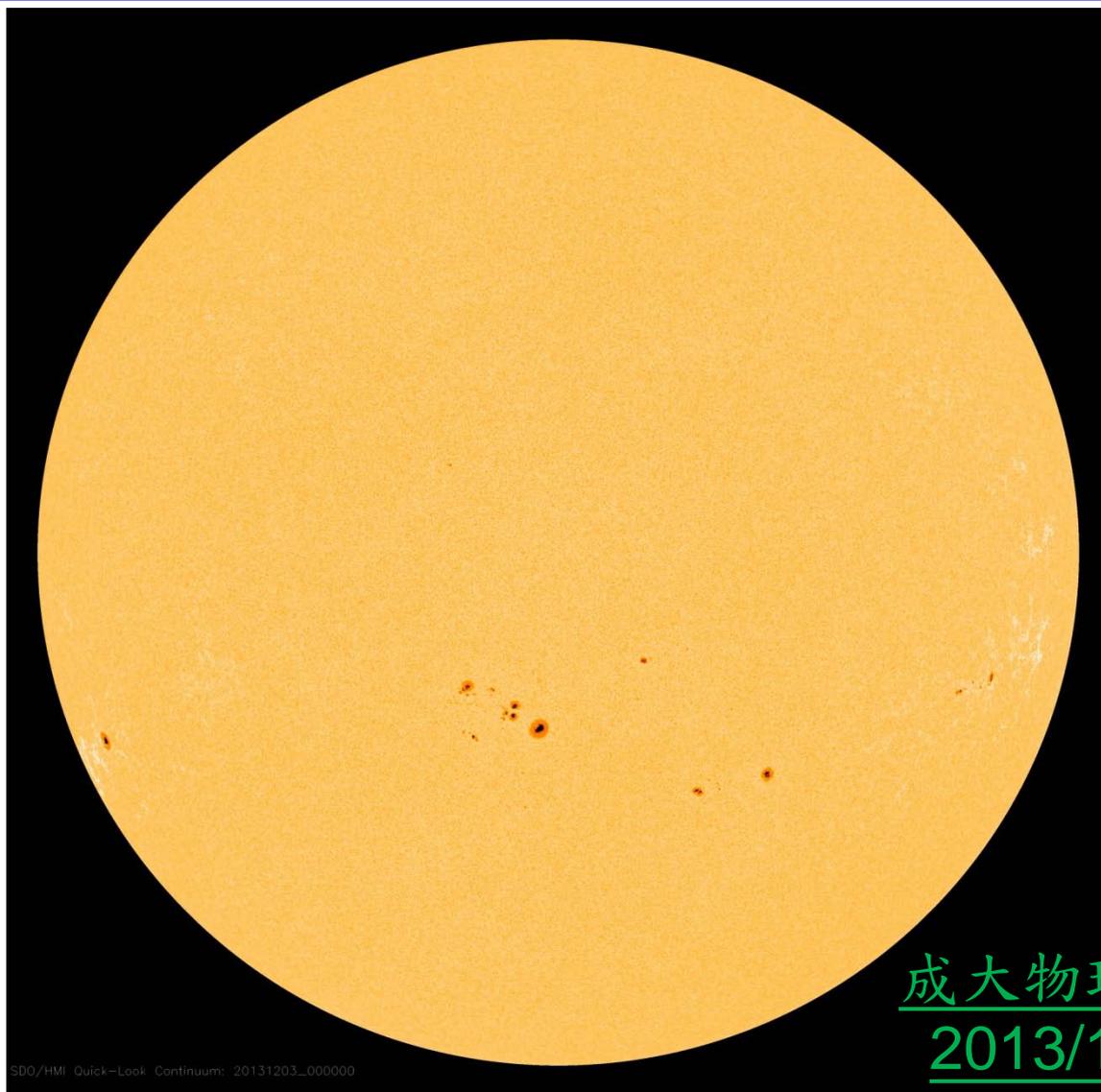


太陽與太空天氣



成大物理系許瑞榮

2013/12/04修訂

於台南區國中小輔導團

綱要：

1. 孕育地球的太陽
2. 太陽週期-太陽黑子
3. 太陽風暴-太陽風、日珥噴發、太陽閃焰、日冕物質拋射
4. 太空天氣-太陽活動對地球環境的影響
5. 太空氣候-太陽活動對地球氣候的影響

多波段觀測中的太陽

The Solar Dynamics Observatory (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/>)

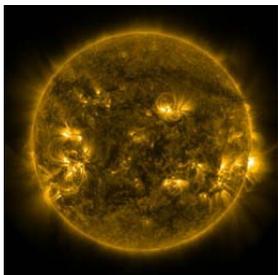
HMI (Helioseismic and Magnetic Imager)

AIA (Atmospheric Imaging Assembly)

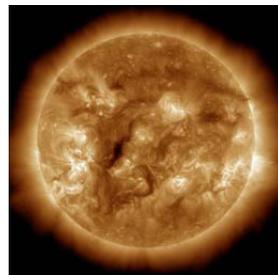
EVE (Extreme Ultraviolet Variability Experiment)

Sun news: <http://www.spaceweather.com/>

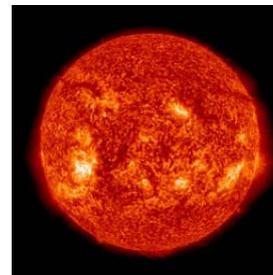
Spotless days: 2013 0 days; 2012 0 days, 2011 2 days (<1%); 2010 51 days (14%); 2009 260 days (71%); Since 2004: 821 days; Typical Solar Min: 486 days.



AIA 171



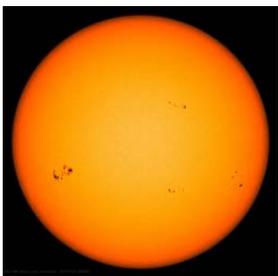
AIA193



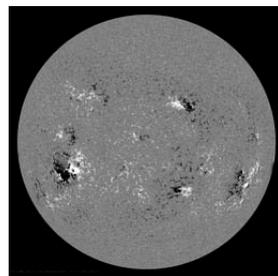
AIA 304



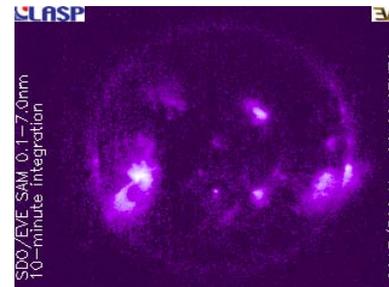
AIA 335



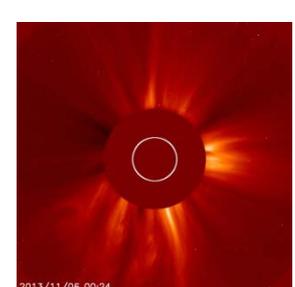
HMI colored



HMI Magnetogram

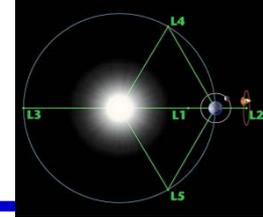


EVE Soft X-Ray



LASCO C2

太空中的太陽望遠鏡



<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

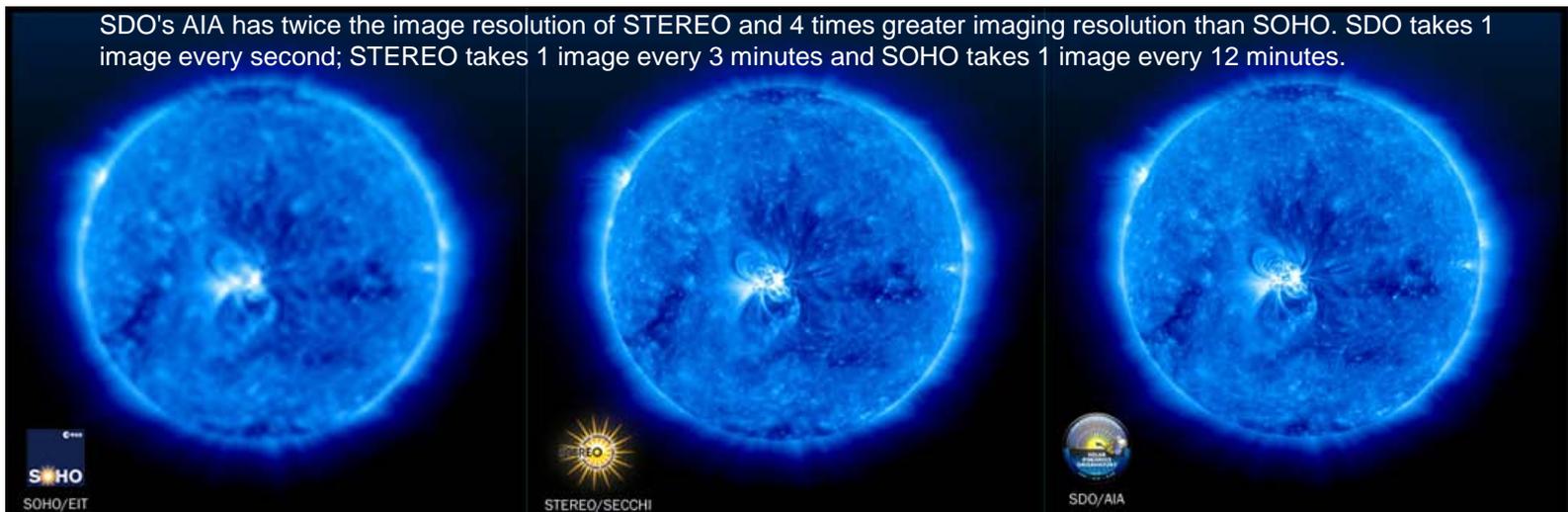


<http://stereo.gsfc.nasa.gov/>

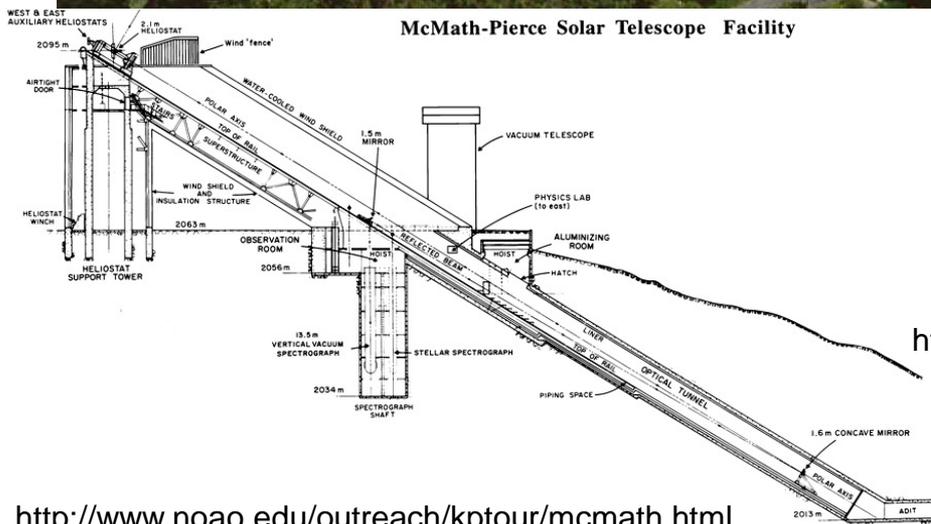
<http://sdo.gsfc.nasa.gov/>



SDO's AIA has twice the image resolution of STEREO and 4 times greater imaging resolution than SOHO. SDO takes 1 image every second; STEREO takes 1 image every 3 minutes and SOHO takes 1 image every 12 minutes.



McMath-Pierce 1.6m Solar Telescope



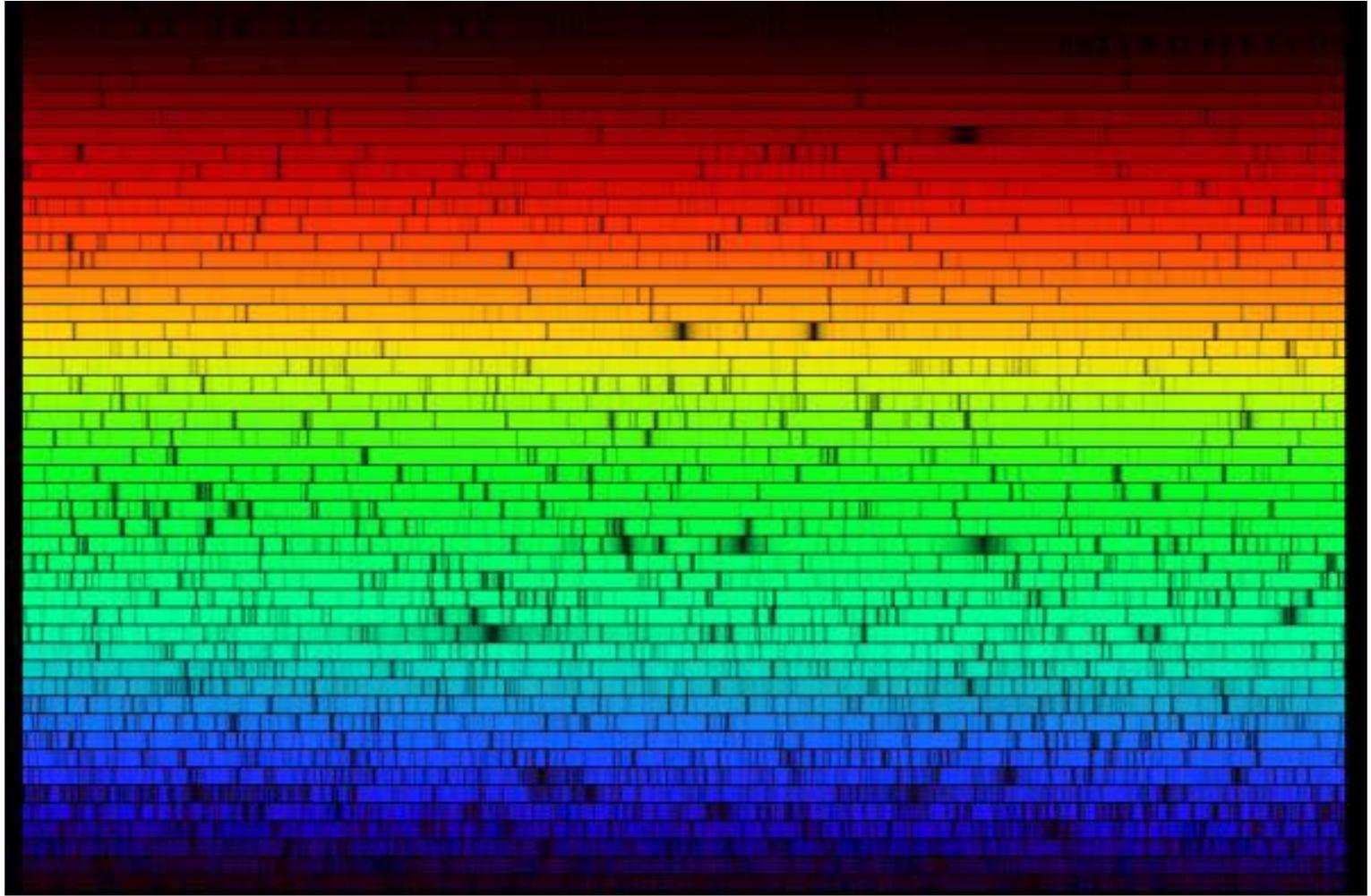
<http://www.noao.edu/outreach/kptour/mcmath.html>



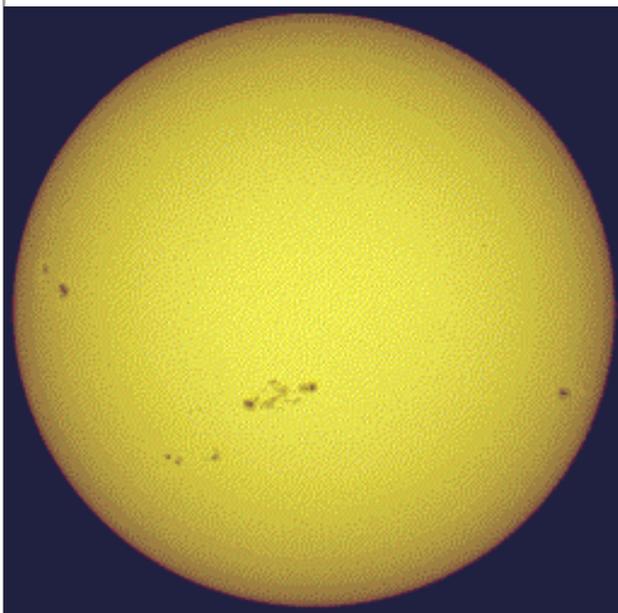
http://www.solarphysics.kva.se/NatureNov2002/telescope_eng.html

Swedish 1-m Solar Telescope

太陽的化學組成



太陽的光譜含有許多暗線，稱為吸收光譜。吸收光譜的功能就像「條碼」，讓我們知道太陽光球層至少含有57種化學元素。



太陽是一團氣體，並無表面。

人類肉眼可見的光球層被稱為是太陽表面。

化學組成 (質量百分比)	氫 (73%)、氦 (25%)、金屬 (2%)
化學組成 (原子數目)	氫 (92.1%)、氦 (7.9%)、金屬 (0.1%)
地球平均距離 (天文單位 : AU)	1.00 ($1.496 * 10^8$ km)
視張角 (度)	0.53
軌道傾角 (度)	0.773
自轉週期 (天)	25 ~35
半徑 ($R_{\text{地球}}$)	109.1 ($6.96 * 10^5$ km)
質量 (kg)	$1.989 * 10^{30}$ ($332,946 M_{\text{地球}}$)
核心密度 (g/cm^3)	151.3
平均密度 (g/cm^3)	1.409
核心溫度 (K)	15,557,000
光球層溫度 (K)	5,780
日冕溫度 (K)	2,000,000 - 3,000,000
核心壓力 (bars)	$2.334 * 10^{11}$
光球層壓力 (bars)	0,0001
脫離速度 (km/s)	617.7
光度 (J/s ; 瓦)	$3.826 * 10^{26}$
光譜分類	G2 V
視星等	- 26.74
絕對星等	4.83

台電在民國100年總發購電量為2,130.4億度，較99年增加2.7%。抽蓄水力發電量為28.9億度，佔1.4%；火力發購電量為1,548.3億度，佔72.7%；核能發電量為405.2億度，佔19.0%；再生能源發購電量為55.5億度，佔2.6%；購自託營水力、汽電共生、民營電廠等電量為504.5億度，佔23.7%。

(民國100年售電量為1,986.4億度)

資料來源：

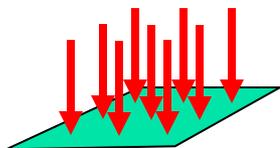
http://www.taipower.com.tw/left_bar/jing_ying_ji_xiao/year_production.htm

台灣每年消耗的能源約2,000億度= 2×10^{11} 千瓦小時
= $2 \times 10^{11} \times 10^3 \times 60 \times 60 = 7.2 \times 10^{17}$ joule

太陽的光度為 3.90×10^{26} J/s，也就是太陽每秒鐘所輻射的能量可讓台灣使用 $3.90 \times 10^{26} / 7.2 \times 10^{17} = 5.4 \times 10^8$ 年

太陽每秒鐘照射到地球每平方公尺的面積上的能量

Energy Flux



$$F = 1360 \text{ J/m}^2/\text{s}$$

$F = \text{Energy Flux} =$

= Energy received in the form of radiation, per unit time and per unit surface area [J/s/m^2]

每平方公尺的太陽能板(<40%)可獲得的能~500J/s(Watt)

→點亮5個100W的燈泡

→每小時可收集0.5度(千瓦小時)的電。

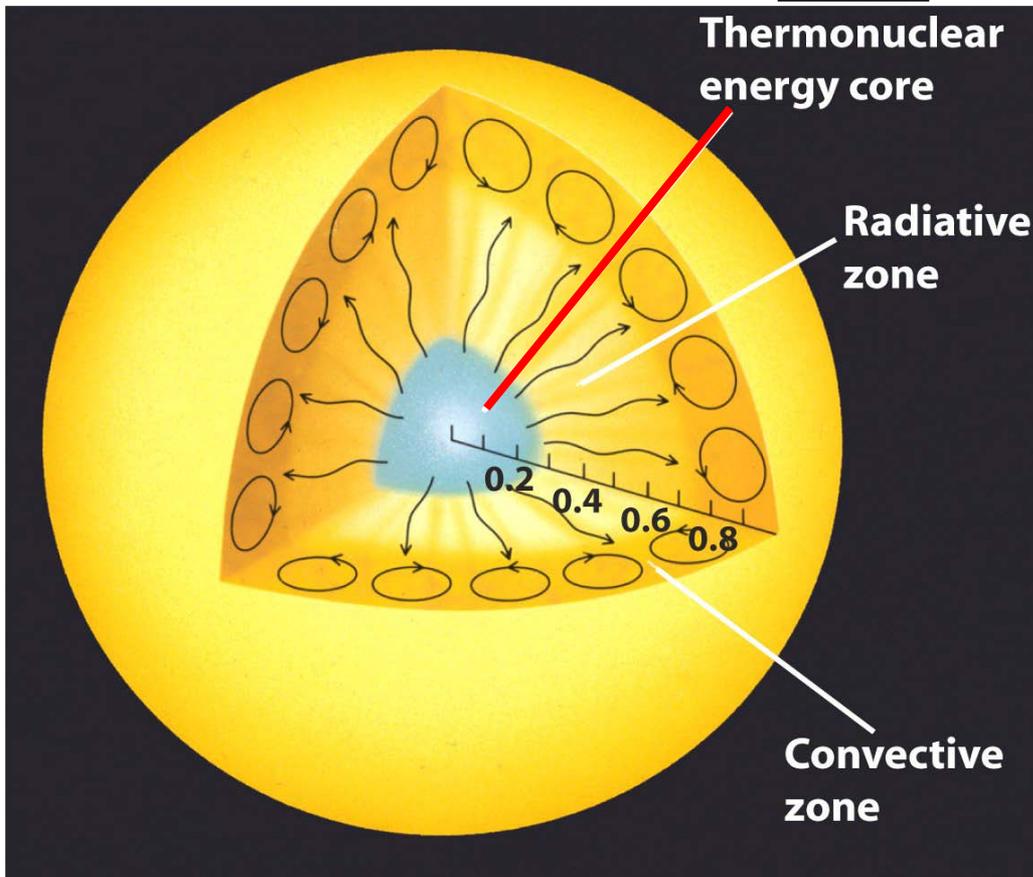
- 太陽的內部結構
 核心 (太陽的能源)、輻射層、對流層
- 太陽的大氣結構
 光球層、色球層、日冕層



太陽的內部結構

太陽的核心

核心



範圍：小於 $25\% R_{\odot}$

溫度：15,000,000 - 7,000,000度

密度：150 - 20 g/cm^3

耗氫速率：668,000,000 噸/秒

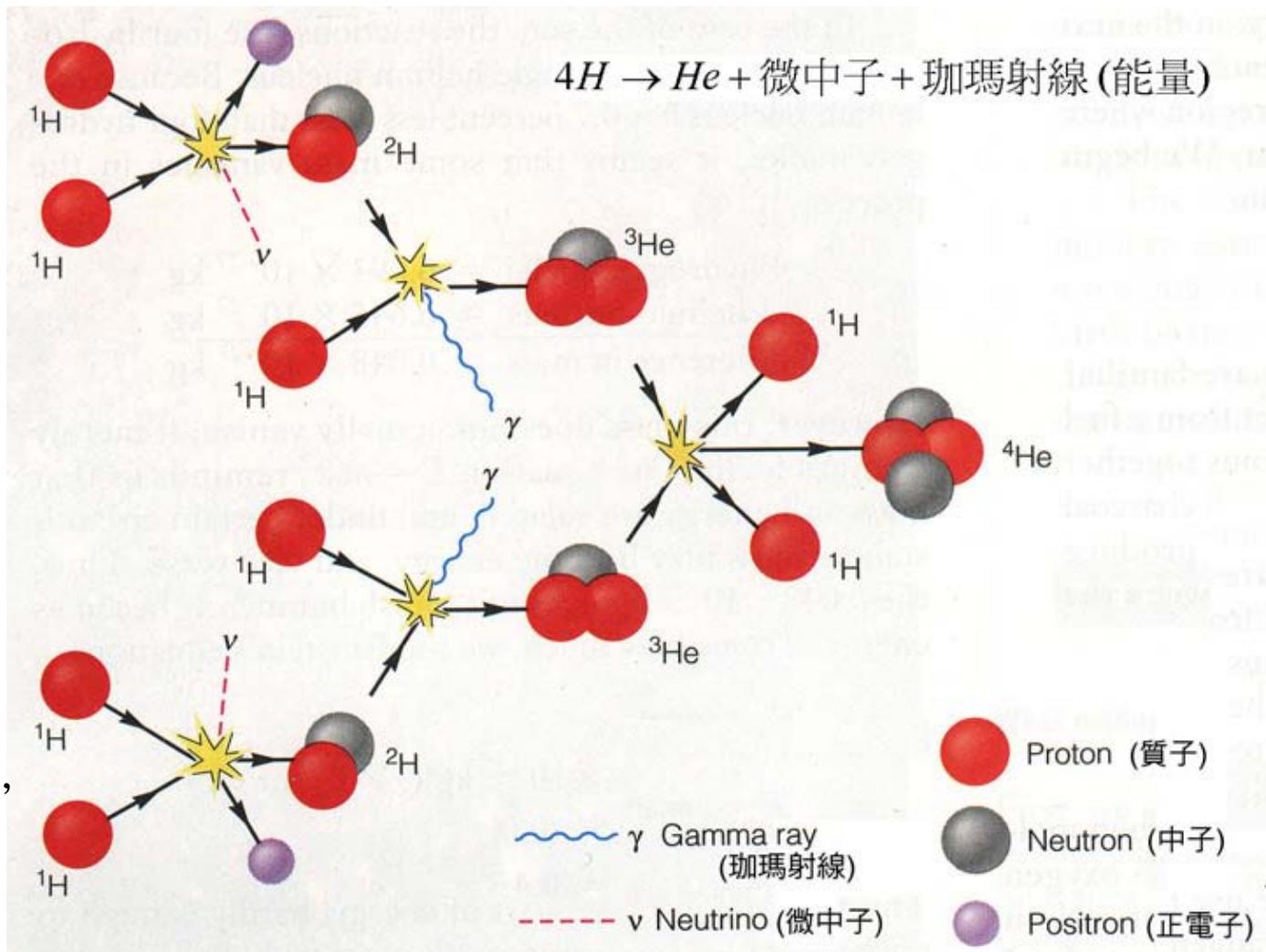
質量損耗速率：4,500,000 噸/秒
(0.72%)

產能功率： 3.826×10^{26} 瓦

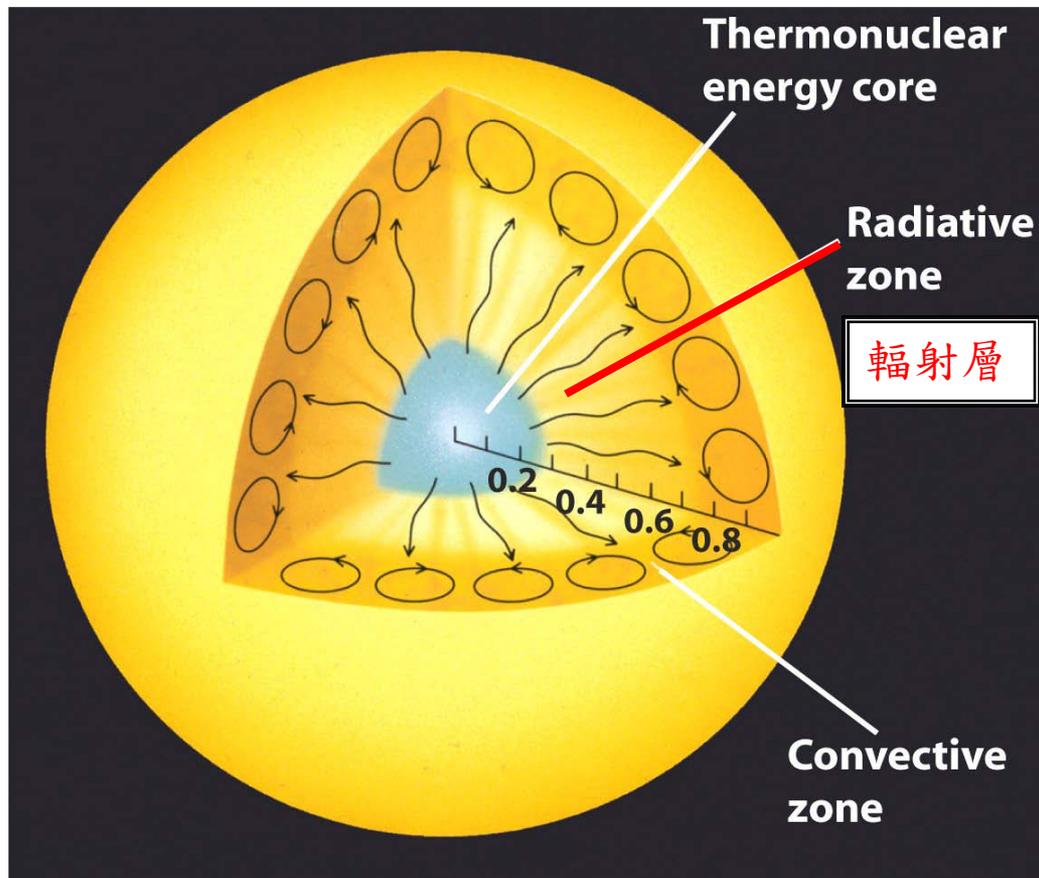
太陽的壽命： ~ 100 億年

太陽的能源：質子-質子鍊

- 氫核與氫核平均互撞 10^{19} 次才會發生一次融合反應。
- 太陽核心每秒發生 10^{38} 次融合反應，每秒用掉 6.68×10^{11} kg的氫。
- 因氫融合反應損失0.72%的質量，故太陽每秒損失450萬噸的質量，質量轉換所產生的熱，加熱氣體產生壓力以抵抗重力的擠壓，並輻射出 3.826×10^{26} 瓦的能量。



輻射層 (radiative zone)



範圍：25% - 70% R_{\odot}

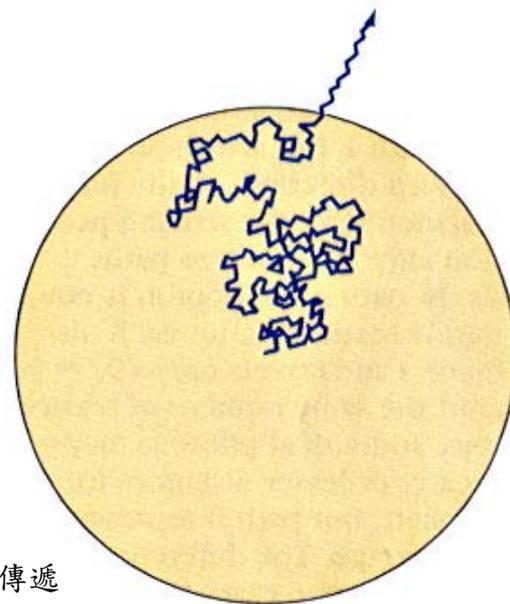
溫度：7,000,000 - 2,000,000度

密度：20 - 0.2 g/cm^3

能量傳遞方式：輻射

光子平均傳遞距離： $< 0.3 \text{ mm}$

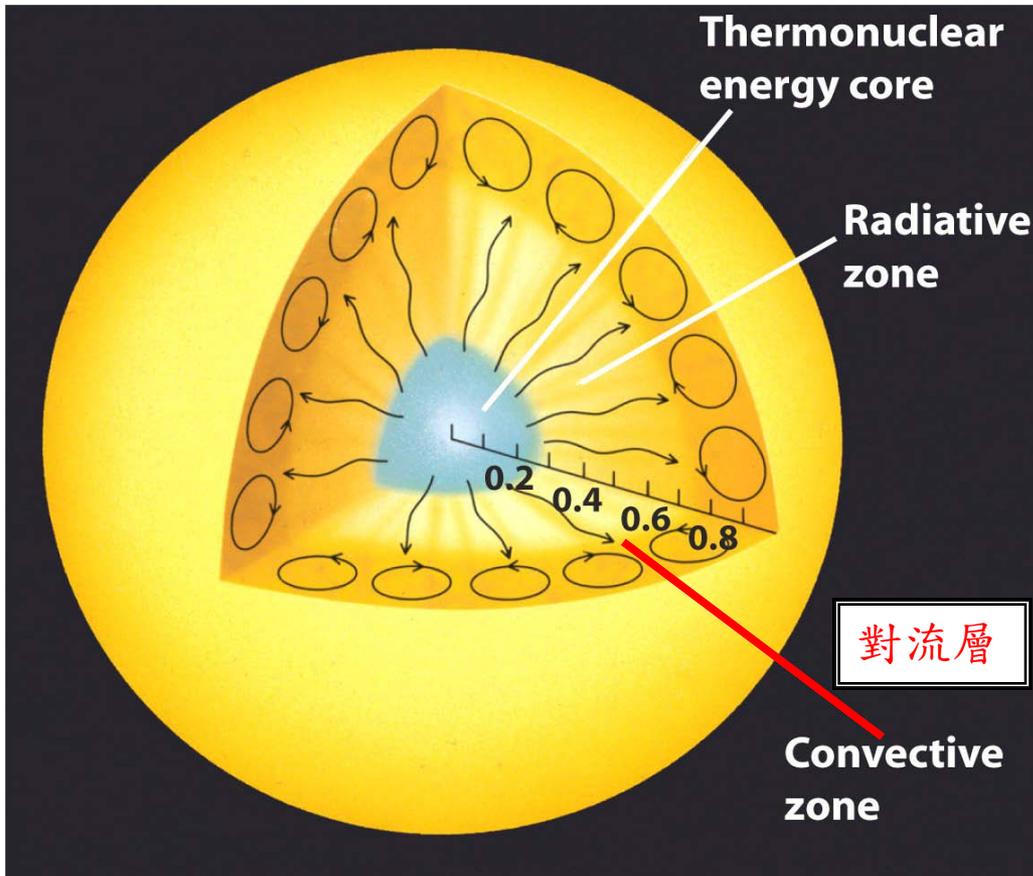
傳遞時間：30 - 50 萬年



光子的傳遞

能量傳遞的方式：輻射、傳導、對流；在太陽這種恆星靠核心的區域，以輻射傳送能量的效率最高，故核心的周圍是輻射層。

對流層 (convective zone)



範圍： $> 70\% R_{\odot}$

溫度：2,000,000 - 5,800度

密度：0.2 - 0.0000002 g/cm³

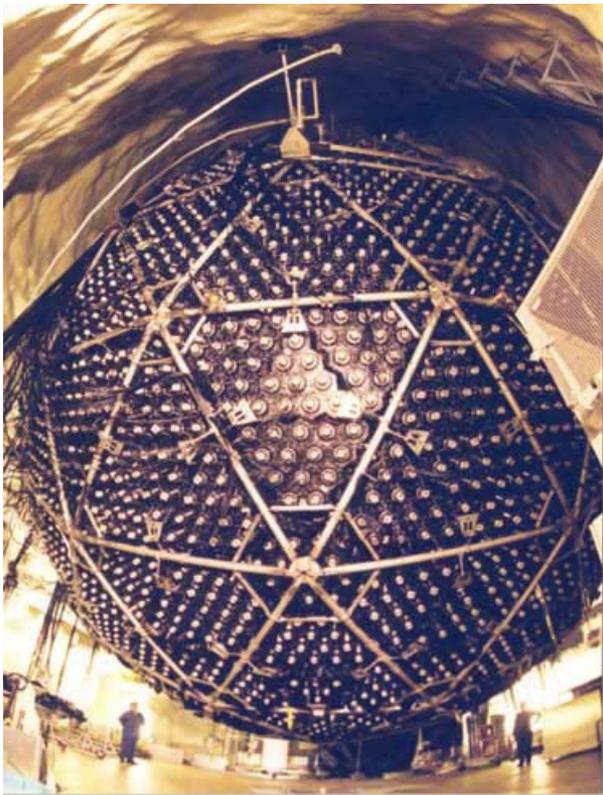
能量傳遞方式：對流

傳遞時間：數天

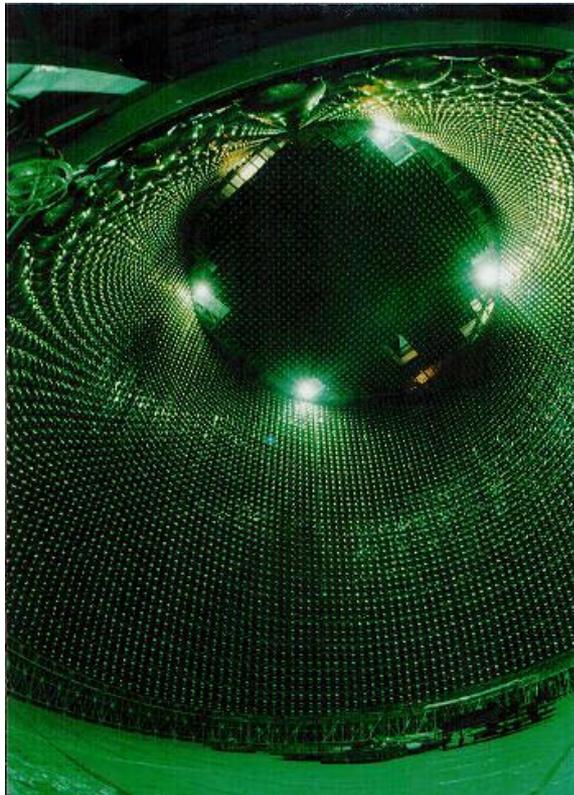
太陽靠表層的氣體溫度較高，表層氣體大多是中性氣體分子，易吸收來自輻射層的光，此時能量以對流的方向傳送之效率較高，故太陽的外層為對流層。

微中子太陽望遠鏡

由於太能核心的能量，要歷經數十萬年才能傳到表面，故如想探索太陽核心的狀態，則需仰賴微中子望遠鏡。



Sudbury Observatory
Canada
地下2072 m
重水

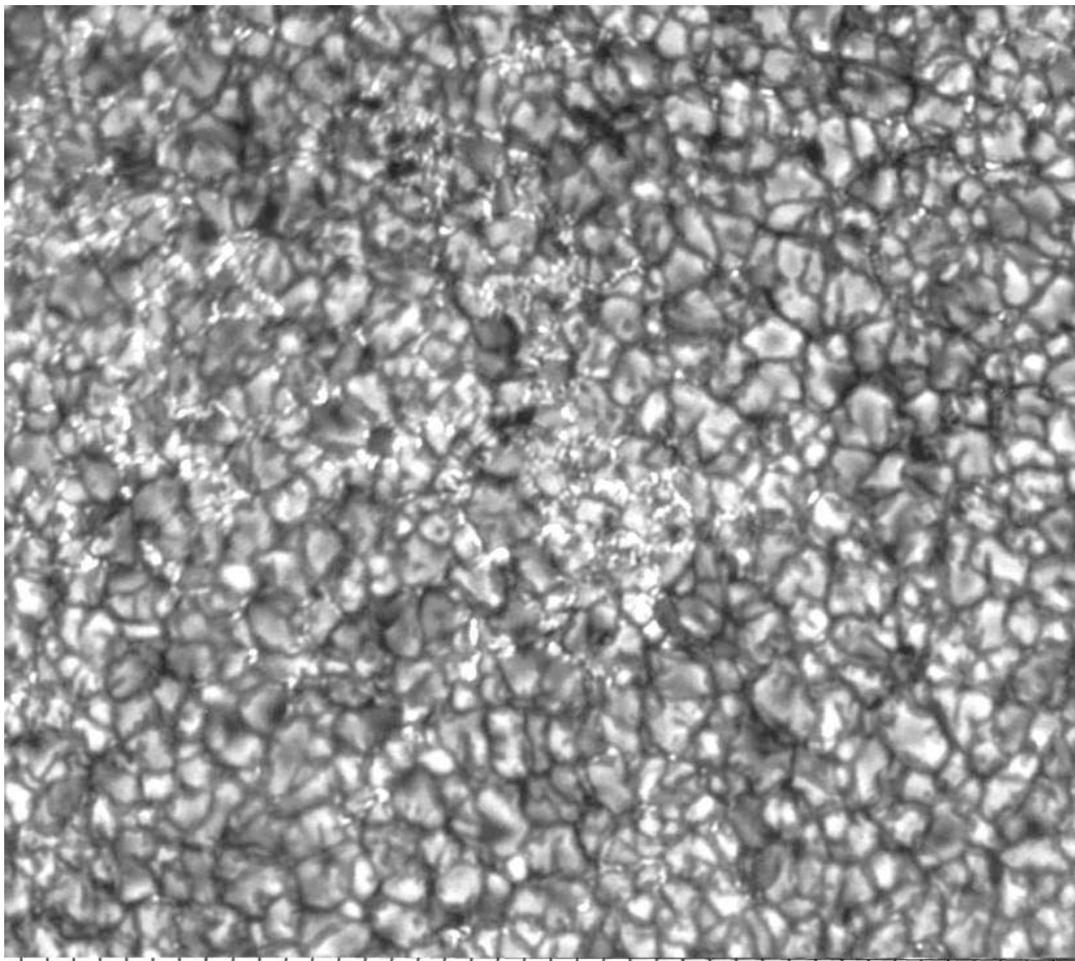


Super-Kamiokande
Japan
地下1000 m
高純度輕水



Homestake, USA
地下1493 m
四氯化碳

如何得知太陽有內部結構？



30

40

50

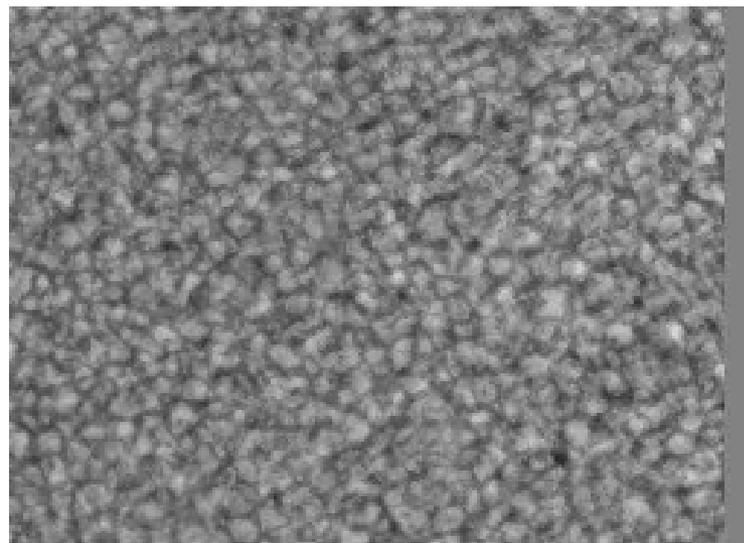
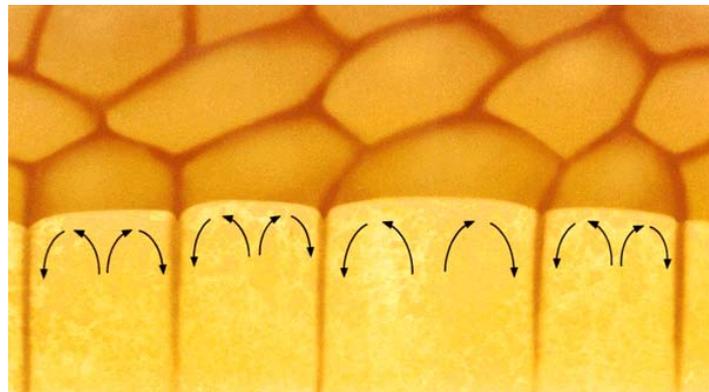
60

Photospheric granulation, G. Scharmer
Swedish Vacuum Solar Telescope
10 July 1997

Distance in units of
1000 kilometers

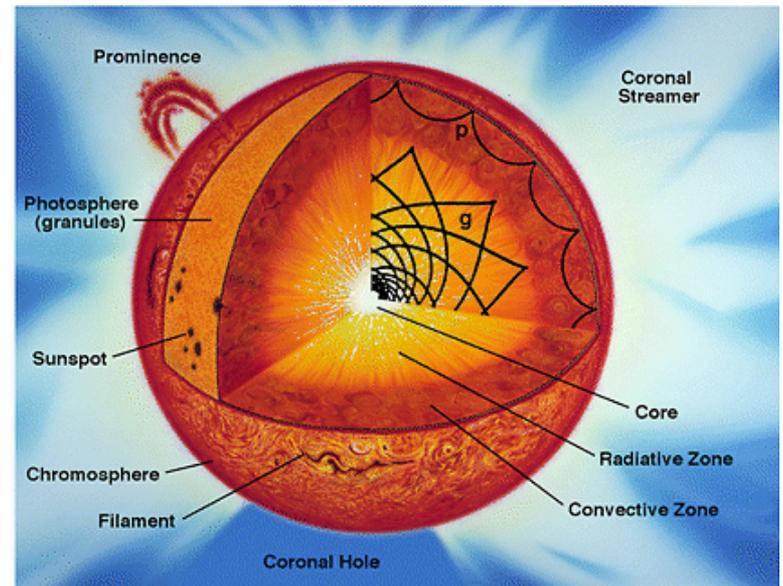
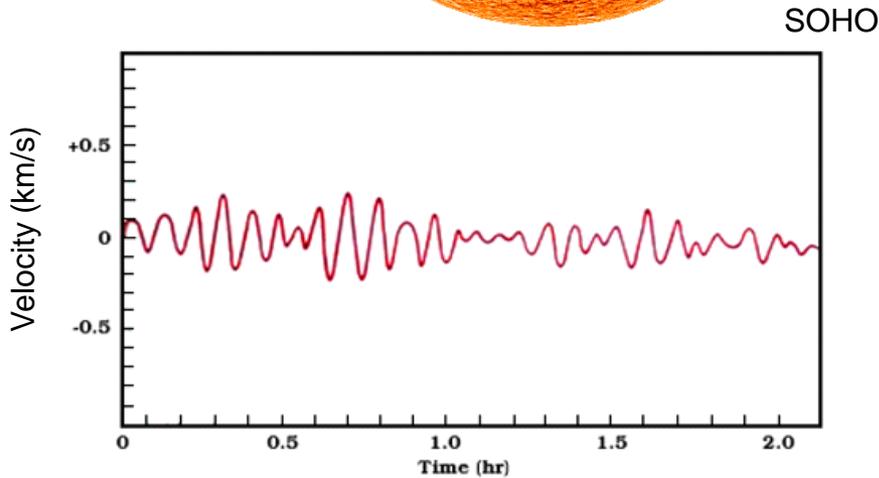
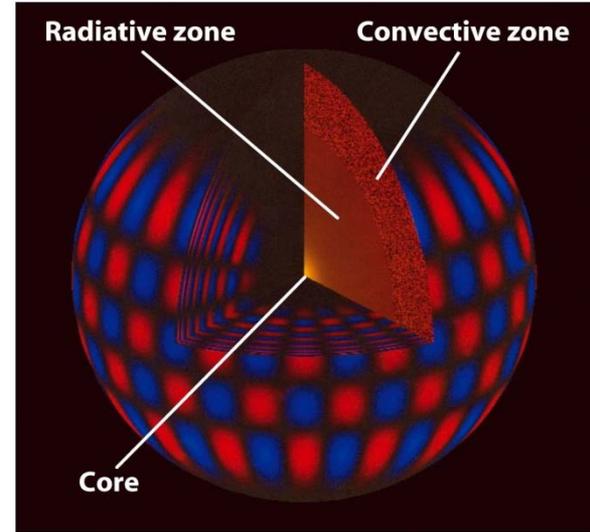
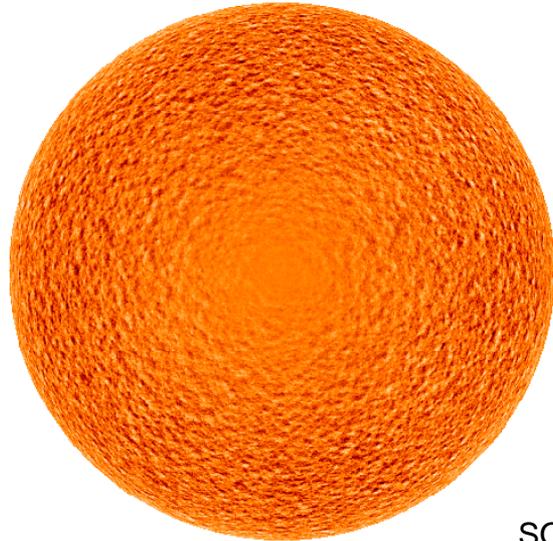
米粒組織 (對流胞的頂部)

Freedman



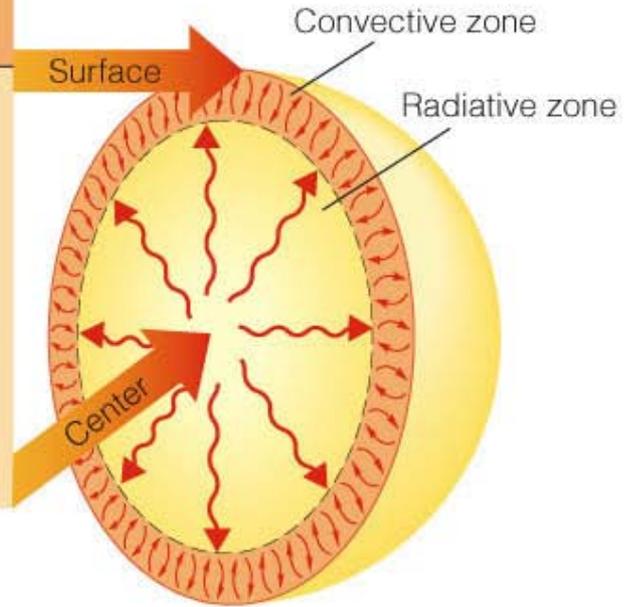
動畫

日震學 (Helioseismology)



電腦模擬太陽的內部結構

R/R_{\odot}	T (10^6 K)	Density (g/cm^3)	M/M_{\odot}	L/L_{\odot}
1.00	0.006	0.00	1.00	1.00
0.90	0.60	0.009	0.999	1.00
0.80	1.2	0.035	0.996	1.00
0.70	2.3	0.12	0.990	1.00
0.60	3.1	0.40	0.97	1.00
0.50	4.9	1.3	0.92	1.00
0.40	5.1	4.1	0.82	1.00
0.30	6.9	13.	0.63	0.99
0.20	9.3	36.	0.34	0.91
0.10	13.1	89.	0.073	0.40
0.00	15.7	150.	0.000	0.00



$$\frac{dM}{dr} = 4\pi r^2 \rho$$

$$\frac{dL}{dr} = 4\pi r^2 \rho e$$

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM}{r^2} \rho$$

$$\frac{dT}{dr} = \frac{-3}{16\pi ac} \frac{\kappa \rho}{T^3} \frac{L}{r^2}$$



太陽的大氣結構：光球層(Photosphere)

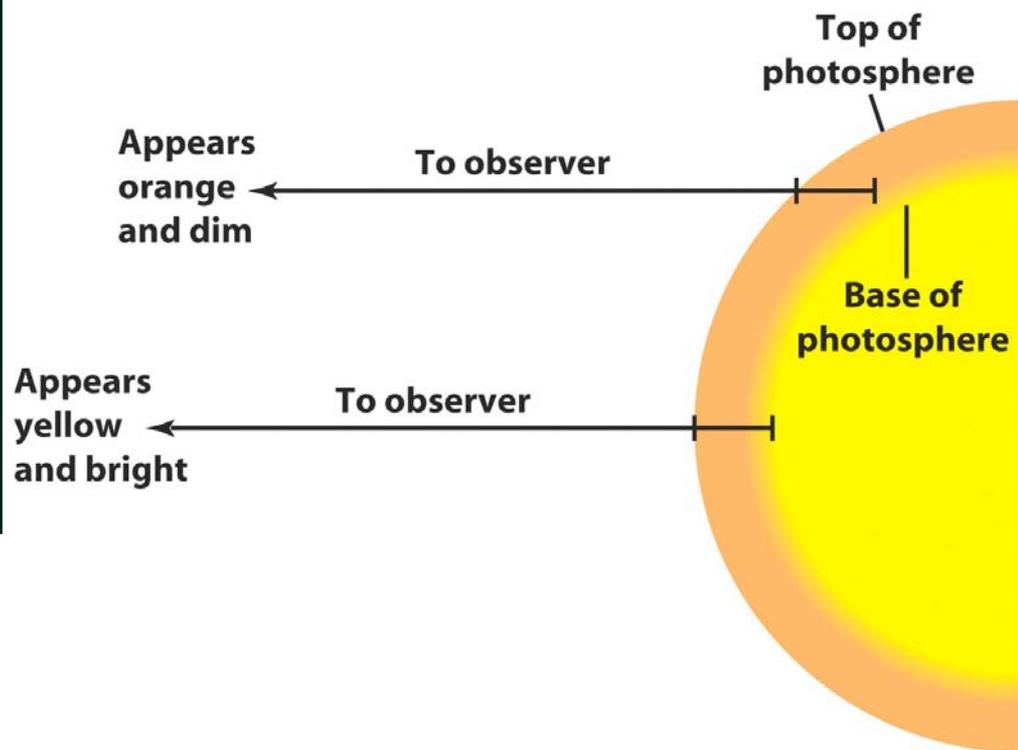
- 太陽的可見“表面”

範圍：厚度約 600公里

溫度：5,800 度

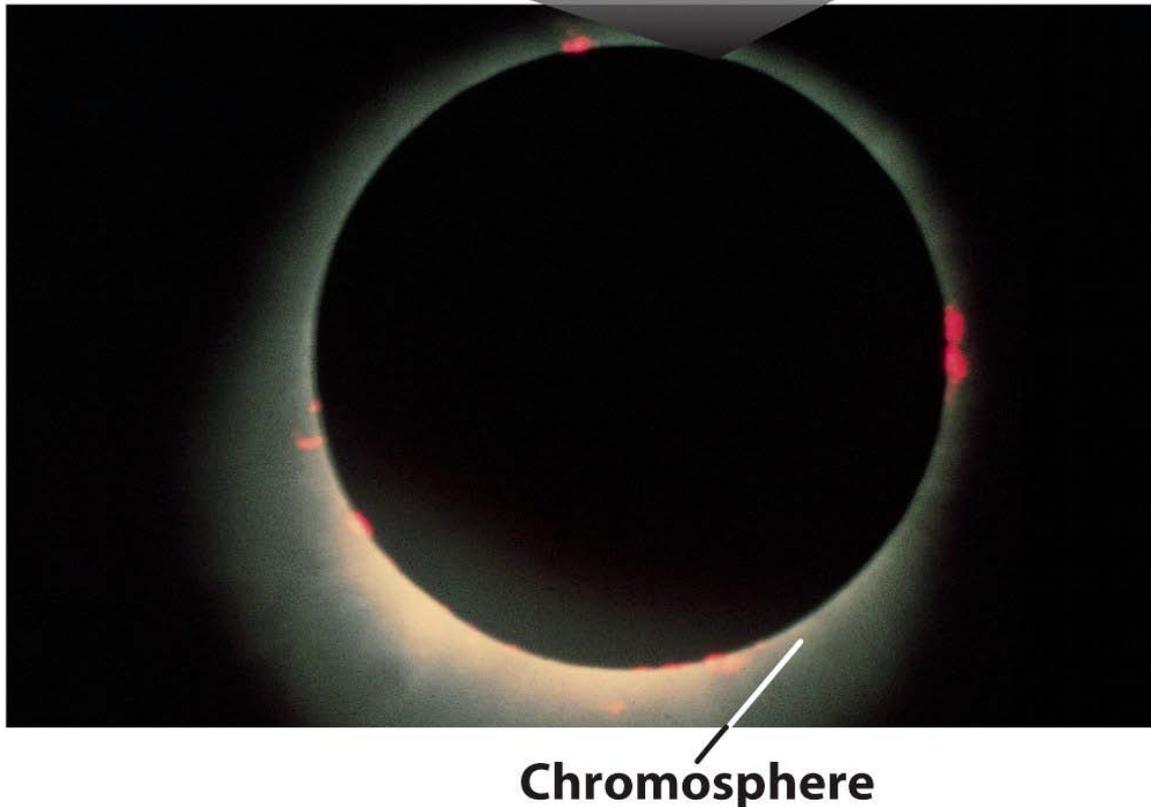
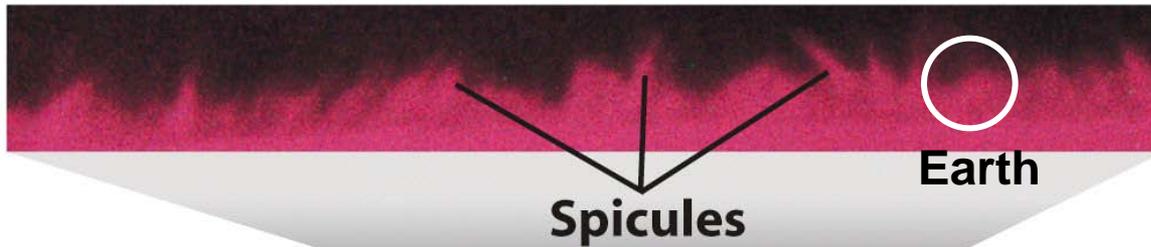
密度：極稀薄

太陽靜態結構中數低溫的一層，主要光譜為吸收譜



盤面邊緣較暗的現象稱為
臨邊昏暗 (limb darkening)

色球層 (Chromosphere)



範圍：

光球層上到大約一個地球厚度的區域

溫度：5,800 - 20,000度

密度：極稀薄

顏色：

氫原子的H-alpha線 (6563埃，紅光；透過H-alpha濾鏡可看到色球層的輻射和結構。)

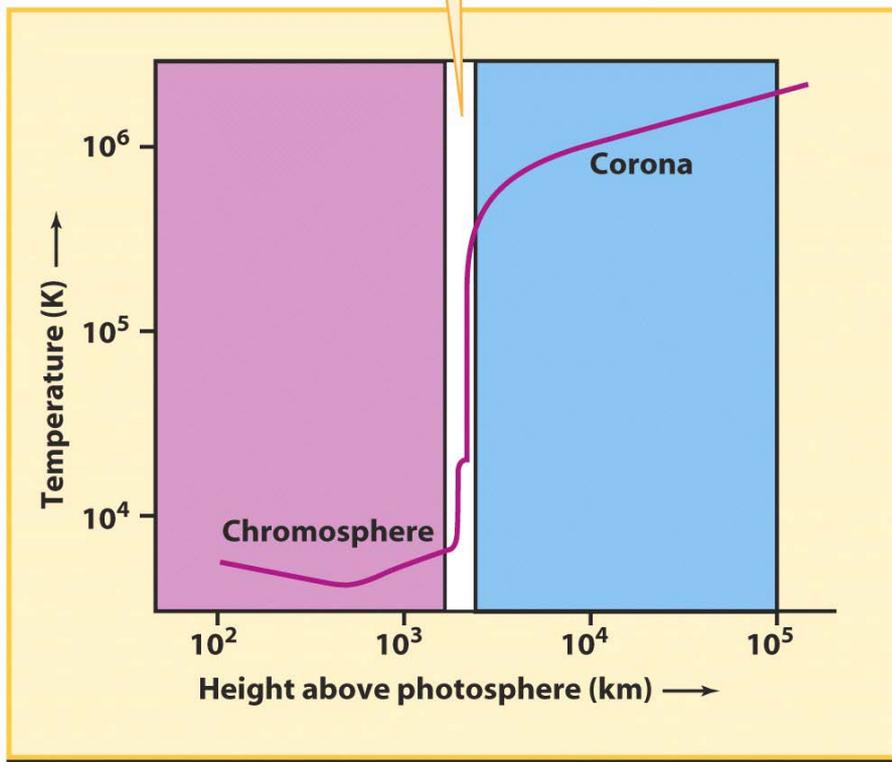
主要光譜為發射譜

日冕層

溫度： $>1,000,000$ 度

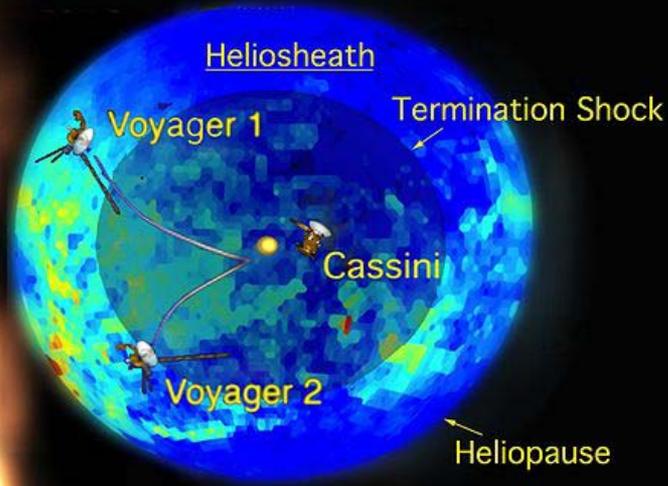
特色：氫、氦完全游離，無法再發出輻射，所以不可見。主要的輻射來自高度游離的鐵、鈣等重元素所發出的紫外及X射線輻射。

In this narrow transition region between the chromosphere and corona, the temperature rises abruptly by about a factor of 100.



Heliosphere

Bow Shock

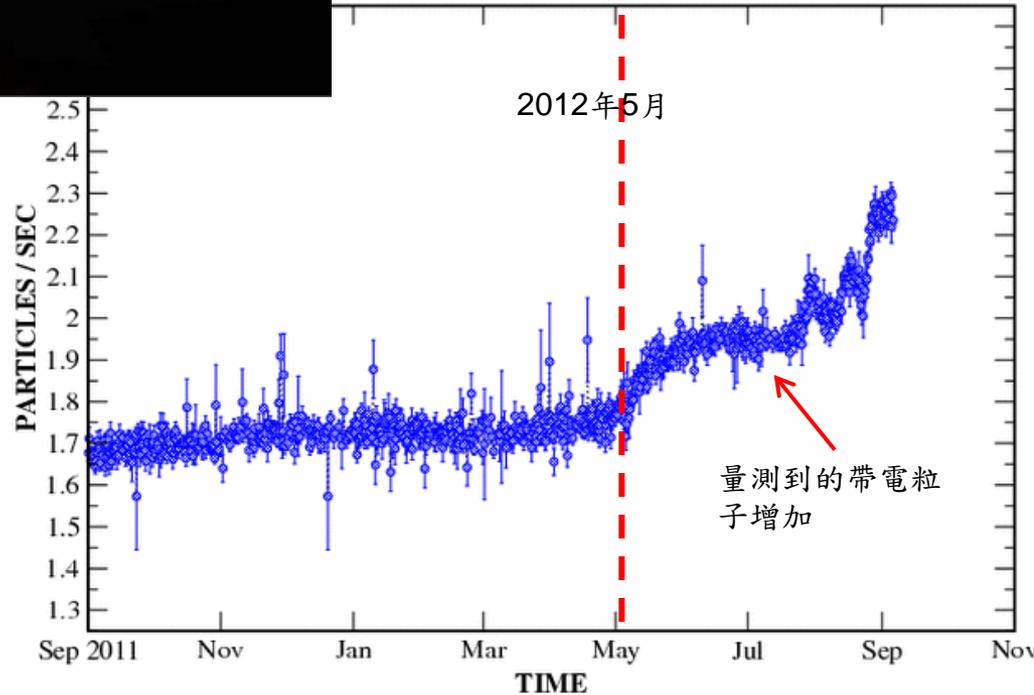


VOYAGER-1

> 70 MeV/nuc ions (6-Hour Avg)

Has Voyager reached the edge of Solar System? No!

Voyager 1 只是穿出了太陽風層 (Heliosphere; 125 AU, 通訊去回約需35小時), 見到了來自宇宙的高能帶電粒子, 要脫離太陽的重力影響, 還要再過約5萬年。



綱要：

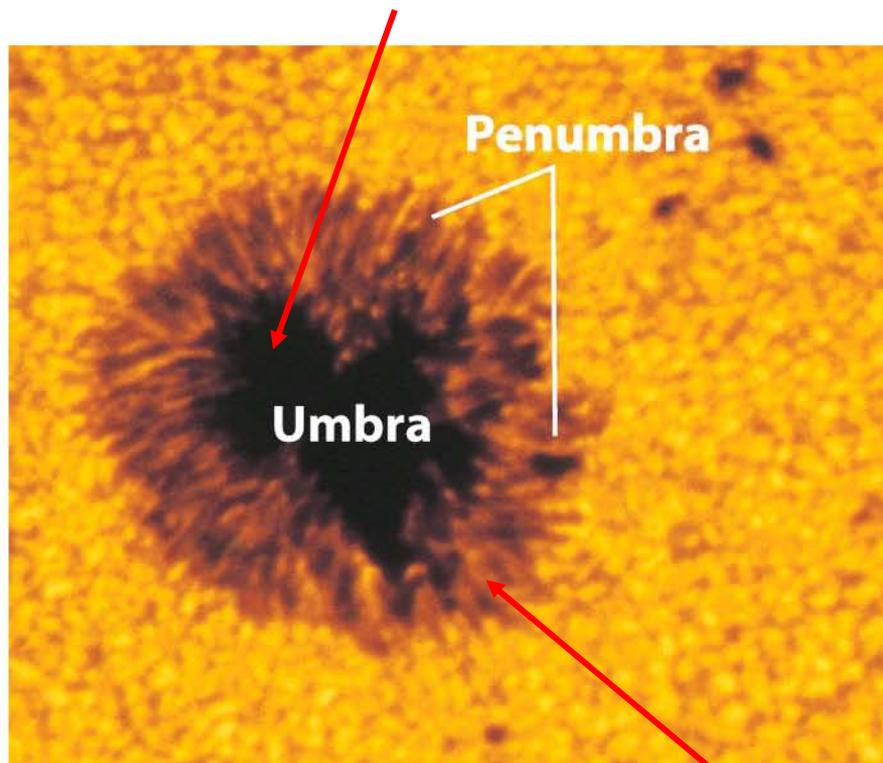
1. 孕育地球的太陽
2. 太陽週期-太陽黑子
3. 太陽風暴-太陽風、日珥噴發、太陽閃焰、日冕物質拋射
4. 太空天氣-太陽活動對地球環境的影響
5. 太空氣候-太陽活動對地球氣候的影響

光球的黑斑：太陽黑子 (sunspots)

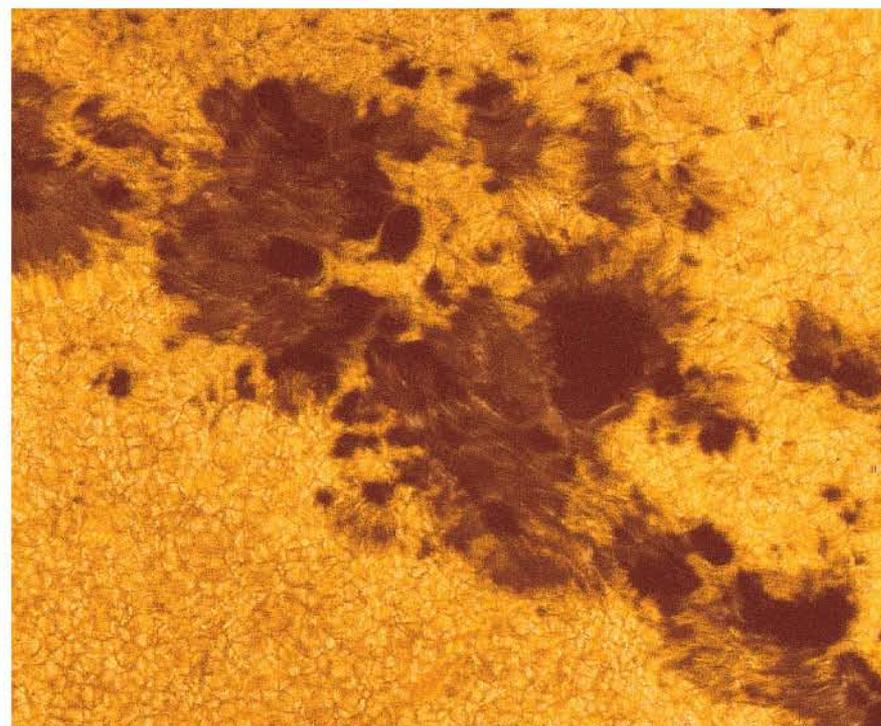
本影 (umbra)

(~ 4300 K，比其他區域的6000 K低，故視覺上呈黑色； 30% flux from normal surface)

太陽黑子為光球層的主要特徵之一



(a) 太陽黑子

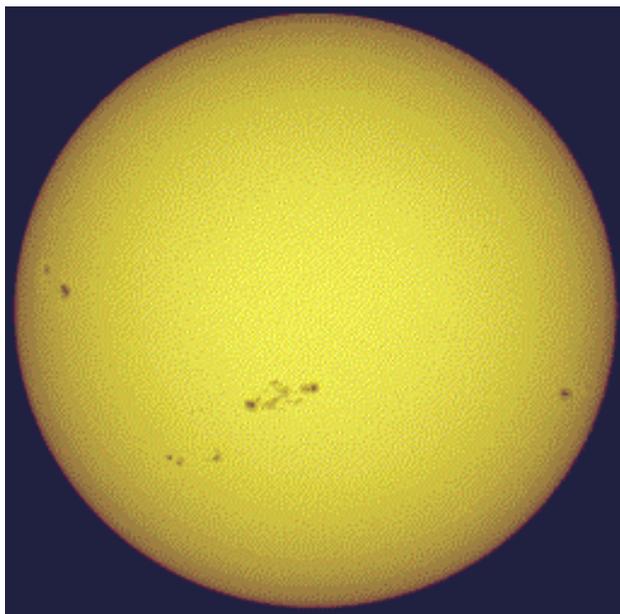


(b) 黑子群

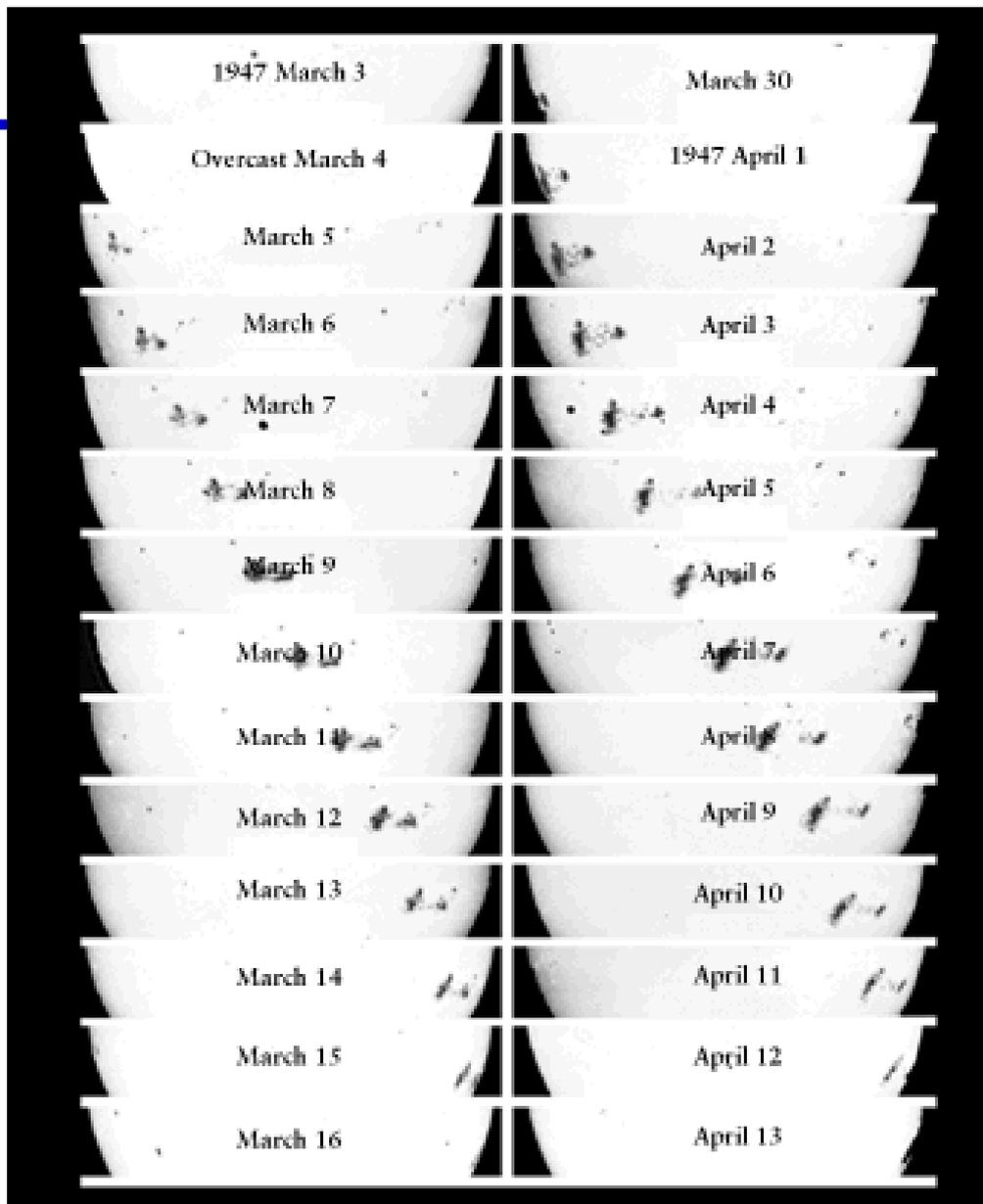
半影 (penumbra)

太陽黑子與太陽自轉

同一太陽黑子可存活數天到數十天，故可以作為太陽自轉運動示蹤的標誌。

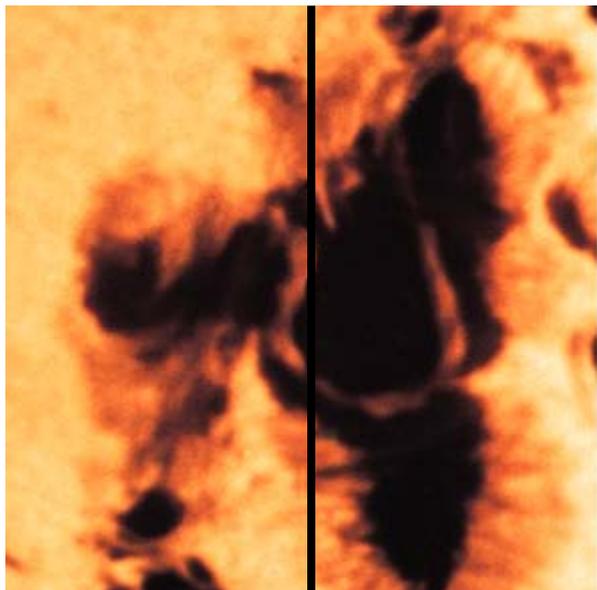


動畫

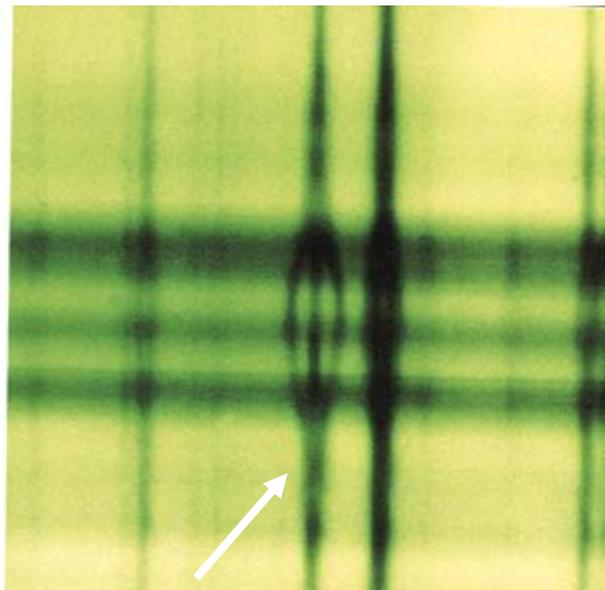


Freedman

太陽黑子所在區域為強磁場區 (此為黑子之成因)



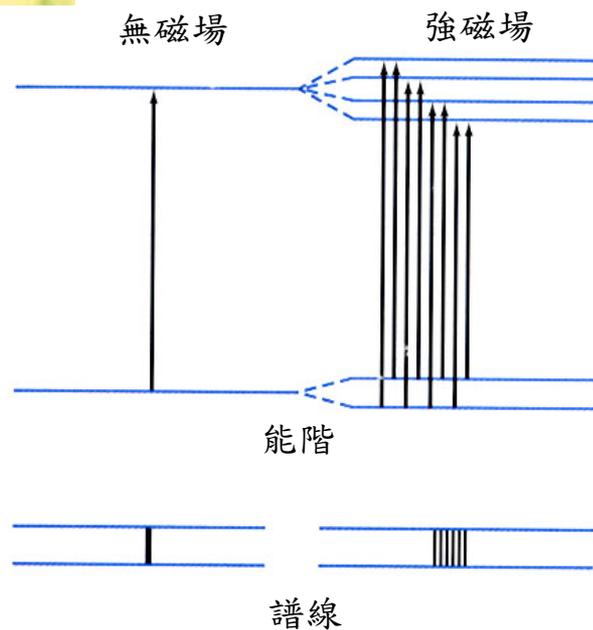
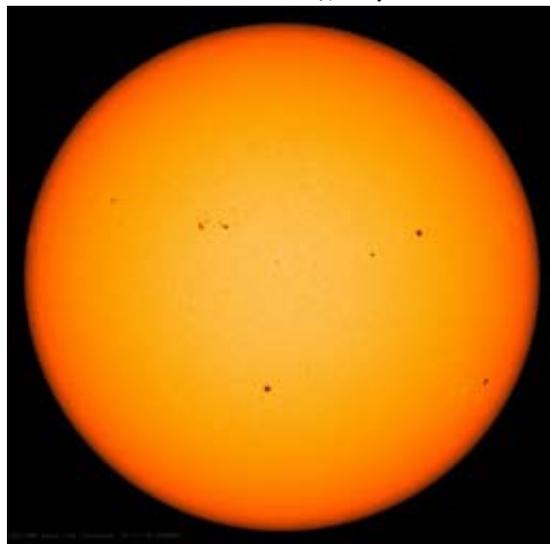
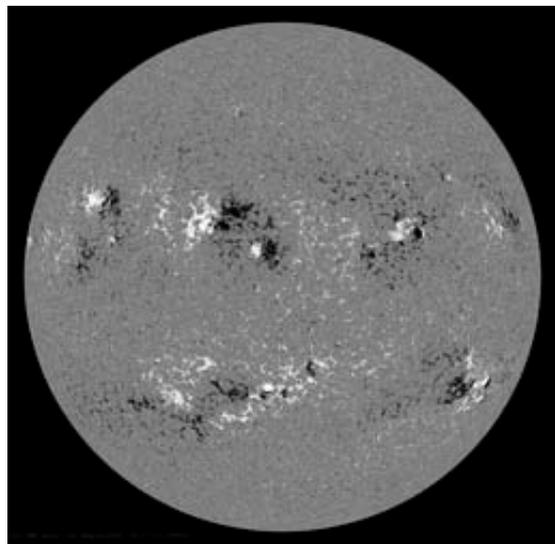
磁相圖



可見光影像

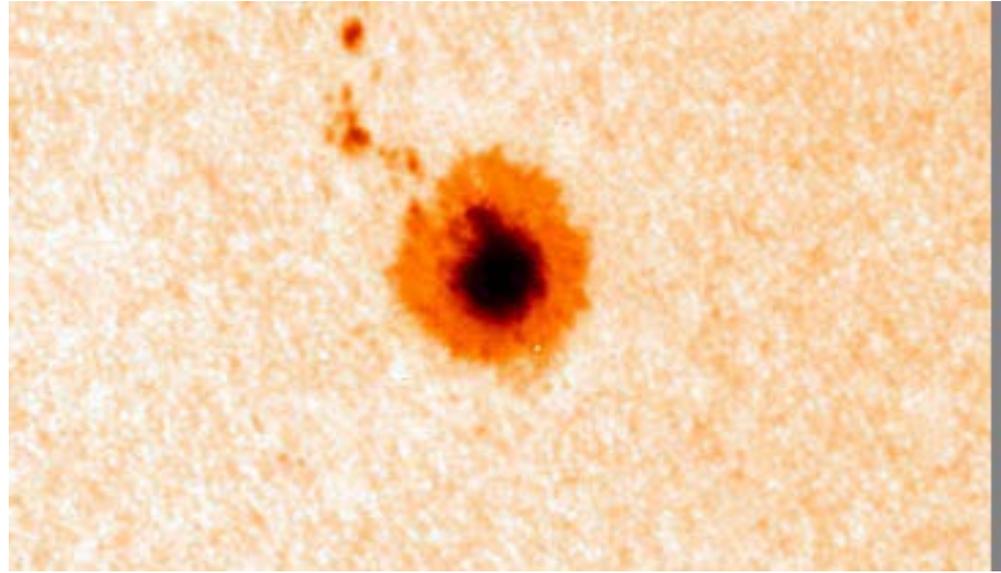
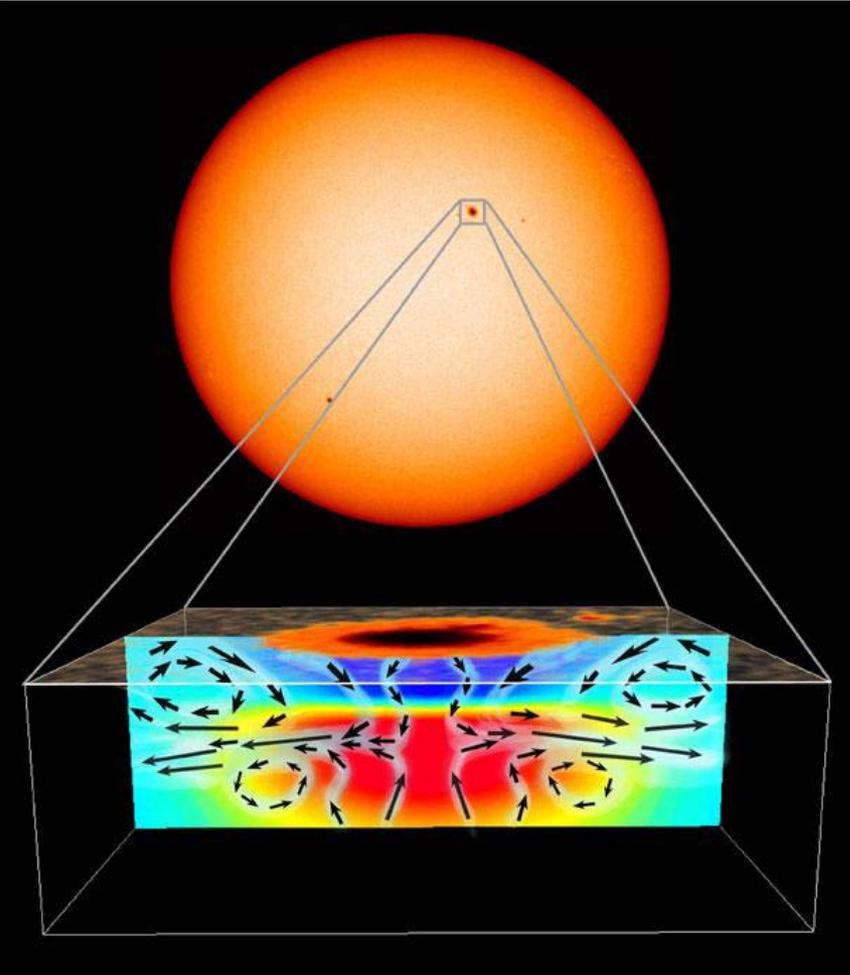
譜線分裂的間距，與該處磁場的強度成正比，此稱為Zeeman效應。故由譜線的分裂間距，可推出該處的磁場強度。

Zeeman效應 $\Delta\lambda \sim B$

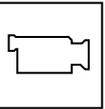


太陽黑子的結構

為什麼太陽黑子能維持穩定？

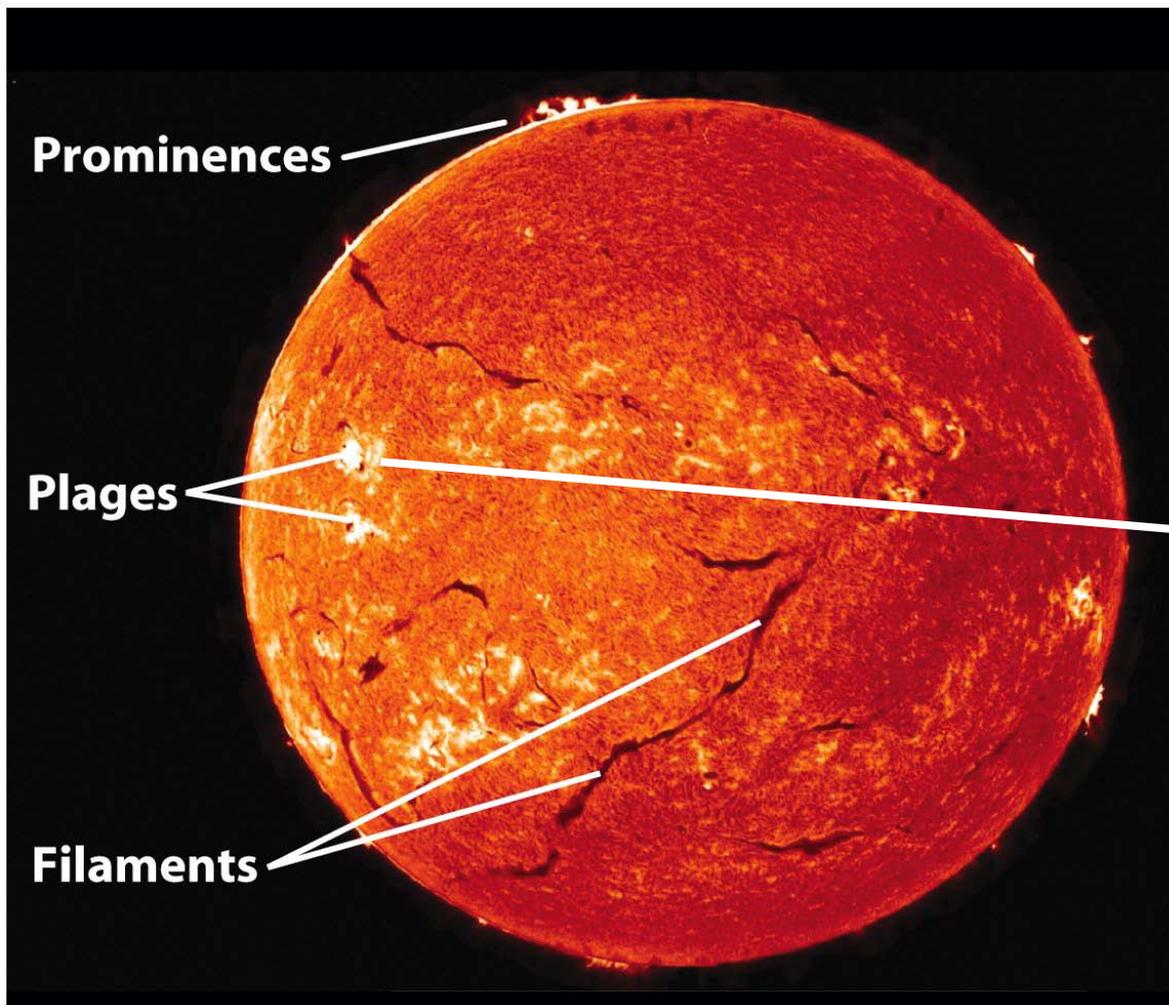


ap011108

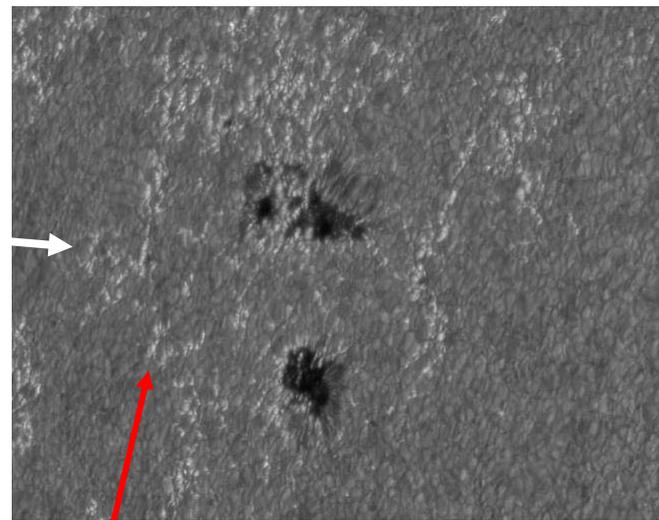


光球層的耀斑

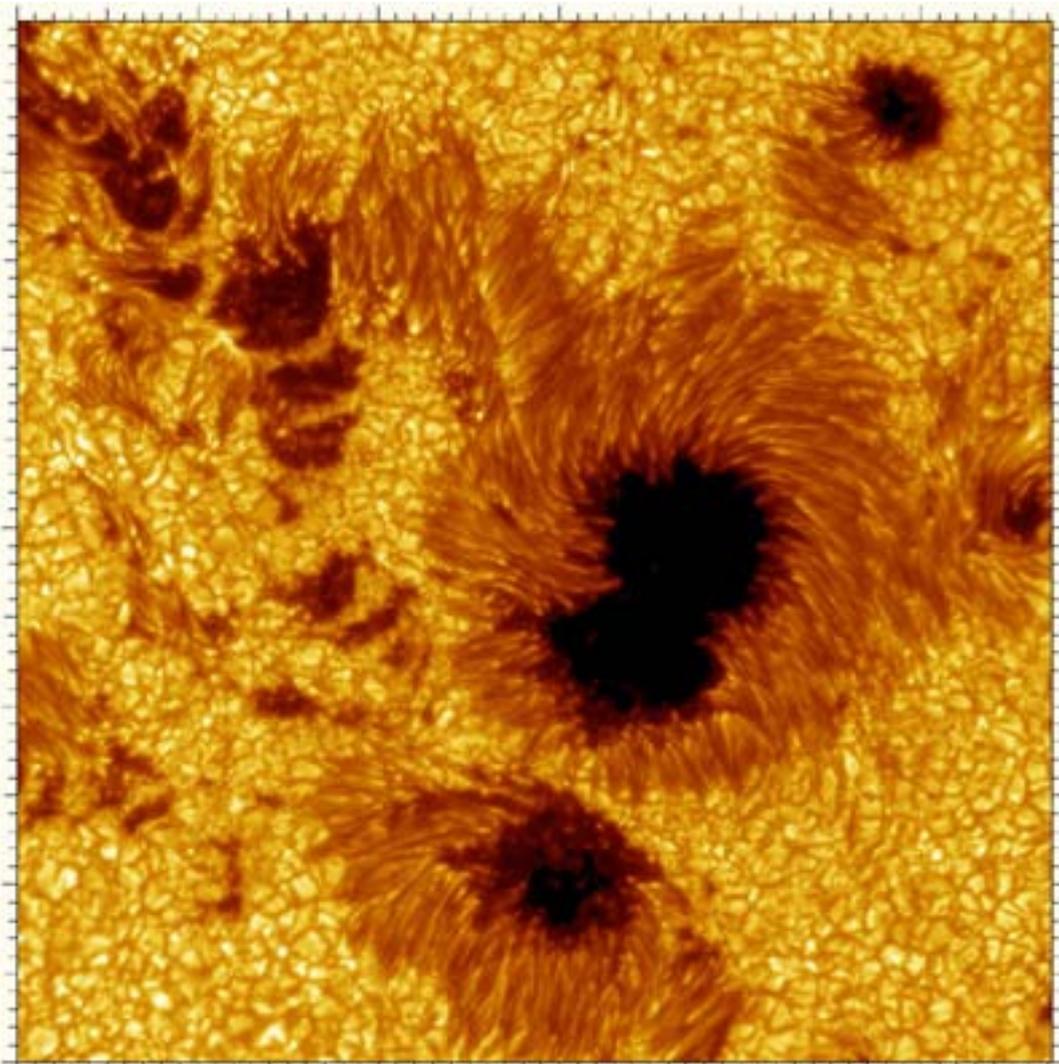
為什麼太陽活動極大期時，能量輸出反而較高？



明亮、小型的強磁場區，在盤面邊緣較容易分辨。在極大期時，耀斑的數量非常多，反而使太陽極大期的光度比極小期時增加0.1%。



太陽的表面活動：太陽黑子



Swedish Solar Telescope

黑子的發現：

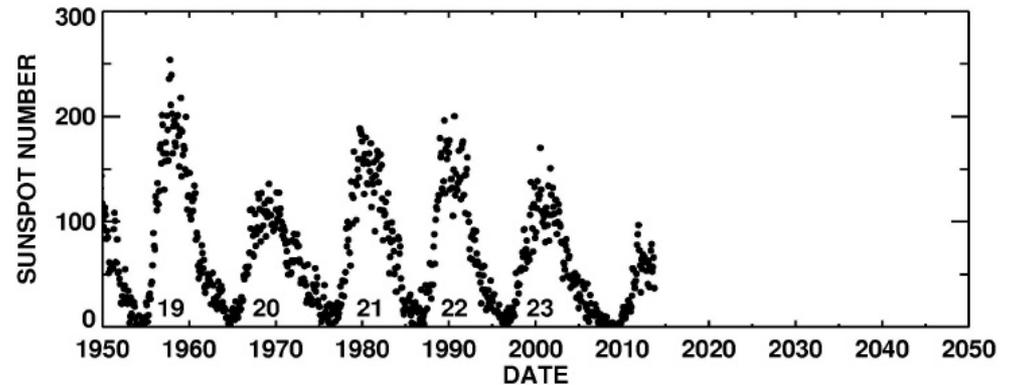
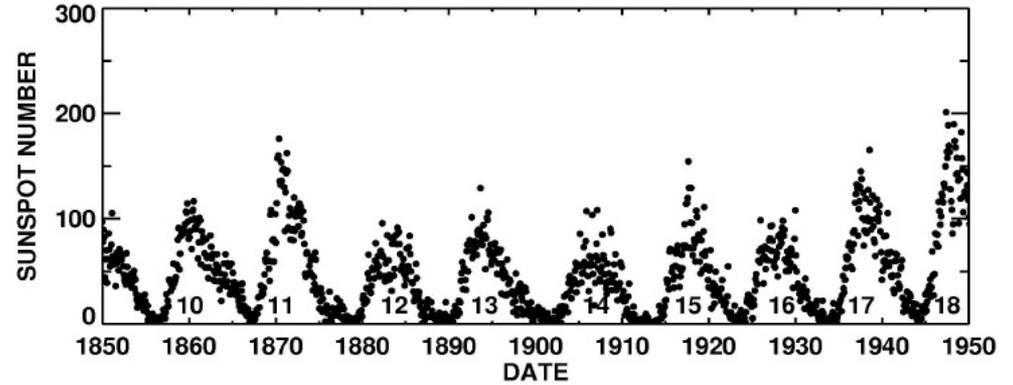
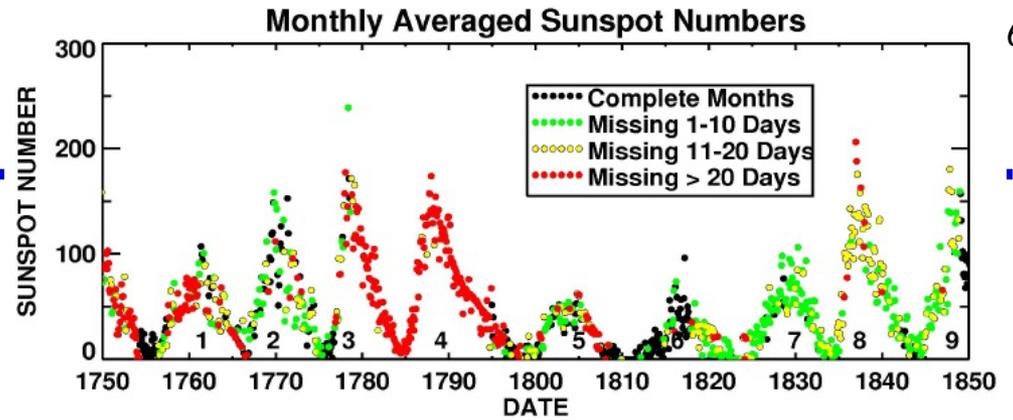
東方~5000年前，西方1610年 - 伽利略

連續性的觀測與記錄：

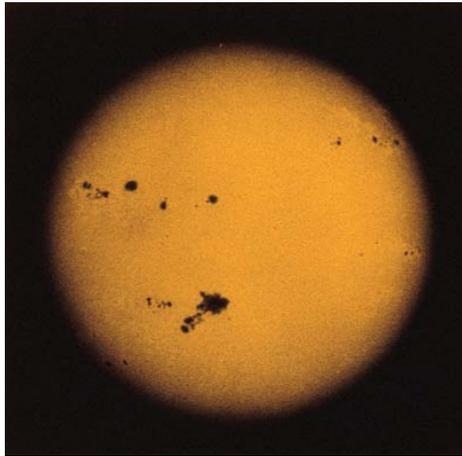
1749年起 (Zurich Observatory, 蘇黎世天文台)。
蘇黎世黑子相對數定義為 $Z = k(f + 10g)$ ， g 是黑子群的數目， f 是單個黑子的總數。 k 是觀測者的估計效率，或觀測數據的品質而定出的常數，通常 k 在1附近。蘇黎世黑子相對數亦稱為沃爾夫數 (Wolf number)，或為黑子相對數 (relative number)。

太陽黑子的週期

黑子數量變化的週期介於9 - 11.5年之間，平均為10.8年，故稱為11年週期 (1840年 Schwabe)。

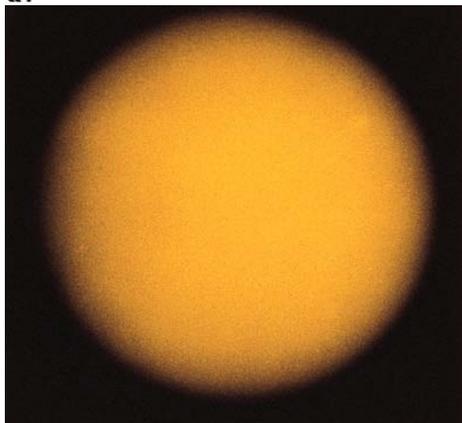


Solar maximum (2000)



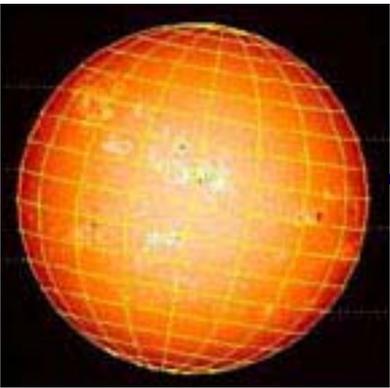
a.

Solar minimum (1996)



b.

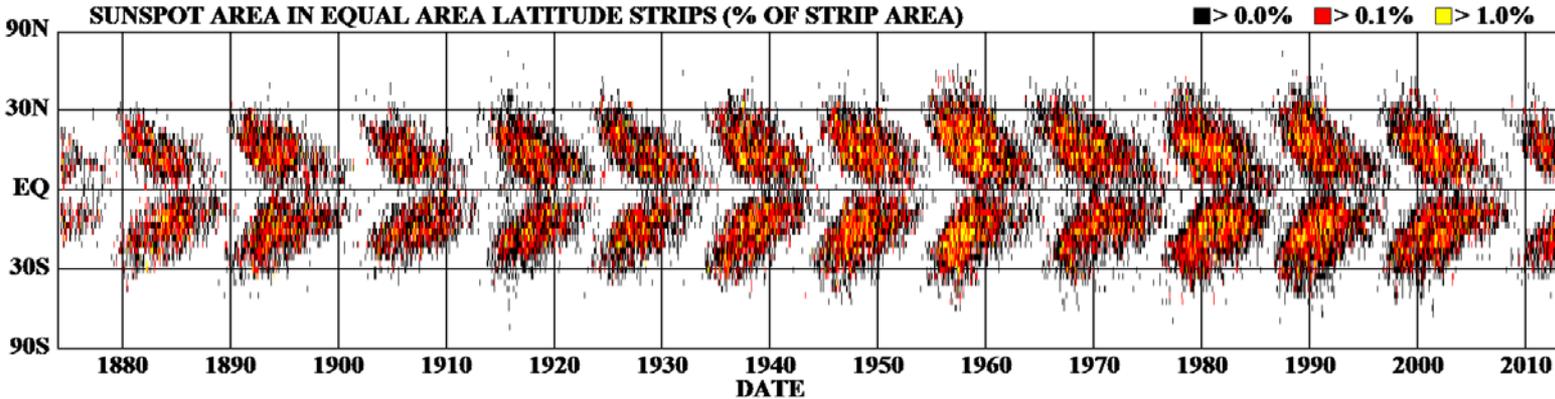
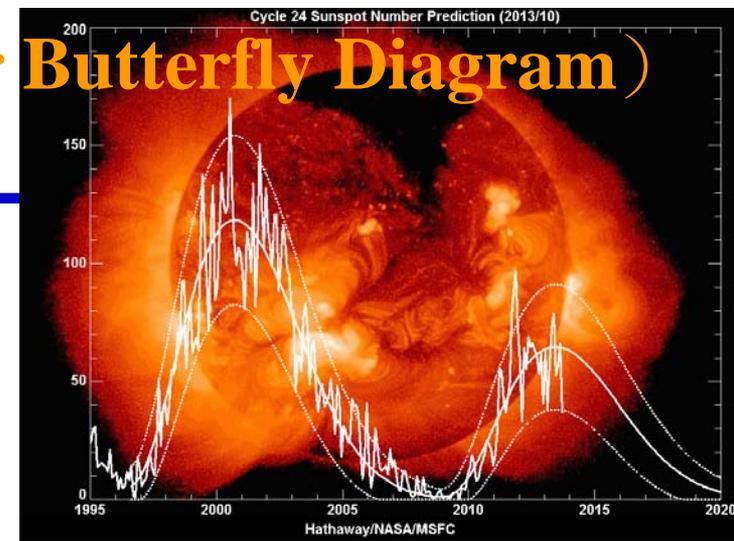
Freedman



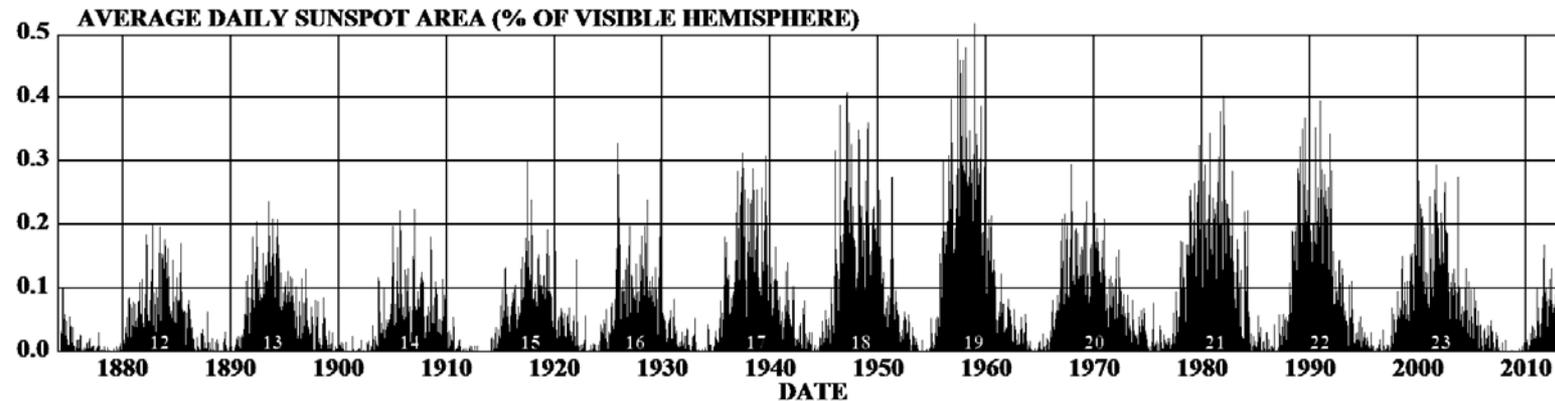
太陽表面經緯度

芒得蝴蝶圖 (Maunder Butterfly Diagram)

Cycles 23 & 24
黑子數預測
上限、中期及下限



如以年份為橫軸，黑子出現的緯度為縱軸，畫出太陽黑子分佈圖，芒得發現太陽黑子週期開始時，黑子主要出現在南、北緯約 35° 處，而在週期結束時，黑子通常出現在南、北緯約 5° 處。



太陽的磁週期

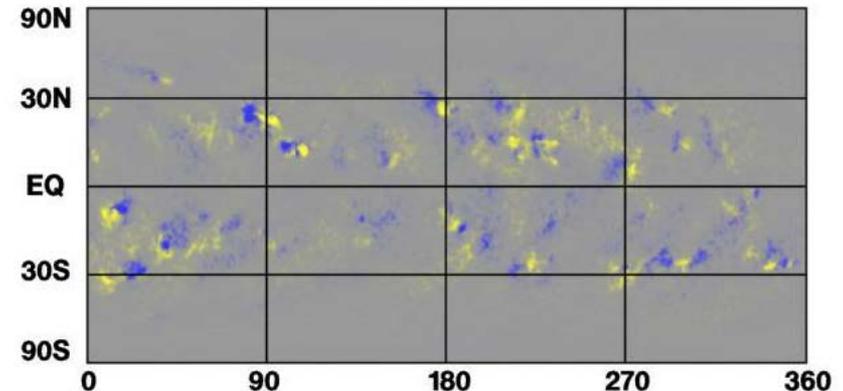
如果在前一個太陽黑子週期中，北日球的前導黑子磁極性為N，則後隨黑子的磁極性必為S。此時在南日球的前導黑子與後隨黑子的極性與北日球完全相反。

在下一個黑子週期中，北日球的前導黑子磁極性為S，後隨黑子的磁極性為N，南日球黑子群的極性也與前一週期相反。太陽磁週期為黑子週期的兩倍約為22年。

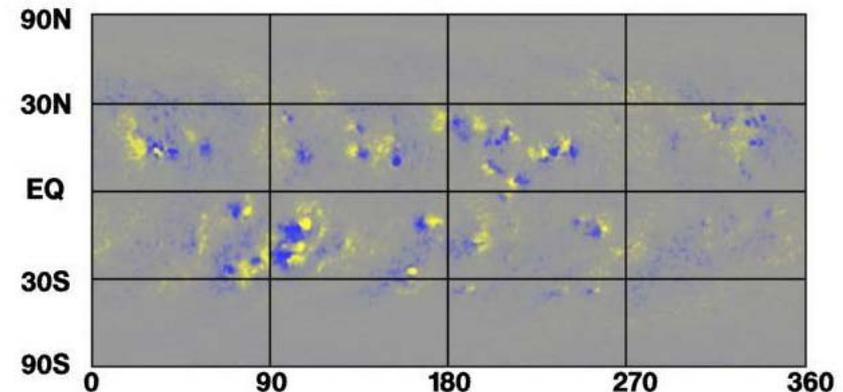
Hale's Polarity Law:

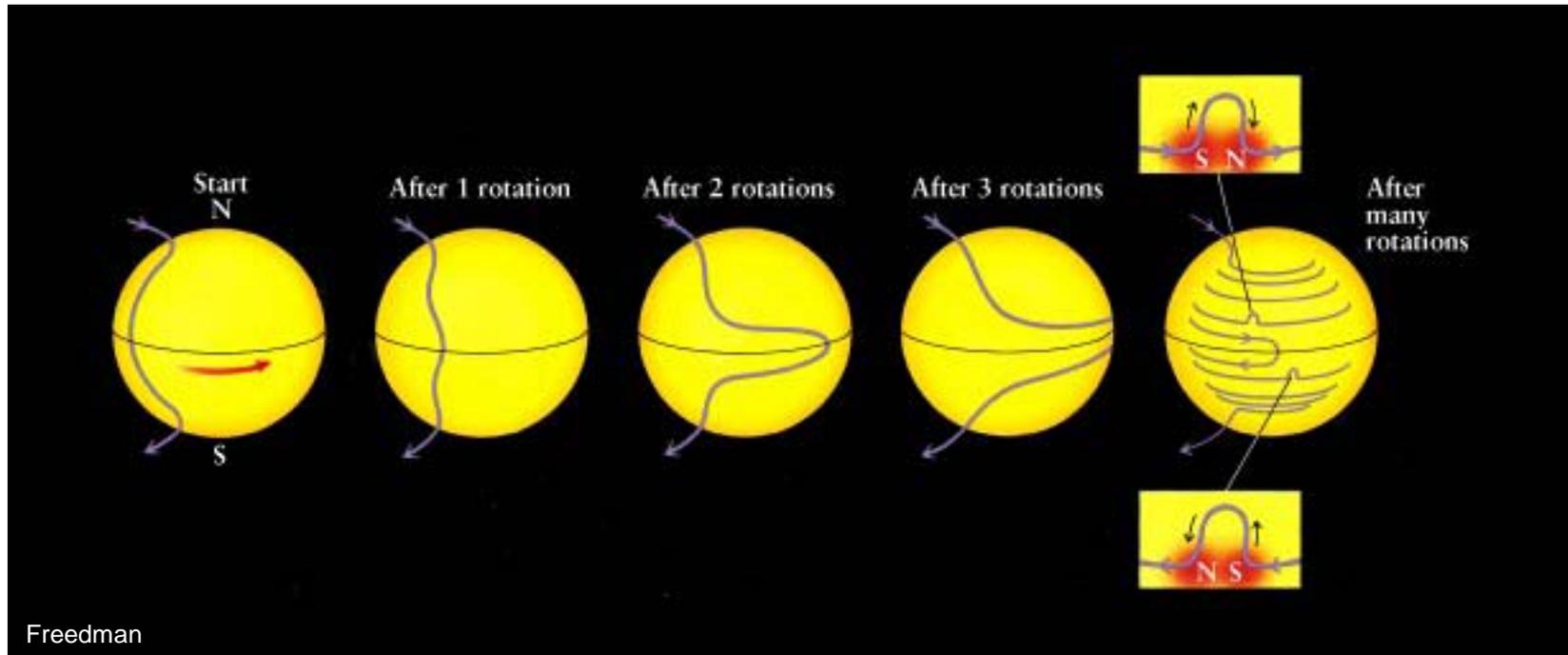
The polarity of the leading spots in one hemisphere is opposite that of the leading spots in the other hemisphere and the polarities reverse from one cycle to the next.

Cycle 21



Cycle 22



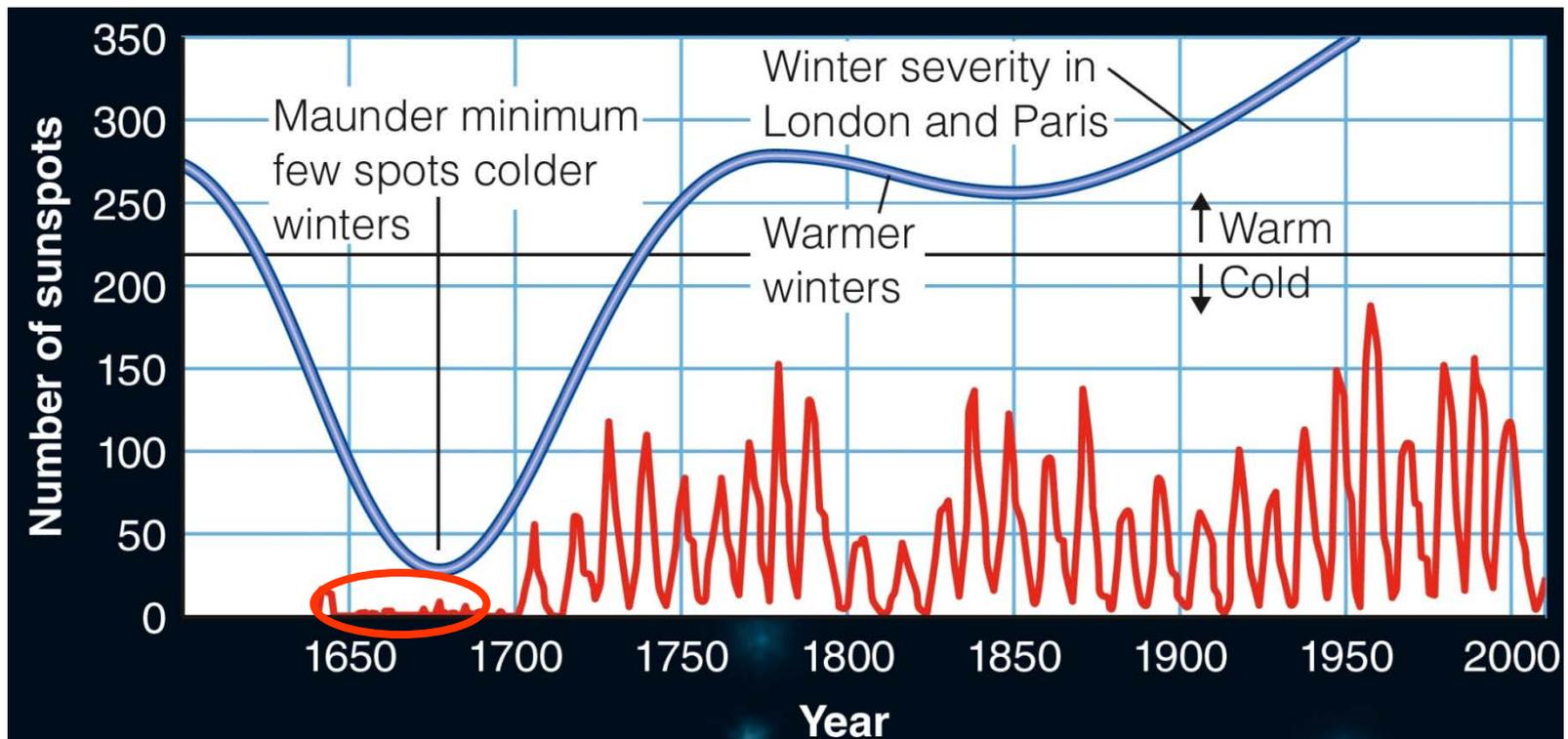


Babcock 理論

太陽的差速自轉，使太陽的磁力線糾結，浮出太陽表面的部份就形成高磁場區，阻礙下層電漿物質上昇，形成較低溫的太陽黑子。可定性地解釋黑子為何通常成對、出現的緯度和22年的磁週期。

芒得極小期(The Maunder Minimum)

The sun spot number also fluctuates on much longer time scales:



Historical data indicate a very quiet phase of the sun, ~ 1650 – 1700: The **Maunder Minimum**

綱要：

1. 孕育地球的太陽
2. 太陽週期-太陽黑子
3. 太陽風暴-太陽風、日珥噴發、太陽閃焰、日冕物質拋射
4. 太空天氣-太陽活動對地球環境的影響
5. 太空氣候-太陽活動對地球氣候的影響

The Solar Wind (太陽風)

Constant flow of particles from the sun

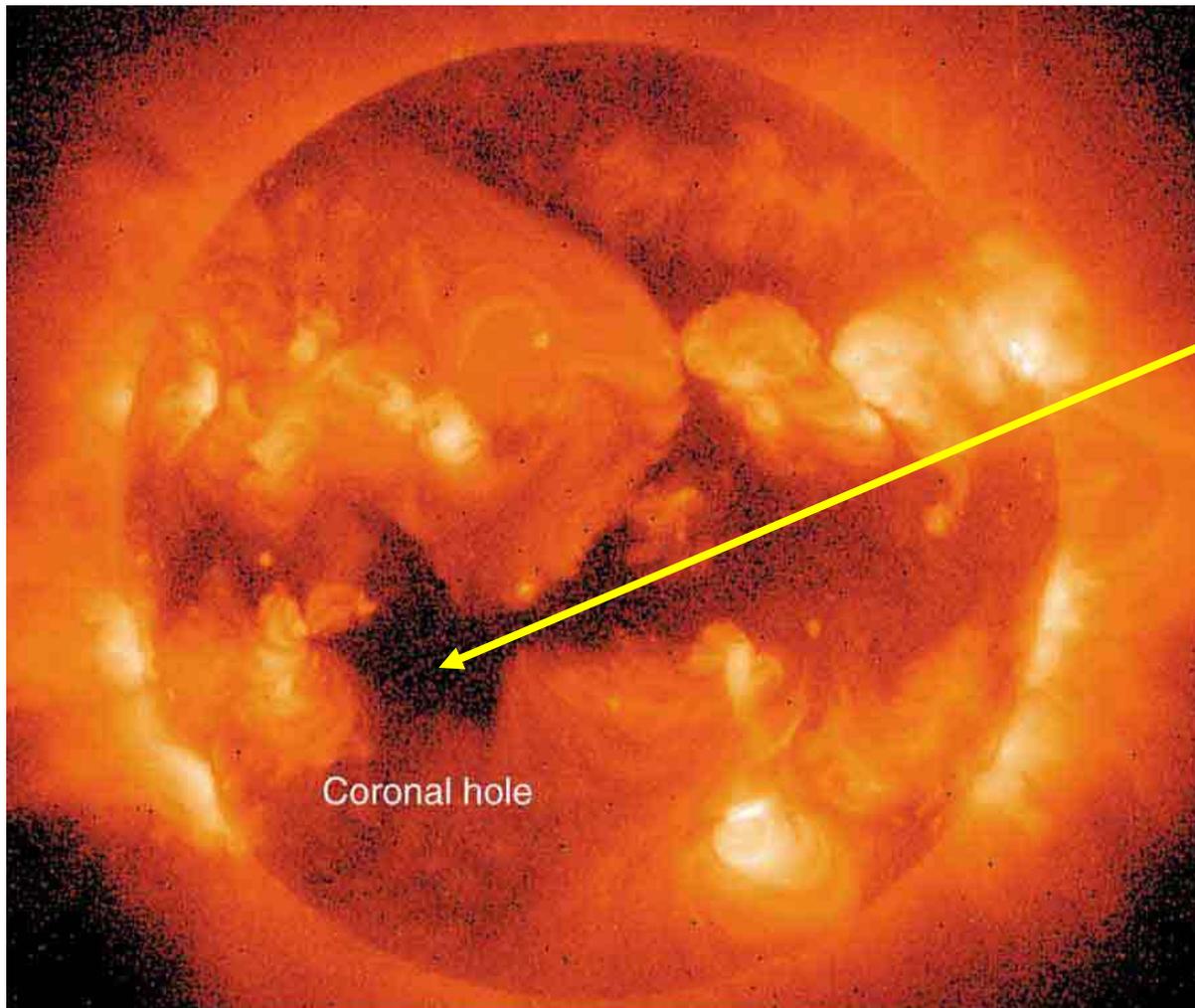
Velocity $\approx 300 - 800$ km/s

The sun is constantly losing mass:

10^7 tons/year

($\approx 10^{-14}$ of its mass per year)

Coronal Holes (日冕洞)

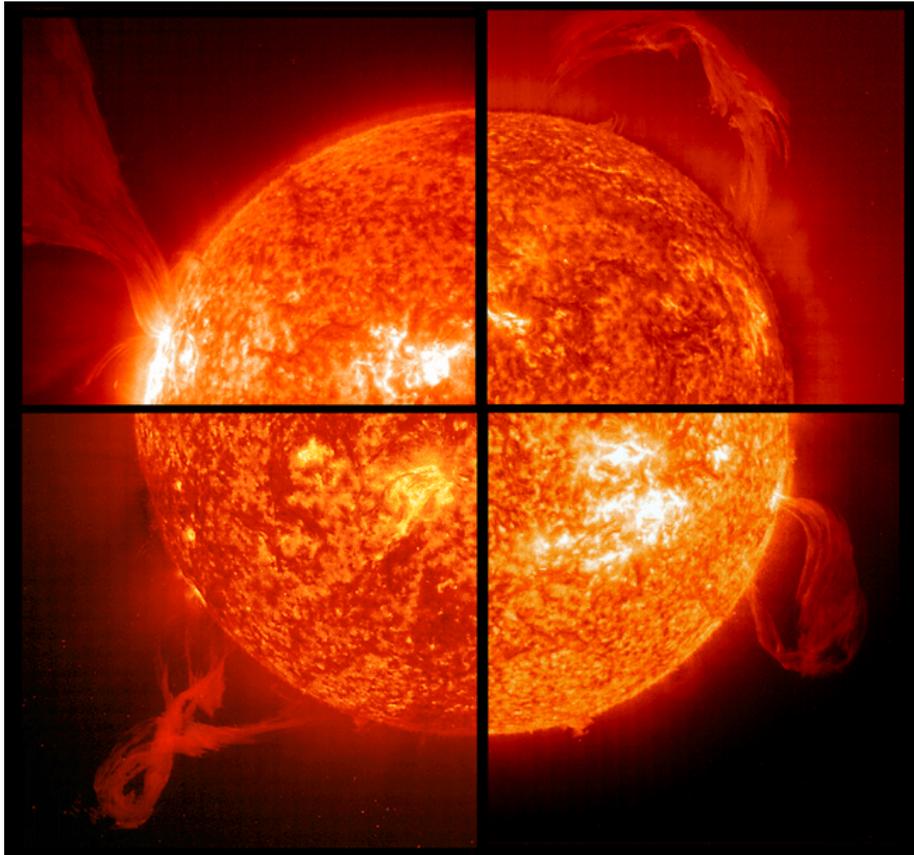


X-ray images of the sun reveal *coronal holes*

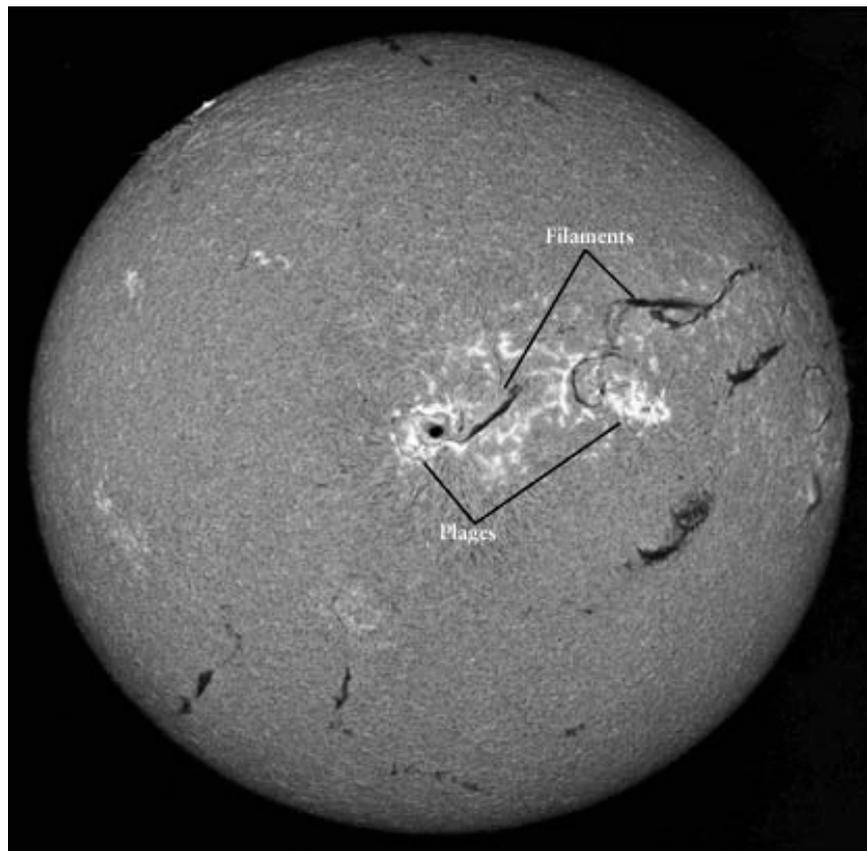
These arise at the foot points of open field lines and are the origin of the solar wind.

太陽的表面活動：色球層的日珥

受磁場推送漂浮在日盤邊緣的較低溫色球層物質，與出現於面上的絲狀物之成因相同。



SOHO

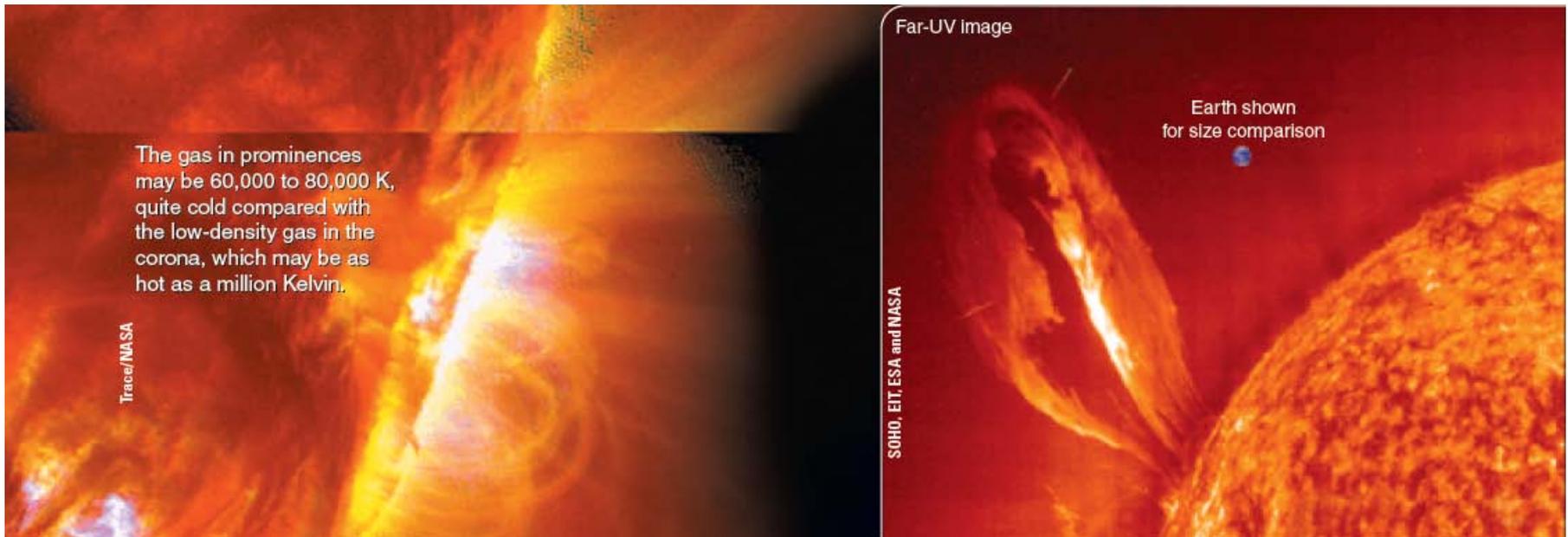


絲狀物與譜斑

日盤上暗黑的絲狀物，是受磁場推送而漂浮在太陽表面的較低溫色球層物質，相當於日盤邊緣的日珥成因相同。明亮、白色的譜斑是環繞在黑子周圍的結構。

Eruptive Prominences

Extreme events (**solar flares 太陽閃焰**) can significantly influence Earth's magnetic field structure and cause northern lights (*aurora borealis*).

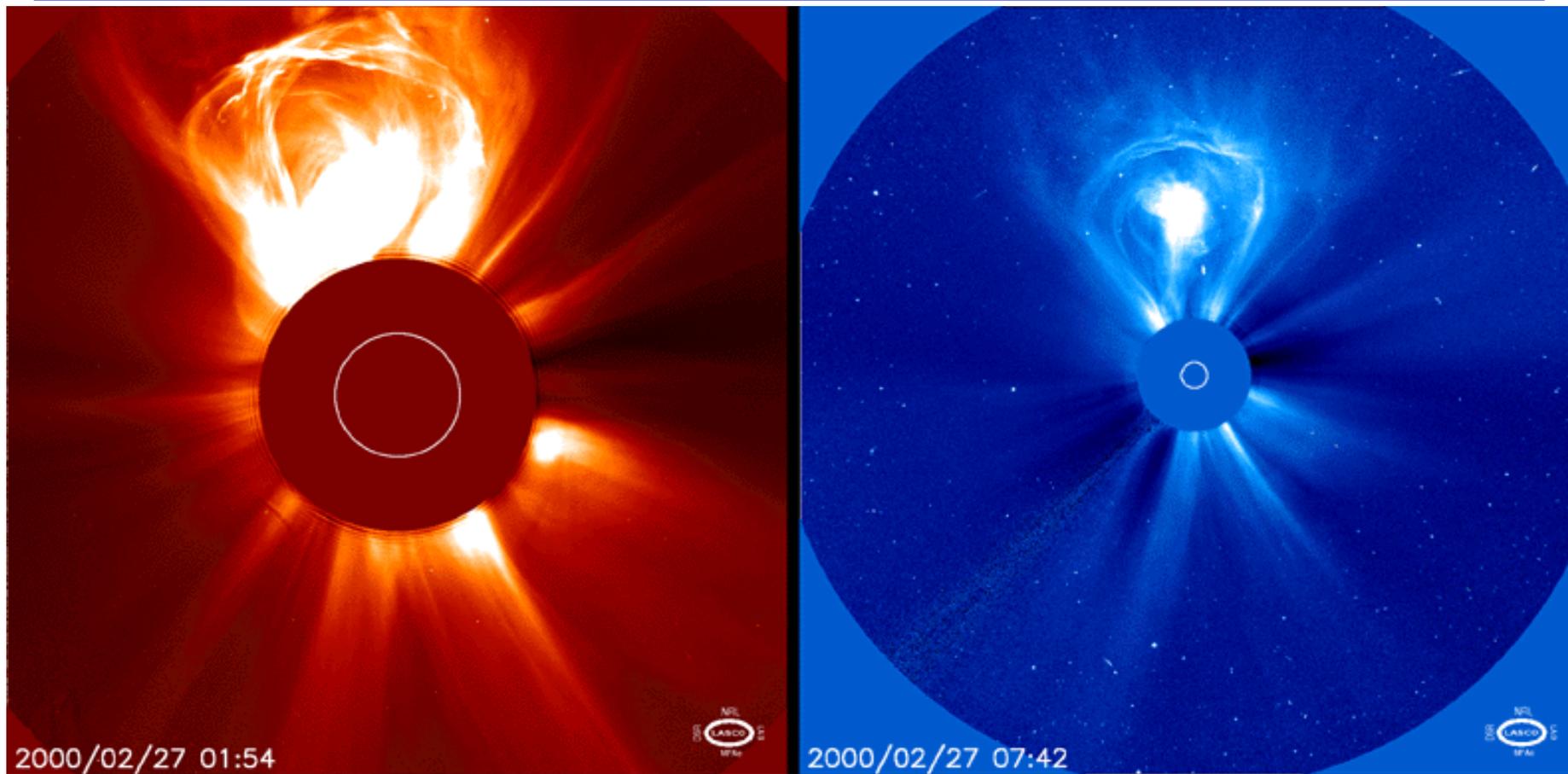


(Ultraviolet images)

The classification of X-ray solar flare

nicknamed the <u>Bastille Day event</u> .	
<i>Class</i>	<i>Peak (W/m^2) between 1 and 8 Angstroms</i>
B	$I < 10^{-6}$
C	$10^{-6} < = I < 10^{-5}$
M	$10^{-5} < = I < 10^{-4}$
X	$I > = 10^{-4}$

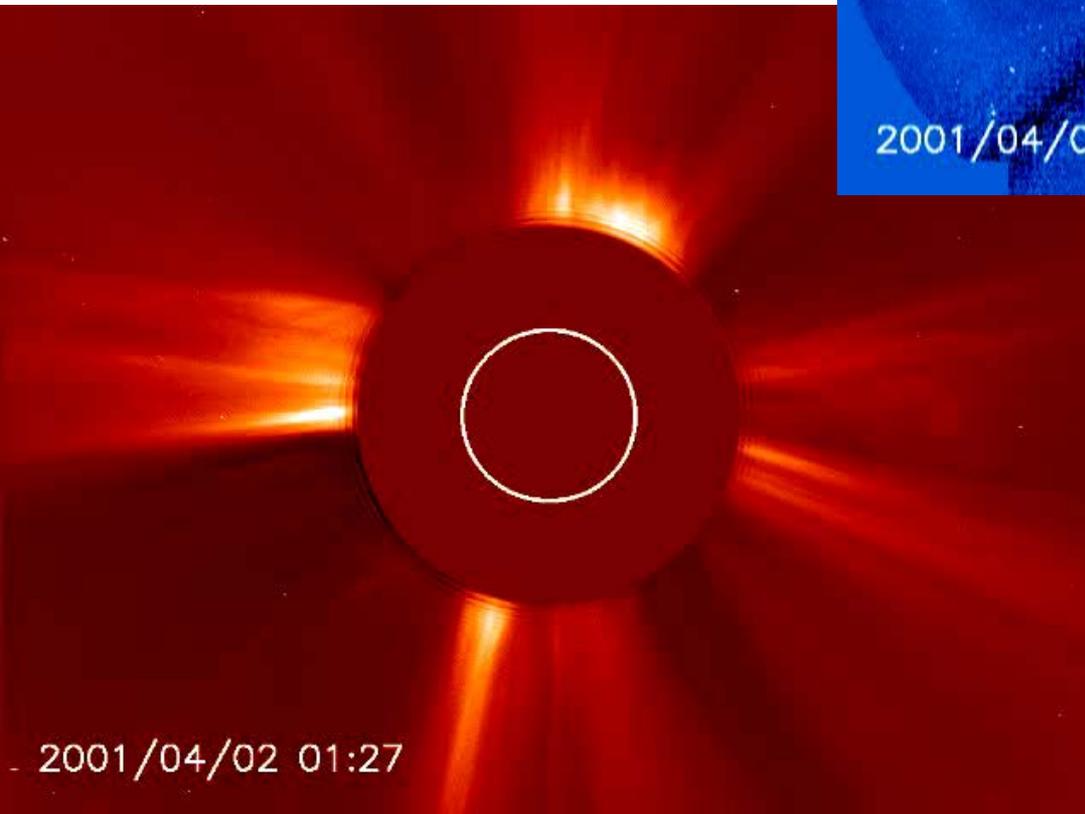
太陽的表面活動：日冕物質拋射



發生在日冕層的物質爆發、拋射事件。通常緊隨在日閃和日珥爆發事件之後，不過，也可能發生在沒有發生上述爆發事件之處。日冕物質拋射事件發生的頻率，會隨著太陽的活躍程度而異，太陽愈活躍(黑子數量愈多)，愈常發生日冕物質拋射 (coronal mass ejections, CMEs)。極小期時，每週約觀測到一次CME。在極大期時，每天約觀測到2-3次CME。

日冕物質拋射

SOHO
2001.04.01~04.06



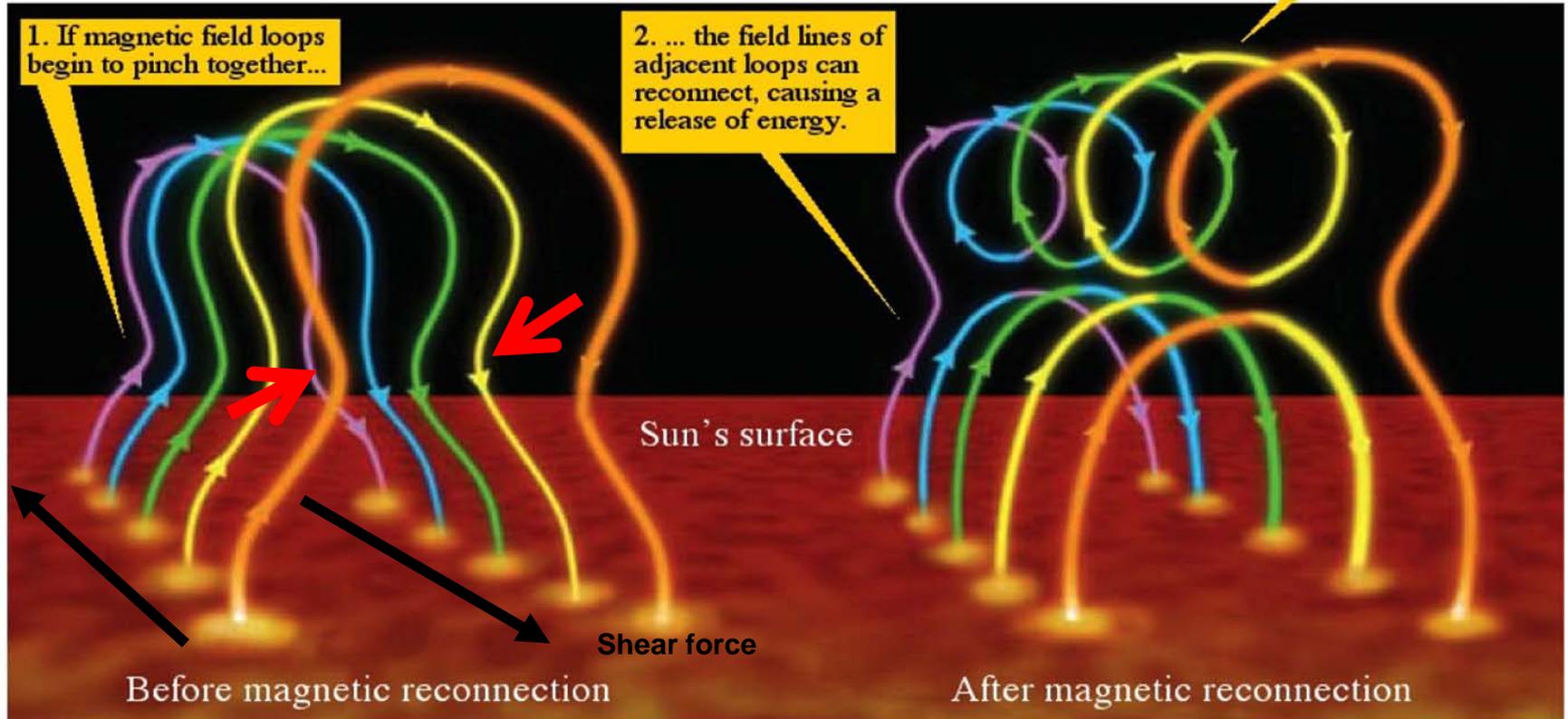
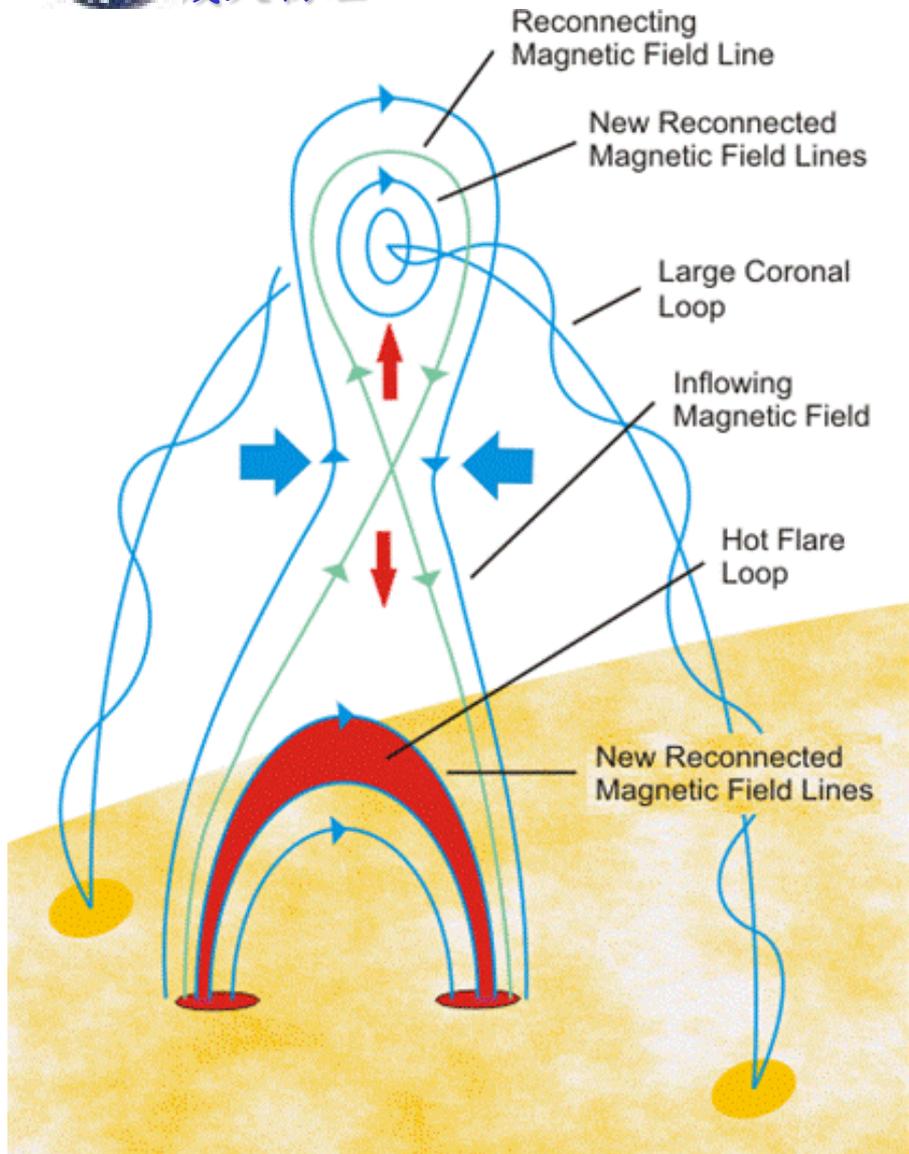


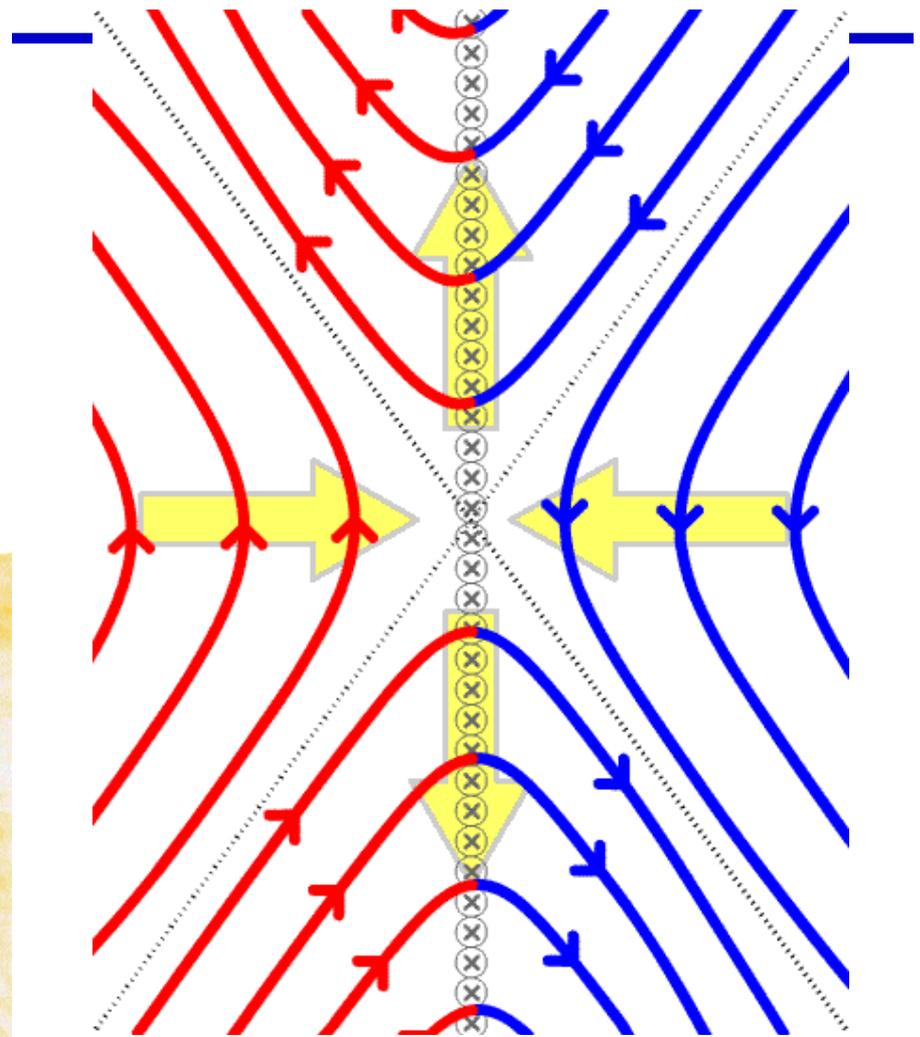
Fig
Uni
© 20

Figure 16-25 Magnetic Arches and Magnetic Reconnection

(b) When the magnetic fields in these loops change their arrangement, a tremendous amount of energy is released and solar material can be ejected upward.
(TRACE; and NASA)



The flare model



Magnetic reconnection

綱要：

1. 孕育地球的太陽
2. 太陽週期-太陽黑子
3. 太陽風暴-太陽風、日珥噴發、太陽閃焰、日冕物質拋射
4. 太空天氣-太陽活動對地球環境的影響
5. 太空氣候-太陽活動對地球氣候的影響

惡劣太空天氣的三種形式

1. 改變電離層電子濃度的分布，影響通訊

太陽閃焰產生的短波輻射，以及造成磁層副暴極光的高能粒子，以及磁爆發生時，磁層電漿密度分布的變動，都可以直接或間接影響電離層電子濃度的分布，進而改變電離層對短波電磁波的反射點或衛星通訊之高頻電磁波在電離層中的傳播路徑，對通訊活動造成影響，造成惡劣的太空天氣。

2. 輻射傷害

太陽閃焰伴隨產生的高能粒子，會造成太空人的輻射傷害，以及粒子探測儀的毀損。這也算是惡劣太空天氣的指標。

3. 增強的電流，在太空中以及地表產生感應電動勢

太陽表面的日冕物質拋射或太陽風中的高速太陽風追撞低速太陽風，都可以在行星際空間中，造成大震幅的擾動，如激震波或磁雲。這些擾動傳到地球附近，可造成地球的磁暴與磁副暴。這些磁場風暴，會在太空中以及地表產生感應電動勢，造成惡劣的太空天氣。

地球極光的成因

太陽風粒子撞擊激發極區空氣分子產生極光；最常見是黃綠色氧輻射 (100公里高)、氧紅光輻射 (100-300公里)、氮的藍光和粉紅輻射。(大部份的帶電太陽風粒子被地球磁層阻隔，少部份沿磁力線進入南北極區，激發空氣分子發光形成aurora borealis-北極光與aurora australis-南極光)



ISS



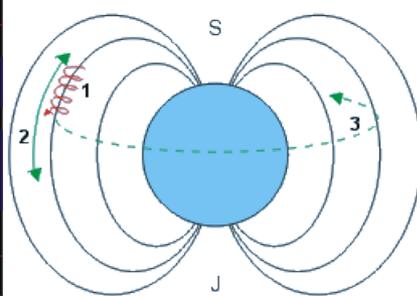
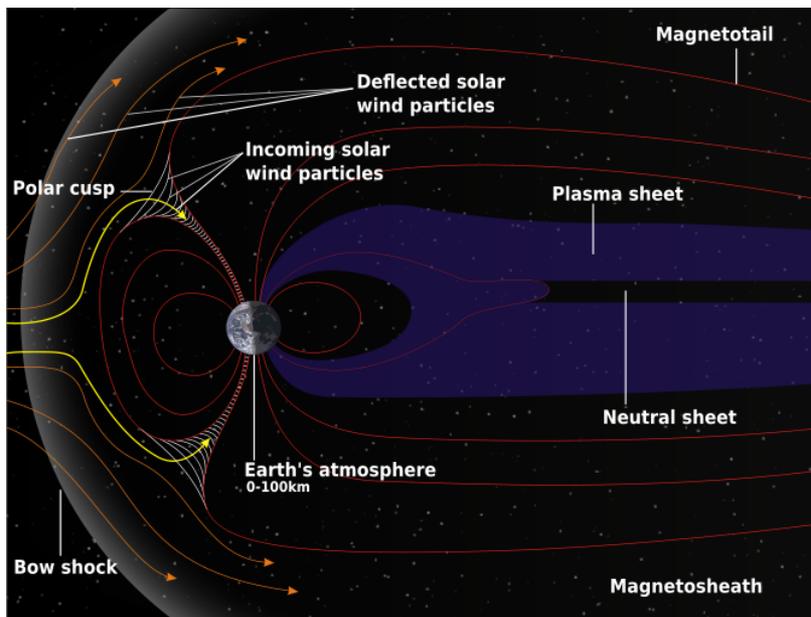
北極光

iStockphoto/Roman Krochuk

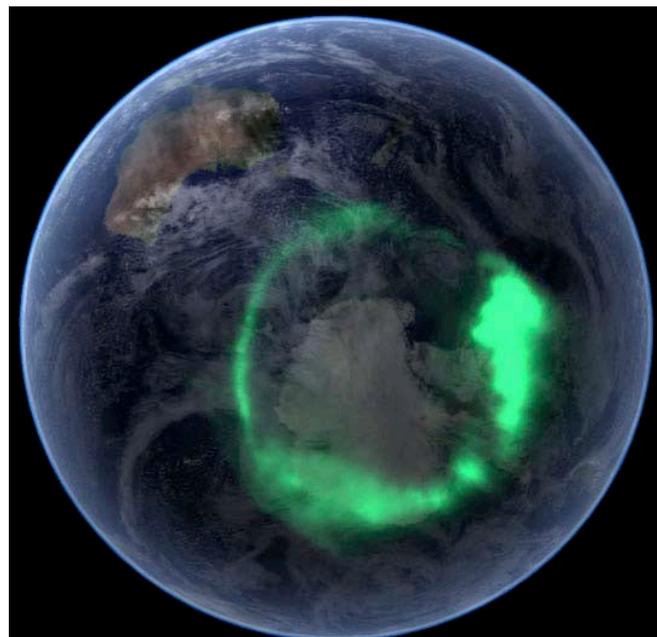


南極光

<http://www.dagorret.net/>



地球北極的極光環



地球磁球層 (magnetosphere)

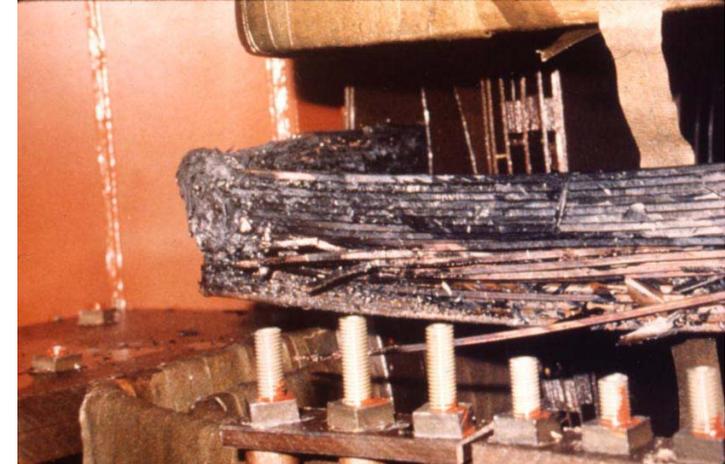
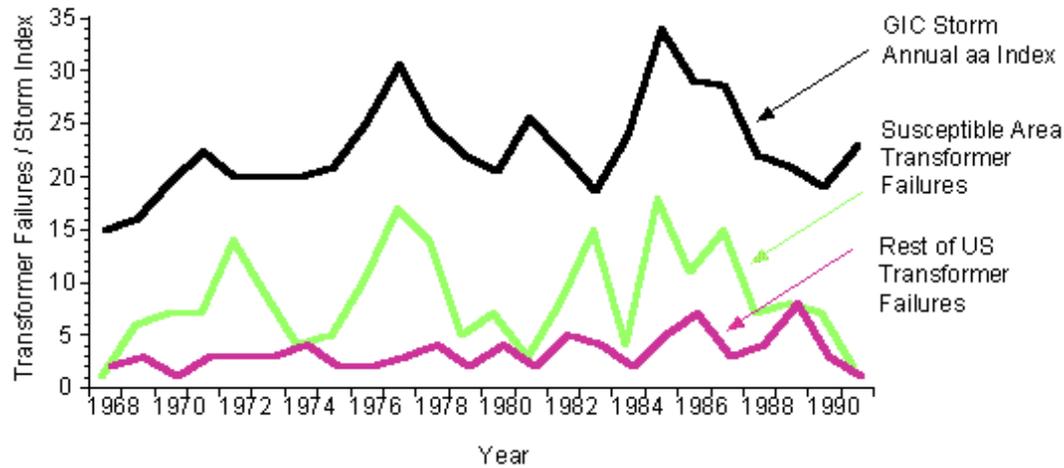
對人造衛星及太空探險的影響

人造衛星：高能太陽風粒子會毀損人造衛星的儀器；造成地球大氣膨脹，讓衛星提前墜毀。

太空人及飛機乘員：高危險的高輻射環境，容易致病與發生各種病變。

日期	衛星	衛星失常之原因
N/A	polar airline routes	During high solar activity, polar flights are often diverted to lower latitudes to prevent loss of radio communications and avoid the increasing human exposure. Such flight diversions can cost airlines as much as \$100,000 per flight for additional fuel, extra flight crews, and additional landings to refuel.
28 Oct 2003	Mars Odyssey	Martian radiation environment experiment (MARIE) stops working properly due to energetic charged particles, including galactic cosmic rays and particles emitted by the Sun in coronal mass ejections.
21 Apr 2002	Genesis	Star tracker blinded 4 times during solar storm (high energy protons)
21 Apr 2002	Nozomi (Hope)	While approaching Earth for a gravity assist maneuver,, it was hit by a solar storm (late by 3 years already); loss of most communications, one instrument damaged; On 9 December 2003, the spacecraft was after a failed orbital insertion burn.
15 Jul 2000	ASCA (Astro-D)	Satellite started spinning during high solar activity. Safe mode. Declared total loss later
19 May 1998	Galaxy IV	It may be rendered inoperable from space weather effects
11 Jan 1997	Telstar 401	Zapped by a CME ; total loss; 200 million dollars satellite with a mission life of 12 years that ended within 8 years.
20 January 1994	Anik E1 & E2 and Intelsat K	Knocked out by the same space weather event; Anik E1 and Intelsat K re-covered after a few hours, Anik E2 was permanently damaged.

GSU Transformer Failures with a 3-Year Shift



地球磁暴毀損電力系統



太空船表面的放電現象影片



影片中最後的閃爍亮點來自太空船表面的放電現象，如下一個影片所顯示的圖像。這些放電現象是太陽磁暴所伴隨的太陽閃焰所放出的宇宙射線所造成的。

- 太陽閃焰所放出來的短波輻射，在8分20秒內，可增加電離層的游離度，也會對太空儀器與太空人造成傷害。但是它也用來預警未來 1~2 天，可能發生磁暴與磁副暴。
- 磁暴發生時 Plasmasphere 範圍減小，導致中緯度電離層電漿流失到廣大磁層中，造成中緯度電漿密度大幅減少。嚴重影響GPS收訊達數小時，對中緯度飛機降落造成嚴重影響。

噴發的日珥變成行星際空間中的磁雲(Magnetic Cloud)，
磁雲前方會產生有一個激震波 (Shock Wave)

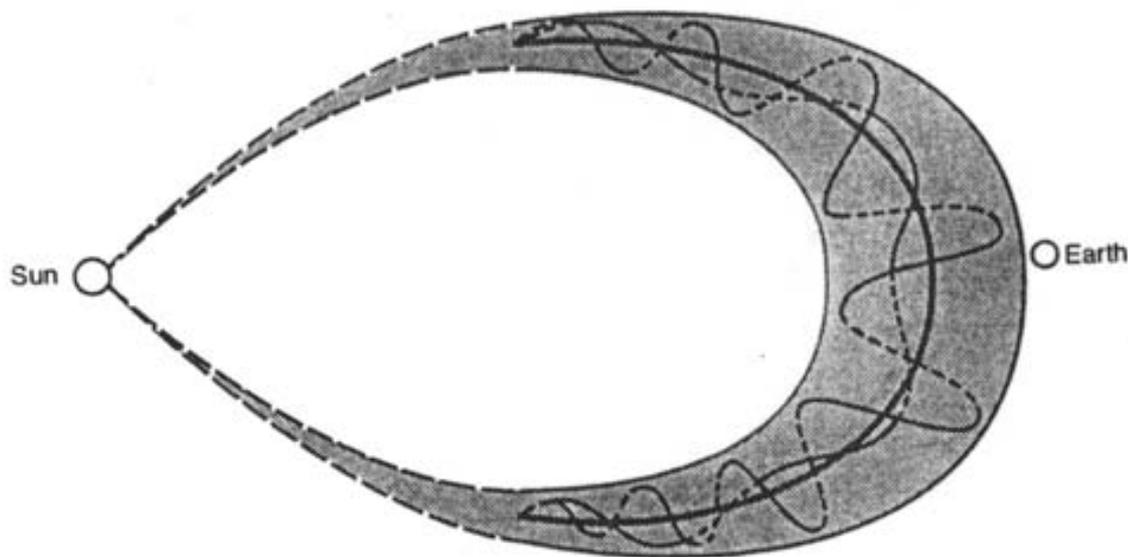


Figure 1. Idealized view of a magnetic cloud with a relaxed force-free field, given by *Lundquist* [1950].

造成地表與磁層中磁場擾動（磁暴與磁副暴）的原因

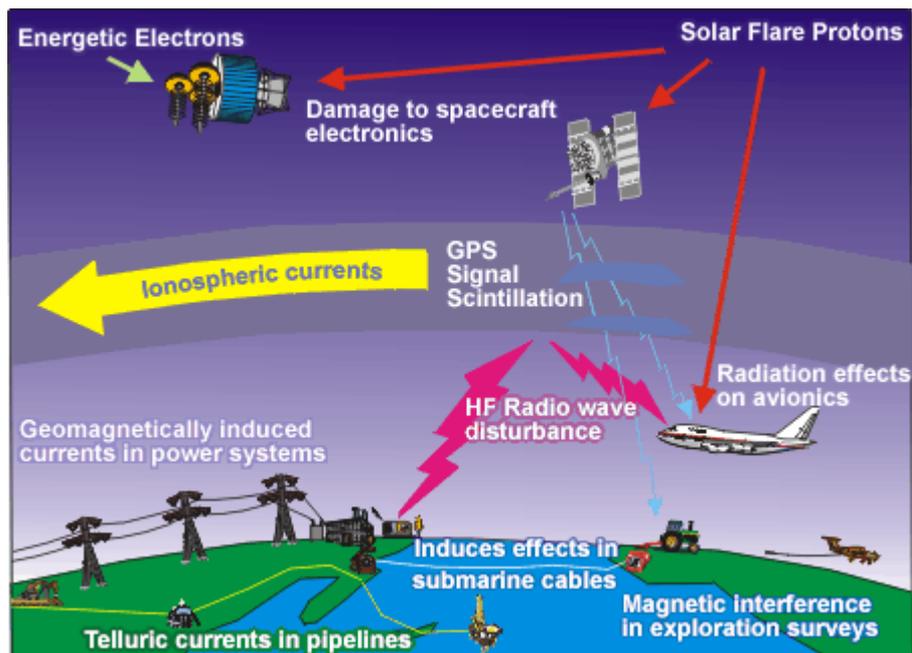
- 電離層中電流大小與方向的改變，可改變**地表**磁場的大小與方向。
- 磁層中電流位置與強度改變，可改變**地表**與**磁層**中磁場的大小與方向。
- 磁場隨時間改變，會產生感應電動勢。（楞次定律）
- **磁暴與磁副暴**在太空中以及地表產生「**感應電動勢**」會造成的惡劣太空天氣

1859年的超級太陽風暴 (the Carrington Event; 卡林頓事件)

- 1 September 1859, Carrington and Richard Hodgson, 分別觀測到一個極端明亮的太陽閃焰。在17.6小時(一般需要2-3天)後，伴隨的日冕物質拋射開始衝擊地球。原來發生在極區的極光，全球性往南往北擴展到18N/S(台灣應能看至)。造成全球性的電報及羅盤系統故障。
- 如這規模的太陽風暴發生在如今，將造成衛星失能，全球通訊中斷、全球電力系統崩潰、GPS系統失能、輸油管路爆炸...
- 如未能即時預知，所造成的全球經濟損失估計將達26兆美元。



如果這類輸油管路(阿拉斯加管路)發生爆炸起火...

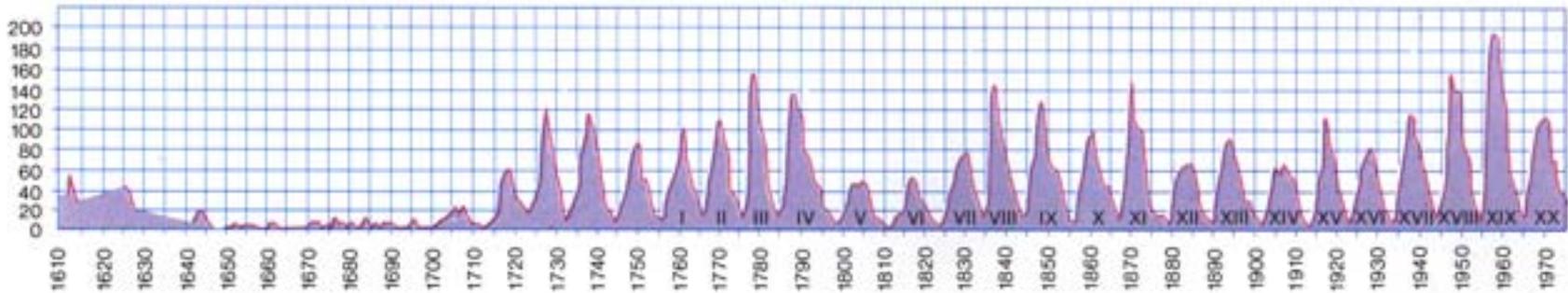


綱要：

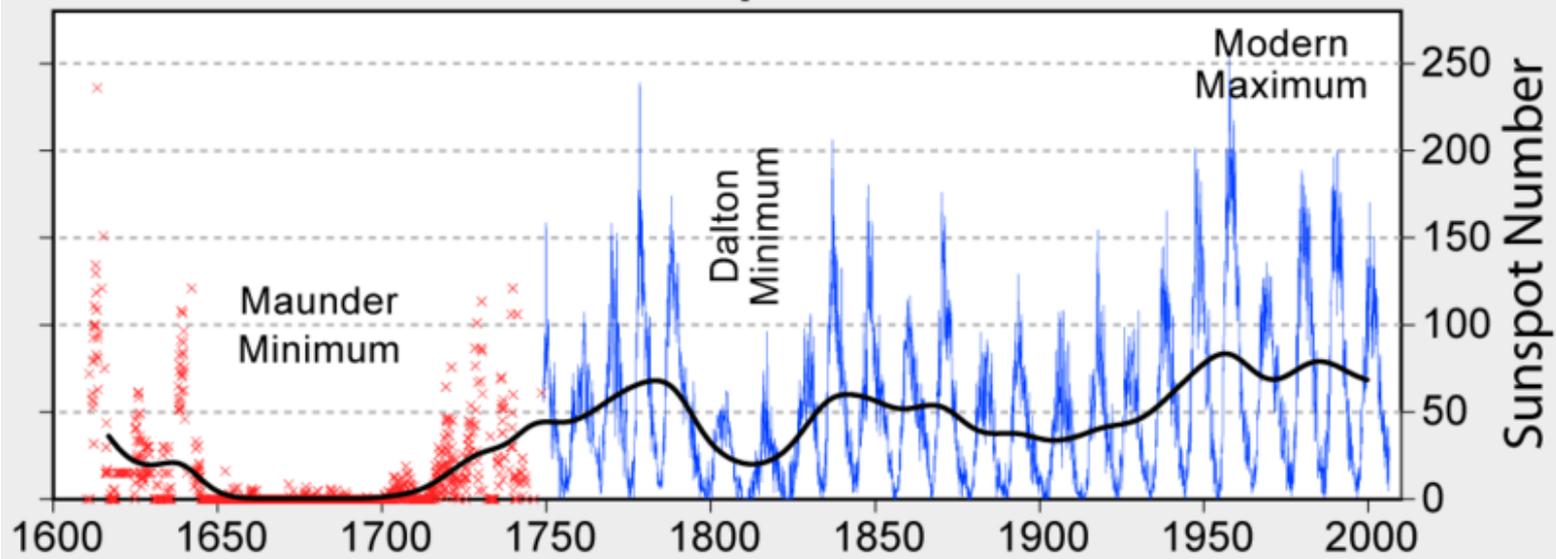
1. 孕育地球的太陽
2. 太陽週期-太陽黑子
3. 太陽風暴-太陽風、日珥噴發、太陽閃焰、日冕物質拋射
4. 太空天氣-太陽活動對地球環境的影響
5. 太空氣候-太陽活動對地球氣候的影響

--了解為何Maunder minimum 也是小冰河時期

芒得極小期 (Maunder minimum) : 小冰河時期



400 Years of Sunspot Observations



太陽黑子數越少、來自太陽閃焰的高能宇宙射線量應該也越少才對，可是事實上，地表測得的高能宇宙射線量反而更多。Why?

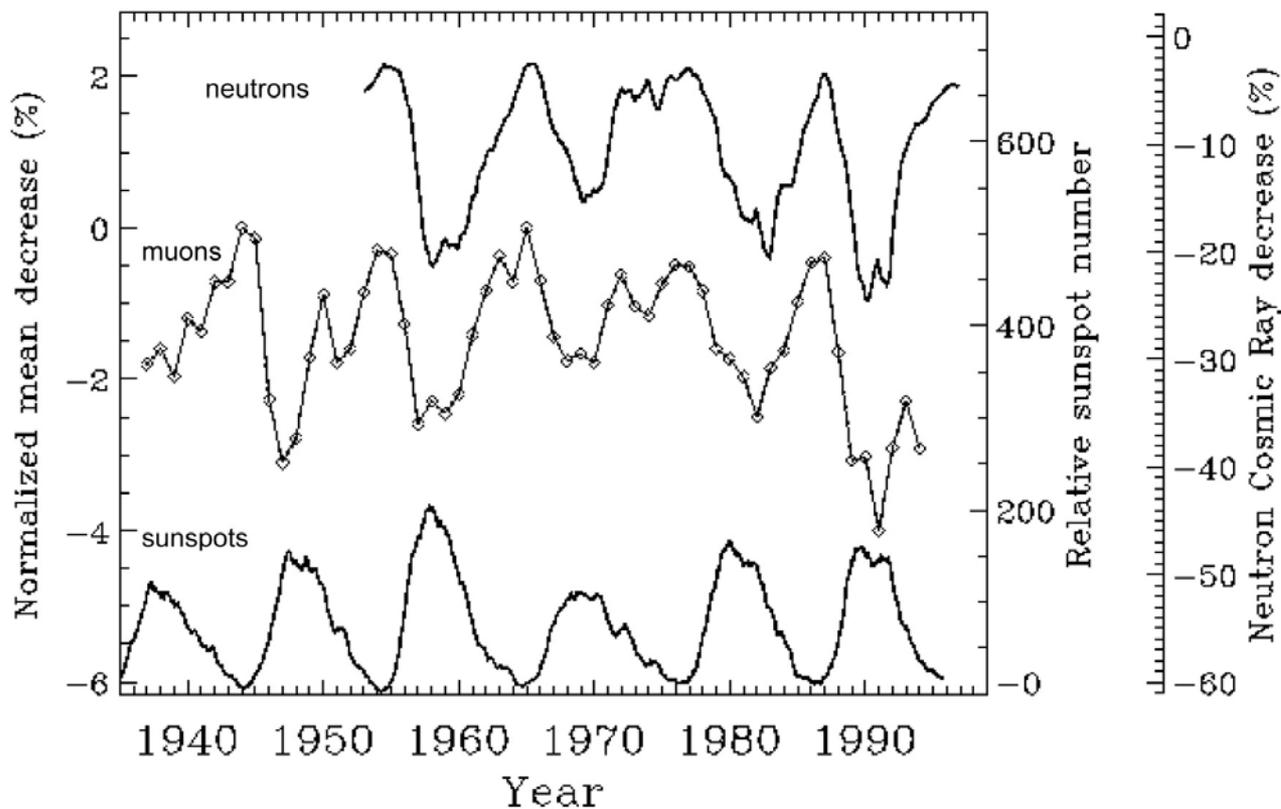
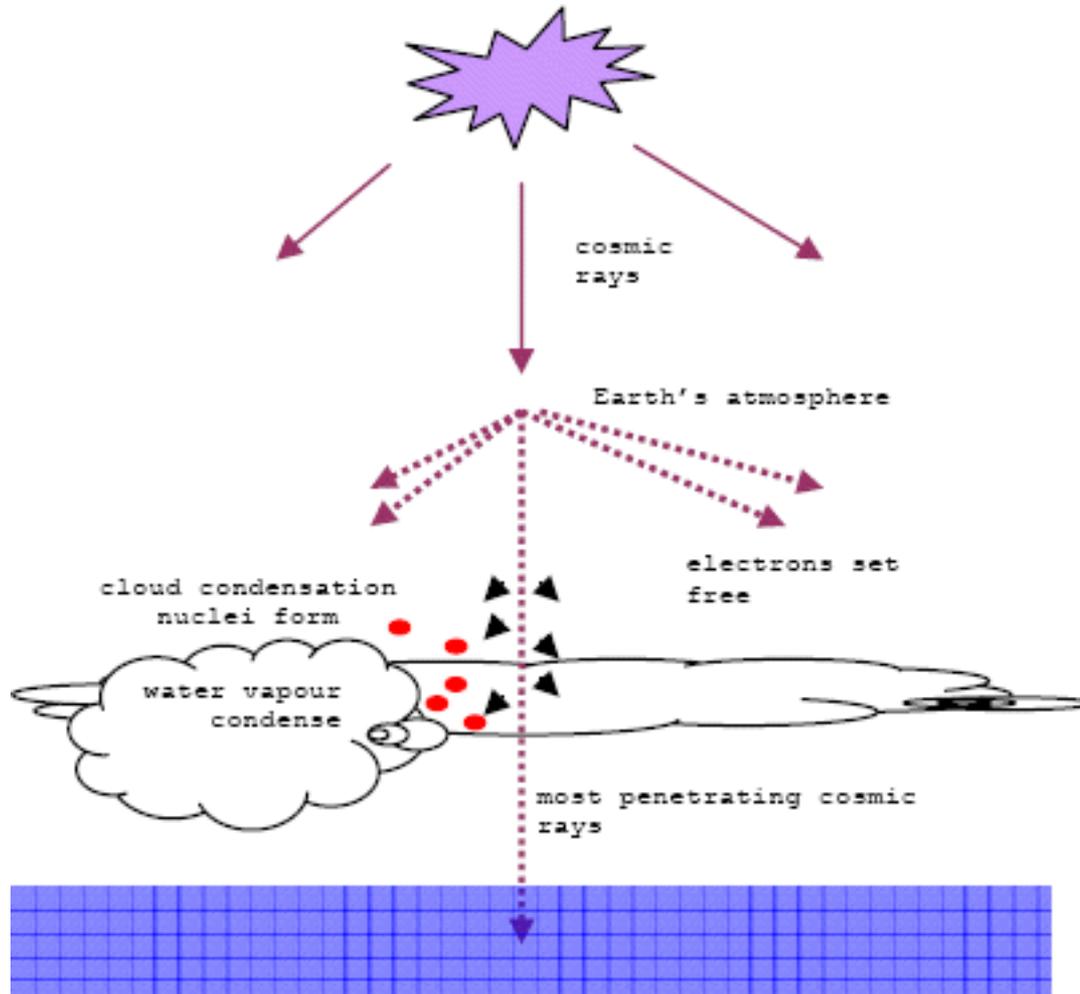


Fig. 3 Top curve is the cosmic-ray flux from the neutron monitor in Climax, Colorado (1953 - 1996). Middle curve is annual mean variation in cosmic-ray flux as measured by ionization chambers (1937 - 1994). Bottom curve is the relative sunspot number. Even though there is a clear solar cycle modulation of the cosmic-ray flux, the amplitudes are not well correlated.

地表宇宙射線的來源

- 太陽閃焰所產生的高能宇宙射線，能量遠不如超新星爆炸所產生的宇宙射線能量高。
- 太陽閃焰所產生的高能宇宙射線，大多被束縛在外范艾倫輻射帶區域。
- 超新星爆炸所產生的宇宙射線，被束縛在內范艾倫輻射帶，或進入中性大氣。
- 地面上所觀測到的宇宙射線，大多源自於超新星爆炸所產生的宇宙射線。
- 來自外太空的宇宙射線，其前進路線會受到Solar termination shock 附近磁雲 magnetic cloud 數量多寡的影響。

進入大氣的宇宙射線會製造凝結核：成雲、降雨雪、改變全反照率(Albedo)、改變大氣溫度



總結：太陽活動對氣候的影響

- 太陽黑子多時，太陽表面磁場擾動活躍，會噴放出許多磁雲。這些磁雲累積在日磁層頂與太陽風終止震波附近，可以阻擋外太空超新星爆炸所產生的超高能宇宙射線。
- 當太陽黑子長期不出現時，終止震波附近的磁雲漸漸消失減少，因此來自外太空的超高能宇宙射線，就可以長驅直入來到地球附近，進入地球大氣，製造大量的凝結核，改變成雲降雨的分布。
- 雲和雪會增加地球表面的全反照率Albedo，反射陽光，減少地表吸收的熱量。因此造成地球氣候的改變，引發小冰河時期！

感謝
成大物理系蘇漢宗教授
與
中央大學太空所呂凌霄教授
提供部分的資料與協助

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- September 2, 1859, [disruption of telegraph service.](#)
古時候，惡劣的太空天氣，只會影響越洋電報的收發服務。古時候，是透過電離層反射短波電磁波，越洋傳送電報訊息。太陽閃焰產生的短波輻射，可以增加電離層電子濃度分布，進而改變電離層對短波電磁波的反射點，所以越洋傳送路徑會發生改變，以致於收不到該收到的訊息。

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- The best-known example of space weather events is the collapse of the [Hydro-Québec power network](#) on March 13, 1989 due to [geomagnetically induced currents](#). This was started by a [transformer](#) failure, which led to a general [blackout](#), which lasted more than 9 hours and affected 6 million people. The [geomagnetic storm](#) causing this event was itself the result of a [Coronal Mass Ejection](#), ejected from the [Sun](#) on March 9, 1989. 歷史上最著名的一次惡劣的太空天氣，發生在北國的冬天：西元1989年三月13日，加拿大魁北克發生持續超過九小時的大停電，影響了6百萬居民。這次的停電是因為三月9日那天，太陽表面的日冕物質拋射，經過數天的時間，傳到地球，造成地球的磁暴與磁副暴。這些磁場隨時間大幅改變的磁場風暴，會在地表產生感應電動勢（楞次定律），使覆載電線中的電流突然增加，造成超載，燒毀變電器，造成大停電。

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- A [geomagnetic storm](#) on January 20, 1994 temporarily knocked out two Canadian communications satellites, [Aniks E1](#) and [E2](#) and the international communication satellite [Intelsat K](#).
- A [Coronal Mass Ejection](#) on January 7, 1997 hit the Earth's [magnetosphere](#) on January 10 and caused the loss of the [AT&T Telstar 401](#) communication satellite (a \$200 million value).

這兩則人造衛星暫時與永久的失聯，都是因為地球的磁暴與磁副暴發生時，不僅地面，連地球磁層中（太空中）也發生磁場隨時間大幅改變的磁場風暴，於是原來依照磁場定位的人造衛星，姿態就發生錯誤了。錯誤的姿態，會導致地面與人造衛星之間的遠距遙控指令，無法正常傳輸。如果人造衛星，姿態改變太多，就可能造成永久性的失聯。

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- Transpolar routes flown by airplanes are particularly sensitive to space weather, in part because of [Federal Aviation Regulations](#) requiring reliable communication over the entire flight. It is estimated to cost about \$100,000 each time such a flight is diverted from a polar route. Nine airlines are currently operating polar routes. [Receiver Autonomous Integrity Monitoring](#) technology can help planes get accurate GPS signals even when some satellite signals are experiencing interference.

太陽閃焰產生的短波輻射，以及磁層副暴的極光粒子，都可以改變電離層電子濃度分布，進而改變高頻電磁波穿過電離層之傳播路徑，而影響GPS的收訊。由於繞極的飛機行班，完全依賴GPS來認定方向，因此GPS收訊不佳，會造成飛安問題。為了確保飛安無慮，就必須取消一些省油的繞極行班，因此增加許多飛行成本。(事實上除了繞極的商用行班受到影響，隱型軍機的飛安也大受影響！)

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- No large [Solar Energetic Particles](#) events have happened during a manned mission. However, such a large event happened on August 7, 1972, between the [Apollo 16](#) and [Apollo 17](#) lunar missions. The dose of particles which would have hit an astronaut outside of earth's protective magnetic field, had this event happened during one of these missions, would have been deadly or at least life-threatening.

雖然目前尚無太空人被太陽閃焰所產生的高能粒子傷害的記錄，不過歷史上，阿波羅16號與17號登月探險活動之間，曾經發生過一次很強的太陽高能粒子事件。這個由太陽閃焰所造成的太陽高能粒子事件，其高能粒子通量，足以對太空人造成致死或嚴重的生命健康影響。

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- Nozomi Mars Probe was hit by a large Solar Energetic Particles event on April 21, 2002, which caused large-scale failure. The mission, which was already about 3 years behind schedule, was eventually abandoned in December 2003.

日本的希望號火星探測器，西元2002年4月間，遇上了太陽高能粒子事件，造成探測儀器的毀損，終於在隔年，西元2003年12月，宣告放棄此項探測任務。