

MAGNETOSFERAS Y ACTIVIDAD SOLAR

MATERIAL COMPLEMENTARIO DEL CURSO DE PLANETOLOGIA 2013

(no sustituye al curso teórico)

<http://www.astronomia.edu.uy/depto/planetologia/2013.html>

Tabaré Gallardo

Dpto. de Astronomía – Facultad de Ciencias

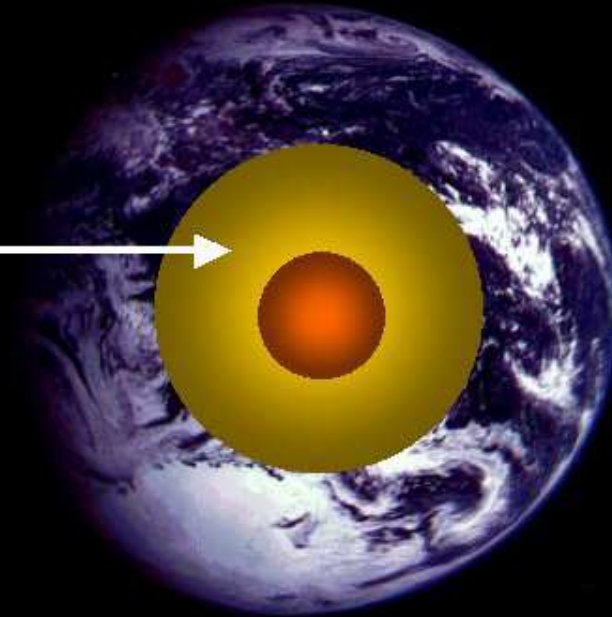
gallardo@fisica.edu.uy

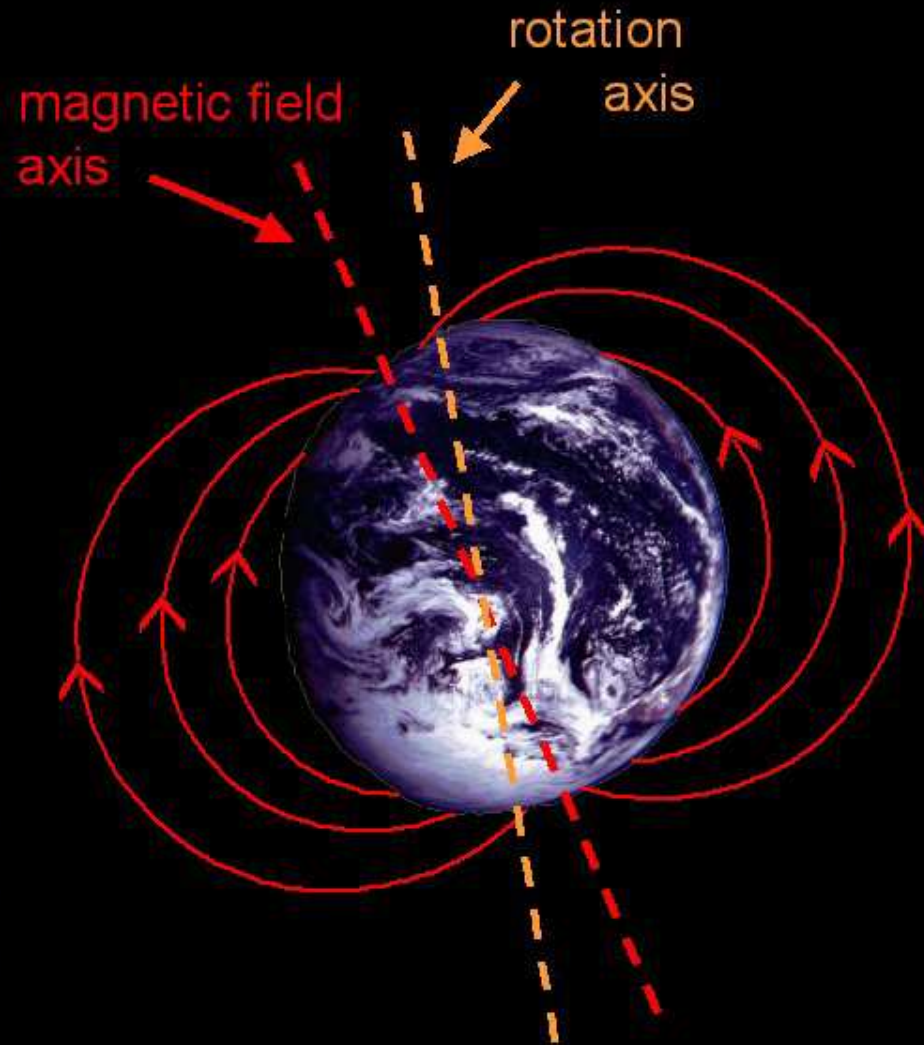
Magnetic fields are set up by moving electric charges. It is believed that the Earth's magnetic field is set up by motions of charges in convective currents in the metallic outer core of the Earth (the "dynamo effect").

liquid outer core



.. but the details of how this dynamo effect works are not yet well understood.



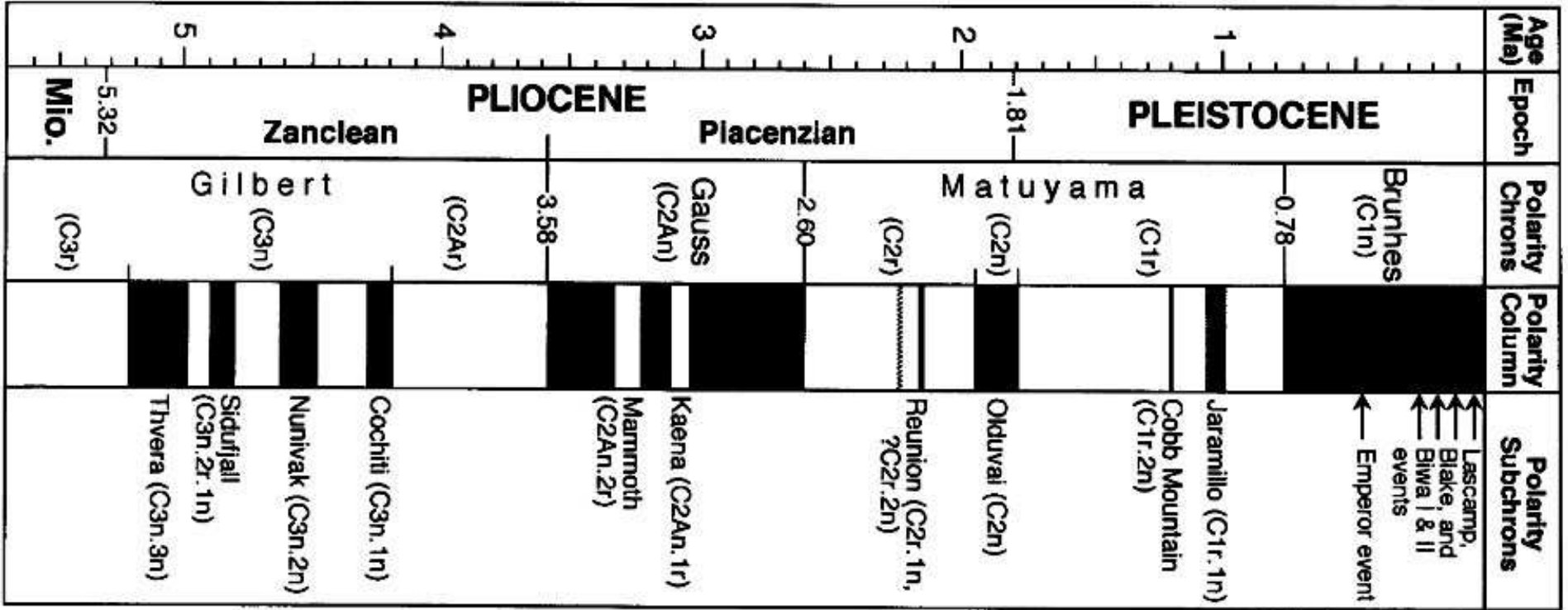


The magnetic field axis is tilted at 12° to the axis of rotation of the Earth.

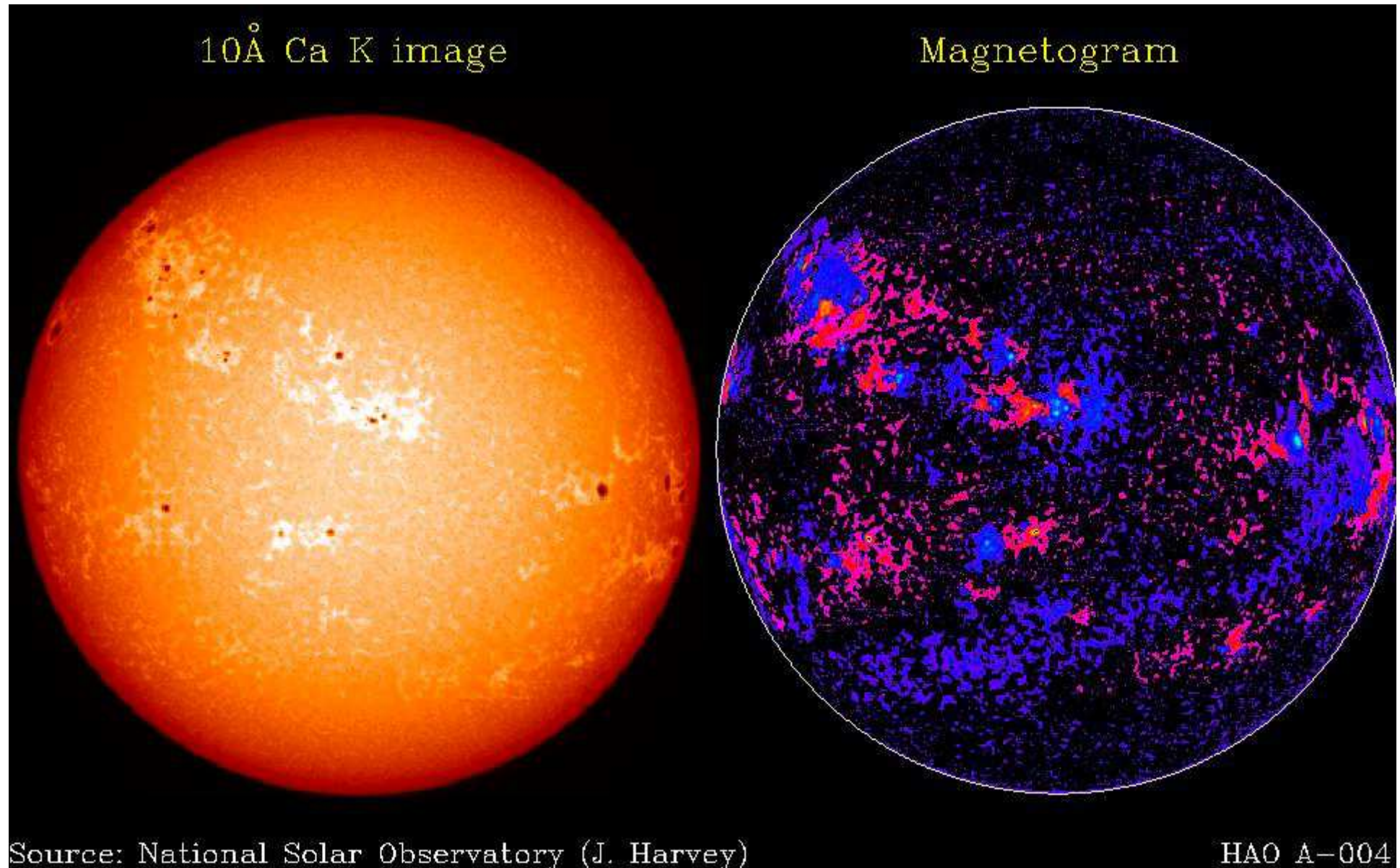
Careful study of the magnetic structure of ancient rocks suggests that the Earth's magnetic field has reversed its direction several times over the Earth's history.



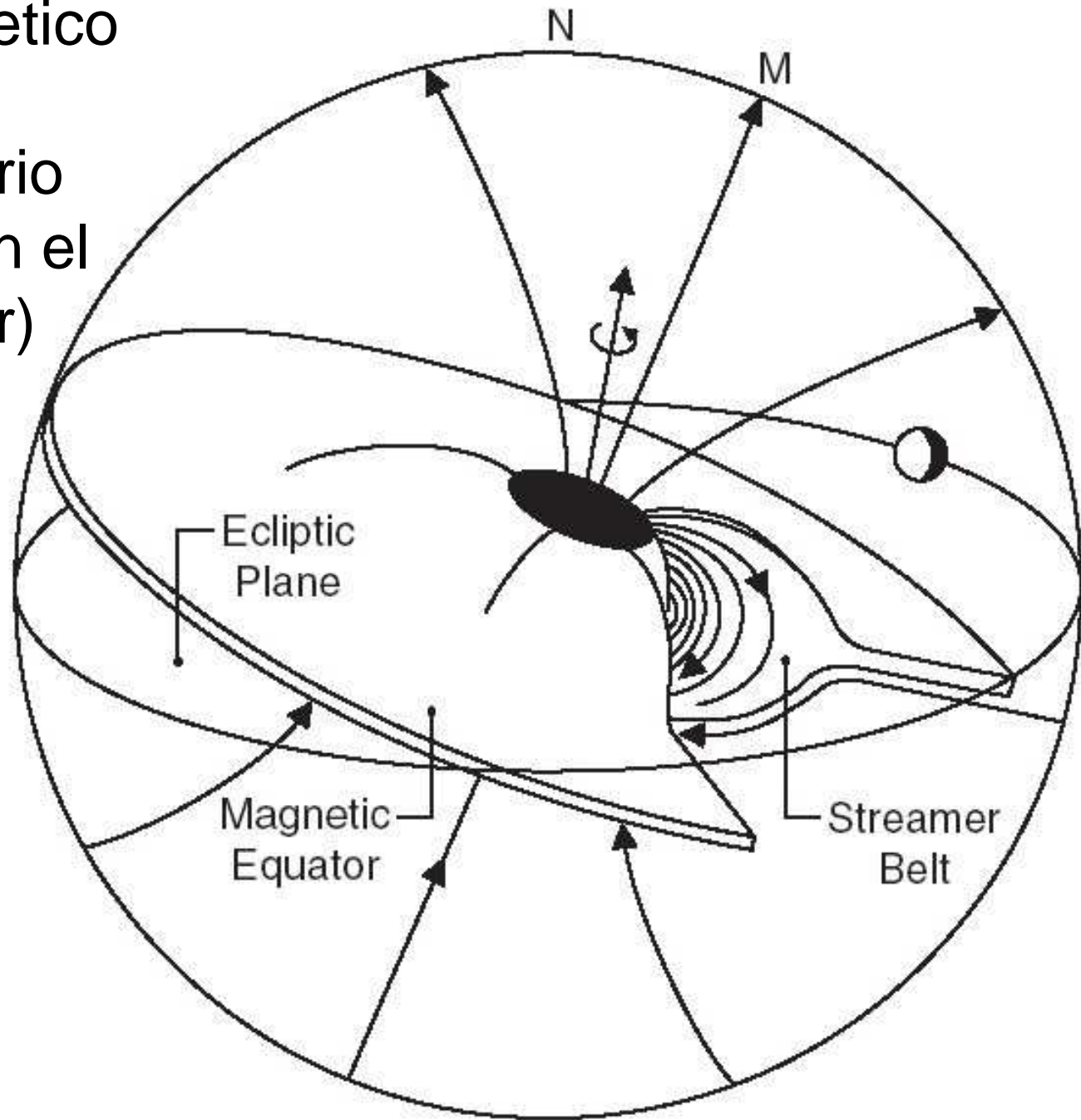
Inversiones magneticas recientes



El Sol y su variable campo magnetico



Campo magnetico
Solar e
interplanetario
(embebido en el
viento solar)

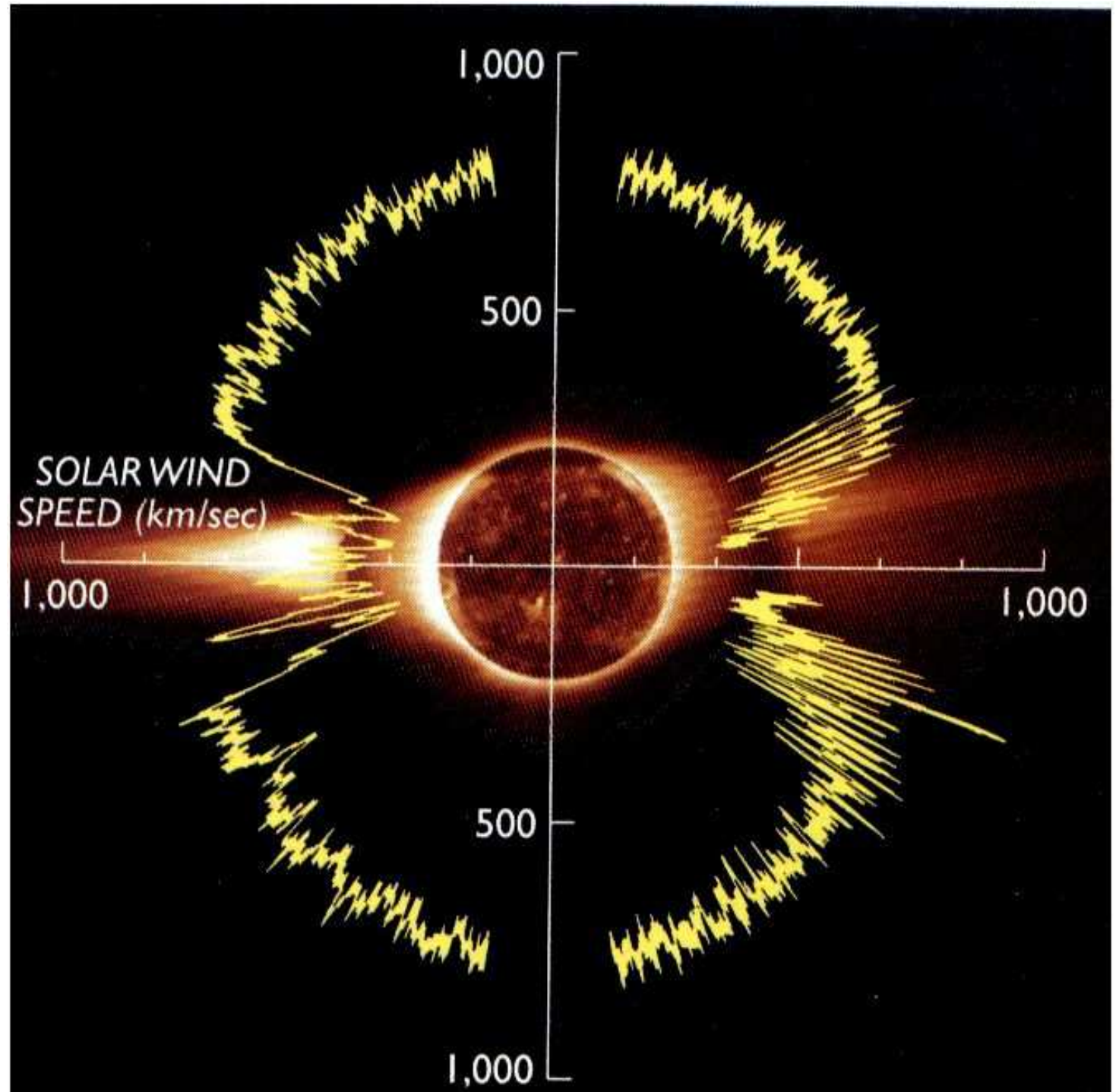




1997/11/05 00:18

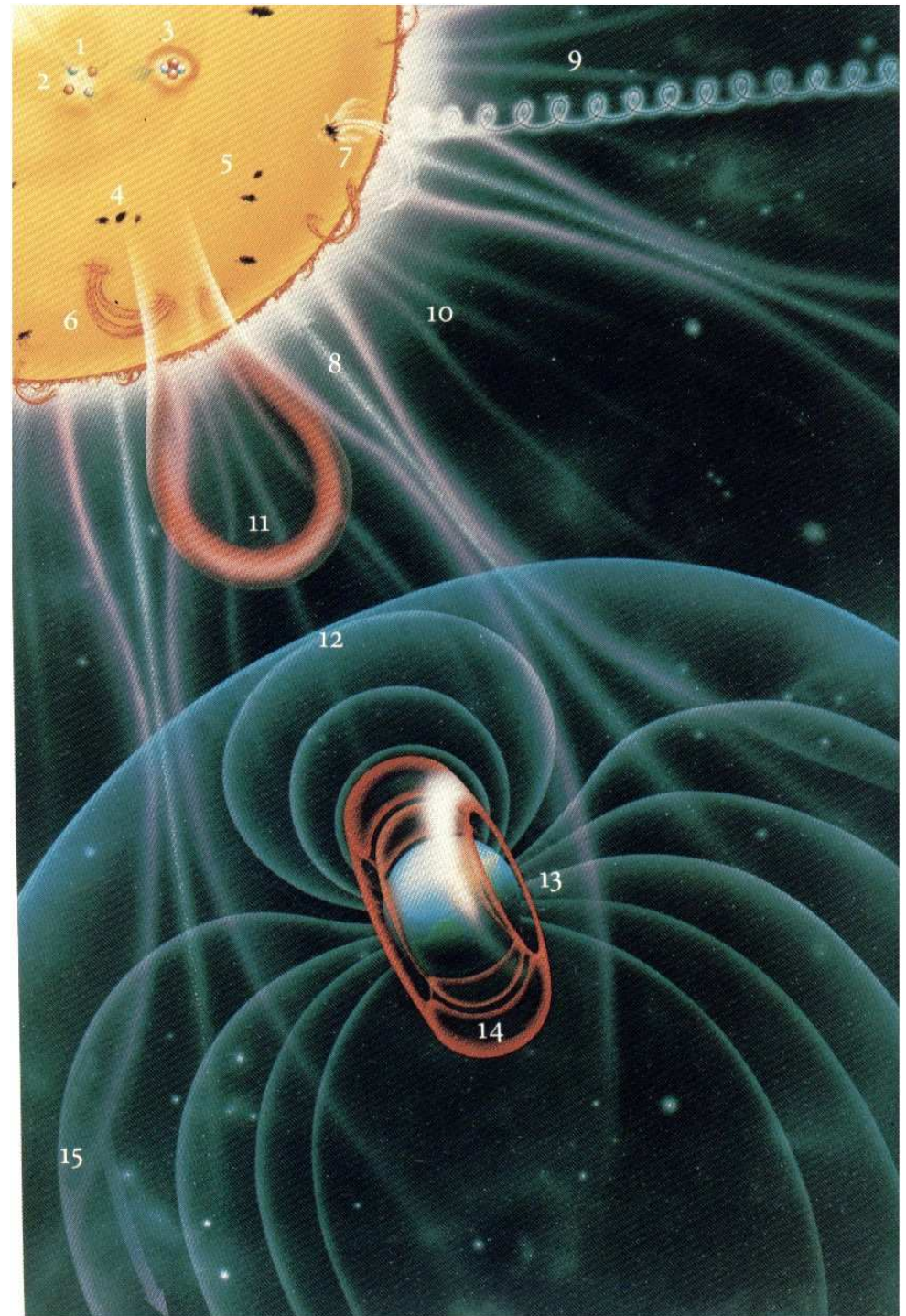
video

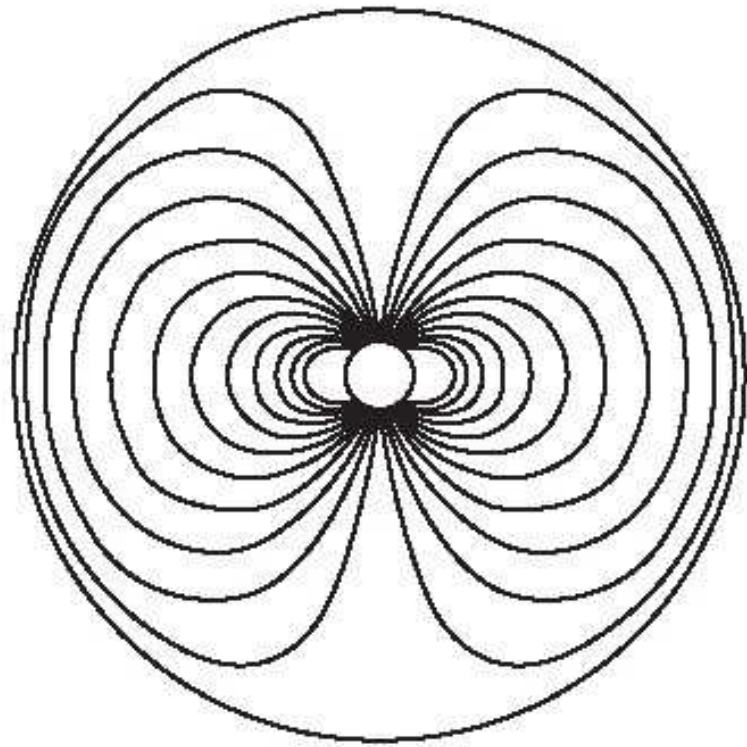
Viento Solar



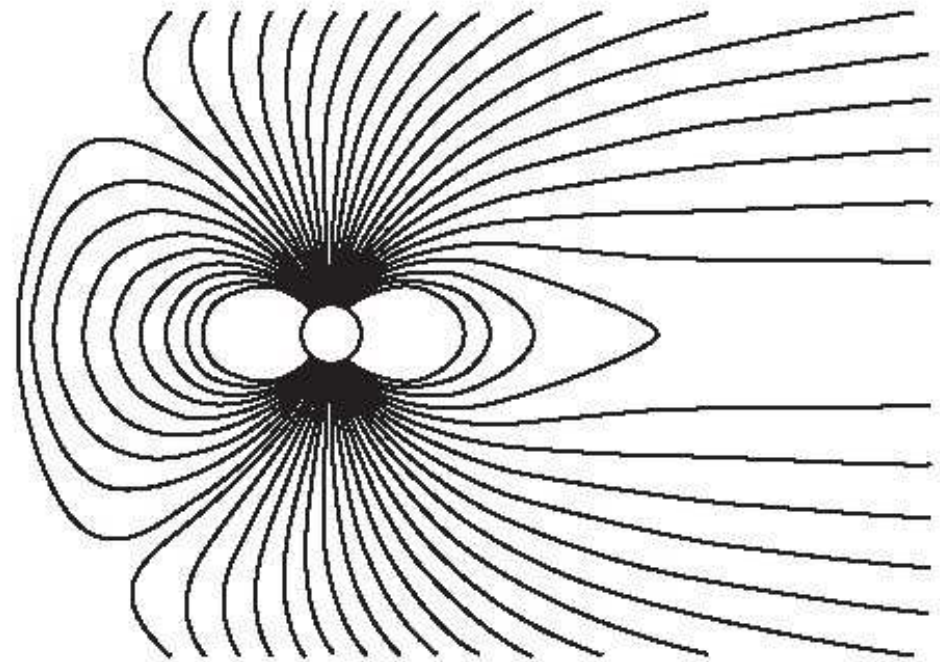
Efecto en la magnetosfera y cinturones de Van Allen

[video](#)

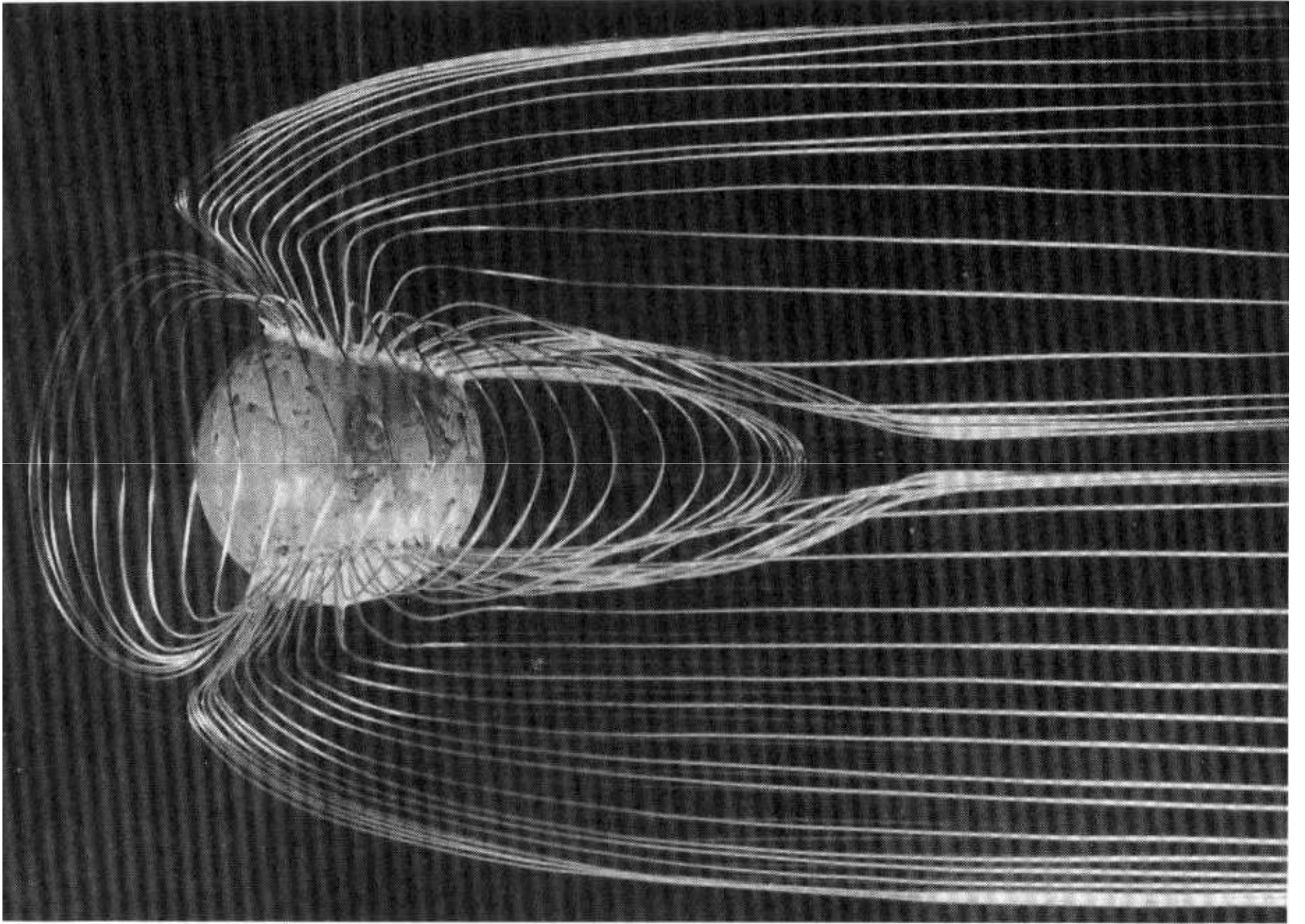




Spherical Magnetopause



Empirical Magnetosphere



ACTIVIDAD SOLAR

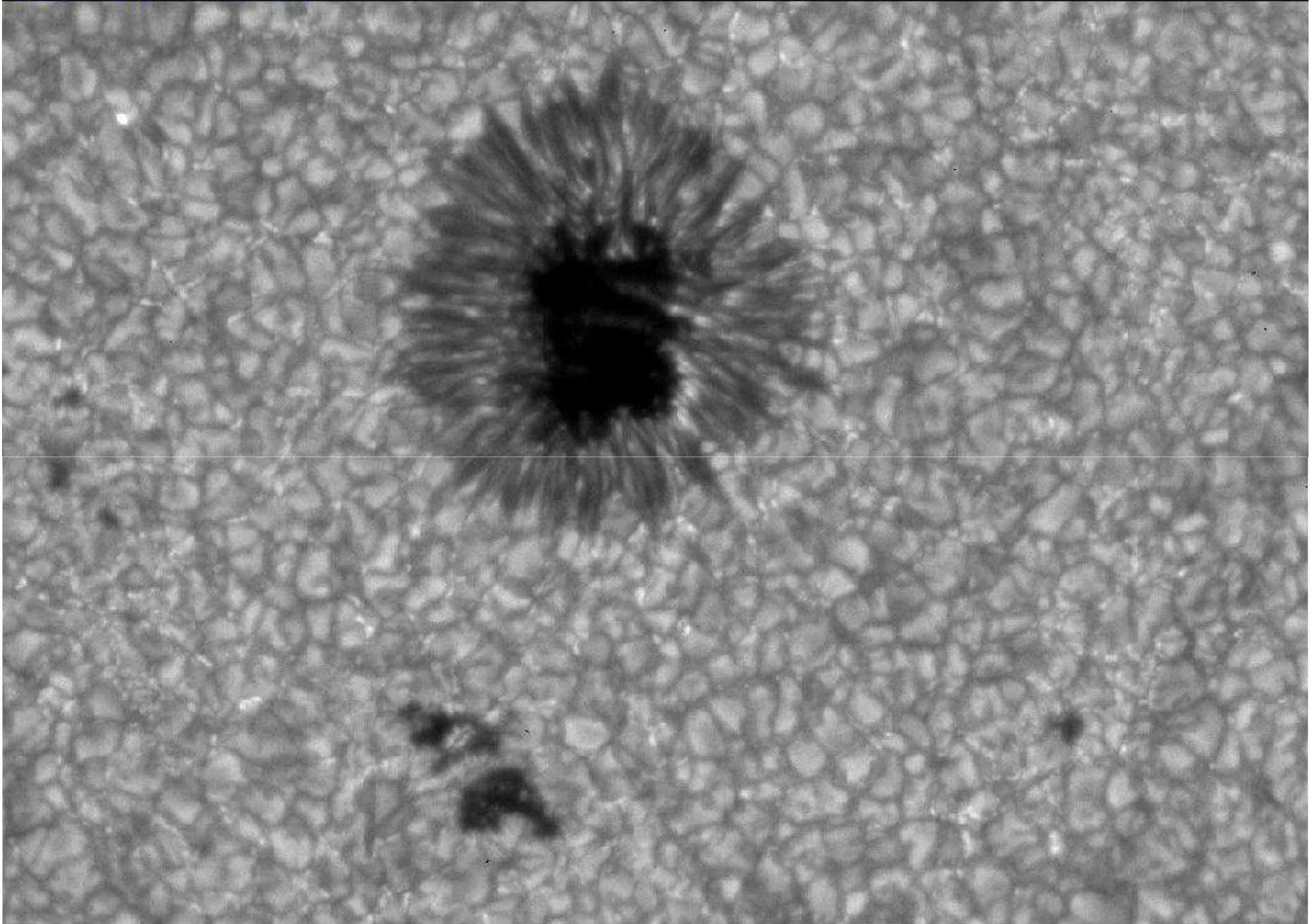
En la FOTOSFERA encontramos:

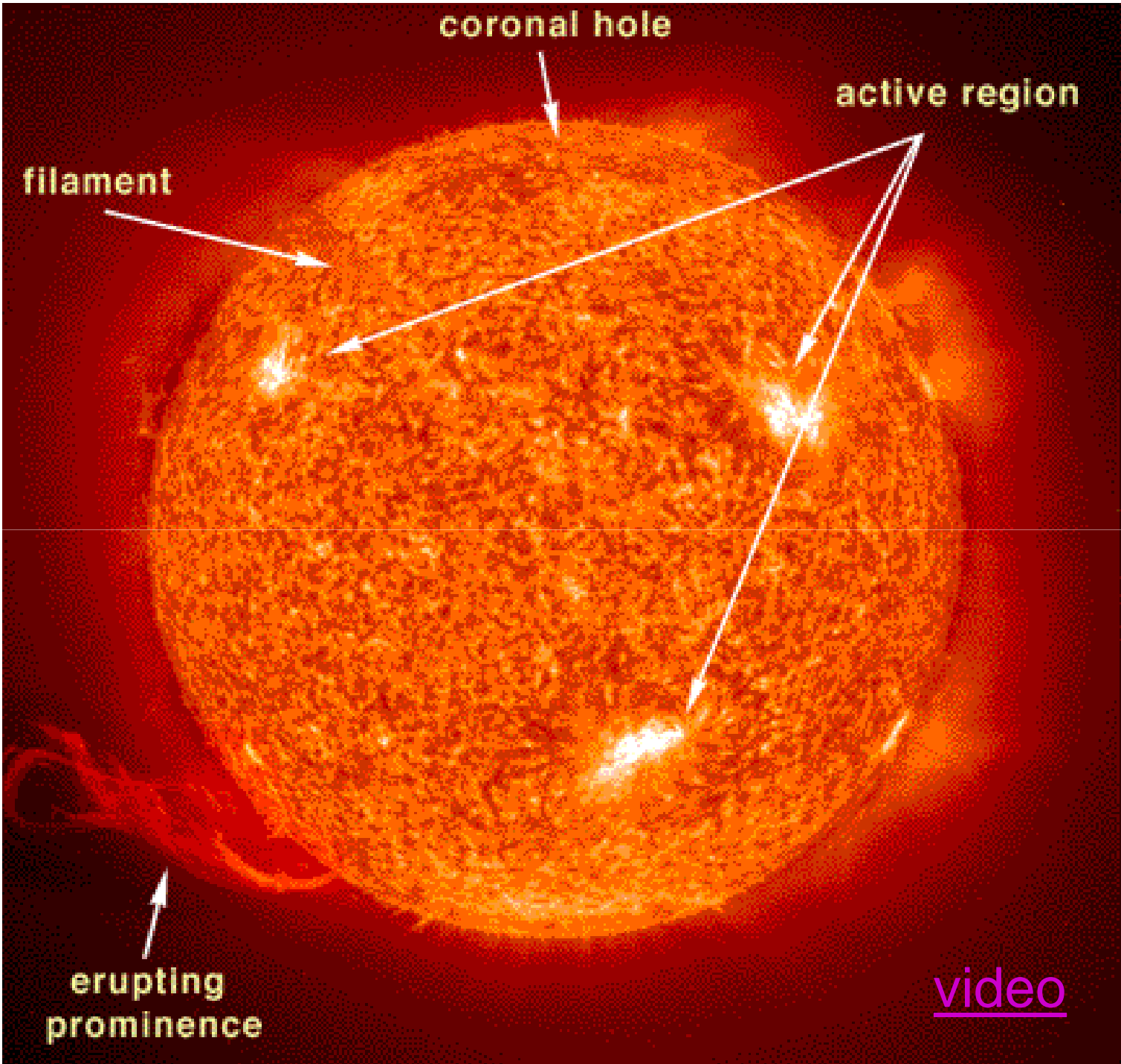
Granulos: células convectivas de centenas de kms de diámetro que transfieren la energía desde la zona convectiva hacia el exterior. Tienen una vida media de algunos minutos.

Faculas: son regiones que en el visible son más brillantes que el resto de la fotosfera por ser más densas y calientes.

Manchas: son producidas por concentraciones de fuertes campos magnéticos en la fotosfera. Pueden llegar a tener 50000 kms de diámetro y duran varios días o semanas. Se encuentran en latitudes solares menores a 35 grados. Cada mancha es un polo por lo que en general las manchas aparecen de a pares o en grupos interactuando magnéticamente. Son más frías pues los intensos campos magnéticos aíslan el gas del resto de la fotosfera.

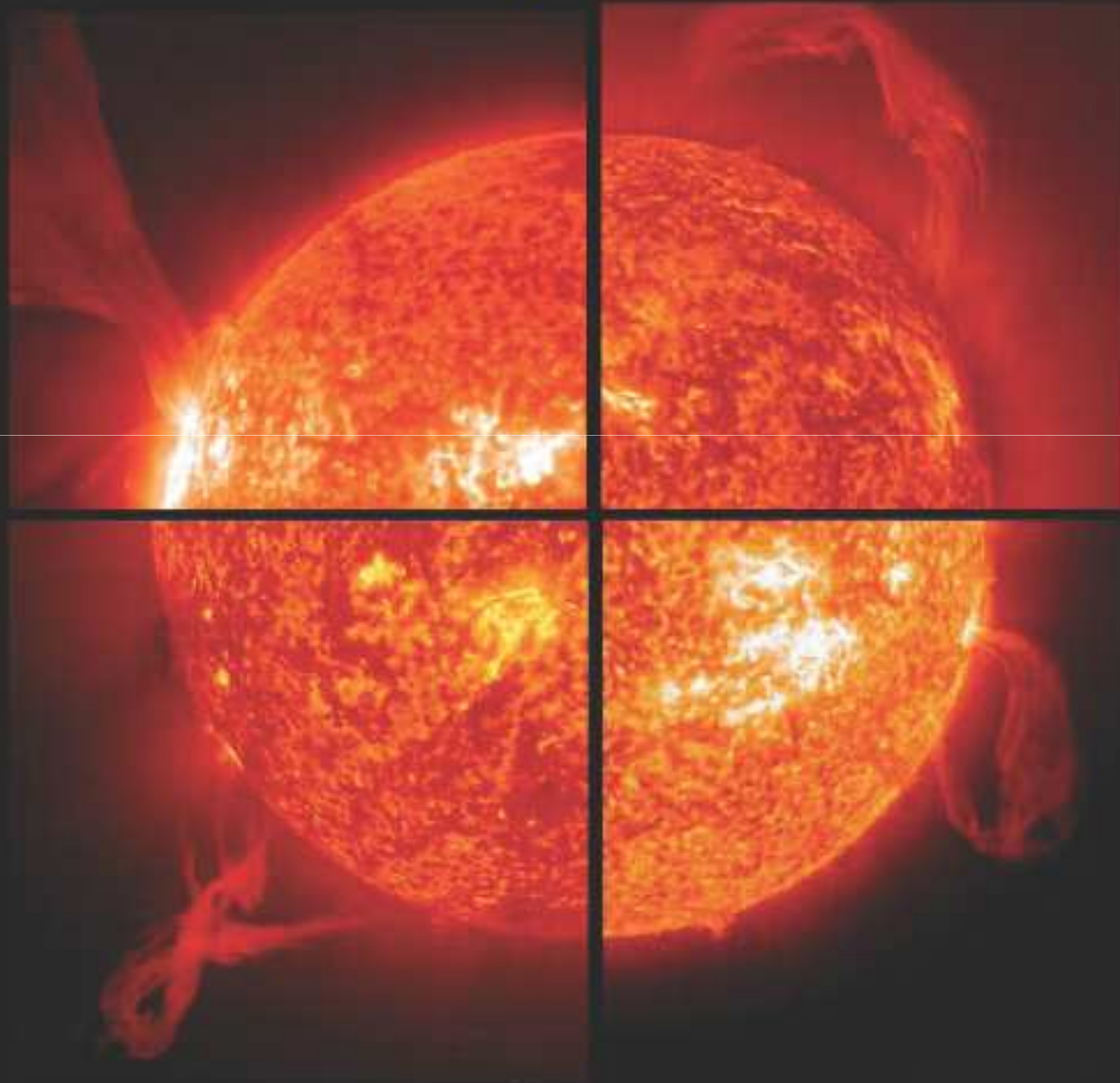
June 1994: G-Band







Grandes prominencias solares, plasma extendiéndose a lo largo de líneas de campo magnético, algunas veces rompiéndose

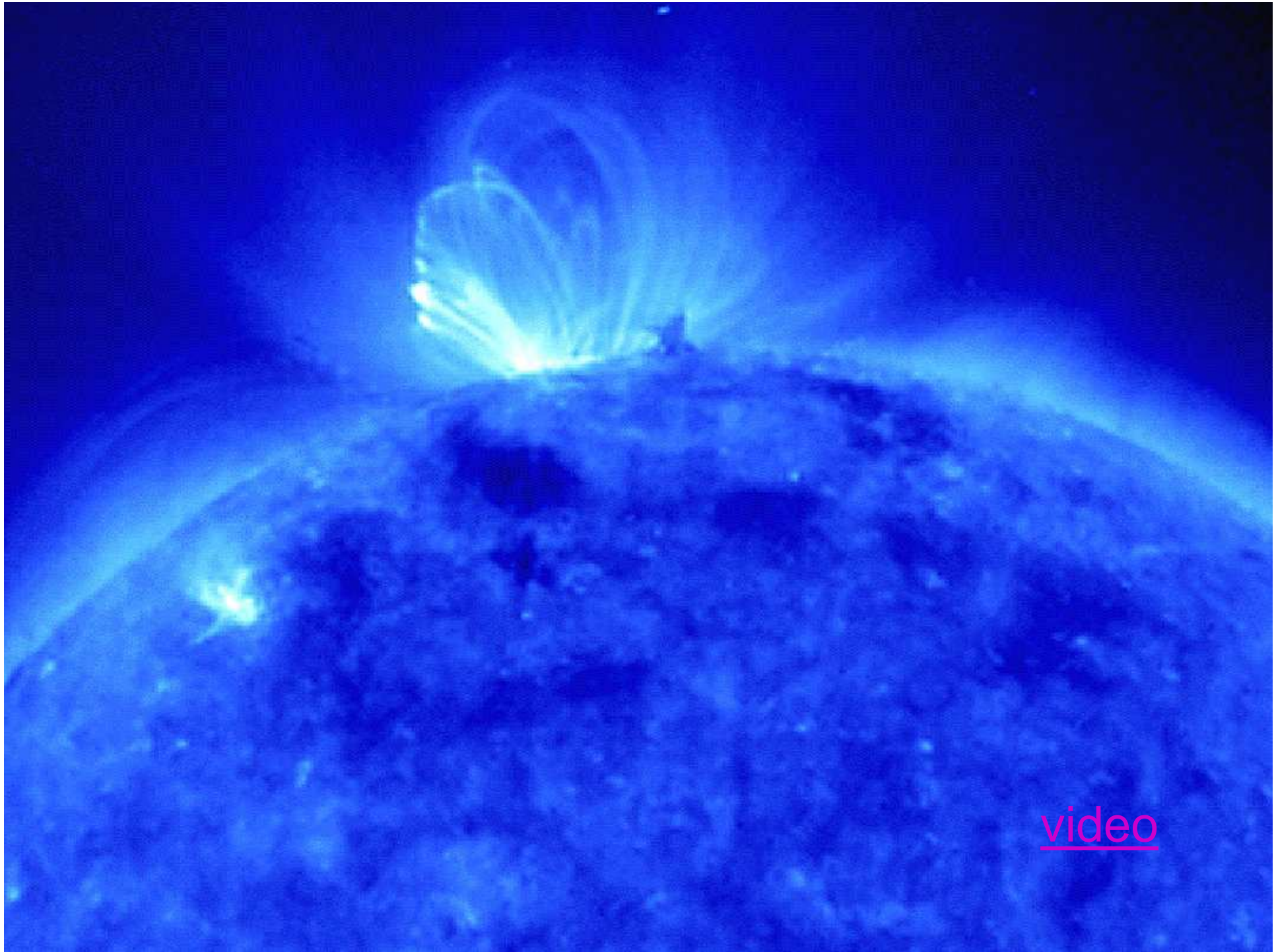


En la CROMOSFERA encontramos:

Espiculos: en H alfa presentan el aspecto de cabellos saliendo y cayendo desde la cromosfera alcanzando la corona. Tienen una vida de algunos minutos y pueden alcanzar 15000 kms de altura.

Flares: son erupciones de partículas y radiaciones en un amplio espectro de energías (desde X hasta radio) que acompañan a las manchas y que ocurren en forma de explosiones en la corona. Tienen vida de algunos minutos y temperaturas de hasta centenares de millones de grados. Las partículas eyectadas alcanzan la Tierra horas o días después produciendo interferencia en comunicaciones y auroras. Parecen ser producidas por la inyección abrupta de grandes cantidades de energía magnética en pequeñas regiones de la corona.

Plages: son regiones en la cromosfera que en H alfa se aprecian como más brillantes y se corresponden con regiones activas ubicadas más abajo en la fotosfera.

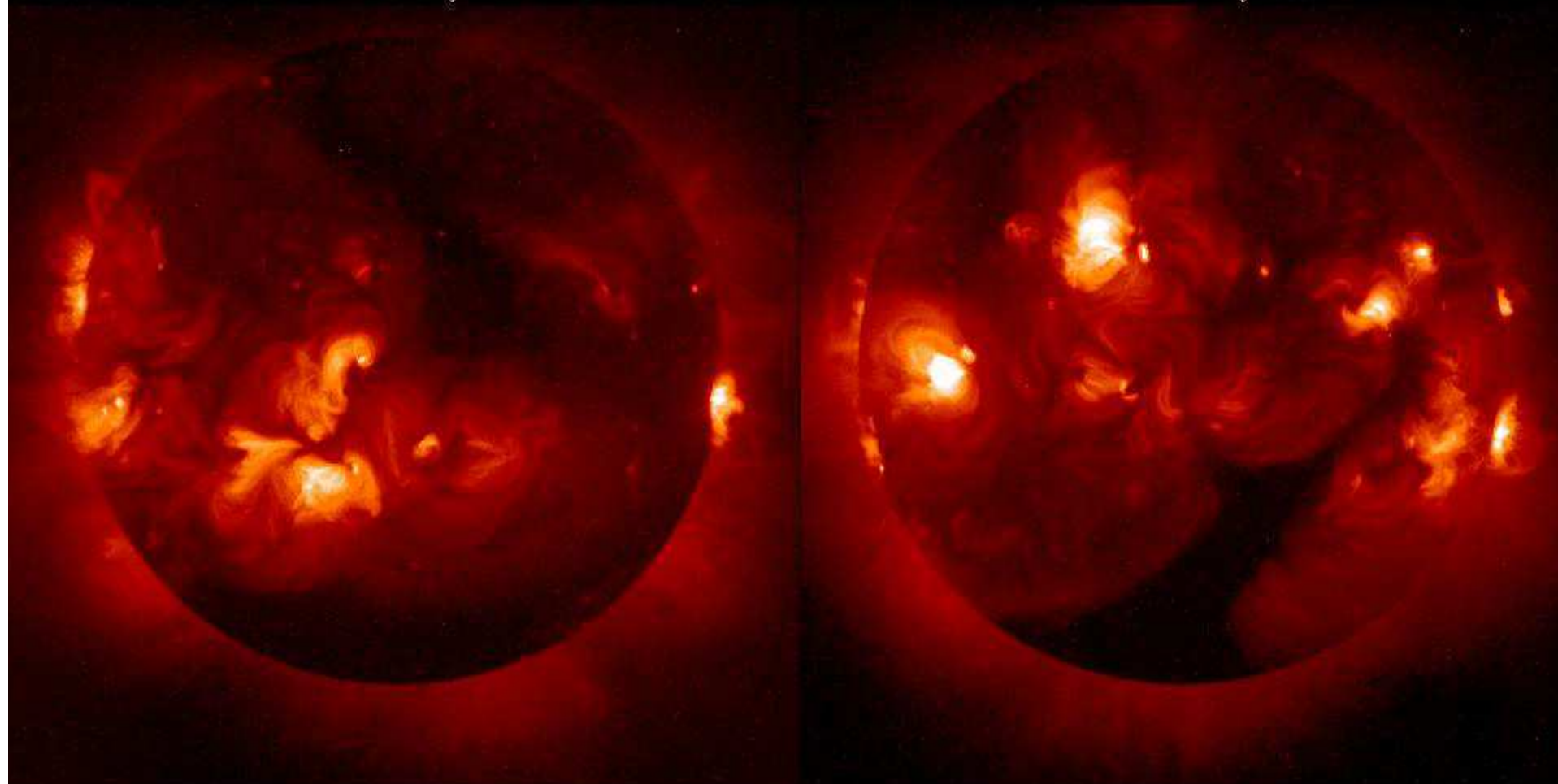


[video](#)

Soft X-Rays

06 January 1993

07 February 1993



Source: Yohkoh Science Team

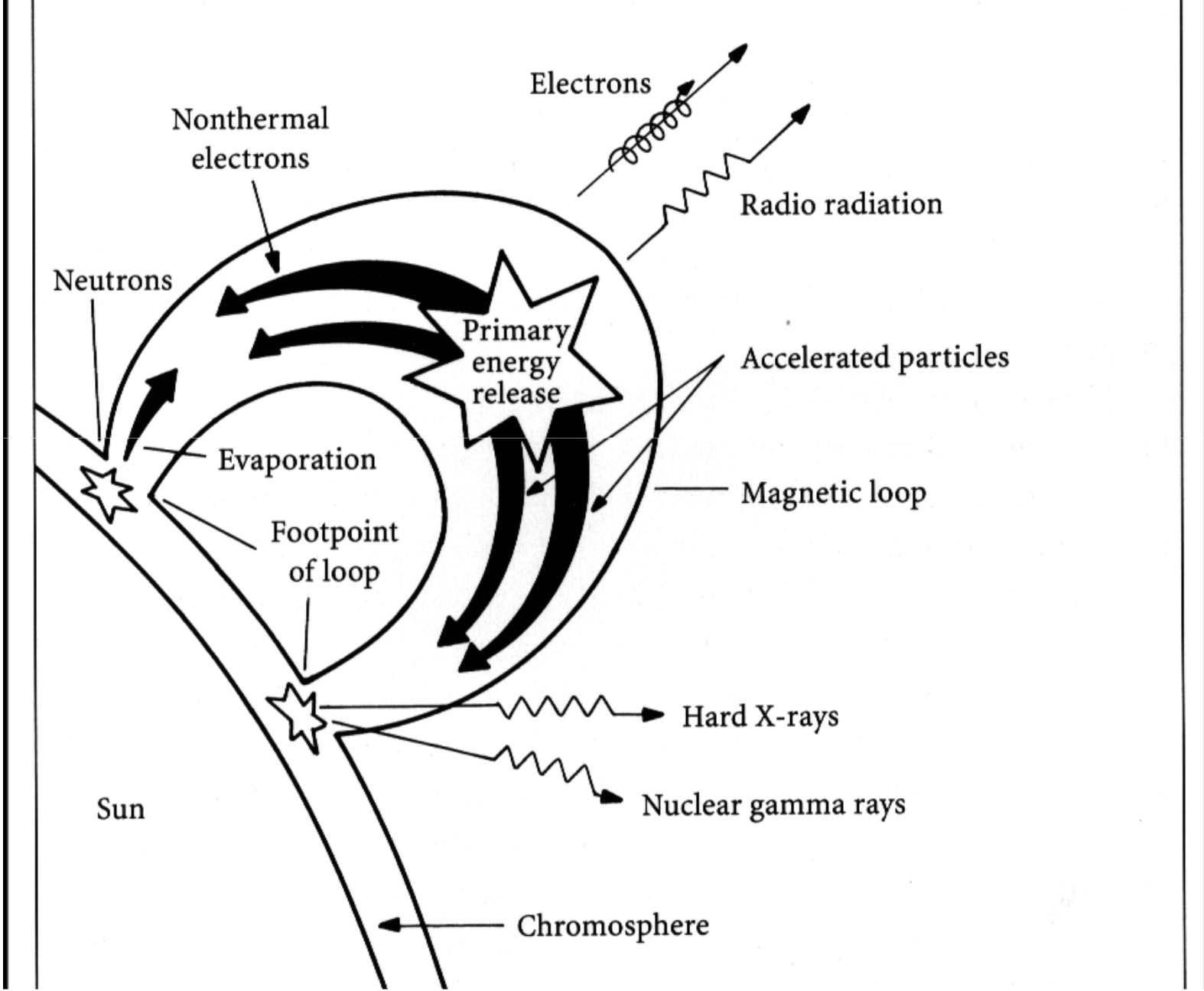
HAO A-011

En la CORONA se desarrollan prominencias y otras estructuras como eyecciones masivas.

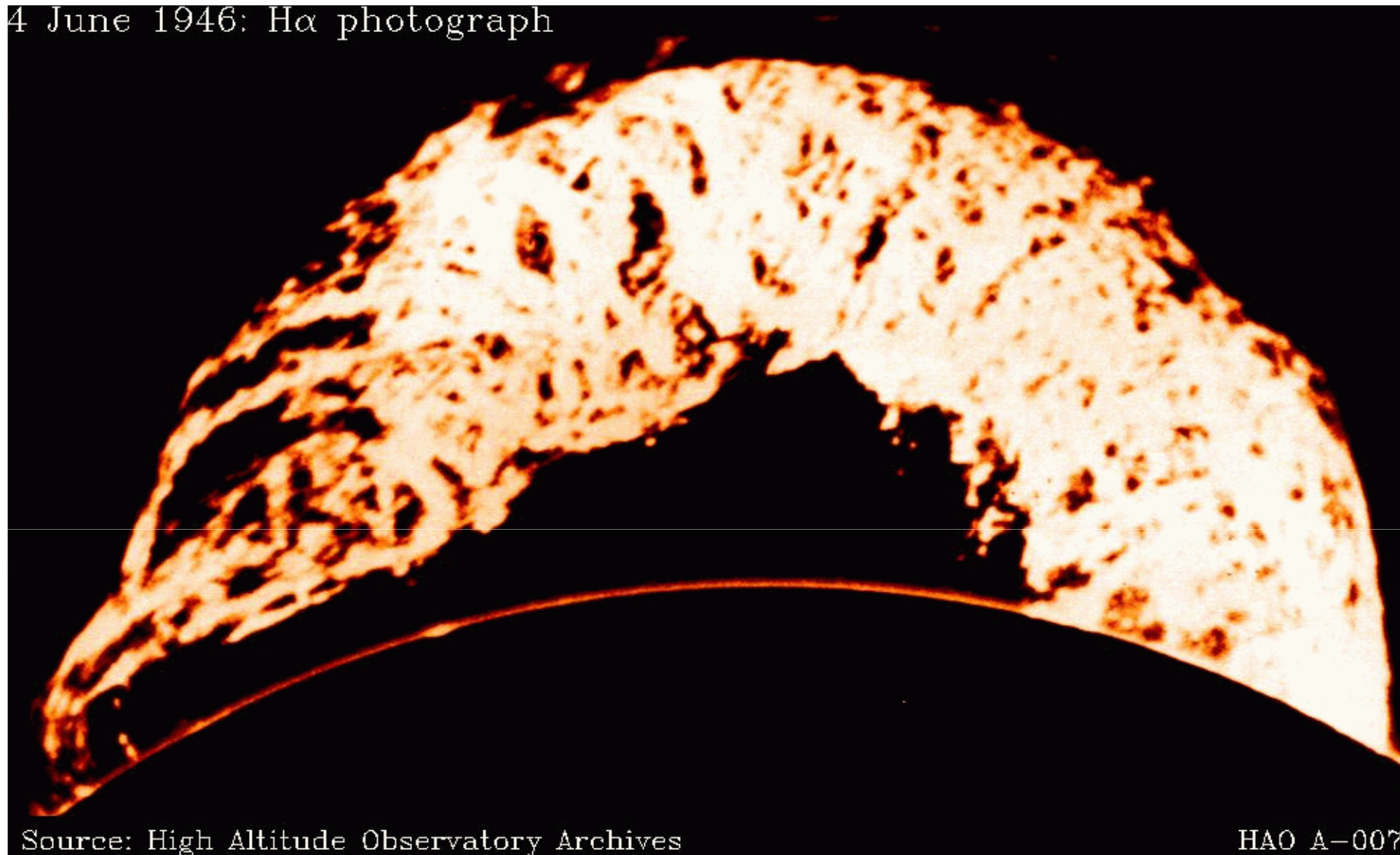
Prominencias: son regiones de gas frio (10000 K) y denso embebido en la corona de baja densidad y alta temperatura (millones de grados). Ocurren en regiones de campos magneticos horizontales que las sostienen. Cuando se observan proyectadas sobre el disco solar se las suele llamar **filamento**. Pueden estar asociadas a regiones activas (prominencias activas) o alejadas de las mismas (prominencias quiescentes). Pueden tambien ser eruptivas en cuyo caso estan asociadas a eyecciones coronales de masa.

Eyecciones coronales de masa : es una burbuja magnetica de plasma eyectada a gran velocidad desde la corona.

A canonical model of a solar flare



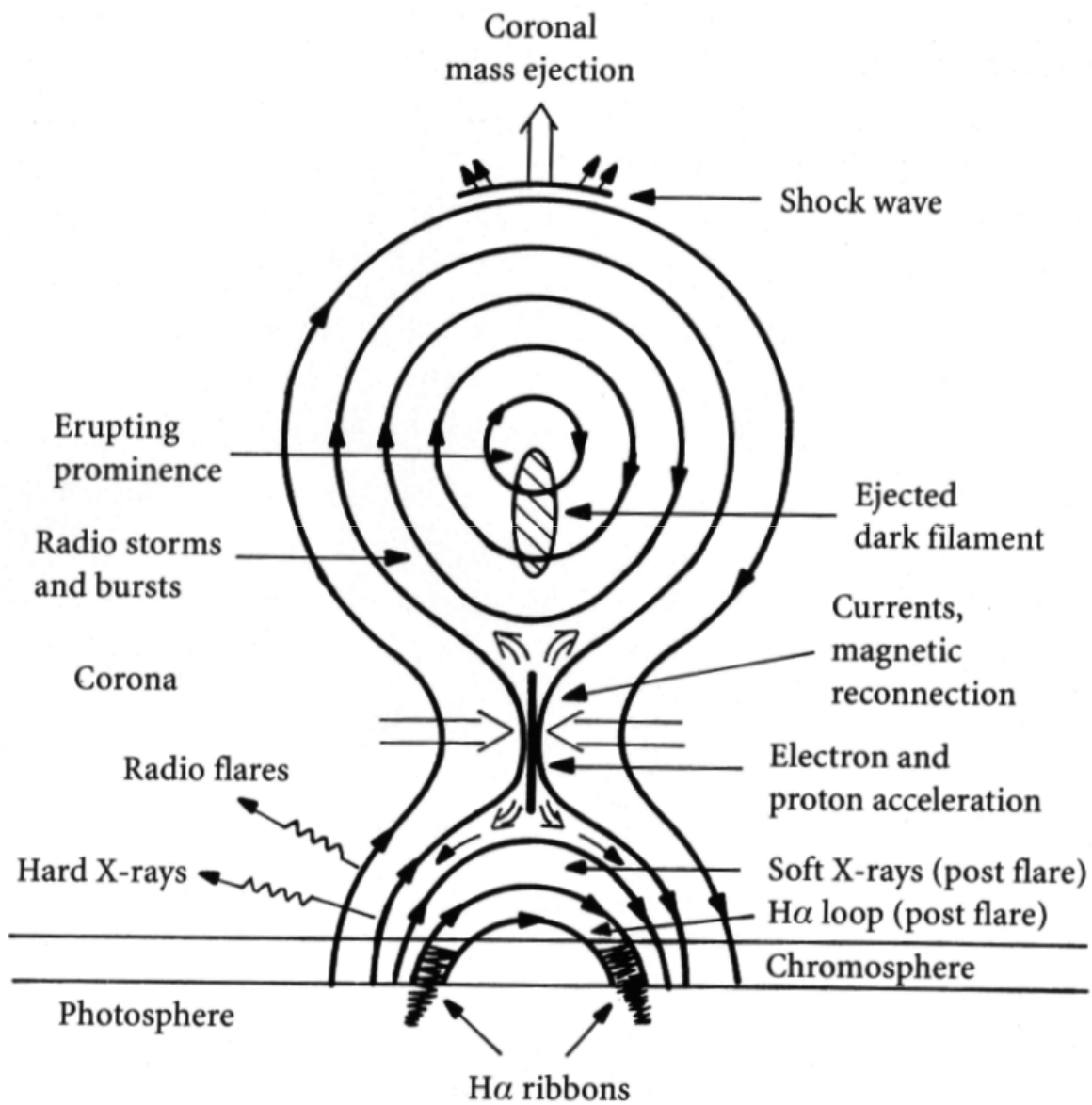
4 June 1946: H α photograph



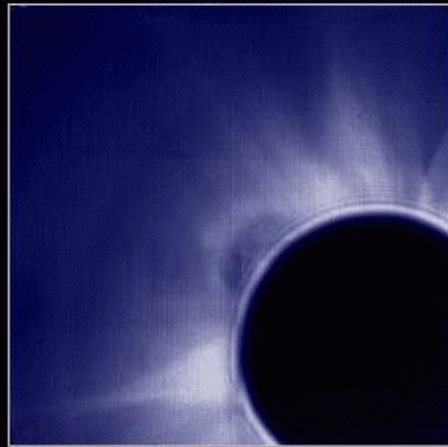
Source: High Altitude Observatory Archives

HAO A-007

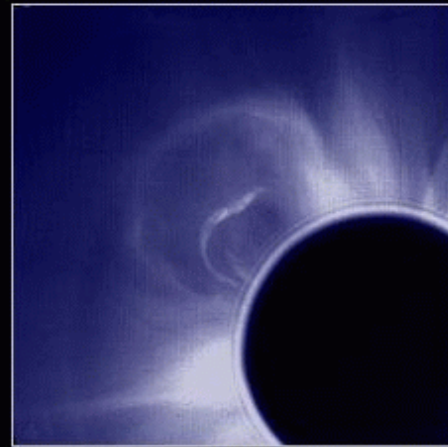
Composite eruption model



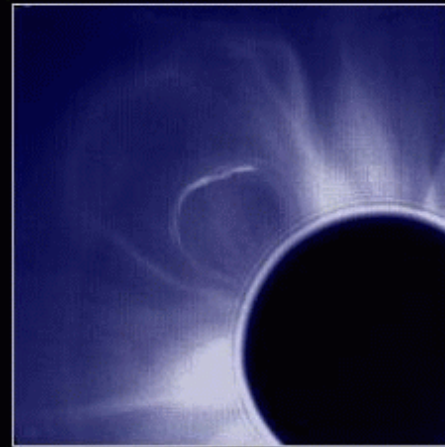
White Light



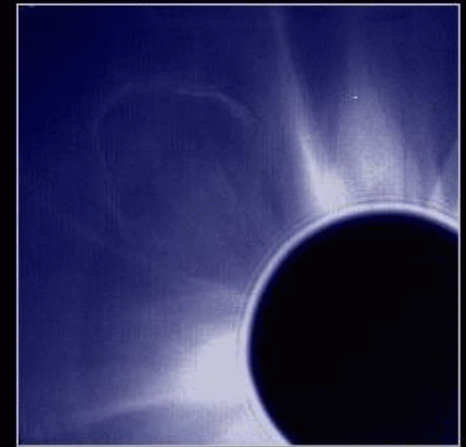
14 Apr 1980 04:48



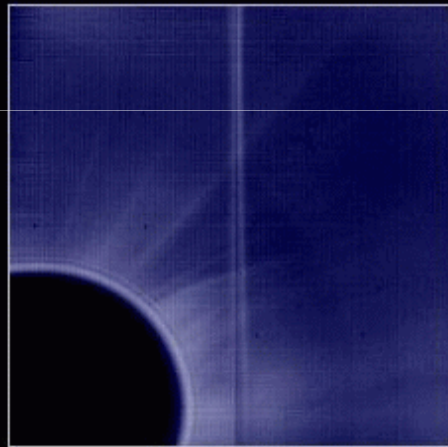
14 Apr 1980 05:44



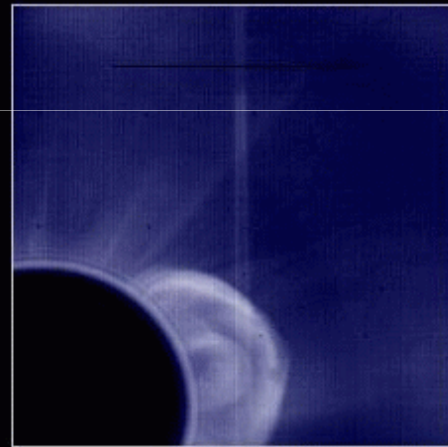
14 Apr 1980 06:10



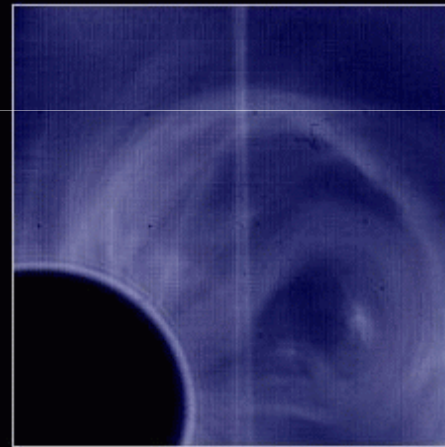
14 Apr 1980 07:09



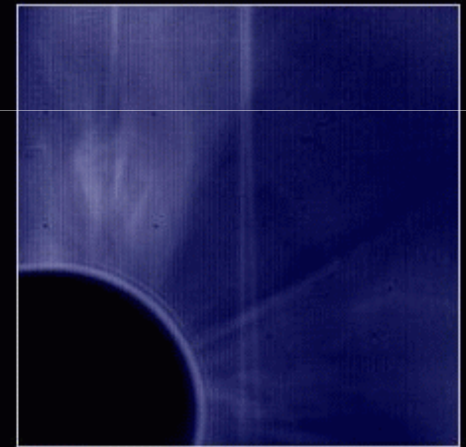
24 Oct 1989 15:23



24 Oct 1989 18:09



24 Oct 1989 18:25



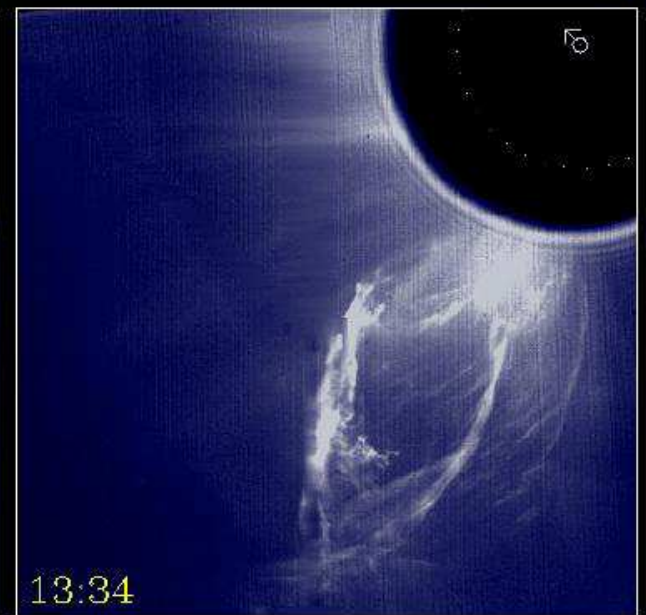
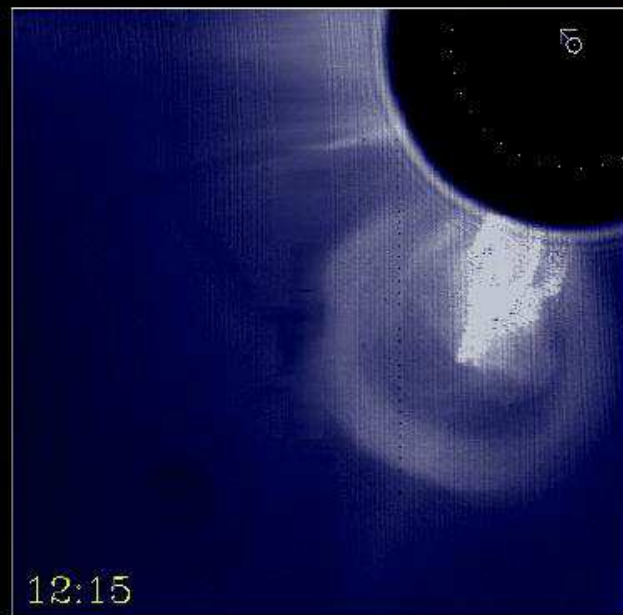
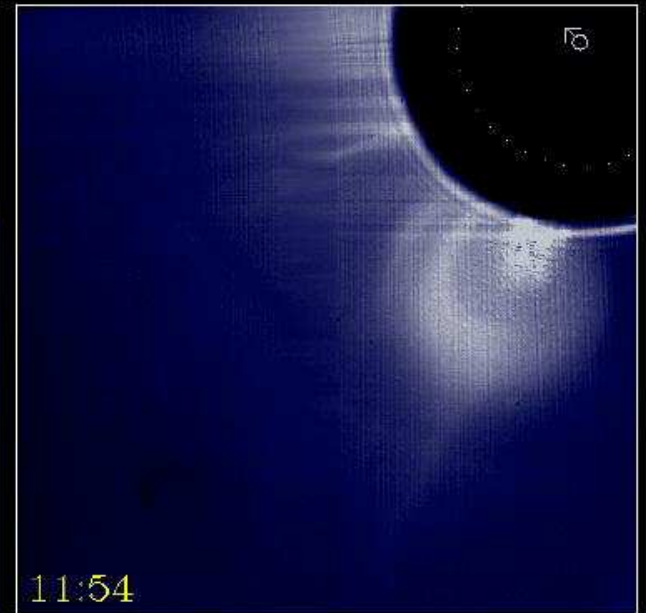
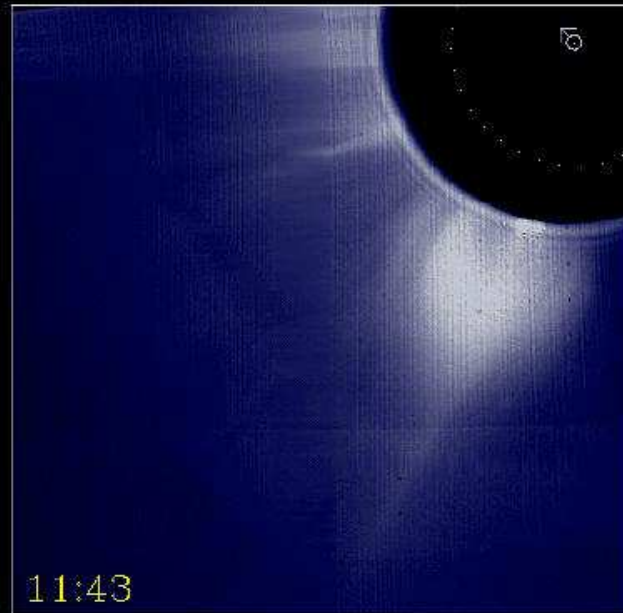
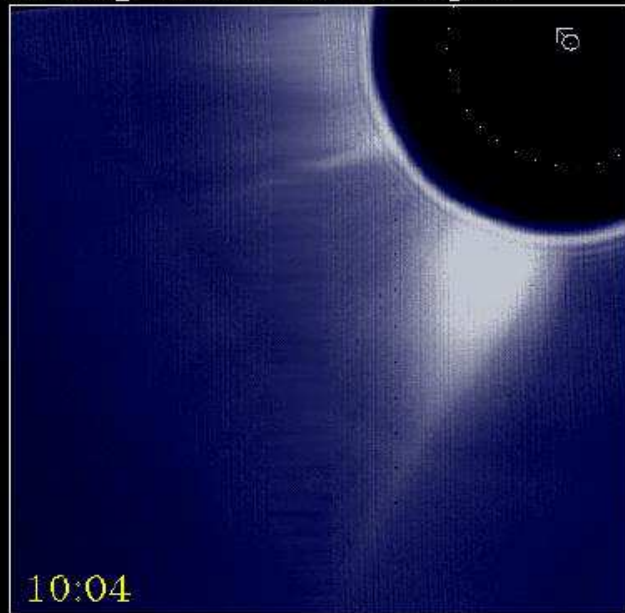
24 Oct 1989 19:15

Source: High Altitude Observatory/Solar Maximum Mission Archives

HAO A-014

[video](#)

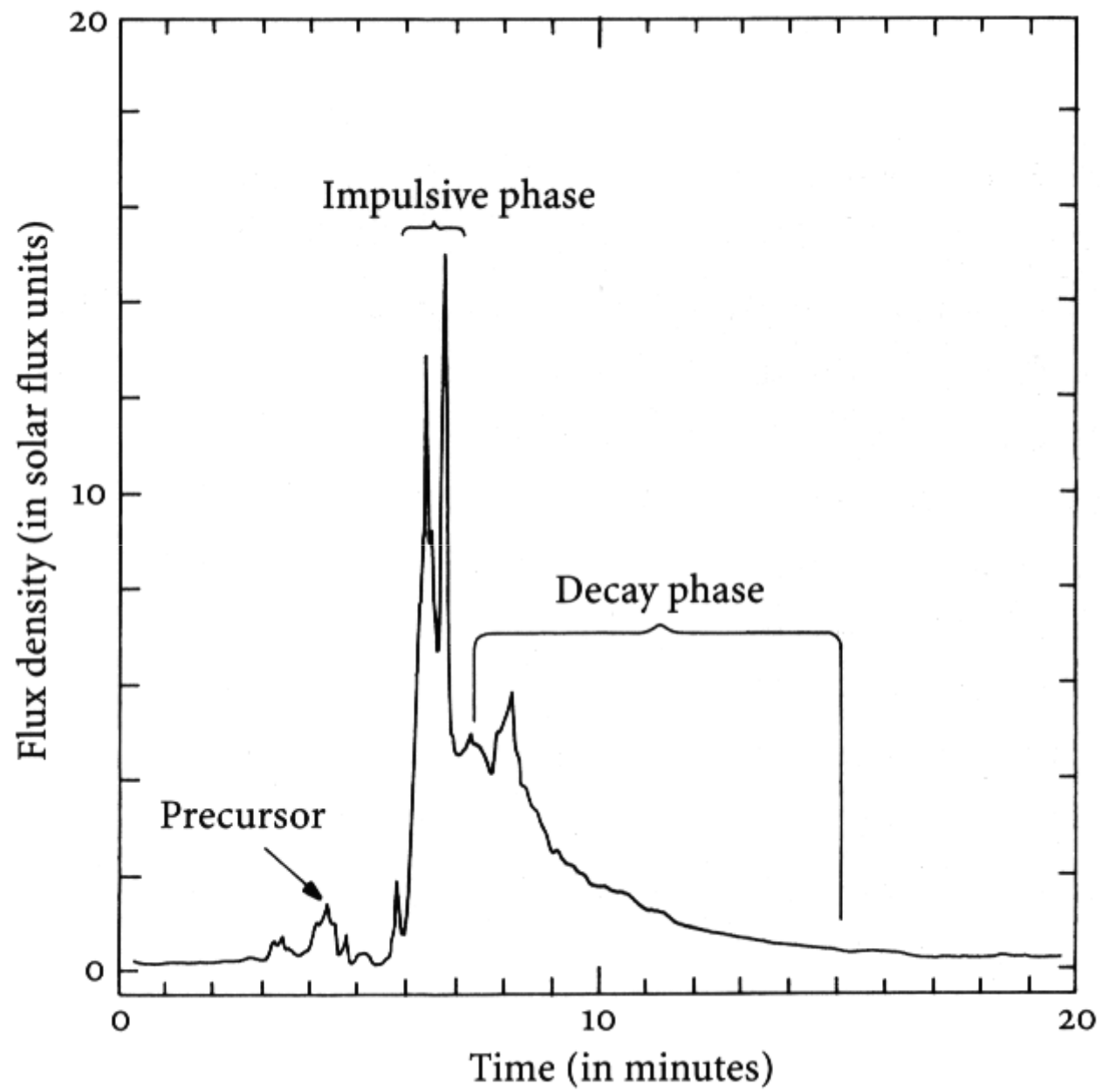
18 Aug 1980: White Light



Source: High Altitude Observatory/Solar Maximum Mission Archives

HAO A-013

[video](#)



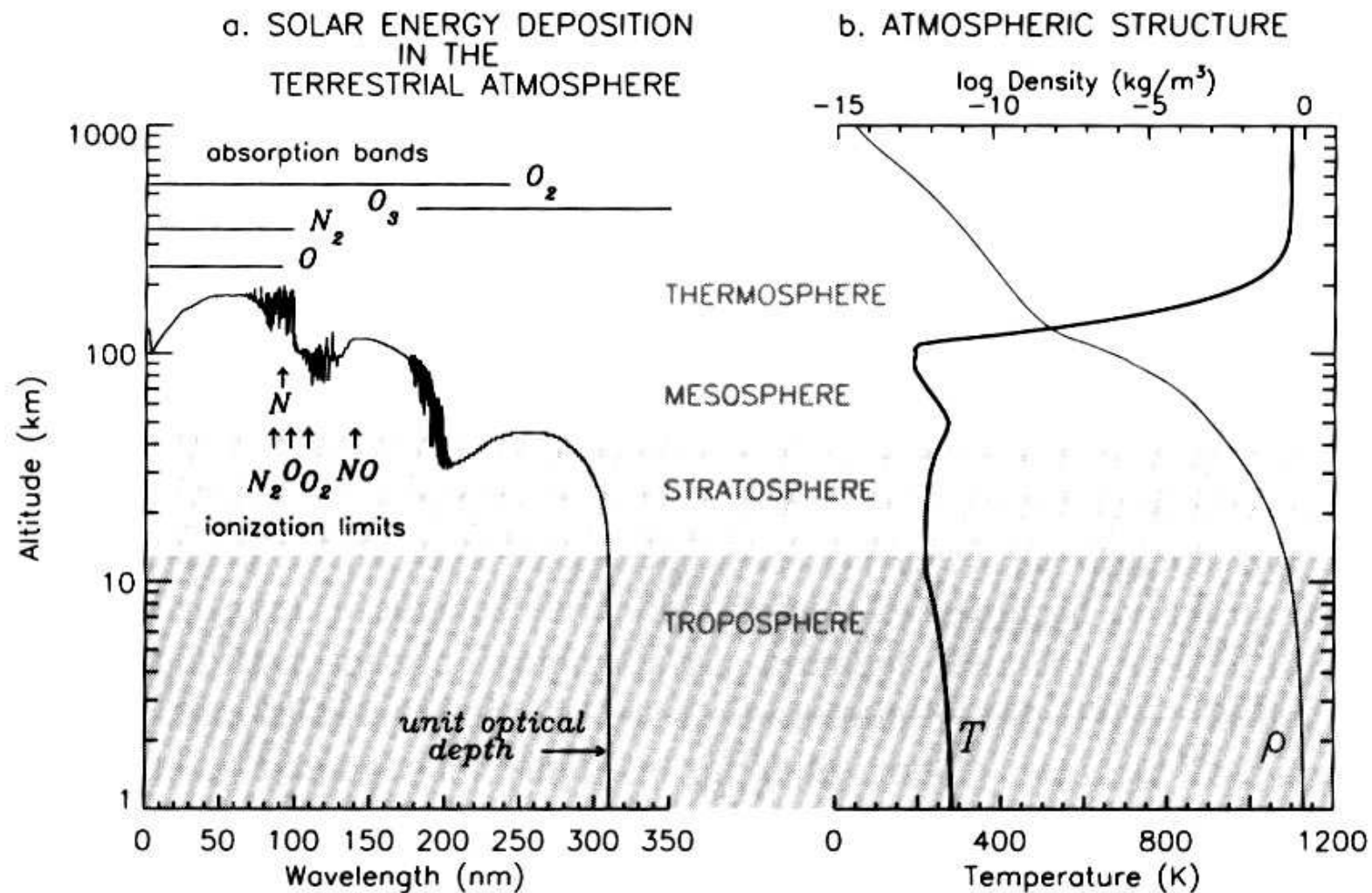
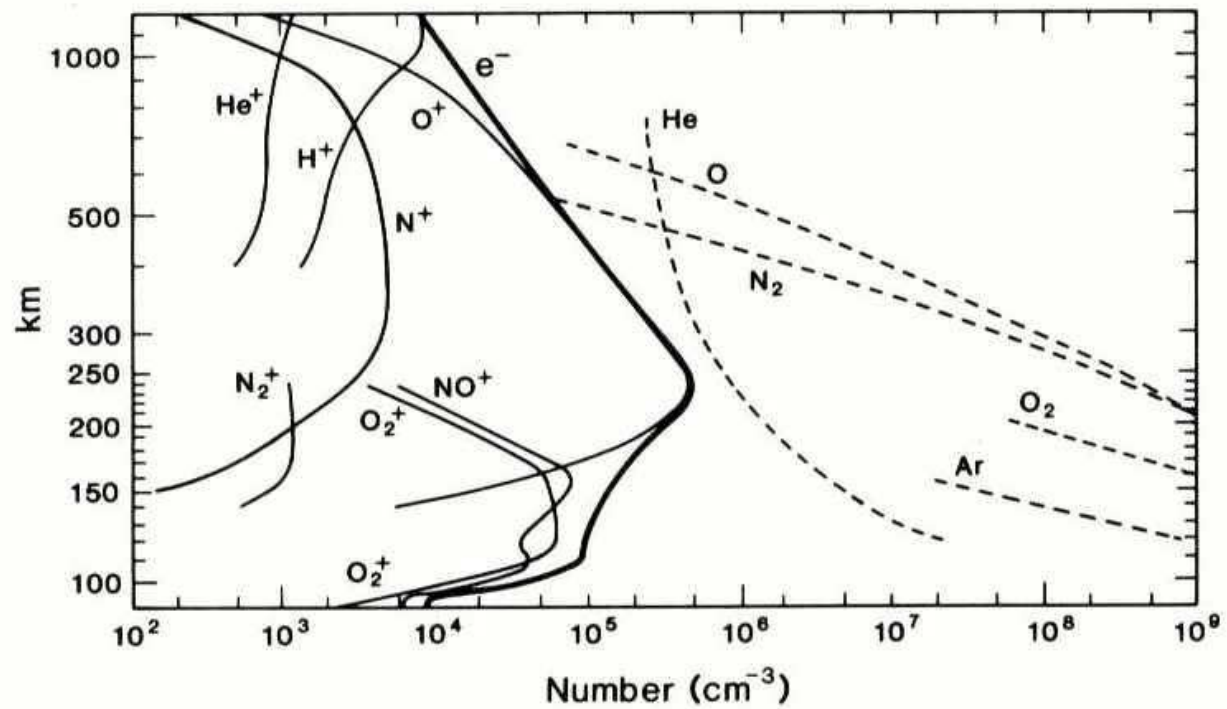


Figure 7 Different regions of the solar spectrum penetrate to different altitudes in the Earth's atmosphere because atmospheric species absorb radiation at different wavelengths. Shown in (a) is the altitude at which the Earth's atmosphere attenuates incident radiation from an overhead Sun by a factor of $1/e$ (Meier 1991). Deposited solar energy determines the atmosphere's temperature profile (T) in (b), on which atmospheric regions are based.

FIG. 7.7. International quiet solar year (IQSY) daytime ionospheric and atmospheric composition based on mass-spectrometer measurements. (From Johnson, 1969.)



Efecto de la radiación solar (fotones) en la atmósfera

La radiación UV solar si bien es solo el 1% y no afecta directamente la superficie terrestre **controla todo el perfil termico de la atmósfera** por encima de la troposfera y la mayor parte de los procesos químicos, dinámicos y radiativos.

La radiación UV absorbida por el ozono a algunas decenas de kms de altura es la responsable del calentamiento de la **estratosfera**. Mas arriba el oxígeno molecular se disocia debido a la radiación UV generando los átomos que permiten la formación del **ozono**. Tanto el oxígeno como el nitrógeno absorben UV siendo los responsables de la temperatura de la **termosfera** (1000 K) a alturas superiores a los 200 km. Finalmente la radiación UV es la responsable de la ionización del nitrógeno y oxígeno formándose como consecuencia una atmósfera de plasma débilmente ionizado llamada **ionosfera** que se encuentra embebida en la atmósfera neutra entre los 50 y los 1000 km.

La actividad solar no afecta al espectro solar de manera uniforme.

Manchas y faculas por ejemplo afectan el visible e infrarrojo, en cambio las plages incrementan el flujo en UV.

La radiacion de la corona tiene su efecto en UV pues la emision del plasma es aumentada en los bucles de los campos magneticos ubicados sobre las grandes regiones activas que incluyen las manchas fotosfericas y las plages cromosfericas.

Si bien la actividad solar presenta fluctuaciones seculares y de varias decadas no hay registros confiables de la variacion de la radiacion total la cual debe medirse desde el espacio.

IONOSFERA: afectada por fotones X, UV y por particulas del Viento Solar capturadas en la MAGNETOSFERA

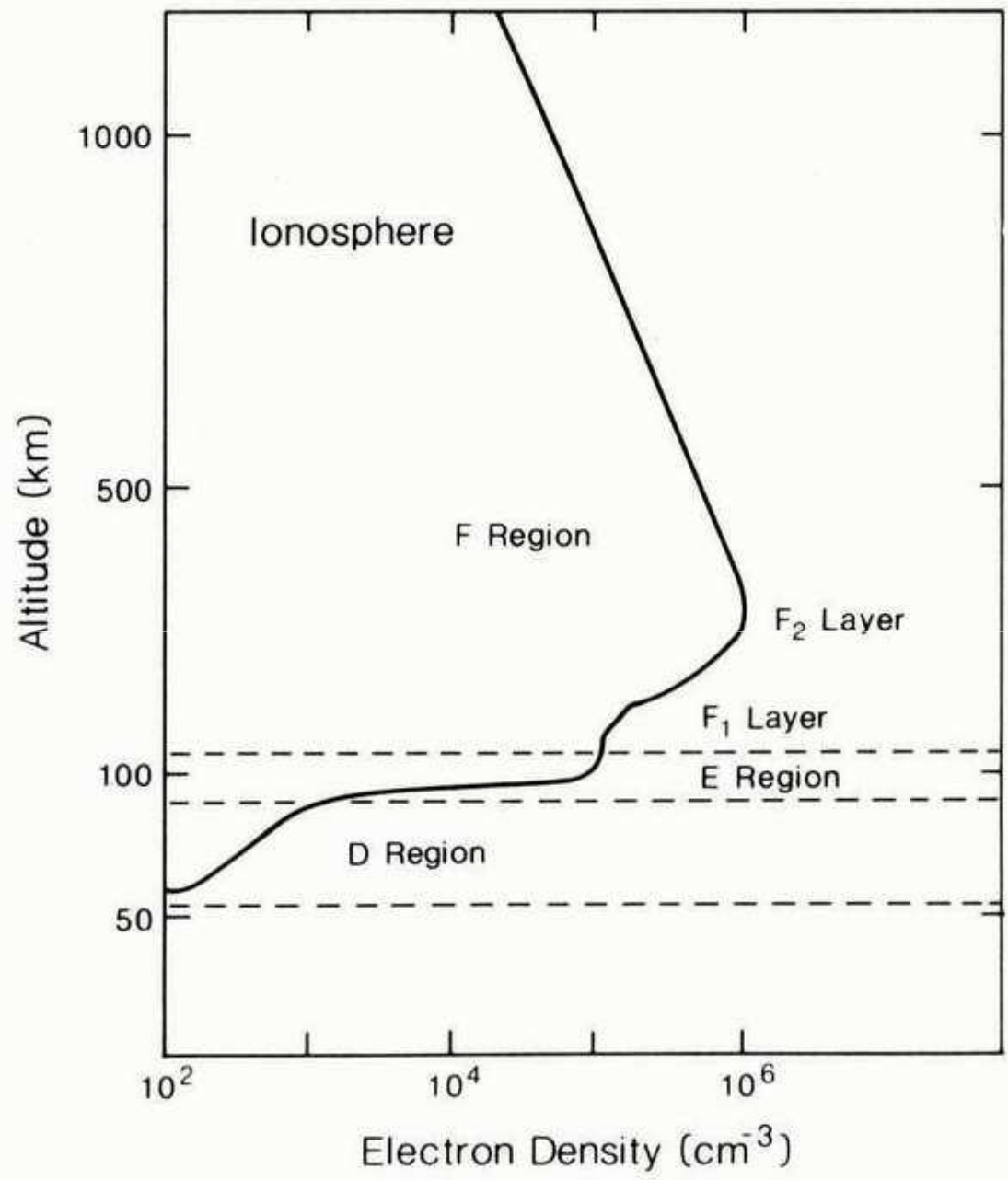
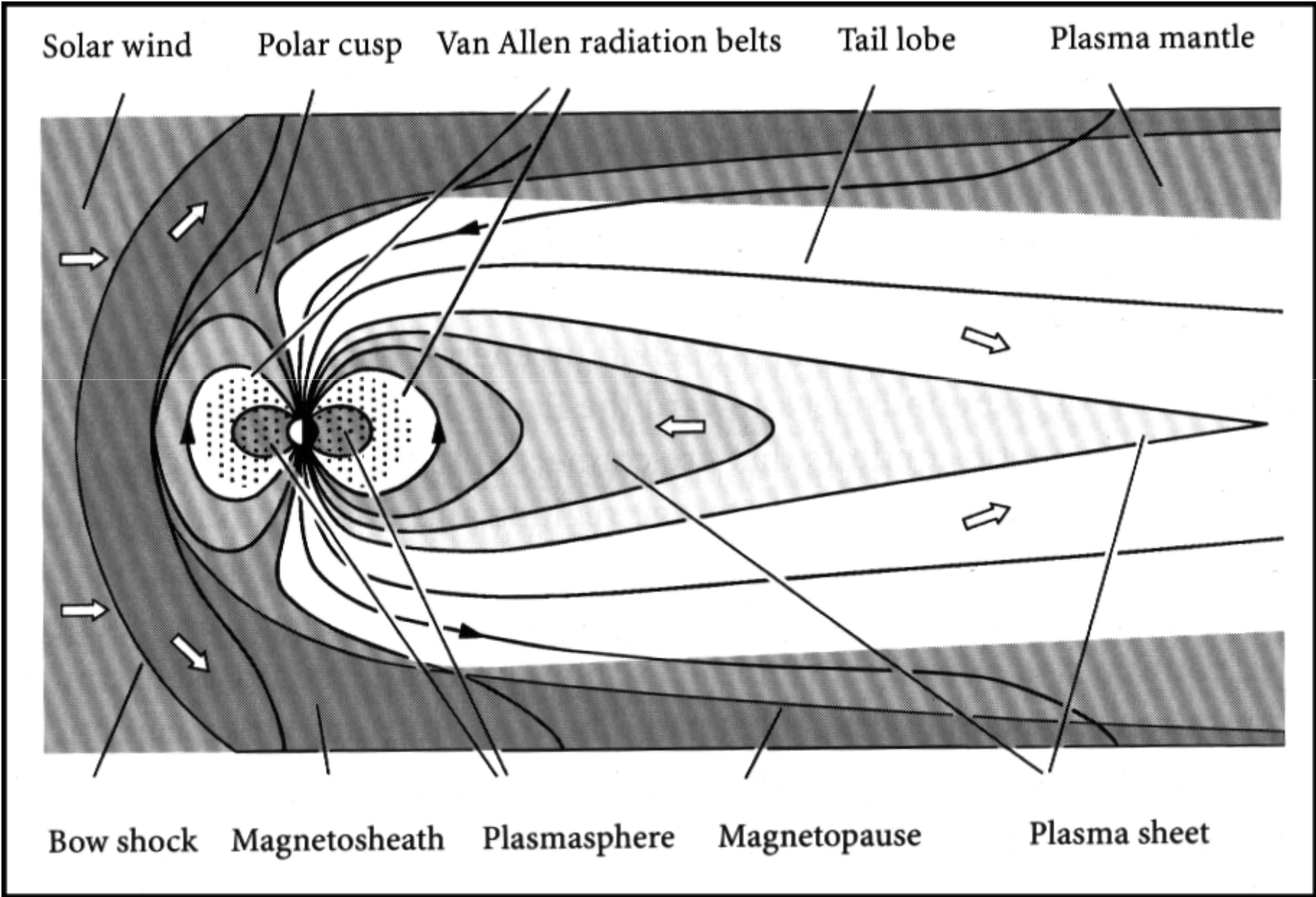


FIG. 1.7. Electron density of the earth's ionosphere as a function of altitude.

Flujo del viento solar



CAMPO MAGNETICO SOLAR:
es VARIABLE y originado en los movimientos del plasma del interior solar

CAMPO MAGNETICO INTERPLANETARIO: cambia de direccion a medida que gira el sol

IONOPAUSA: limite entre el viento solar y la ionosfera

MAGNETOPAUSA: limite entre magnetosfera y campo magnetico interplanetario

VIENTO SOLAR: flujo de plasma (protones y e) originado en la corona debido a la diferencia de presion entre esta y el medio interplanetario. El VS genera el campo magnetico interplanetario. A 1 UA del Sol tiene densidad de 10 particulas por cc y viaja a 100-1000 Km/seg

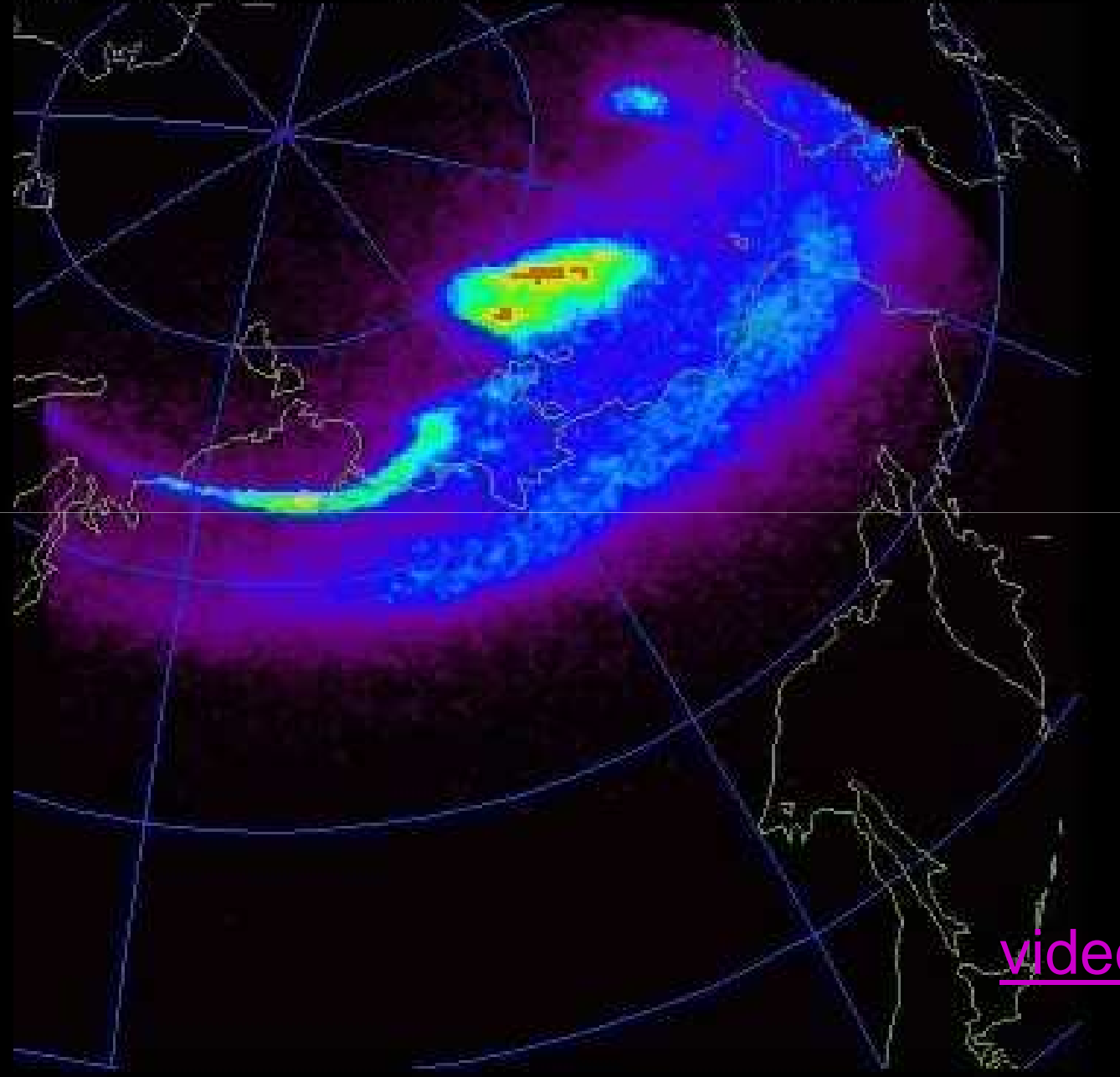
MAGNETOSFERA: cavidad en Viento Solar producida por campo magnetico del planeta.

BOW SHOCK (ESCUDO DE CHOQUE): escudo por donde se desvia el viento solar

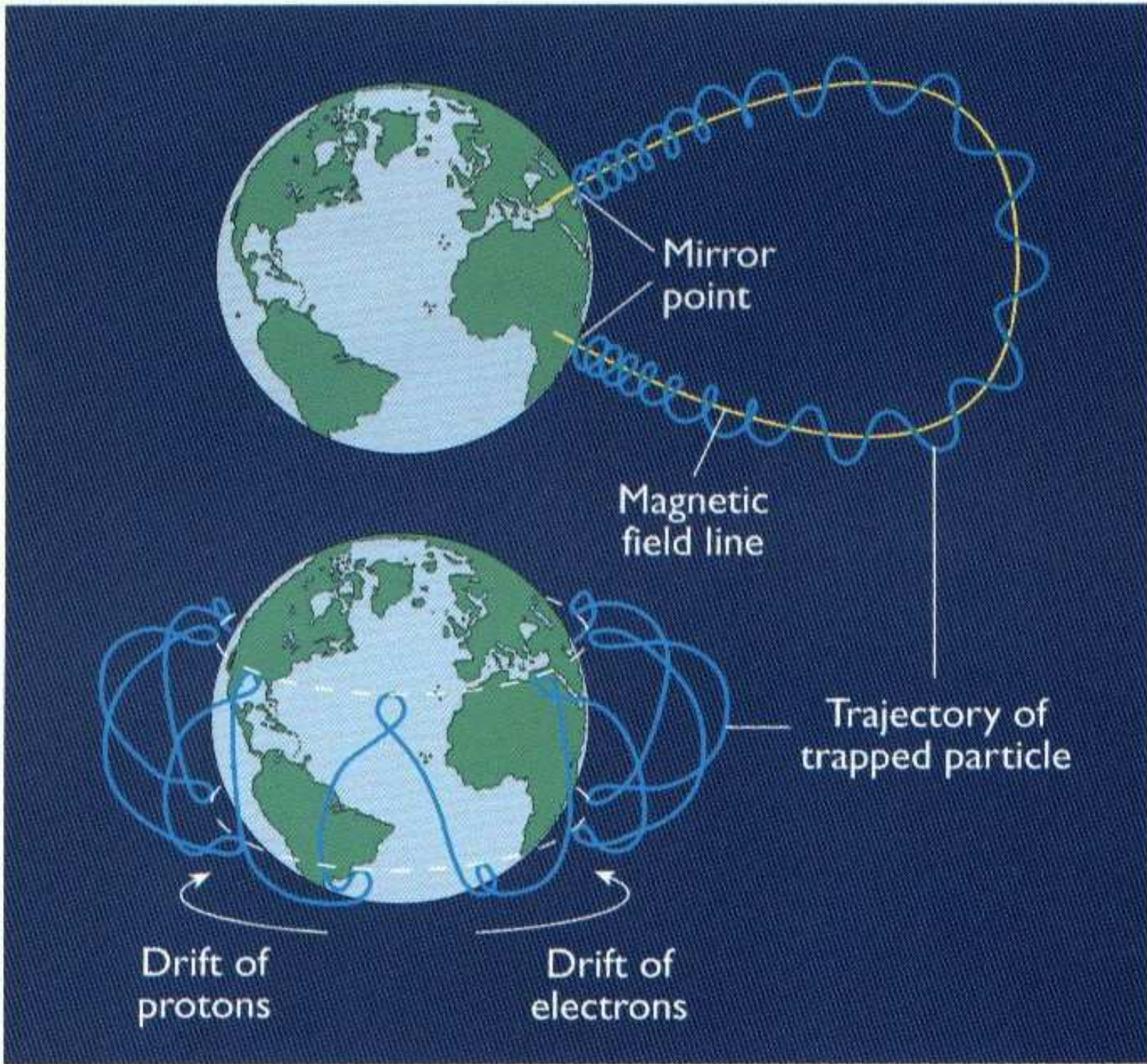


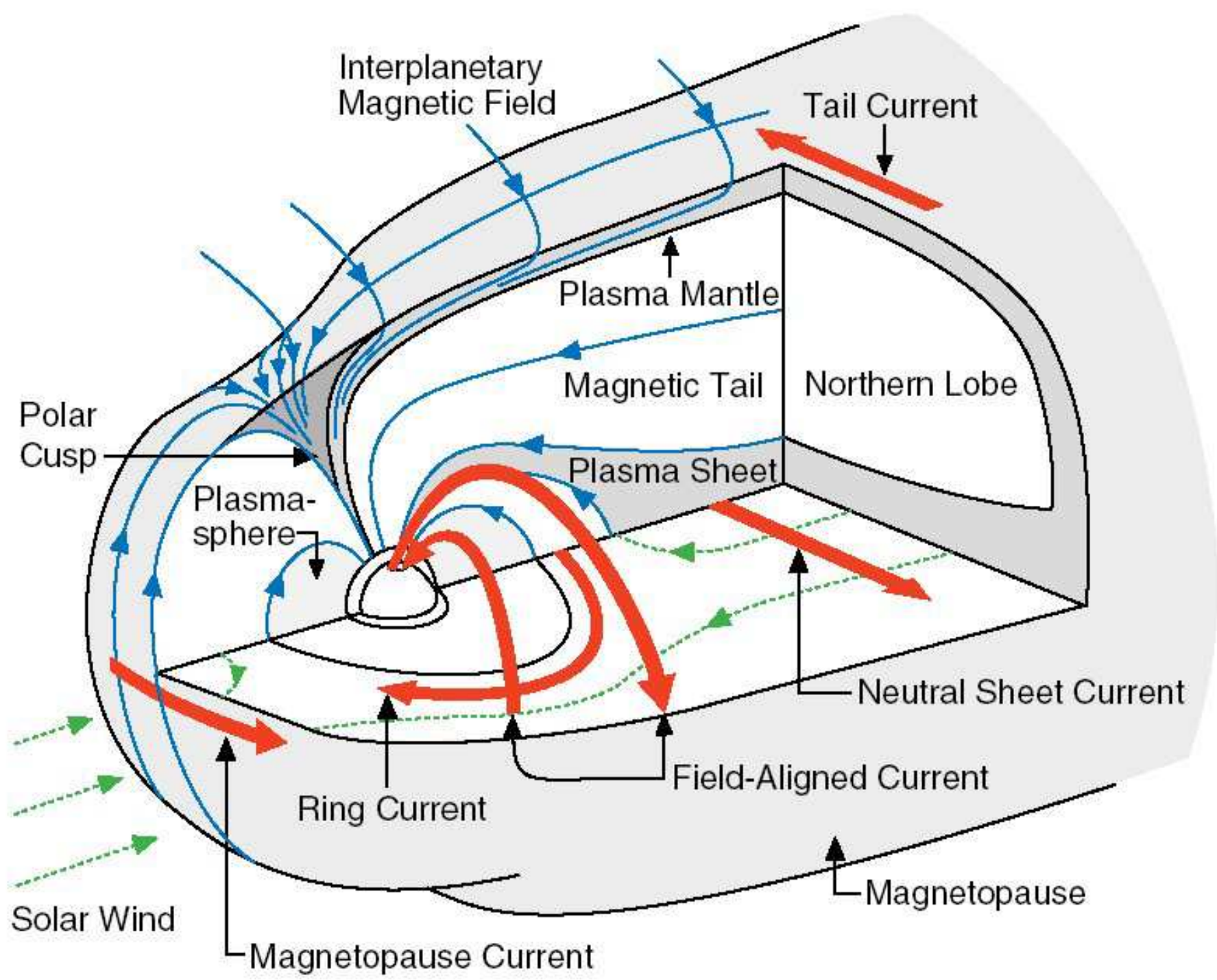
(JUAN CURTIS)

970110 LBHL 1127 UT



video





MAGNETOCOLA: extension de la magnetosfera en la direccion anti-sol. Llega hasta 1000 radios terrestres.

RECONEXION: lineas de campo de direccion contraria que se aniquilan convirtiendo energia magnetica en termica y cinetica del plasma. En la magnetosfera terrestre estos eventos generan tormentas magneticas.

EVENTO DE DESCONEXION: observado en la cola de los cometas cuando debido a la rotacion solar cambia la direccion de las lineas del campo magnetico solar (al pasar el cometa de un hemisferio magnetico a otro)

CORRIENTES MAGNETOSFERICAS: el movimiento de giro de protones y electrones en torno a la tierra induce un campo que interactua con el magnetico terrestre

EMISION SINCROTRON (RADIO): emision generada por electrones acelerados a altas velocidades por los campos magneticos planetarios.

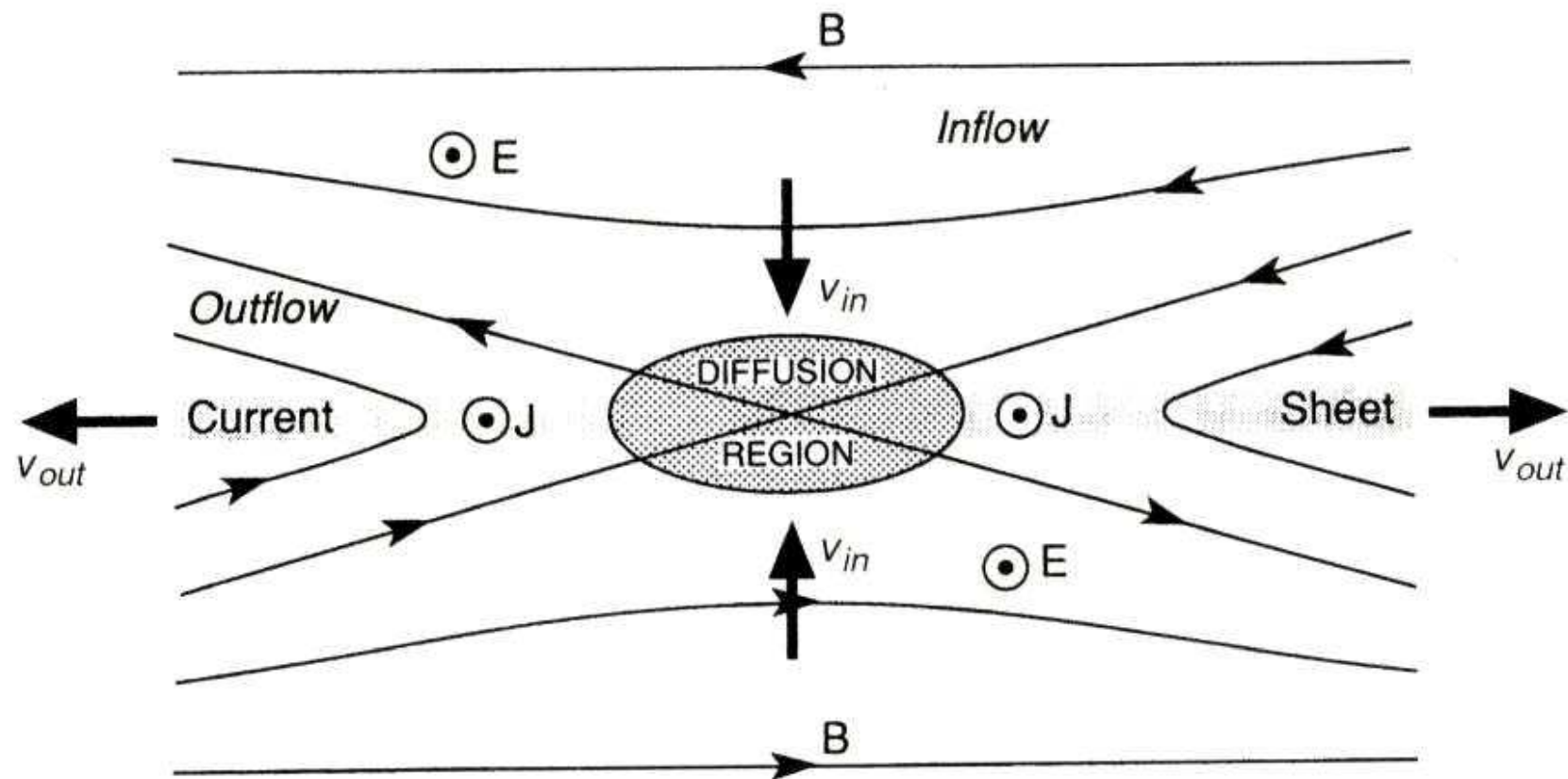
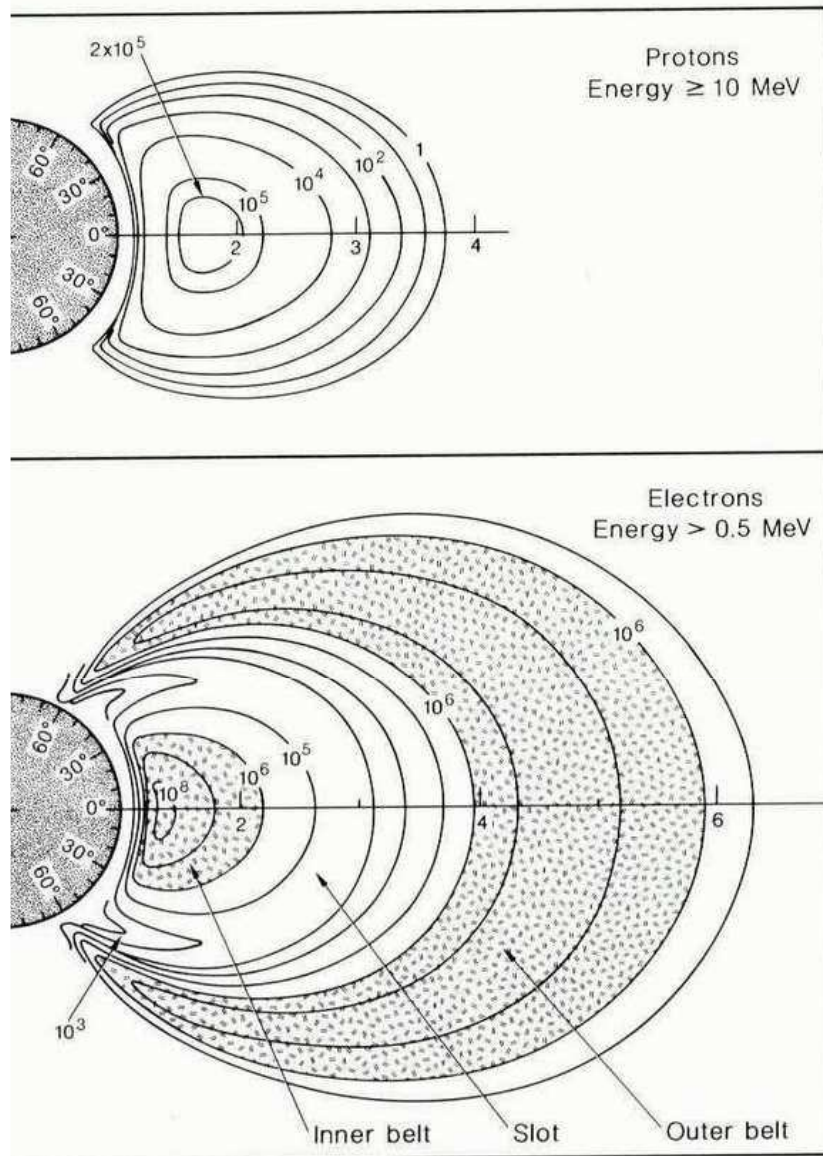


FIGURE 7.10 Magnetic reconnection according to Sweet's mechanism, occurring on an X-type magnetic neutral line. Plasma and magnetic field flow in from the top and bottom of the figure (v_{in}), and out towards the sides (v_{out}). Plasma is not tied to the magnetic field in the diffusion region. (Adapted from Hughes 1995)

Eventos de RECONEXION: Bterrestre consigo mismo y Bterrestre-Binterp

PLASMA SHEET (HOJA DE PLASMA): nucleo de la magnetocola en donde el plasma es mas denso y caliente

MAGNETOSHEATH: ENVOLTURA magnetica de plasma turbulento entre el escudo de choque (BOW SHOCK) y la magnetopausa. Llega hasta 2 radios terrestres en la direccion del Sol



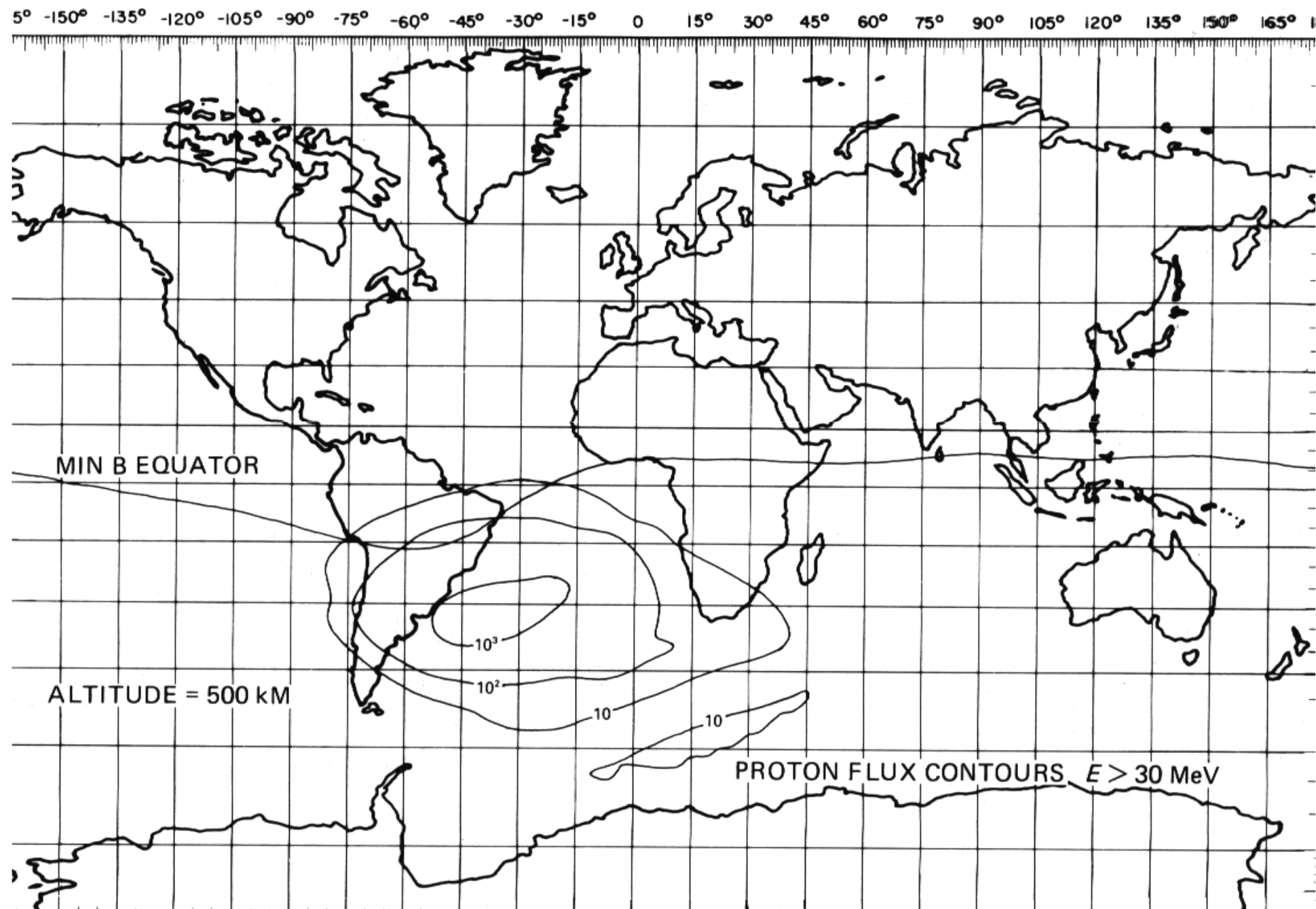
VAN ALLEN: cinturones de partículas cargadas atrapadas. El movimiento del plasma puede ser controlado por el campo magnético, rotación planeta y viento solar.

$$B_{total} = B_{propio} + B_{inducido}$$

FIG. 1.20. Earth's radiation belts. The top panel shows the contours of the omnidirectional flux (particles per square centimeter per second) of protons with energies greater than 10 MeV. The bottom panel shows the contours of the omnidirectional flux of electrons with energies greater than 0.5 MeV.

tends into the solar wind becomes ionized and adds to the solar wind, further decelerating it. The deflection of the magnetized flow around the planet leads to the formation of magnetic-field lines over the obstacle and the formation

ORIGINAL FLUX IN PROTONS CM⁻² S⁻¹. (Adapted from Stassinopoulos, E. G., *World Maps of Constant B, L, M, N, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ, AR, AS, AT, AU, AV, AW, AX, AY, AZ, BA, BB, BC, BD, BE, BF, BG, BH, BI, BJ, BK, BL, BM, BN, BO, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ, CA, CB, CC, CD, CE, CF, CG, CH, CI, CJ, CK, CL, CM, CN, CO, CP, CQ, CR, CS, CT, CU, CV, CW, CX, CY, CZ, DA, DB, DC, DD, DE, DF, DG, DH, DI, DJ, DK, DL, DM, DN, DO, DP, DQ, DR, DS, DT, DU, DV, DW, DX, DY, DZ, EA, EB, EC, ED, EE, EF, EG, EH, EI, EJ, EK, EL, EM, EN, EO, EP, EQ, ER, ES, ET, EU, EV, EW, EX, EY, EZ, FA, FB, FC, FD, FE, FF, FG, FH, FI, FJ, FK, FL, FM, FN, FO, FP, FQ, FR, FS, FT, FU, FV, FW, FX, FY, FZ, GA, GB, GC, GD, GE, GF, GG, GH, GI, GJ, GK, GL, GM, GN, GO, GP, GQ, GR, GS, GT, GU, GV, GW, GX, GY, GZ, HA, HB, HC, HD, HE, HF, HG, HH, HI, HJ, HK, HL, HM, HN, HO, HP, HQ, HR, HS, HT, HU, HV, HW, HX, HY, HZ, IA, IB, IC, ID, IE, IF, IG, IH, II, IJ, IK, IL, IM, IN, IO, IP, IQ, IR, IS, IT, IU, IV, IW, IX, IY, IZ, JA, JB, JC, JD, JE, JF, JG, JH, JI, JJ, JK, JL, JM, JN, JO, JP, JQ, JR, JS, JT, JU, JV, JW, JX, JY, JZ, KA, KB, KC, KD, KE, KF, KG, KH, KI, KJ, KK, KL, KM, KN, KO, KP, KQ, KR, KS, KT, KU, KV, KW, KX, KY, KZ, LA, LB, LC, LD, LE, LF, LG, LH, LI, LJ, LK, LL, LM, LN, LO, LP, LQ, LR, LS, LT, LU, LV, LW, LX, LY, LZ, MA, MB, MC, MD, ME, MF, MG, MH, MI, MJ, MK, ML, MM, MN, MO, MP, MQ, MR, MS, MT, MU, MV, MW, MX, MY, MZ, NA, NB, NC, ND, NE, NF, NG, NH, NI, NJ, NK, NL, NM, NN, NO, NP, NQ, NR, NS, NT, NU, NV, NW, NX, NY, NZ, OA, OB, OC, OD, OE, OF, OG, OH, OI, OJ, OK, OL, OM, ON, OO, OP, OQ, OR, OS, OT, OU, OV, OW, OX, OY, OZ, PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PJ, PK, PL, PM, PN, PO, PP, PQ, PR, PS, PT, PU, PV, PW, PX, PY, PZ, QA, QB, QC, QD, QE, QF, QG, QH, QI, QJ, QK, QL, QM, QN, QO, QP, QQ, QR, QS, QT, QU, QV, QW, QX, QY, QZ, RA, RB, RC, RD, RE, RF, RG, RH, RI, RJ, RK, RL, RM, RN, RO, RP, RQ, RR, RS, RT, RU, RV, RW, RX, RY, RZ, SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SI, SJ, SK, SL, SM, SN, SO, SP, SQ, SR, SS, ST, SU, SV, SW, SX, SY, SZ, TA, TB, TC, TD, TE, TF, TG, TH, TI, TJ, TK, TL, TM, TN, TO, TP, TQ, TR, TS, TT, TU, TV, TW, TX, TY, TZ, UA, UB, UC, UD, UE, UF, UG, UH, UI, UJ, UK, UL, UM, UN, UO, UP, UQ, UR, US, UT, UY, UZ, VA, VB, VC, VD, VE, VF, VG, VH, VI, VJ, VK, VL, VM, VN, VO, VP, VQ, VR, VS, VT, VU, VV, VW, VX, VY, VZ, WA, WB, WC, WD, WE, WF, WG, WH, WI, WJ, WK, WL, WM, WN, WO, WP, WQ, WR, WS, WT, WU, WV, WW, WX, WY, WZ, XA, XB, XC, XD, XE, XF, XG, XH, XI, XJ, XK, XL, XM, XN, XO, XP, XQ, XR, XS, XT, XU, XV, XW, XX, XY, XZ, YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH, YI, YJ, YK, YL, YM, YN, YO, YP, YQ, YR, YS, YT, YU, YV, YW, YX, YY, YZ, ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF, ZG, ZH, ZI, ZJ, ZK, ZL, ZM, ZN, ZO, ZP, ZQ, ZR, ZS, ZT, ZU, ZV, ZW, ZX, ZY, ZZ.*



CLIMA ESPACIAL:

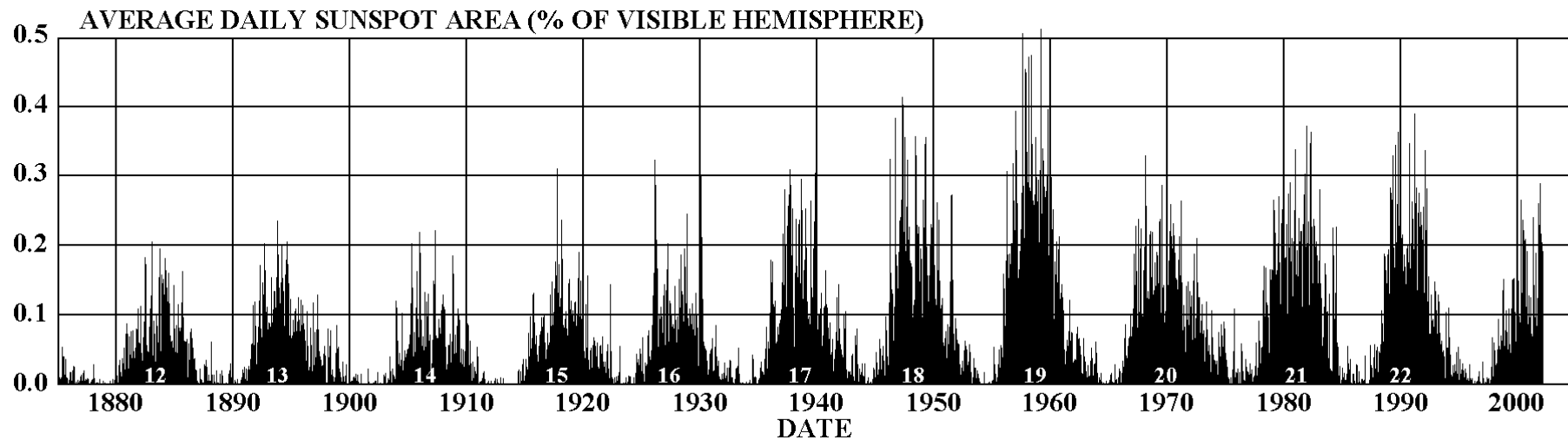
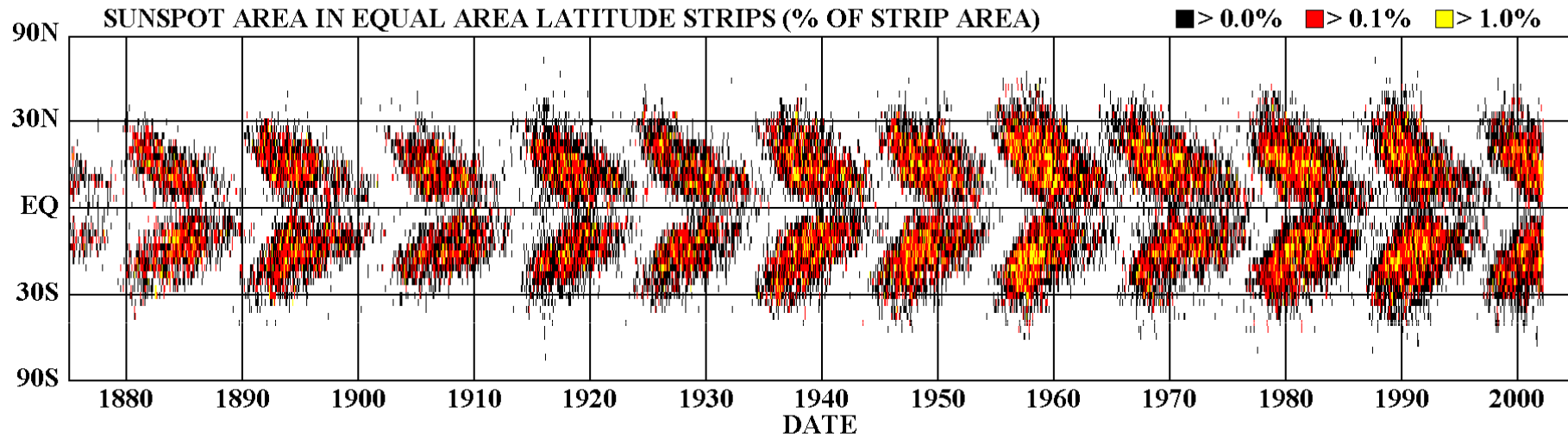
Efecto de la variable actividad solar en planetas, magnetosferas, atmosferas, cuerpos menores, satelites naturales y artificiales

TRES AGENTES:

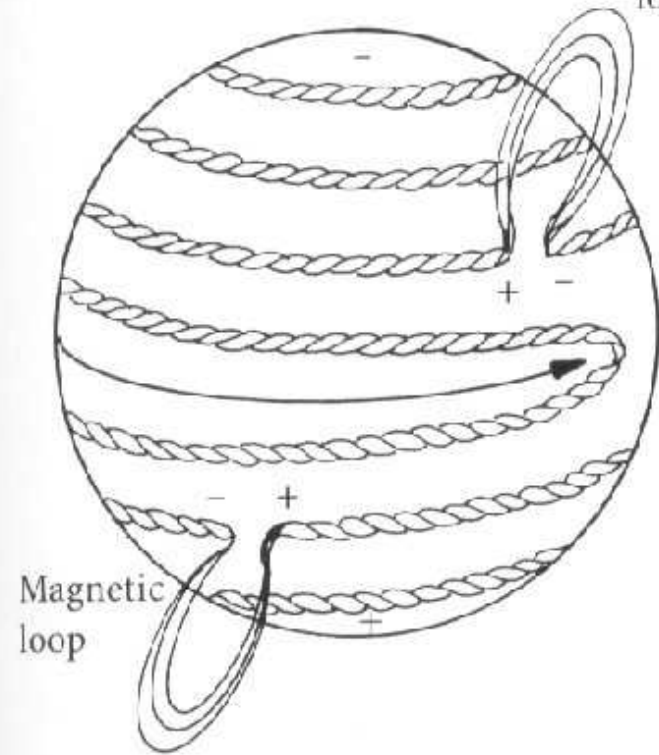
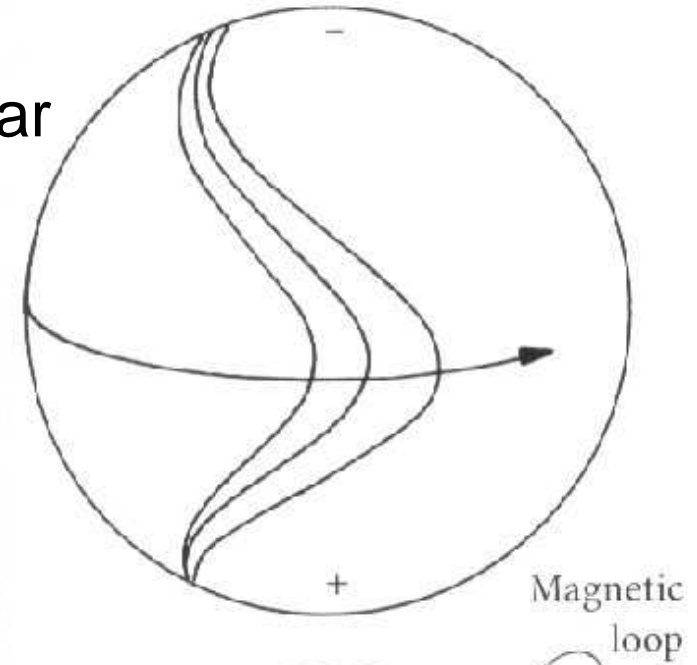
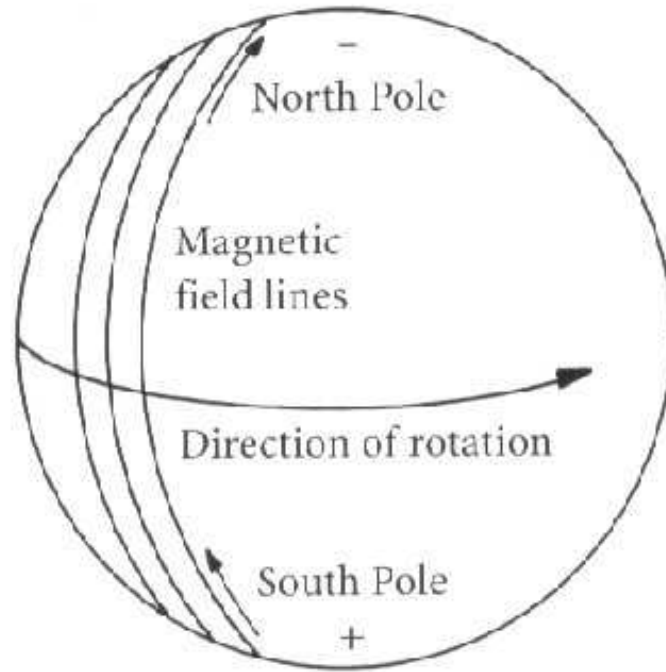
- RADIACION SOLAR (fotoionizacion)
- VIENTO SOLAR (ionizacion, auroras)
- CAMPO MAGNETICO INTERPLANETARIO (eventos de desconexion, corrientes inducidas)

El Ciclo de Actividad Solar

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS

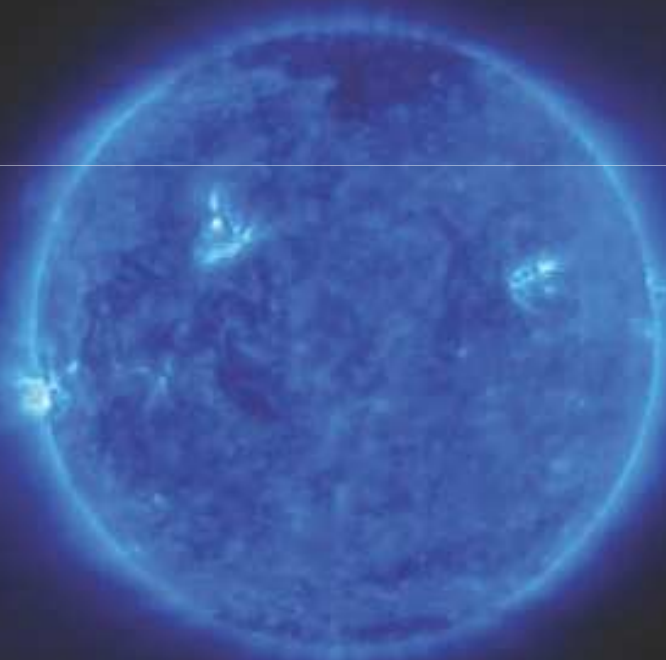


Rotacion diferencial y actividad solar

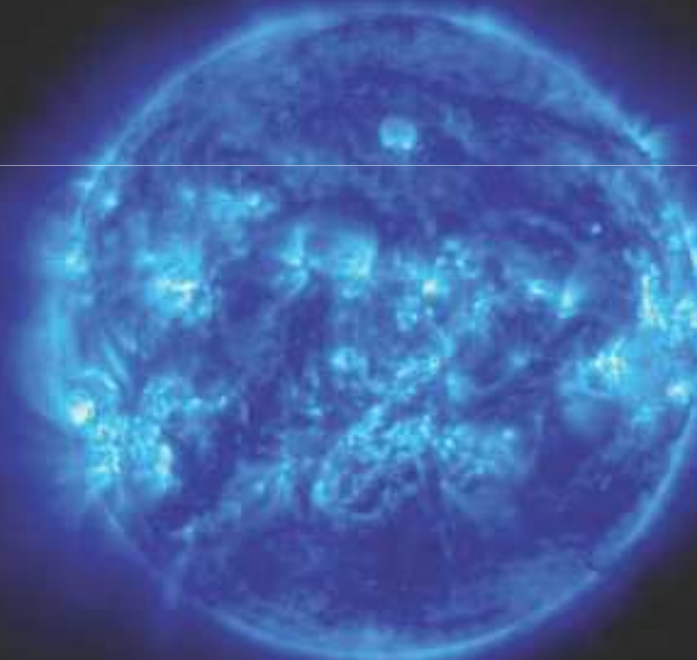


Una comparación de dos imágenes en el ultravioleta con cinco años de distancia ilustra como se incrementa significativamente el nivel de actividad solar desde cerca del mínimo hasta próximo al máximo

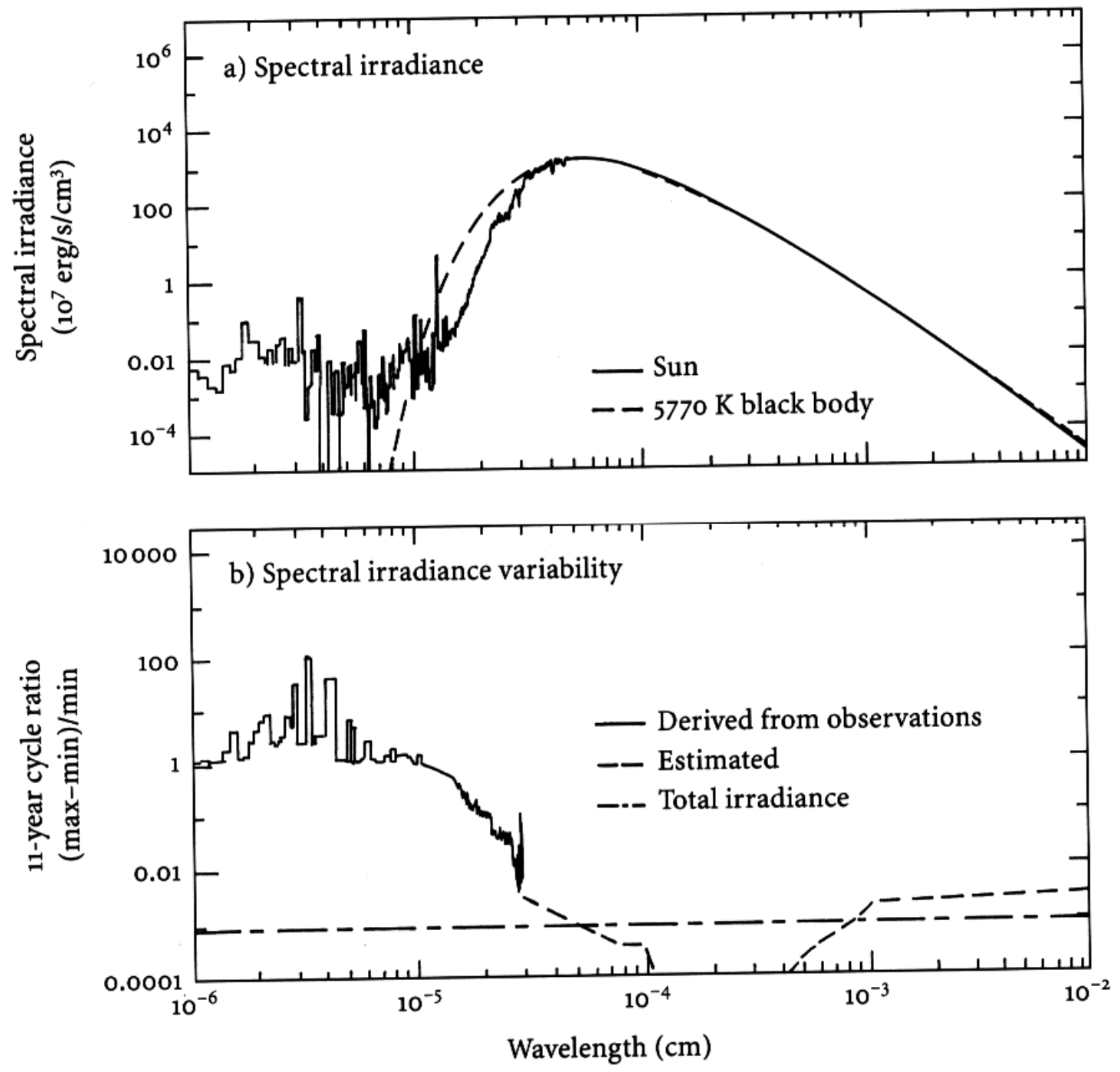
Julio 3, 1996



Diciembre 4, 2001



(Nota: Las áreas brillantes representan la más intensa actividad magnética)



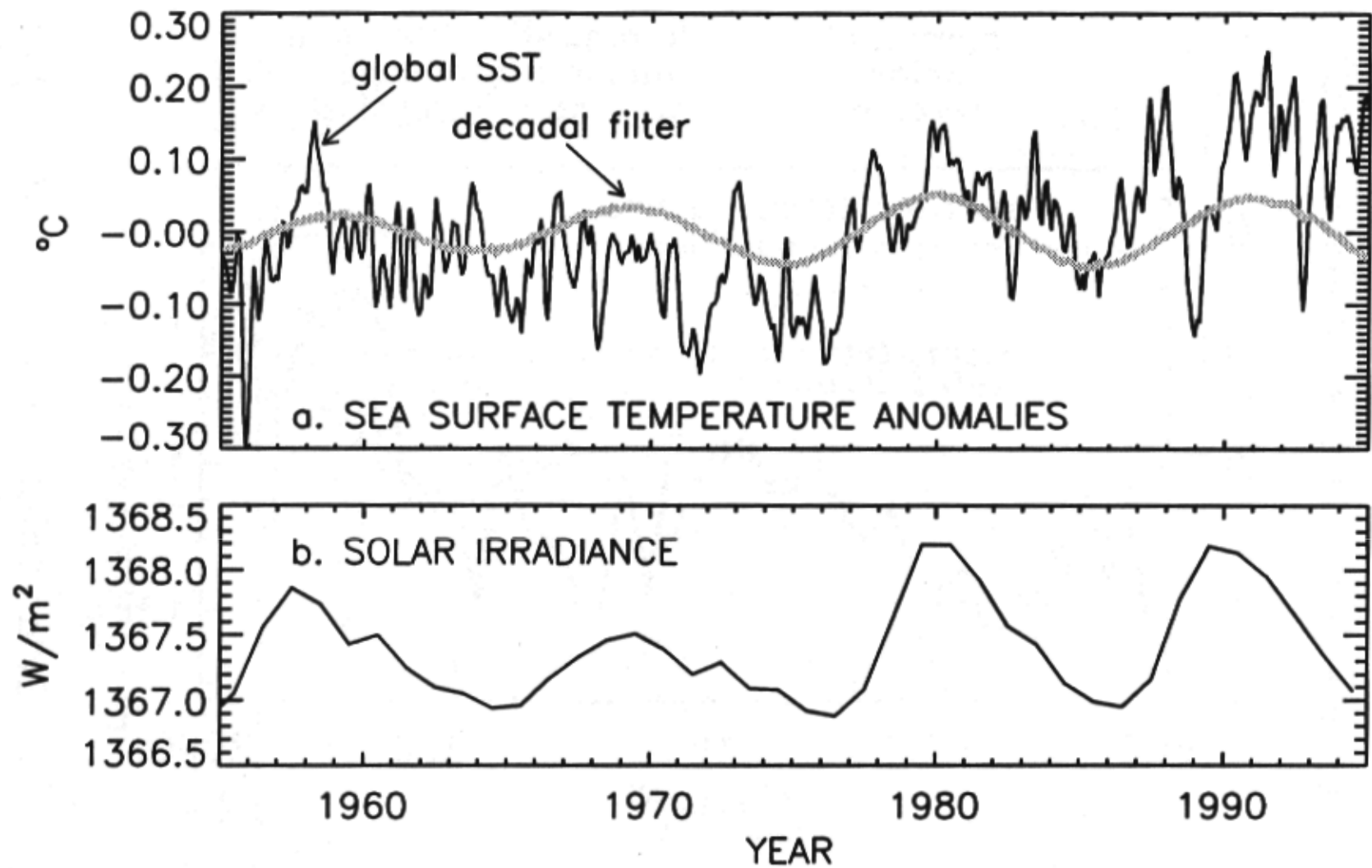
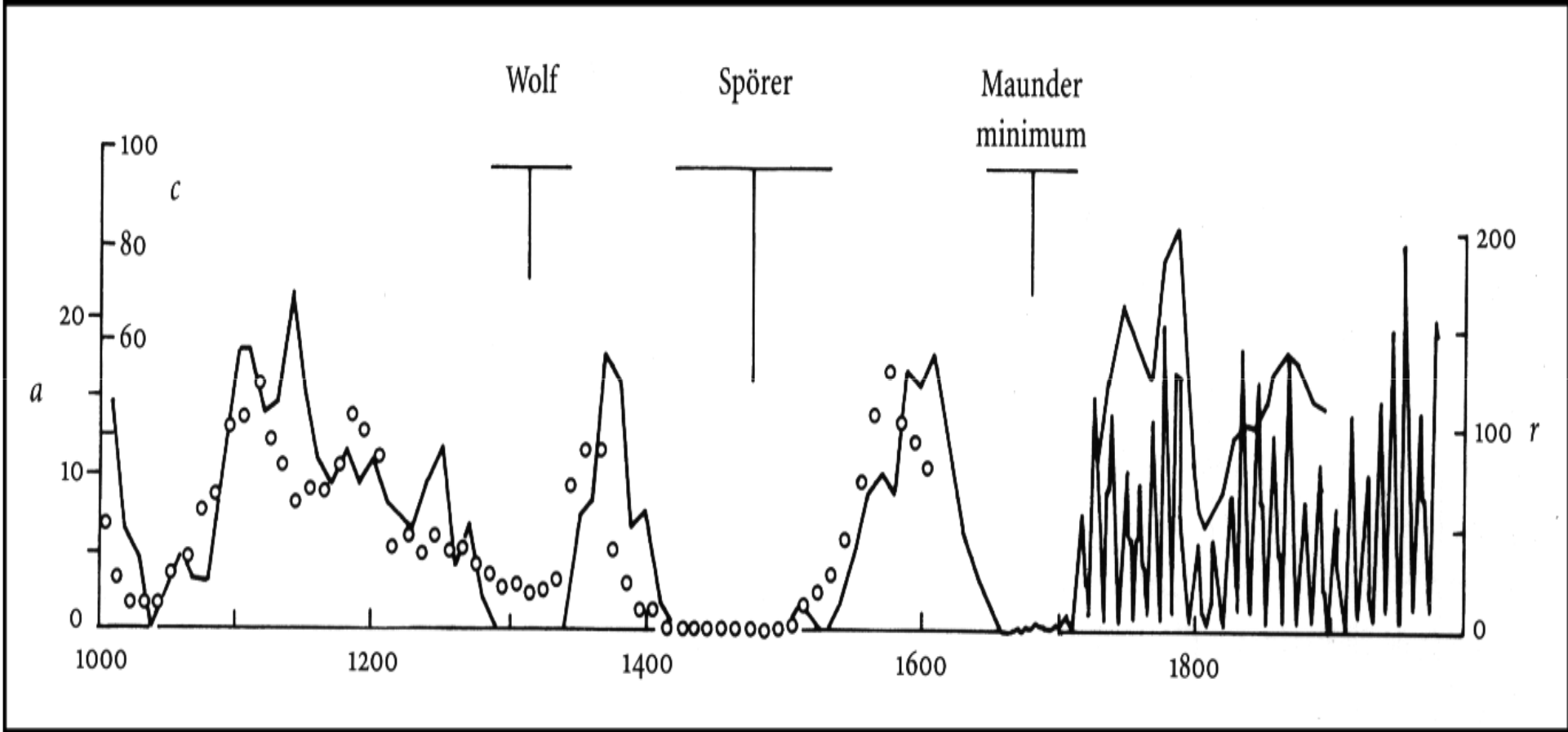


Figure 11 White et al (1997) identified in globally averaged sea surface temperature anomalies compiled from bathythermographs (BT), significant annual and interannual variability including a decadal component shown in (a) that tracks solar irradiance reconstructed by Lean et al (1995), shown in (b).



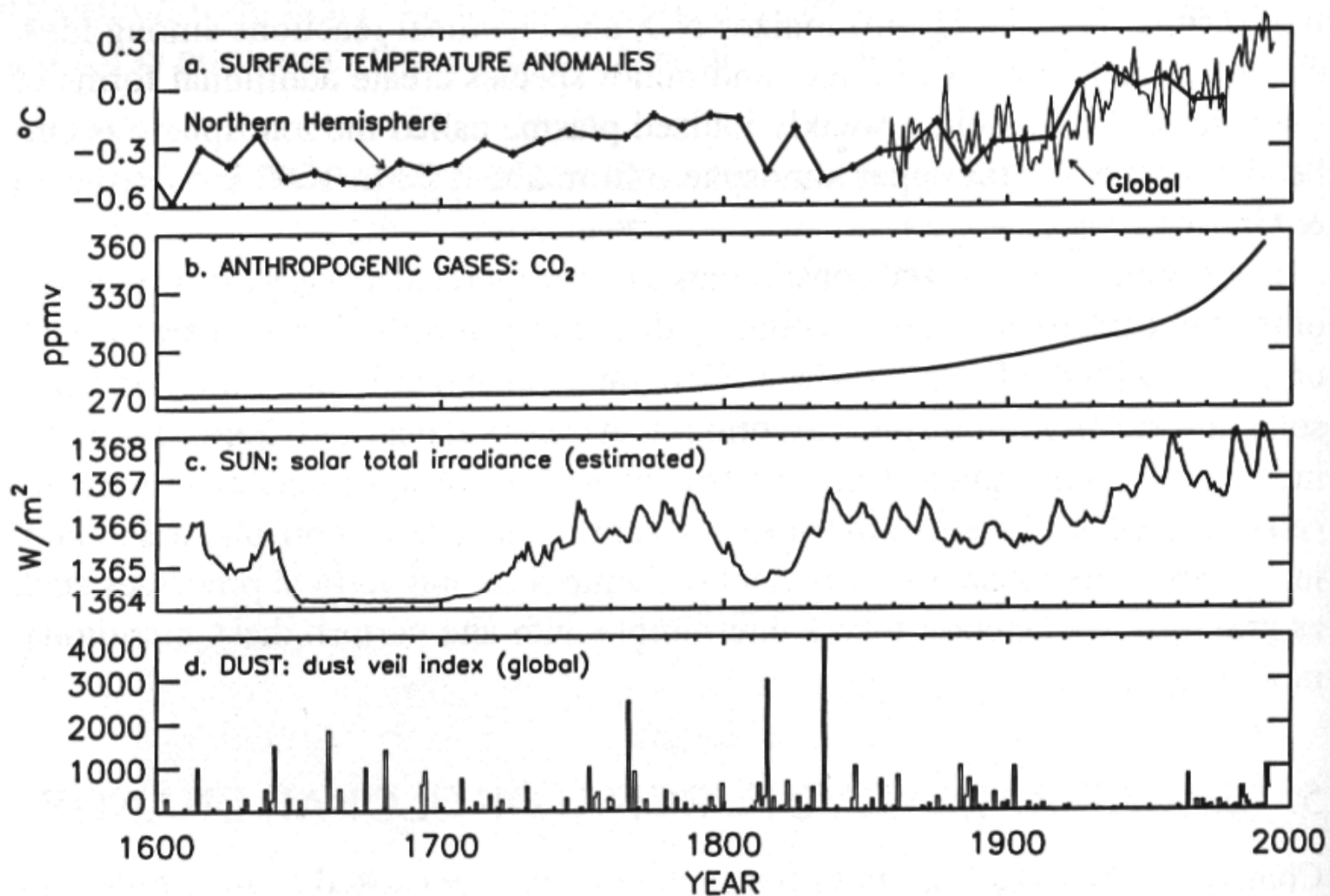


Figure 8 Compared in (a) are the Bradley & Jones (1993) reconstructed record of decadal NH surface temperature since 1600 (*solid line with plus signs*) and the IPCC (1992) global instrumental record since 1850 (*thin line*). Both natural and anthropogenic influences may have contributed to the observed surface warming since 1850. Shown are (b) annual averages of the concentration of CO₂ (Boden et al 1994), (c) estimated solar total irradiance (Lean et al 1995), and (d) volcanic aerosol loading according to the global dust veil index (Lamb 1977, Robuck & Free 1995).

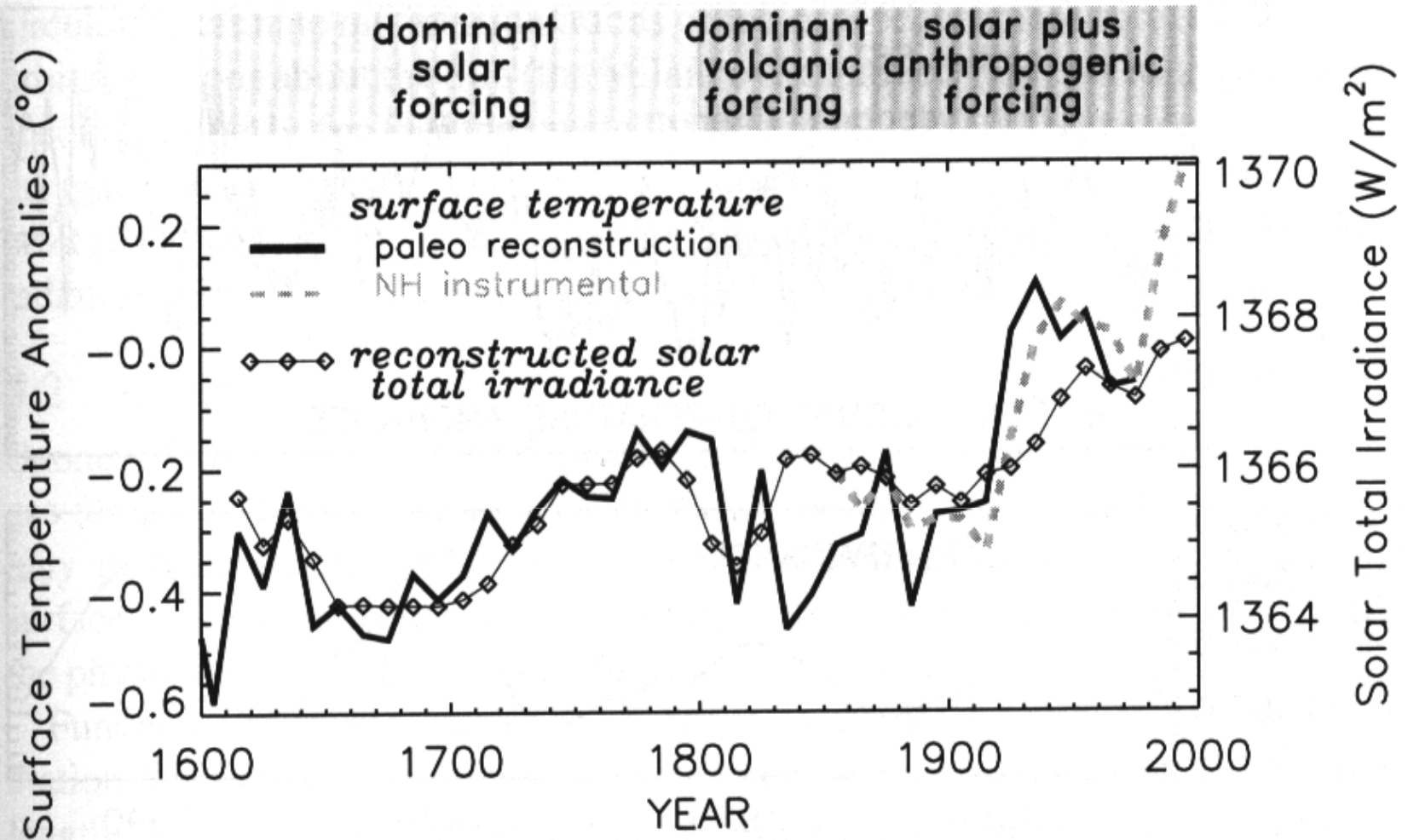


Figure 10 Compared are decadal averaged values of solar total irradiance reconstructed by Lean et al (1995) and NH summer temperature anomalies from 1610 to the present. The dark solid line is the Bradley & Jones (1993) NH summer surface temperature reconstruction from paleoclimate data (primarily tree rings), scaled to match the NH instrumental data (IPCC 1992) (gray dashed line) during the overlap period. (Updated from Lean et al 1995.)

Se han encontrado ciclos de 11 y 22 años en un amplio espectro de datos climaticos como temperaturas de tierra, oceanos y troposfera, lluvias, incendios forestales y ciclones.

Si bien la actividad solar presenta fluctuaciones seculares y de varias decadas no hay registros confiables de la variacion de la radiacion total la cual debe medirse desde el espacio.

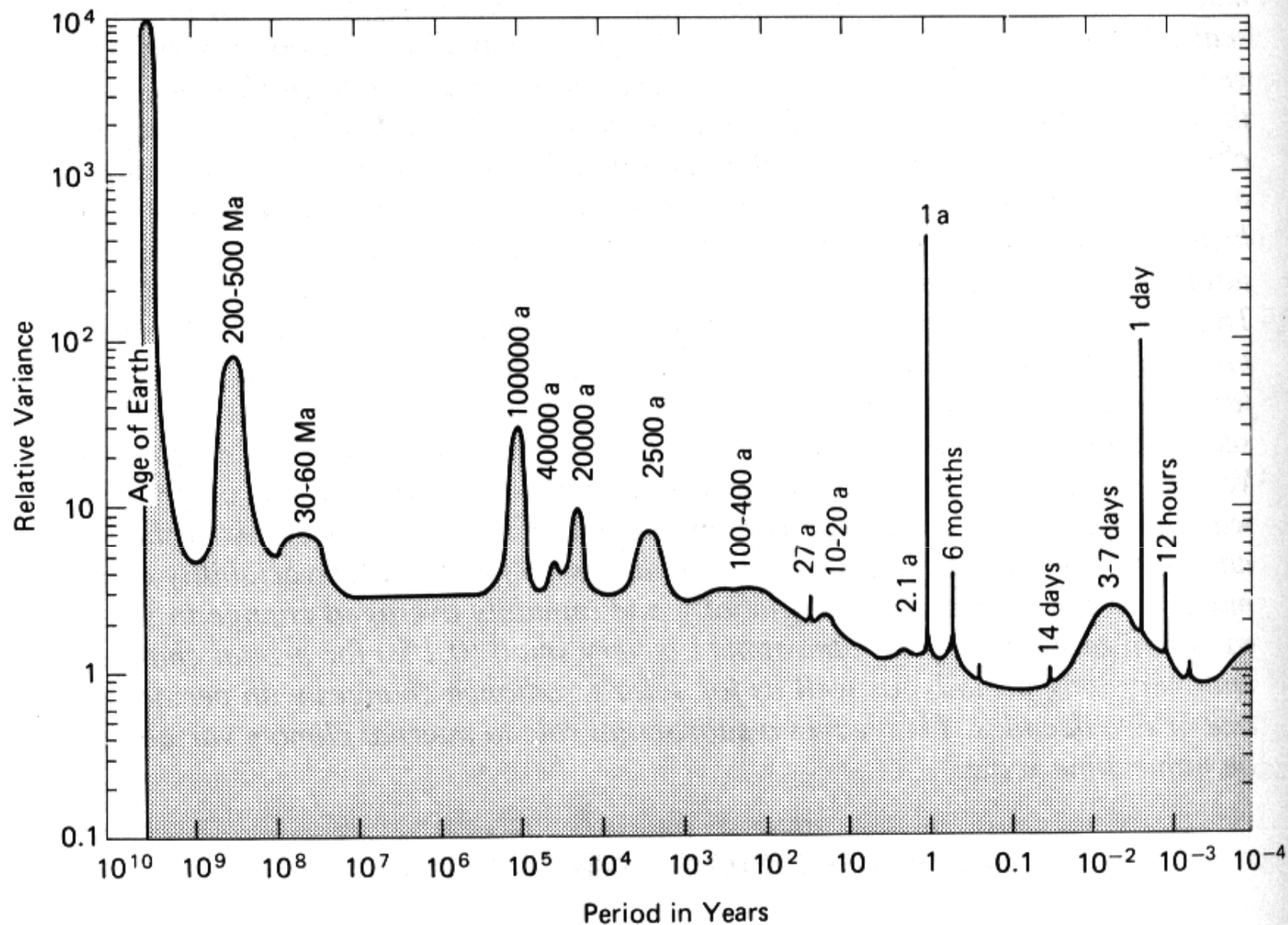


Fig. 1. Estimate of global climatic variability on all time scales (figure after Mitchell 1976). The position of the peaks indicated is relatively well known, but not their relative height and width. Units of time are abbreviated as 1 year = 1a and 10⁶ years = 1Ma.

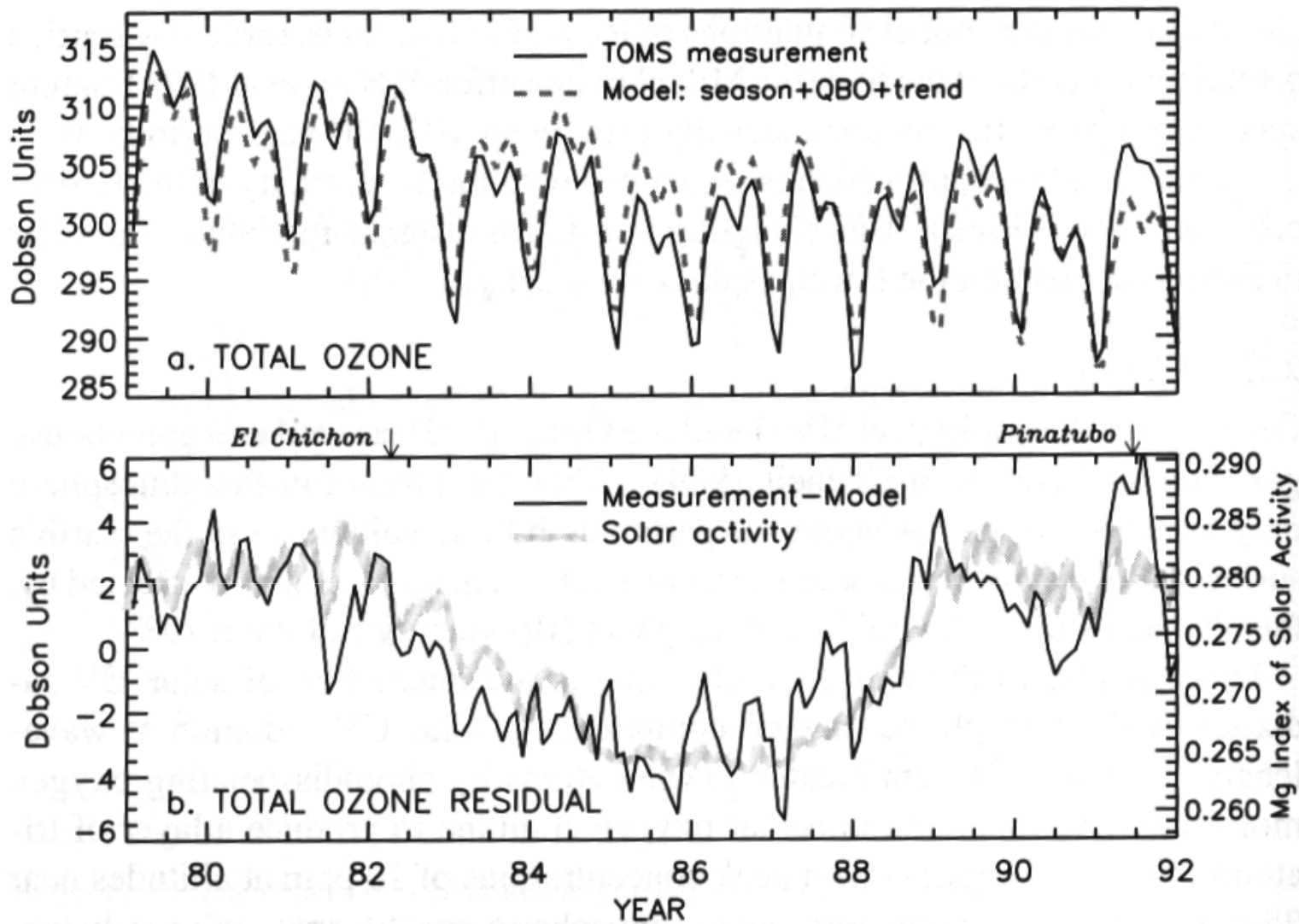
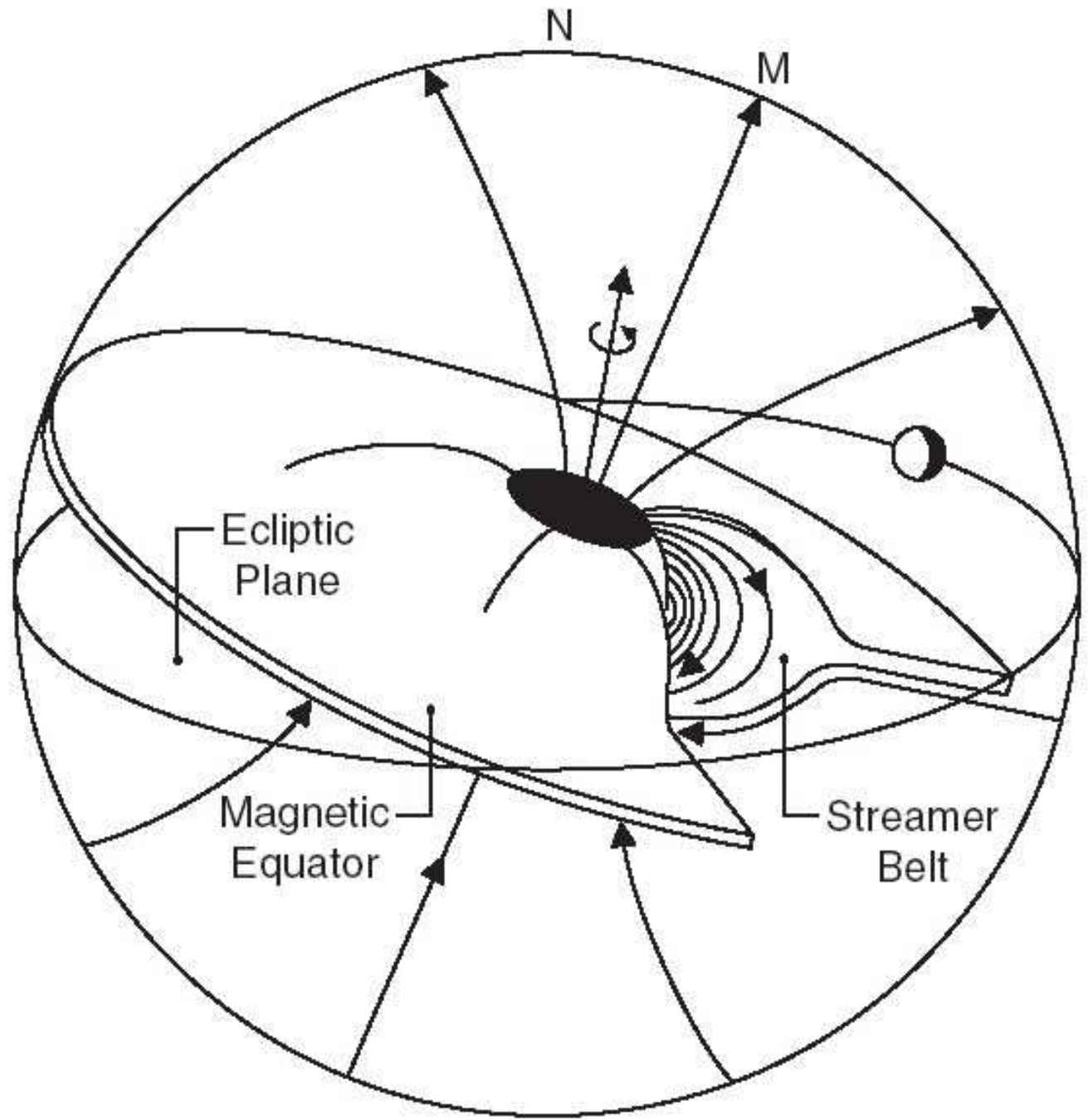
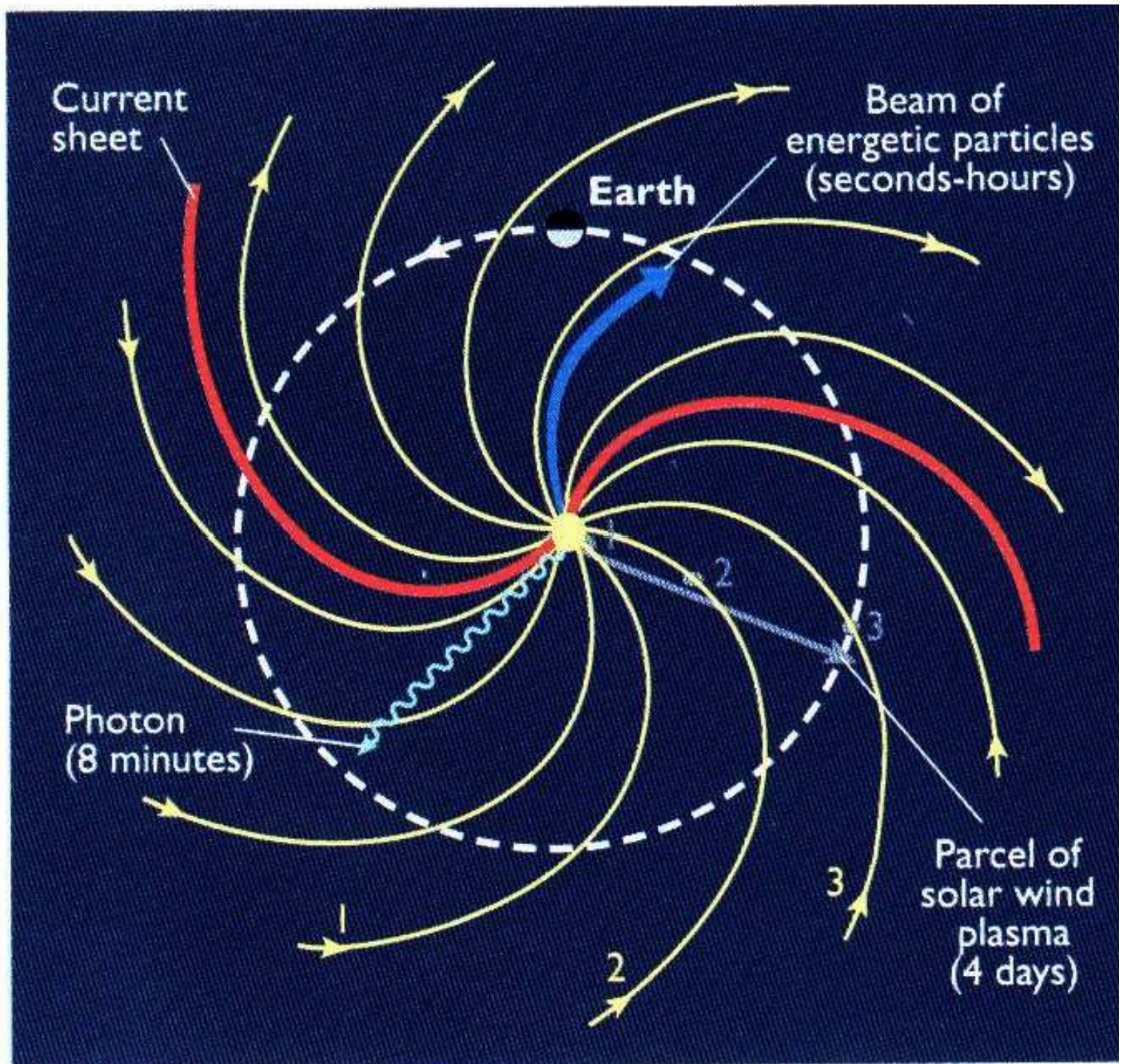
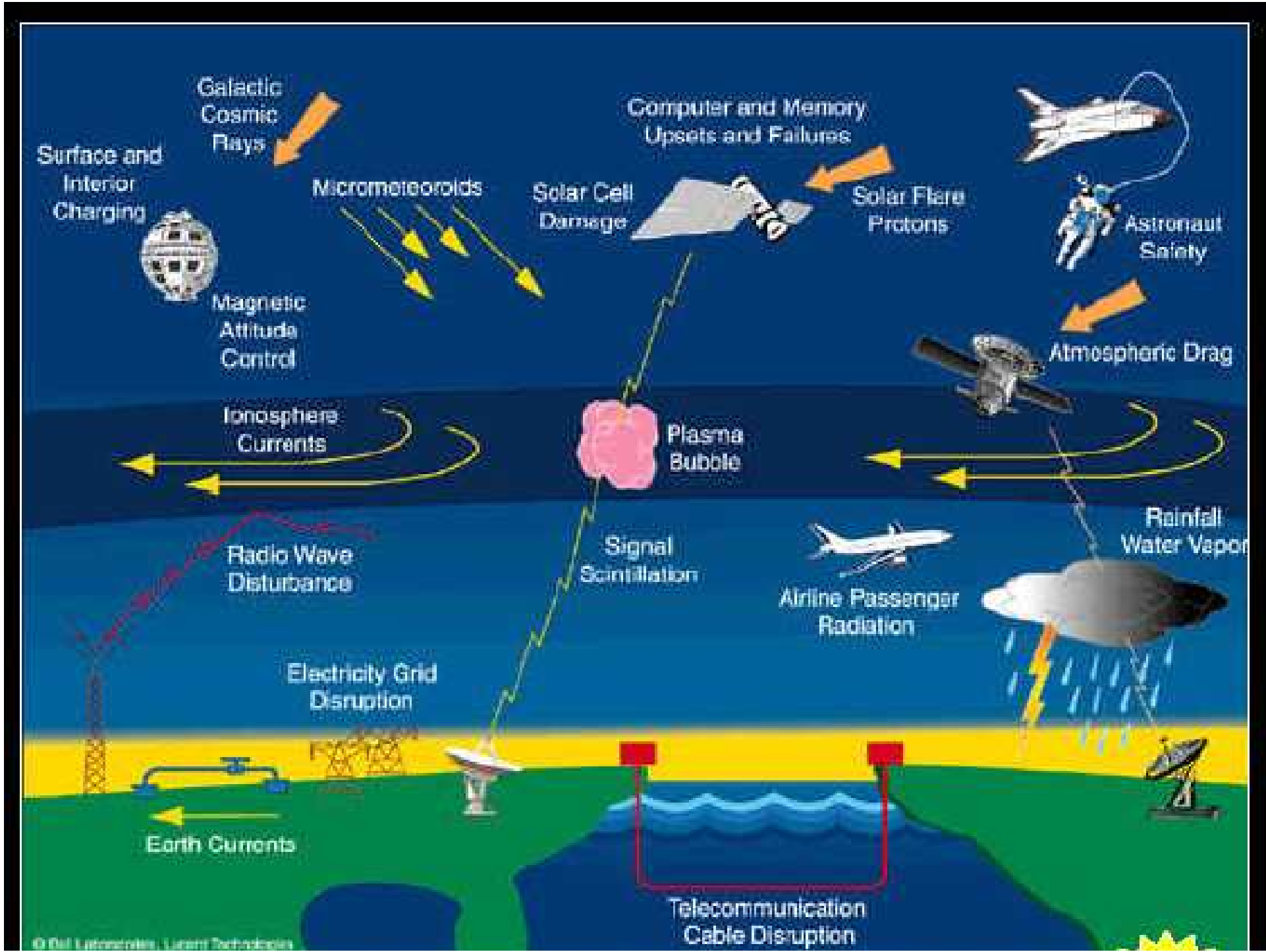


Figure 12 Shown are the results of an analysis of the variability modes evident in global column ozone since 1978, by Hood & McCormack (1992). The Total Ozone Mapping Spectrometer ozone measurements in (a) (*solid line*) are compared with a fitted statistical model of seasonal, linear trend, and quasibiennial oscillation terms (*gray dashed line*). The residual of the measured minus model ozone is shown in (b) to track the Mg index of solar activity (provided by L Puga, NOAA).

Interplanetary Current Sheet







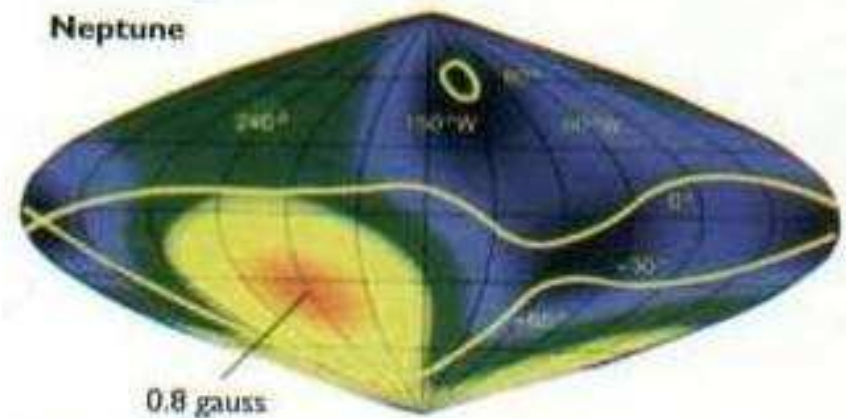
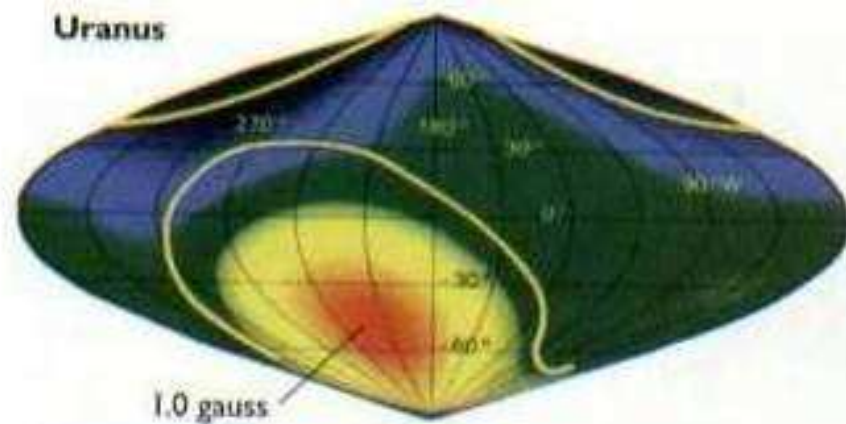
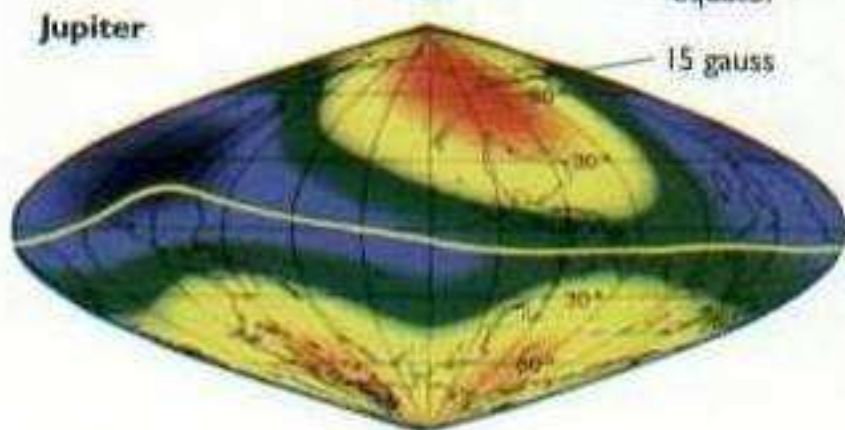
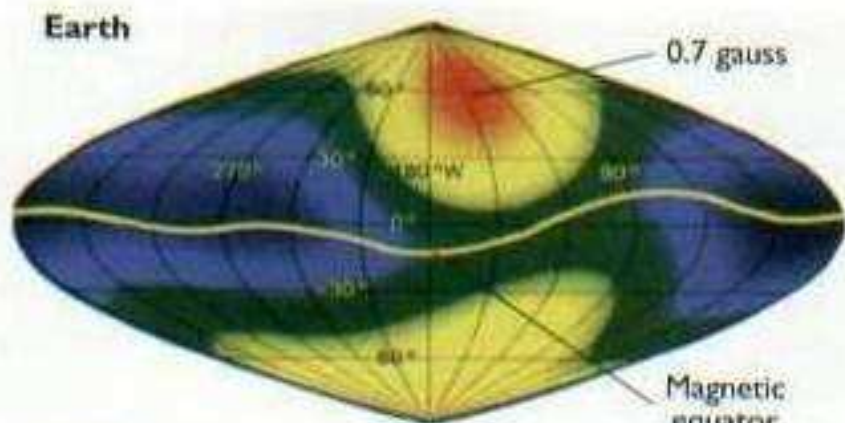
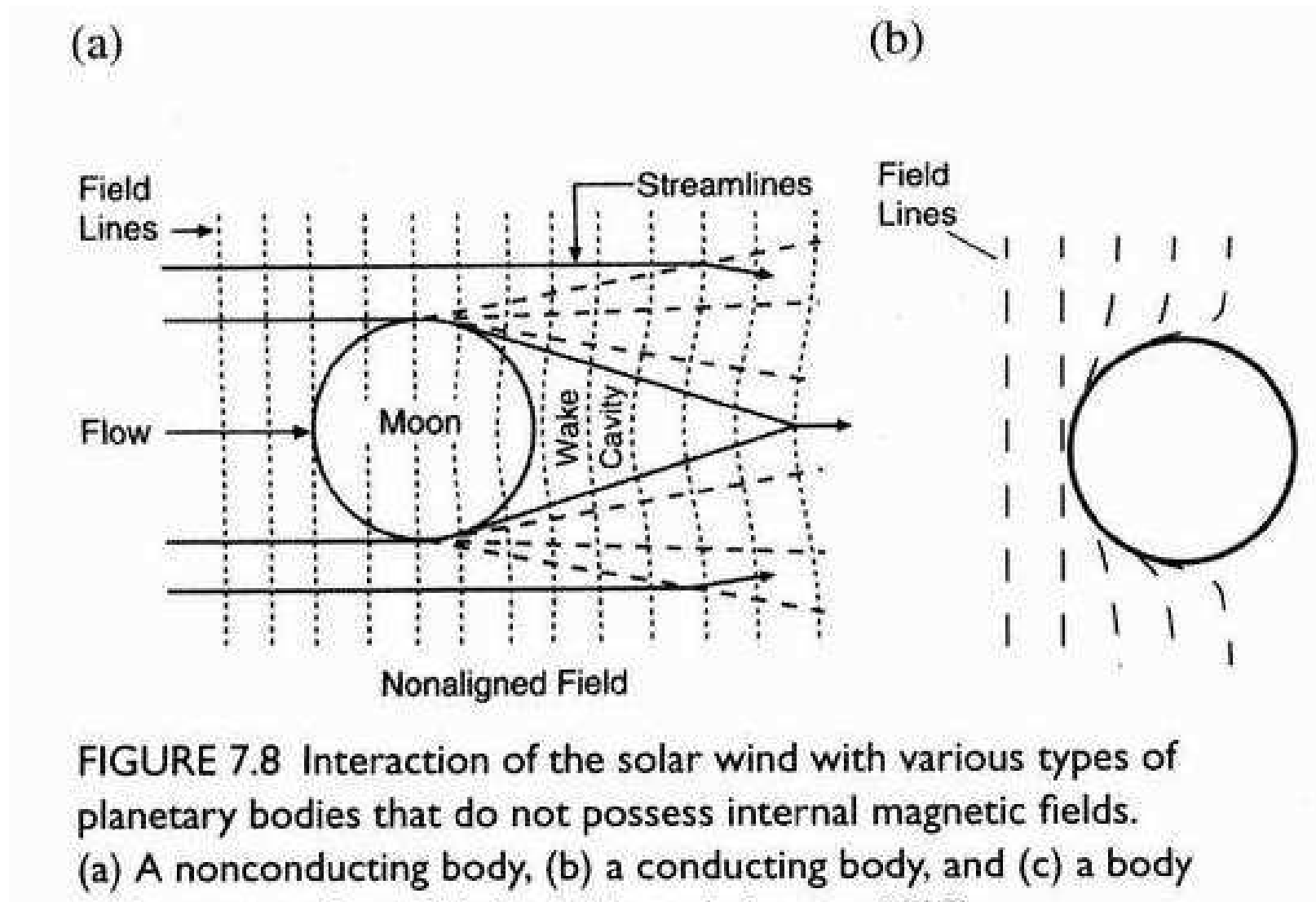


Figure 4. The magnetic fields on the surface of Earth, Jupiter, Uranus, and Neptune exhibit a wide range of strengths. Note especially how the dipole fields of Uranus and Neptune, which are markedly offset from the planets' centers, create distinctly asymmetric surface fields.

Efecto en planeta sin atmosfera ni campo magnetico



Planeta con atmosfera y sin campo

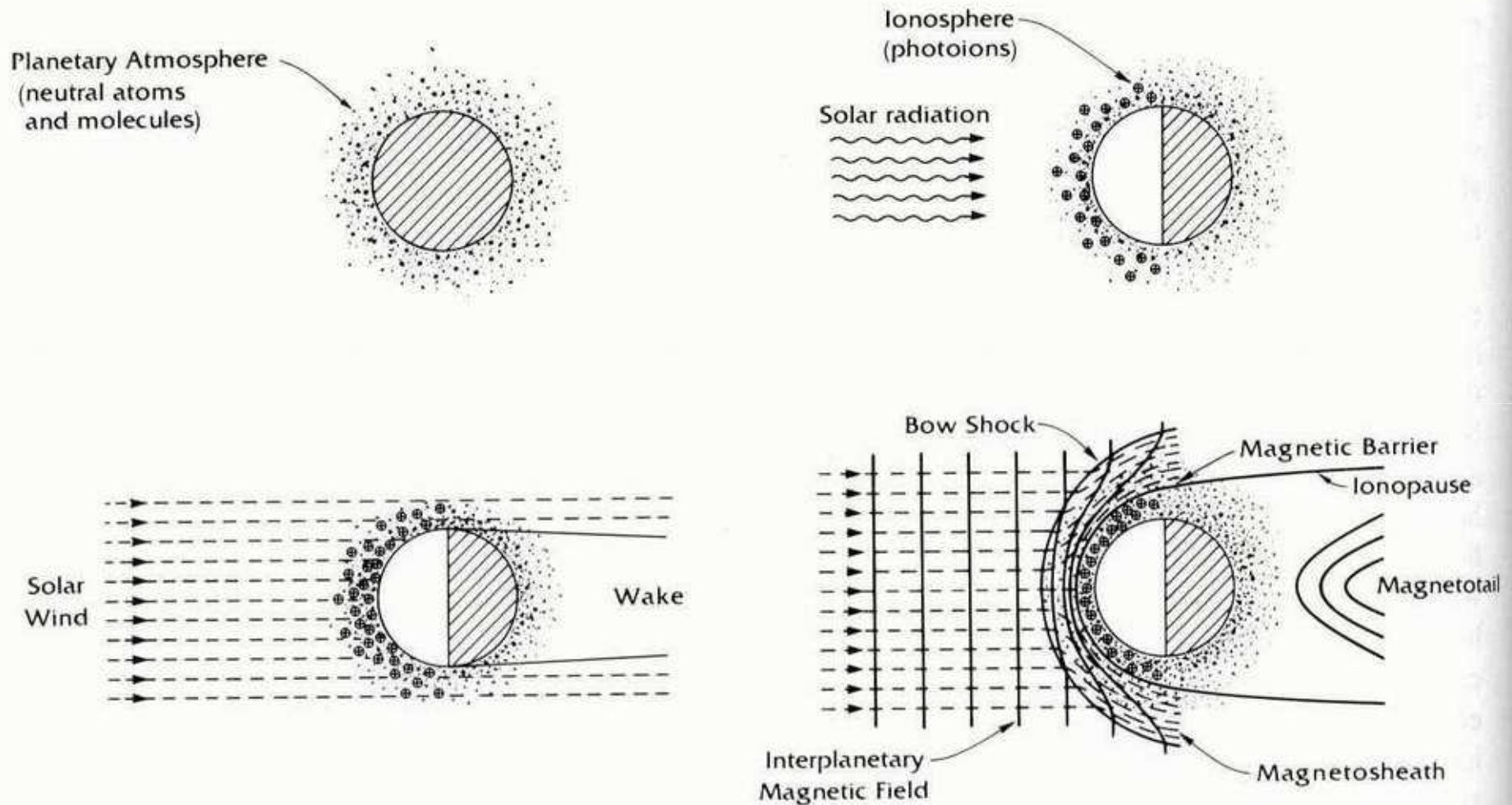
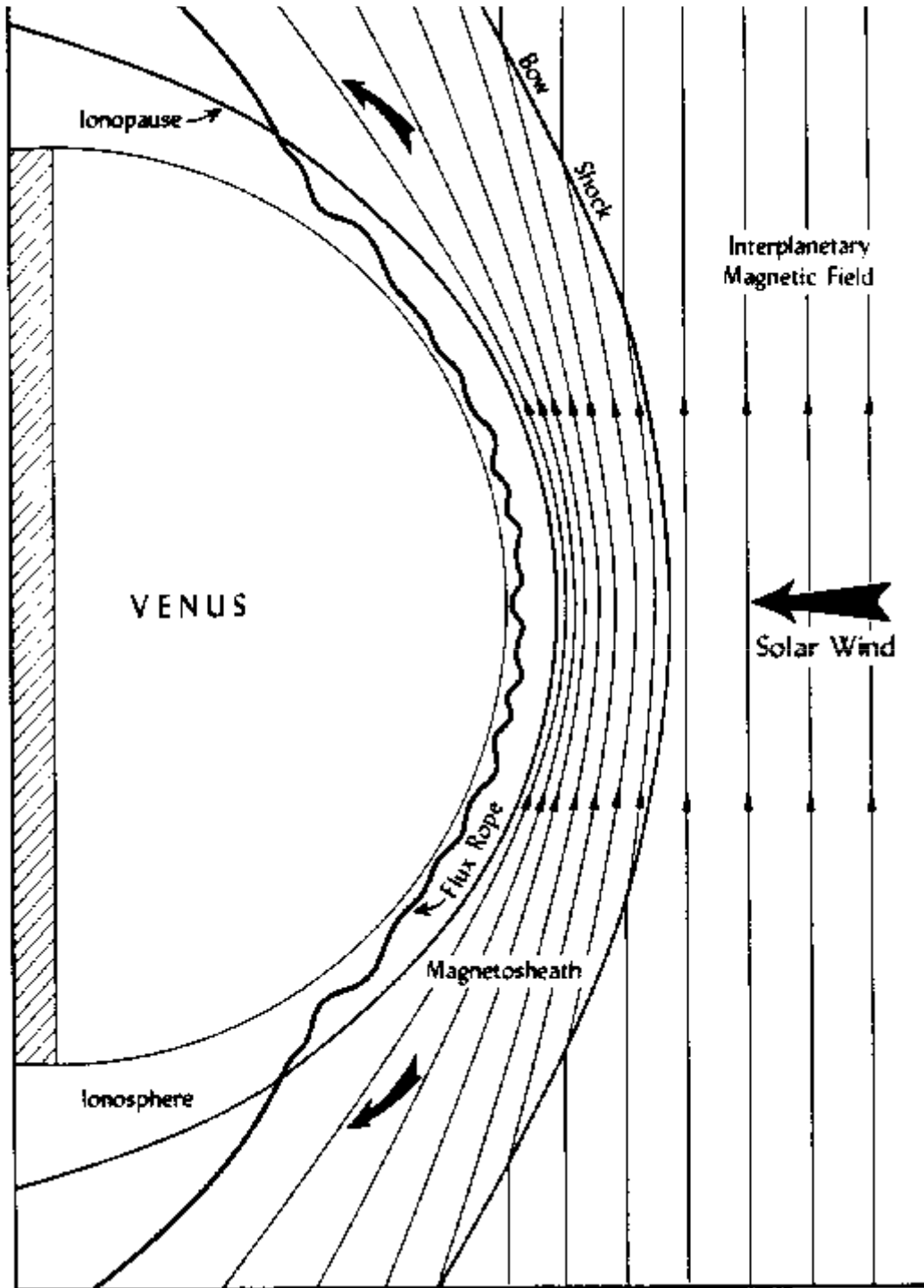
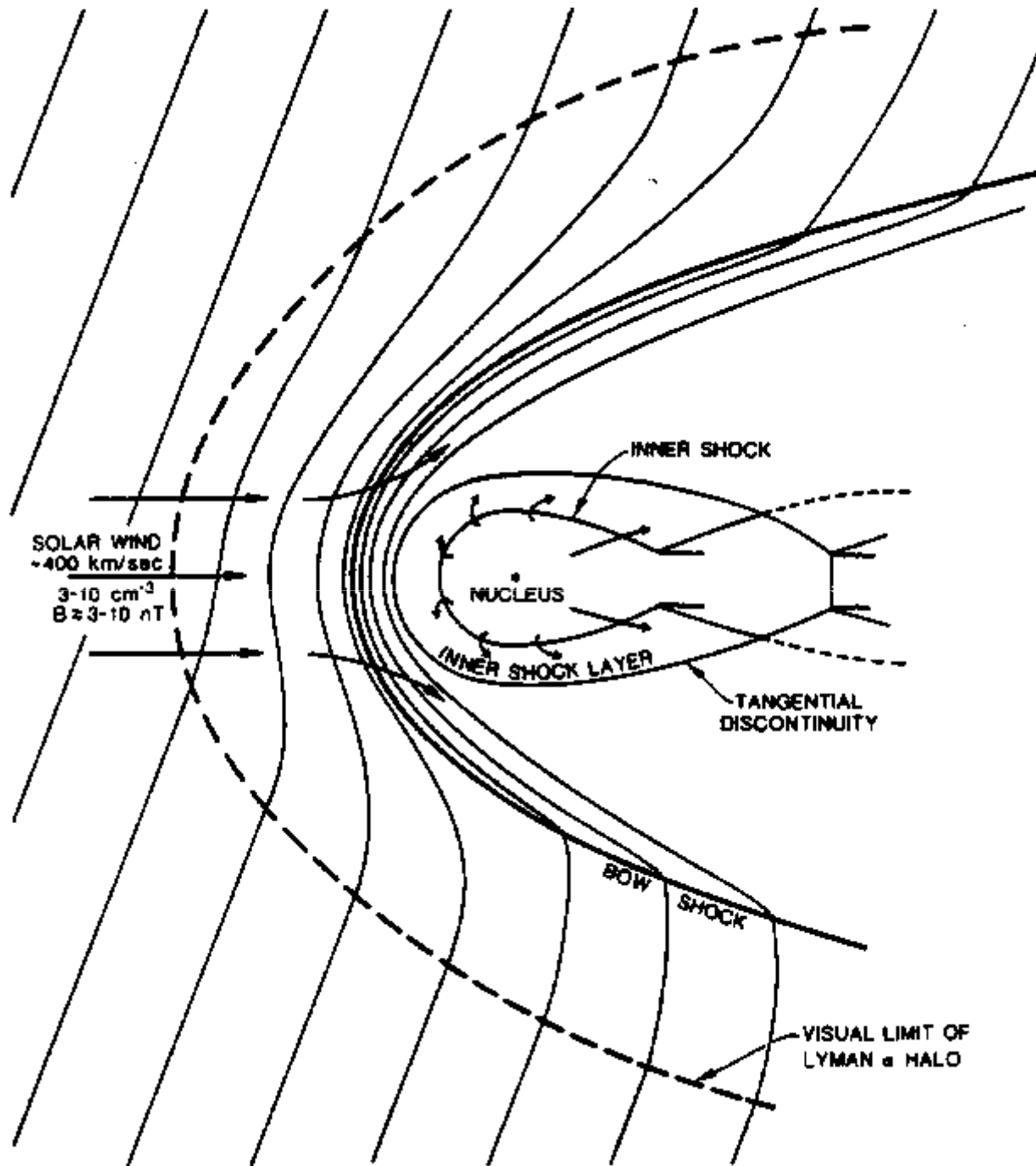


FIG. 8.5. Illustration of the steps that lead to the formation of an ionospheric planetary obstacle in a flowing plasma like the solar wind. Ionization by solar radiation, for example, is followed by diversion of the external plasma flow only if that flow is magnetized.



Venus y Marte
no poseen
campo
magnetico



Cometa

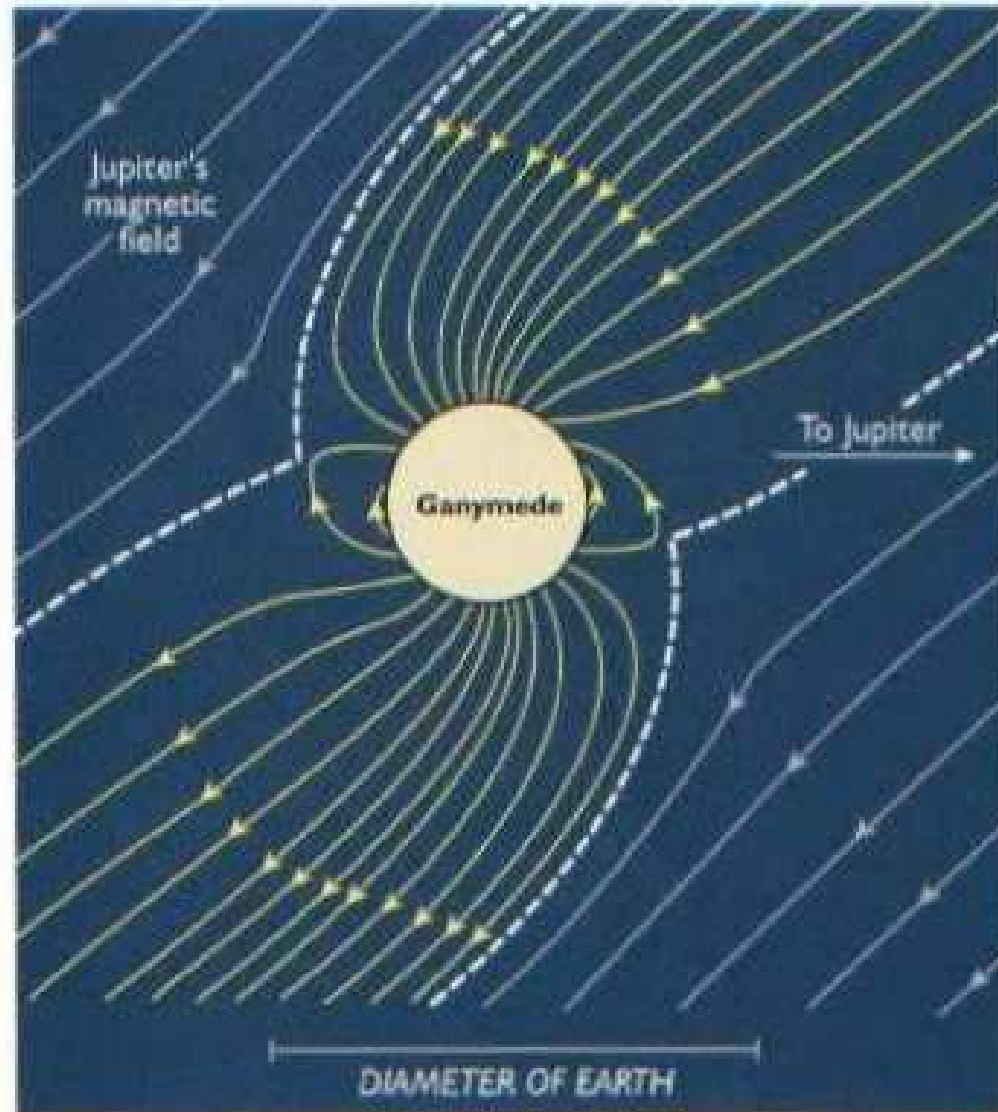
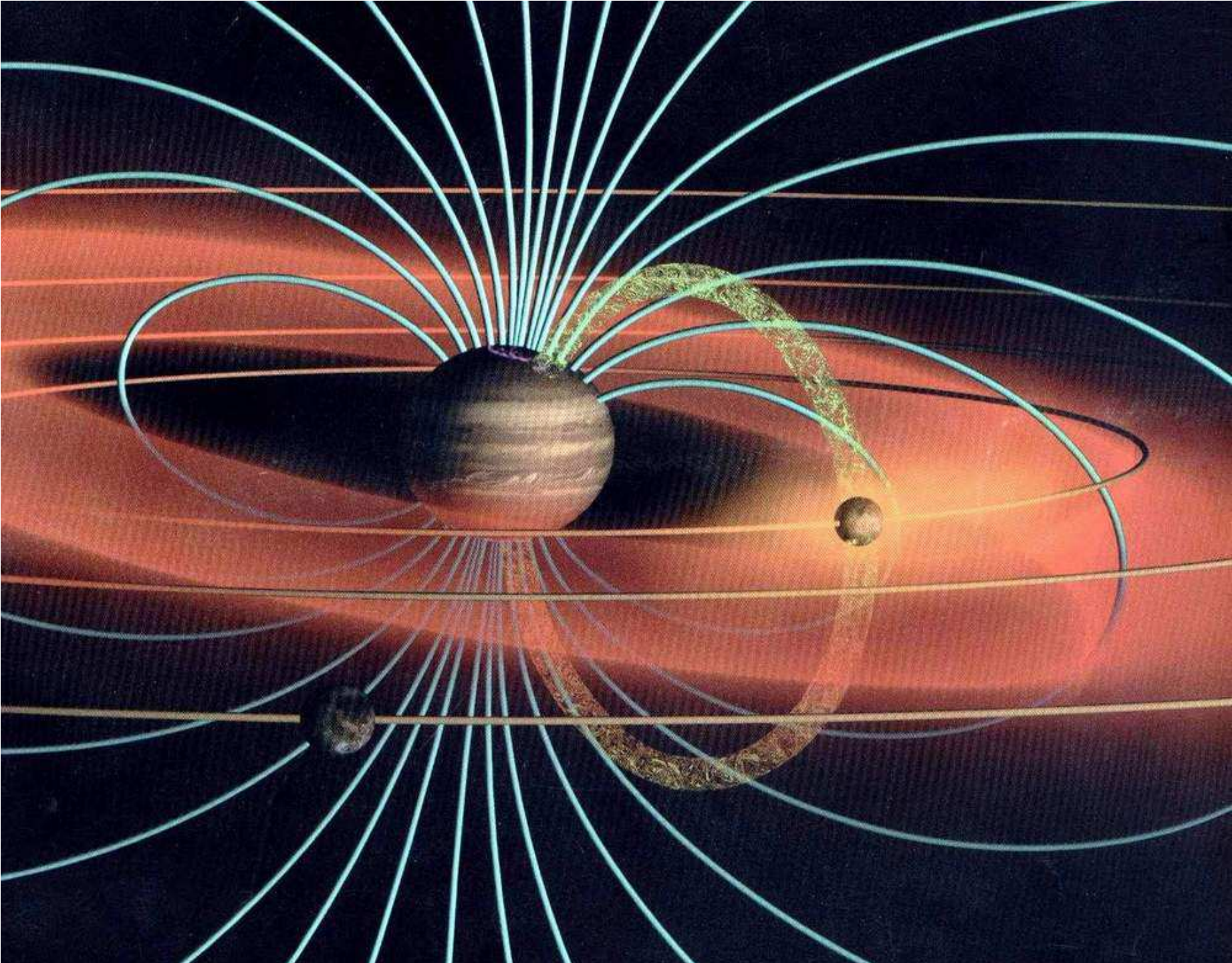
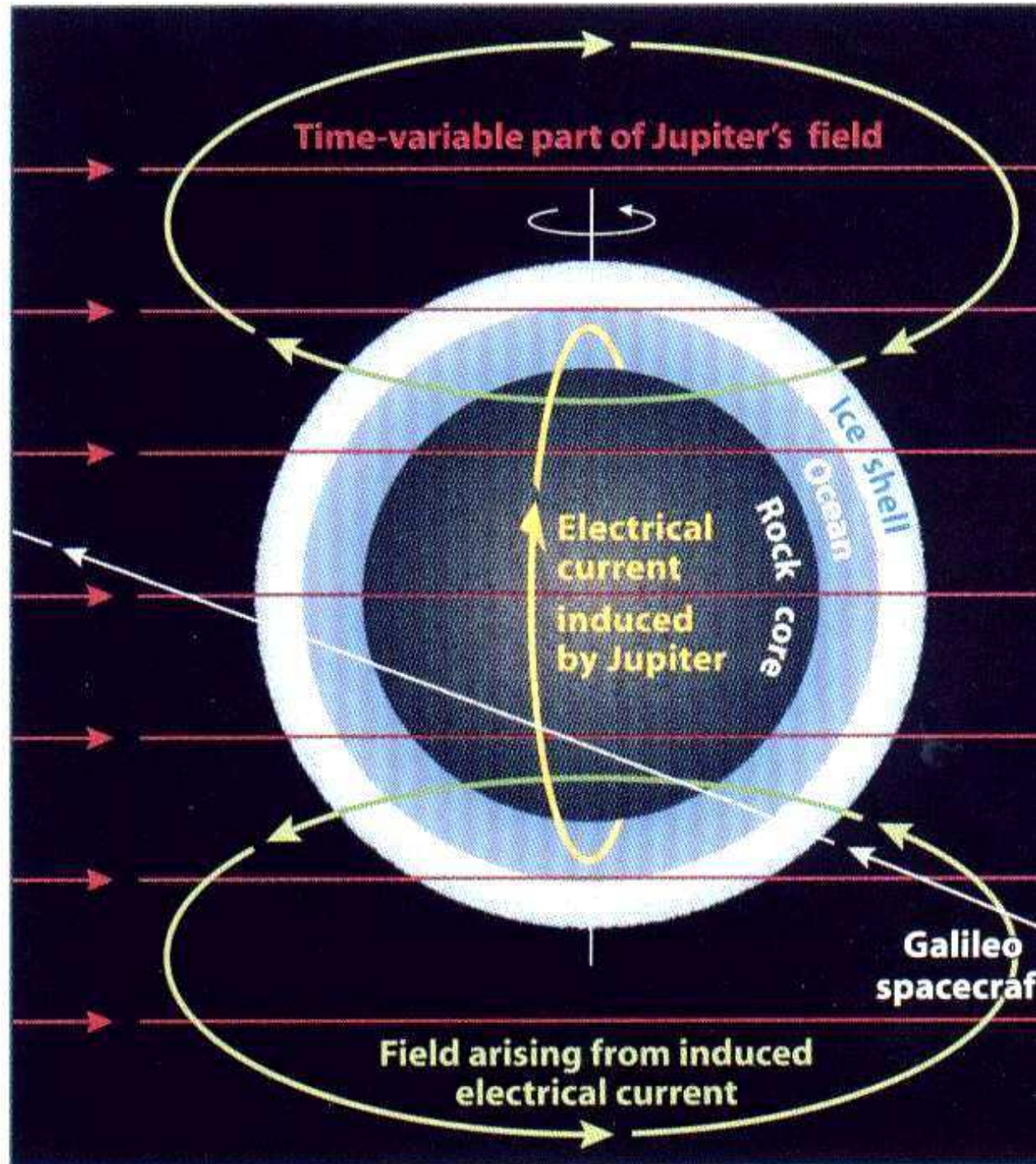
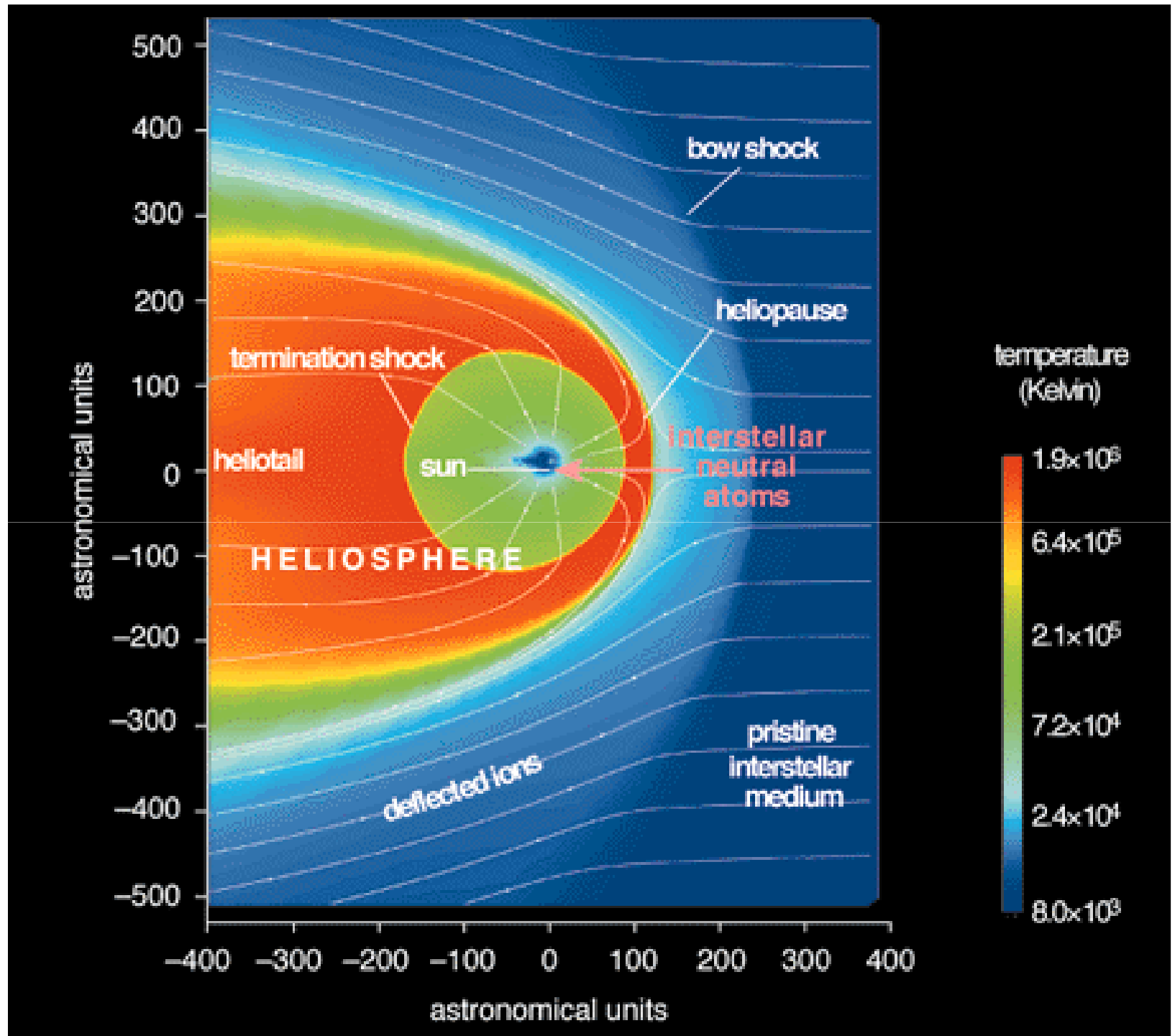


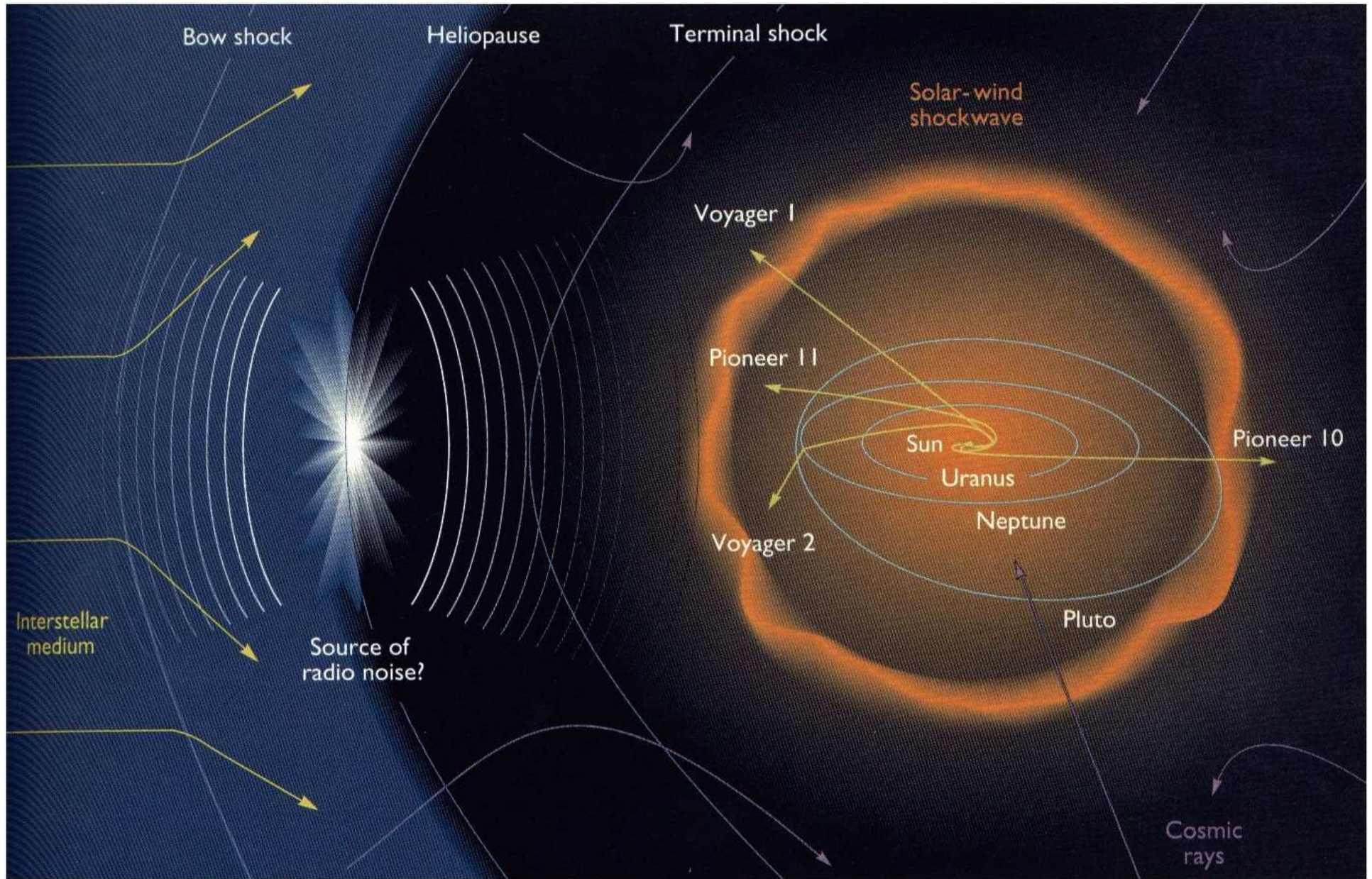
Figure 20. The magnetosphere of Ganymede is shown for conditions at the time of Galileo's first two flybys in 1996, from a perspective in front of the moon along its orbit. Gray lines represent the magnetic field of Jupiter, and yellow lines those attached to Ganymede.





HELIOSFERA





Bow Shock Around LL Orionis



BIBLIOGRAFIA

- The New Solar System
- Planetary Sciences, Lissauer & De Pater
- SOHO
- Sun, Earth and Sky, Kenneth Lang
- <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/ssc>
- www.spaceweather.com