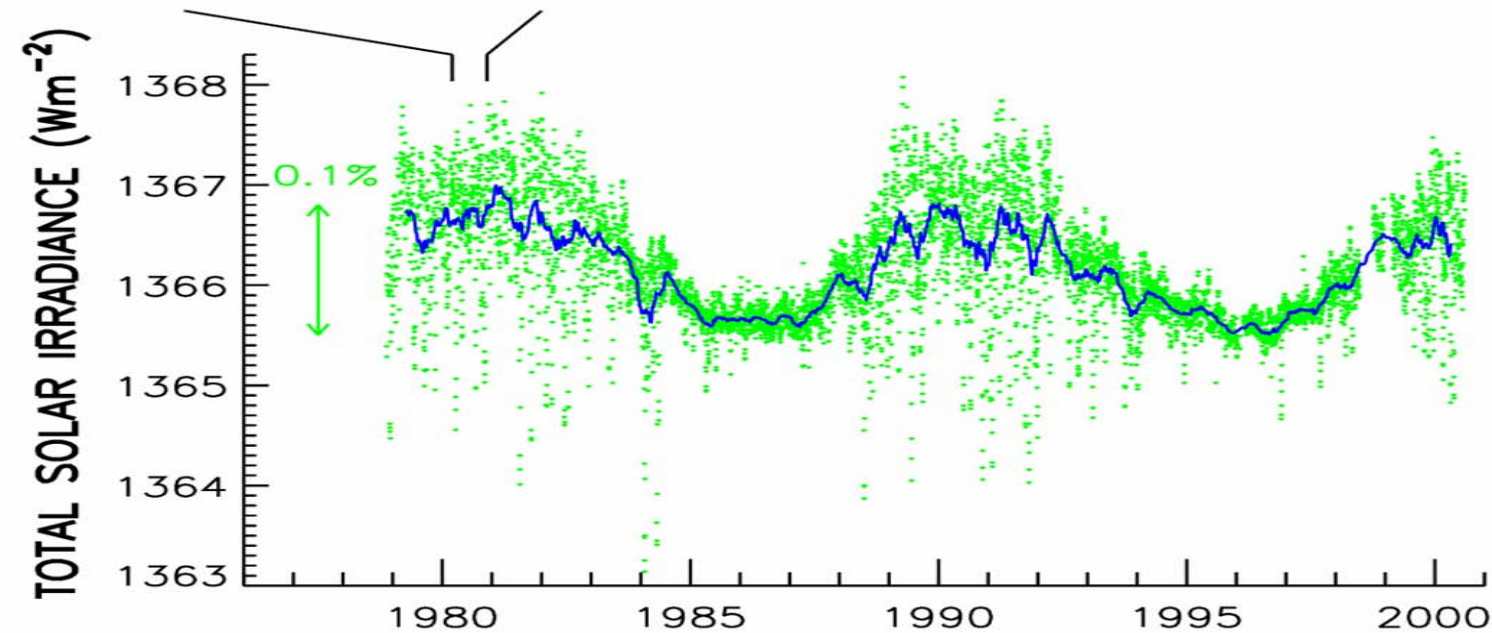
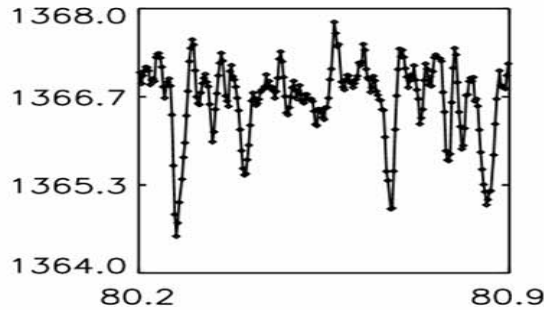




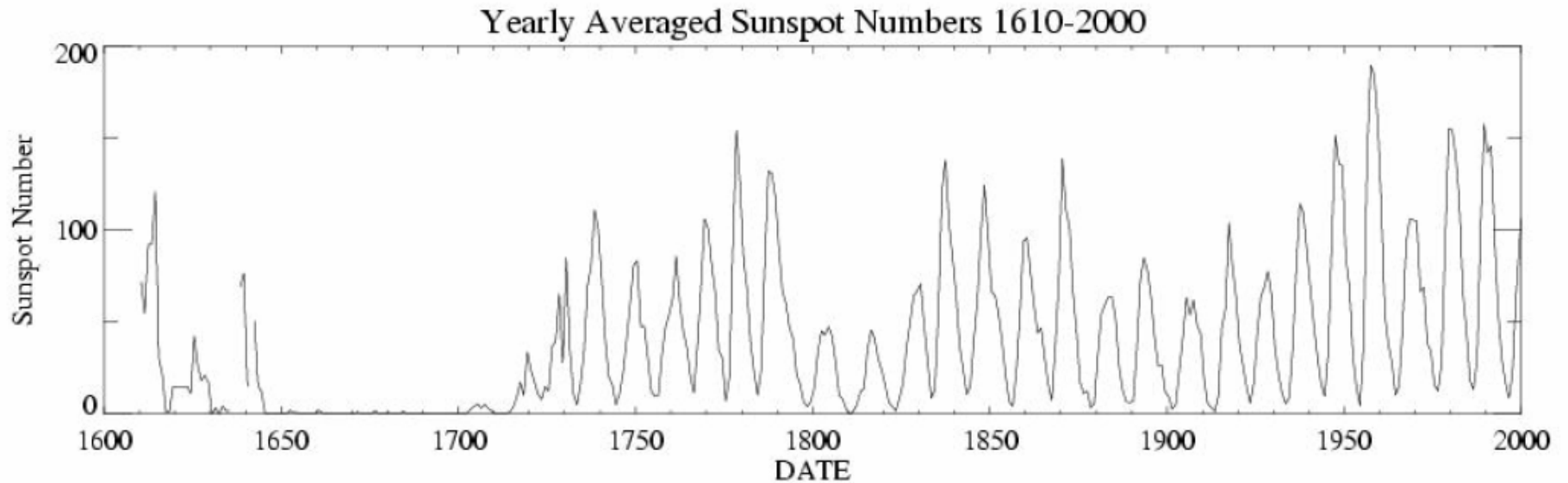




Total solbelysning på Jorden varierar över solfläckscykeln, men bara med 0,1 %.
Belysningen är starkast när solen är aktiv.



Solfläckstalet under 400 år



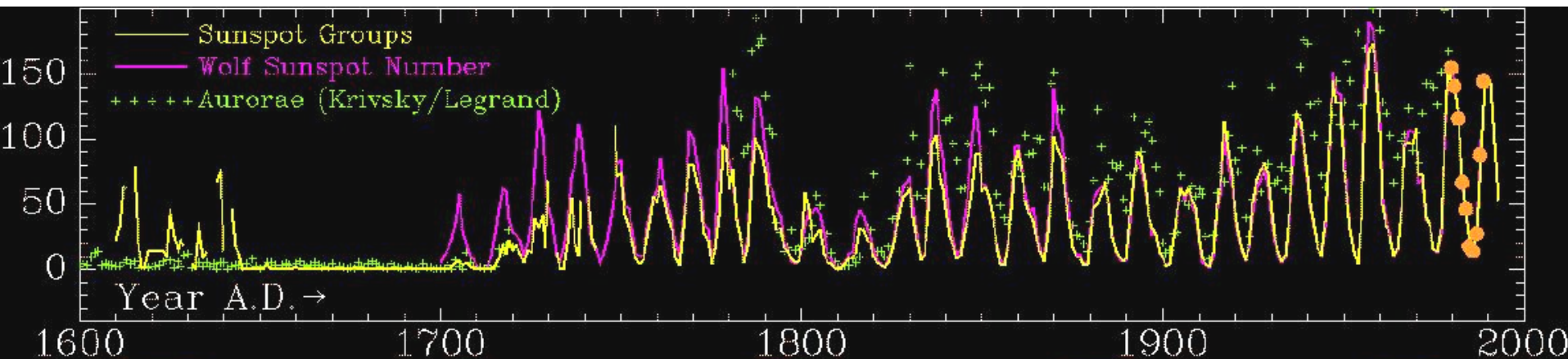
Maunder minimumet

1645 – 1715
mycket få solfläckar

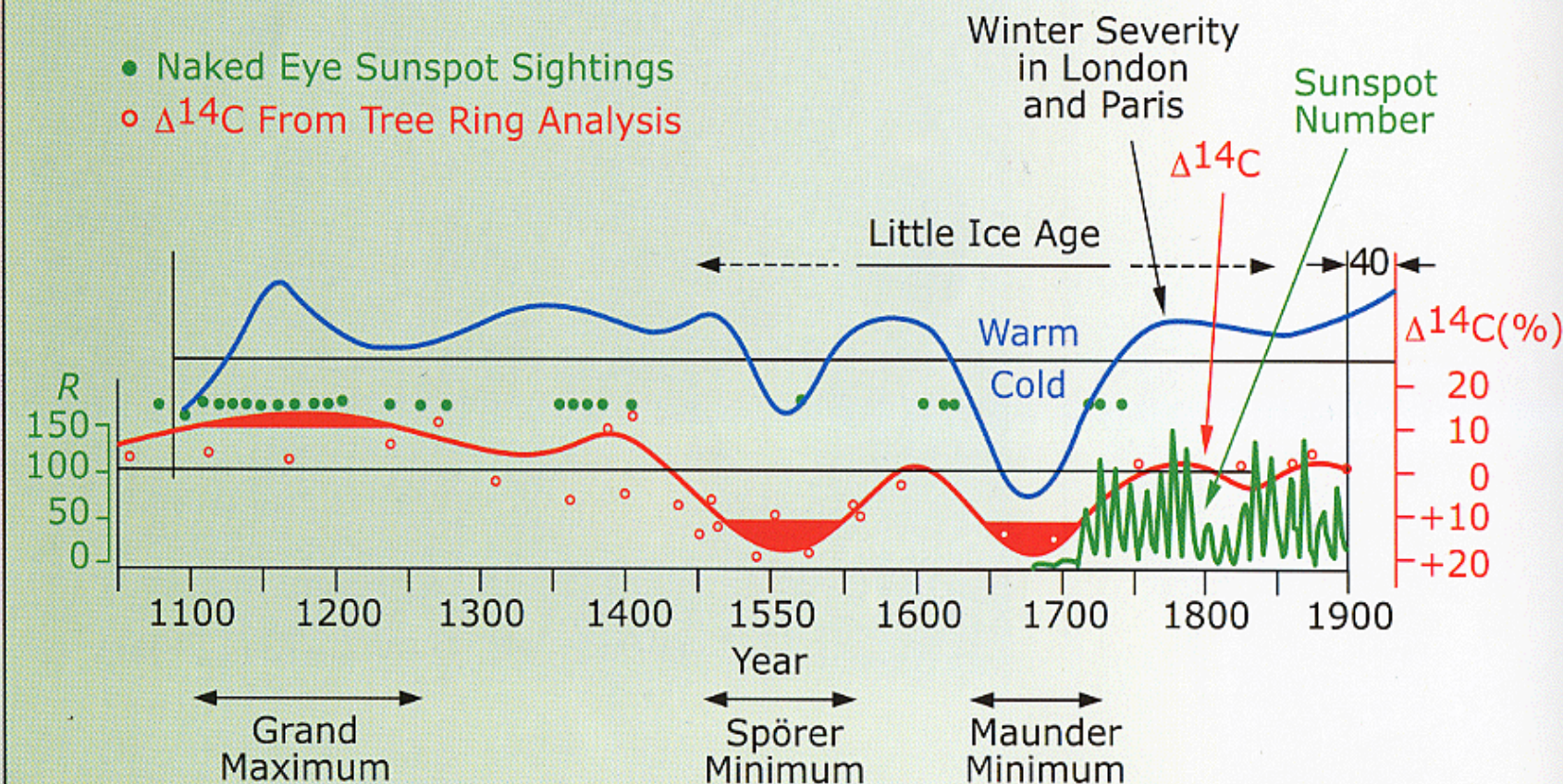
"Lilla istiden"



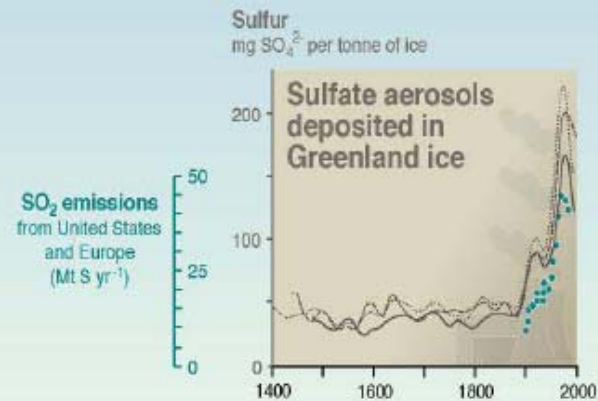
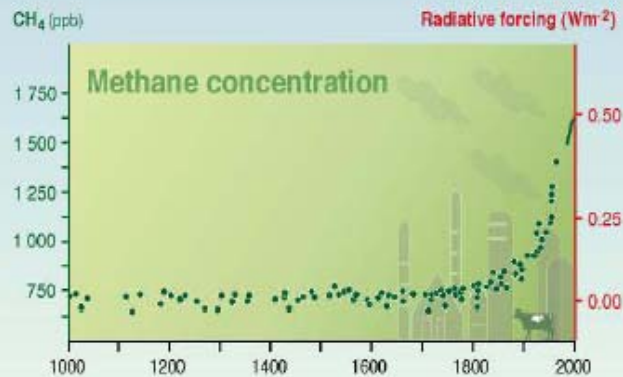
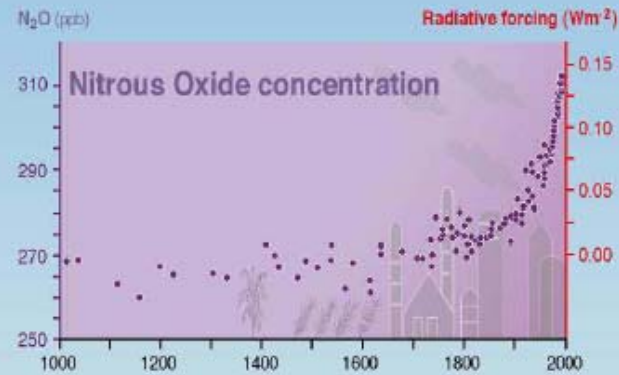
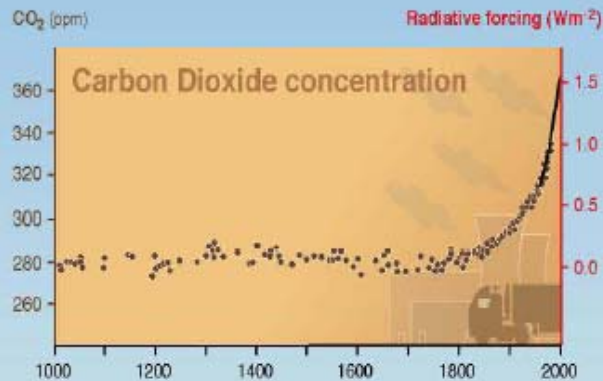
Aert van der Neer



Eddy, 1976, Science, 192, 1189

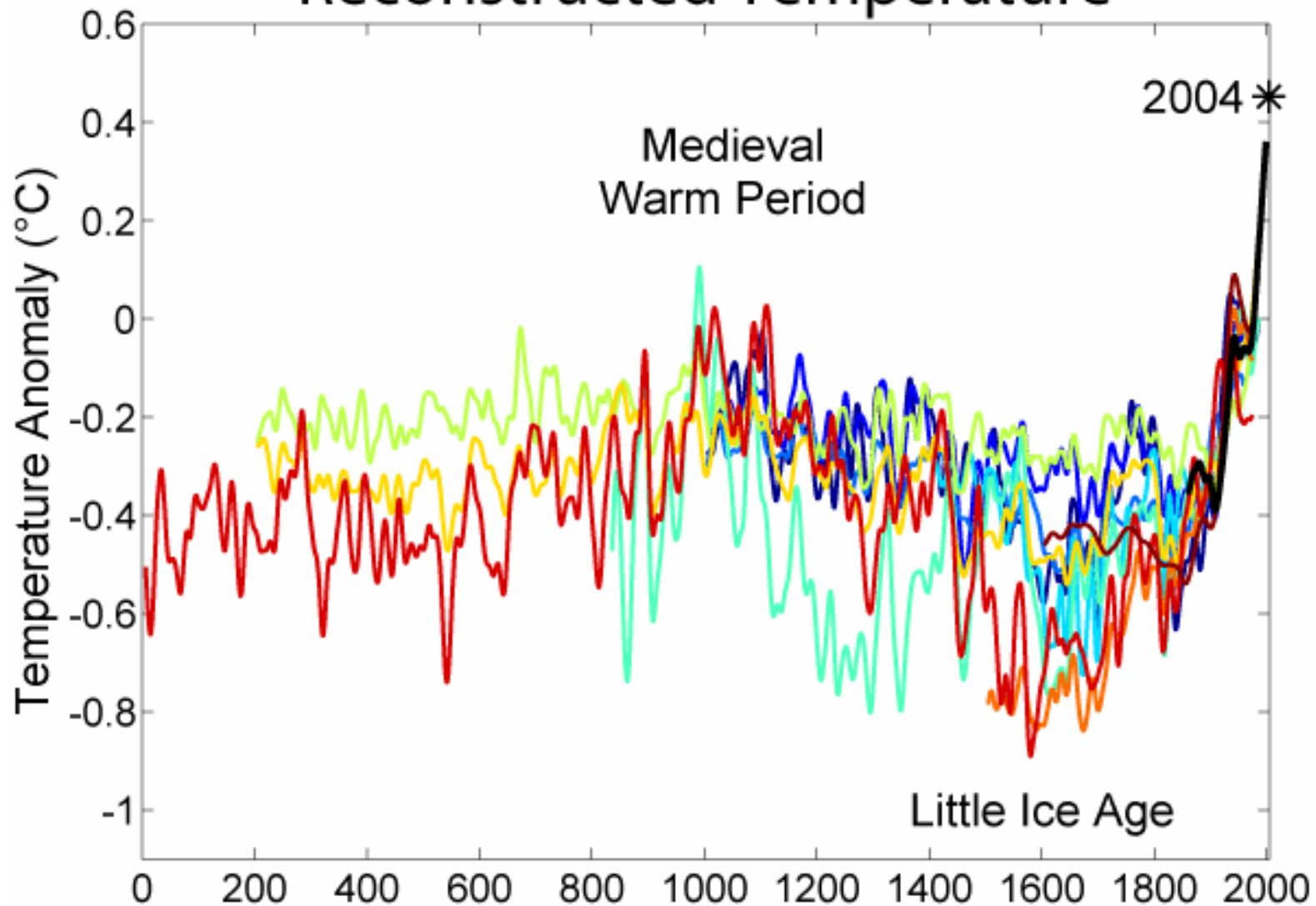


Indicators of the human influence on the atmosphere during the Industrial era

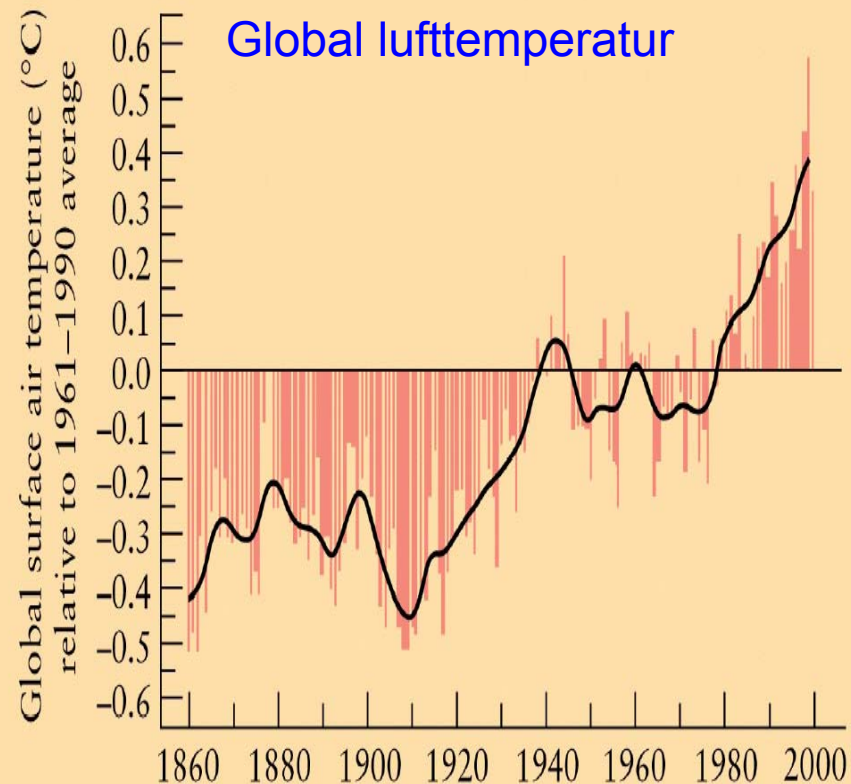
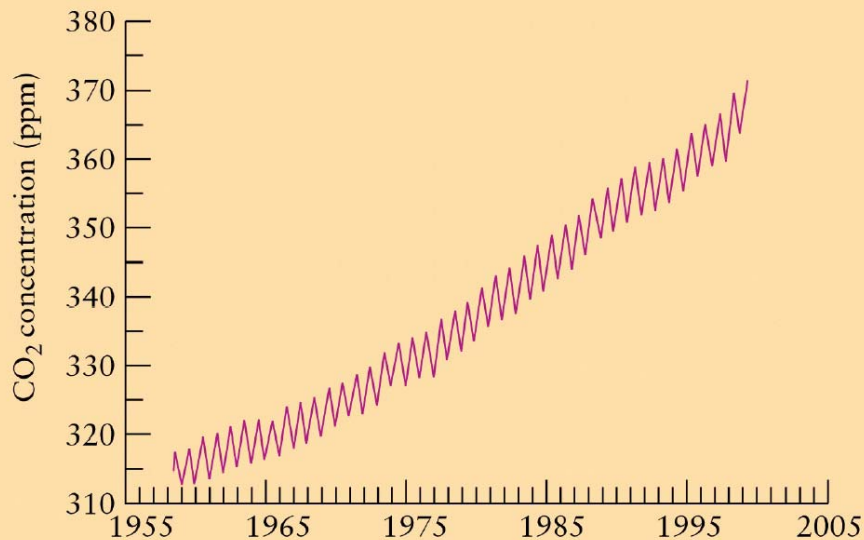


SYR - FIGURE 2-1
WG1 FIGURE SPM-2

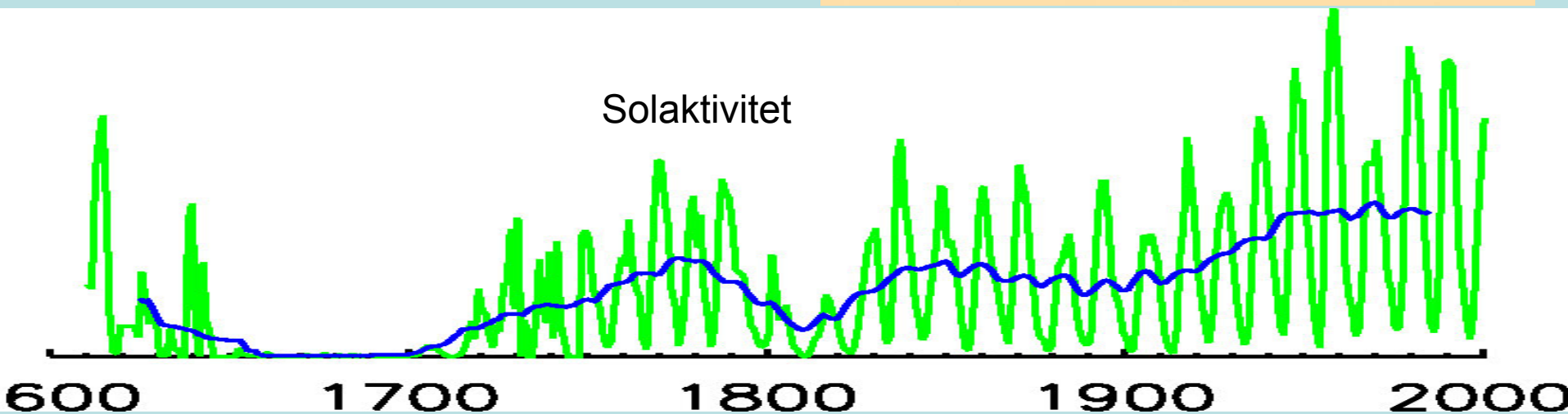
Reconstructed Temperature



Förändringen av koldioxidhalten i jordatmosfären under de senaste 50 åren.



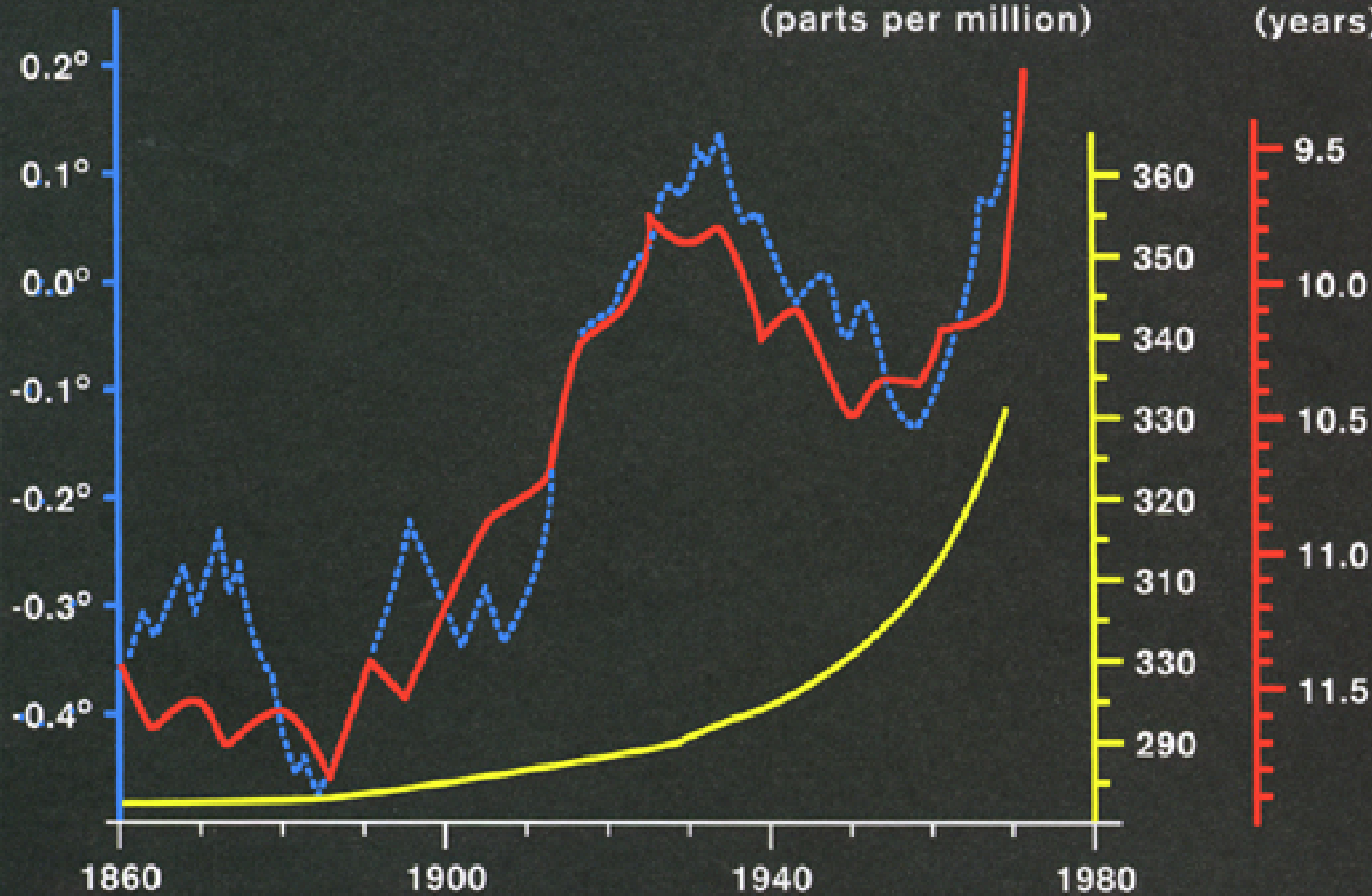
Solaktivitet



Temperature

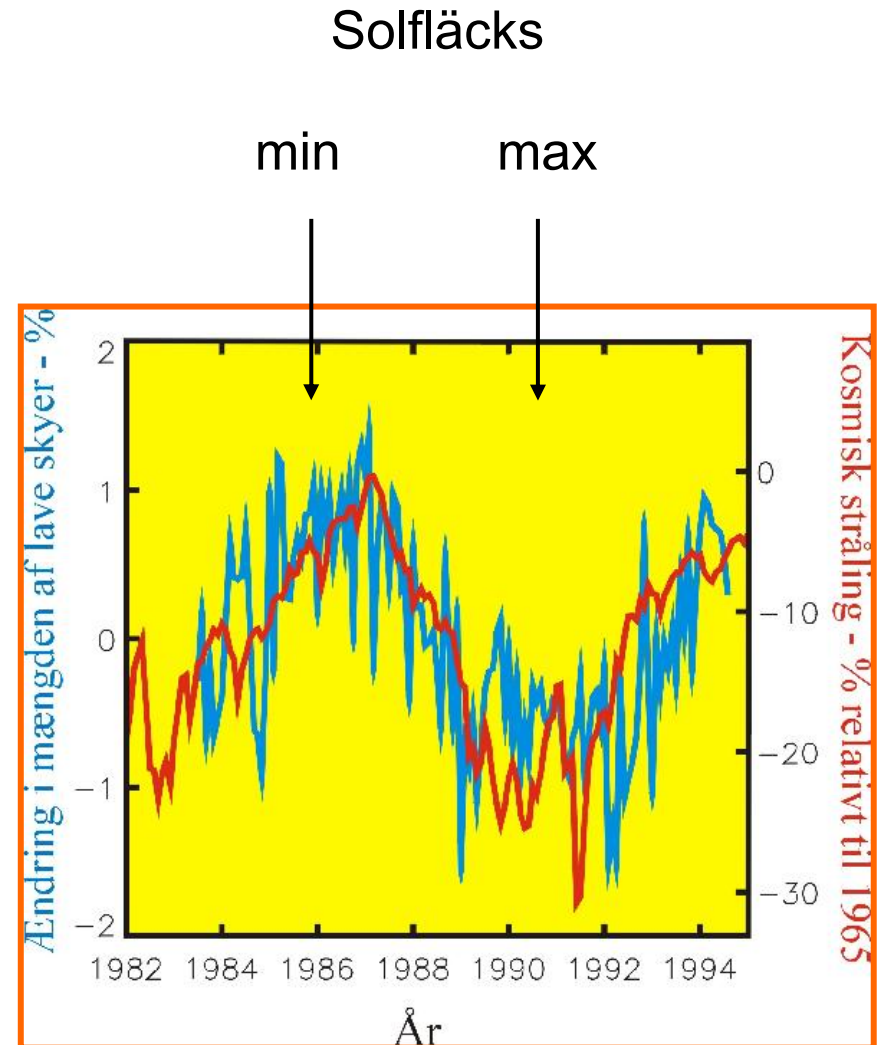
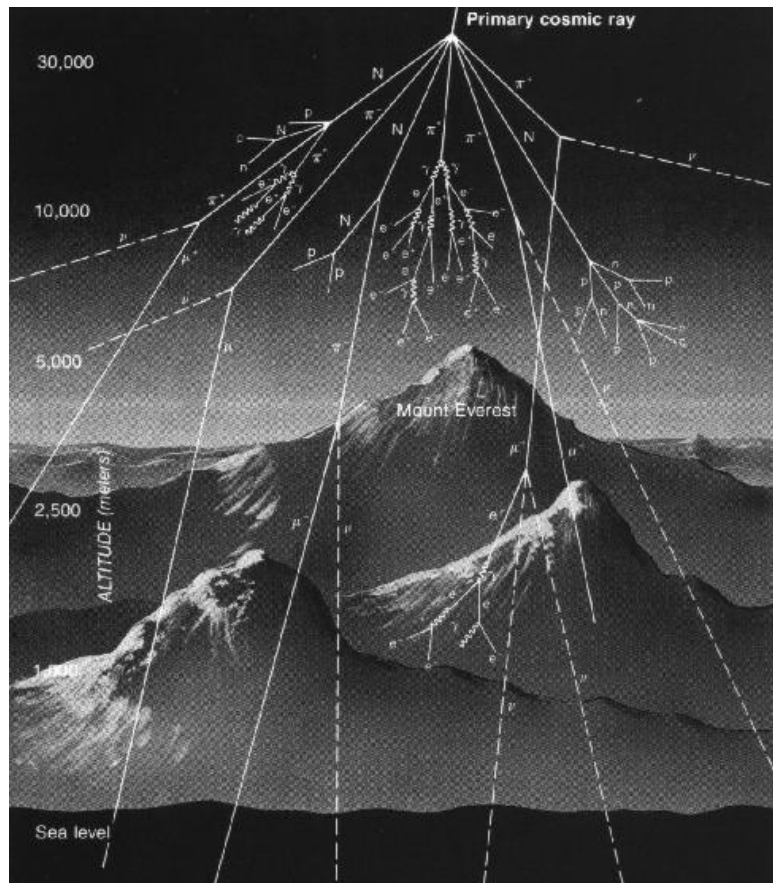
Carbon
dioxide
(parts per million)

Length of
sunspot cycle
(years)

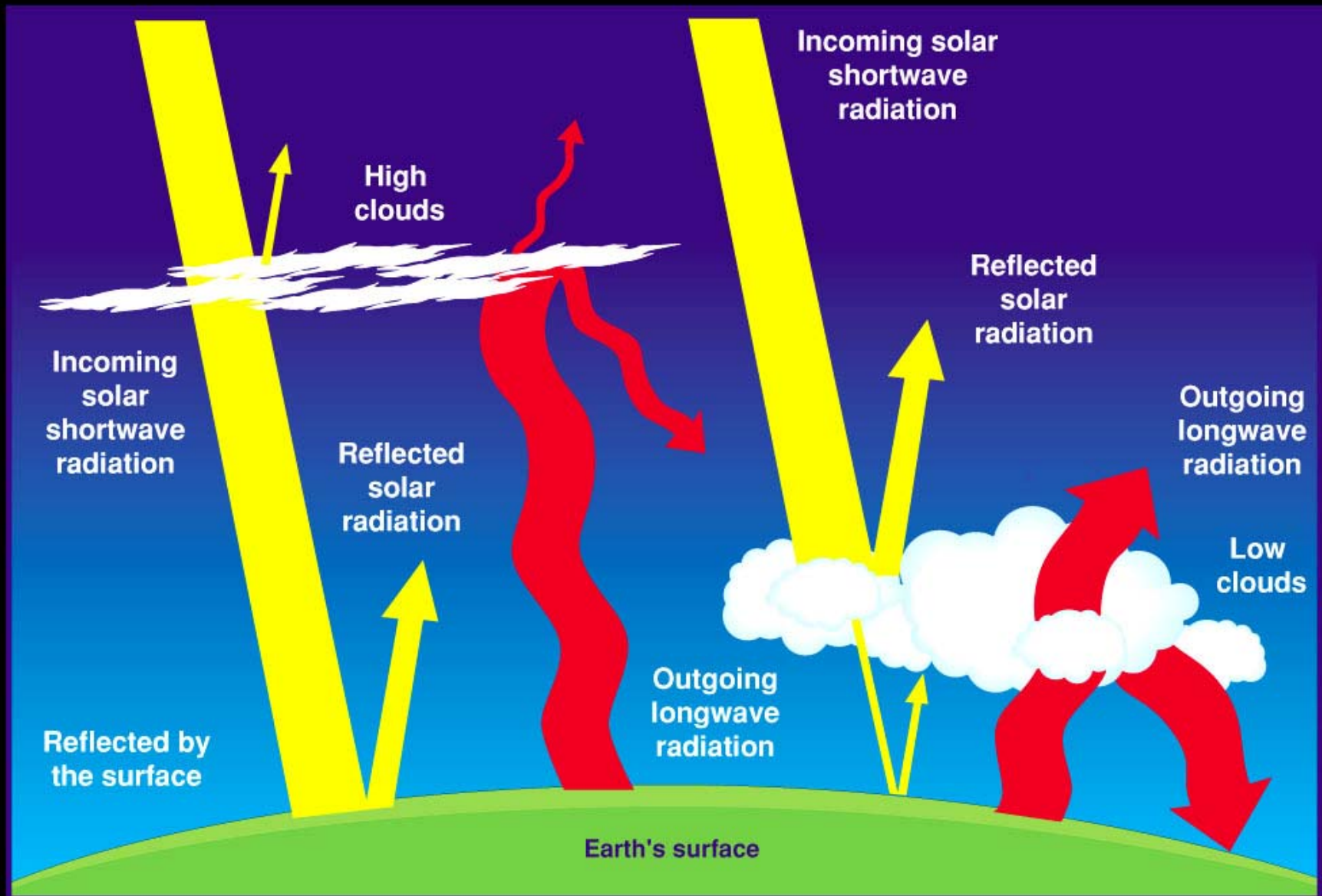


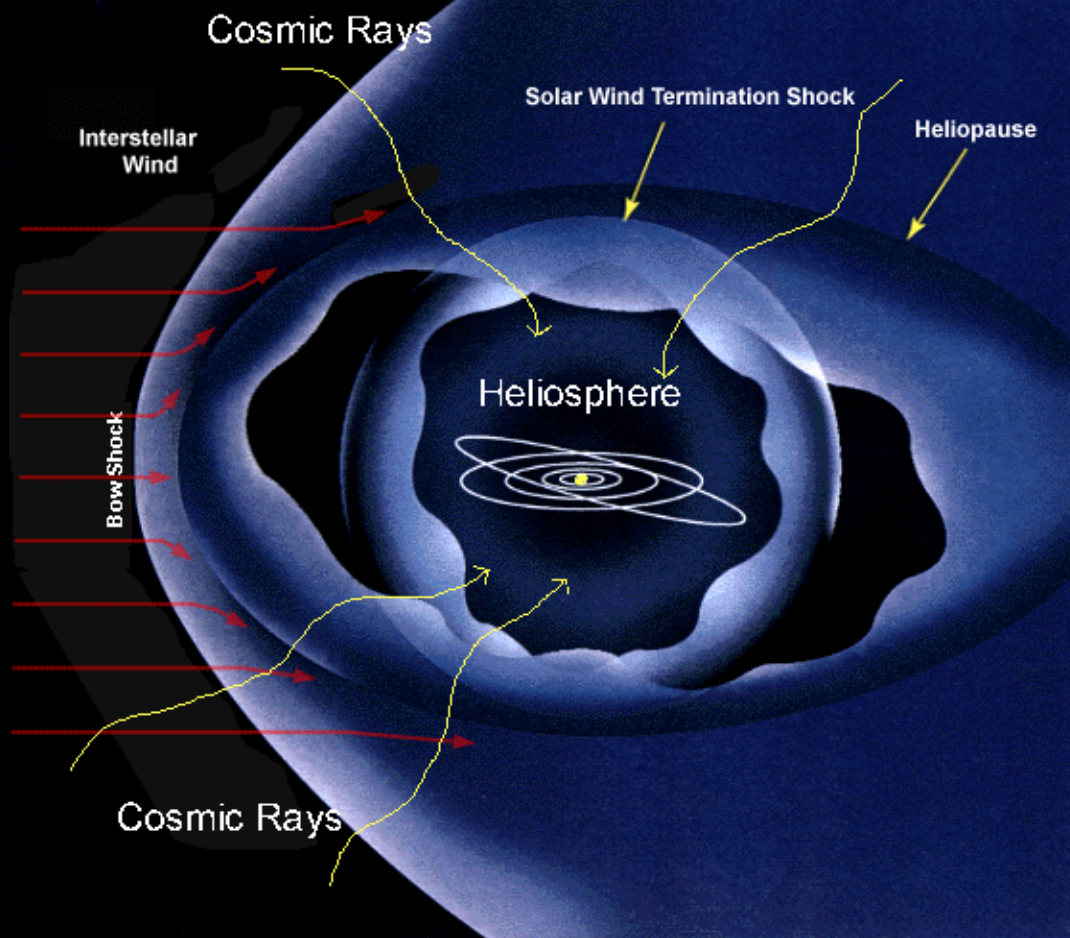
Kosmisk strålning skapar jonisationsspår i atmosfären

=> Molnbildning (effektivitet?)



Cloud Effects On Earth's Radiation





När solvinden är stark når inte lika mycket kosmisk strålning Jorden.

Låg solaktivitet



Mycket låga moln



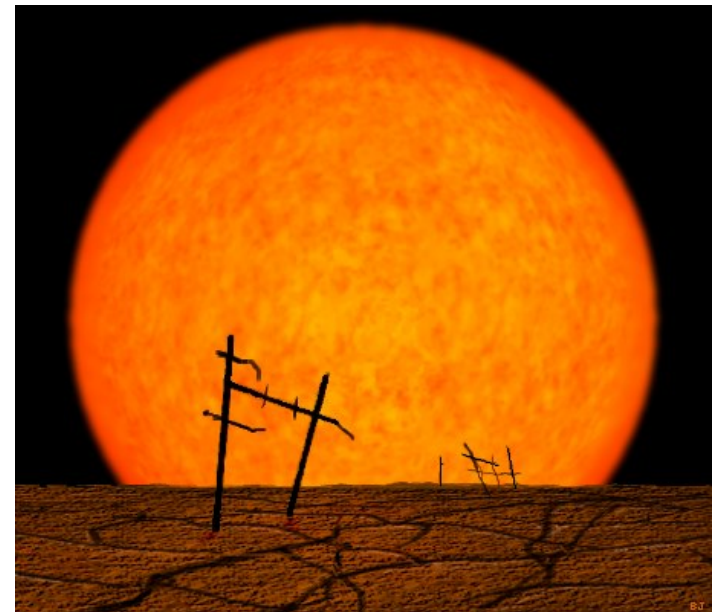
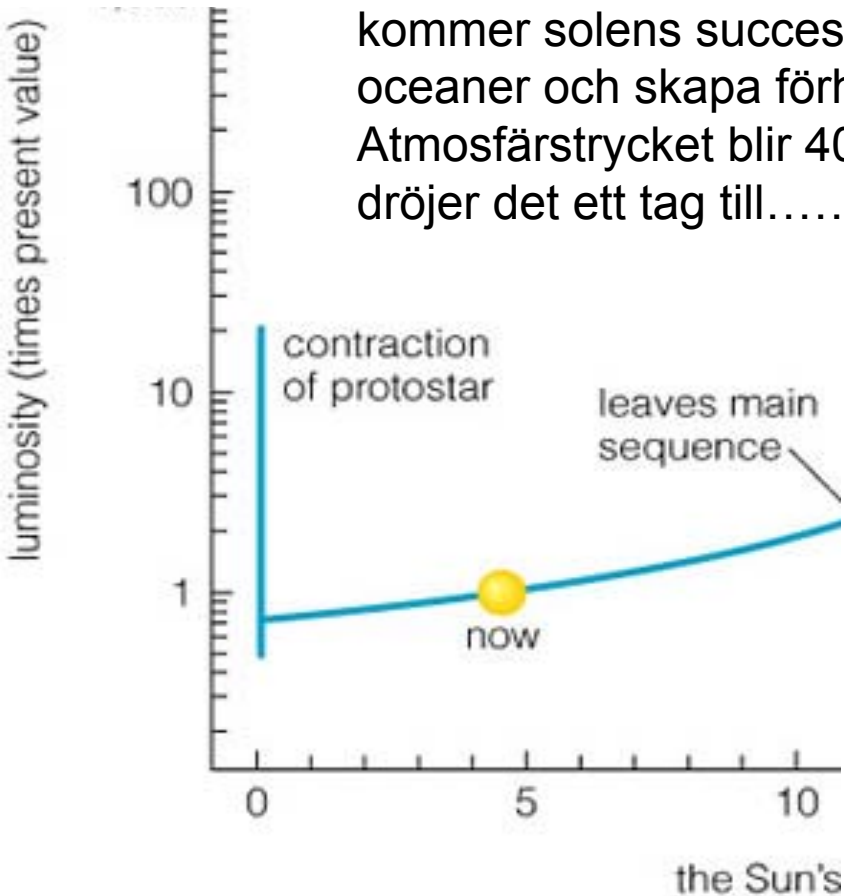
Mer solljus reflekteras



Kallare!

Terrestrial climate. *"The Sun's fingerprints are showing up all over the climate records. The 11- and 22-year sunspot cycles have turned up in other analyses of ocean temperatures and in ice cores...."* Science, March 8, 1996

Även om vi människor inte skapar en katastrofal klimatförändring så kommer solens successivt ökande ljusstyrka att till slut förånga våra oceaner och skapa förhållanden liknande de på Venus. Atmosfärstrycket blir 400 till 500 gånger högre. Förhoppningsvis dröjer det ett tag till.....



Vad kan man dra för slutsatser av detta.

Hur mycket påverkar solens aktivitet klimatet på Jorden?

Två kommentarer från en konferens om stjärnaktivitet i Hamburg, 2004:

“Recent warming of the Earth’s climate (larger than seen in the last 1000 years) cannot be explained only by solar forcing.”

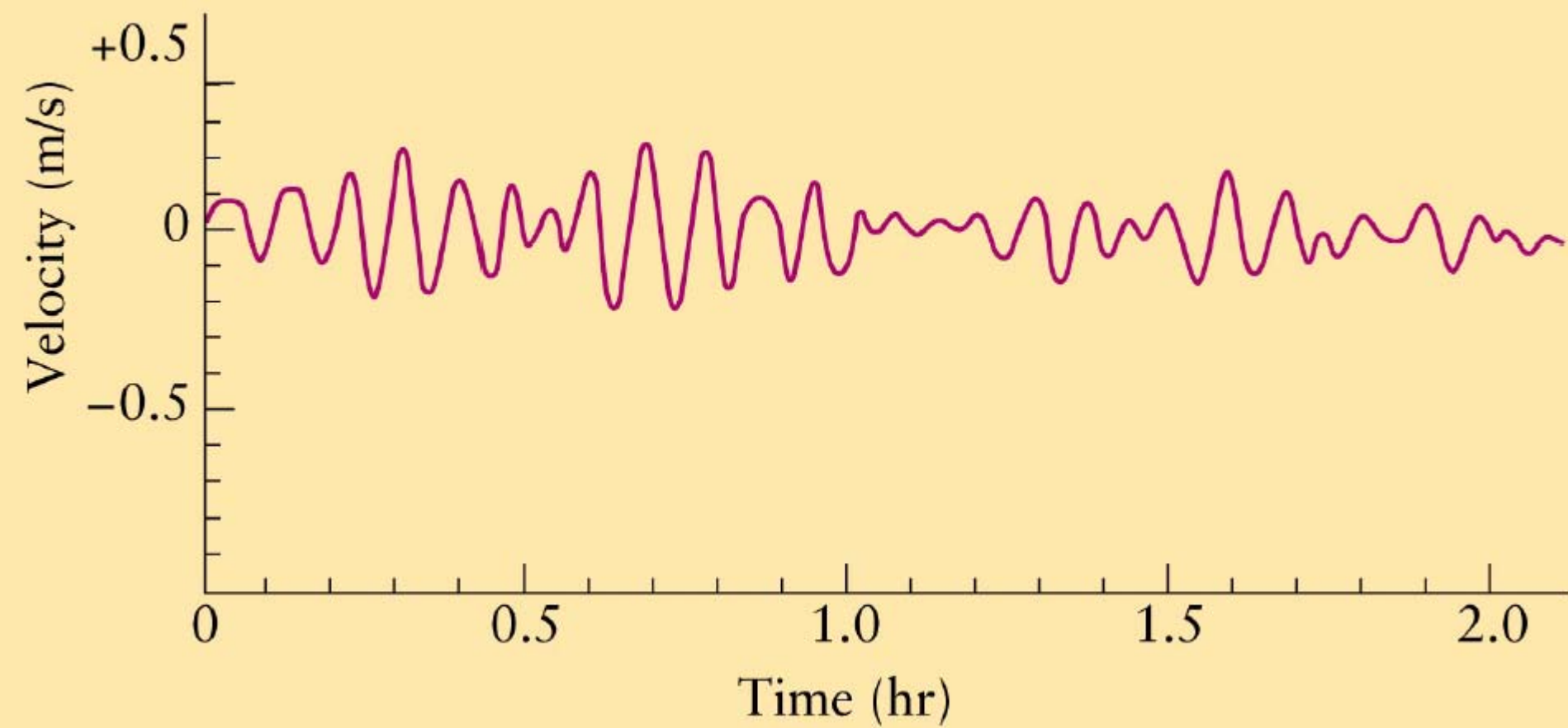
Ulrich Cubasch

“The Sun has been more active during the last 60 years than in the previous 1100 years.”

Sami Solanki

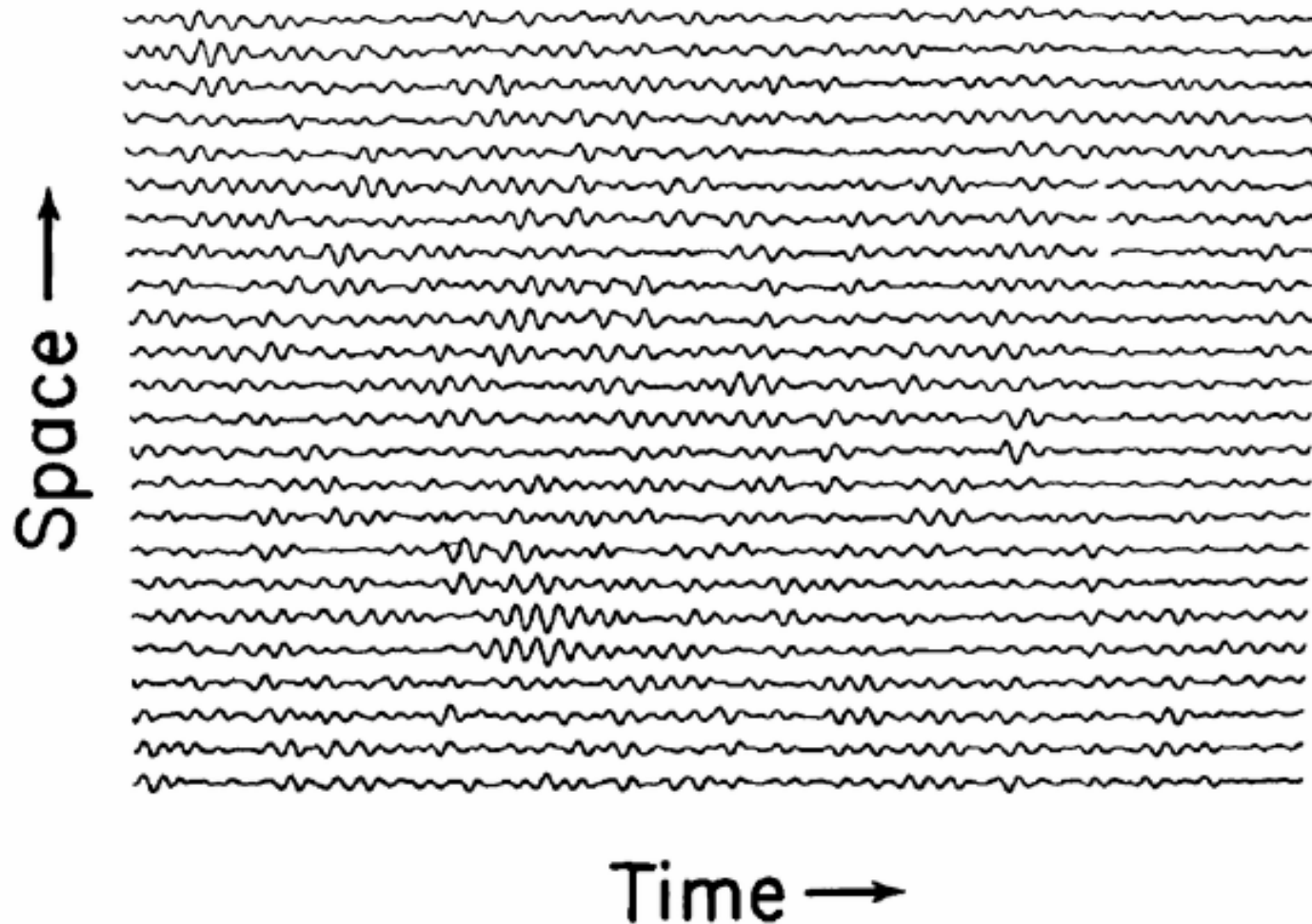
Resonans: En stående våg i en sträng





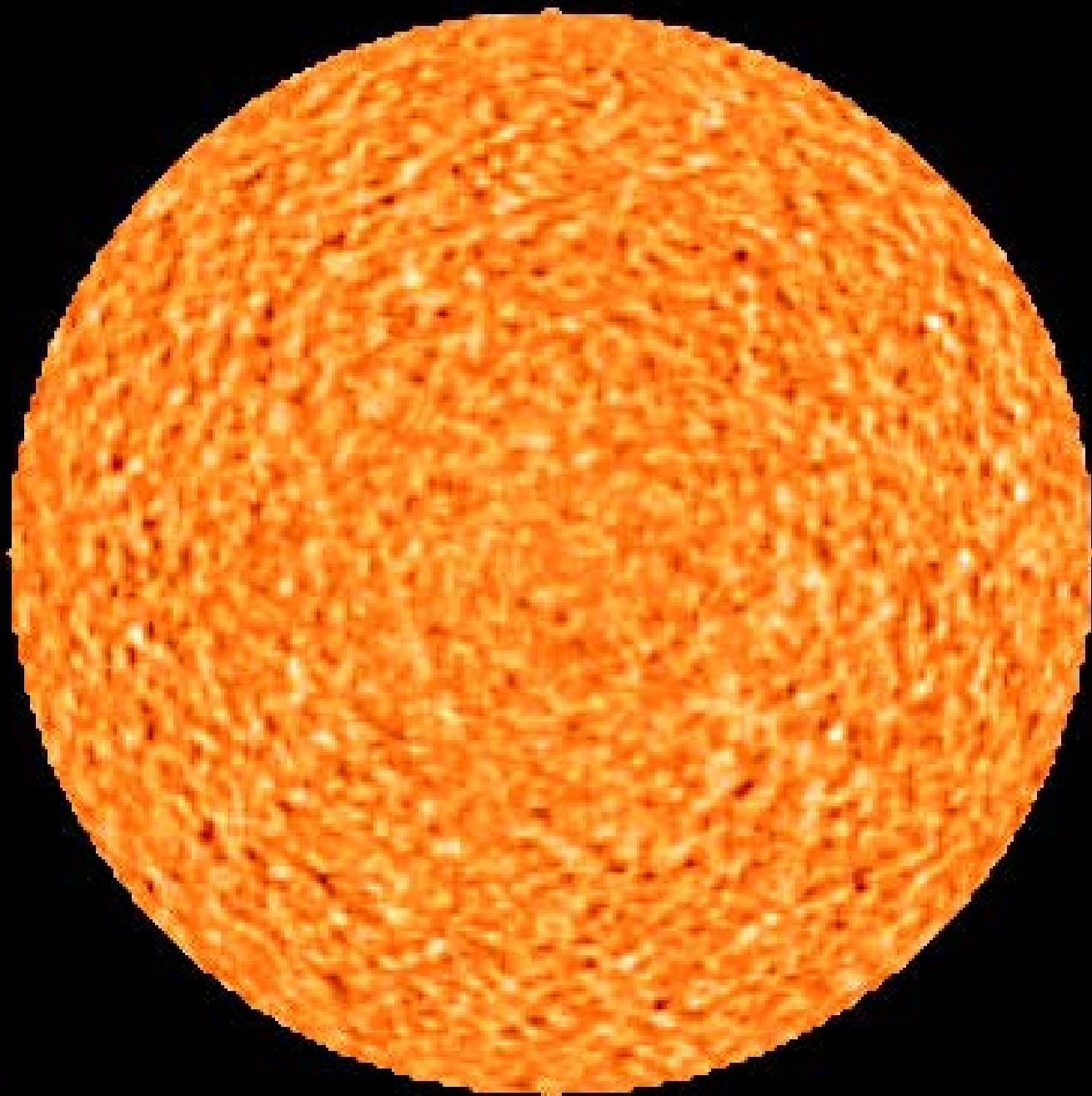
FIVE MINUTE OSCILLATION WAVETRAINS

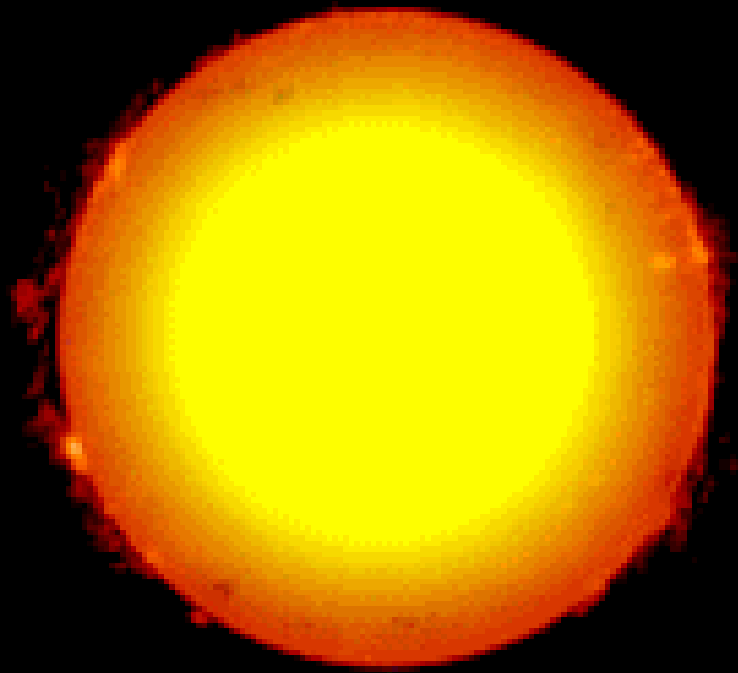
Stein & Leibacher 1974ARA+A..12..407S



Radialhastigheter (Dopplermätning) i en serie punkter på solytan

Olika punkter på solen pulserar olika. Men alla med perioder runt 5 minuter



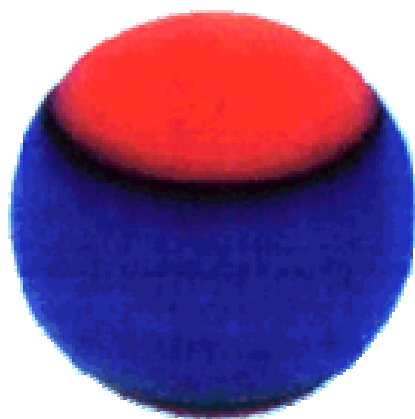


Tryckvågor som utbreder sig i Solen är i resonans (förstärker sig själv) om den är i fas när den gått runt solen ett varv.

De som inte är i fas kommer att dämpas och dö ut snabbt medan de som är i resonans finns kvar längre. Det är de vi kan observera.

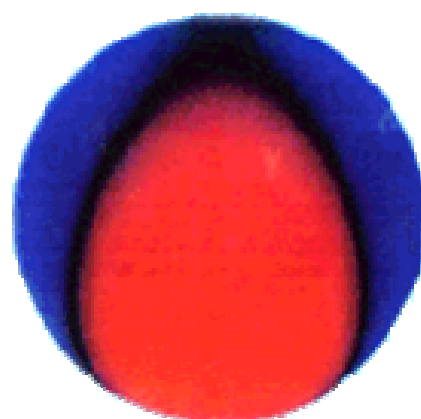
Solens temperatur och täthet ökar inåt. Precis som vid refraktion av ljus så kommer en tryckvåg att böjas av. Det är orsaken till tryckvågens utbredning i figuren.

Observera att olika resonansvågor når olika djup i solen.



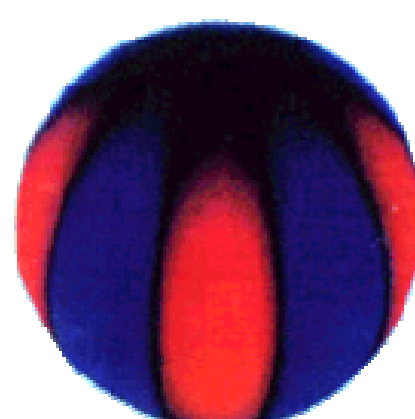
$$L = 2$$

$$M = 0$$



$$L = 2$$

$$M = 2$$



$$L = 5$$

$$M = 5$$



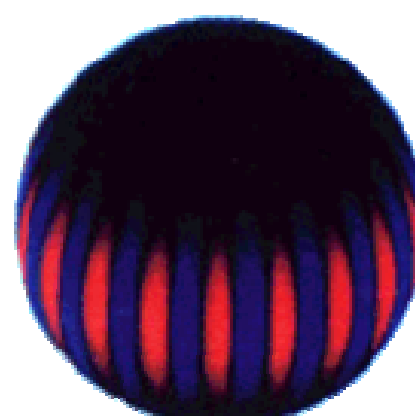
$$L = 20$$

$$M = 0$$



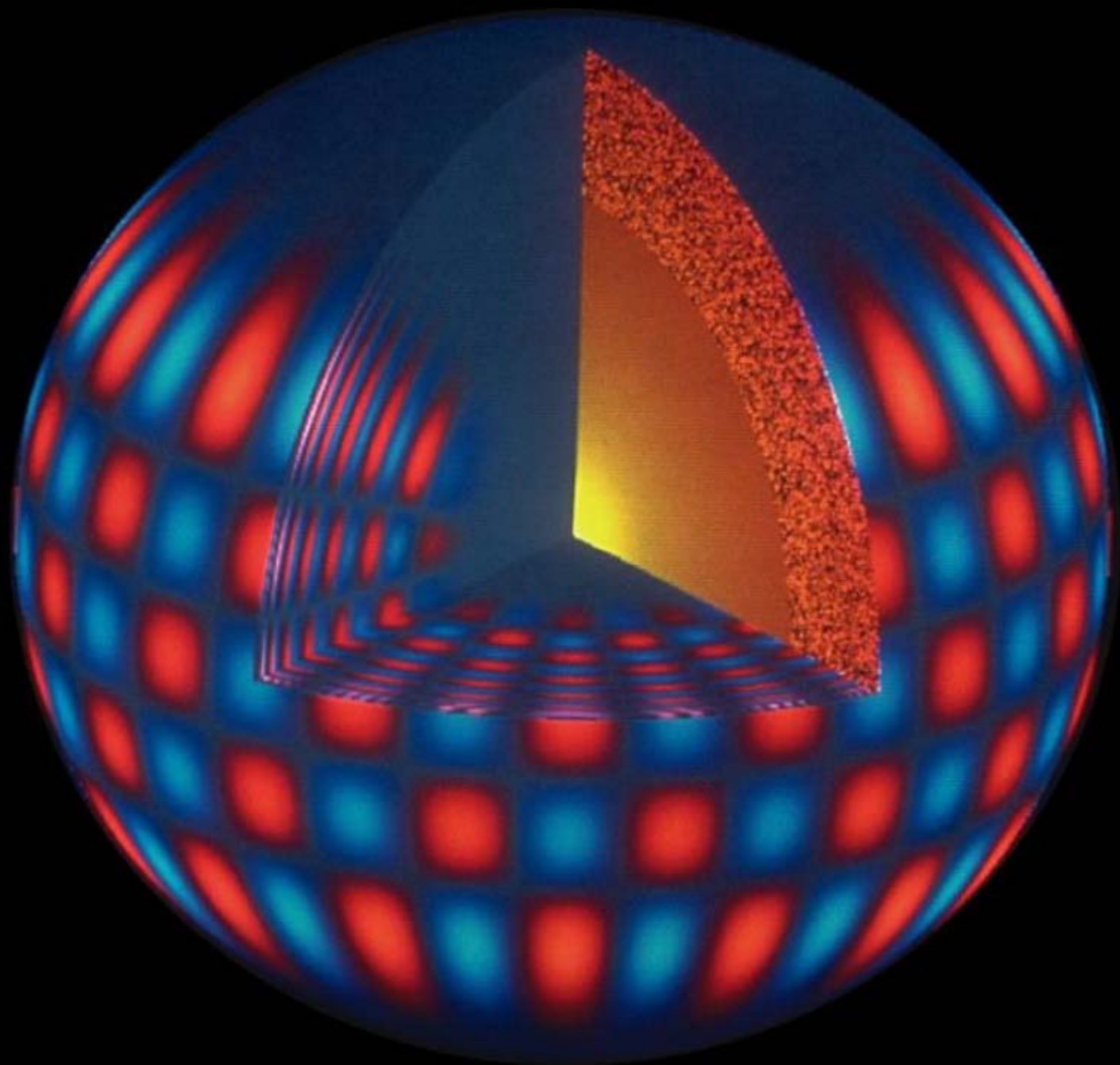
$$L = 20$$

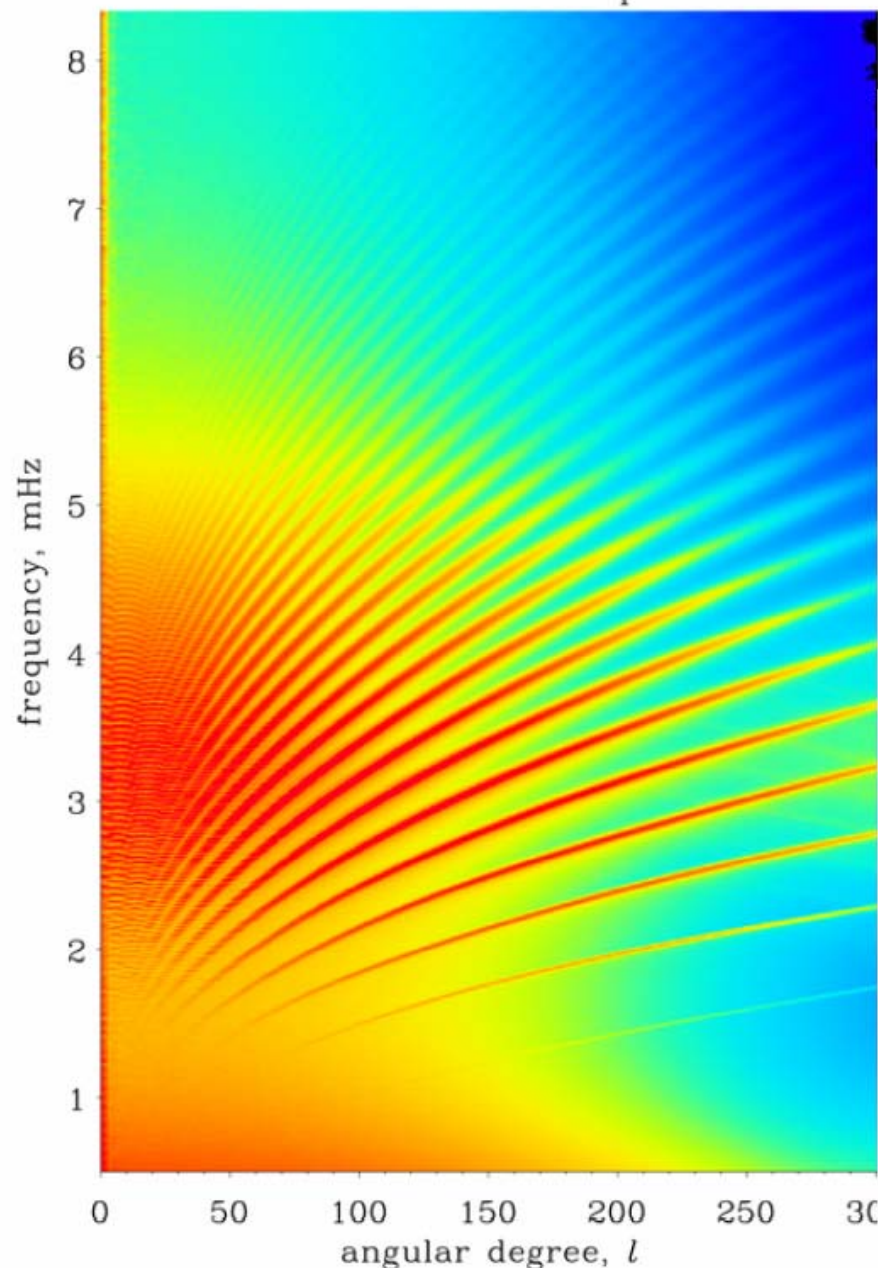
$$M = 17$$



$$L = 20$$

$$M = 20$$





Solen svänger samtidigt i många 1000-tals oscillationsmoder.

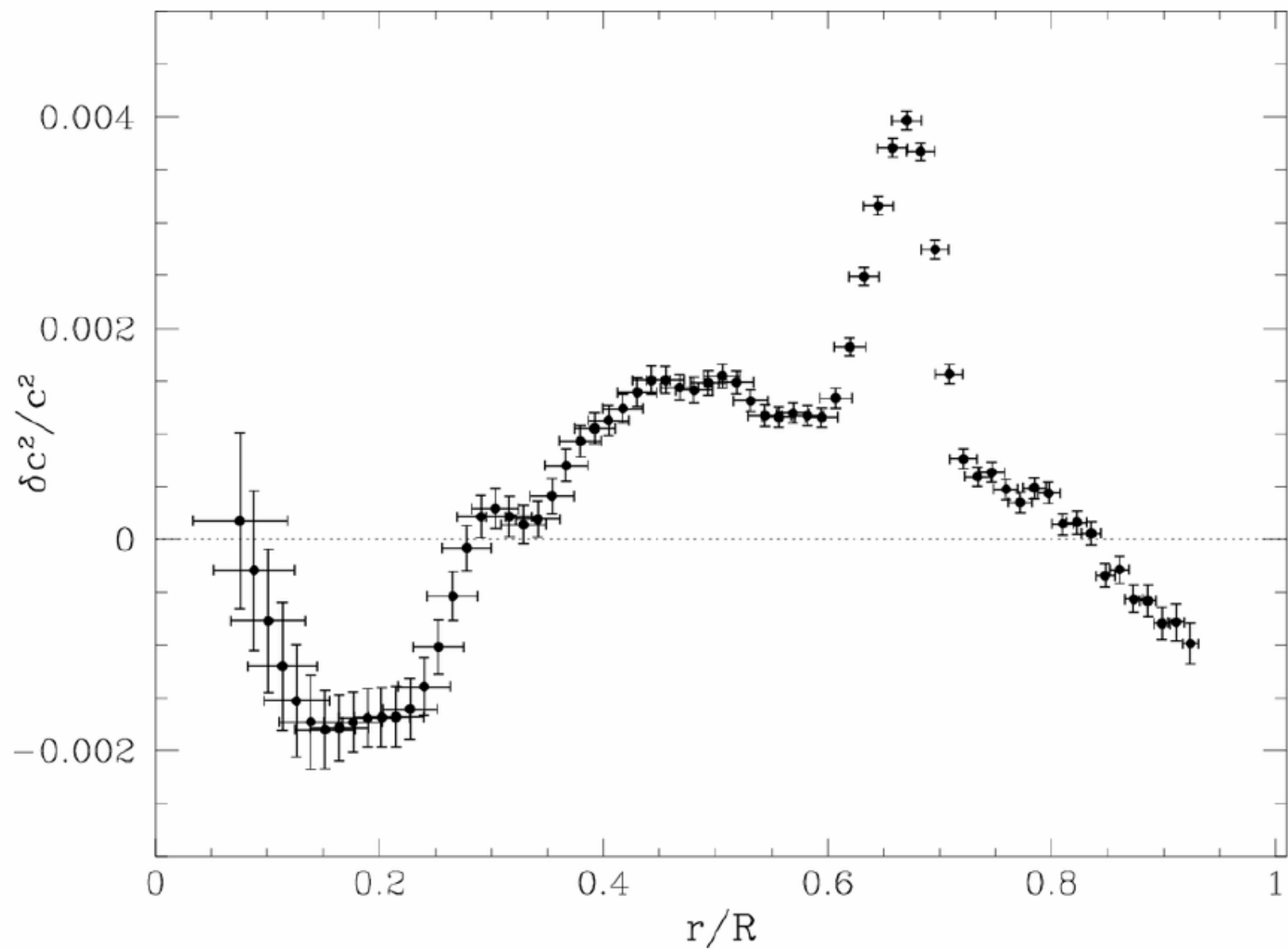
De olika moderna går olika djupt in i solen.

Eftersom det är **tryck-oscillationer** så utbreder de sig med **ljudhastigheten** och den varierar med djup.

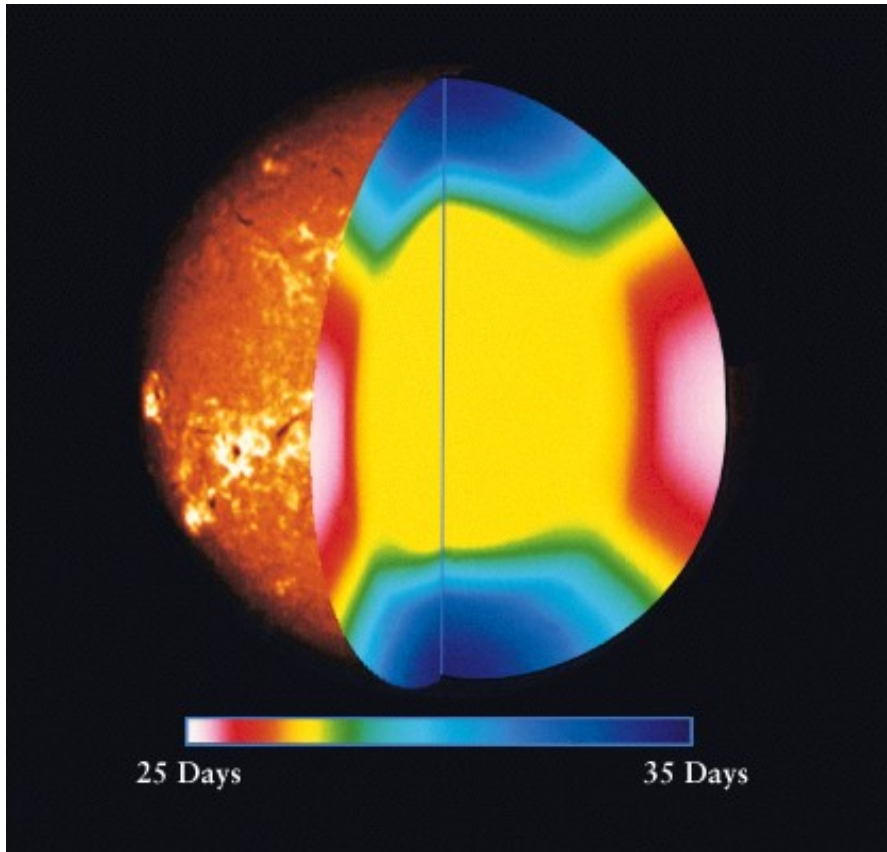
Ljudhastigheten i sin tur beror på densitet och temperatur.

Genom att analysera svängningarna kan vi alltså få information om täthet och temperatur i solens inre.

Förändringar i ljudhastighet i solens inre.

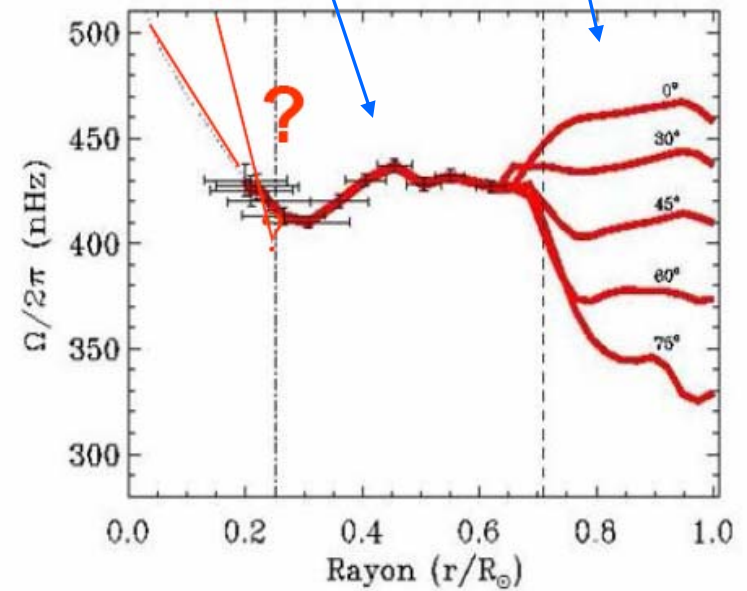


Rotation i solens inre



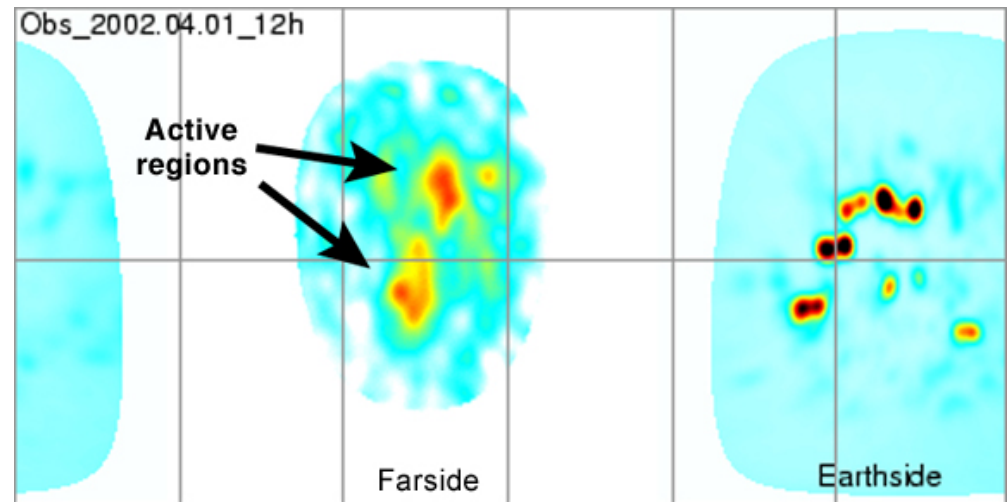
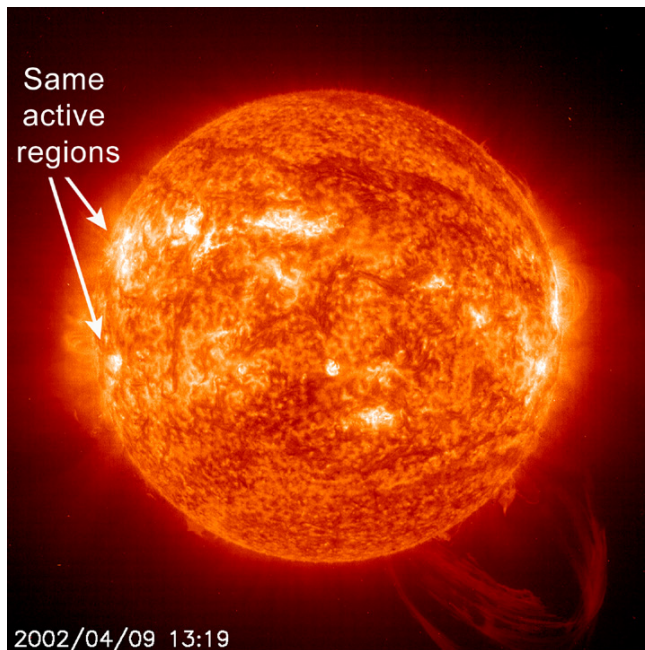
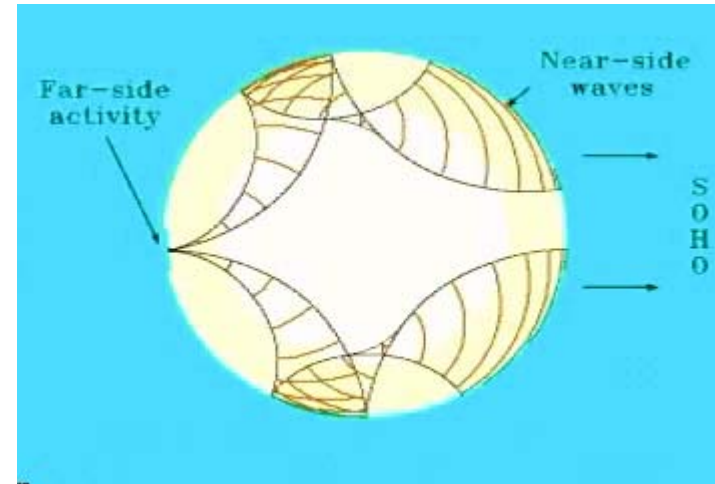
Som fast kropp i
strålningszonen

Differentiell i
konvektionszonen.

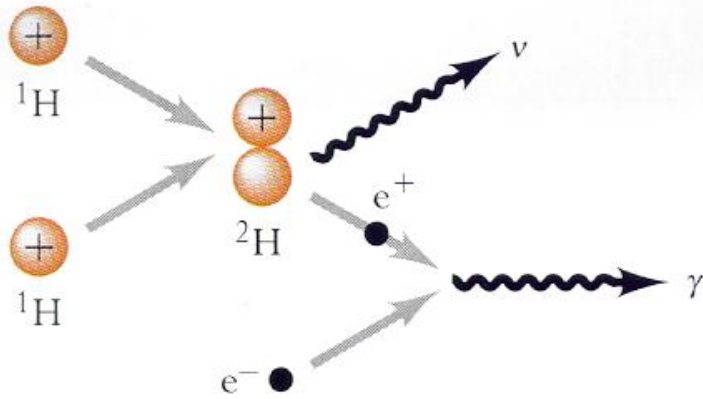


SOHO ser runt Solen.

- First images of active regions on the far side of the Sun, from applying a new technique, called two-skip far-side seismic holography, to high quality MDI data.
- **Acoustic waves speed up in areas of strong magnetic field (active regions)**
 - The delay of the sound waves is about 12 sec in a total travel time of 6 hours

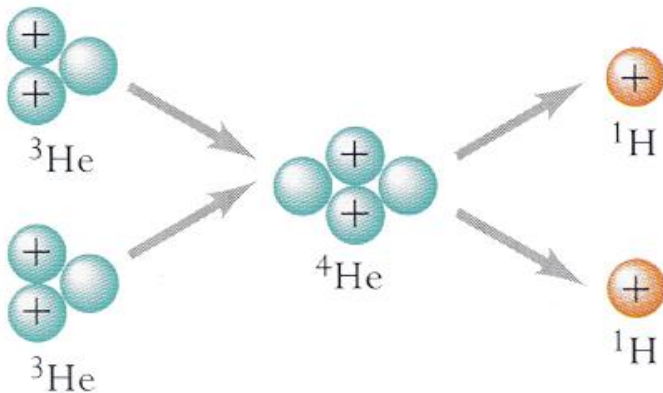
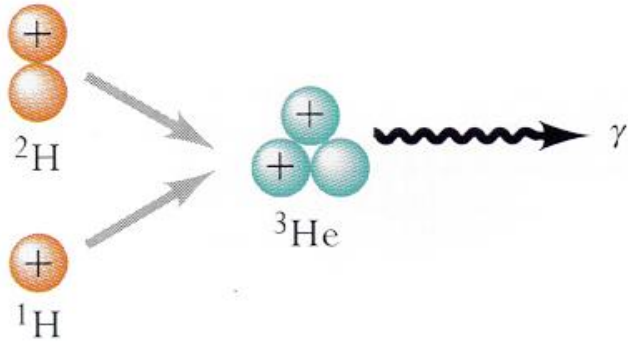


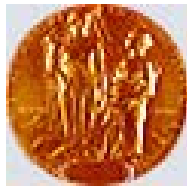
Real-time farside images: <http://soi.stanford.edu/data/farside/index.html>



Neutriner bildas vid fusionsreaktionerna i Solen.

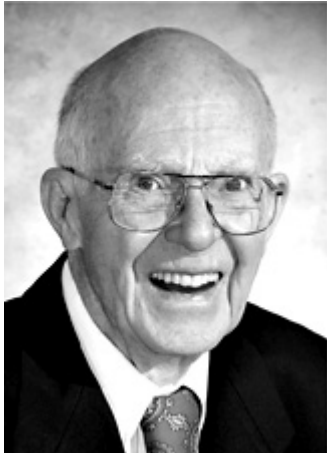
Förutsades av Pauli på 30-talet för att förklara den energi som verkade försvinna vid betasönderfall.





The Nobel Prize in Physics 2002

"...for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos."

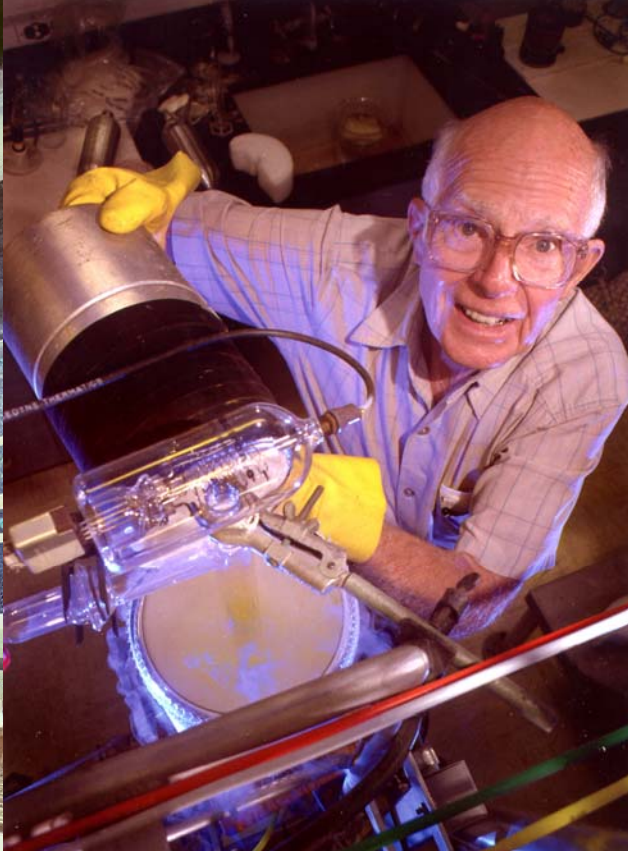


Raymond Davis Jr.



Masatoshi Koshihara

Neutriner från solen.
Homestake gruvan,
1500 meter under marken.



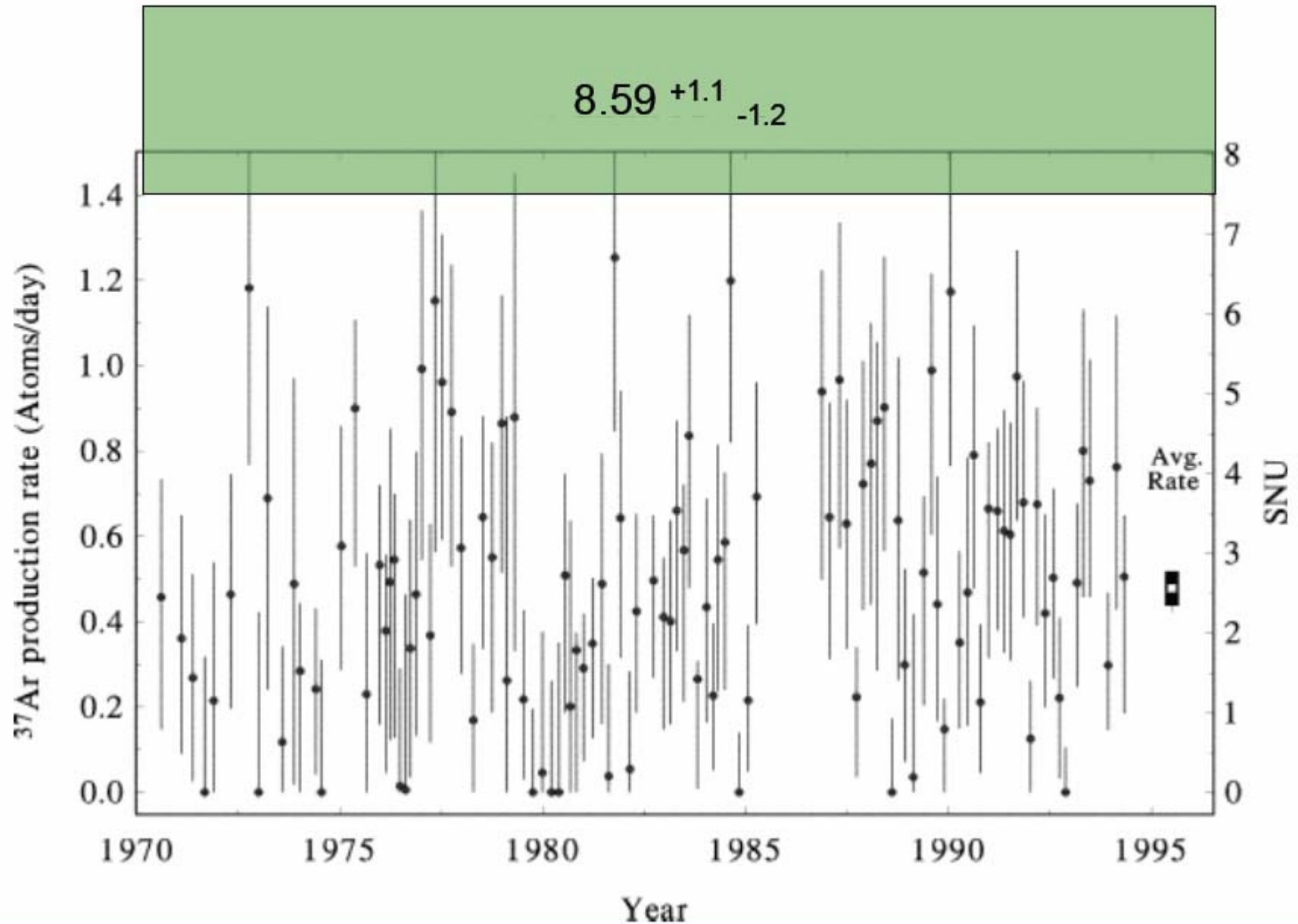
Ray Davis

Tanken är 6 meter i diameter,
15 meter lång och innehåller
380 000 liter kloretylen
(="rengöringsmedel").

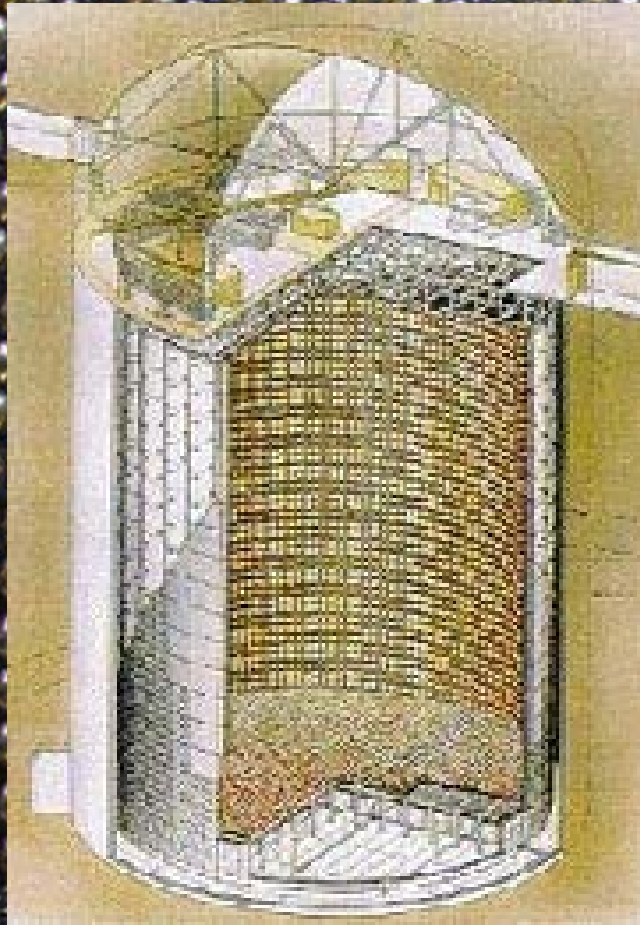


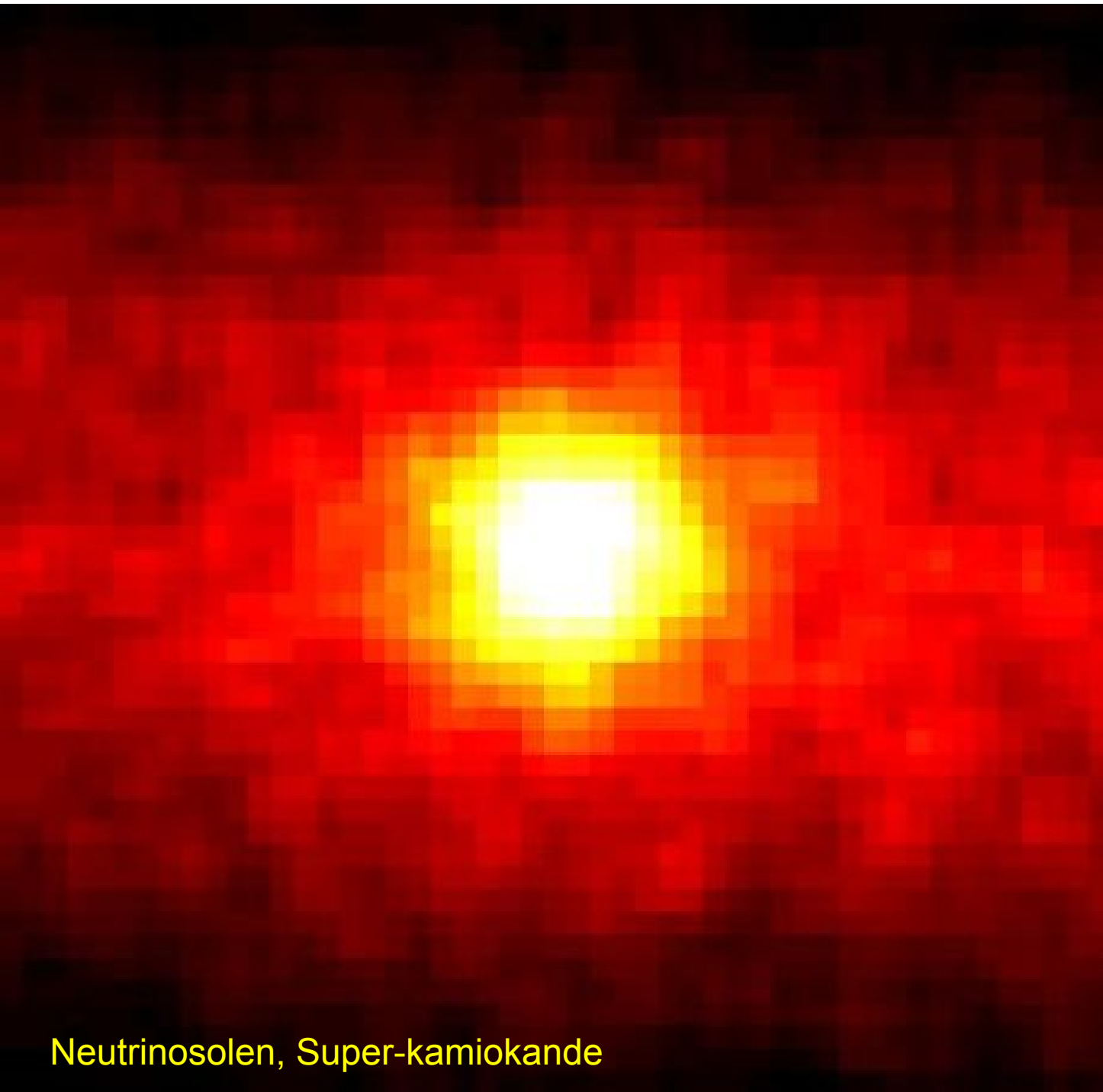
Cl - Ar Results 1970 - 1994

Neutrino fluxen i Davis experiment var en tredjedel av den förväntade.



Super-kamiokande. Detektering av Cerenkov-strålning (ljusblixtar) i 50 000 ton vatten.
Även här var neutrinofluxen lägre än förväntat m
inte med lika mycket.





Neutrinosolen, Super-kamiokande

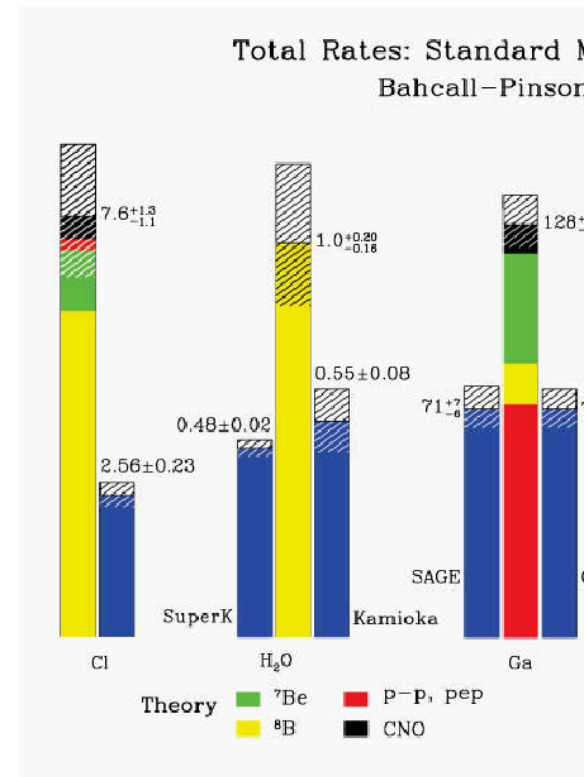
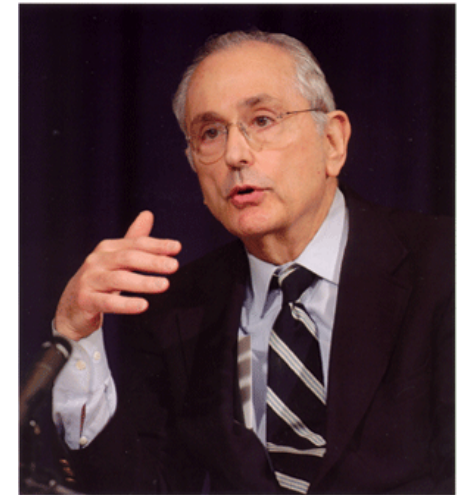
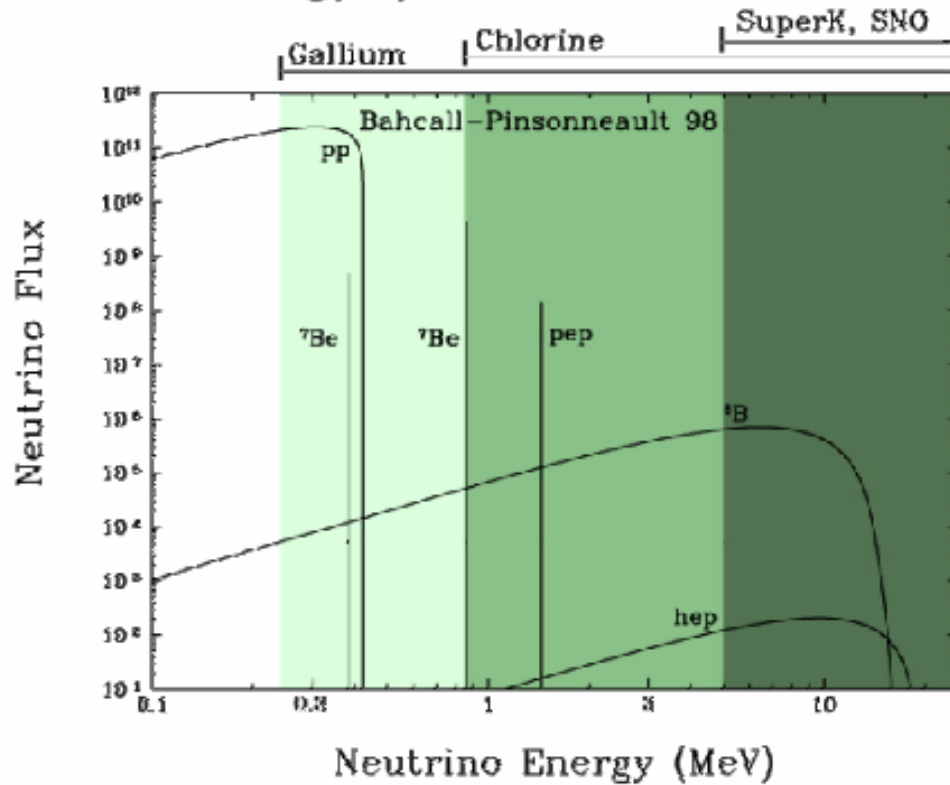
Något var uppenbarligen fel, antingen

1. Astronomernas modell av solens inre

eller

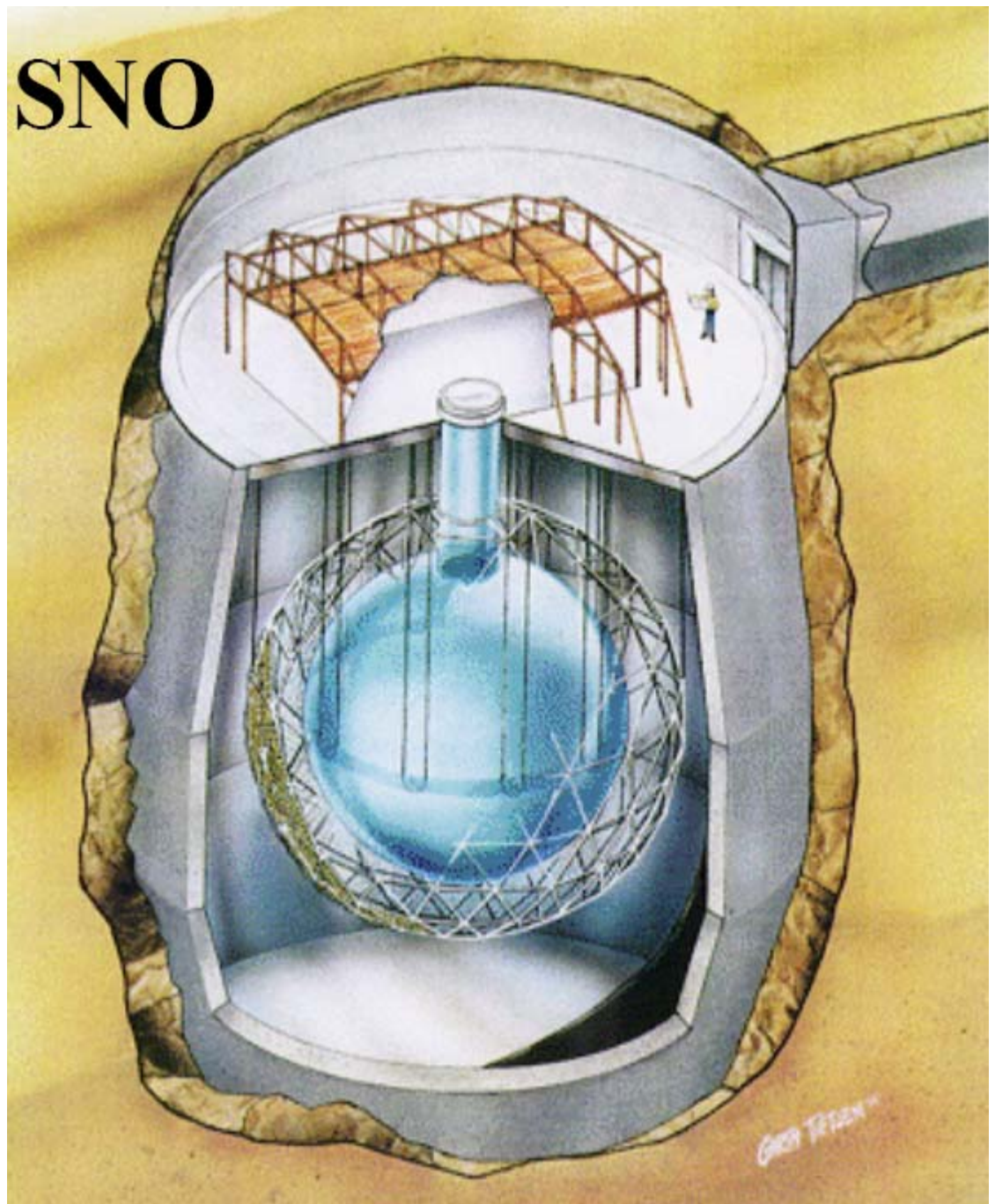
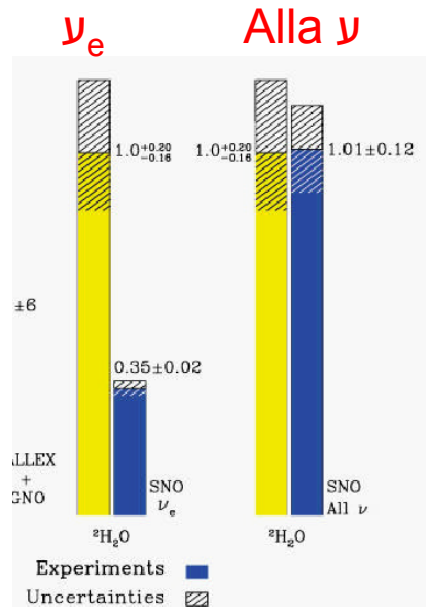
2. Fysikernas beskrivning av neutron.

The energy spectrum of solar neutrinos



Liknande som Kamiokande
men med tungt vatten (D_2O)

Två observationsmoder,
en som är känslig bara för
elektronneutriner och en
som är känslig för alla tre
typer av neutriner
(elektron, muon och tau).



Lösningen på solens neutrinomysterium

Det finns tre typer av neutriner, elektronneutrino, muonneutrino och tauneutrino.

Vid kärnreaktionerna i solen produceras bara elektronneutriner.

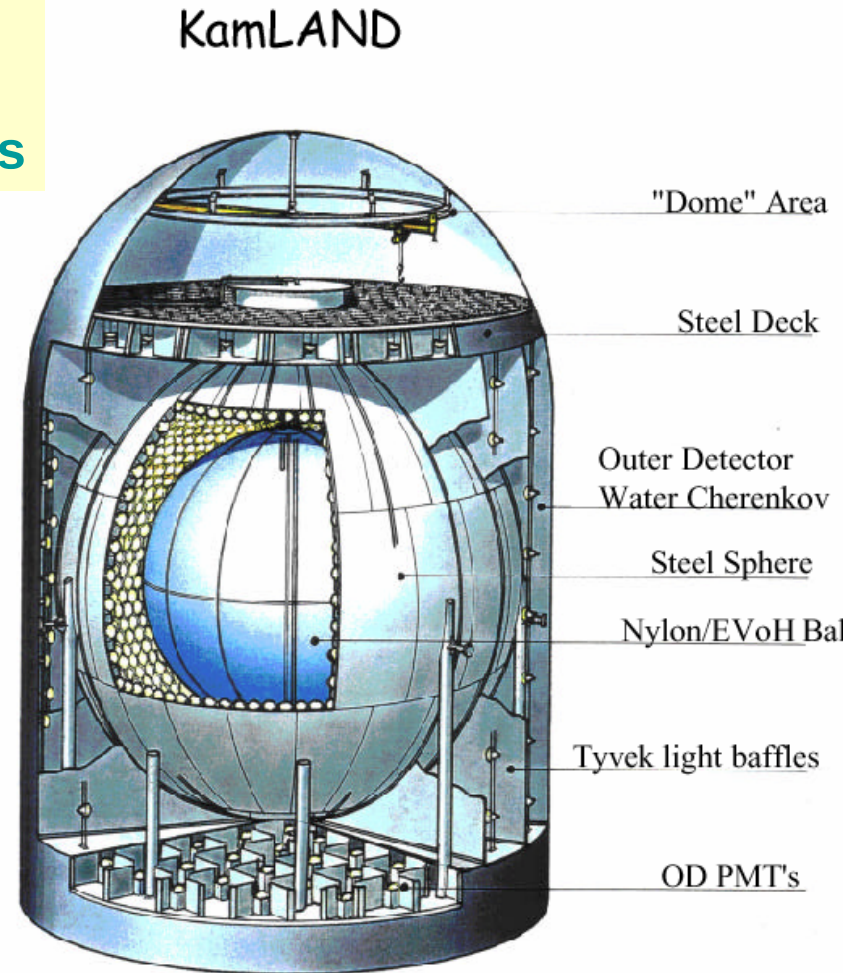
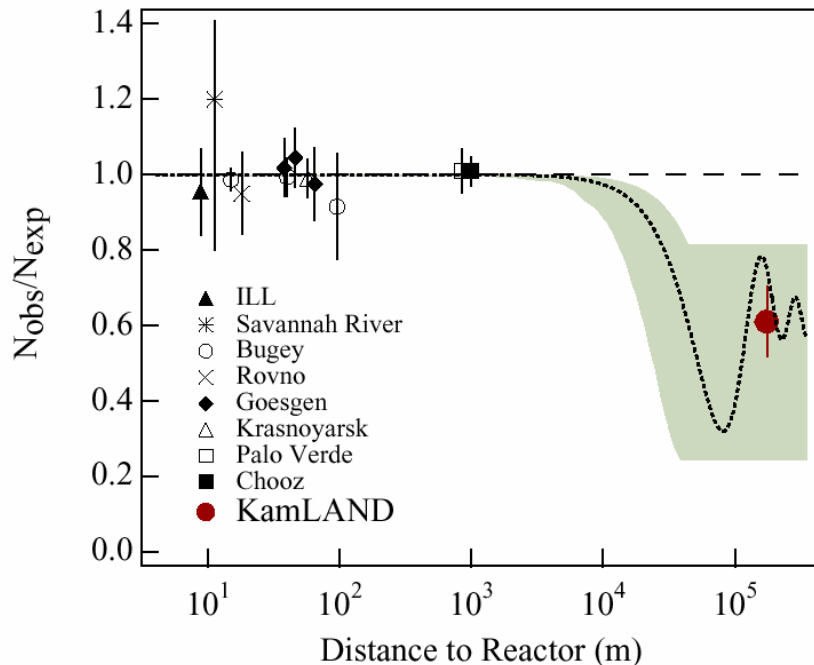
En neutrino kan uppenbarligen oscillera mellan de olika neutrinotyperna.

Detta är förmodligen knutet till en skillnad i massa mellan de olika typerna.

När elektronneutrinerna som producerats i solen når oss på jorden så består de av en blandning av alla tre typerna.

Reactor Neutrinos -- KamLAND

New result confirming
neutrino oscillations with LMA
solution with “man-made” neutrinos



The science is very active right now!