

課程網址:

<http://www.ss.ncu.edu.tw/~yhyang/111-1/sei.html>

分組報告: 20%, 每組3~4人

國外小衛星/立方衛星

5分鐘簡報影片(預錄), 11/11

5分鐘Q&A(現場), 11/11

書面報告, 11/11

上課表現: 5%

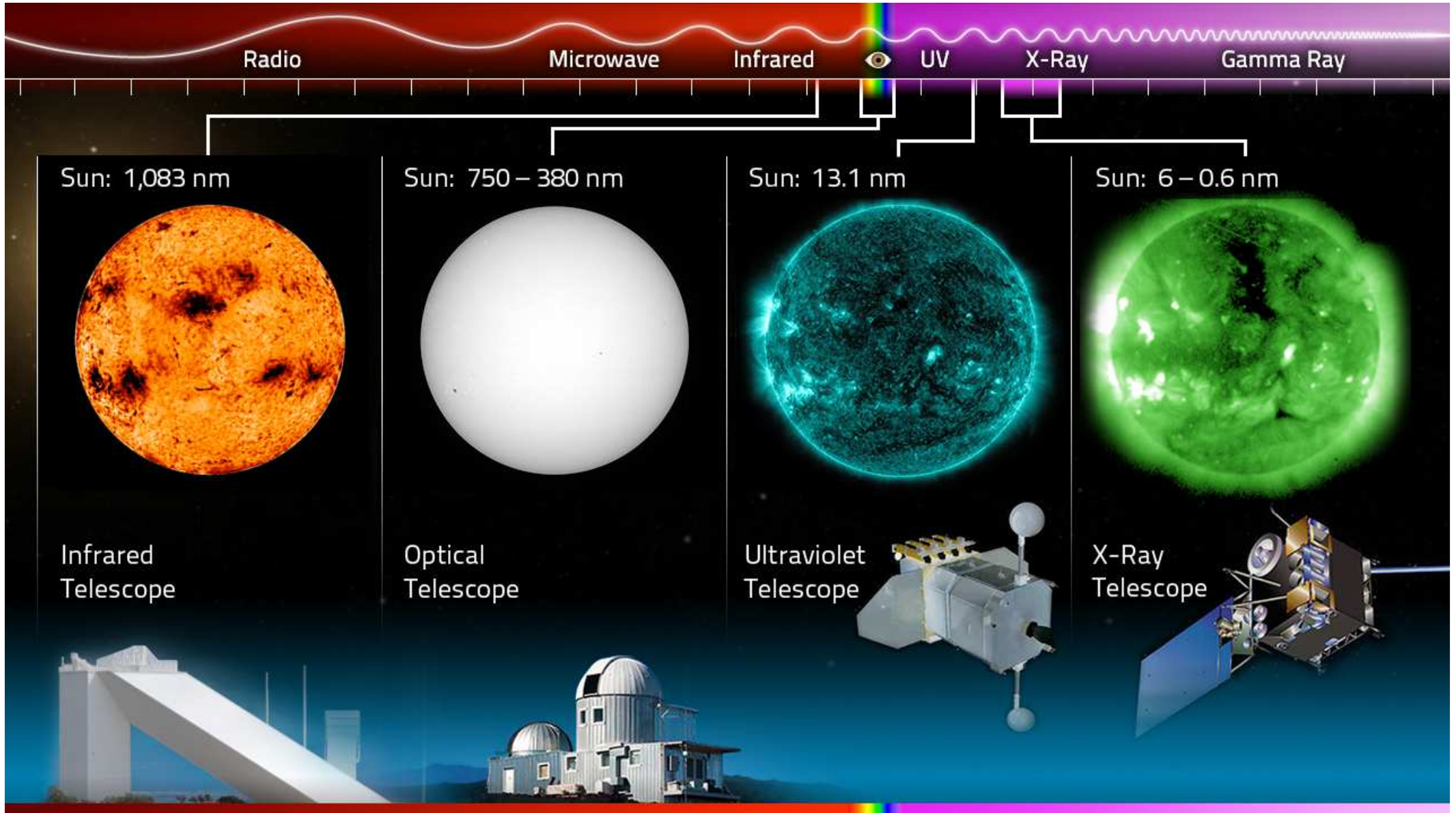
期中考: 25%, 11/4

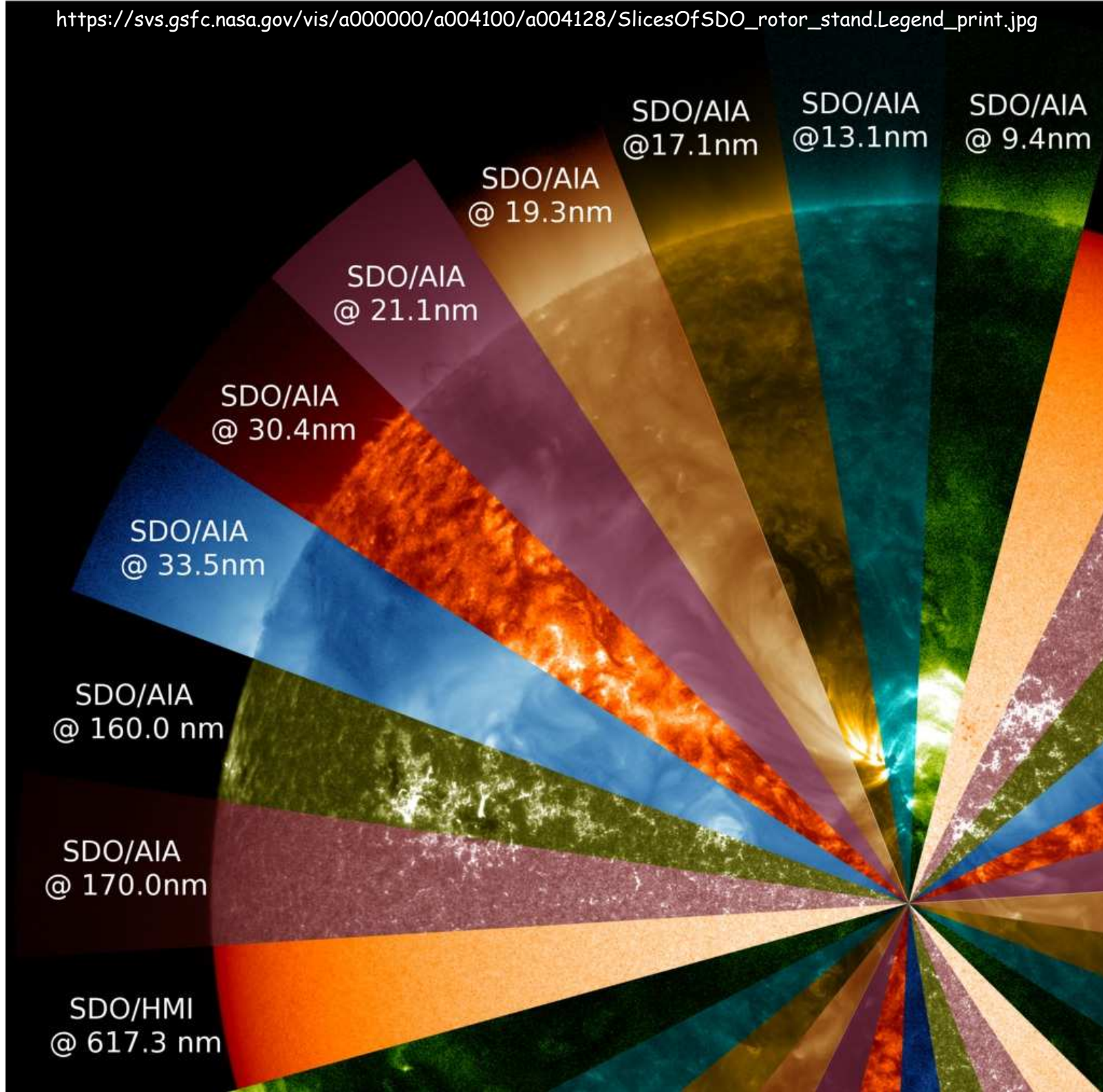
(1)我們的太陽、太陽風暴

(2)日地環境、太陽風

(3)地球磁層、磁暴、磁副暴、太空天氣

多波段觀測





Basic Solar Parameters

Age: 4.5×10^9 years

Spectral type: G2V

Radius (R_S): 6.955×10^8 m ($1R_S=0.004649$ AU; ~ 109 radii of Earth)

Mass (M_S): 1.989×10^{30} kg (332 946 masses of Earth)

Volume: 1.41×10^{27} m³ (1.3 million times the volume of Earth)

Mean density: 1.409 g/cm³ (0.256 of mean density of Earth)

Effective temperature: 5770 K

Luminosity: 3.86×10^{33} erg/s (3.86×10^{26} W)

Sidereal rotation period:

At equator: 25.05 days

At poles: 34.4 days

Distance from the Earth:

Mean (1 AU): 1.496×10^8 km

In perihelium: 1.471×10^8 km

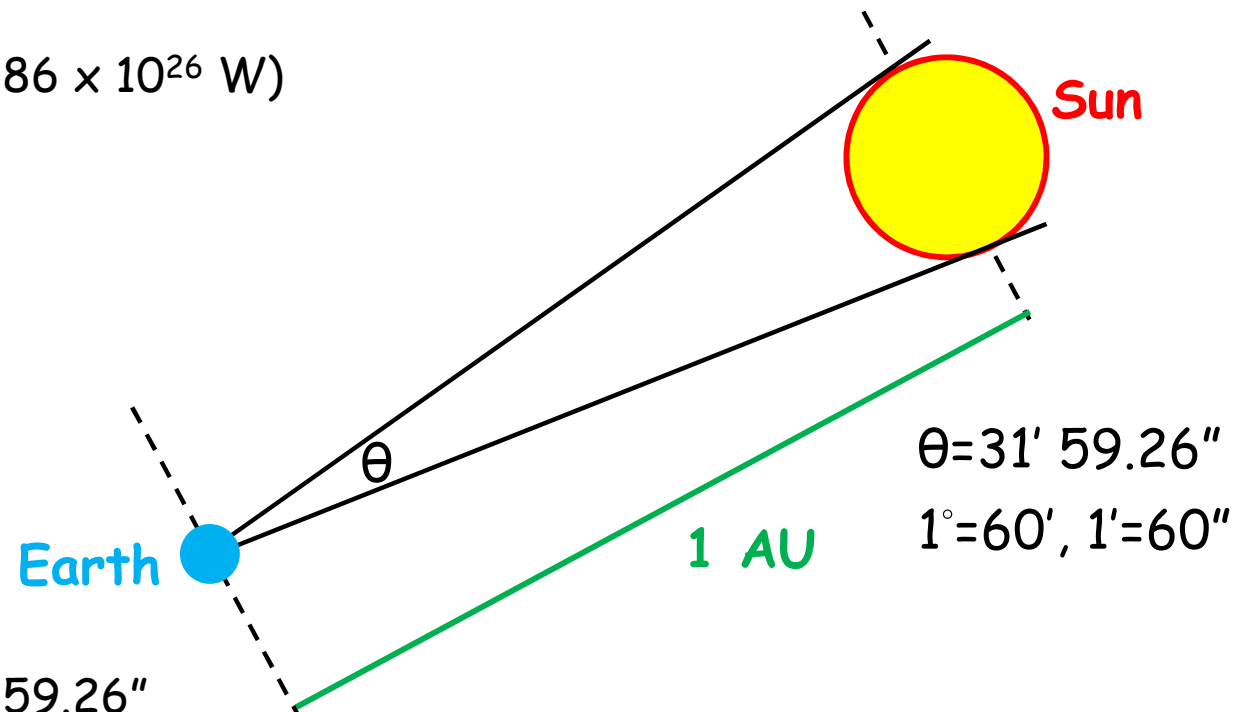
In aphelium: 1.521×10^8 km

Apparent diameter at 1 AU: 31' 59.26"

1 arcmin (1') at 1 AU: 43 520 km

1 arcsec (1") at 1 AU: 725.3 km

Light travel time to the Earth: 8.32 min



Chemical composition of photosphere (by mass):

Hydrogen: 73.46%

Helium: 24.85%

Oxygen: 0.77%

Carbon: 0.29%

Iron: 0.16%

太陽質量約75%的成分是氫，25%是氦，及其他佔很小比例的重元素。

Density (water=1000):

Mean density of entire Sun: 1410 kg/m³

Interior (center of Sun): 160000 kg/m³

Surface (photosphere): 10⁻⁶ kg/m³

Chromosphere: 10⁻⁹ kg/m³

Low corona: 10⁻¹³ kg/m³

Sea level atmosphere of Earth (for comparison): 1.2 kg/m³

Temperature:

Interior (center): 15 000 000 K

Surface (photosphere): 6050 K

Sunspot umbra (typical): 4240 K

Penumbra (typical): 5680 K

Chromosphere: 4300 to 50 000 K

Corona: 800 000 to 3 000 000 K

太陽常數(solar constant):

→每秒鐘太陽照射到地球每單位平方公尺面上的能量

→1%日照量的改變將使地球溫度有1~2°C的變化

→並非固定不變，一年當中的變化幅度約1%

→影響的是氣候的長期變化，而不是短期的天氣變化

Magnetic Field Strengths:

Sunspots: 3000 Gauss

Polar field: 1~2 Gauss

Prominences: 10~100 Gauss

Earth (for comparison): 0.3~0.6 Gauss

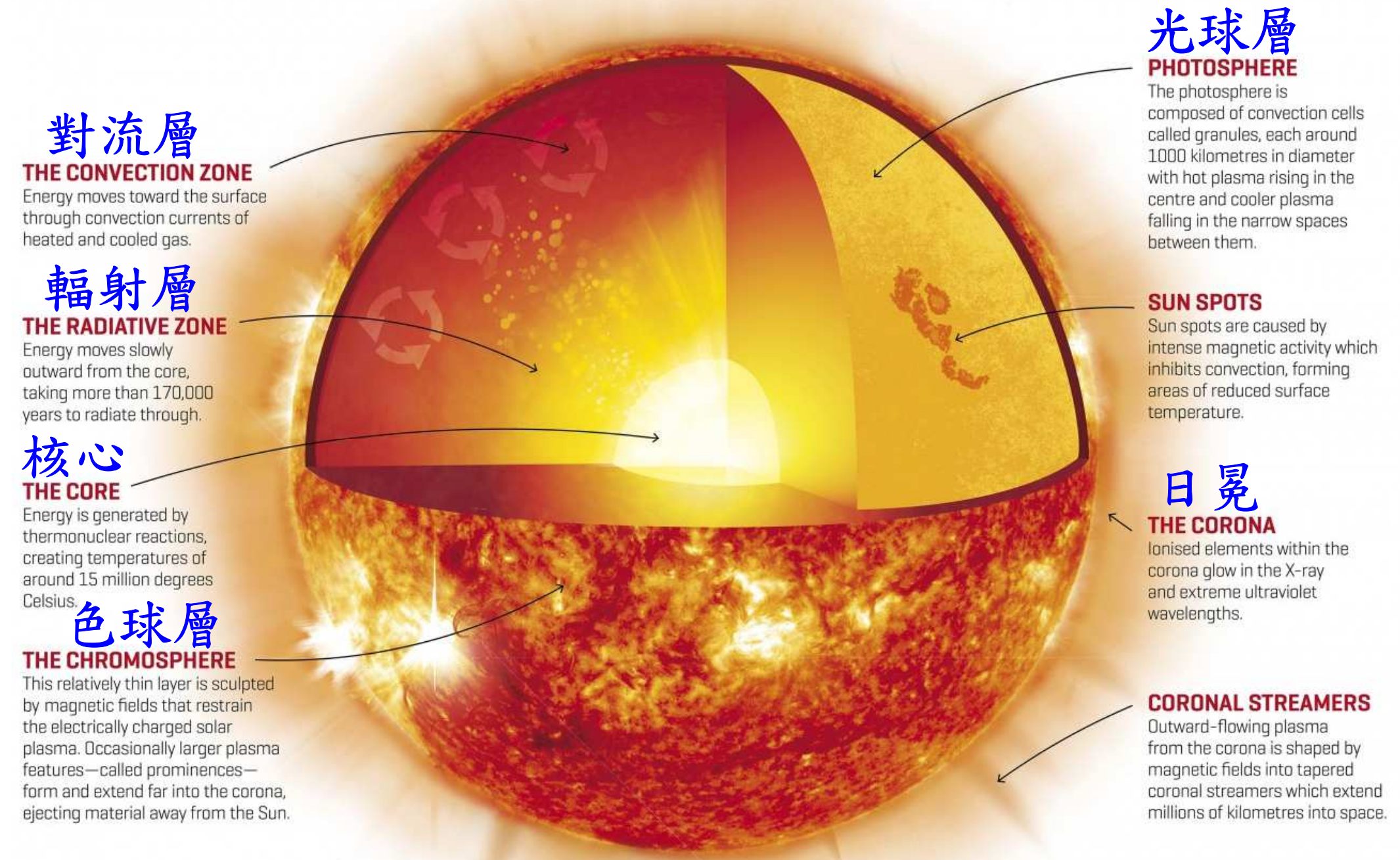
Solar Radiation:

Entire Sun: 3.83x10²³ kW

Unit area of surface of Sun: 6.29x10⁴ kW/m²

Received at top of Earth's atmosphere: 1366 W/m²

太陽結構



對流層

THE CONVECTION ZONE

Energy moves toward the surface through convection currents of heated and cooled gas.

輻射層

THE RADIATIVE ZONE

Energy moves slowly outward from the core, taking more than 170,000 years to radiate through.

核心

THE CORE

Energy is generated by thermonuclear reactions, creating temperatures of around 15 million degrees Celsius.

色球層

THE CHROMOSPHERE

This relatively thin layer is sculpted by magnetic fields that restrain the electrically charged solar plasma. Occasionally larger plasma features—called prominences—form and extend far into the corona, ejecting material away from the Sun.

光球層

PHOTOSPHERE

The photosphere is composed of convection cells called granules, each around 1000 kilometres in diameter with hot plasma rising in the centre and cooler plasma falling in the narrow spaces between them.

SUN SPOTS

Sun spots are caused by intense magnetic activity which inhibits convection, forming areas of reduced surface temperature.

日冕

THE CORONA

Ionised elements within the corona glow in the X-ray and extreme ultraviolet wavelengths.

CORONAL STREAMERS

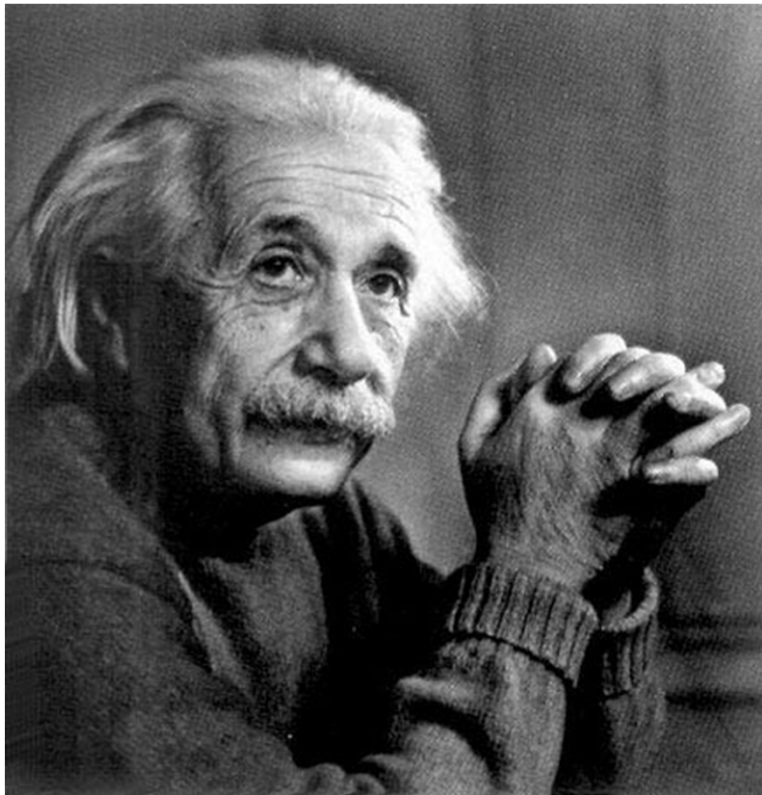
Outward-flowing plasma from the corona is shaped by magnetic fields into tapered coronal streamers which extend millions of kilometres into space.

太陽內部結構

→ 核心(0-0.25 R_s) --- 太陽的能量來源

太陽核心溫度達 1.5×10^7 K，壓力為地球大氣壓力的 2.5×10^{11} 倍，所以核心處的氫會發生核融合反應。

太陽的能量如何產生? --- 質能轉換



$$\Delta E = (\Delta m) c^2$$

氫核融合反應可簡單總結為:

4個氫 → 1個氦 + 能量 + 2個微中子

一次氫核融合所釋出的能量有多大?

4個氫核的質量: $m_{4\text{H}} = 6.693 \times 10^{-27} \text{ kg}$

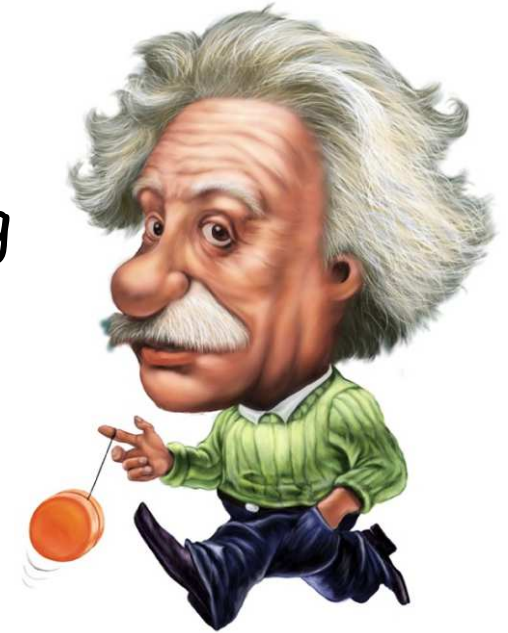
1個氦核的質量: $m_{\text{He}} = 6.645 \times 10^{-27} \text{ kg}$

在氫融合過程的質量損失: $\Delta m = 0.048 \times 10^{-27} \text{ kg}$

而一次氫核融合所釋出的能量為

$$\begin{aligned}\Delta E &= (\Delta m) c^2 \\ &= (0.048 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/sec})^2 \\ &= 4.3 \times 10^{-12} \text{ J}\end{aligned}$$

即一次氫核融合反應用掉4個氫核產生 $4.3 \times 10^{-12} \text{ J}$ 的能量



----- 我是分隔線 -----

這樣的能量其實非常小，所以必須有很多次反應才能獲得足夠維持一顆恆星的能量。例如對太陽而言，需要每秒約 10^{38} 次的這種反應(即約每秒五百萬噸的質量轉換成能量)，才能夠抵消太陽自身的重力收縮以維持穩定狀態。

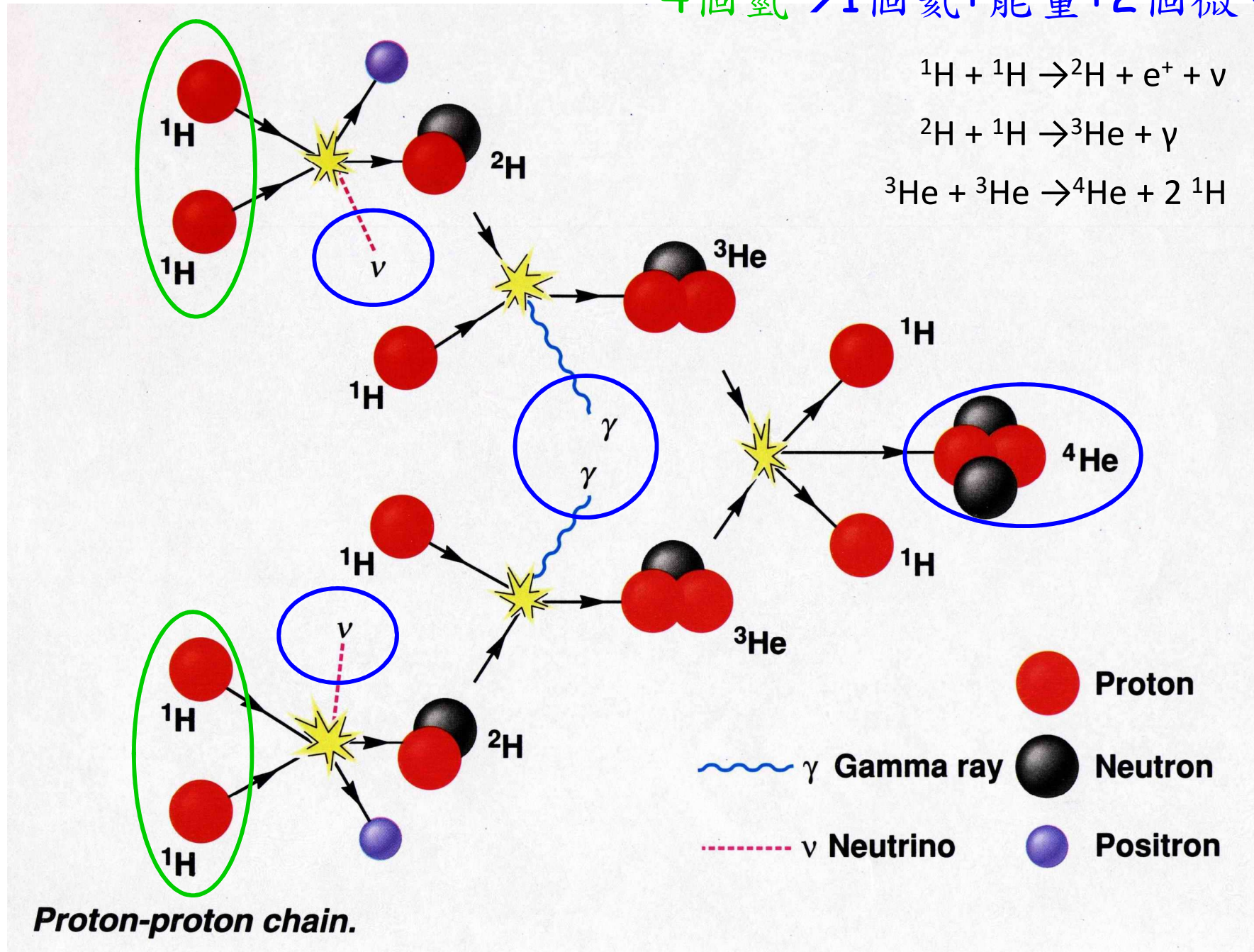
而兩個原子核必須要靠得夠近才可能融合，但因兩個原子核本身都帶正電會互相排斥。要克服此力，需要兩個原子核以高速互相碰撞。因為在高溫下粒子的運動速度才高，所以發生原子核融合反應的環境溫度要高達 10^7 K。

融合反應除高溫外，氣體的密度也要很高。我們知道太陽需要每秒 10^{38} 次反應才能提供足夠的能量，但是在所有碰撞中只有少數百分之幾的碰撞能產生核融合，所以只有當氣體的密度夠高，碰撞的次數才能高到符合維持太陽能量所需。

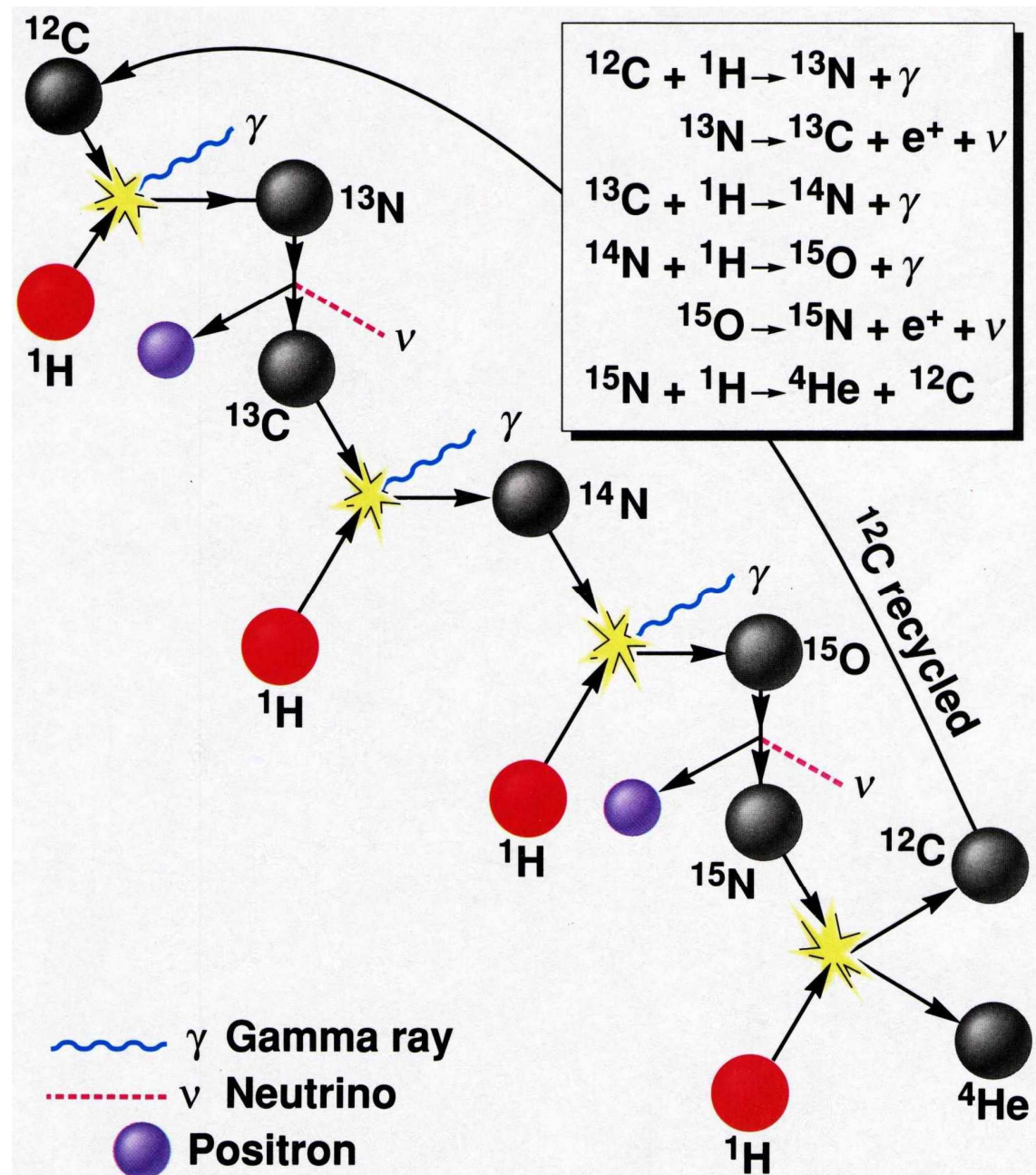
氫核融合的主要過程有：質子-質子(proton-proton chain)與碳氮氧循環(CNO cycle)兩種。

Proton-Proton Chain (PP Chain)---90%太陽能源的產生方式

4個氫→1個氦+能量+2個微中子



CNO Cycle (Carbon-Nitrogen-Oxygen)



→ 輻射層(0.25-0.7 R_s) --- 能量以輻射形式傳出

能量以輻射形式傳出，也就是以電磁波的形式傳遞，因為此層的溫度和壓力不如核心，所以無法產生氫核融合反應

溫度從7百萬K降至2百萬K，密度從20 g/cm^3 降至只有0.2 g/cm^3

γ 射線(高能光子): 不斷與輻射層內的物質粒子碰撞，被物質粒子吸收再以較低能量輻射出來，約花百萬年的時間才能穿過輻射層，光子的能量由 γ 射線減低到可見光與紫外光的能量

微中子: 幾乎不與太陽內部任何物質起反應，以光速或近光速的速度，離開核心向外傳播。

→ Tachocline(差旋層; $0.7 + 0.04 R_s$)

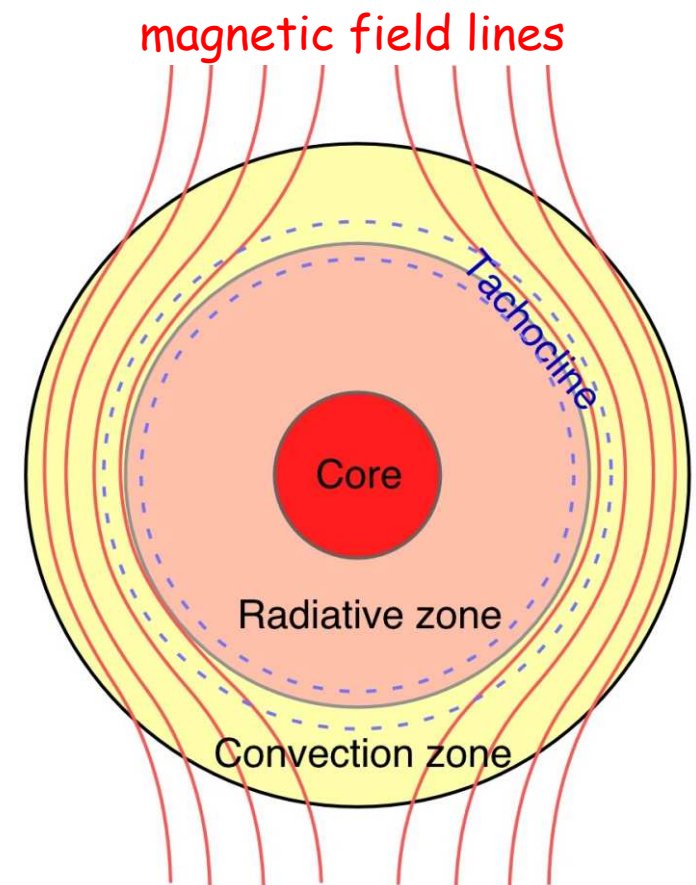
均勻旋轉的輻射層與差動自轉的對流層之間的過渡區域，即意味著此過渡區有很大的剪切剖面，這是一種可以形成大規模磁場的方法

→ 對流層($0.7-1 R_s$) --- 能量以對流形式傳出

此層電漿已經不夠稠密或不夠熱，由輻射層傳來的能量，不再能經由傳導作用有效的將內部的熱向外傳送

溫度向外遞減率非常大，在可見的太陽表面溫度已經降至5800 K，造成對流不穩定而發生對流

此層電漿呈現差動自轉(Differential Rotation)現象



差動自轉

太陽平均約27天自轉一周，赤道區自轉速率較快約需25天，高緯區自轉速率較慢約需30天。太陽的核心和輻射層並無差動自轉。

