

"FUNDAMENTOS de ASTRONOMÍA"

Profesora:

Lic Ivannia Calvo

Centro de Investigaciones Espaciales (CINESPA)

Universidad de Costa Rica

Tel: (506)2202-6302

Fax: (506)2207-5619

e-mail: ivannia.calvo@yahoo.com

Contenidos I Parte

- Introducción: Historia de la Astronomía
- Astronomía esférica: Coordenadas
- Unidades Astronómicas
- Leyes de Kepler y Newton
- Dependencia entre la fuerza de atracción y la masa de los cuerpos que se atraen
- Mareas de flujo y reflujo
- Movimiento de Satélites Artificiales Terrestres (SAT)
- Principios de astrofísica
- Movimiento de la Tierra y la Luna: Eclipses
- El sol: Características

**CENTRO DE INVESTIGACIONES
ESPACIALES**



CINESPA

- 
- **Introducción**
 - **Historia de Astronomía**
 - **Fundamentos de la Astronomía Esférica**
 - **Movimientos de los Planetas**
 - **Unidades y Mediciones de las Distancias**
 - **Movimiento de la Tierra**
 - **Movimientos de la Luna. Eclipses**
 - **Fundamentos de la astrofísica**
 - **Telescopios**
 - **El Sol**
 - **El Sistema Solar**
 - **Las Estrellas**
 - **Nuestra Galaxia**
 - **Astronomía Extragaláctica**
 - **Cosmogonía**
 - **Cosmología**

SE REALIZARA UNA GIRA AL VOLCAN IRAZU



INTRODUCCIÓN

- En griego: “Astro”-Estrella, “Nomos”-Ley
- Astronomía es la ciencia sobre el Universo, que estudia:
 - los cuerpos celestes: Planetas, Satélites, Cometas, Asteroides, Meteoritos, Estrellas, Nebulosas, Galaxias y sus sistemas,
 - Medio Interplanetario, Medio Interestelar y Rayos Cósmicos,
 - Su composición y propiedades físicas,
 - Su posición y movimiento aparente o real,
 - El origen y evolución de cada cuerpo celeste,
 - La estructura total del Universo,
 - El origen y evolución del Universo en general.

INTRODUCCIÓN

- **Astronomía General tiene múltiples subdivisiones:**

- **Astrofísica**
- **Astronomía Estelar**
- **Astronomía esférica**
- **Astrometría**
- **Mecánica Celeste**
- **Astrobiología**
- **Radioastronomía**
- **Gama Astronomia**
- **Roentgen Astronomía**
- **Astronomía Extragaláctica**
- **Cosmogonía**
- **Cosmología etc.**

Historia de Astronomía

- **Astronomía Antigua**
 - (hasta el colapso de la Imperia Romana, ~siglo V)
- **Astronomía de Edad Media**
 - (desde el siglo V hasta el siglo XV)
- **Astronomía de Renacimiento**
 - (desde la revolución de Copernico hasta el siglo XVII)
- **Astronomía Moderna**
 - (desde la Ley de la Gravitación Universal de Newton hasta el final del siglo XIX)
- **Astronomía del siglo XX**
 - (desde la Teoría de la Relatividad de Einstein hasta hoy)

Astronomía Antigua

La Astronomía es la ciencia más antigua de la humanidad, nace prácticamente con ella misma...

Conocimientos antiguas:

- **Día - Noche, Sol – Luna y Estrellas**
- **Todos los cuerpos mueven regularmente**
- **Se puede resolver el problema de tiempo y orientación?**
- **El Sol sale cada día en Este y se pone a Oeste**
- **Las estrellas (~3 000) visibles rotan en grupos (constelaciones)**
- **Las estrellas rotan alrededor del un “punto” inmóvil (polo norte celeste)**
- **La altura del Sol en el horizonte se cambia gradualmente**
- **La posición del Sol entre las estrellas cambia gradualmente**

Astronomía Antigua

- 4000 (?) A.C.

Observaciones astronómicas más antiguas: Egipto

- 3000 A.C.

Los primeros materiales escritos en Astronomía: Egipto, China, Mesopotamia, Babilonia

- 2697 A.C.

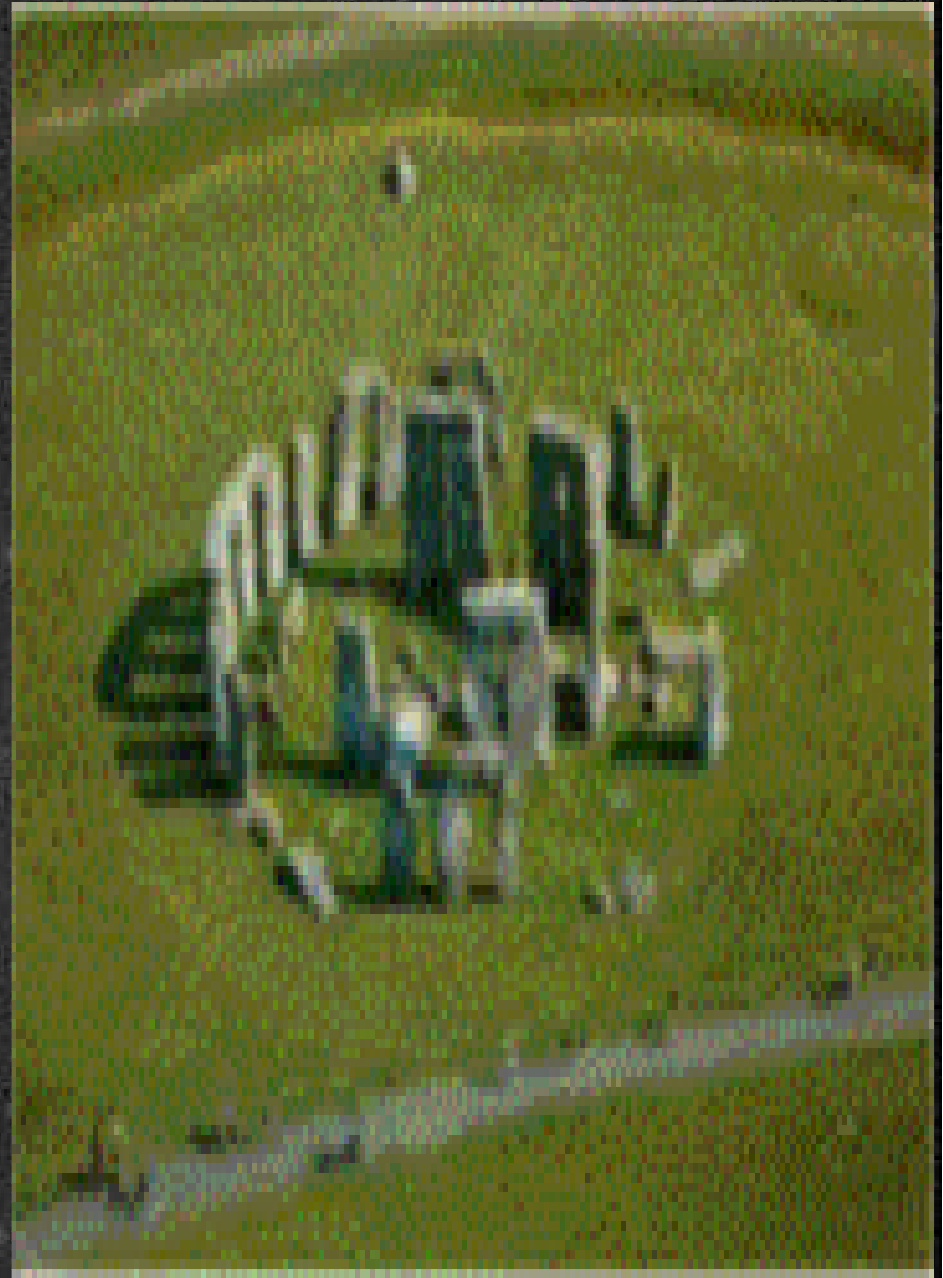
Primera vez se mencionó sobre el Eclipse Solar (China).

- 2000 A.C.

El primer calendario solar y lunar (Egipto y Mesopotamia)

Stonehenge Sanctuary (Fig)
(England)

Primera información sobre las Constelaciones.



Astronomía Antigua

Babilonia:

- ✓ Midieron precisamente el período sinódica de la Luna y de los 5 planetas (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno).
- ✓ La observación mas antigua de un eclipse solar de 15 de junio del 763 A.C.
- ✓ Posteriormente, ellos calcularon el ciclo de Saros (18 años 11,3 días).
- ✓ Construyeron un calendario lunar y dividieron el día en 24 horas. Finalmente nos llegaron muchas de las descripciones y nombres de las constelaciones.

Egipto:

- ✓ Descubrieron primeros, que el Sol rota alrededor de una esfera con las estrellas fijos completando una vuelta durante 365 días y noches.
- ✓ Utilizaron el ciclo solar para diseñar su calendario: el comienzo del año venía determinado por la salida de la estrella Sirio, hecho que coincidía con la creciente del Nilo y que se retrasaba un día cada cuatro años por lo que para corregir esto se agregaba un día al calendario cada cuatro años.
- ✓ Se construyeron pirámides como la de Gizeh alineada con la estrella Polar con la que les era posible determinar el inicio de las estaciones usando para ello la posición de la sombra de la pirámide.
- ✓ También utilizaron las estrellas para guiar la navegación.

- Siglo VI A.C.
 - Pythagoras and Thales of Miletus - especulación, que la Tierra es una esfera
- 330 A.C.
 - Aristotle's On Heavens

Astronomía Antigua



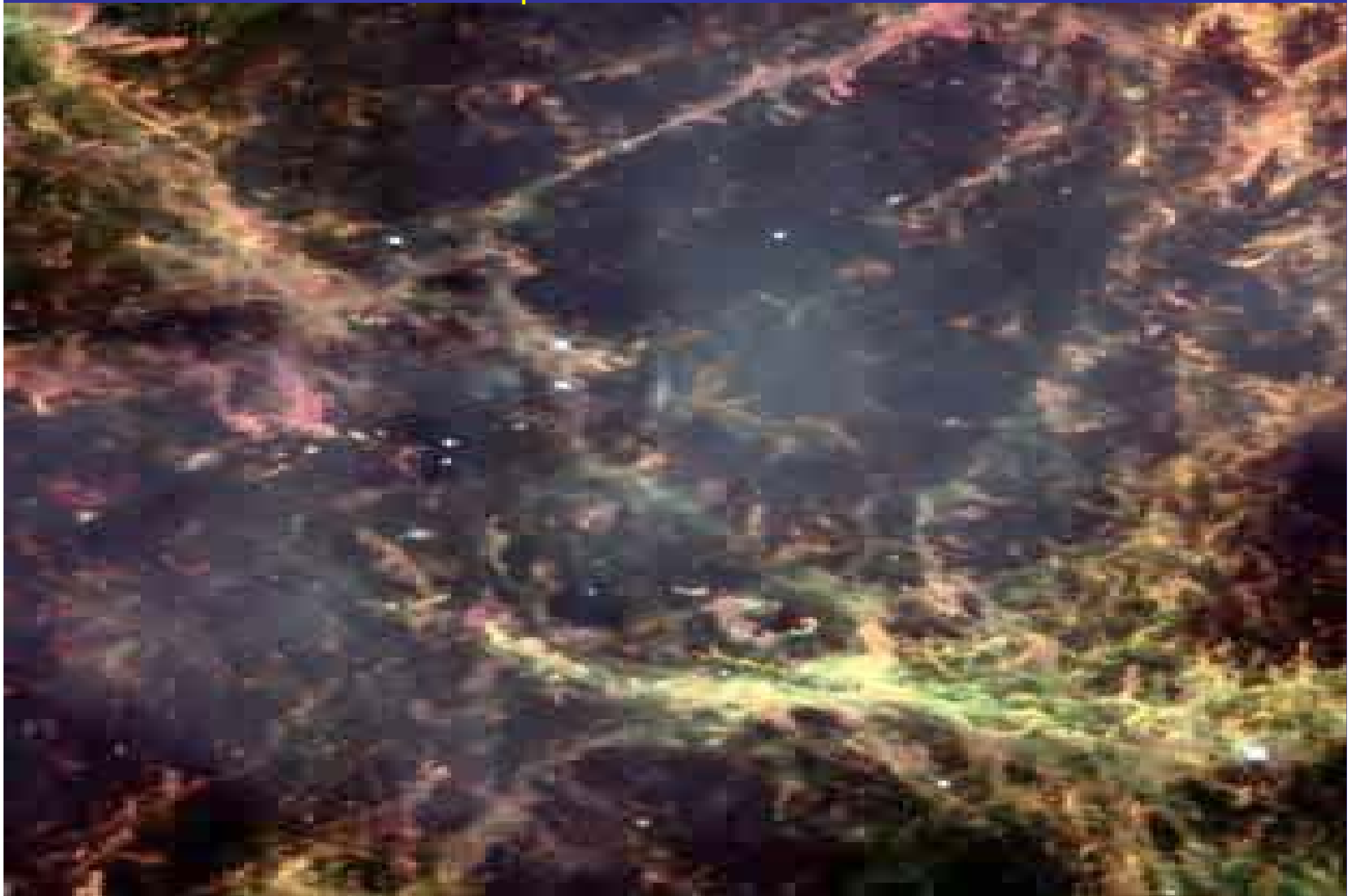
- **280 A.C.**
 - **Aristarchus of Samos (F.1)** sugiere que la Tierra revoluciona alrededor del Sol (el *concepto heliocéntrico del Universo*). Estima la distancia Sol-Tierra.
- **240 A.C.**
 - **Eratosthenes of Cyrene** (now Shahhat, Libya) mide la circunferencia de la Tierra basándose en la diferencia en las latitudes (determina astronómicamente!) entre las ciudades, de Syene (Aswan) and Alexandria (Egypt).
- **130 A.C.**
 - **Hipparchus** descubre la precesión de equinoccio y desarrolla el primer catálogo estelar y mapas (~1000 estrellas brillantes)
- **45 A.C.**
 - La introducción de **calendario Juliano** de la Imperia Romana con ayuda del astrónomo Griego **Sosigenes**
- **140**
 - **Ptolemeo (F.2)** sugiere el modelo geocéntrico del Universo en su famoso trabajo: **“Mathematike Syntaxis”** reconocido como **“Almagest”**.

Astronomía de Edad Media

- **Siglos IX-XI**
 - Desarrollo intensivo de la **Astronomía Árabe y Persiana** (mapas estelares y catálogos, movimientos de la Luna y planetas, se mejoran estimaciones de tamaño de la Tierra, y el calendario).
- **813**
 - **Al Mamun** funda la **Escuela de Astronomía de Bagdad**.
- **903**
 - **Al-Sufi** se forma **catálogo estelar**.
- **1054**
 - Astrónomos Chinos observan supernova en Taurus (ahora conocido como remanente de esa supernova **Crab Nebula (M1) (F.1)**



Nebulosa de Cangrejo está cituada ~6,500 A.L. desde la Tierra y es remanente de la supernova de 10 masa solar.



Astronomía de Renacimiento



- **1543**
 - Copernicus (F.2) publica “*De Revolutionibus Orbium Coelestium*”, donde muestra las evidencias matemáticas de la teoría heliocéntrica
- **1572**
 - Tycho Brahe (F.1) descubre la supernova en la constelación Cassiopeia (las remanentes de esa supernova ahora se conoce como *Cassiopeiae A*).
- **1576**
 - Tycho Brahe funda el observatorio en Uraniborg.
- **1582 (October 15)**
 - Pope Gregory XIII introduce el calendario Gregoriano.
- **1595**
 - David Fabricius descubre la estrella variable de largo período en la constelación Cetus, llamada Mira Ceti.
- **1600 (February 17)**
 - Giordano Bruno después de la prisión de 8 años quemado en Campo dei Fiori por el cambio la doctrina oficial de la iglesia sobre la estructura y origen del Universo..

Astronomía de Renacimiento

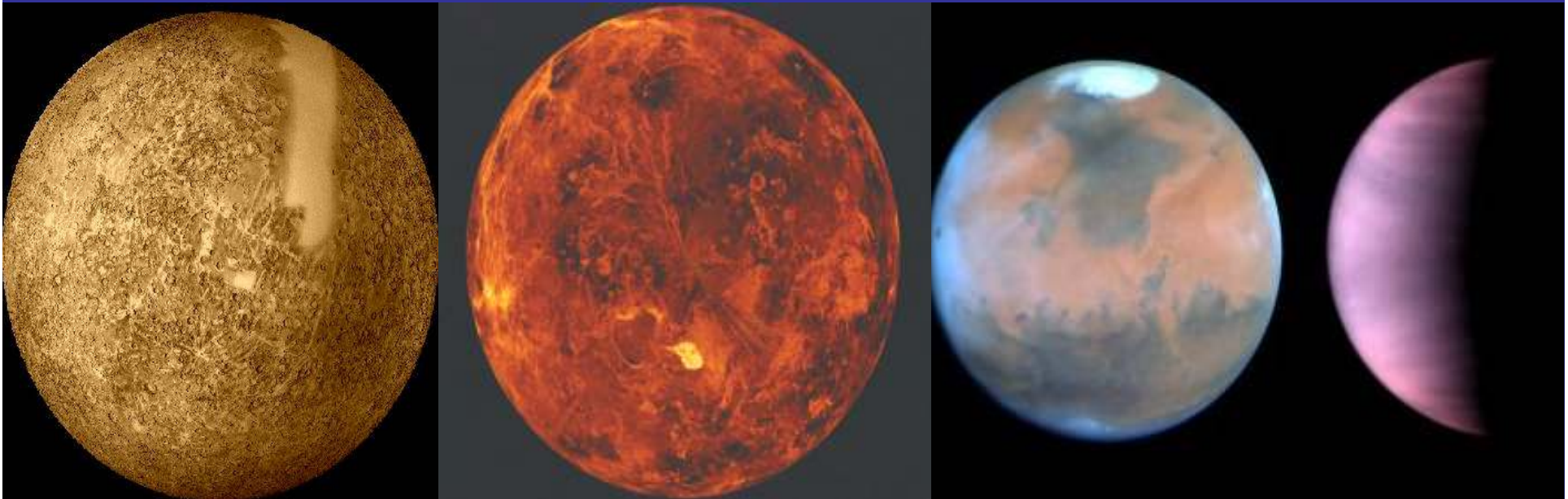


- **1603**
 - Johann Bayer (F.2) publica su catalogo estelar catalogue, *Uranometria*. El introdujo the “*Bayer designation*”, sistema de asignación de letras griegas a las estrellas, que se utiliza hasta hoy.
- **1604**
 - Kepler (F.1) descubra la supernova en Ophiuchus.
- **1608**
 - Lippershey, (a Dutch spectacles) inventó el primer telescopio.
- **1609**
 - Galileo usa por primera vez el telescopio para observaciones astronómicas y descubre 4 satélites de Júpiter y Saturno, los cráteres de la Luna, y Milky Way.
 - Por primera vez se anunció 2 leyes de Kepler.
- **1611**
 - Galileo, Scheiner, and Fabricius observan las manchas solares.
- **1612**
 - Peiresc descubrió Orion Nebula (M42).
- **1619**
 - Kepler (F.1) publicó III Lay de su “*Harmonice Mundi*”.



Astronomía de Renacimiento

- **1631**
 - Kepler predijo transito de Mercurio (Fig.1), que observó Gassendi.
- **1632**
 - Galileo publicó su “*Dialogue on the Two Chief World Systems*” - la discusión sobre hipótesis de Ptolemeo y Copernico relacionadas con la física de mareas (la version original se titula - “*Dialogue on the Tides*” -was licensed and altered by the Roman Catholic censors in Rome).
- **1639**
 - Jeremiah Horrocks observa transito de Venus (Fig.2.3.4)
- **1647**
 - Hevelius – (the astronomer from Gdansk) – publicó la mapa de la Luna.

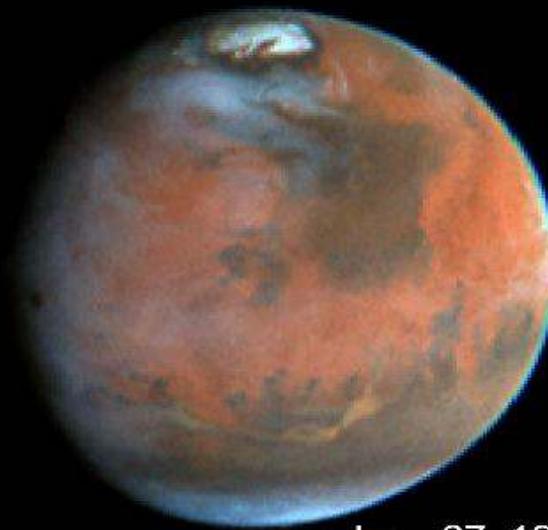


Astronomía de Renacimiento



- **1656**
 - Huyghens descubre la naturaleza de anillos de Saturno y Titan – el satélite de Saturno.
 - Fundación de Copenhagen Observatory.
- **1659**
 - Huyghen observa las “marcas” de Marte.
- **1666**
 - Cassini (F.2) observa las capas polares de Marte.
- **1668**
 - Newton construyó el primer telescopio reflector (F.1) (Newtonian).
- **1669**
 - Montanari descubrió la naturaleza de variabilidad de Algol.
- **1671**
 - Fundación de Paris Observatory.
- **1675**
 - Fundación de Greenwich Observatory.
 - Romer mide la velocidad de la luz.
 - Cassini descubre la división de los anillos de Saturno: “División de Cassini”.
- **1683**
 - Cassini observó la luz zodiacal.

Marte y Saturno



June 27, 1997



Astronomía Moderna



- 1687
 - Sir Issac Newton(F.2) publica su revolucionario: “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” y establece la teoría de la gravitación universal.
- 1705
 - Halley (F.1) predijo el regreso de la cometa Halley en 1758.
- 1725
 - Flamsteed – el primer astrónomo de royal of England – publica su catalogo estelar. El introdujo nombramiento de las estrellas de cada constelación por el crecimiento de ascensión recta.
- 1728
 - Halley descubrió el movimiento estelar.
 - James Bradley propuso la teoría de la aberación de las estrellas inmóviles, incluyendo la aberación de la luz.
- 1729
 - Chester More Hall propuso el principio del refractor acromático.
- 1744
 - Se observó Cheseaux comet .

Astronomía Moderna



- 1750
 - Thomas Wright discutió la teoría especulativa sobre el origen del sistema solar.
- 1755
 - Immanuel Kant propuso el hipótesis sobre el origen de los astros.
- 1758
 - Palitzsch observó el regreso de la cometa Halley, que confirmó la predicción previo.
- 1761
 - Lomonosov descubrió la atmosfera de Venus.
- 1767
 - Se fundó Nautical Almanac.
- 1781
 - Charles Messier (F.1) , estudiando las cometas descubrió los objetos “diferentes” (galaxias, nebulosas, ...) y incluyó en su famoso catalogo.
 - Herschel descubrió Urano.
- 1784
 - Goodricke descubrió la naturaleza de variabilidad de Delta Cephei.
- 1789
 - Herschel (F.2) elaboró el telescopio con espejo de 1.22-m y con la distancia focal de 12.2 m. Con este telescopio el observó las estrellas en



Astronomía Moderna

- 1796
 - Laplace propuso el “Nebular Hypothesis” del origen de Sistema Solar basado en la teoría de la evolución estelar.
- 1801
 - Piazzi – el astrónomo italiano – descubrió el primer asteroide, Ceres.
- 1802
 - Herschel anunció el descubrimiento de las estrellas dobles.
 - Wollaston observó las líneas oscuras en el espectro solar.
- 1803
 - Fall of meteorites at L'Aigle.
 - Se formó el modelo que explicaba la naturaleza de los meteoritos.
- 1811
 - Olber propuso la teoría sobre las colas de cometas.
- 1814
 - Fraunhofer presentó la descripción detallado del espectro solar.
- 1818
 - Pons descubrió el regreso de la cometa Encke, que predijo anteriormente.

Astronomía Moderna

- 1826
 - Descubrimiento de la cometa Biela.
- 1833
 - Observación de lluvia de meteoritos-Leonidas.
- 1834
 - Bessel supone que la irregularidad en el movimiento de Sirius esta causada por la existencia de la estrella acompañante.
- 1837
 - Beer and Madler publican el primer mapa de la Luna.
- 1838
 - Bessel determina por primera vez la distancia hasta estrellas (61 Cygni).
- 1839-40
 - Aplicación de la fotografía en astronomía por primera vez (Draper tomó la primera fotografía de la Luna.)
- 1842
 - Descubrimiento del efecto Doppler's.
- 1843
 - Schwabe describe el ciclo de las manchas solares.

Astronomía Moderna

- 1845
 - Observación de la cometa Biela.
- 1846
 - Johann Gottfried Galle descubrió la planeta Neptuno basado por el cálculo de su posición realizado por astrónomo francés Joseph Leverrier.
- 1851
 - Foucault presenta la evidencia de rotación terrestre por la demostración espectacular por el péndulo desde el domo de Pantheon in Paris.
- 1858
 - Apariencia de la cometa Donati'.
- 1859
 - Kirchoff interpreta las líneas oscuras en los espectros estelares.
- 1859-62
 - Argelander publica “*Bonner Durchmusterung (BD)*”- el catalogo de 300,000 estrellas.
- 1862
 - Clark descubre Sirius B.
- 1860-63
 - Inicio del análisis espectral de las estrellas. (Huggins identificó los elementos en el espectro de Betelgeuse y Aldebaran).

Astronomía Moderna

- **1865**
 - Jules Verne publicó “ *From the Earth to the Moon*”.
- **1867**
 - Descripción de las estrellas de Wolf-Rayet.
- **1868**
 - Jansen and Lockyer observaron las prominencias solares .
- **1872**
 - Observación de lluvia Bielid meteoritos.
- **1877**
 - Hall descubrió satelites nde Marte, Phobos and Deimos.
 - Schiaparelli observó los canales de Marte canals.
- **1878**
 - Se discuta La Mancha Roja del Jupiter .
- **1890**
 - Lockyer annuncia su teoría de la evolución estelar.
 - Vogel descubra las estrellas dobles espectroscopicas.
- **1894**
 - Percival Lowell fundó l Flagstaff Observatorio en Arizona.
- **1896**
 - Instalación del Telescopio (33-inch refractor) de Meudon, Paris.

Astronomía del siglo XX

- 1897
 - Fundación de Observatorio de Yerkes.
- 1900
 - Chaberlin and Moulton proponen la nueva teoría sobre el origen del Sistema Solar.
- 1901
 - Aariencia de Nova Persei.
- 1905
 - Fundación de Observatorio de Mount Wilson para estudios solares. Después se utilizó también para investigaciones de las estrellas, galaxias y nebulosas.
- 1905
 - Einstein propone la teoría de relatividad (“*On the Electrodynamics of Moving Bodies*”). Su teoría está basada en dos principios:
 - ✓ Las leyes de Física Son iguales en todos sistemas references inerciales.
 - ✓ La velocidad de la luz en vacío es constante universal.
- 1908
 - Hertzprung describe las estrellas gigantes y enana.
 - Leavitt descubrió la relación entre el periodo – la magnitud absoluta de Cefeidas.
 - El reflector de 60-inch de Mount Wilson.

Astronomía del siglo XX

- 1911-14
 - Hertzsprung and Russell descubren la relación entre la clase espectral y la magnitud absoluta de las estrellas (el Diagram H-R).
- 1914
 - Goddard inicia experimentos con coete.
- 1915
 - Adams descubrió Enanas Blancas (Sirius B).
- 1916
 - Eddington propone la teoría sobre la estructura de las estrellas intrínsecas.
 - Einstein propone su Teoría de Relatividad General, donde el describió la interacción de los cuerpos (gravitational forces) y influencia de los cuerpos en la geometría del Espacio-Tiempo.
- 1917
 - Instalación de 100-inch telescopio reflector de Hooker en Mount Wilson.
- 1918
 - Shapley presentó el primer modelo de la estructura de Galaxia .
- 1918-24
 - Cannon publicó el catalogo fundamental estelar.
- 1919
 - Barnard publicó el catalogo de las nebulosas oscuras.

Astronomía del siglo XX

- 1920
 - Slipher anunció el descubrimiento de desplazamiento rojo en las galaxias.
 - Las primeras mediciones de los diámetros estelares por interferometría.
- 1926
 - Goddard lanza el primer coete (con liquid fuel).
- 1927
 - Oort descubre que el centro de nuestra Galaxia se proyecta hacia la dirección de Sagitario.
- 1929
 - Edwin Powell Hubble descubre la relación linear entre la distancia y velocidad radial de galaxias.
- 1930
 - Tombaugh descubre el Pluto basado en las predicciones de Lowell.
- 1931
 - Jansky descubre radio-ondas cósmicas.
- 1937
 - Reber construye el primer radio telescopio.
- 1937-40
 - Gamow propone por primera vez la teotía de evolución estelar.
- 1944
 - Van de Hulst sugiere que hidrogeno interestelar irradia radio ondas de 21.1 cm.

Astronomía del siglo XX

- 1946
 - Bay obtuvo las primeras imágenes lunares por el radar.
- 1947
 - Ambarcumian descubre las asociaciones estelares.
- 1949
 - Instalación del telescopio Hale 200-inch reflector en Mount Palomar.
- 1951
 - Ewen and Purcell descubren radio ondas de 21.1 cm , que predijo van de Hulst.
- 1951-54
 - Determinación de la estructura espiral de nuestra Galaxia.
- 1955
 - Instalación del 250-foot radio telescopio en Jodrell Bank.
- 1957
 - October 4 - The first artificial satellite launched by the Russians.
- 1958
 - The *first American satellite launched*.
- 1959
 - The Russian Luniks satellites: *Lunik I* passes the Moon; *Lunik II* lands on the Moon.
 - Radio-location of the Sun.
- 1961
 - April 12 - The first man (Russian astronaut - Y. Gargarin) in space.

Astronomía del siglo XX

- 1962
 - First American orbital flight by John Glenn.
 - Planetary probes: Mars I (Russia) and Mariner II (USA)
 - Discovery of the first galactic source of X-ray radiation (Sco X-1).
- 1963
 - Van de Kamp reports a planet associated with Bernard's Star.
 - Discovery of the first quasar (3C 273).
- 1964
 - Close range pictures of the Moon from Ranger VII (USA).
- 1965
 - Penzias and Wilson discover cosmic fossil radiation, providing direct evidence of the Big Bang Theory.
- 1966
 - First soft landing on the Moon (Luna 9 - Russia and Surveyor I - USA).
 - Russian probe lands on Venus.
- 1967
 - Discovery of pulsar.
- 1968
 - First manned flight around the Moon (Apollo 8: Borman, Lovell, and Anders).
- 1969
 - July 20-21 - First man on the Moon (Apollo 11: Armstrong and Aldrin).

Astronomía del siglo XX

- 1970
 - Satellite Uhuru scans the sky in the X-ray range.
 - First successful soft landing on Venus (Venera 7 - Russia).
- 1971
 - Final testing of 236-inch Soviet reflector.
 - First probes in orbit around Mars and first soft landing on Mars (Mars 3 - Russia).
 - First manned mechanical vehicle on the Moon (Apollo 15 - USA).
- 1972
 - Satellite Copernicus conducts spectroscopic ultraviolet observations of stars and interstellar matter with high resolution.
 - The first observations in gamma radiation range.
 - Launch of Pioneer 10 - the first probe to Jupiter (USA).
- 1973
 - First images of Jupiter transmitted from the close vicinity by *Pioneer 10* (USA).
- 1974
 - First image of Mercury's surface transmitted by *Mariner 10* (USA).
- 1975
 - Completion of the 6-meter telescope in Zielenczukskaja (USSR).

Astronomía del siglo XX

- 1976
 - Soft landing of Viking space probes on Mars (USA).
- 1977
 - Discovery of Uranus rings.
- 1978
 - Discovery of Pluto's moon.
 - New data on celestial objects collected by satellite Einstein (X-ray).
- 1980
 - First images of Saturn and its rings transmitted from close vicinity by space probe Voyager 1 (USA).
- 1983
 - Satellite IRAS scans the sky in infrared radiation.
- 1986
 - January 24 - Voyager 2 approaches the planet Uranus.
 - January 28 - Space shuttle Challenger disaster: 73 seconds after take-off from the Kennedy Space Center. The explosion occurred due to the failure of an "O-ring". It was the most tragic accident in the history of space exploration. The following astronauts were killed: Francis R. Scobee, Micheal Smith, Judith Resnik, Ellison S. Onizuka, Gregory B. Jarvis, Ronald E. McNair, and teacher-in-space Christa McAuliffe
 - March - Space probes Vega 1, Vega 2, and Giotto pass near Halley's Comet.
- 1987
 - February 23 - Supernova in the Large Magellanic Cloud visible to naked eye, as a result of explosion of blue supergiant Sanduleak 69 deg. 202.

Astronomía del siglo XX

- 1988
 - Discovery of quasars approximately at a distance of 15 billion light years.
- 1989
 - Discovery of quasars approximately at a distance of 17 billion light years.
- 1989
 - May 4 - Magellan mission to radar map the surface Venus.
 - August 24 - Voyager 2 approaches the planet Neptune.
 - September 12 - Pluto at *perihelion*.
 - November 18 - NASA launches *Cosmic Background Explorer* (COBE) satellite.
- 1990
 - April 24 - The space shuttle Discovery puts the Hubble Space Telescope (twelve-ton, 94-inch mirror) into orbit .
 - December 5 - The first picture (galaxy NGC 1232 in Eridanus) taken with Keck Telescope in Hawaii is published in *Los Angeles Times*.
 - December 7 - Galileo approaches the planet Earth on the way from Venus to Jupiter. It becomes the first interplanetary spacecraft that has ever visited the Earth.
- 1991
 - February 7 - Debris of Russian Salyut 7 crashes through the atmosphere over Argentina.
 - April 5 - The launch of the *Compton Gamma Ray Observatory (GRO)*
 - July - A total eclipse of the Sun, visible from Hawaii and Mexico becomes a true tourist attraction.
 - October - The spacecraft *Galileo* passes by the asteroid Gaspra.

Astronomía del siglo XX

- 1992

- April - The Hubble Space Telescope photographs in the Large Magellanic Cloud the hottest star ever recorded (temp. 360,000 degrees Fahrenheit).
- April 24 - The data received from satellite COBE proves the existence of temperature fluctuations in the background radiation which is a strong evidence ("the Holy Grail of cosmology" - according to Michael Turner) supporting the Big Bang theory.
- September 16 - The discovery of the first object orbiting the Sun beyond the planet Pluto, in Kuiper Belt.
- September 25 - NASA launches the *Mars Observer* spacecraft to study the atmosphere and surface of Mars.
- October 31 - The Vatican (pope John Paul II) announce that the Catholic Church erred in condemning Galileo's beliefs.

- 1993

- January 31 - *The Gamma Ray Observatory (GRO)* detects the brightest burst of gamma rays ever recorded - the Super Bowl Burst.
- March 28 - Outburst of supernova in the M81 galaxy in *Ursa Major*.
- August 21 - NASA loses contact with *Mars Observer* three days before its planned entry into Mars' atmosphere.
- December - Astronauts aboard of the space shuttle *Endeavour* correct the defects in the Hubble Space Telescope. This improves greatly the quality of telescope's images.

- 1994

- July 20 - Comet Shoemaker-Levy crashes into Jupiter. This is considered by many, the most spectacular event in the history of astronomy.

CONSTELACIONES Y MOVIMIENTOS APARENTES DE LOS PLANETAS

Cualquiera que sea el punto de la superficie terrestre siempre nos parece que todos los cuerpos celestes se encuentran a una misma distancia de nosotros, en la superficie interior de cierta esfera que se llama *bóveda celeste* o *cielo*. Desde cualquier punto de la Tierra en el momento dado se ven ~ 3000 estrellas. La disposición mutua de las estrellas en el cielo varía extraordinariamente despacio, que permite orientarse fácilmente.

- Todo el cielo se divide en 88 constelaciones - región del cielo estelar - con nombres de animales o de los héroes de la mitología o con los nombre de objetos que recordaban las figuras-que formaban los grupos de estrellas. Desde el siglo XVII las estrellas de cada constelación se empezaron a designar con las letras del alfabeto griego, además, las estrellas brillantes recibieron nombre propios: a del Can Mayor se llama Sirio, a de Lira es Vega...
- El Sol y la Luna se desplazan por el cielo de oeste a este pasando por las 12 constelaciones ($V_s = 1^\circ$ por día $t = 1$ año, $V_L = 13^\circ$ por día, $t = 27,32$ días) las constelaciones por las que pasan las rutas del Sol y de la Luna se denominan zodiacales (de la palabra griega zoo-animal) y sus nombres son: Peces, Carnero, Toro, Gemelos, Cangrejo, León, Virgen, Balanza, Escorpión, Sagitario, Capricornio y Acuario. Aquellas constelaciones en las que se encuentran el Sol en el momento dado son inaccesibles a las observaciones y solamente se hacen visibles después de aproximadamente medio año.

LAS CONSTELACIONES

- Las Constelaciones (latín *com*: reunión y *stelar*: brillar) son agrupaciones de estrellas en formas reconocibles hechas por los hombres quienes al observar el cielo quisieron encontrar en ellos a sus ancestros, dioses y leyendas.
- Las constelaciones no reflejan grupos reales de estrellas, ya que en una constelación sus componentes aunque parecen estar cercanos, en realidad pueden -y en la mayoría de los casos están - alejados unos de otros por cientos de años luz.
- La utilidad práctica de las constelaciones es la de servir de puntos de referencia para ubicar los objetos en el cielo, nombrar las estrellas bien sea por su magnitud (alfa, Beta, gamma etc) o por alguna clasificación numérica. La UAI ha promulgado las abreviaturas de tres letras para cada constelación.
- Las constelaciones clásicas son las mas antiguas y pertenecen en su mayoría al hemisferio norte debido a que era la parte del cielo observable desde Europa y el cercano oriente. Probablemente las primeras constelaciones hallan servido para la ubicación de los primeros marineros y viajeros terrestres.

LAS CONSTELACIONES

- Las primeras 48 constelaciones fueron catalogadas por [Claudio Ptolomeo](#) en el Siglo II en el Almagesto. La cultura occidental al tener una marcada influencia de las culturas griega, romana, árabe a través de la conquista por los europeos ha mantenido estas antiguas figuras hasta nuestros días. Se debe recordar sin embargo, que las culturas precolombinas en América así como las antiguas culturas orientales también tenían sus propias constelaciones de acuerdo a sus propias vivencias y creencias.
- Entre los años 1600 y 1800, durante las épocas de conquista del nuevo mundo y los viajes al hemisferio sur se describieron las constelaciones "modernas". Las regiones alrededor del polo sur fueron pobladas por varios astrónomos: en el siglo XVII [Johann Bayer](#) nominó 12, Jakob Bartsch 3 y [Johannes Hevelius](#) 7. [Nicolás Louis Lacaille](#) en un viaje a África del Sur nombró 14 mas. Bayer siguió la tradición de colocar nombres antiguos relacionados principalmente con el mar y sus criaturas. Lacaille por ultimo rompió la tradición de los nombres antiguos y bautizó con nombres modernos las constelaciones que describió. En el año de 1930 la Unión Astronómica Internacional (UAI) adoptó 38 de las constelaciones modernas y dibujó los limites rectangulares de las todas las 88 existentes.

LAS CONSTELACIONES

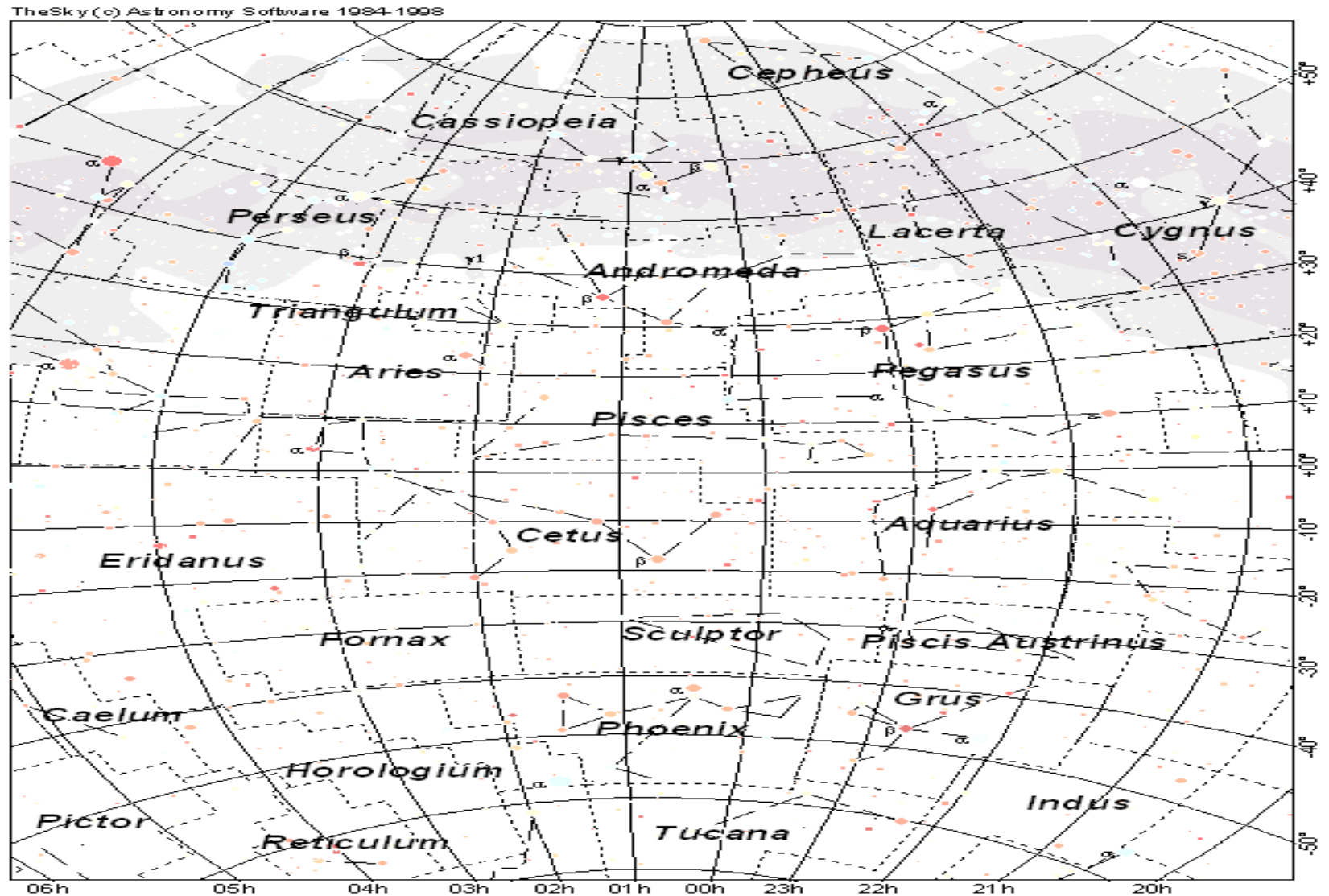
- Muchas constelaciones contienen dentro de su forma agrupaciones que se describen independientemente -y en muchos casos son mas fácilmente reconocidas que la propia constelación-, a estos "subgrupos" se les denomina *asterismos* como son el Cucharón de la Osa Mayor o la Tetera de Sagitario. Otros asterismos son los que se construyen con estrellas de diferentes constelaciones como el Triangulo estival entre Deneb (Cisne), Atair (Águila) y Vega (Lira).
- Las famosas constelaciones del Zodiaco (del griego *Zodiacis*: circulo de animales) provienen desde hace 3000 años de las culturas Babilonia y Caldea. En ese tiempo el Sol pasaba a través de estas constelaciones lo que ellos identificaron al observar con detenimiento las salidas y puestas del astro rey. Desde esa época hasta la actual la "ruta" del sol a través de las constelaciones a variado debido al movimiento de cabeceo de la Tierra que la hace girar lentamente como un trompo que pierde su impulso, lo que ocasiona la presesión de los equinoccios. De esta manera, en los días actuales el Sol pasa a través de 13 constelaciones a lo largo de la eclíptica: después de dejar Escorpión en la ultima semana de Noviembre pasa por Ofiuco a principios de Diciembre antes de llegar a Sagitario al final del mismo mes. La creación del Zodiaco (como lo anota Germán Puerta, astrónomo Colombiano) puede provenir de la necesidad de fijar ciclos de referencia deduciendo esto de la falta de estrellas de magnitud en las constelaciones de Pisis y Aquarius. De esta manera, el círculo de estas constelaciones esta dividido por doce elementos que representan las doce lunas llenas sucesivas a lo largo del año. En la astronomía moderna se considera el Zodiaco como una banda imaginaria de la esfera celeste que se extiende 8° a cada lado de la eclíptica en la cual transita el Sol, la Luna y los planetas y se deben dejar de lado las descripciones astrológicas de este especial grupo.
- Las constelaciones en las cartas celestes tienen dos tipos de representaciones: marcos o bordes y líneas. Los bordes de las constelaciones fueron creados por Eugene Delporte en los primeros años de 1900, estas líneas crean limites como las fronteras de los países en los mapas terrestres. Las líneas de las constelaciones unen las estrellas principales dando forma a la figura que les da el nombre, estas líneas cambian con frecuencia de una carta celeste a otra.

LAS 88 CONSTELACIONES (<http://almaak.tripod.com/>)

Andrómeda	Antlia	Apus	Acuario	Águila
Ara	Aries	Auriga	Boyero	Caelum
Camelopardalis	Cáncer	Canes Venatici	Can Mayor	Can Menor
Capricornio	Carina	Casiopea	Centauro	Cefeo
Cetus	Camaleón	Circinus	Columba	Coma Berenice
Corona Austral	Corona Boreal	Cuervo	Cráter	Cruz
Cisne	Delfín	Dorado	Dragón	Equuleus
Eridano	Fornax	Géminis	Gruya	Hércules
Horologium	Hydra	Hydrus	Indio	Lacerta
Leo	Leo Menor	Lepus	Libra	Lupus
Lynx	Lira	Mensa	Microscopio	Monoceros
Mosca	Norma	Octante	Ofiuco	Orión
Pavo	Pegaso	Perseo	Fénix	Pictor
Piscis	Piscis Austrinus	Popa	Pyxis	Reticulo
Sagitta	Sagitario	Escorpión	Escultor	Escudo
Serpiente	Sextante	Tauro	Telescopio	Triángulo
Triángulo Austral	Tucán	Osa Mayor	Osa Menor	Vela
Virgo	Volans	Vulpécula		

Andrómeda

La Doncella Encadenada



Es una de las constelaciones más importantes del hemisferio norte, sin embargo, sus estrellas componentes no son de gran magnitud. Se encuentra entre el cuadrado de [Pegaso](#) y [Casiopea](#). La estrella blanca azulada de segunda magnitud que constituye una de las esquinas del cuadrado de Pegaso es en realidad alfa And y pertenece a esta última constelación se le denomina Alpheratz-Sirah. Su objeto más sobresaliente es la galaxia de Andrómeda ubicada a más de 2 millones de años luz pero visible con el ojo desnudo.

Mitología

Casiopea es la madre de Andrómeda y esposa de Cefeo, rey de Etiopía. Estaba tan orgullosa de su belleza que se atrevió a rivalizar con las Nereidas. Las diosas marinas en respuesta a esta afrenta pidieron a Poseidón dios de los mares venganza y el, como resultado envía un monstruo marino ([Cetus](#)) a las costas del país que causa grandes males.

Para enfrentar esta situación [Cefeo](#) consulta al oráculo de Amón que responde que la única manera de calmar la ira de los dioses y librar al pueblo del monstruo es sacrificar a su hija Andrómeda exponiéndola atada a una roca en el acantilado como víctima propiciatoria, esperando que el monstruo se la llevara.

Así se realiza y Andrómeda es ofrecida a Cetus. En esto [Perseo](#) venía de regreso de su expedición contra la Gorgona, pero divisó a la víctima y en el acto se enamoró de ella. Acude junto al rey y le propone liberarla, a cambio de que se la de por esposa, con la aceptación de Cefeo, Perseo mata al monstruo mostrándole la cabeza de medusa convirtiéndolo en piedra.

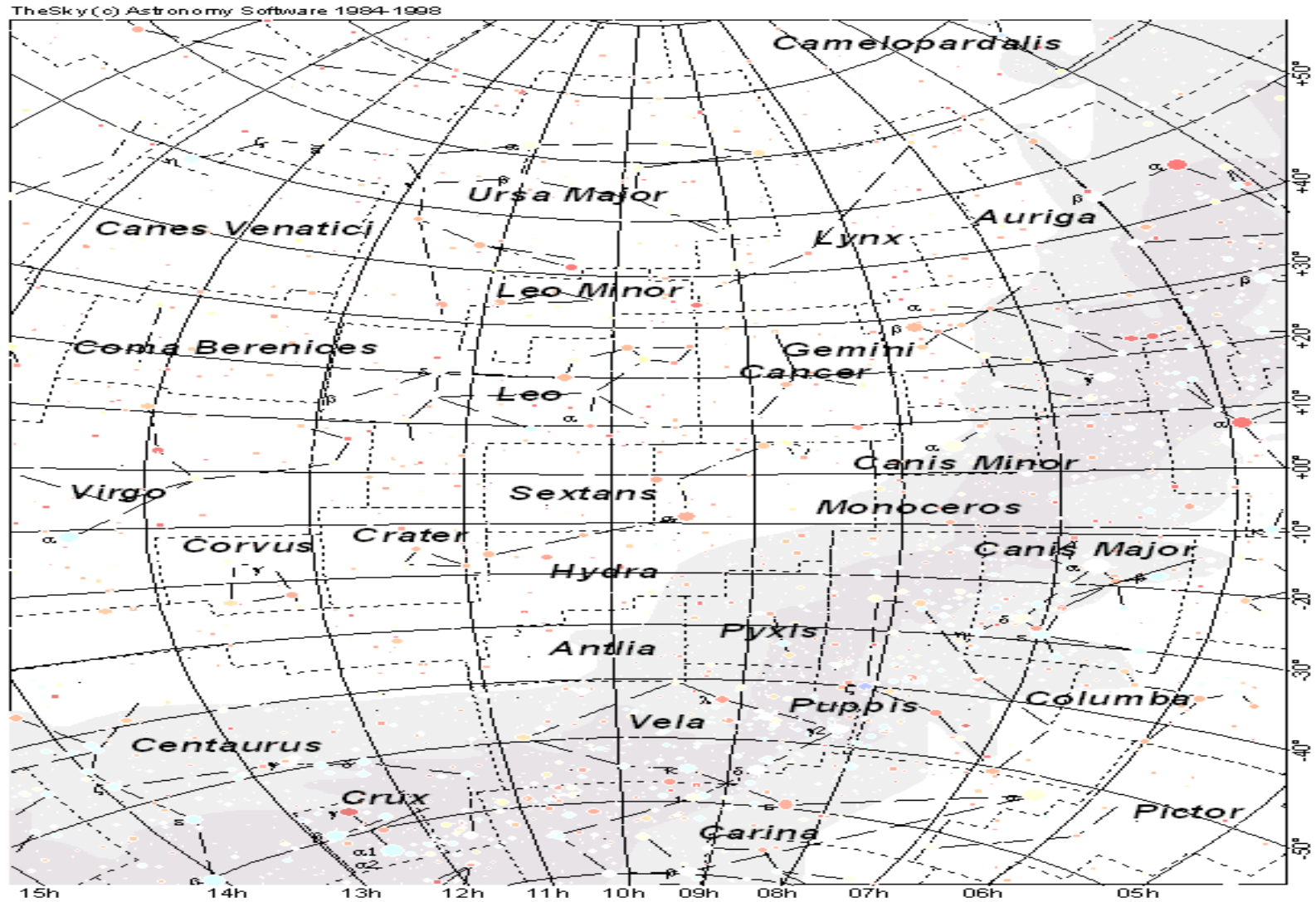
Fineo, hermano de Perseo que antes estaba comprometido con la joven, despechado, urde una conjura contra Perseo y con sus partidarios acorrala al héroe para matarlo. Este no tiene mas recurso que nuevamente mostrar la cabeza de la Medusa con la cual, gracias a su poder lo convierte en piedra pero también a los padres de ella.

Objetos de Interés

- **Alfa And. Alpheratz-Sirah.** AR: 00h 08m 22.0s Dec: +29°05'25" (Época 2000). Estrella doble, un componente blanco y otro púrpura.
- **Gamma And.** AR: 02h 03m 53.953s Dec: +42°19'47.009" (Época 2000). Es una de las mas bellas dobles en el cielo con un componente naranja y el otro verde, también es conocida como Almach.
- **Kappa And.** Doble amplia.
- **Otras dobles son:** Pi And, Tau And, Phi And y Omega And.
- **Galaxia de Andrómeda. M31 - NGC 224.** AR: 00h 42m 42.0s Dec: +41°16'00" (Época 2000). Se encuentra a una distancia del sol de 2.2 millones de años luz y es la galaxia mayor mas cercana a la Vía Láctea. Es visible con el ojo desnudo en noches oscuras como un glóbulo nubloso, su centro se define mucho mejor utilizando binoculares. En los telescopios de aficionado aparece como un mancha nubosa amarillenta. Tiene dos compañeras **M32 - NGC 221** AR: 00h 42m 42.0s Dec: +40°52'00" (Época 2000) y **M110 - NGC205** AR: 00h 40m 24.0s Dec: +41°41'00" (Época 2000). La primera aparece con binoculares como una mancha redonda brillante y la segunda un poco mas tenue.
- **NGC 752.** AR: 01h 57m 48.0s Dec: +37°41'00" (Época 2000). Cúmulo abierto se encuentra a 4.5° de Gamma And
- **NGC 891.** AR: 02h 22m 36.0s Dec: +42°21'00" (Época 2000). Galaxia espiral tenue y en grandes telescopios se le distingue una línea central oscura. Esta a 4° al este de Gamma And.
- **NGC 7662.** AR: 23h 25m 54.0s Dec: +42°33'00" (Época 2000). Llamada la bola de nieve azul, es una nebulosa planetaria azul verdosa se encuentra a 2.5° suroeste de Iota And. 3' al sur se encuentra **NGC 7640** AR: 23h 22m 06.0s Dec: +40°51'00" (Época 2000). una espiral barrada.

Antlia

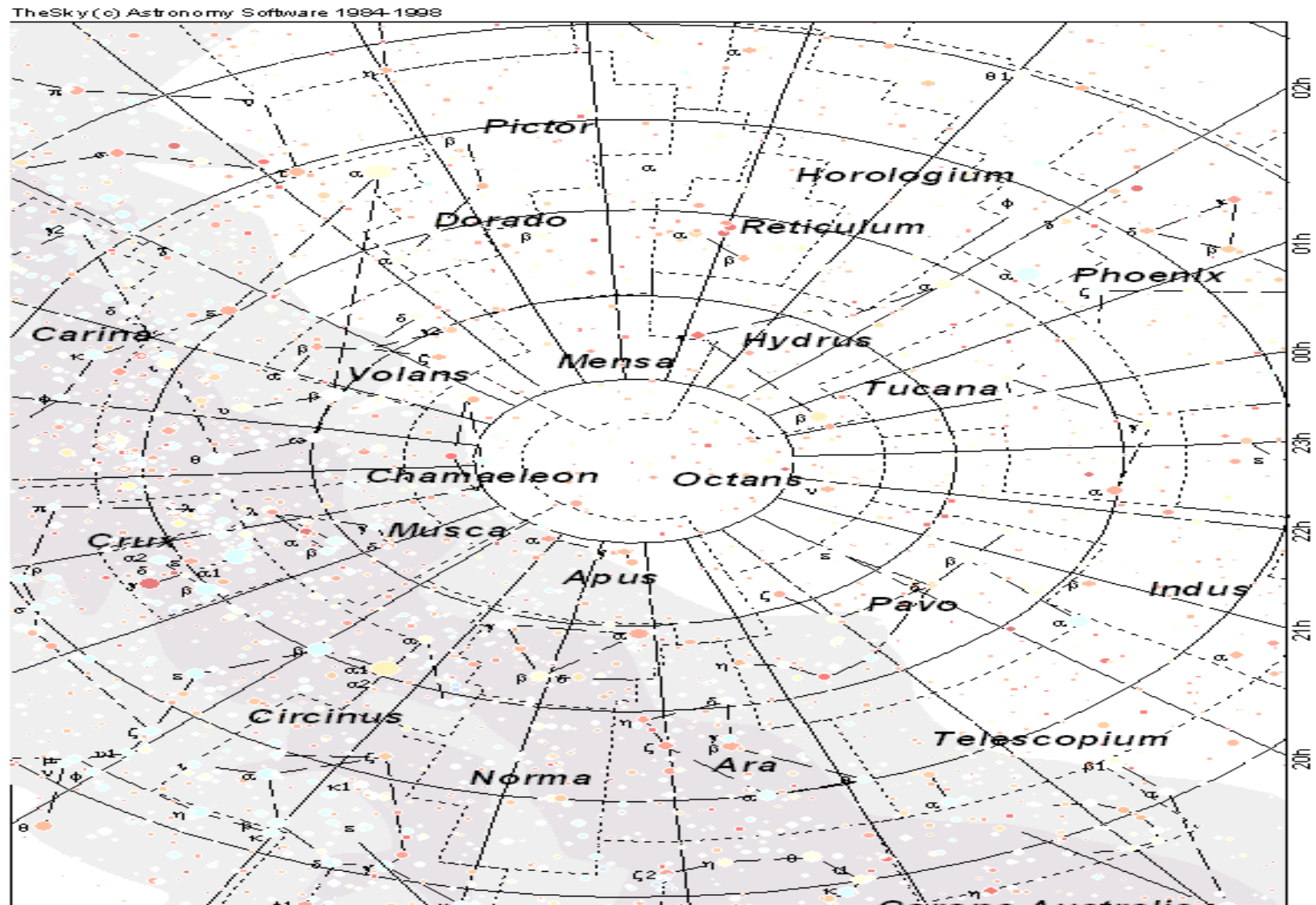
La Bomba de Aire



Antlia

- Fue introducida por Nicolás Louis de Lacaille a mediados del siglo XVIII. Ocupa parte del hemisferio sur.
- Mitología:
- Se conmemora con ella la Bomba de Aire que fue inventada por Robert Boyle.
- Objetos de Interés:
- Zeta Ant. Doble con amplia separación.
- Eta Ant. Doble pero mas separada.

Apus El Ave del Paraíso



Apus *El Ave del Paraíso*

Es una constelación del hemisferio sur muy pequeña adaptada y publicada en la uranometría de [Johann Bayer](#) en 1603

- **Mitología:**

Apus se refiere al ave del paraíso que en principio se llamó ave de la india. Otros indican que proviene de *apous* término que significa sin pies haciendo referencia al mito griego de algunos pájaros que parecían no tener patas.

- **Objetos de Interés:**

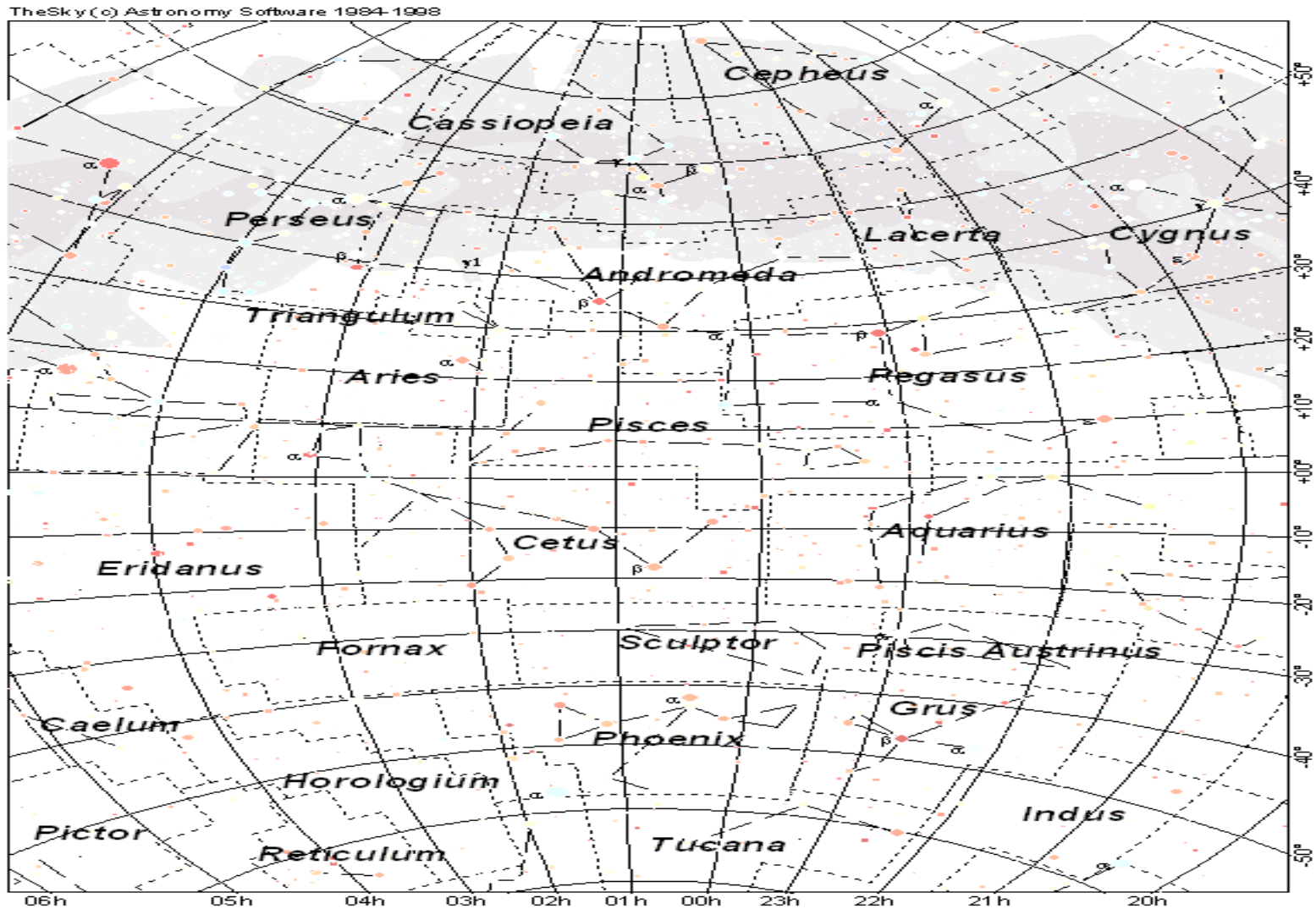
Delta Aps. Doble de dos gigantes anaranjadas

NGC 6101. *AR: 16h 25m 48.0s Dec: -72°12'00" (Época 2000).*

Cúmulo globular débil se encuentra 7° al norte de Gamma Aps.

Acuario

El Acuario

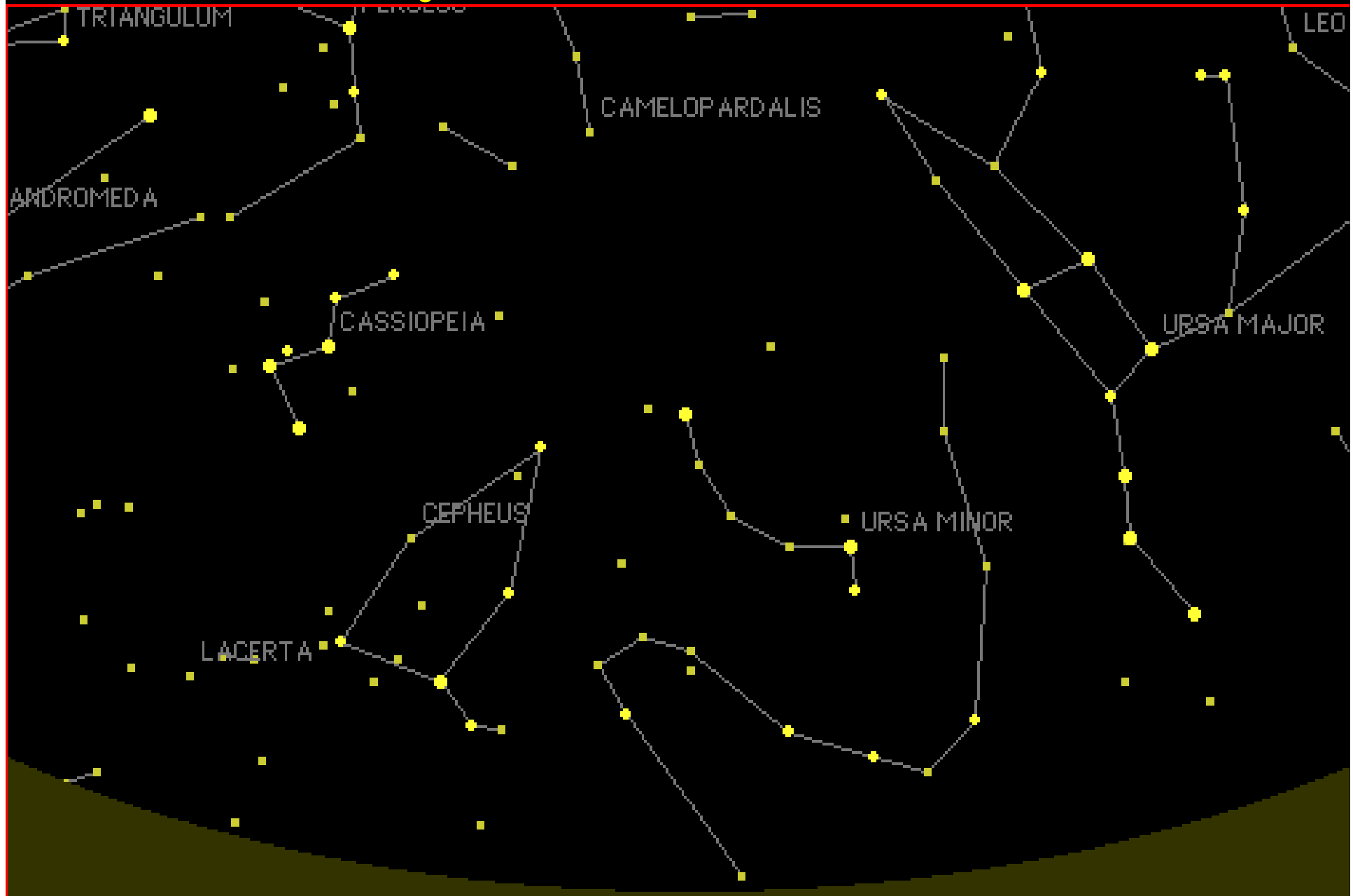


Acuario

Ocupa un gran espacio de firmamento sin que sus estrellas sean de gran magnitud.

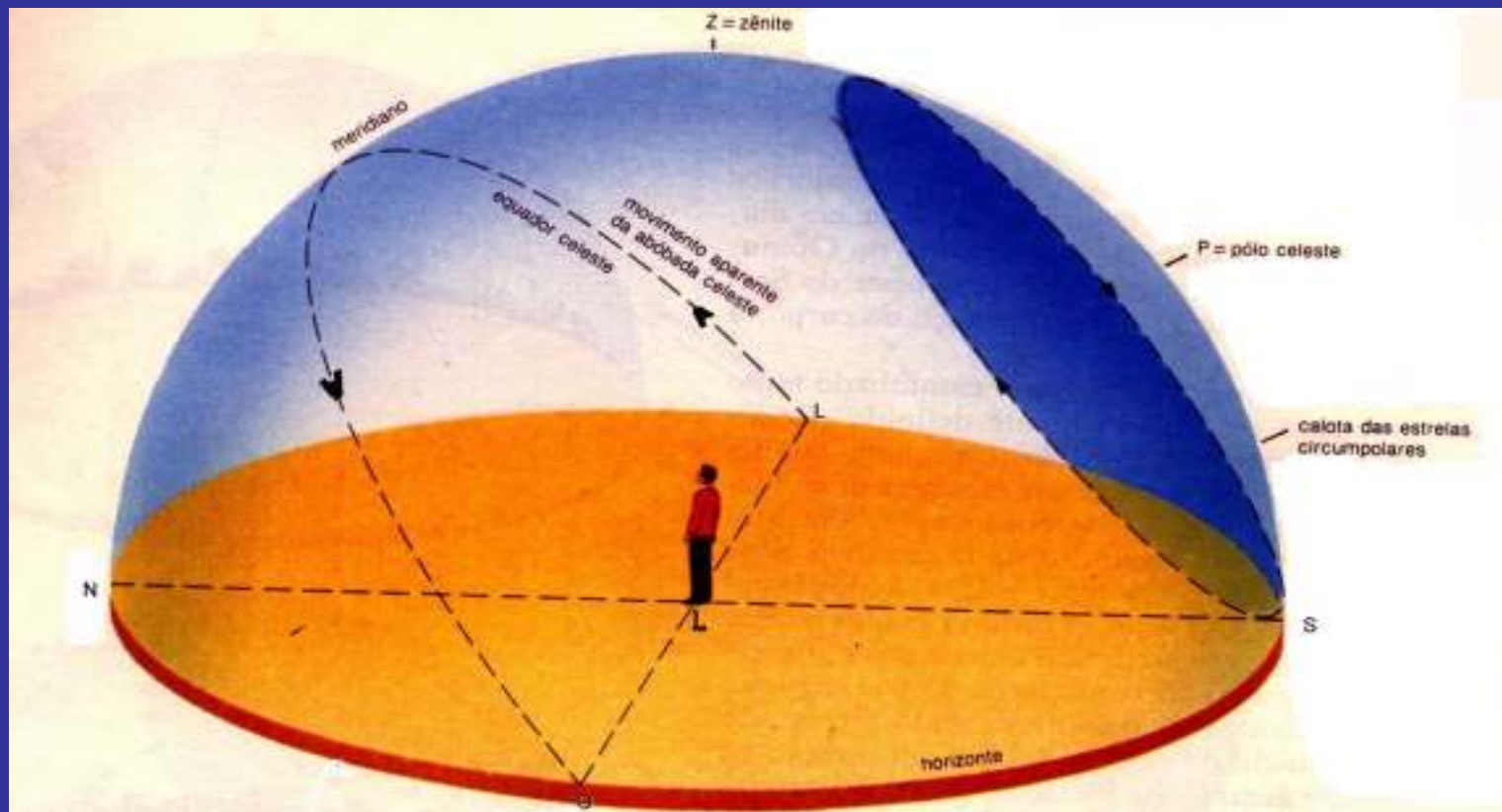
- **Mitología:**
- Se refiere a Ganímedes hijo de Laomedonte, Rey de Troya. Tenía por misión guardar los rebaños de su padre en las montañas. Era uno de los mortales mas hermosos y Zeus, enamorado de él se convierte en [águila](#) para raptarlo. Como compensación Zeus regaló a l padre del muchacho unos corceles divinos inmortales.
- Una vez en el Olimpo Ganímedes se convierte en el Copero divino encargado de servir a los dioses y especialmente a Zeus.
- **Objetos de Interés:**
- **Zeta Aqr.** AR: 22h 28m 49.912s Dec: -00°01'11.899" (Época 2000). Binaria de dos estrellas blancas
- **M2 (NGC 7089).** AR: 21h 33m 30.0s Dec: -00°49'00" (Época 2000).Cúmulo globular y muy brillante localizado a mas de 50.000 años luz se encuentra a 5° al norte de beta Aqr
- **M72 (NGC 6981).** AR: 20h 53m 30.0s Dec: -12°32'00" (Época 2000).Cúmulo globular alrededor de 3° al suroeste de NGC 6994.
- **M73 (NGC 6994).** AR: 20h 59m 00.0s Dec: -12°38'00" (Época 2000). Cúmulo de 4 estrellas no relacionadas a 1.5° al este de M 72.
- **NGC 7009 - Nebulosa Saturno.** AR: 21h 04m 12.0s Dec: -11°22'00" (Época 2000). Es una nebulosa planetaria espectacular en telescopios de gran tamaño. se encuentra 1° al oeste de nu Aqr.
- **NGC 7293 - Nebulosa Helix.** AR: 22h 29m 36.0s Dec: -20°48'00" (Época 2000). Es otra nebulosa planetaria cuya forma refleja la doble hélice del ADN. Se encuentra a 1.5° de upsilon Aqr.

El movimiento de la bóveda celeste en su conjunto alrededor de cierto eje imaginario que pasa a través del lugar de observación - *denomina movimiento diario* -.



- Entre las estrellas de las constelaciones zodiacales se advirtieron 5 astros que se parecían mucho a las estrellas, pero que se distinguían de éstas, errando por las constelaciones igual que el Sol y la Luna. Estos cuerpos fueron denominados *planetas* (astros errantes). Los antiguos romanos dieron a los planetas los nombres de sus dioses: *Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno*. En los siglos XVIII - XX se descubrieron 3 planetas más: *Urano* (1781), *Neptuno* (1846) y *Plutón* (1930).
- Los planetas se desplazan por las constelaciones zodiacales, la mayoría del tiempo de OE - E (es decir el mismo que el Sol y de la Luna) que se llama el *movimiento directo (m.d.)*, y una parte del espacio lo recorren de E - OE, que se denomina el *movimiento retrógrado (m.r.)*.
- Los planetas se dividen en dos grupos: *interiores o inferiores* (Mercurio, Venus) y *superiores o exteriores* (todos los demás excepto la Tierra).
- Las posiciones de los planetas respecto al Sol, se denominan *configuraciones de los planetas*.

Coordenadas: Astronomia Esférica



- El eje de rotación corta la superficie terrestre en dos puntos: el polo geográfico norte (P_N) y el polo geográfico sur (P_S).
- El círculo máximo en la superficie terrestre perpendicular al eje de rotación, se denomina ecuador terrestre.
- El ecuador terrestre divide la superficie terrestre en dos hemisferios: boreal (con el P_N) y austral (con el P_S).
- Los círculos menores paralelos al plano del ecuador terrestre, se denominan paralelos geográficos.
- El semicírculo máximo que pasa a través de los polos geográficos y del punto O de la superficie terrestre se llama meridiano geográfico del punto O.
- El meridiano geográfico que pasa a través del observatorio de Greenwich (Inglaterra) se llama el meridiano de origen o primer meridiano.
- El meridiano de origen y el meridiano que dista de éste 180° dividen la superficie terrestre en dos hemisferios: oriental (E) y occidental (OE).

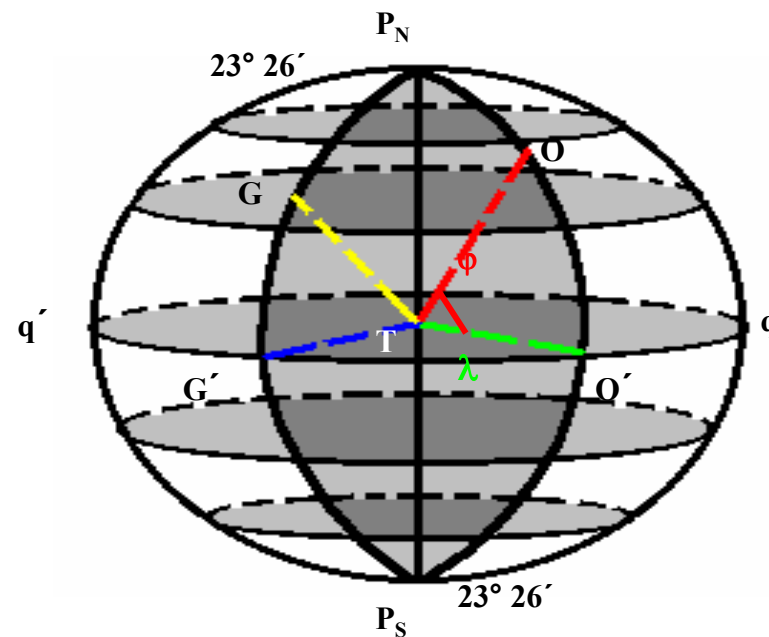
COORDENADAS GEOGRÁFICAS:

Latitud φ geográfica:

Es el ángulo $O'TO$ entre el plano del ecuador y la línea de aplomo del punto O. se mide: $0^\circ \div +90^\circ$ (latitud norte) y $0^\circ \div -90^\circ$ (latitud sur).

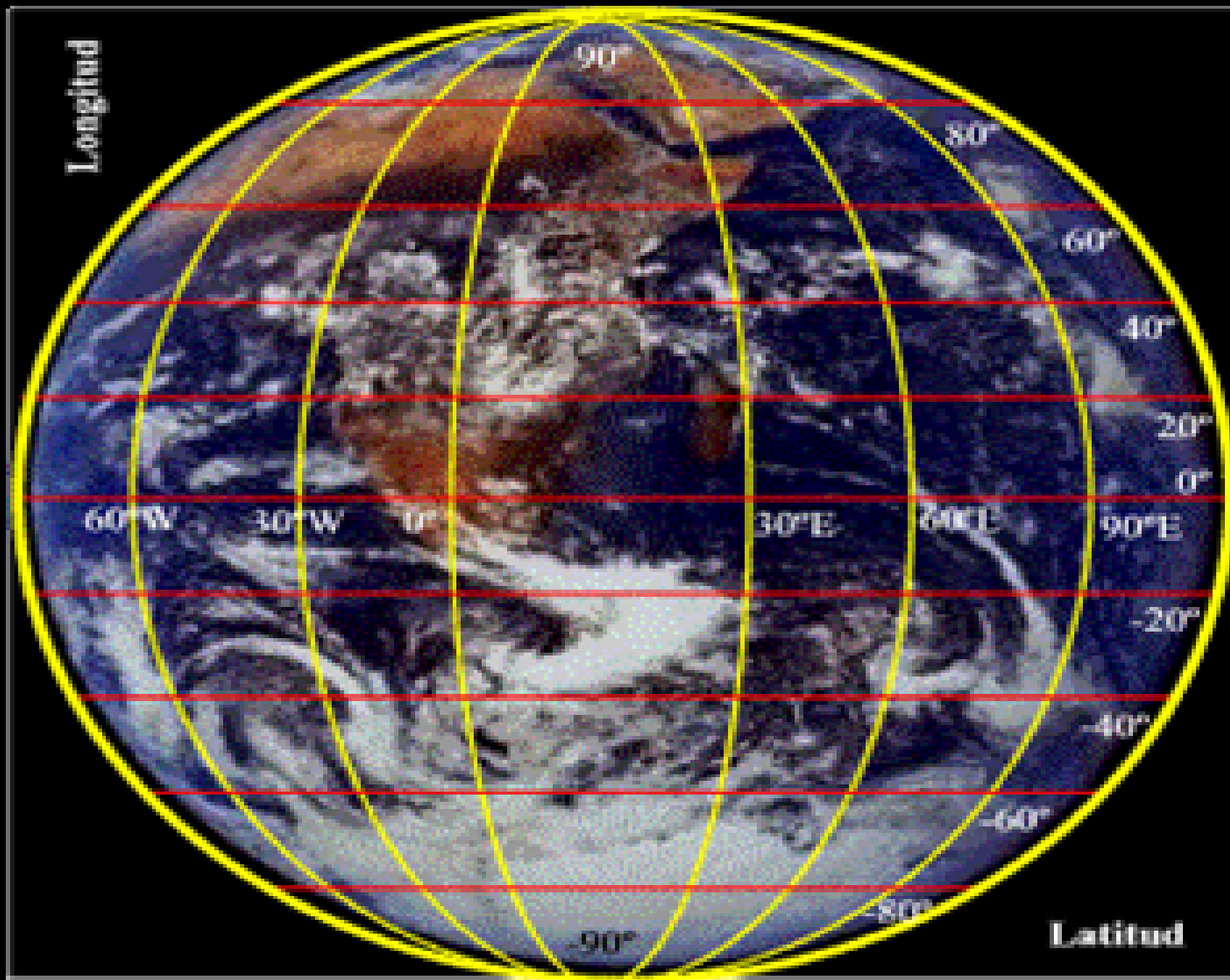
Longitud λ geográfica:

Es el ángulo $G'TO'$ entre los planos del meridiano de origen y del meridiano del punto O. Se mide hacia el Este del primer meridiano: $0^\circ - 360^\circ$.



COORDENADAS GEOGRÁFICAS

COORDENADAS GEOGRÁFICAS:



COORDENADAS CELESTES

- La posición del astro en el cielo se determina respecto a los planos de referencia, líneas y puntos de la esfera celeste y se expresa con dos magnitudes denominados coordenadas celestes.
- Se denomina esfera celeste a la esfera imaginaria con centro en un punto cualquiera del espacio, en cuya superficie los astros se disponen tal como se ven en el cielo en cierto momento desde este punto dado del espacio.
- En Astronomía se utilizan distintos sistemas de coordenadas celestes:
 - *Sistema Horizontal de Coordenadas*
 - *Primer Sistema Ecuatorial de Coordenadas*
 - *Segundo Sistema Ecuatorial de Coordenadas*
 - *Sistema de Coordenadas Eclíptica*
 - *Sistema de Coordenadas Galáctica*

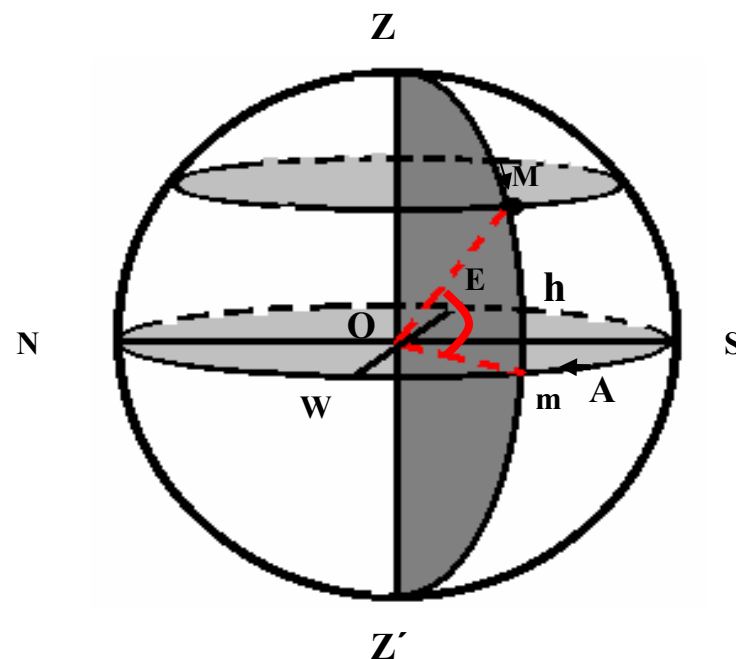
Sistema Horizontal de Coordenadas:

Altura (Altitud) h : es el arco mM o es el ángulo mOM. Se mide $0^\circ \div +90^\circ$ (hacia al Z) y $0^\circ \div -90^\circ$ (hacia Z')

Distancia Cenital z : es el arco ZM o el ángulo ZOM. Se mide $0^\circ \div 180$ en la dirección $Z \Rightarrow Z'$.

Acimut A : es el arco Sm o el ángulo SOm. Se mide $0^\circ \div 360^\circ$ hacia OE

- La recta ZOZ' se denomina **línea vertical o de aplomo**.
- La línea vertical interseca la esfera celeste: en el **cenit Z** (sobre la cabeza del observador) y en el punto opuesto, en **el nadir Z'**.
- El círculo máximo de la esfera celeste (SWNE) perpendicular a la línea vertical se llama **horizonte matemático**.
- El horizonte matemático divide la esfera celeste en dos mitades: **visible (con el Z)** y **la invisible (con el Z')**.
- El círculo menor (aMa) paralelo al horizonte matemático se denomina **almicantarát** del astro.
- El semicírculo máximo ZMZ' se llama **círculo de altitud o círculo vertical** del astro.
- Para un mismo astro siempre cumple: **$Z+h=90^\circ$**

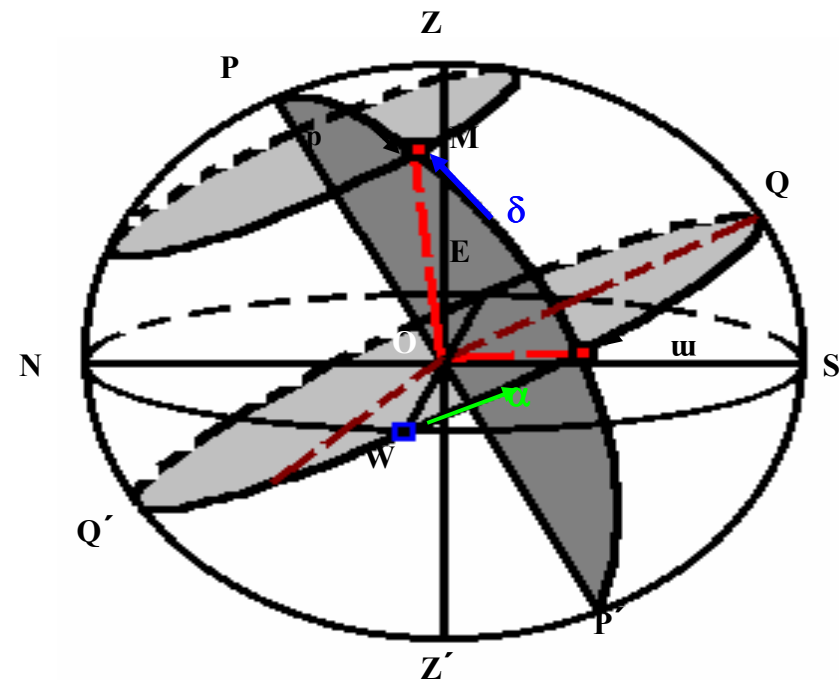


La esfera celeste y el sistema horizontal de coordenadas

- El diámetro PP' se denomina eje del mundo, alrededor cual rota la esfera celeste y es paralelo del eje de rotación terrestre.
- La Tierra rota de OE hacia E, y el cielo de E hacia OE (movimiento diurno).
- P es polo celeste boreal y P' es polo celeste austral.
- El círculo máximo QWQ'E perpendicular al eje del mundo se denomina ecuador celeste, que divide la esfera celeste en dos hemisferios: el boreal (con el P) y el austral (con el P').
- El ecuador celeste corta con el horizonte en: punto del oriente E y en el punto del occidente W.
- El círculo menor (bMb) paralelo al ecuador celeste se denomina paralelo celeste o diurno del astro.
- El semicírculo máximo PMP' se llama círculo horario o círculo de declinación del astro.
- El círculo máximo PZQSP'Z'Q'N se denomina meridiano celeste, que divide la esfera celeste en dos hemisferios: el oriental (con el E) y el occidental (con el W).

- El meridiano celeste y el horizonte matemático se cortan por la línea NOS, que se denomina línea meridiana, con el punto del norte N y el punto del sur S.

El meridiano celeste corta el ecuador: en el punto superior del ecuador Q (más cercano al cenit) y en el punto inferior del ecuador Q' (más cercano del nadir).



La esfera celeste y los sistemas ecuatoriales de coordenadas

Primer Sistema Ecuatorial de Coordenadas

Declinación δ : es el arco mM o el ángulo mOM . Se mide $0^\circ \div +90^\circ$ (hacia al P) y $0^\circ \div -90^\circ$ (hacia P')

Distancia Polar P : es el arco PM o el ángulo POM . Se mide $0^\circ \div 180$ en la dirección $P \Rightarrow P'$.

Ángulo horario t : es el arco Qm o el ángulo QOm . Se mide $0^\circ \div 360^\circ$

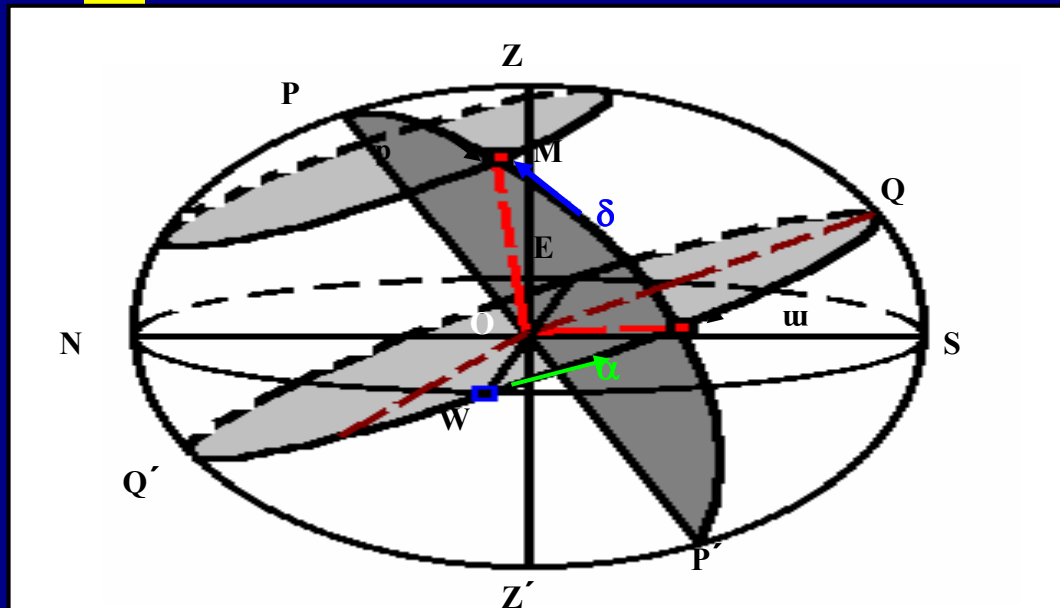
($0^h \div 24^h$)

Segundo Sistema Ecuatorial de Coordenadas

Declinación δ : es el arco mM o el ángulo mOM . Se mide $0^\circ \div +90^\circ$ (hacia al P) y $0^\circ \div -90^\circ$ (hacia P')

Distancia Polar P : es el arco PM o el ángulo POM . Se mide $0^\circ \div 180$ en la dirección $P \Rightarrow P'$.

Áscension recta α : es el arco ym o el ángulo yOm . Se mide $0^\circ \div 360^\circ$ ($0^h \div 24^h$)



La esfera celeste y los sistemas ecuatoriales de coordenadas

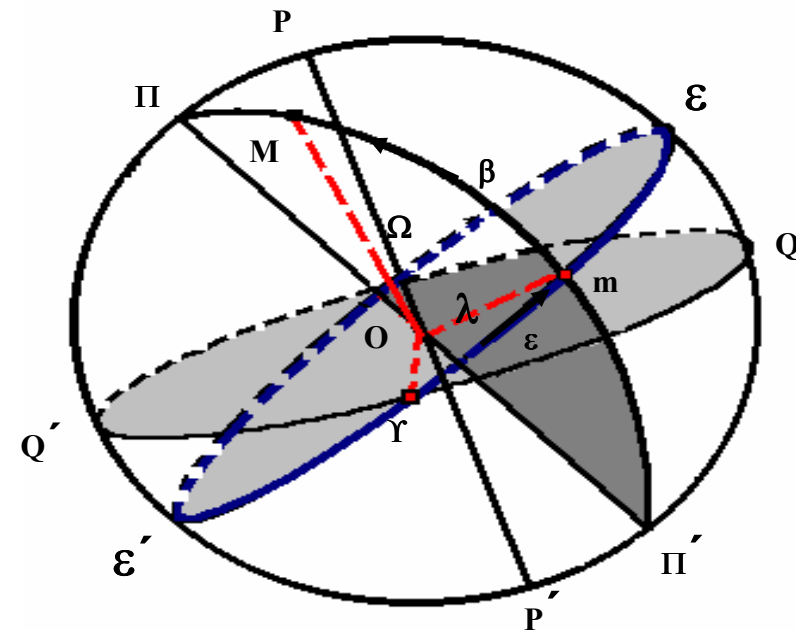
Para un mismo astro siempre cumple: $\delta + p = 90^\circ$

- La declinación del Sol en el transcurso del año varía desde $+23^{\circ}26'$ hasta $-23^{\circ}26'$.
- La ascensión recta del Sol en el transcurso del año también varía gradualmente desde 0° hasta 360° .
- Entonces, el Sol desplaza entre las estrellas de de OE hacia E por el círculo máximo denominado eclíptica.
- El plano de eclíptica está inclinado respecto al plano del ecuador celeste en un ángulo $23^{\circ}26'$.
- El diámetro $\Pi\Pi'$, perpendicular al plano de la eclíptica, se denomina eje de la eclíptica y corta la esfera celeste en el polo norte Π y el polo sur Π' de la eclíptica.
- La eclíptica corta al ecuador celeste en el punto de equinoccio de primavera Υ (21/III) (pasando desde sur hacia norte) y en el punto del equinoccio de otoño Ω (23/IX) (pasando desde el sur hacia norte).
- Los puntos de la eclíptica que distan 90° de los puntos del equinoccio se denominan punto del solsticio de verano (22/VI) ε (en el hemisferio norte) y punto del solsticio de invierno ε' (22/XII) (en el hemisferio sur).

Sistema de Coordenadas Eclíptica

Latitud eclíptica β : es el arco mM o el ángulo mOM . Se mide $0^{\circ} \div +90^{\circ}$ (hacia Π) y de $0^{\circ} \div -90^{\circ}$ (hacia Π').

Longitud eclíptica λ : es el arco Υm o el ángulo ΥOm . Se mide desde $0^{\circ} \div 360^{\circ}$ en la dirección $OE \Rightarrow E$

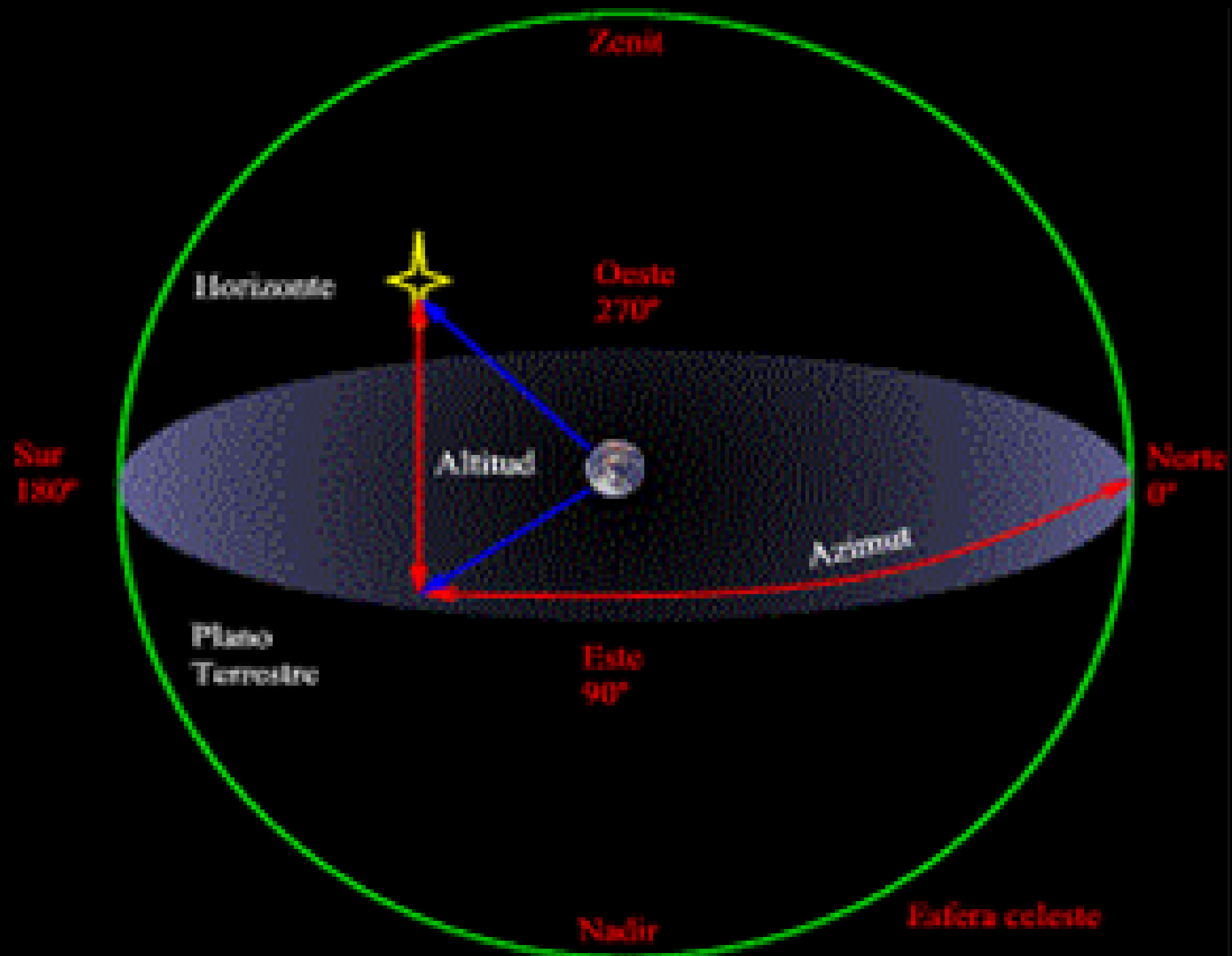


SISTEMA ECLÍPTICA DE COORDENADAS

APLICACIÓN DE COORDENADAS CELESTES

- ✓ Sistema Horizontal de Coordenadas: (varía constantemente como resultado de la rotación diurna de la esfera celeste) se utiliza para determinación de las posiciones aparentes de los astros.
- ✓ Primer Sistema Ecuatorial de Coordenadas: (t varía constantemente como resultado de la rotación diurna de la esfera celeste) se utiliza para determinación del tiempo exacto.
- ✓ Segundo Sistema Ecuatorial de Coordenadas: (no varían) se utiliza para la solución de problemas de la astrometría: se elaboran los catálogos y mapas estelares.
- ✓ Sistema de Coordenadas Eclíptica: se utiliza en la astronomía teórica para determinar las órbitas de los cuerpos celestes.
- **Sistema de Coordenadas Galáctica:**

COORDENADAS CELESTES



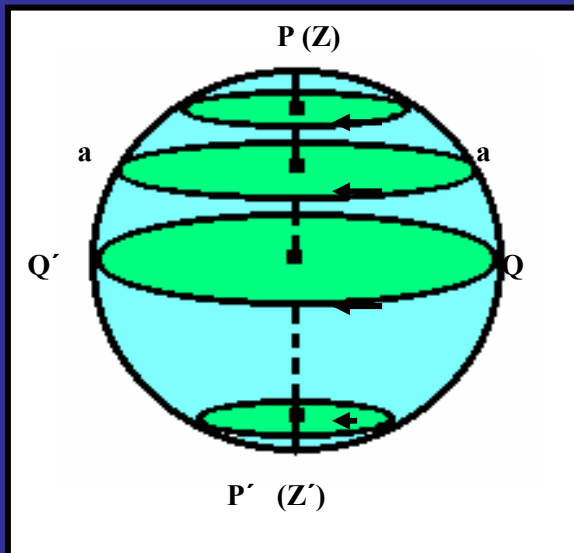
Dependencia entre la altura del polo celeste y la latitud geográfica.

- La rotación de la esfera celeste ($E \Rightarrow OE$) es un fenómeno aparente es resultado de la rotación real de la Tierra alrededor de su eje ($OE \Rightarrow E$).
- Por eso la rotación de la esfera celeste sucede alrededor del eje celeste, que es paralela al eje de rotación terrestre.
- La dirección de la línea de aplomo varía por la posición del observador en la superficie terrestre.
- Esta dependencia se formula con el teorema siguiente:

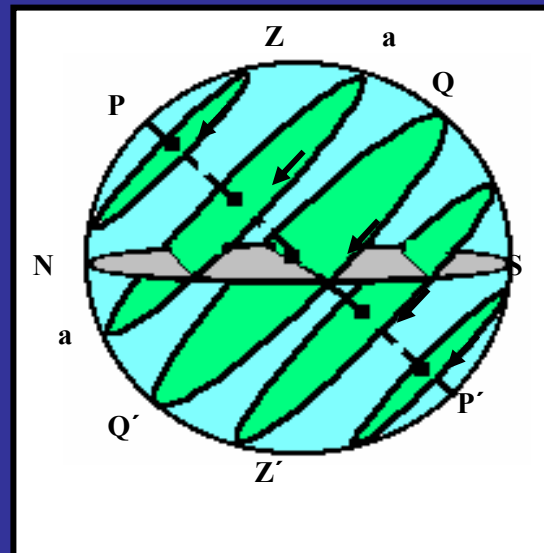
La altura h_p del polo celeste sobre el horizonte es igual a la latitud astronómica del lugar de observación. φ

(demostrar!)

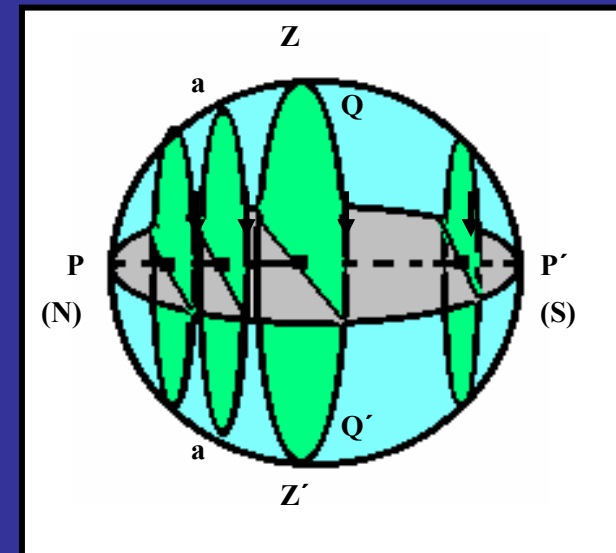
- El punto de intersección del astro con la parte oriental del horizonte se denomina punto de salida del astro y el punto de intersección del astro con la parte occidental del horizonte se denomina punto de puesta del astro.
- El fenómeno de intersección del meridiano celeste por el astro se llama culminación del astro.
- La culminación se denomina superior, si el astro corta la parte superior del meridiano celeste (que contiene Z) y se denomina inferior, si el astro corta la parte inferior del meridiano celeste (que contiene Z').
- Todos los astros describen círculos cuyos planos son perpendiculares del eje del mundo o son paralelos al plano del ecuador celeste. Por eso y por el teorema anterior:



Movimiento diario de los astros en los polos



Movimiento diario de los astros en las latitudes medias



Movimiento diario de los astros en el ecuador

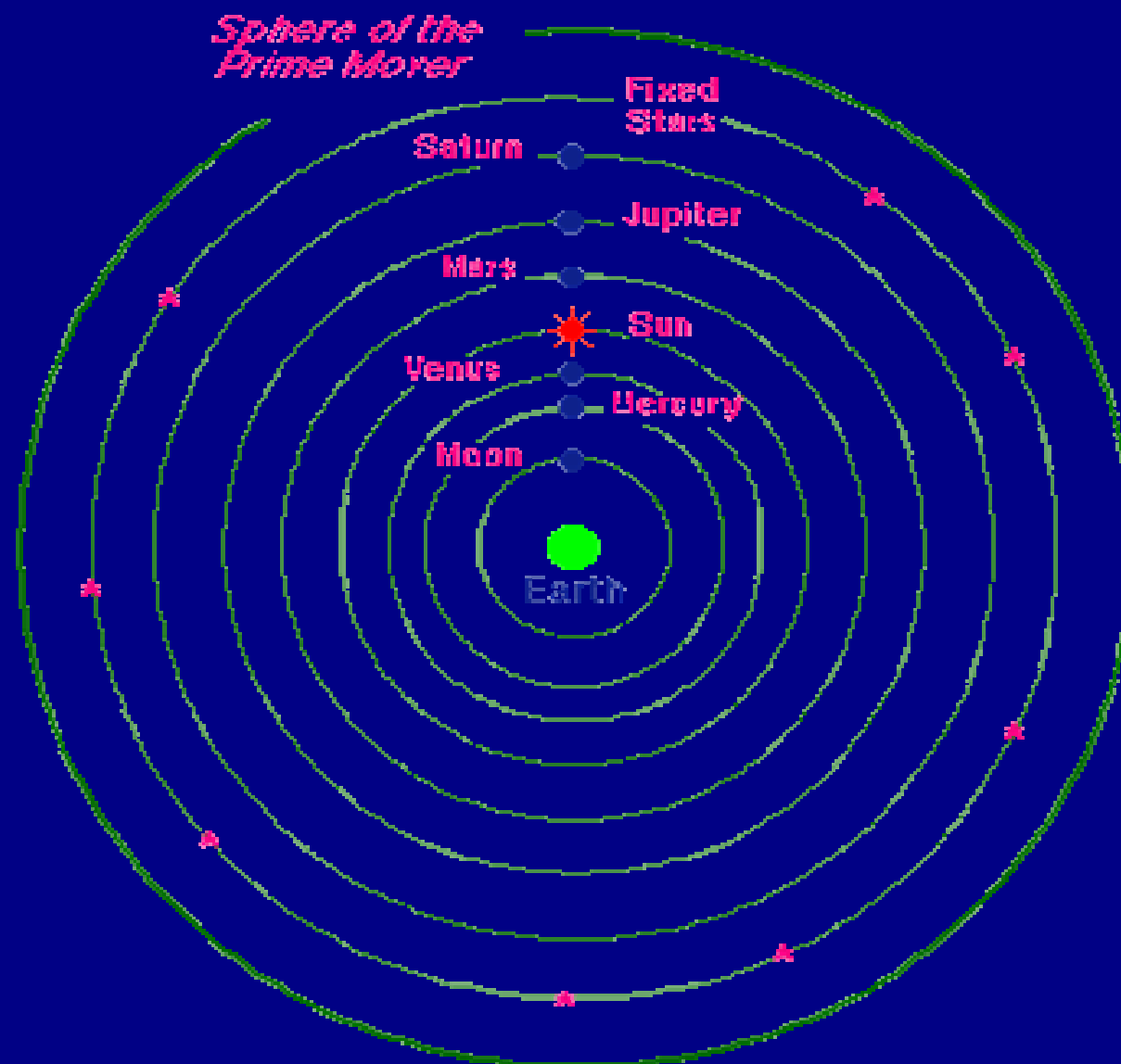
Organización del Universo y Unidades astronómicas

→ Entre los astrónomos antiguos existían dos puntos:

- **Tierra en el centro:** La Tierra es inmóvil y se encuentra en el centro del mundo (Apoyo de la religión).
- **El sol en el centro:** La Tierra gira alrededor del Sol que es el centro del mundo

El sistema del mundo de Ptolomeo (año 140 DC) se basa en 4 supuestos fundamentales:

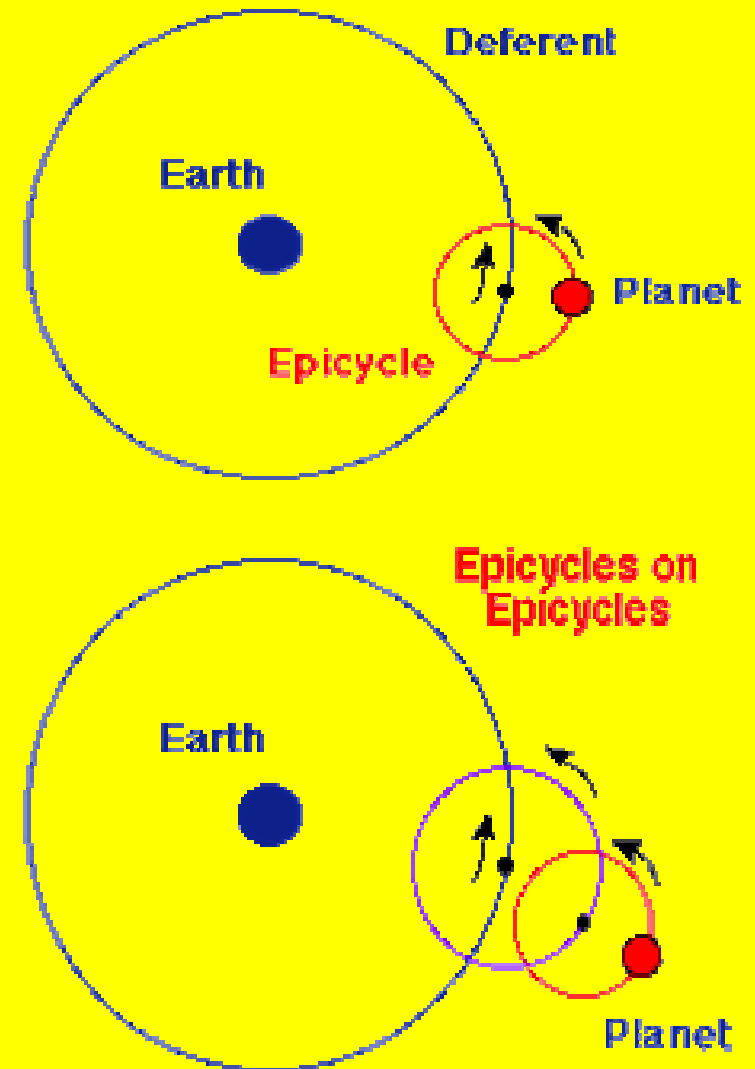
- » *La Tierra se encuentra en el centro del Universo.*
- » *La Tierra es inmóvil.*
- » *Todos los cuerpos celestes se mueven alrededor de la Tierra.*
- » *El movimiento de los cuerpos celestes es uniforme.*

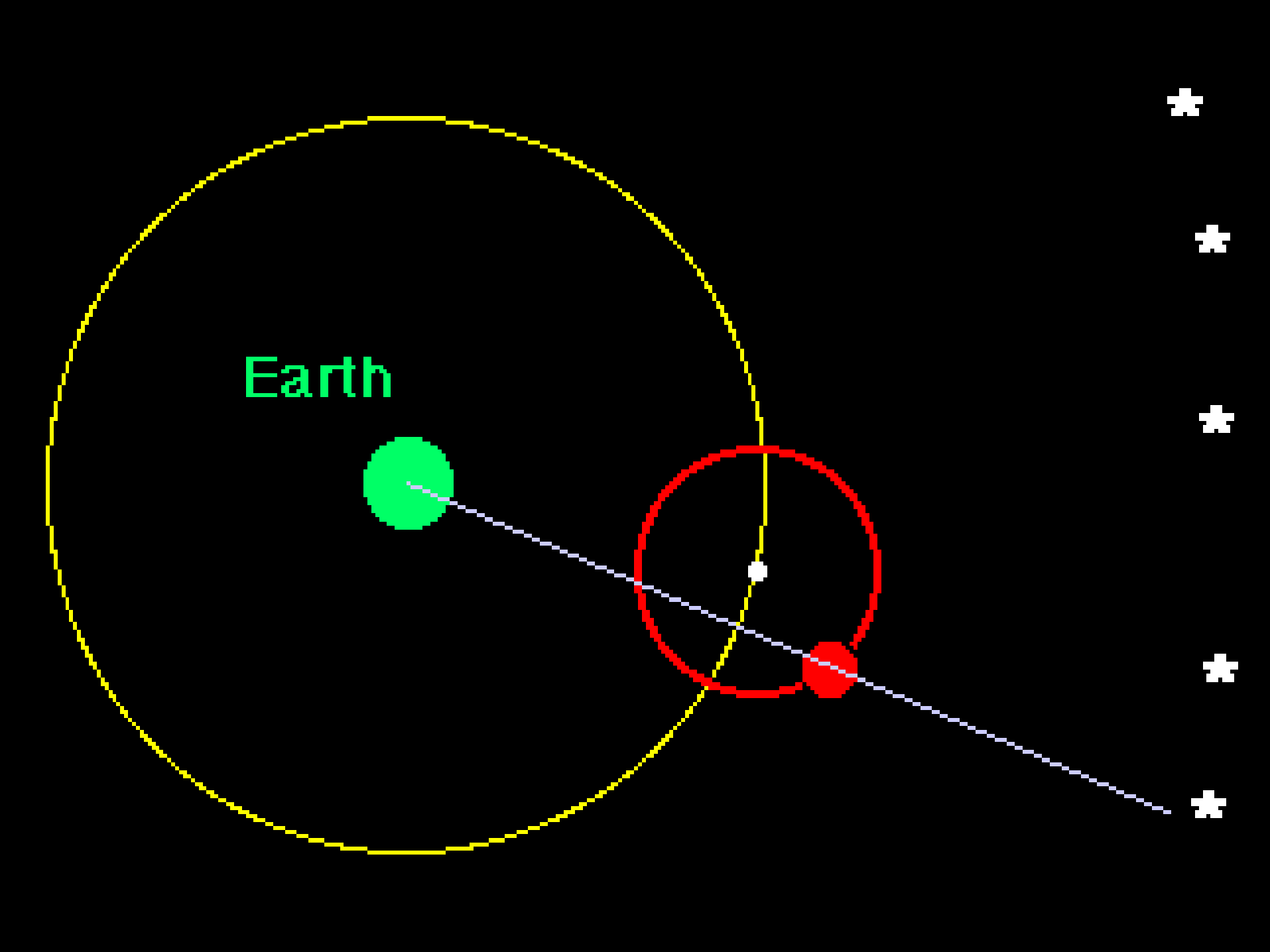


Aristotle's Universe

El sistema del Mundo del Ptolomeo - Geocéntrico

- El movimiento diurno de todos los astros se explicaba por la rotación del Universo como un todo alrededor de la Tierra inmóvil.
- Los movimientos directos y retrógrados de los planetas se explicaban de la siguiente manera: los planetas se mueven uniformemente por círculos (epiciclos) cuyos centros, a su vez se mueven por otros círculos (deferentes) en cuyo centro común se encuentra la Tierra inmóvil.
- El sistema de Ptolomeo explicaba los movimientos aparentes de los planetas y permitía también calcular la posición de éstos en el futuro. Pero al comienzo del siglo XVI el sistema de Ptolomeo era tan complicado que ya no podía satisfacer las exigencias



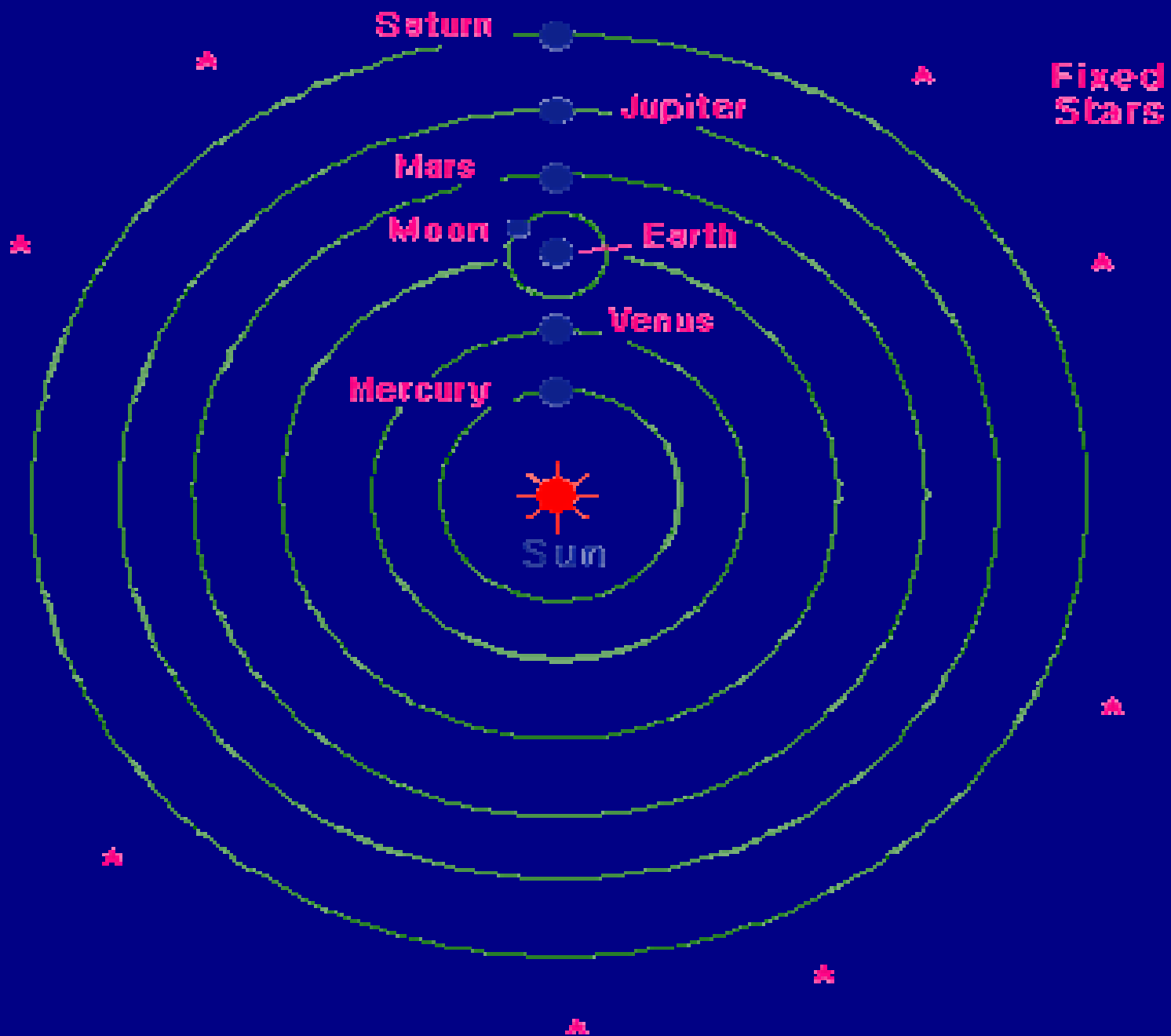


El Sistema del Mundo Copérnico - Heliocéntrico (año 1543)

- Las afirmaciones:
 - En el centro del mundo se encuentra el Sol y no la Tierra.
 - La Tierra esferoidal gira alrededor de su eje y esta rotación explica el movimiento aparente diurno de todos los astros.
 - La Tierra al igual que los demás planetas, gira alrededor del Sol y esta rotación explica el movimiento aparente del Sol entre las estrellas.
 - Todos los movimientos aparecen en forma de combinaciones de movimientos uniformes circulares.
 - Los movimientos aparentes directos y retrógrados de los planetas no pertenecen a estos sino a la Tierra.

El Sistema del Mundo Copérnico - Heliocéntrico

- Además Copérnico consideraba que la Luna se mueve alrededor de la Tierra como satélite y junto con la Tierra se mueve alrededor del Sol. Copérnico, por primera vez en la astronomía, formuló un plan correcto de la estructura del Sistema Solar, habiendo determinado distancias relativas de los planetas al Sol y los períodos de revolución de los planetas.
- El movimiento diurno de todos los cuerpos celestes era correctamente considerado por Copérnico como aparente, por la rotación de la Tierra alrededor de su eje. También, el movimiento aparente anual del Sol por la eclíptica, Copérnico explicó por el movimiento verdadero de la Tierra alrededor del Sol. Los movimientos directos y retrógrados de los planetas los explicaba como combinación de los movimientos de los planetas y la Tierra por sus respectivas órbitas alrededor del Sol.

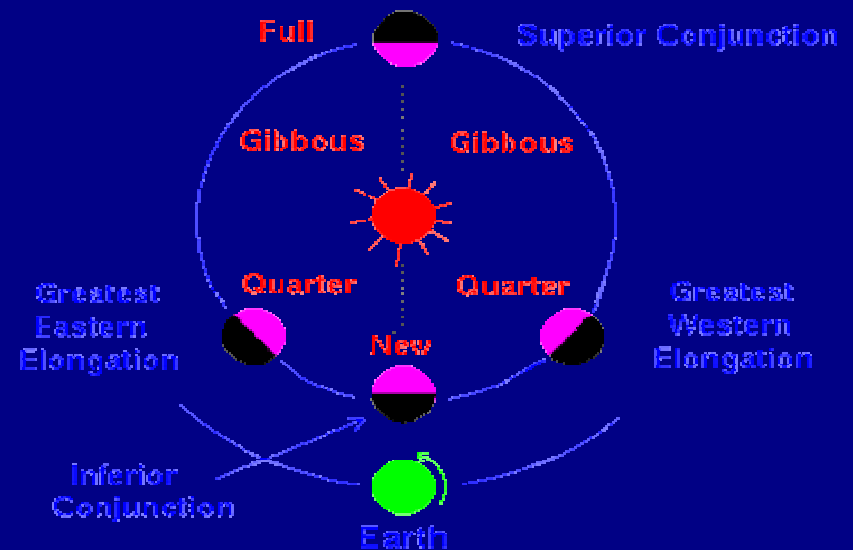


Las Configuraciones de los Planetas

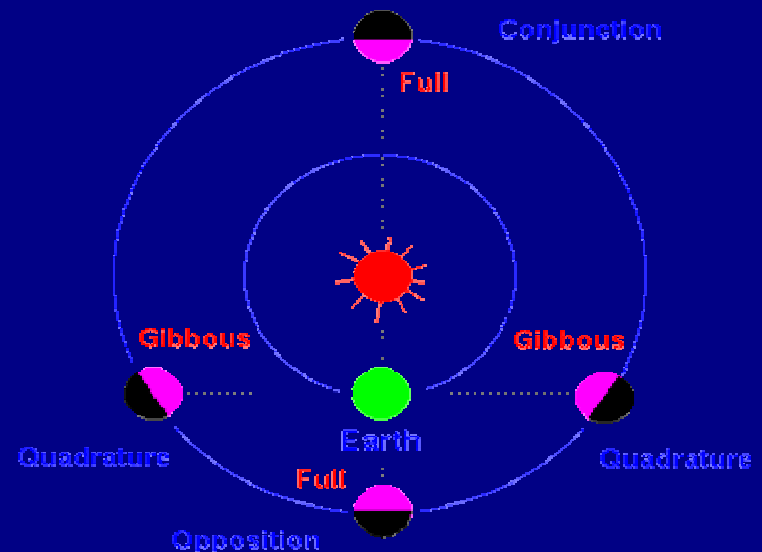
- Durante su movimiento por las órbitas los planetas pueden ocupar distintas posiciones respecto al Sol y a la Tierra:

➤ Un planeta inferior V se verá desde la Tierra: en conjunción inferior (V1) o conjunción superior (V3) con el Sol, en las elongaciones máxima occidental (V2) o máxima oriental (V4).

➤ Un planeta superior M se verá desde la Tierra: en oposición (M1), en conjunción (M3), en cuadraturas occidental (M2) y oriental (M4).



Aspects & Phases of the Inferior Planets

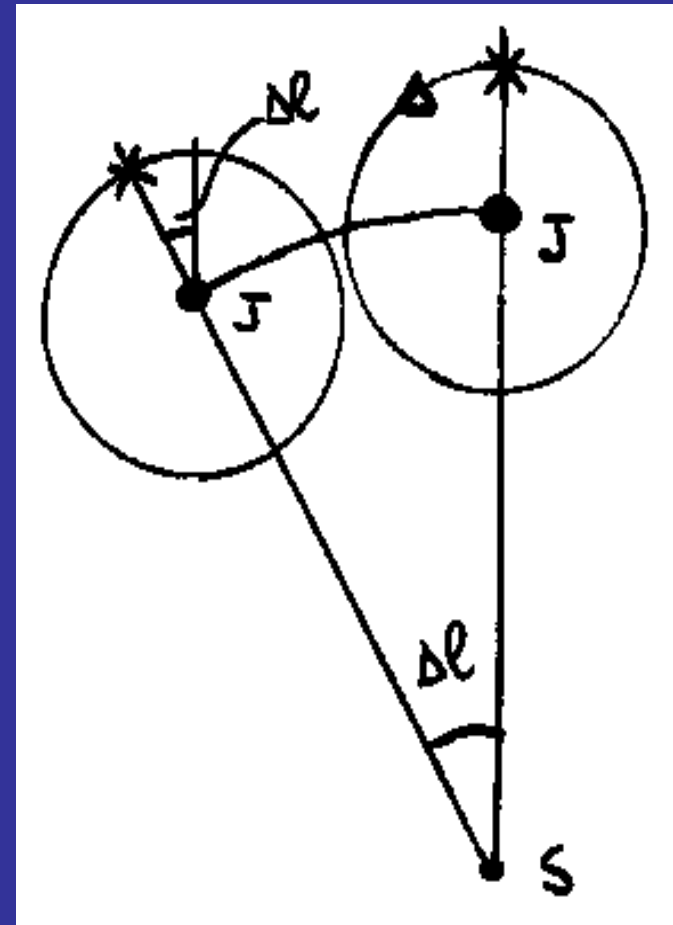
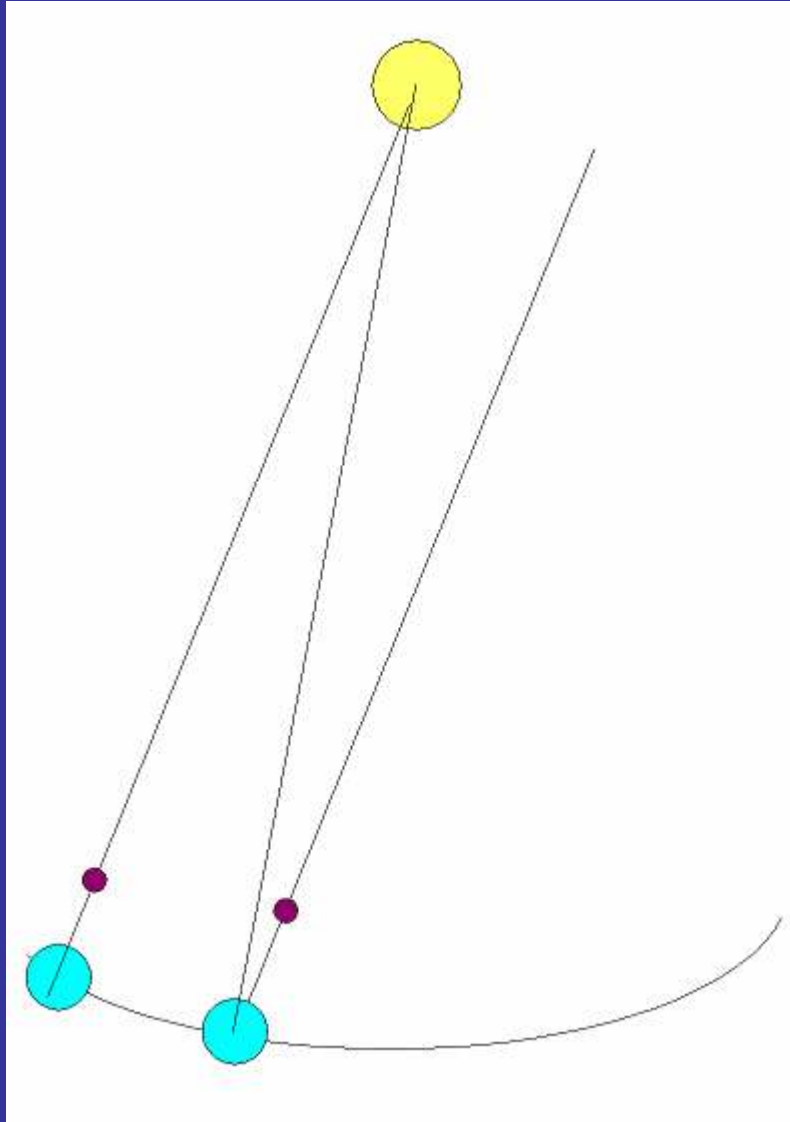


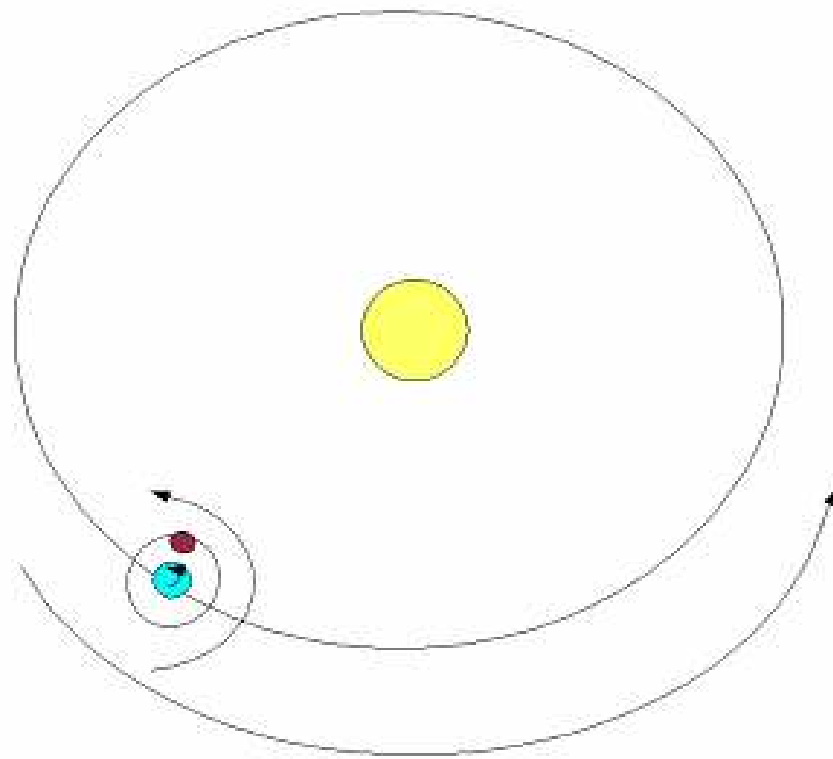
Aspects & Phases of the Superior Planets

Períodos de Rotación Sinódicas y Sidéreas de los Planetas

- Se denomina período sidéreo o estelar de rotación (T) del planeta al intervalo de tiempo en el transcurso del cual el planeta da por su órbita una vuelta completa alrededor del Sol.
- Se denomina período sinódico de rotación (S) del planeta al intervalo de tiempo entre dos configuraciones sucesivas homónimas de dicho planeta.
- El período sidéreo de rotación de la Tierra se llama año sidéreo ($T_{\oplus}=365,256$ días)
- El desplazamiento angular diurno del planeta por la órbita es $360^{\circ}/T$
Y el de la Tierra es $360^{\circ}/T_{\oplus}$
- La diferencia de los desplazamientos diurnos angulares del planeta y de la Tierra es el traslado diurno aparente del planeta, es decir, $360^{\circ}/S$.
- Entonces, para los planetas inferiores : $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}}$
- Y para los planetas superiores: $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}$
- Estas igualdades se denominan ecuaciones del movimiento sinódico. Durante las observaciones sólo pueden ser determinados directamente los S y $T_{\oplus}$; Los periodos T se calculan .

Período sinódico (respecto al Sol)





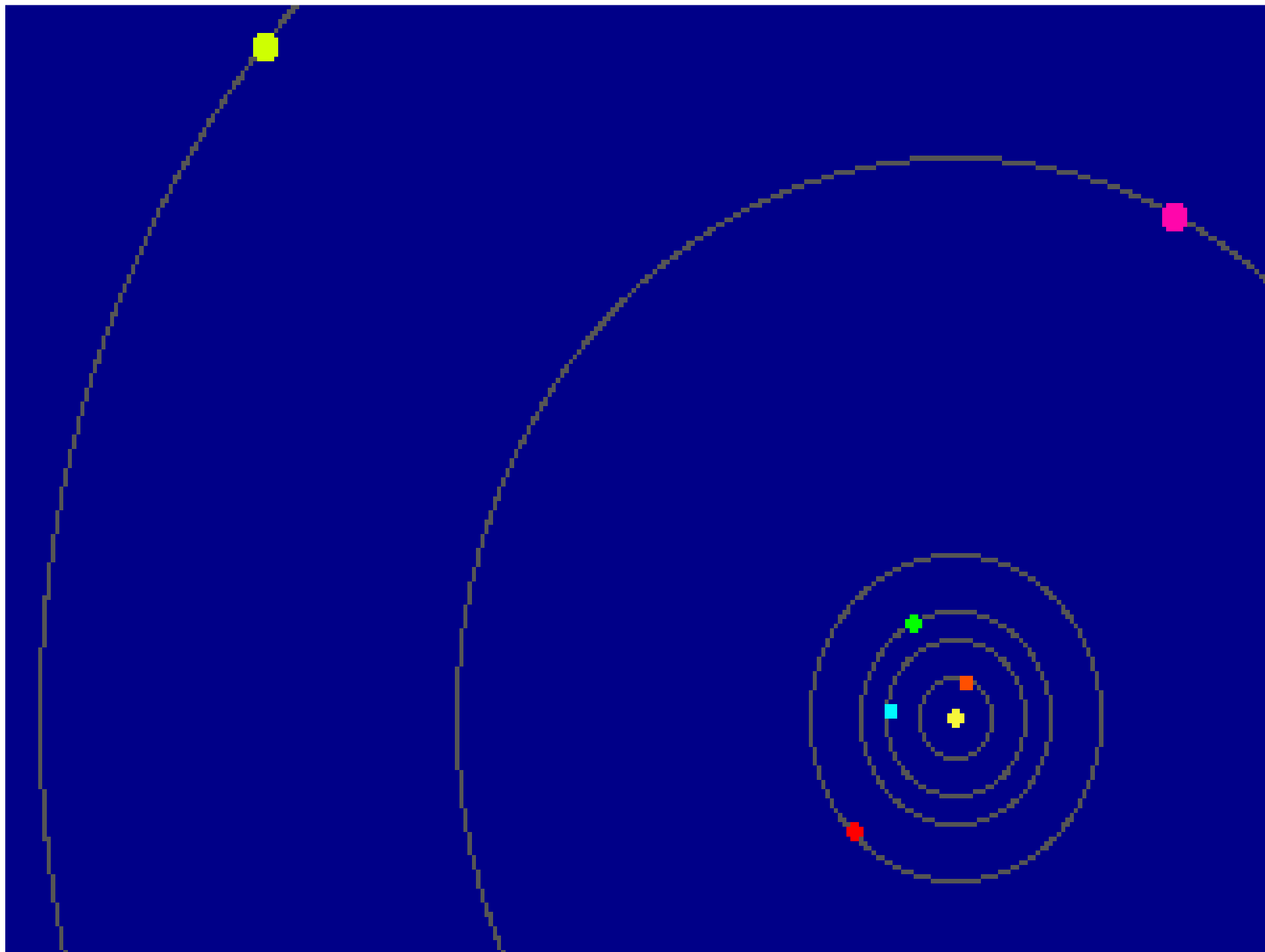
Retrograde Motion in the Copernican System

← East



West →

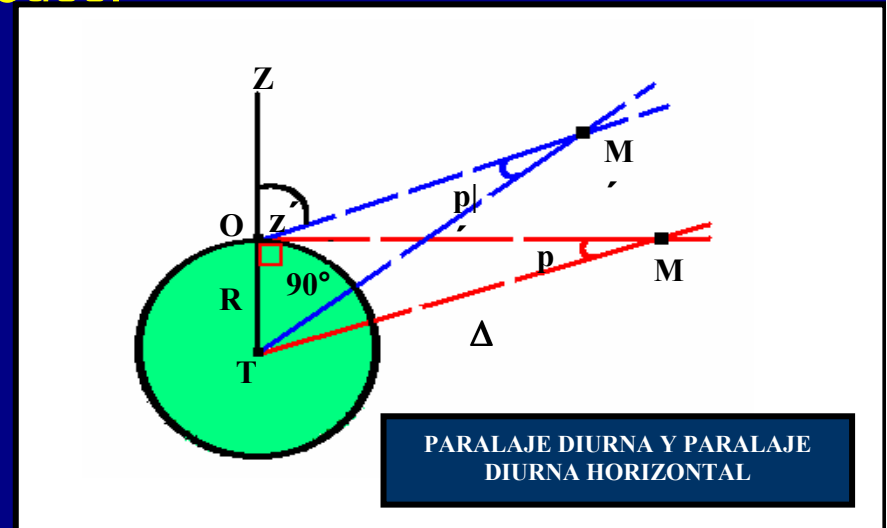




Paralaje Diurna

- La paralaje diurna es el ángulo p' con el que desde el astro vería el radio de la Tierra en el nivel de observación.
- Si el astro se observa en el horizonte su paralaje diurna adquiere un valor máximo y se denomina paralaje horizontal p .
- La Tierra tiene la forma de un esferoide, con el radio ecuatorial $R_t=6\,378\text{ km}$ y las paralajes horizontales calculadas para R_t ecuatorial se denominan paralajes horizontales ecuatoriales p_0 y estas paralajes de los cuerpos del Sistema Solar se dan en todos los catálogos.

$$\Delta = \frac{R}{\text{sen} p_0}$$



- Con esta fórmula se determinan las distancias hasta los cuerpos del Sistema Solar.
- La paralaje diurna para los planetas es menor de $1'$.
- Para la Luna es $p=57'$,
- Para el Sol es $p=8'',79$.

Paralaje Anual

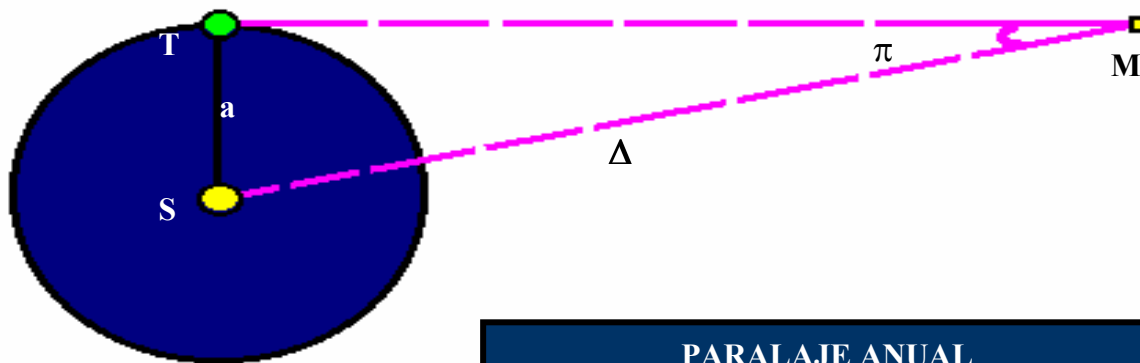
- El ángulo bajo el cual desde la estrella se vería el semieje mayor de la órbita terrestre, con la condición de que la dirección a la estrella sea perpendicular al radio, se denomina paralaje anual de la estrella.
- La distancia hasta los cuerpos celestes que se encuentran fuera de los límites del Sistema Solar, se determinan por el paralaje anual.

$$\Delta = \frac{a}{\text{sen } \pi''}$$

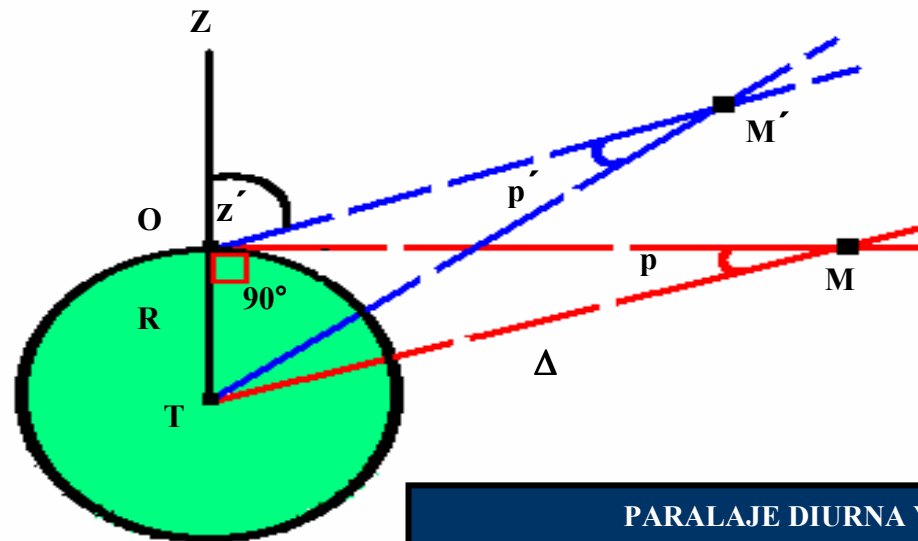
$$\text{sen } \pi'' \sim \pi''$$

Entonces:

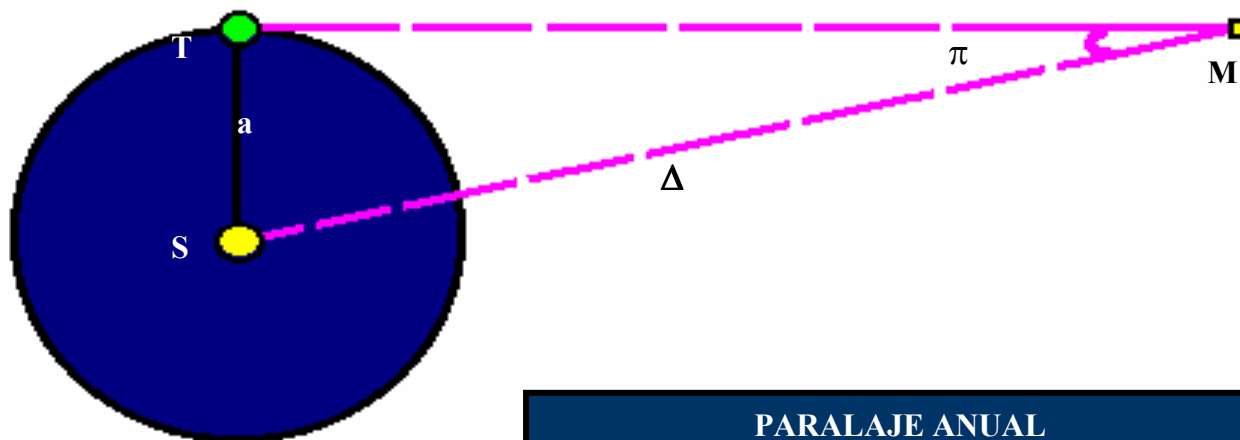
$$\Delta = \frac{1}{\pi''} \text{ pc} = \frac{3,26}{\pi''} a . l .$$



PARALAJE ANUAL



PARALAJE DIURNA Y
PARALAJE DIURNA HORIZONTAL



PARALAJE ANUAL

Método de Radiolocalización

- Por la velocidad de propagación de las ondas radioeléctricas $c=3\times 10^8 \text{ km/s}$, y por el intervalo de tiempo recorrido por la radioseñal desde la Tierra hasta el cuerpo celeste y de su regreso, se calcula la distancia hasta el cuerpo celeste:

$$\Delta = \frac{ct}{2}$$

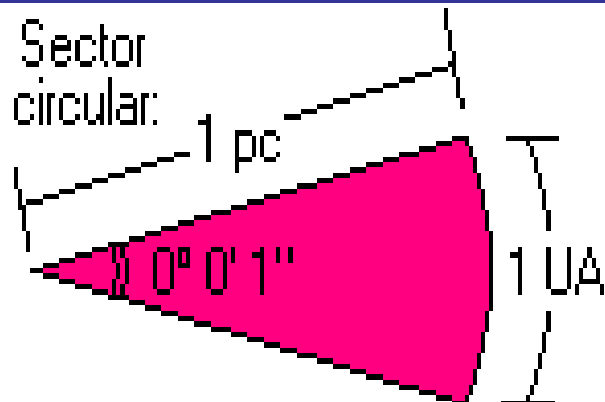
- El método de radiolocalización se aplica más en los cuerpos del Sistema Solar

Unidades de las Distancias en la Astronomía:

Unidad Astronómica (u.a.), Año Luz (a.l.), Parsec (pc.).

- Unidad Astronómica (u.a.): distancia media entre la Tierra y el Sol
 $1 \text{ U A} = 149\,600\,000 \text{ km}$
- Año Luz (a.l.): distancia que recorre la luz en un año ($V=300\,000 \text{ km/s}$)
 $1 \text{ a.l.} = 9,46 \times 10^{12} \text{ km} = 0,3067 \text{ pc} = 63\,240 \text{ u.a.}$
- Parsec (pc.) es la distancia que corresponde a la paralaje anual de $1''$
→ **Parsec: Distancia a la que $1 \text{ UA} = 1''$**
* El pársec se deriva del inglés "*parallax of one arc second*"
(paralaje de un segundo de arco).

$$1 \text{ pc} = 30,86 \times 10^{12} \text{ km} = 3,26 \text{ a.l.} = 206\,265 \text{ u.a.}$$



$$\text{Ángulo central: } \theta = 0^\circ 0' 1'' = 4,8481368 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

$$R = \frac{L}{\theta} \Rightarrow 1 \text{ pc} = \frac{1 \text{ UA}}{\theta} = \frac{1,4959787 \times 10^{11} \text{ m}}{4,8481368 \times 10^{-6} \text{ rad}} =$$

$$1 \text{ pc} = 3,085677574 \times 10^{16} \text{ m} = 3,2615398 \text{ años-luz}$$

Unidades de las Distancias en la Astronomía:

Unidad Astronómica (u.a.), Año Luz (a.l.), Parsec (pc.).

- Unidad Astronómica (u.a.) es la distancia media entre la Tierra y el Sol

➤ $1 \text{ u.a.} = 149\,600\,000 \text{ km}$

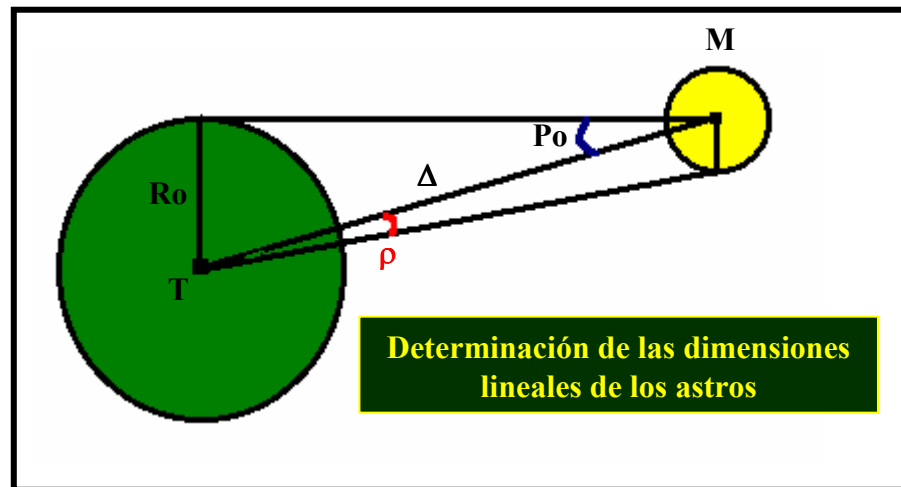
- Año Luz (a.l.) es la distancia que recorre la luz en un año con la velocidad $300\,000 \text{ km/s}$.

➤ $1 \text{ a.l.} = 9,46 \times 10^{12} \text{ km} = 0,3067 \text{ pc} = 63\,240 \text{ u.a.}$

- Parsec (pc.) es la distancia que corresponde a la paralaje anual de $1''$

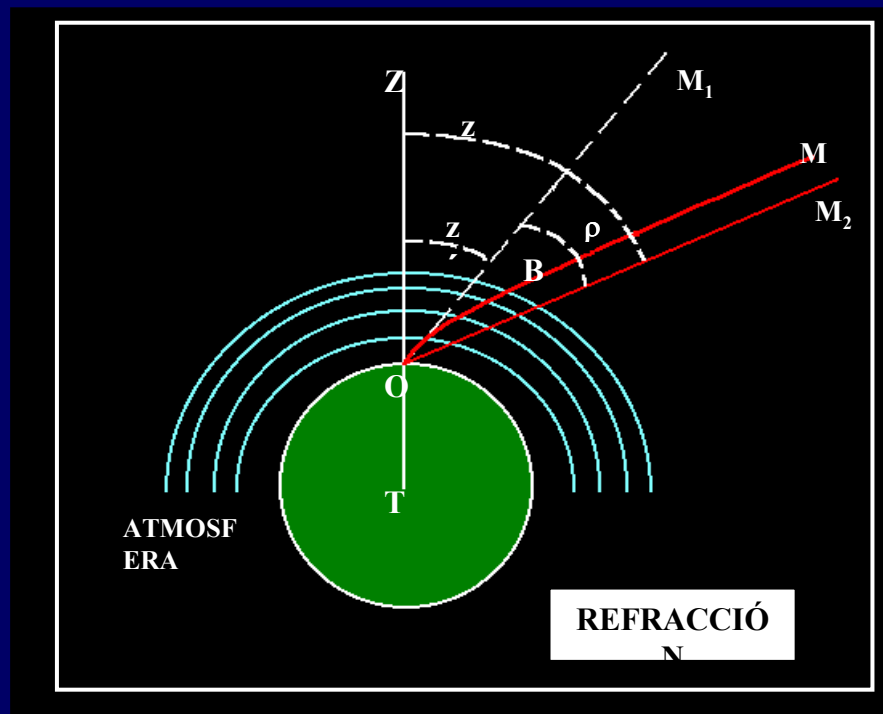
➤ $1 \text{ pc} = 30,86 \times 10^{12} \text{ km} = 3,26 \text{ a.l.} = 206\,265 \text{ u.a.}$

Determinación de las Dimensiones y Formas de los Astros



Refracció Astronòmica

- La densidad de la atmósfera aumenta al acercarse a la superficie terrestre, por eso, el rayos de luz que atraviesan la atmósfera terrestre y se refractan en ella, desvían más y más hacia lado del cenit, “levantando” al astro sobre el horizonte.
- Este fenómeno de refracción de los rayos se denomina refracción astronómica.
- La refracción depende en la densidad, temperatura y presión atmosférica y en la altura del astro: La refracción aumenta con la distancia zenital y tiene el valor máximo en el horizonte, donde es 35’.



PRÁCTICA

- El paralaje anual de la estrella más cercana al Sol, Proxima Centauro, es: $\pi = 0''.762$. Calcular la distancia en parsecs y año luz hasta Proxima Centauro.
-

Calculamos por la fórmula:

$$\Delta = \frac{1}{\pi''} pc = \frac{1}{0''.762} pc = 1.31 pc.$$

O:

$$\Delta = \frac{3.26}{\pi''} a.l. = \frac{3.26}{0''.762} a.l. = 4.26 a.l.$$

Entonces, la distancia hasta proxima centauro es 1.31 parsecs o 4.26 años luz.

PRÁCTICA

- La distancia media hasta una estrella es 2.78 parsecs. Cuanto tardaría la radioseñal recorrer esa distancia desde la Tierra hasta volver a la Tierra? Calcular el período recorrido en años.

Calculamos por la fórmula:

$$\Delta = \frac{ct}{2}$$

$$\begin{aligned} t &= \frac{2\Delta}{c} = \frac{2 \times 2.78 pc}{3 \times 10^5 km/s} = \frac{2 \times 2.78 \times 30.86 \times 10^{12} km}{3 \times 10^5 km/s} = \\ &= 57.1939 \times 10^7 s = \frac{57.1939 \times 10^7}{60 \times 60 \times 24 \times 365.256} años = 18.123 años \end{aligned}$$

Entonces, la radioseñal volverá en la Tierra después de 18.123 años.

Las Leyes de Kepler

- Al principio Kepler compartía la idea, que los cuerpos celestes solamente se pueden mover por círculos, y perdió mucho tiempo en la elección de la órbita circular para Marte.
- Después de cálculos de muchos años, basándose en las observaciones de Marte durante 20 años por su profesor Tycho Brahe, Kepler descubrió tres leyes del movimiento de los planetas:

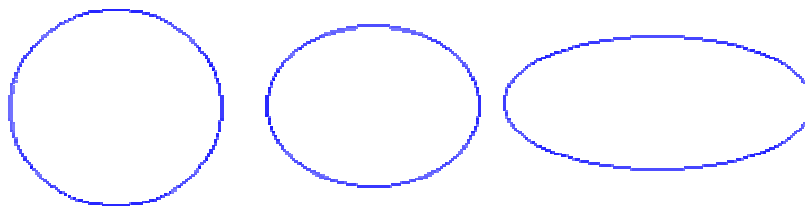
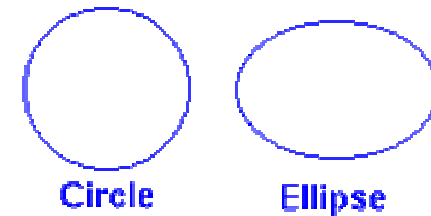
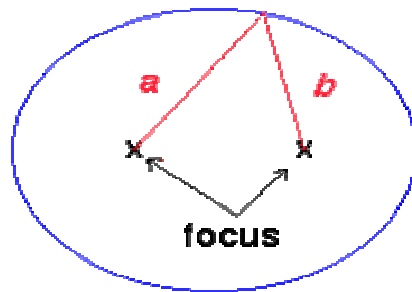
1. Todos los planetas se mueven por órbitas en forma de elipses, en uno de cuyos focos (común para todos los planetas) se encuentra el Sol.
2. El radio vector de cada planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales.
3. Los cuadrados de los períodos sidéreos de revolución de los planetas alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas elípticas.

Para elipses: $a+b=\text{const}$

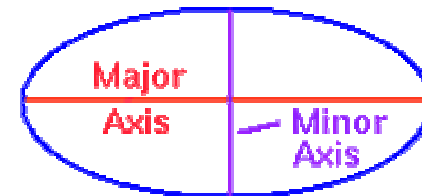
La excentricidad caracteriza la divergencia entre la elipse y la circunferencia.

Para la circunferencia: $e=0$; Para la elipse e varía entre 0 y 1.

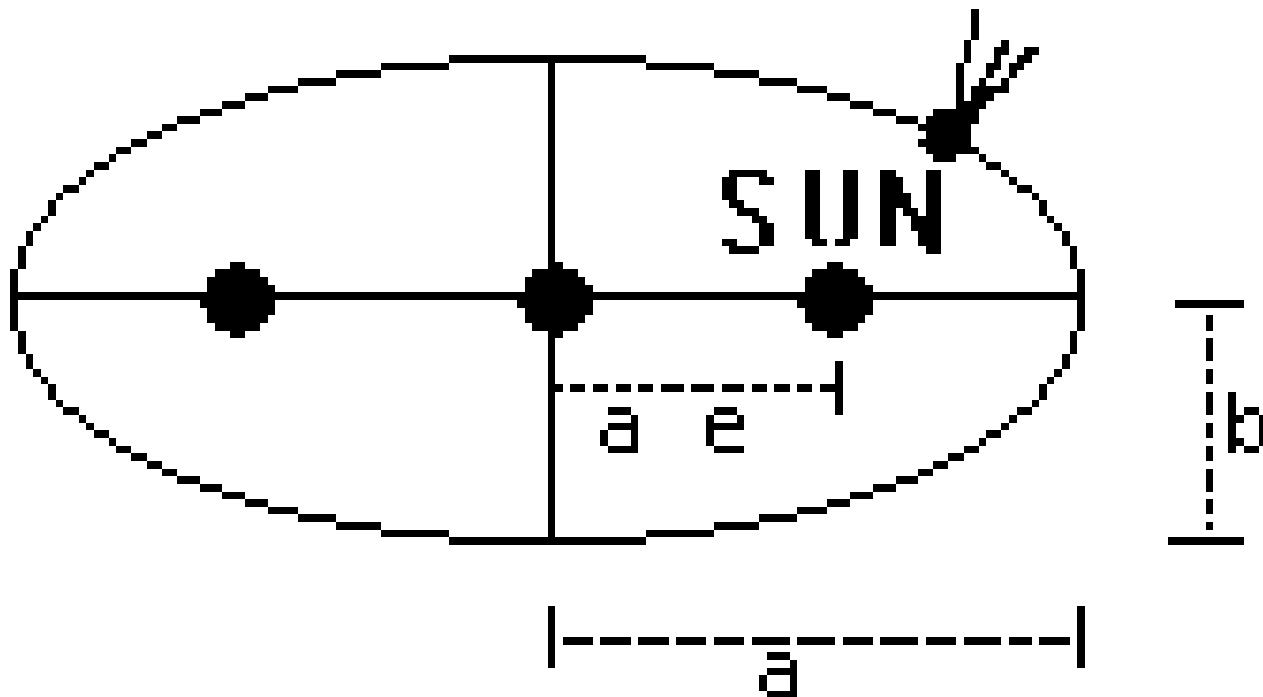
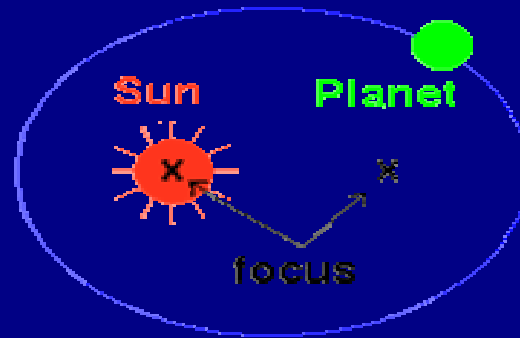
Las órbitas de los planetas son poco excentricas: Venus tiene $e_{\min}=0,007$, la órbita de Pluton tiene $e_{\max}=0,249$; La órbita terrestre tiene $e=0,017$.



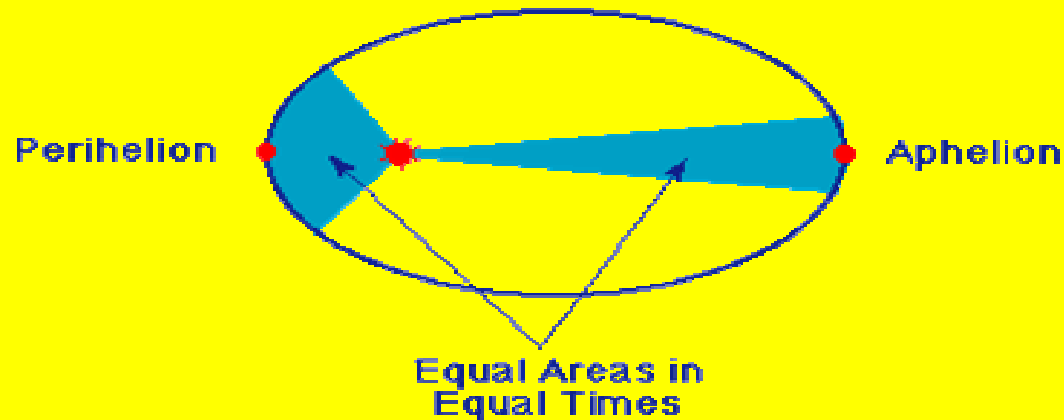
Increasing Eccentricity →



I Ley de Kepler



II Ley de Kepler



- La velocidad del movimiento del planeta en el perihelio es:

$$V_p = V_c \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$$

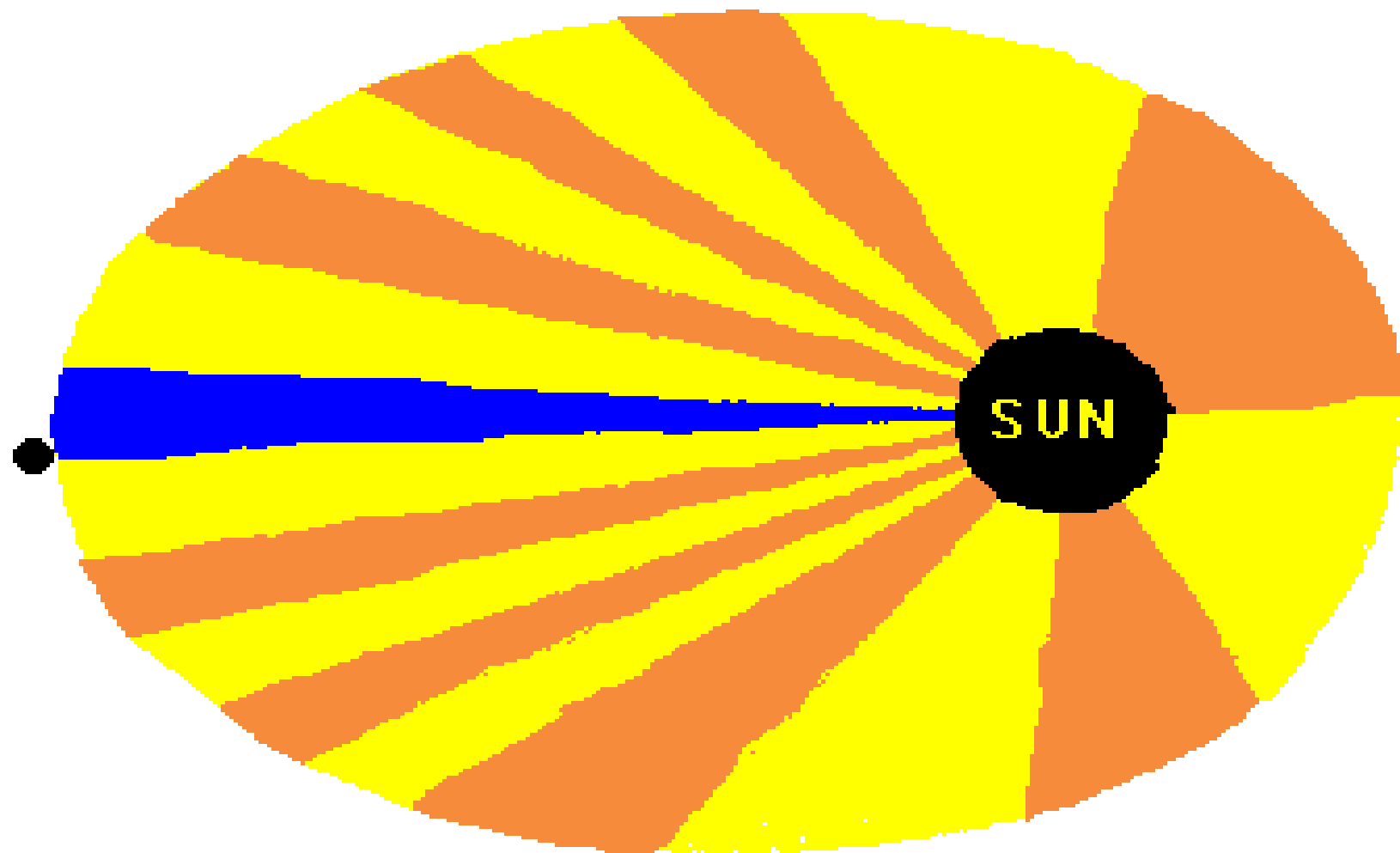
- y en el afelio es:

$$V_a = V_c \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

- Entonces: $V_p > V_a$

- Donde V_c es la velocidad circular (media) del planeta.

Para la Tierra es ~29,78 km/s



III Ley de Kepler

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Donde

- T_1, T_2 son períodos sidéreos de los planetas,
- a_1, a_2 son semiejes mayores de sus órbitas.
- Para la Tierra $a_2 = 1$ (u.a) y $T_2 = 1$ (año). Entonces, el período de revolución de cualquier planeta alrededor del Sol es:

$$T = \sqrt{a^3}$$

PRÁCTICA

- El período sidéreo de Júpiter es 11.86223 años. Calcular la distancia média hasta Júpiter en unidades astronómicas.

Calculamos por el III ley de Kepler:

$$a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{11.86223^2} = 5.202 u.a.$$

2. El semieje mayor de la órbita de Saturno es 9.539u.a. Calcular el período sidéreo de Saturno en años y días.

Calculamos por el III ley de Kepler:

$$T = \sqrt{a^3} = \sqrt{9.539^3} = 29.46 años = 29.46 \times 365.256 días = 10761 días$$

Leyes Fundamentales de la Mecánica:

Leyes de Newton

- Una vez establecidas por Kepler las leyes del movimiento de los planetas, se planteó el problema respecto a los motivos de estos movimientos.
- Después de los trabajos de Galileo (1564-1642), Huygens (1629-1695) y otros Newton formuló las tres siguientes leyes fundamentales del movimiento de los cuerpos:

- 1. Todo cuerpo conserva su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo hasta que las fuerzas aplicadas no le obliguen a cambiar este estado:

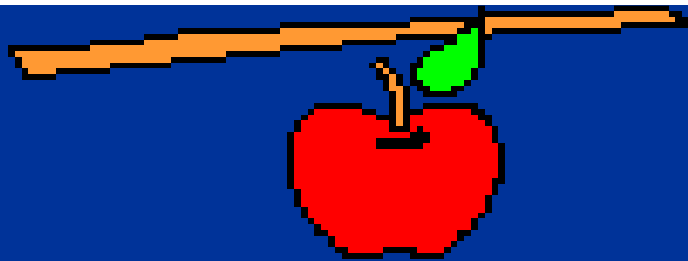
$$mv = \text{const}$$

- 2. El producto de la masa del cuerpo por su aceleración es igual a la fuerza efectiva y sigue la dirección por la que actúa esta fuerza:

$$mw = F$$

- 3. Toda acción provoca siempre una reacción igual y contraria:

$$F_2 = F_1$$



La ley de Gravitación Universal de Newton

- Las leyes fundamentales de la mecánica permitieron a Newton formular y demostrar el siguiente teorema:

“Las fuerzas con las que los planetas se desvían constantemente del movimiento rectilíneo y se mantienen en sus órbitas, están dirigidas hacia el Sol y son inversamente proporcionales a los cuadrados de sus distancias al centro de éste”.

- Demostrado en lo sucesivo que la fuerza que mantiene a los planetas en sus órbitas es idéntica a la fuerza de la gravedad que actúa en la superficie de la Tierra, Newton sintetizó este teorema y lo expresó en forma de ley de gravitación universal:

Cada dos partículas gravitan mutuamente, con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Donde m_1 y m_2 son las masas de las partículas, r es la distancia entre ellas y G es constante gravitacional y

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}.$$

Dependencia Entre la Fuerza de Atracción y la Masa de los Cuerpos que se Atraen

- De la segunda ley fundamental de la mecánica y de la ley de la gravitación universal se deduce lo siguiente:
- 1. **Dos partículas o puntos materiales se atraen mutuamente con una misma fuerza, pero al mismo tiempo obtienen distintas aceleraciones inversamente proporcionales a sus masas:**

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

Por ejemplo: la aceleración de la Tierra por la atracción de la Luna es tantas veces menor que la aceleración de la Luna por la atracción de la Tierra, cuantas veces la masa de la Luna es menor que la masa de la Tierra.

- 2. **La aceleración relativa de dos puntos materiales es igual a la diferencia de sus aceleraciones (vectores) y ambas aceleraciones están dirigidas hacia lados opuestos:**

$$w_{rel} = G \frac{m_1 + m_2}{r^2}$$

Entonces, la aceleración durante el movimiento relativo tiene una magnitud igual a la que ésta tendría en caso de que la masa de ambas partículas estuviese concentrada en una de ellas. Por esto, al resolver el problema respecto al movimiento de dos puntos materiales que se atraen, podemos considerar que la fuerza sale del centro inmóvil e investigar solamente el movimiento de uno de los puntos.

- 3. Dos puntos materiales que se encuentran a distancias iguales de un tercer punto material son atraídos por este último con fuerzas distintas, pero obtienen iguales aceleraciones por su magnitud:

$$F_1 = G \frac{m_1 m}{r^2}$$

$$F_2 = G \frac{m_2 m}{r^2}$$

$$w_1 = w_2 = G \frac{m}{r^2}$$

Por ejemplo: el Sol atrae a la Tierra con mayor fuerza que a la Luna, pero la Tierra y la Luna cuando se encuentran a una misma distancia del Sol, obtienen de éste aceleraciones iguales.

Conclusiones:

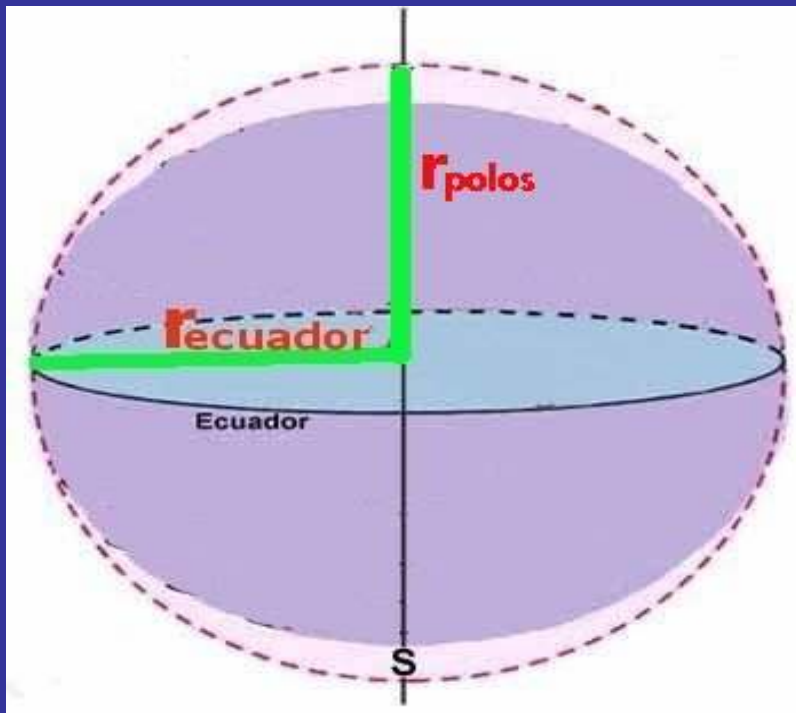
- *La ley de Newton es correcta para los puntos materiales.*
- *Los cuerpos reales solamente pueden considerarse aproximadamente puntos materiales cuando la distancia entre ellos supera considerablemente las dimensiones de éstos.*
- *Como demostró Newton, los cuerpos que tienen distribución esférico-simétrica de sus masa, se pueden examinar como puntos materiales.*
- *El cuerpo con distribución esférico-simétrica de las masas atrae a cualquier masa modelo igual que el punto material situado en el centro de este cuerpo cuya masa es igual a la incluida dentro de la esfera que pasa por la masa modelo dada.*
- *Por ejemplo, el punto material situado en la superficie de la Tierra es atraído por ésta como si toda la masa de la Tierra se encontrase en su centro.*
- *Al mismo tiempo, un cuerpo que se encuentre en el fondo de un pozo profundo solamente será atraído por las capas más profundas de la Tierra, mientras que el influjo sumario de todas las capas superiores es igual a cero.*

Identidad de la Fuerza de Atracción y de la Fuerza de la Gravedad

- La fuerza de la gravedad comunica a todos los cuerpos en la superficie terrestre, durante la caída libre de éstos, una aceleración $g \sim 981 \frac{cm}{s^2}$.
- Si calculamos las aceleraciones de la Luna: causada por la fuerza de la gravedad terrestre (en la distancia de 60 radios terrestres) y del movimiento orbital causada por la fuerza de la atracción de la Luna obtendremos las cantidades iguales ($w \sim 0,27 \frac{cm}{s^2}$)
- Que significa que la fuerza que mantiene a la Luna en su órbita (la fuerza de la atracción) no es nada más que la fuerza de la gravedad terrestre debilitada proporcionalmente a la relación entre los cuadrados de la distancia de la Luna al centro de la Tierra y la distancia de la superficie terrestre al centro de ésta.
- *Basándose en este resultado Newton llegó a la conclusión que la fuerza de la gravedad es idéntica a la fuerza de la atracción mutua, que actúa entre todos los cuerpos del Universo.*

La Fuerza de la Gravedad en la Superficie de la Tierra

- La fuerza de la gravedad en la superficie terrestre es resultante de dos fuerzas: de la fuerza de atracción dirigida hacia el centro de la masa de la Tierra y de la fuerza centrífuga dirigida perpendicularmente al eje de rotación de la Tierra.
- Puesto que la Tierra está achatada a lo largo de su eje de rotación la fuerza de atracción en los polos es mayor y disminuye hacia el ecuador.
- Además, la fuerza centrífuga actúa contra la fuerza de atracción y por esto, la fuerza de gravedad en la superficie terrestre disminuye al pasar de los polos hacia el ecuador.
- La diferencia en la aceleración de la fuerza de gravedad entre los polos y el ecuador es:
- El valor medio de $g_{90} - g_0 = 983,2 - 978,0 = 5,2 \text{ cm/s}^2$ de la gravedad terrestre se toma igual a $g \sim 981 \text{ cm/s}^2$.
- La aceleración de la fuerza de la gravedad en distintos puntos de la superficie terrestre muestra las perturbaciones, que se denominan anomalías de la fuerza de gravedad y se explican por la estructura heterogénea de la corteza terrestre.



$$r_{\text{polos}} < r_{\text{ecuador}}$$

$$\rightarrow g_{\text{polos}} > g_{\text{ecuador}}$$

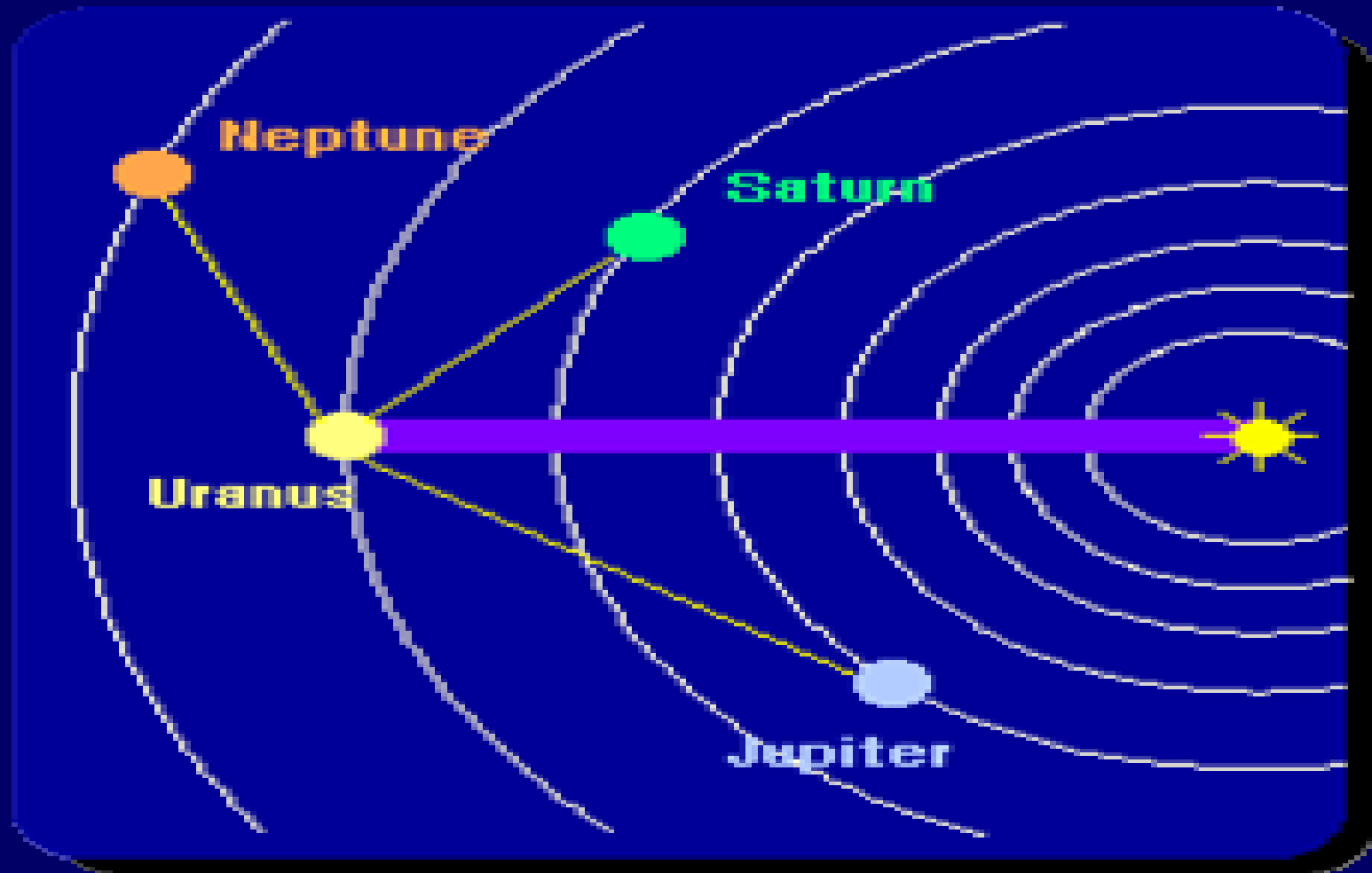
$$P = mg$$

$$\rightarrow P_{\text{polos}} > P_{\text{ecuador}}$$

El Movimiento Perturbado.

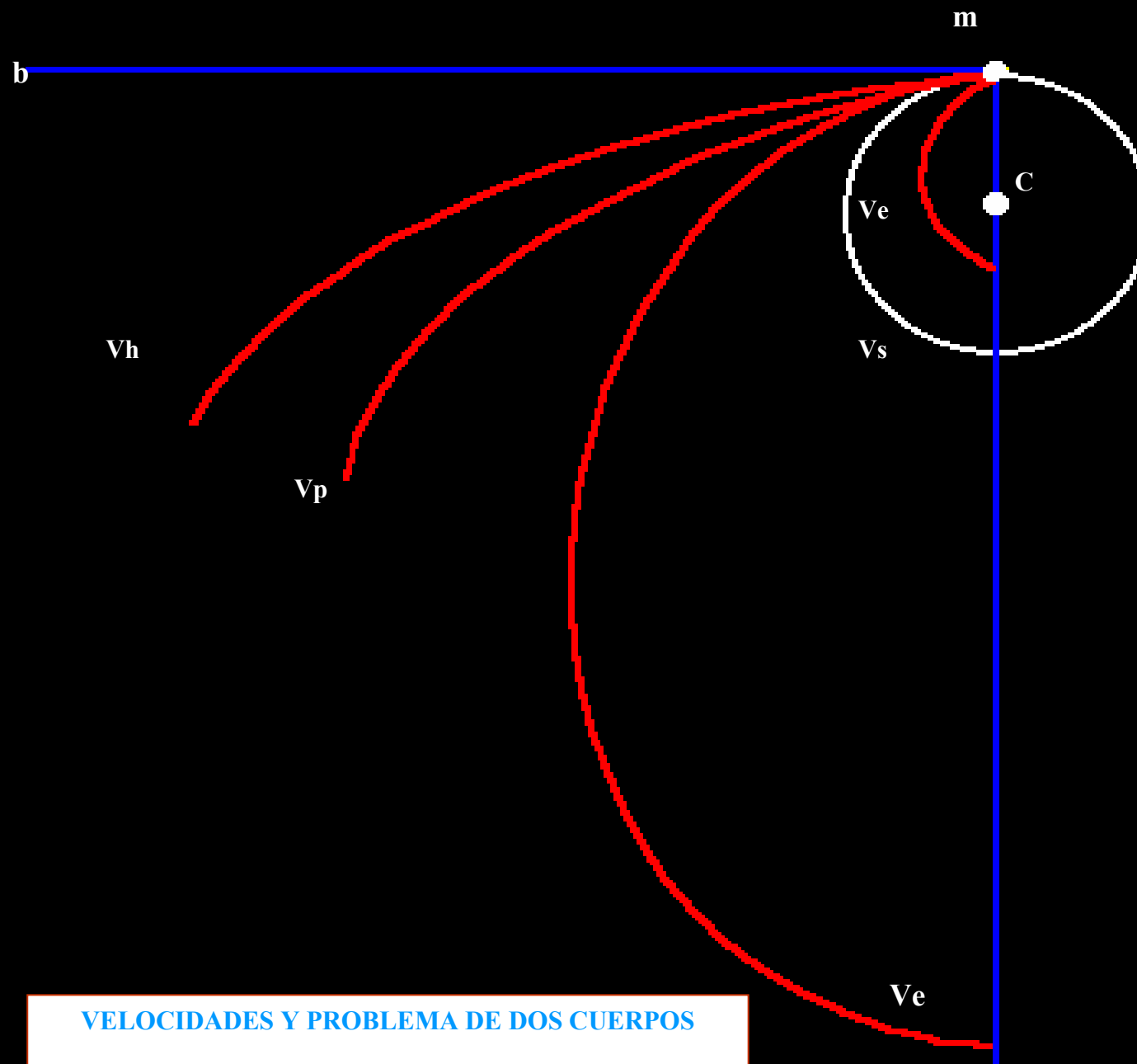
(El Descubrimiento de Urano – W.Herschel, 1781)

El Descubrimiento de Neptuno, 1846 por Galle (solo 1 grado error en cálculo de posición por Adams y Verrier)



Movimiento del Punto Material Bajo la Acción de la Fuerza Gravitacional (Problema de Dos Cuerpos)

- Si la masa inmóvil concentrada en el punto **C**, comienza a atraer hacia sí al punto material **m** con una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, entonces la aceleración del punto **m** estará dirigida por la recta **mC** y el movimiento de este punto dependerá de la distancia y de la magnitud y dirección de la velocidad inicial **V₀** (en el momento del comienzo de la acción de atracción por la masa **M**).
- Si $0 < V_0 < V_c$, el punto **m** se moverá por la elipse en uno de cuyos focos se encontrará el punto **C**. El semieje mayor del elipse será un poco más grande que **Cm** (cuando **V₀** es muy pequeña) o un poco menor que **Cm** (cuando **V₀** es casi igual a la **V₀**).
- Si $V_0 = V_c$ y está dirigida perpendicularmente a la línea **Cm**, entonces el punto **m** se moverá por el círculo de radio **Cm**.
- Si $V_c < V_0 < V_p$, el punto **m** se moverá por la elipse, el punto **C** se encontrará en el foco próximo a **m**, y el semieje mayor de la elipse será tanto más grande cuanto **V₀** se aproxima más a **V_p**.



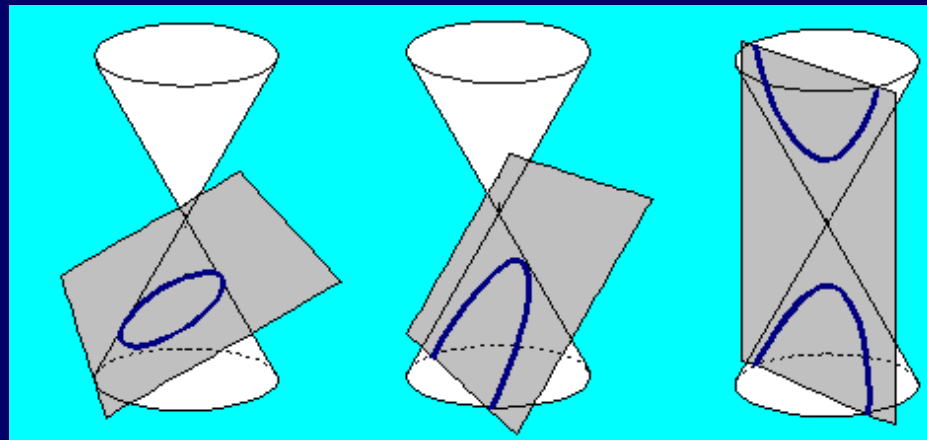
VELOCIDADES Y PROBLEMA DE DOS CUERPOS

Movimiento del Punto Material Bajo la Acción de la Fuerza Gravitacional (Problema de Dos Cuerpos)

- Si $V_0 = V_p = V_c \sqrt{2}$, el punto se moverá por una *parábola*, cuyas dos ramas se alejan hacia el infinito, aproximándose a una dirección paralela al eje Cm. A medida que el punto m se aleje del cuerpo M, su velocidad tenderá a cero.
- Si $V_0 > V_p$, el punto m se moverá por una *hipérbola*, cuyas ramas parten hacia el infinito y cuando la velocidad inicial es muy grande, se acerca a la dirección perpendicular al eje Cm. A medida que el punto m se aleje por la hipérbola, su velocidad tenderá a ser cierta magnitud constante.
- Si $V_0 = \infty$, el punto m se moverá por la recta mb, y cuando $V_0=0$ se moverá por la recta mC.

Primera Ley Generalizada de Kepler

- Bajo la acción de la fuerza de atracción un cuerpo celeste se mueve en el campo gravitacional de otro cuerpo celeste por una de las secciones cónicas: círculo, elipse, parábola o hipérbola.*



Segunda Ley Generalizada de Kepler

- *El área descrita por el radio vector en una unidad de tiempo es una magnitud constante.*

$$r^2 \frac{d\vartheta}{dt} = \text{const}$$

Tercera Ley Generalizada de Kepler

$$\frac{T_1^2 (M_1 + m_1)}{T_2^2 (M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Determinación de las Masa de los Cuerpos Celestes

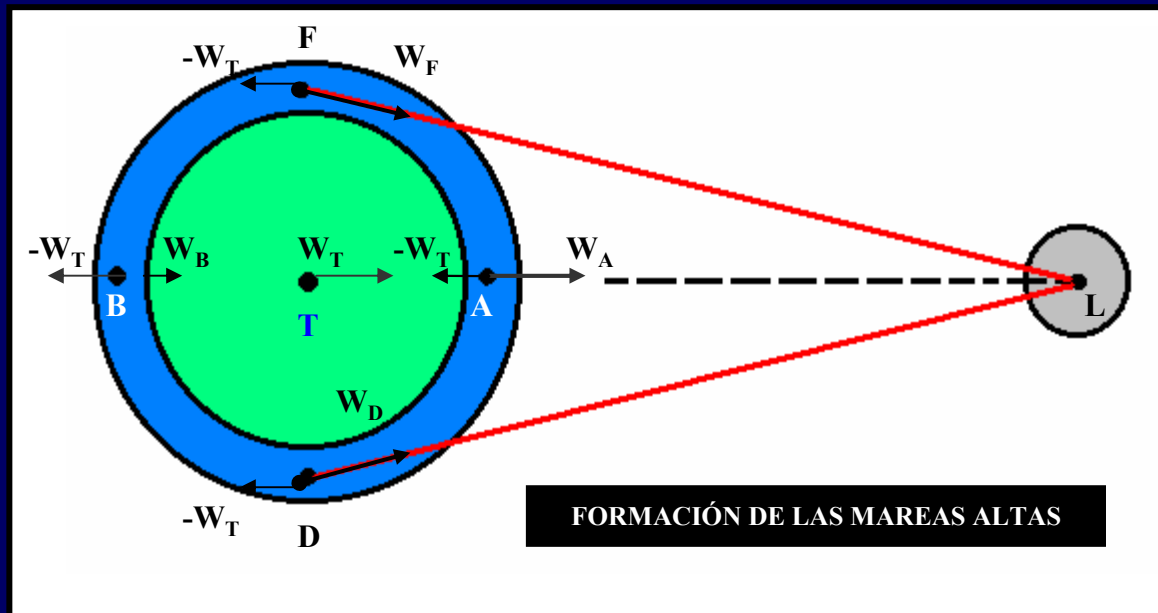
$$\frac{T^2 (M + m)}{t_s^2 (m + m_s)} = \frac{a^3}{a_s^3}$$

Mareas de Flujo y Reflujo

- Las dimensiones de la Tierra no son infinitivamente pequeñas en comparación con las distancias hasta la Luna y el Sol, además, la Tierra no es absolutamente sólido, por lo que las fuerzas de las atracciones lunar y solar provocan fenómenos denominados *mareas de flujo y reflujo*.
- La fuerza de la marea de flujo creada por el Sol es 2,2 veces menor que la creada por la Luna.
- Como resultado de la rotación de la Tierra los salientes de la marea de flujo se forman en cada momento en nuevos lugares de la superficie terrestre.
- En el intervalo de tiempo entre dos culminaciones sucesivas superiores (o inferiores) de la Luna (24 horas y 52 minutos), los salientes de la marea de flujo darán una vuelta alrededor del globo terrestre y durante este tiempo, en cada lugar tendrán lugar 2 flujos y 2 reflujo.

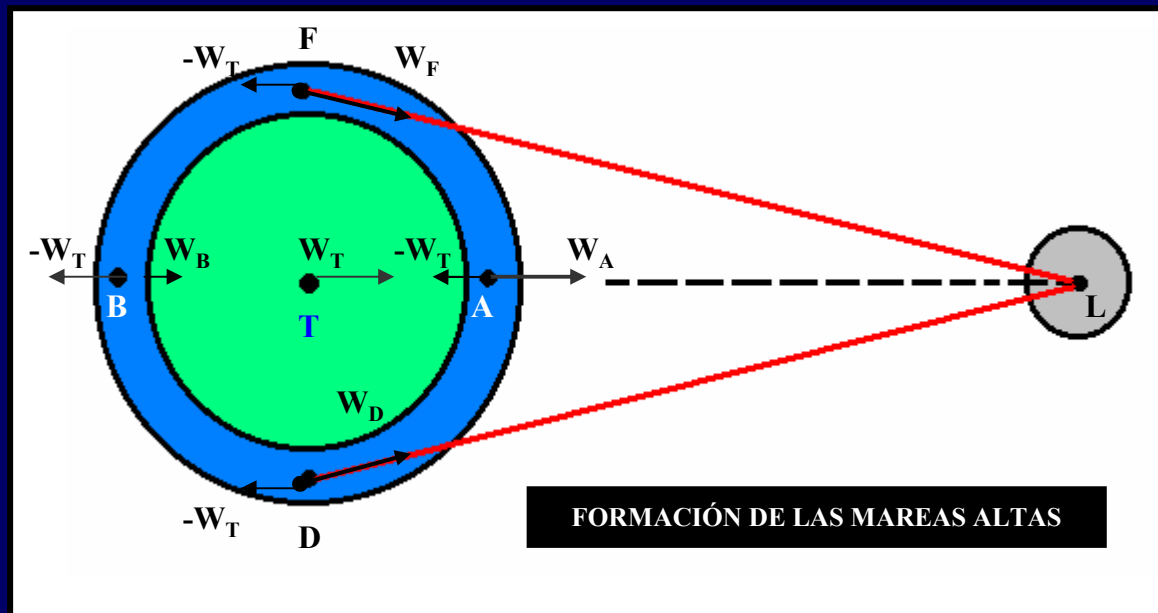
Mareas de Flujo y Reflujo

- En los puntos **A** y **B**, $W_A > W_T, W_B < W_T$, las aceleraciones resultantes (la diferencia de aceleraciones: $W_A - W_T, W_B - W_T$), están dirigidas desde el centro de la Tierra. Por eso, en los puntos **A** y **B** la acción de la Luna debilita la fuerza de gravedad en la superficie terrestre y cerca de los puntos **A** y **B** *tendrá lugar la marea de flujo*.
- En los puntos **F** y **D** las aceleraciones por la luna W_F, W_D están dirigidas en un ángulo obtuso respecto a la aceleración contraria en el punto T. Las aceleraciones resultantes aquí están dirigidas casi hacia el centro de la Tierra. Por eso, en los puntos **F** y **D** la acción de la Luna aumenta la fuerza de gravedad terrestre y cerca de los puntos **F** y **D** *tendrá lugar la marea de reflujo*.



Mareas de Flujo y Reflujo

- En los puntos *intermedios* entre *F* y *A*, *A* y *D*, las aceleraciones están dirigidas *hacia el punto A*, y entre *F* y *B*, *B* y *D* -*hacia el punto B*, y aceleraciones resultantes debilitan la fuerza de gravedad terrestre.
- Se obtiene aceleraciones dirigidas *hacia el punto A* en una parte (*FAD*) y *hacia el punto B* en la otra parte (*FBD*) de la tierra.
- Entonces, el agua en el oceano se precopita *hacia el punto A* en una mitad de la Tierra, donde la Luna se encuentra en el cenit (*noche*), y en la otra mitad, donde la Luna se encuentra en el nadir (*día*), se precopita *hacia el punto B*.



- Durante los novilunios y plenilunios los flujos solar y lunar comienzan simultáneamente, las acciones de la Luna y del Sol se suman y se observa la marea máxima de flujo. En los cuartos de la Luna creciente y menguante (las cuadraturas) en el momento del flujo lunar tiene lugar el reflujo solar, y la acción del Sol se resta de la acción de la Luna-se observa la marea mínima de flujo.
- La altura de la marea de flujo no es la misma en los distintos lugares:
- -en los mares internos (p.ej. el mar Negro) los flujos son insignificantes: unos centímetros.
- -en el océano, lejos de la costa, la magnitud del flujo no supera 1 m; Pero en el litoral las mareas pueden alcanzar 18 m. (litoral atlántica de Canadá).
- La atmósfera terrestre experimenta también flujos y reflujo (los cambios de la presión atmosférica).
- La corteza terrestre también está afectada por los flujos y reflujo (los puntos de la superficie terrestre se elevan y descienden dos veces al día, por unos decímetros).

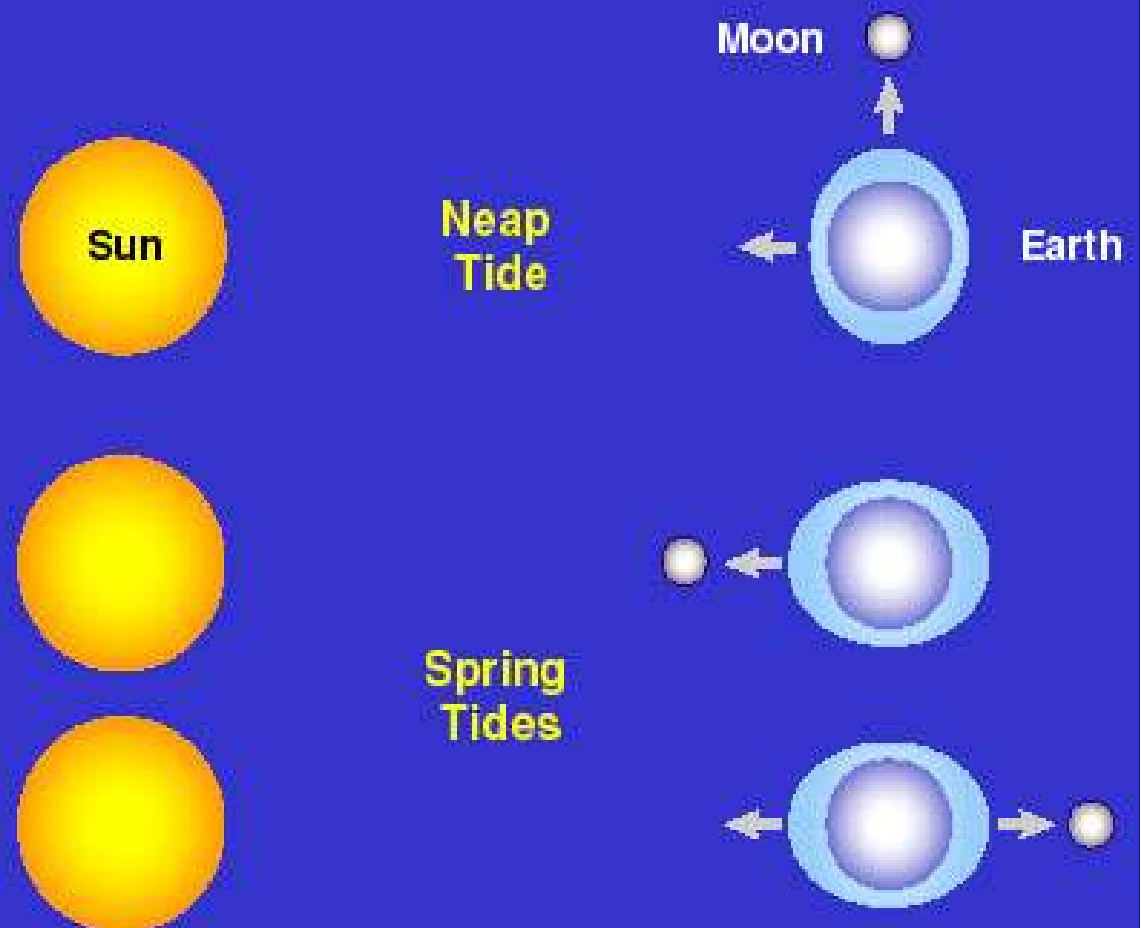
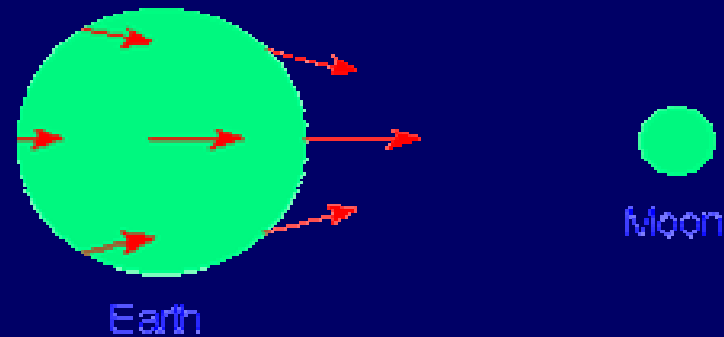
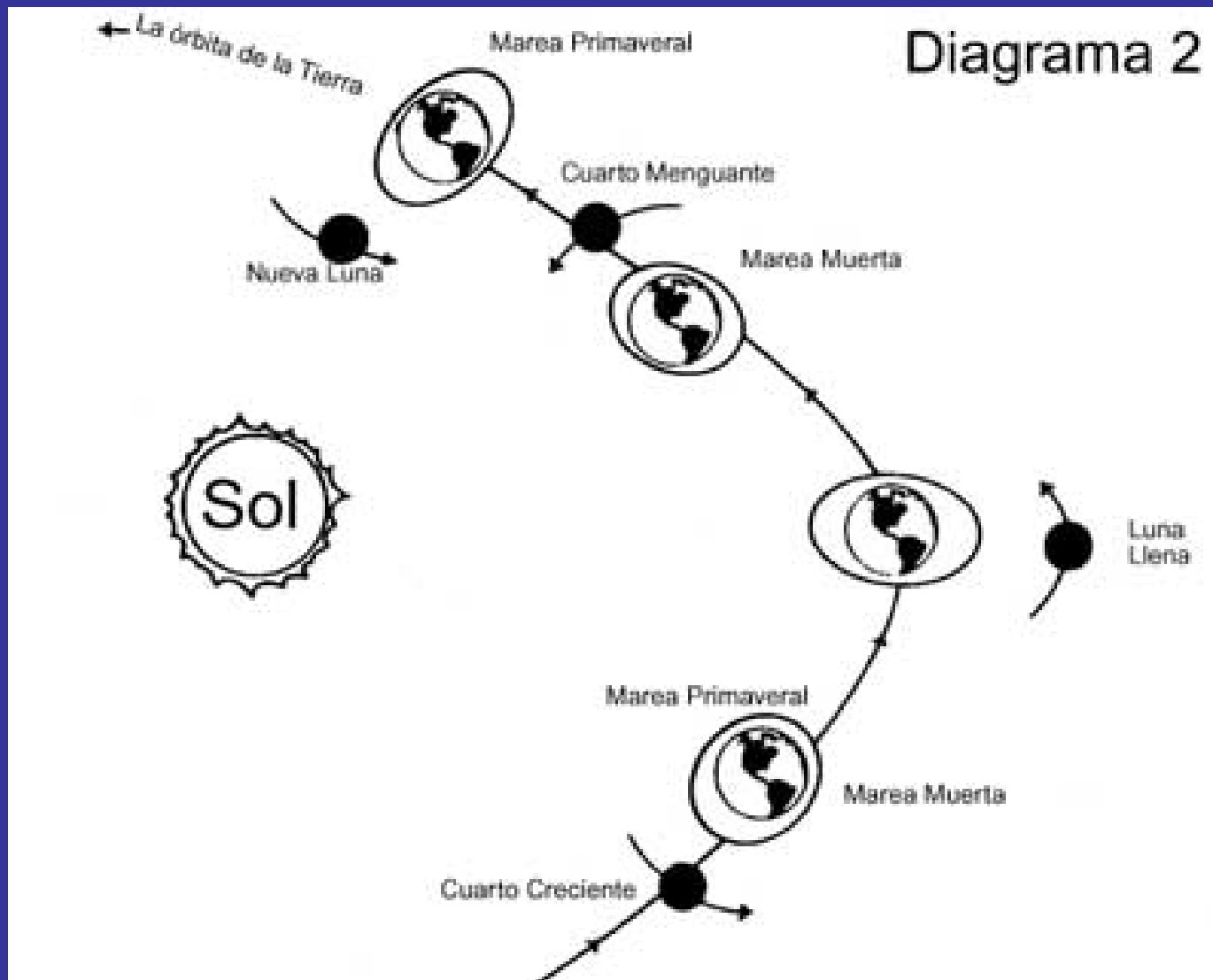


Diagrama 2



Movimiento de los Satélites Artificiales de la Tierra

- 04 de Octubre de 1957-lanzamiento del primer satélite artificial de la Tierra (SAT)
- SAT se ponen en órbita con ayuda de cohetes de varias etapas. La última etapa del cohete comunica al satélite una V determinada a la altura dada (mayor que 150 km).
- Si la V de lanzamiento es:
 - $V = V_c$ en la altura dada, el SAT se desplazará por la órbita circular.
 - $V > V_c$ en la altura dada, el SAT se desplazará por la órbita elíptica y el perigeo de la órbita será el punto de salida.
 - $V < V_c$ en la altura dada, el SAT se desplazará por la órbita elíptica y el apogeo de la órbita será el punto de salida (si es muy pequeña, caerá sobre la superficie terrestre).
- La V del SAT imaginario, que se desplaza en la superficie de la Tierra es igual: $V_{1c} = 7,91 \text{ km} / \text{s}$ - *se denomina primera velocidad cósmica respecto a la Tierra.*
- La velocidad circular a la altura es menor que la primera velocidad cósmica.

Movimiento de los Satélites Artificiales de la Tierra

- La velocidad circular se calcula por la fórmula:

$$V_S = V_{1c} \sqrt{\frac{R}{R + h}}$$

- Los elementos de la órbita del SAT dependen del lugar y tiempo de su lanzamiento, de la magnitud y dirección de la velocidad inicial. La relación entre semieje mayor de la órbita de SAT y su velocidad inicial es:

$$V_0^2 = Gm \left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a} \right)$$

donde r_0 es la distancia desde el punto de entrada en órbita del SAT al centro de la Tierra.

- La excentricidad de la órbita durante el lanzamiento es igual:

$$e = 1 - \frac{q}{a}$$

donde q es la distancia del perigeo.

Movimiento de los Satélites Artificiales de la Tierra

- El Período orbital del SAT se determina por la tercera ley de Kepler:

$$T = \frac{2\pi}{R\sqrt{g}} a^{3/2}$$

- La órbita de SAT esta perturbada por engrosamiento ecuatorial y por la resistencia de la atmósfera terrestre. Además, por la atracción de la Luna y del Sol.

Movimiento de los Aparatos Cósmicos

- La trayectoria del aparato cósmico consta de dos tramos: activo y pasivo:

El tramo activo - está determinado por empujo de los motores a reacción y por la atracción de la Tierra.

El tramo pasivo – comienza desde el momento de la conexión del motor de la última etapa y el aparato se mueve bajo la acción de la atracción terrestre y de otros cuerpos del Sistema Solar.

- Si la velocidad del aparato al comienzo del tramo pasivo es igual (o mayor) que la velocidad parabólica respecto a la Tierra, entonces el aparato se moverá respecto a la Tierra por una parábola (o hipérbola) hasta que no salga de la esfera de la acción de la Tierra o no entra en la esfera de acción de otro cuerpo.

Movimiento de los Aparatos Cósmicos

- Se denomina esfera de acción de un cuerpo con masa m respecto a otro cuerpo con masa m' al espacio en cuyo interior se cumple la condición:

$$\frac{\Delta g}{g} \prec \frac{\Delta g'}{g'}$$

donde g y g' son las aceleraciones gravitacionales en el campo de atracción de los cuerpos m y m' , y $\Delta g, \Delta g'$ son las aceleraciones perturbadoras por parte de m y m' .

- El radio de la esfera de acción es:

$$\rho = r \left(\frac{m}{m'} \right)^{2/5}$$

Movimiento de los Aparatos Cósmicos

- **Al entrar en la esfera de acción de otro cuerpo celeste, el aparato cósmico se moverá bajo la acción de la fuerza de atracción de este cuerpo. La gravitación de la Tierra dejará de ejercer una influencia esencial sobre el movimiento del aparato y jugará el papel de una fuerza perturbadora.**
- **El carácter del movimiento ulterior del aparato cósmico depende de la magnitud de su velocidad en el límite de la esfera de acción del cuerpo celeste.**

- Para que un aparato cósmico supere la atracción de la Tierra y salga al espacio cósmico es necesario comunicarle en el comienzo del tramo pasivo una velocidad igual o mayor que la velocidad parabólica.
- *En la superficie terrestre es $V_p=11,2 \text{ km/s}$ – se denomina segunda velocidad cósmica respecto a la Tierra.*
- Para que un aparato cósmico salga fuera de los límites del Sistema Solar es necesario comunicarle una velocidad dentro de los límites $16,6 \text{ km/s} - 72,8 \text{ km/s}$, que depende en la dirección de lanzamiento y la dirección del movimiento orbital de la Tierra.
- *La velocidad mínima $16,6 \text{ km/s}$ – se denomina tercera velocidad cósmica respecto a la Tierra.*

Movimientos de la Tierra

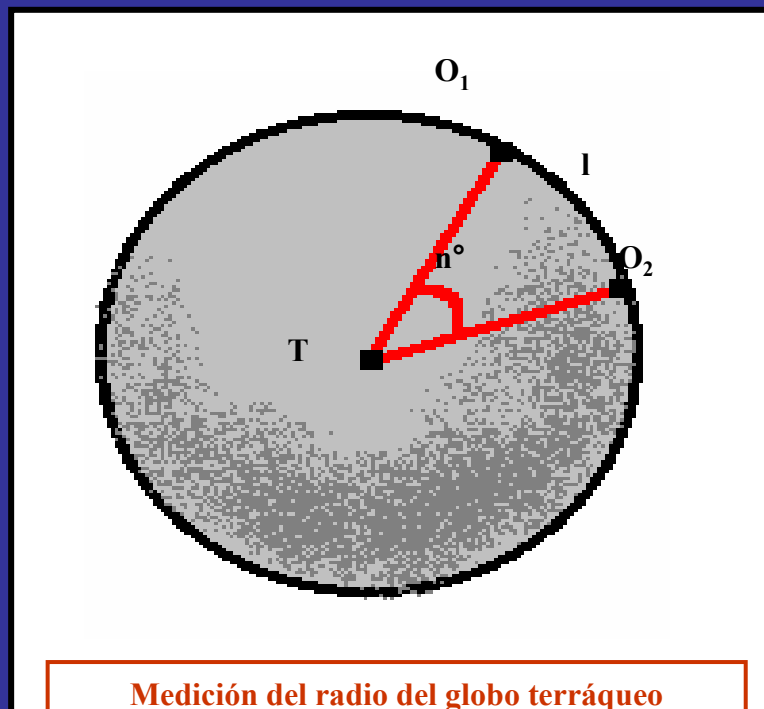


La Tierra



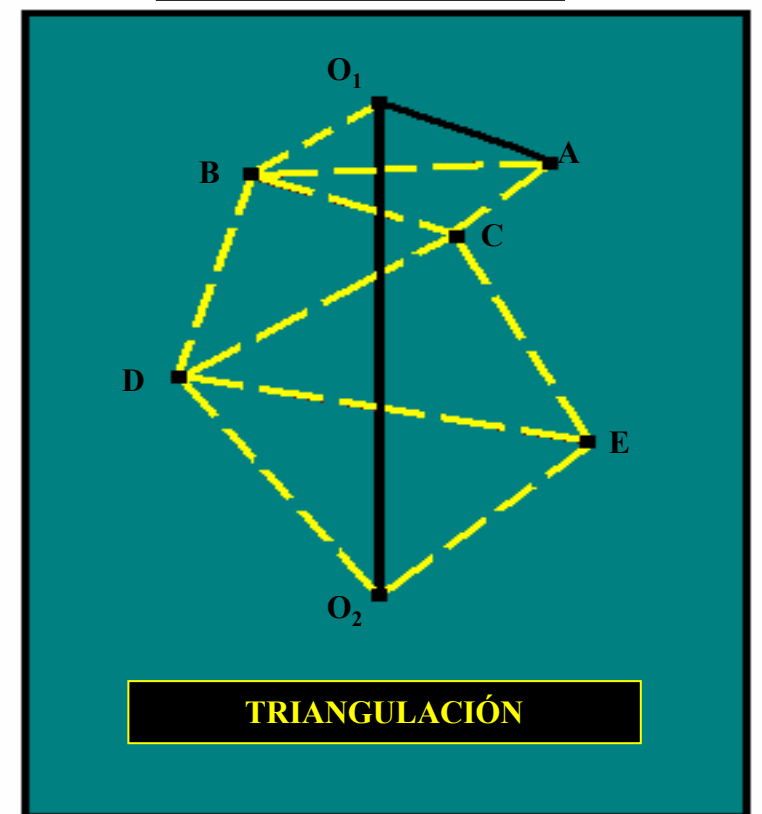
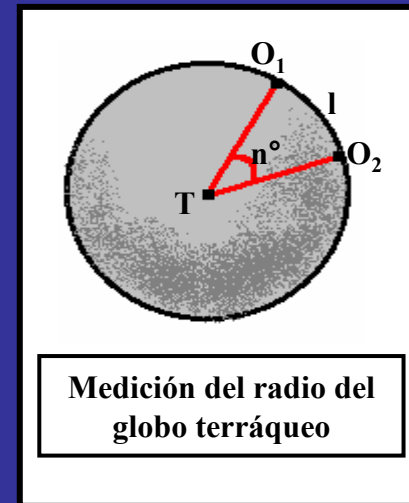
Determinación del Radio de la Tierra

- De acuerdo a la teoría de la atracción gravitacional, cualquier cuerpo que gire alrededor de su eje debe tener una forma parecida a la esfera.
- La esfericidad de la Tierra se ve bien en las fotos tomadas desde el cosmos. La esfericidad de la Tierra permite determinar sus dimensiones con métodos que presentó por primera vez Eratóstenes (en el siglo III a.c)
- Tomemos 2 puntos en la superficie de la Tierra: O_1 y O_2 que están en el mismo meridiano geográfico y designemos la longitud del este arco por l y su valor angular por n° , entonces, $R = l \cdot 180^\circ / n^\circ \pi$



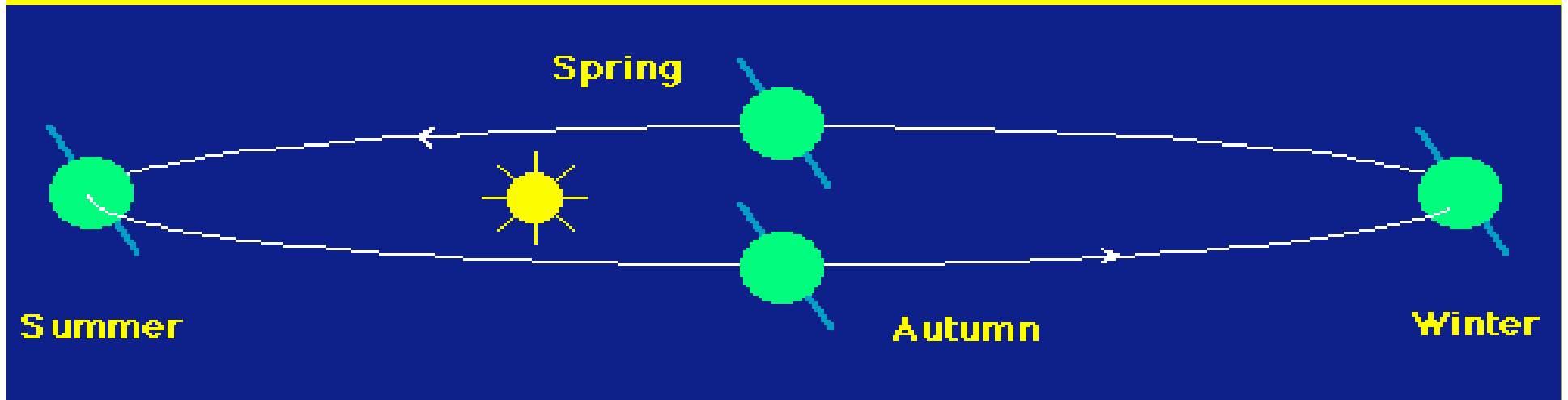
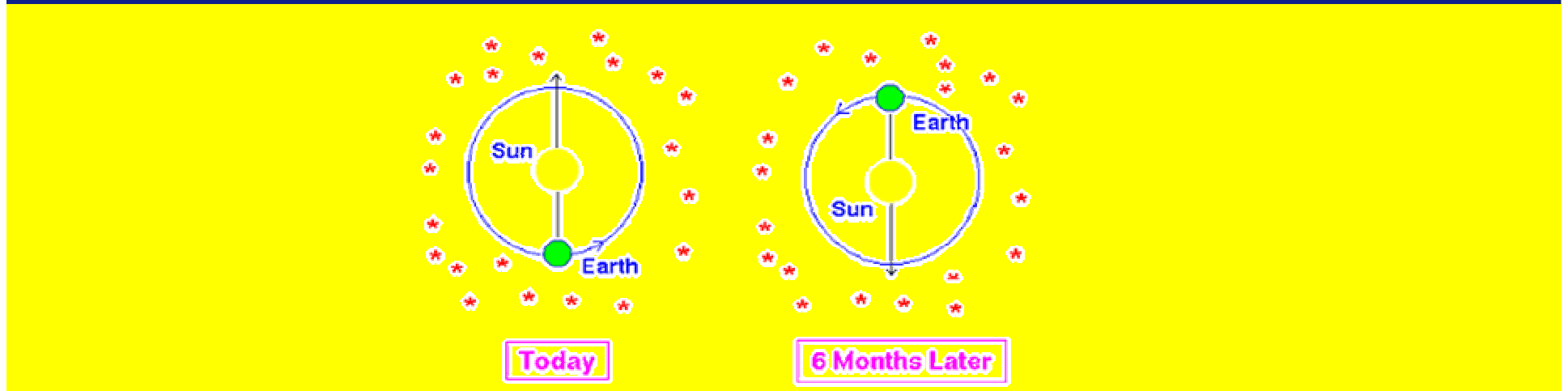
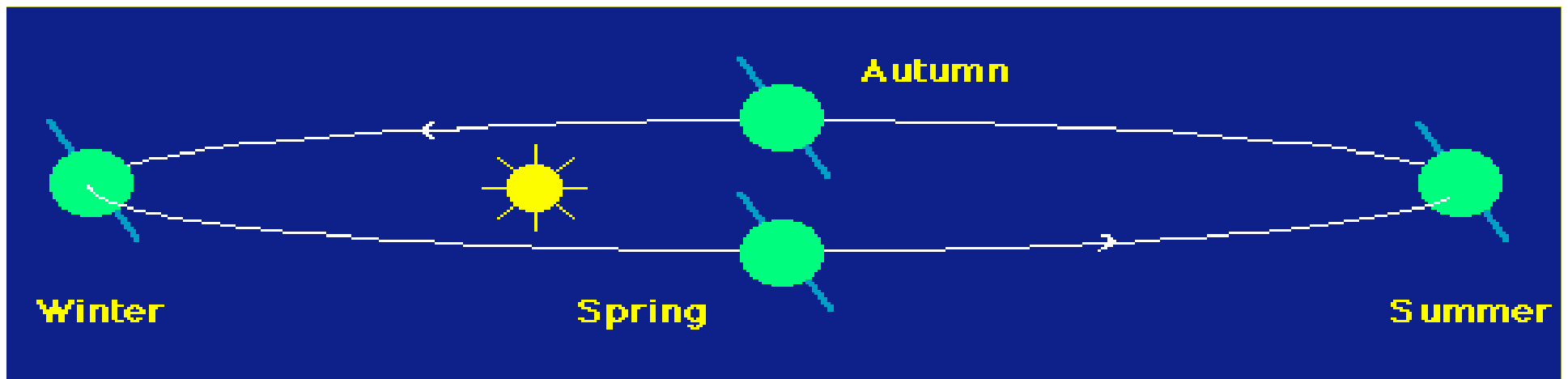
Determinación del Radio de la Tierra (2)

- Determinar l es más difícil por causa de montañas, etc. l se determina con el método de *triangulación*: se eligen varios puntos A, B, C,... a ambos lados del arco
- O_1O_2 a una distancia de 30 - 40 km. uno del otro y se elige una distancia cualquiera, por ejemplo: O_1A : absolutamente plana, como base, luego se miden todos los ángulos (con teodolito) y con líneas quebradas se obtiene l .
- Desde el año 1615 el método de la triangulación fue empleado por primera vez en Holanda y luego hasta el presente en distintos países y en diferentes latitudes. Sobre la base de numerosas determinaciones de la IAU (año 1964) los valores de los elementos del elipsoide terrestre son: el semieje mayor que yace en el plano del ecuador: $a=6378,16$ km., el semieje menor, que coincide con el eje de rotación de la Tierra: $b=6356,78$ km, el achatamiento $e = a - b/a = 1/(298.25)$.



Movimiento de la Tierra Alrededor del Sol: Estaciones

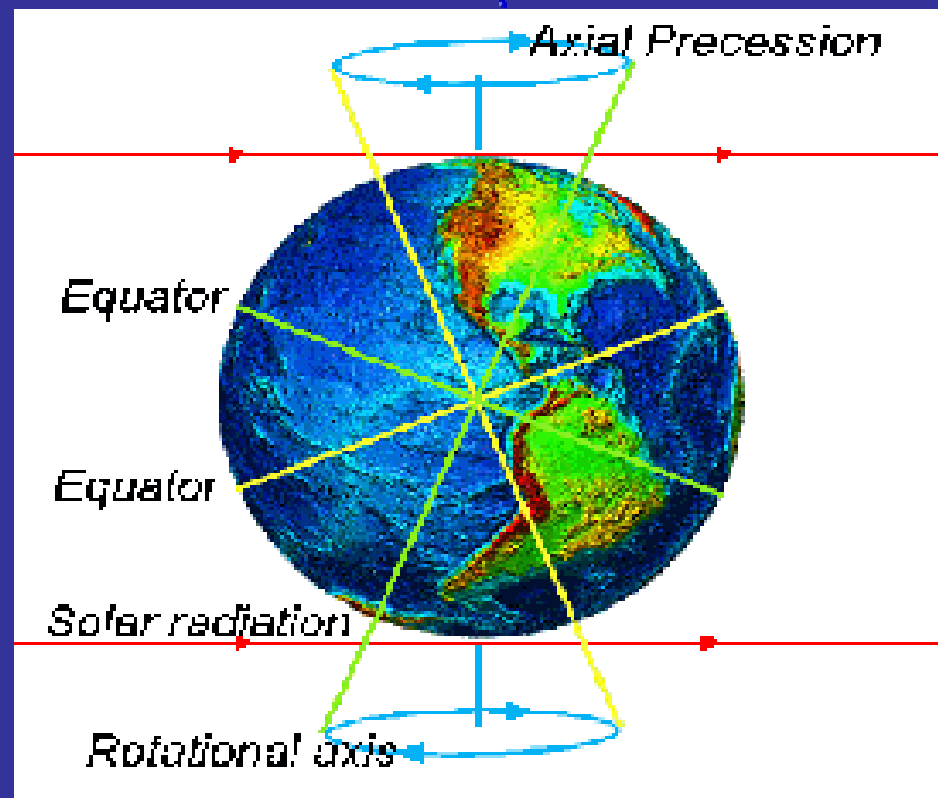
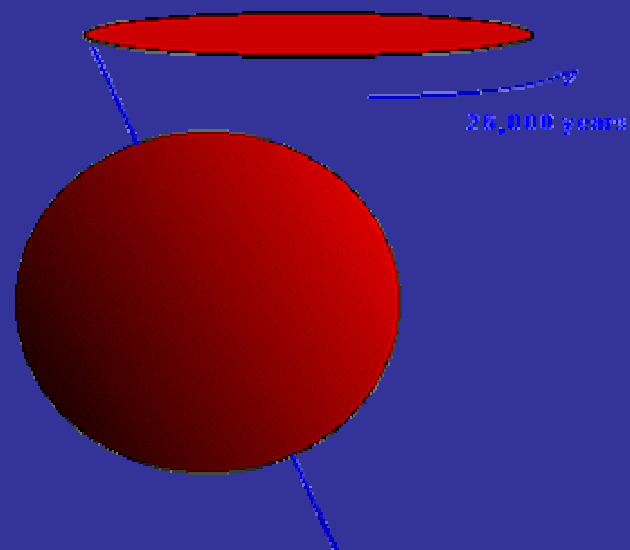
- Los movimientos anuales de las estrellas es una demostración del movimiento de la Tierra alrededor del Sol (velocidad $V=30 \text{ Km/s}$). Las observaciones demuestran que los polos celestes durante el año no cambian de posición entre las estrellas, entonces el eje de rotación de la Tierra durante su movimiento alrededor del Sol permanece paralelo a si mismo. La variación de la declinación del Sol (δ) durante el año es entre $-23^{\circ}26'$ y $+23^{\circ}26'$ y demuestra que el eje de rotación de la Tierra no es perpendicular al plano de la órbita terrestre y se encuentra inclinado respecto a el en un ángulo $90^{\circ}-23^{\circ}26'=66^{\circ}34'$.
- La sucesión regular de las estaciones del año en la Tierra es resultado de su movimiento alrededor del Sol, de la inclinación del eje de rotación terrestre respecto al plano de su órbita y de la constancia de dicha inclinación.
- De acuerdo a las leyes de la física la magnitud del flujo de energía radiante, que incide sobre la superficie es proporcional al coseno del ángulo entre la dirección de los rayos y la normal de la superficie.
- Durante el año la superficie terrestre según la latitud del lugar recibe diferente cantidad de la energía (calor). Entonces el hemisferio norte de la Tierra recibe durante primavera y verano (desde el 21 de marzo hasta el 23 de setiembre) mucho más calor que durante el otoño e invierno (desde el 23 de setiembre hasta el 21 de marzo). El hemisferio sur, por el contrario, recibe más calor desde el 23 de setiembre hasta el 21 de marzo y menos desde el 21 de marzo hasta el 23 de setiembre.
- El flujo de energía radiante varia también y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia hasta el Sol, pero esta variación no afecta en la sucesión de las estaciones del año en la Tierra. Por ejemplo en el perihelio la Tierra obtiene 7% mas calor que en el afelio. Con esto solo podemos explicar la diferencia del invierno menos crudo y del verano más fresco en el hemisferio norte en comparación con el invierno y verano en el hemisferio sur.



Rotación de la Tierra Alrededor de su Eje

- La rotación de la Tierra alrededor de su eje (Oeste - Este) se manifiesta en muchos fenómenos en la superficie de la Tierra. Por ejemplo los vientos constantes en las regiones tórridas de ambos hemisferios que soplan hacia el ecuador, durante el movimiento del ciclón del Sur al Norte su trayectoria se desplaza hacia el Este. Además, efecto de la rotación de la Tierra es la desviación hacia el oriente (E) de los cuerpos cayentes
- La Tierra no tiene una forma esférica exacta, también no es homogénea, ni absolutamente sólida, por esto el eje de rotación de la Tierra efectúa en el espacio un movimiento muy complicado. El eje de la Tierra describe lentamente alrededor del eje de la eclíptica un cono (con radio = $23026''$) que siempre está inclinado respecto al plano del movimiento de la Tierra (eclíptica) en un ángulo de $66034''$. Este movimiento del eje terrestre se llama movimiento de precesión y su periodo es 26000 años.
- La precesión provocada por la acción del Sol y de la Luna se llama Lunisolar. Por causa de las fuerzas de precesión lunisolar surgen las oscilaciones del eje terrestre con periodo de 18.6 años y se llama nutación.

26,000 Year Precession Period





Eje Vertical

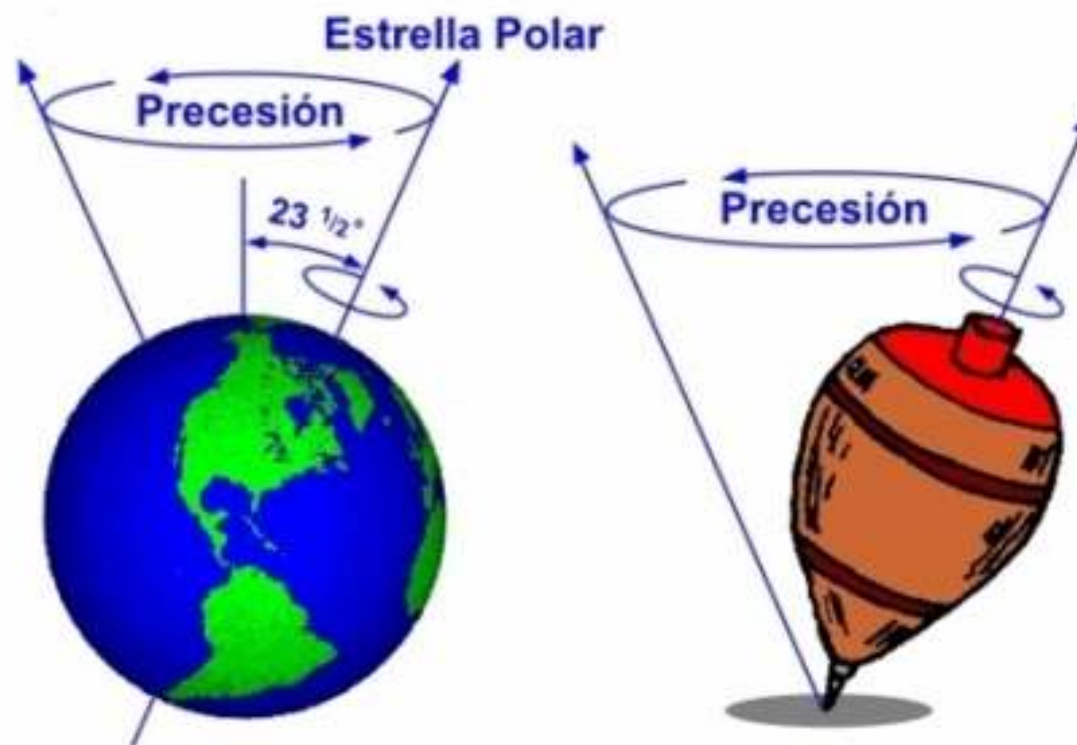
Patinadora
Girando

Tierra
Girando



Eje en
ángulo
de 23.5

Precesión



Efectos de la Rotación de la Tierra (O → E)



- Regiones Tórridas de ambos hemisferios y el ciclón Este.
- Desviación hacia el oriente (E) de los cuerpos cayentes.
- Nuestro planeta... ¿esfera? ¿sólida?, ¿homogénea?...

El eje de rotación de la Tierra efectúa en el espacio un movimiento muy complicado.

Rotación de la Tierra Alrededor de su Eje (2)

- Como resultado de la precesión y de la nutación del eje terrestre los polos celestes en realidad describen en el cielo líneas onduladas complicadas.
- La atracción de los planetas es demasiado pequeña para provocar cambios en la posición del eje terrestre, pero influye el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, cambiando en el espacio la posición del plano de la órbita terrestre o eclíptica. Esos cambios de la posición del plano de la eclíptica se denomina *precesión planetaria*, que desplaza el punto del equinoccio de primavera hacia el este en $0''.114$ al año.
- Las latitudes geográficas en varios puntos de la Tierra y el movimiento de los polos de la Tierra se varían periódicamente ~12-14 meses (por $+0''.3$ o $-0''.3$) y además cuando en un punto la latitud aumenta, un poco, en otro punto que yace en el meridiano geográfico opuesto la latitud disminuye aproximadamente en la misma magnitud.
- El periodo de rotación de la Tierra alrededor de su eje es irregular. Las variaciones de la velocidad de rotación se divide en tres tipos: *seculares, irregulares y periódicos*.
- Por ejemplo en el siglo XX la velocidad disminuyó y la duración de la rotación aumentó en $0''.0023$. Las causas de las variaciones seculares son las *mareas lunisolares*. Las causas de las variaciones periódicas posiblemente son redistribución estacionales de las masas aéreas.
- En Astronomía se utilizan dos sistemas del cálculo del tiempo: no uniforme: con base en observaciones de la rotación real de la Tierra y uniforme (tiempo de Newton o efemérides) : con base en el movimiento de la Luna y de los planetas.

Sistema de Cómputo del Tiempo

- **Tiempo Local ()**: El tiempo medido en un meridiano geográfico se denomina tiempo u hora local de este meridiano. En todo el meridiano geográfico el tiempo local (sidéreo (S) o solar ()) es igual en un mismo momento.
- Si la diferencia de las longitudes geográficas de los puntos es $\Delta \lambda$, entonces la diferencia de dos tiempos locales, Δt , en dos meridianos en un mismo momento físico será siempre igual a:
$$\Delta t = \Delta \lambda$$
- **Tiempo Sidéreo (S)** : El tiempo transcurrido desde la culminación superior del punto del equinoccio de primavera hasta cualquier otra posición de este punto expresado en fracciones del día sidéreo (en horas, minutos y segundos sidéreos) se denomina *tiempo sidéreo S*.
- **Tiempo Solar ()**: El tiempo transcurrido desde la culminación inferior del sol hasta cualquier otra posición de éste, expresado en fracciones de días solares (horas, minutos y segundos solares) se denomina *tiempo solar* .

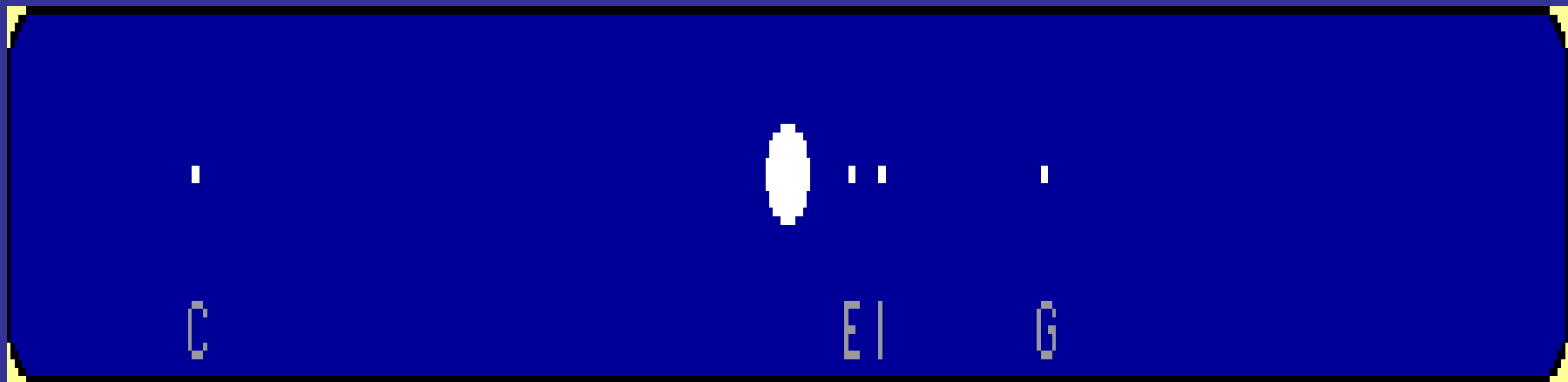
Animation illustrating that a solar day is about 4 minutes longer than a sidereal day because of the Earth's motion on its orbit

Sistema de Cómputo del Tiempo (2)

- *Días Sidéreos*: Intervalo de tiempo entre dos culminaciones sucesivas homónimas del punto de equinoccio de primavera en un mismo meridiano.
- *Días Solares*: Intervalo de tiempo entre dos culminaciones sucesivas homónimas del Sol en un mismo meridiano geográfico.
- **Tiempo Universal ()**: El tiempo solar medio local del meridiano de greenwich se denomina *tiempo universal* y tomando positivamente hacia el este de Greenwich.
- **Tiempo del Uso Horario ()**: En 1884 se propuso el sistema de cómputo de tiempo medio del uso horario, cuya esencia consiste en los siguiente:
- El computo del tiempo solamente se efectúa en los 24 meridianos geográficos básicos situados unos respecto a los otros cada (0 1 hora) de longitud, aproximadamente en el centro de cada huso horario, los husos horarios están numerados desde 0 hasta 23. El meridiano básico del primer huso horario esta situado exactamente a hacia el este del de Greenwich.
- El tiempo local solar del meridiano básico de cualquier huso horario se denomina *tiempo del huso horario* y es el tiempo local,
- -es la longitud oriental del punto desde Greenwich,
- -es la cantidad de horas enteras igual el número ordinal del huso horario en el que se encuentra el punto dado (longitud del meridiano básico del huso horario).

Callisto, Europa, Io y Ganymede

Ejemplos de movimiento de lunas
para el caso de Júpiter:



La Órbita de la Luna: Mov. Alrededor de la Tierra



La Órbita de la Luna

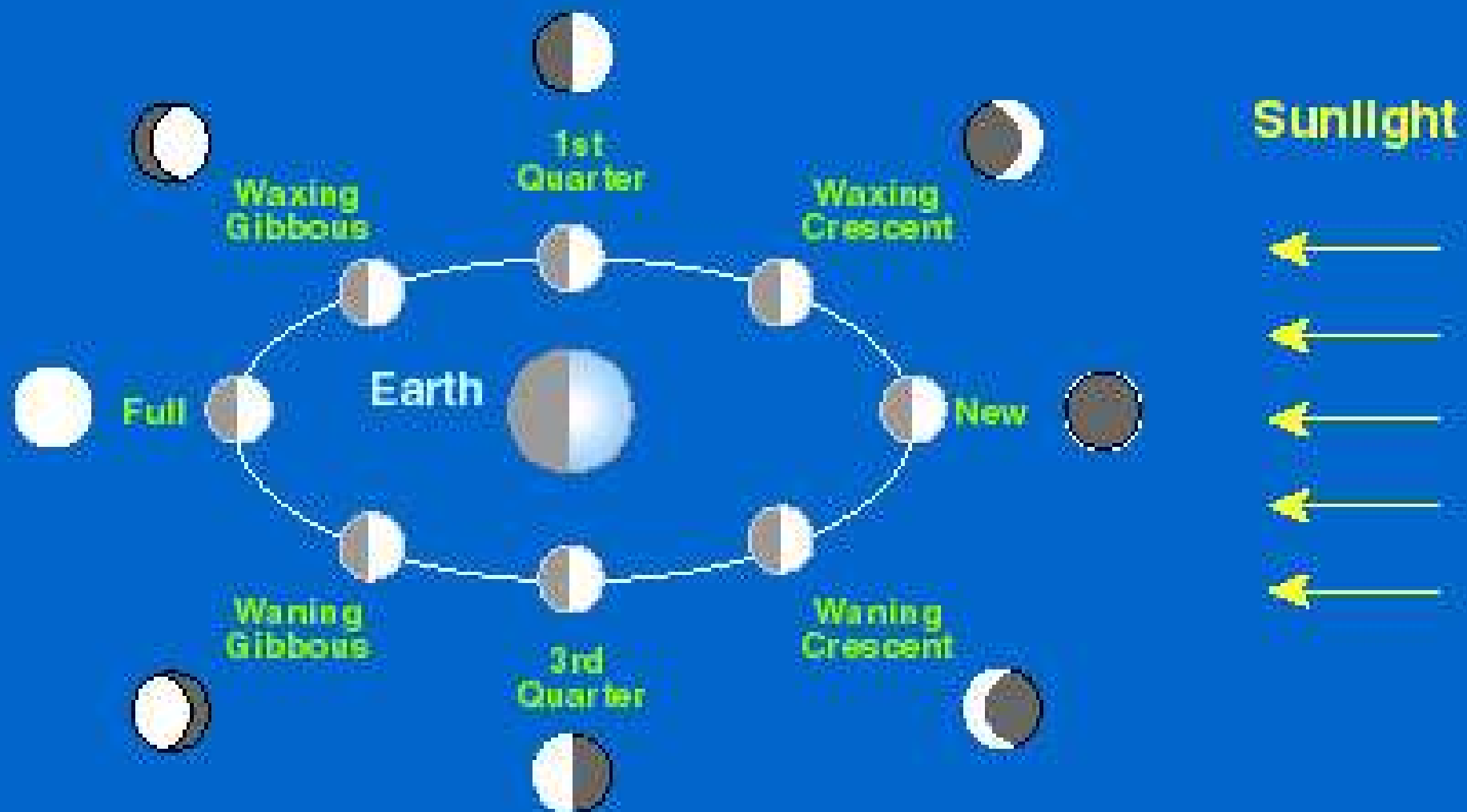
- La órbita del movimiento no perturbado de la Luna alrededor de la Tierra es una elipse con excentricidad $e = 1/18$ y con un semieje mayor $a = 384400 \text{ Km}$. En el perigeo y apogeo de la distancia entre la Tierra y la Luna es de $(\pm)21\,000 \text{ Km}$.
- El plano de la órbita lunar está inclinado con respecto a la eclíptica a $\sim 5^\circ 09'$. La Luna se mueve alrededor de la Tierra en la dirección de Oeste - Este. El período de revolución de la Luna alrededor de la Tierra se denomina *mes sidéreo* o *estelar* y es de aproximadamente de 27.32 días.
- El movimiento de la Luna es uno de los problemas complicados de la mecánica celeste: las perturbaciones en el movimiento de la Luna son muy grandes y además, la Luna está cerca de la Tierra y por esto todas las oscilaciones de su movimiento observamos más que en los movimientos de los planetas o de estrellas alejadas.
- Los elementos de la órbita lunar varían constantemente por causa de la perturbaciones y esas variaciones son periódicas, por ejemplo: los nodos lunares se desplazan continuamente por la eclíptica hacia el Oeste, dando una vuelta entera por la eclíptica en 18 años y 7 meses. El desplazamiento de los nodos en cada revolución es de $\sim 1^\circ 5'$, , entonces al transcurrir un mes sidéreo la Luna nunca regresa exactamente a su posición anterior y solamente al cabo de 18 años y 7 meses la órbita lunar ocupa de nuevo su posición anterior.

Movimiento Aparente y Fases de la Luna

- El movimiento aparente de la Luna en el fondo de las estrellas es el resultado del movimiento real de la Luna alrededor de la Tierra. La Luna en el transcurso de un mes sidéreo se desplaza siempre entre las estrellas en una misma dirección de Oeste - Este, con el movimiento directo. La ruta aparente de la Luna en el cielo es una curva cerrada que cambia constantemente su posición entre las estrellas de las constelaciones zodiacales.
- El movimiento aparente de la Luna va acompañado de la variación constante del aspecto exterior de ésta, que se caracteriza por la *fase* de la Luna. Las fases lunares se explican por el hecho de que la Luna (como la Tierra) es un cuerpo oscuro, opaco, de forma casi esférica y durante su movimiento alrededor de la Tierra ocupa distintas posiciones respecto al Sol: en ciertos días la Luna no se ve absolutamente en el cielo, en otros días tiene la forma de false estrecha, semicírculo o círculo entero.
- Debido al alejamiento del Sol , los rayos solares, que inciden sobre la Luna, son casi paralelos y siempre iluminan, exactamente la mitad de la esfera lunar, su otra mitad siempre permanece oscura. Pero puesto que hacia la Tierra generalmente están dirigidos una parte del hemisferio (siempre del mismo hemisferio!) claro y una parte oscura, la Luna nos parece más frecuentemente ser un círculo incompleto. La línea que divide la parte oscura de la clara del disco lunar se denomina el *terminador* y es siempre una semielipse. El ángulo γ entre las direcciones del Sol a la Luna y de la Luna a la Tierra se denomina *ángulo de fase*.

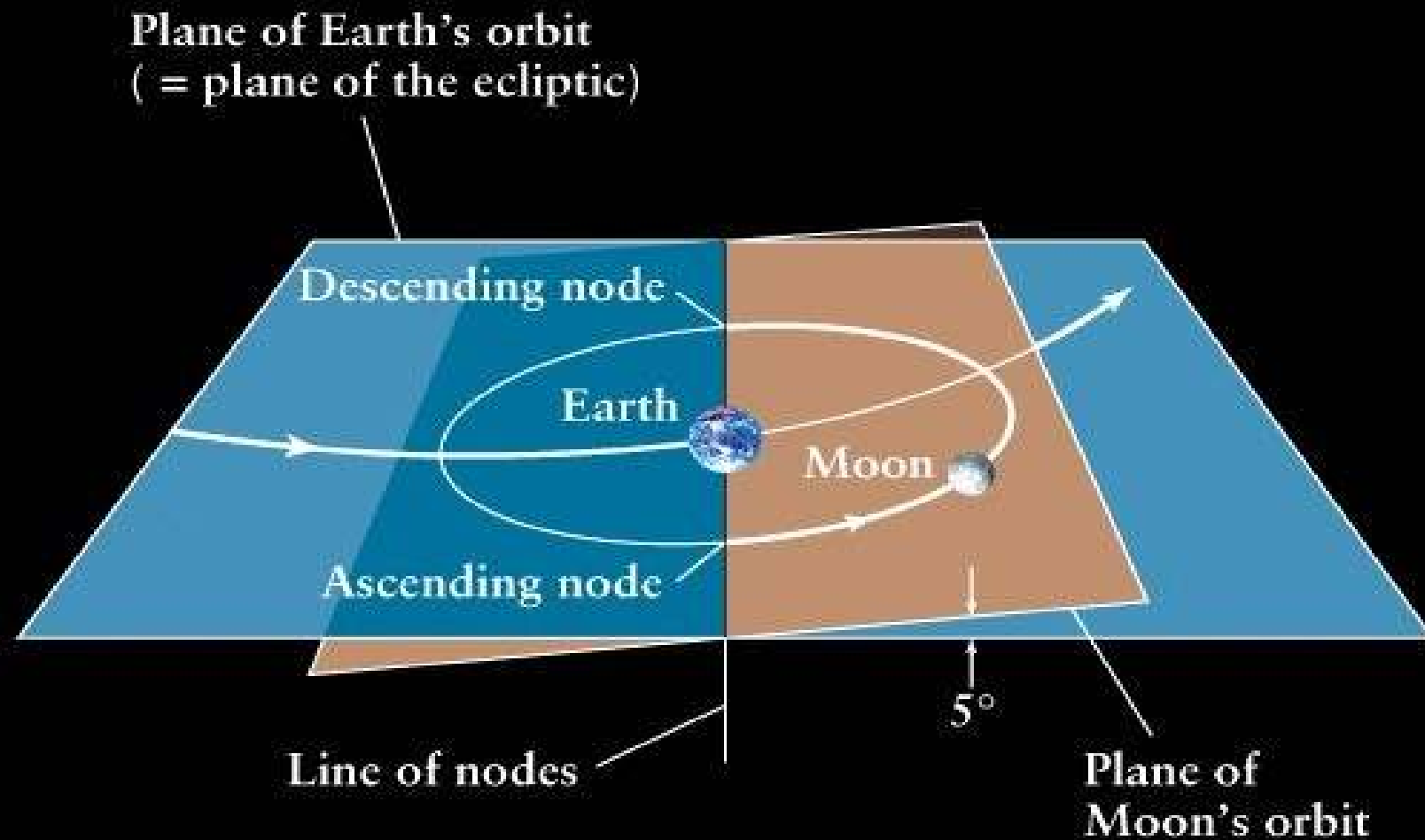
Movimiento Aparente y Fases de la Luna (2)

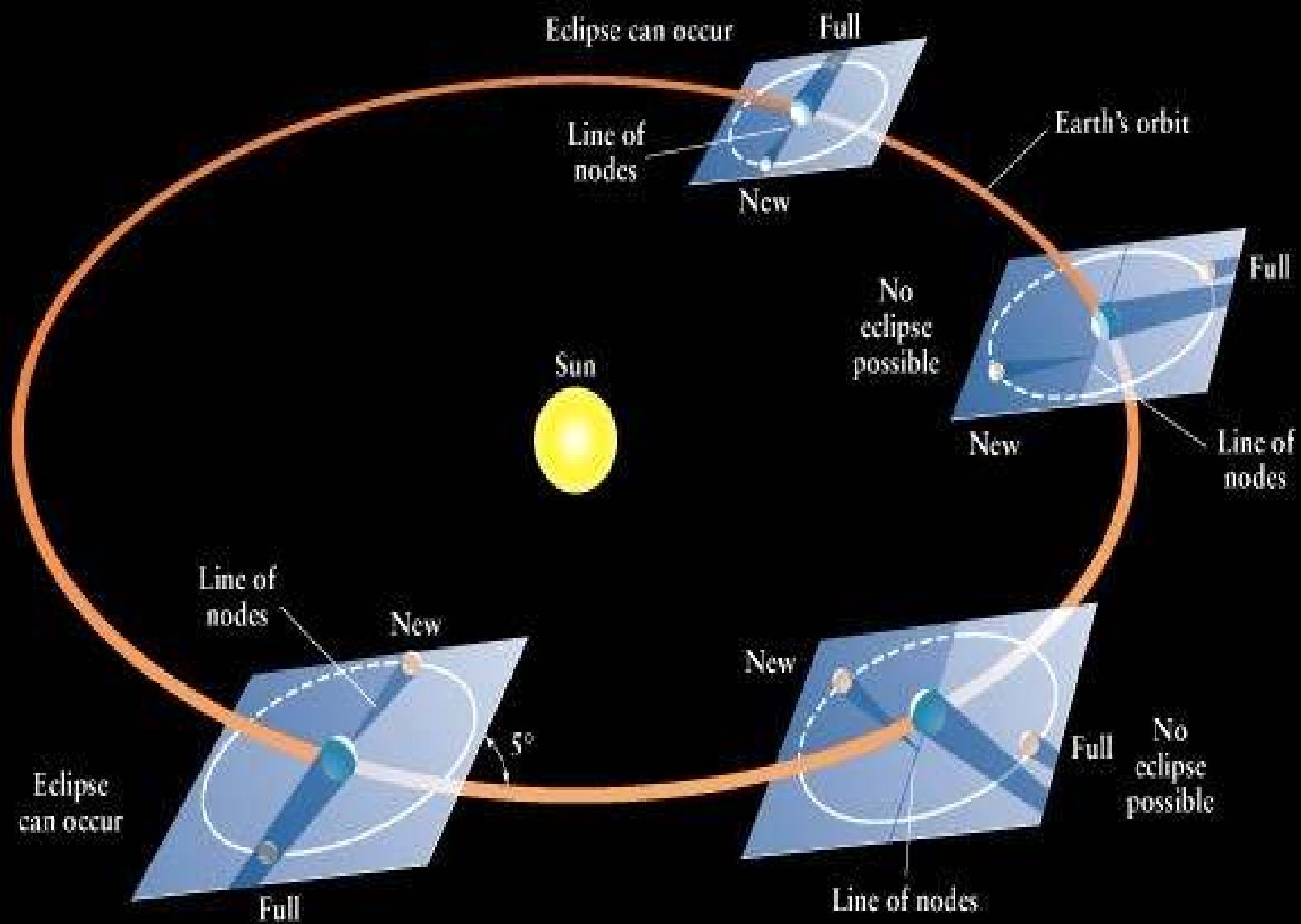
- Son cuatro fases fundamentales de la Luna que pasan gradualmente de una a otra: *Luna nueva*, *cuarto creciente*, *Luna llena* y *cuarto menguante*.
- Durante la *Luna nueva*, ésta pasa entre el Sol y la Tierra, ($\gamma=180^\circ$), la cara oscura de la Luna está dirigida hacia la Tierra y la Luna no se ve en el cielo. Después aproximadamente de dos días la Luna se ve en el Oeste en forma de false estrecha, poco tiempo después de la puesta del Sol. La false de Luna aumenta gradualmente y después de ~ 7 días de la Luna nueva, se obtiene la forma de un semicírculo: comienza la fase de *cuarto creciente*, en este momento ($\gamma=90^\circ$), durante esta fase la Luna se ve en la primera mitad de la noche y después se pone tras el horizonte. Desde la Tierra cada día se ve más la parte del hemisferio iluminado de la Luna y 7 días después del cuarto creciente comienza la *Luna llena*, que tiene aspecto de un círculo completo ($\gamma=0^\circ$) y toda la cara iluminada de la Luna está dirigida hacia la Tierra, la Luna se ve en el cielo en la dirección opuesta del Sol, por eso, la Luna llena se ve durante toda la noche: sale al ponerse el Sol y se pone en la madrugada. Después, de cada día desde la Tierra se ve una parte cada vez menor del hemisferio iluminado de la Luna y después de aproximadamente 7 días la Luna llena, la Luna se ve de nuevo en forma de semicírculo: comienza el *cuarto menguante* ($\gamma=90^\circ$) y la Luna se ve la segunda mitad de la noche hasta la salida del Sol.

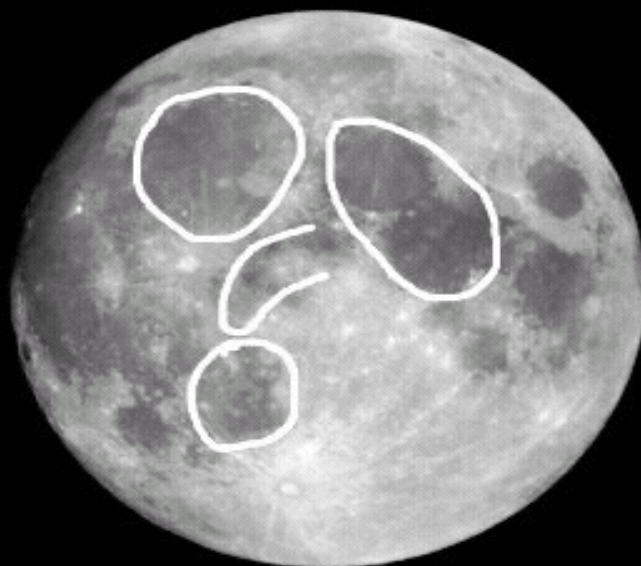
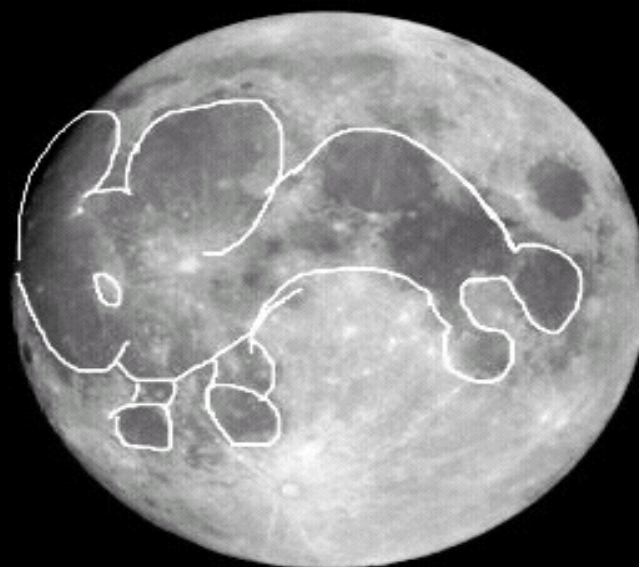


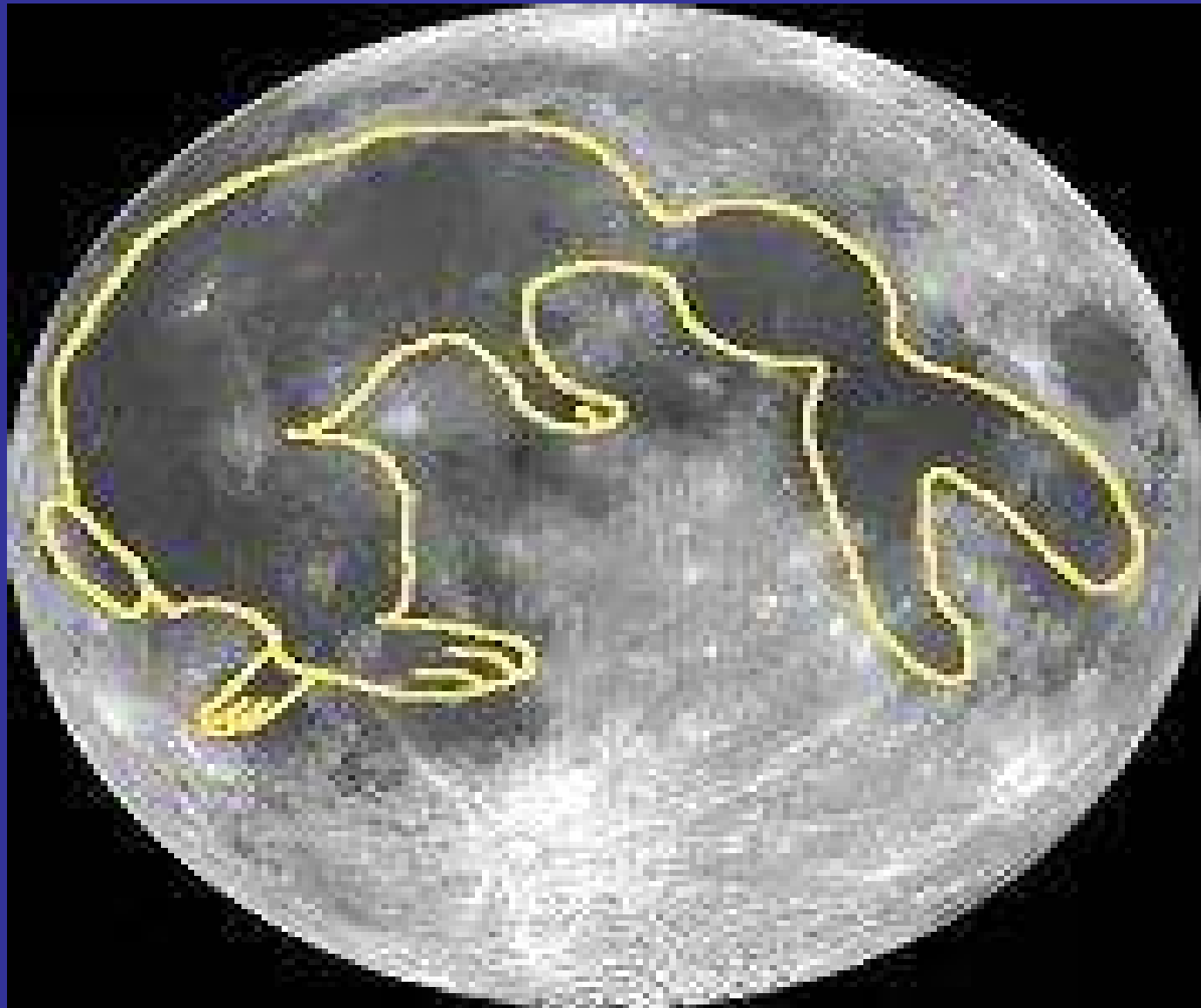


NODOS













Períodos de Revolución de la Luna

- El intervalo del tiempo entre dos fases sucesivas homónimas (por ejemplo: entre dos Lunas llenas) se denomina el mes sinódico lunar y es ~29,53 días. Entonces el mes sinódico es más largo que el sidéreo: transcurridos de 27,32 días (es decir pasado un mes sidéreo) la Luna habiendo realizado una vuelta completa por su órbita, ocupará su posición anterior respecto a las estrellas pero la Tierra en este período se desplazará...
- Además de los períodos sidéreo y sinódico de las revoluciones en el movimiento de la Luna, se distinguen tres períodos más: el *mes anomalístico* (tiempo entre dos pasos sucesivos de la Luna por el perigeo (~27,55 días)), el *mes dracónico* (intervalo de tiempo entre dos pasos sucesivos de la Luna por un mismo nodo de su órbita (~27,32 días)) y el *mes trópico* (intervalo de tiempo durante el cual la longitud de la Luna aumenta en 360° y es ~7 segundos más corto que el mes sidéreo).

La Rotación y Traslación de la Luna

- La Luna está dirigida hacia la Tierra con una misma cara, con un mismo hemisferio, pues, *gira alrededor de su eje con el mismo período y en la misma dirección que se traslada alrededor de la Tierra* (es decir, el día y año sidéreo en la Luna es de 27,32 días terrestres).
- El eje de rotación de la Luna está inclinado respecto al plano de la órbita lunar en un ángulo $\sim 83^{\circ}20'$ (entre $83^{\circ}10'$ y $83^{\circ}31'$). Así, el plano del ecuador lunar forma con el plano de la órbita lunar un ángulo $60^{\circ}39'$ y con el plano de la eclíptica $10^{\circ}30'$, por eso el plano de la eclíptica esta entre los planos del ecuador lunar y de la órbita lunar, y los 3 planos se cortan en una misma recta, que fue descubierta por Cassini (año 1721) y se denomina la ley de Cassini.
- En cada momento dado desde la Tierra se ve exactamente la mitad de la superficie de la Luna pero las observaciones largas nos permiten estudiar casi el 60 % de su superficie. Esto es posible gracias a los fenómenos que se llaman *libraciones* de la Luna. La libración física (la oscilación) de la Luna tiene lugar por el hecho de que el semieje mayor del elipsoide lunar se desvía de la dirección a la Tierra, mientras que la atracción de la Tierra tiende a volverlo a misma posición. La magnitud de la liberación física es $\sim 2''$.

La Rotación y Traslación de la Luna

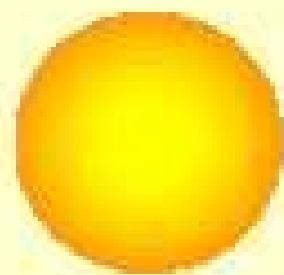
- Las libraciones ópticas o aparentes, durante las cuales la luna en realidad no efectúa oscilación alguna, pueden ser de tres tipos: en longitud, en latitud y paralácticas.
- La libración en longitud se debe a que la Luna gira uniformemente alrededor de su eje, pero su movimiento por la órbita según la II ley de Kepler es más rápida cerca del perigeo y más lenta cerca del apogeo. El periodo de liberación en longitud es igual al mes anomalístico y su magnitud máxima es $\sim 7^{\circ}54'$.
- La libración en latitud surge por la inclinación del eje de rotación lunar respecto al plano de su órbita y por la conservación de la dirección del eje en el espacio. El periodo es igual al mes draconico y su magnitud máxima es $\sim 6050'$.
- La libración diurna o paraláctica surge como resultado de la proximidad relativa entre la Luna y la Tierra. Por esto desde los distintos puntos de la Tierra la superficie lunar se ve desigualmente y su magnitud es $\sim 1^{\circ}$.

ECLIPSES: Concepto

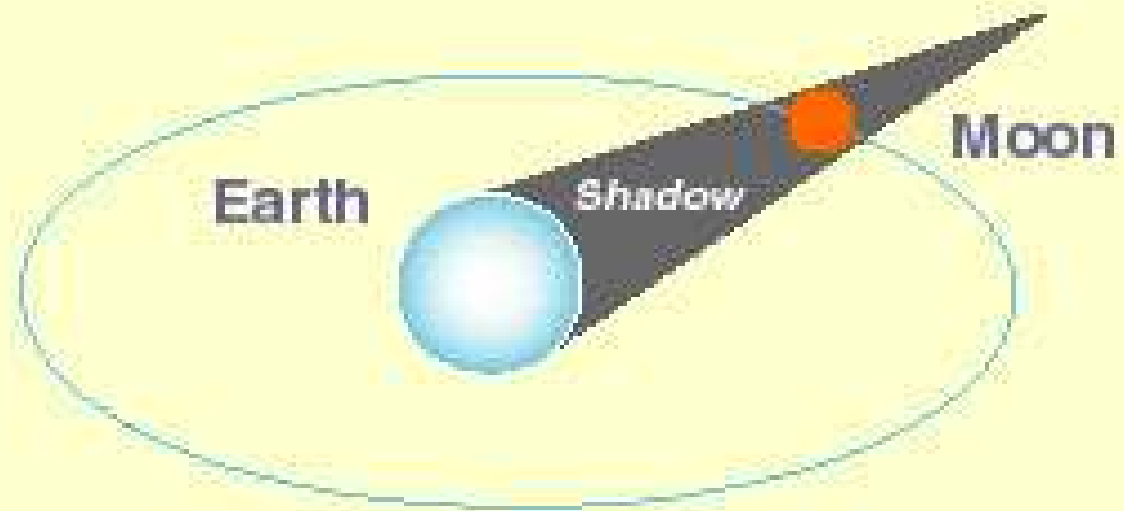
Lunares	Solares
Luna llena (plenilunio)	Luna nueva (novilunio)
Tarda 3 horas aproximadamente, en su fase total	Tarda solo unos minutos en su fase total (1991 → 8min)
Casi al mismo tiempo!	Comienza en distinto tiempo
Existen los totales, parciales, penumbrales e híbridos	Existen los totales, parciales, penumbrales e híbridos

Eclipses Lunares

- La Tierra iluminada por el Sol proyecta su sombra hacia el lado opuesto a esta. La sombra de la Tierra tiene la forma de cono y su diámetro supera el diámetro de la Luna hasta en 2.8 veces. Por eso el eclipse lunar total puede durar 2 horas.
- Durante el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, la Luna puede entrar en el cono de la sombra terrestre y entonces, si la Luna entra completamente en la sombra tendría lugar el *eclipse total* de Luna y si en la sombra entra solamente una parte de la Luna entonces el eclipse será *parcial*. Puesto que, la Luna no obtiene la luz solar durante el eclipse, este se ve en todo el hemisferio nocturno de la Tierra y para todos los puntos de la Tierra (de este hemisferio) comienza y termina en un mismo momento físico (son distintos según el tiempo local).
- Como la Luna se mueve de Oeste a Este en la sombra terrestre entra primero el borde izquierdo de la Luna y aparece la giba que aumenta gradualmente y el disco aparente de la Luna toma la forma de una false que se diferencia de la false durante las fases lunares, el terminador es un arco de circunferencia con radio de ~ 2.5 el radio de la Luna.
- Al eclipse de Luna total o parcial le precede y concluye el eclipse de Luna penumbral: cuando la Luna pasa través de la penumbra terrestre (es muy difícil observar). Los eclipses de Luna solamente pueden suceder durante los plenilunios.



Sun



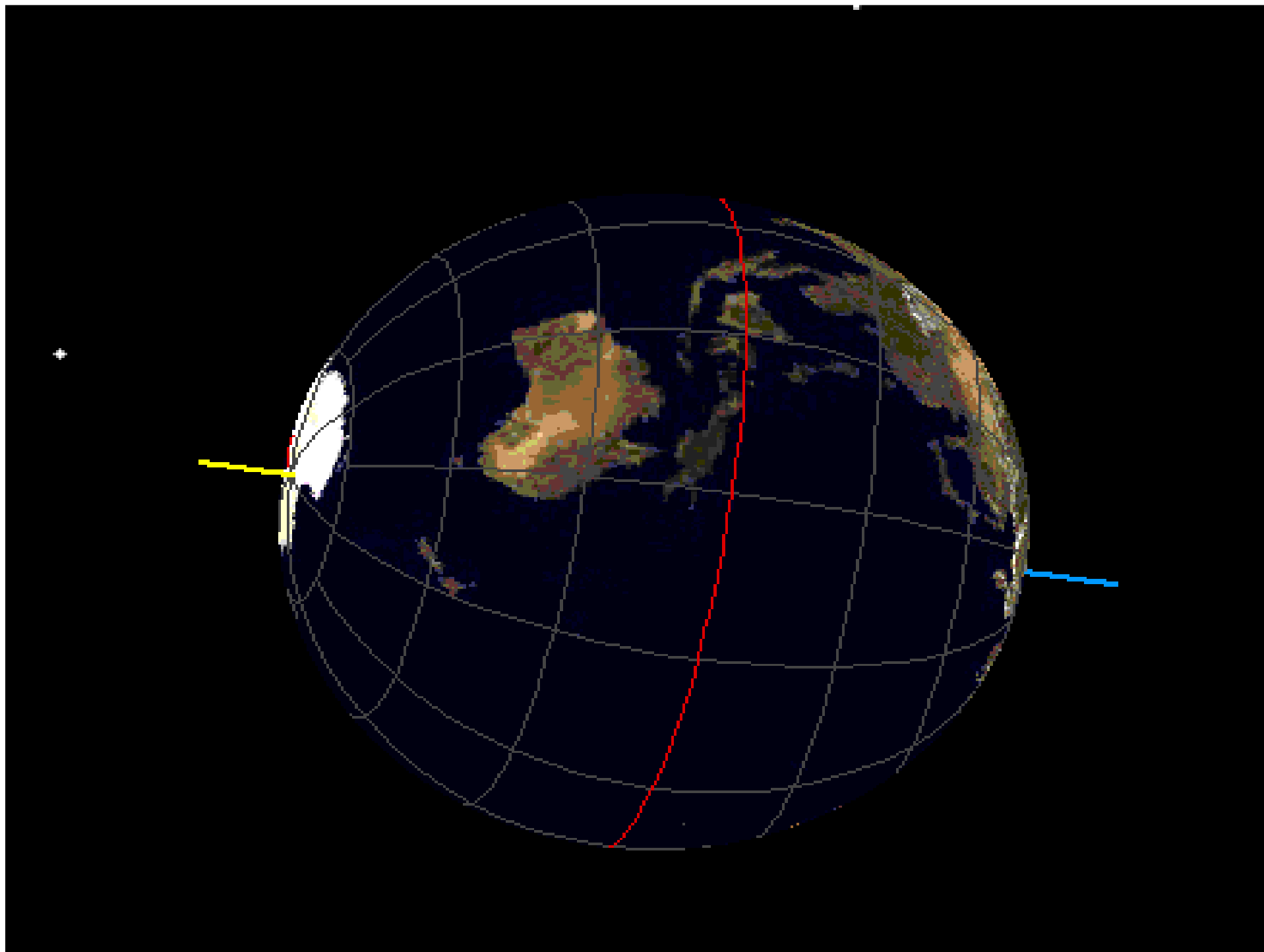
Earth

Shadow

Moon

Animation of a Total Lunar Eclipse

(Distances not to scale)

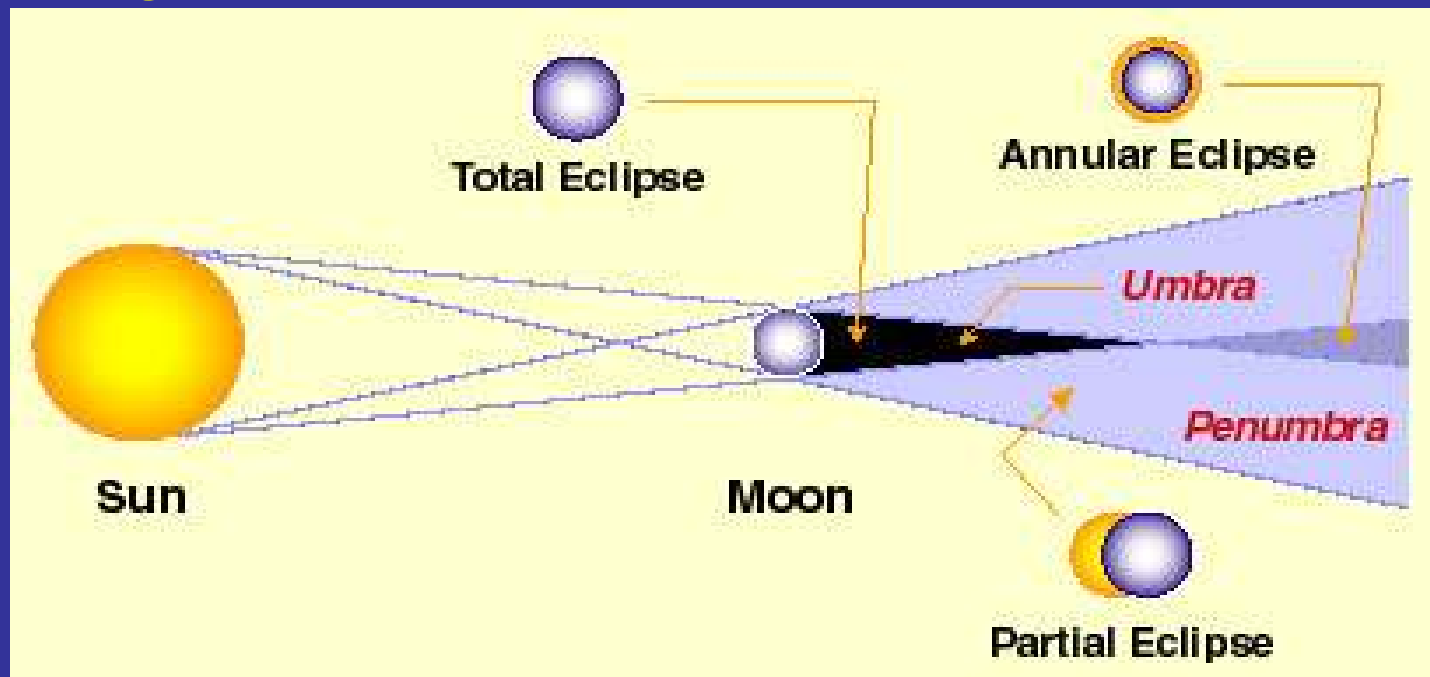


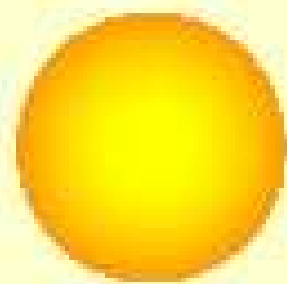
Eclipses Solares

- Las ocultaciones del Sol por la Luna se denominan *eclipses solares*. El disco solar estaría totalmente tapado solamente para el observador que se encuentra en el interior del cono de la sombra lunar, cuyo diámetro máximo en la superficie terrestre es de 270 Km. En esta zona de la superficie terrestre sobre la que cae la sombra de la Luna se verá el eclipse *total* de Sol y sobre las que cae la penumbra de la Luna se verá el eclipse *parcial* del Sol: el disco de la Luna cubrirá solamente una parte del disco solar. Cuanto más cerca del eje de la sombra se encuentre el observador, tanto mayor será la fase del eclipse. Fuera del cono de la penumbra se ve todo el disco del Sol y no se observa eclipse alguno.
- En los diferentes puntos de la Tierra el eclipse solar comienza en distinto tiempo.
- Puesto que la distancia entre la Luna y Tierra varía entre 405500 y 363300 Km, mientras que la longitud del cono de la sombra total de la Luna en término medio, igual a 37400 Km, el vértice del cono de la sombra lunar a veces no alcanza la superficie terrestre. En este caso para el observador cerca del eje del cono de la sombra lunar, se observa eclipse *anular*: los márgenes del disco solar quedarán al descubierto y formarán alrededor del disco oscuro de la Luna un anillo fino brillante.

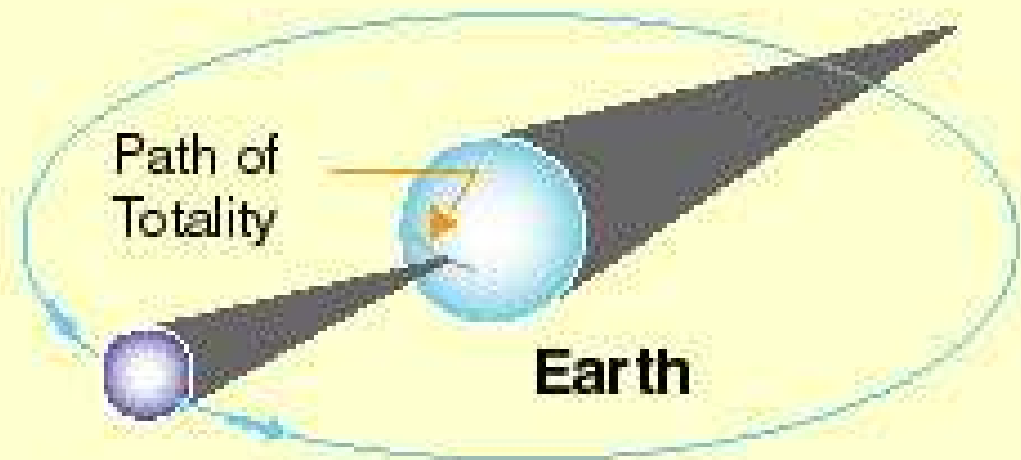
Eclipses Solares

- Puesto que la Luna se mueve de Oeste a Este el eclipse solar comienza por el margen occidental del disco solar, al principio en este aparece una giba que tiene la forma de un arco del círculo (con radio igual al radio del Sol: la Luna está ~400 veces más cerca de la Tierra que el Sol, y el diámetro lineal de la luna es ~400 veces menor que el solar), después la giba crece paulatinamente y el Sol adquiere la forma de falce cada vez mas estrecha. Cuando desaparece el ultimo punto del disco solar comienza la fase total, que solamente dura 2-7 minutos. Luego el disco oscuro de la Luna se retira gradualmente del disco solar y termina el eclipse. La duración total de todas las fases del eclipse puede ser mayor de 2 horas. Los eclipses solares solamente tienen lugar durante el novilunio.





Sun



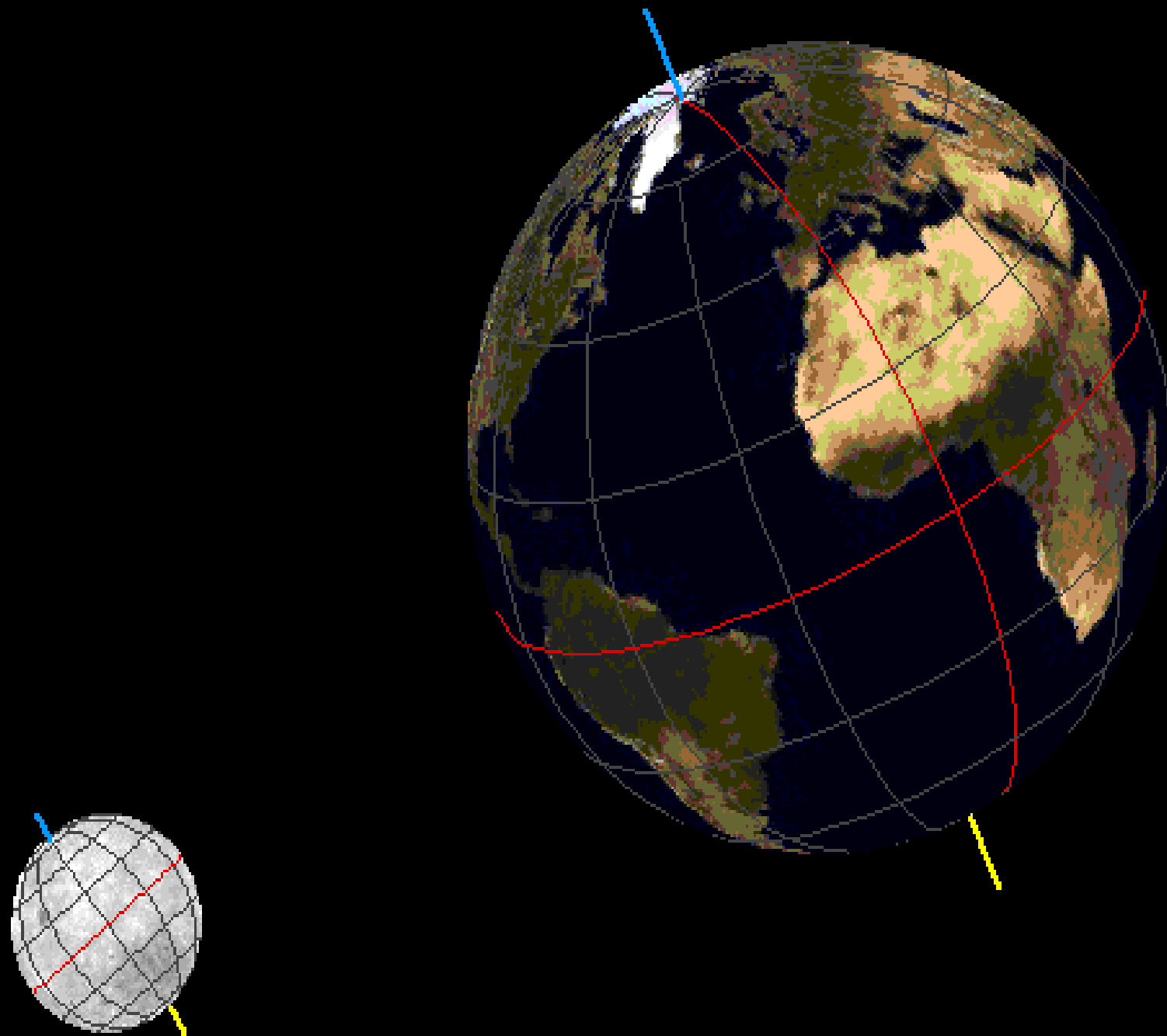
Path of
Totality

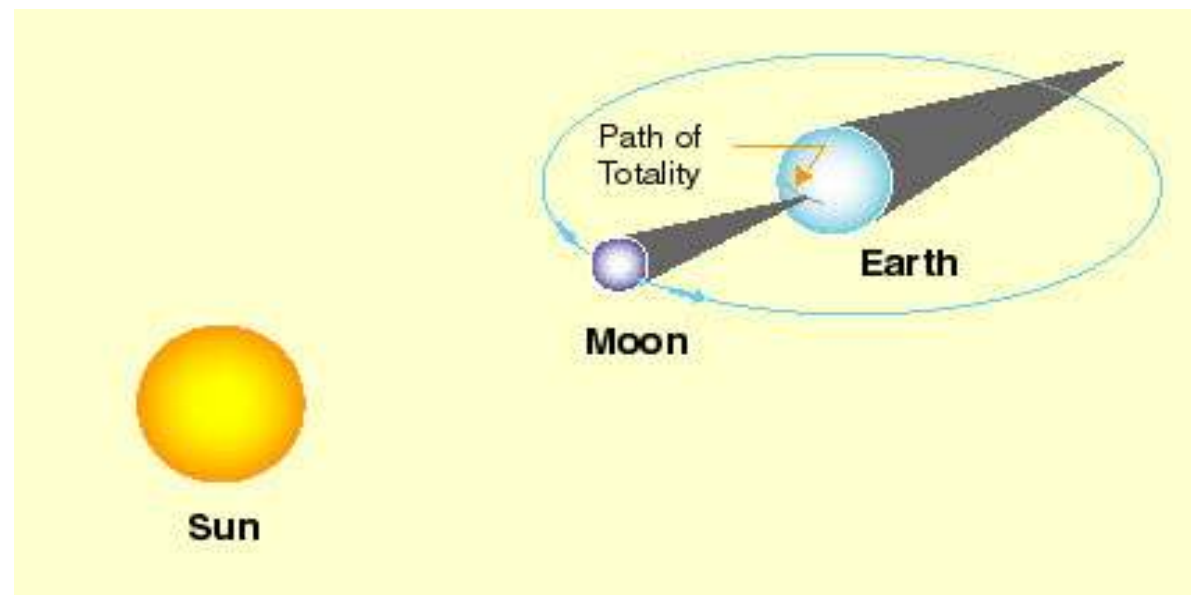
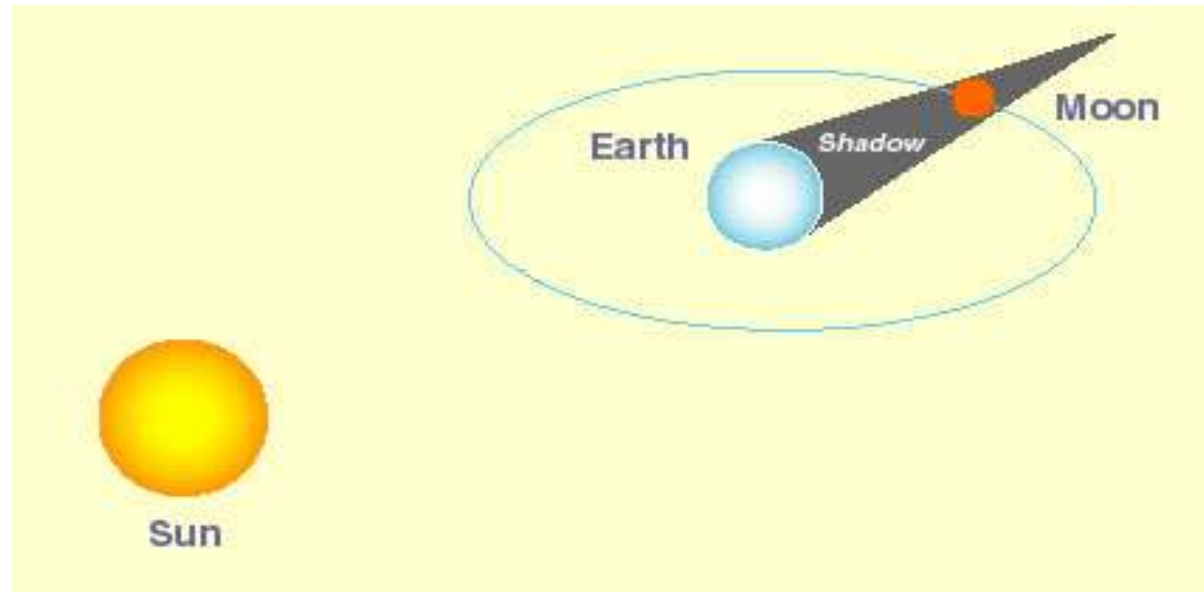
Earth

Moon

Animation of a Total Solar Eclipse

(Distances not to scale)





Condiciones del Comienzo de los Eclipses Solares y Lunares

- Si el plano de la órbita lunar coincidiera con el plano de la eclíptica, entonces los eclipses solares y lunares tendrían lugar cada mes sinódico.
- Pero el plano de la órbita lunar está inclinado respecto al plano de la eclíptica por $5^{\circ}09'$, por lo que la Luna durante el novilunio o plenilunio puede encontrarse lejos del plano de eclíptica y entonces, su disco pasará por arriba o por debajo del disco del Sol o del cono de la sombra de la Tierra y no habría eclipse alguno.
- *Para que suceda un eclipse de Sol o de Luna es necesario que la Luna durante el novilunio o plenilunio se encuentre cerca del nodo de su órbita (es decir no lejos de la eclíptica).*
- Cada año tienen lugar de 2 a 5 eclipses solares y de 0 a 3 eclipses lunares.
- Cinco eclipses solares y tres eclipses lunares suceden en un año cuando el primero de ellas tiene lugar poco tiempo después del 1 de enero.

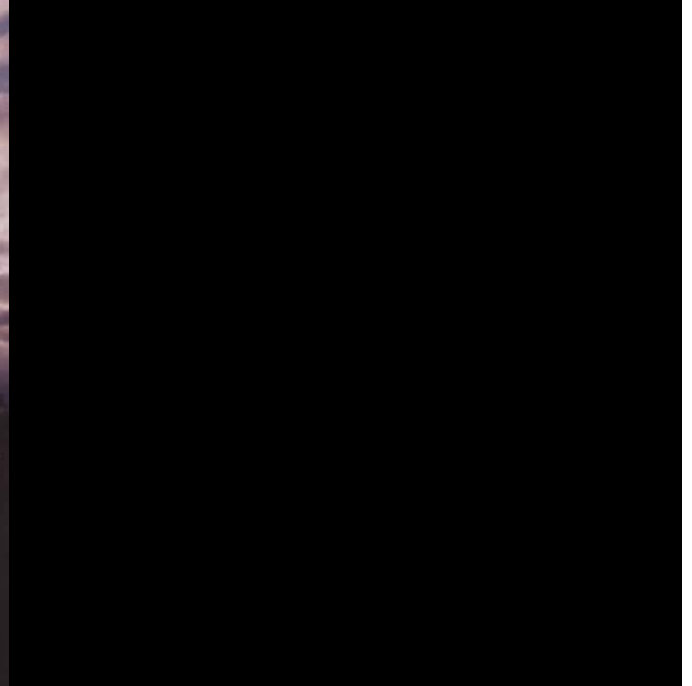
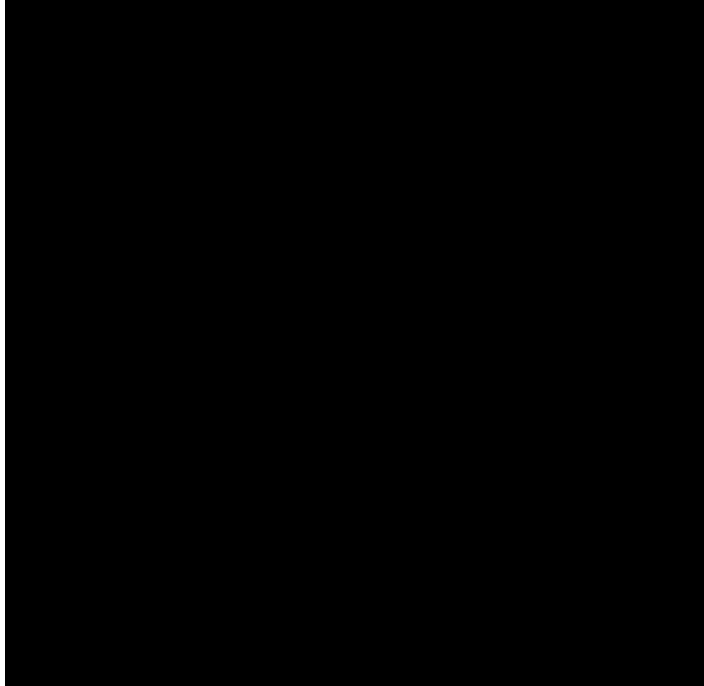
SAROS

- *Saros: (18 años y 11.3 días) es el periodo de repetición de la sucesión de los eclipses.*
- Durante cada saros suceden 70 eclipses: 41 eclipses solares y 29 eclipses lunares.
- Pero en un punto dado de la superficie terrestre se pueden observar con mayor frecuencia los eclipses lunares, porque se ven en todo el hemisferio de la Tierra.
- Los eclipses totales del Sol se observan muy raramente, durante los saros suceden ~10 eclipses totales del Sol.
- En un punto dado de la superficie terrestre los eclipses totales del Sol se ven 1 vez cada 200-300 años.





Annular Eclipse of 2001,
December 14, Costa Rica



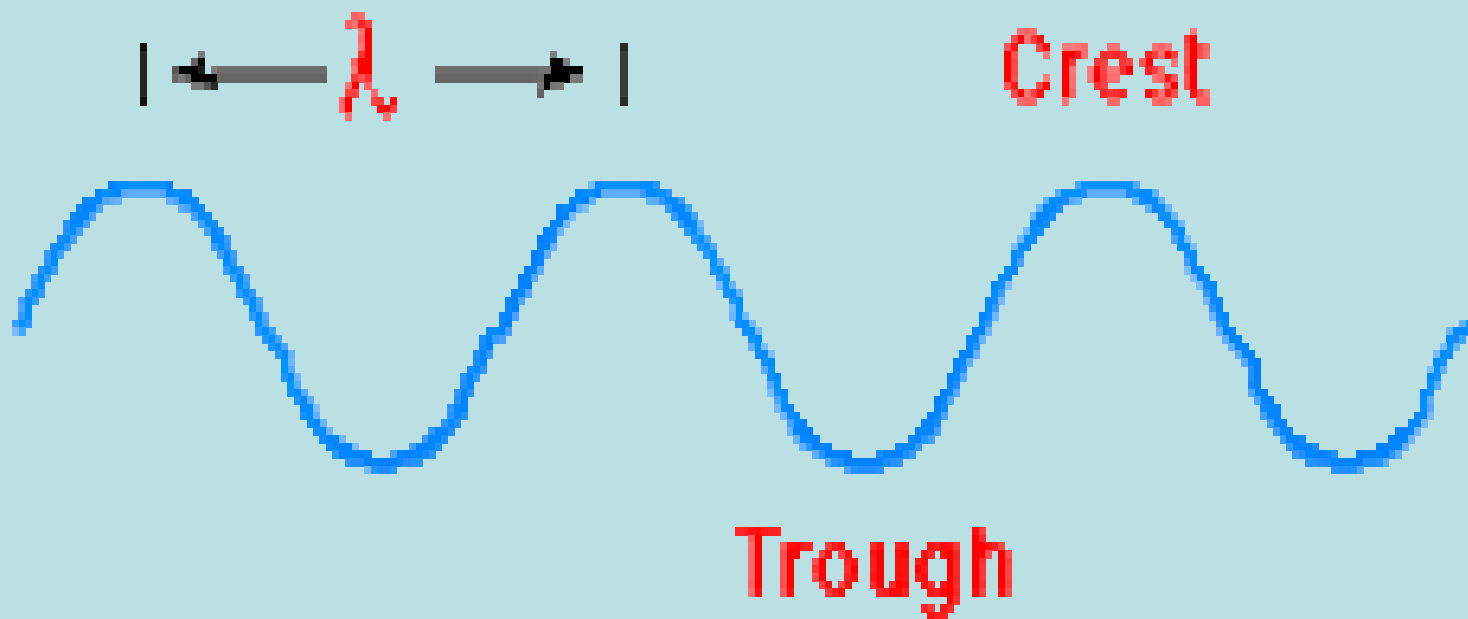
Fundamentos de la Astrofísica

➤ La Radiación Electromagnética.

- El conjunto de todas las variedades de radiación o interacción de los campos eléctricos y magnéticos se denomina espectro de radiación electromagnética. La unidad de medición de la energía de los cuantos es el electrón-voltio (eV) y $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ ergios.}$
- La radiación electromagnética tiene propiedades ondulatorias y se le puede caracterizar por la longitud de onda λ y frecuencia ν : $\lambda \nu = c$
- Las unidades de λ es de $\text{\AA}$: $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$ o $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$, o $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$, la unidad de ν es el Hertz y $1 \text{ Hz} = 1 \text{ oscilación en un segundo} = 1/\text{s}$.
- La energía E de los cuantos es:
$$\varepsilon = h \nu = \frac{hc}{\lambda}$$

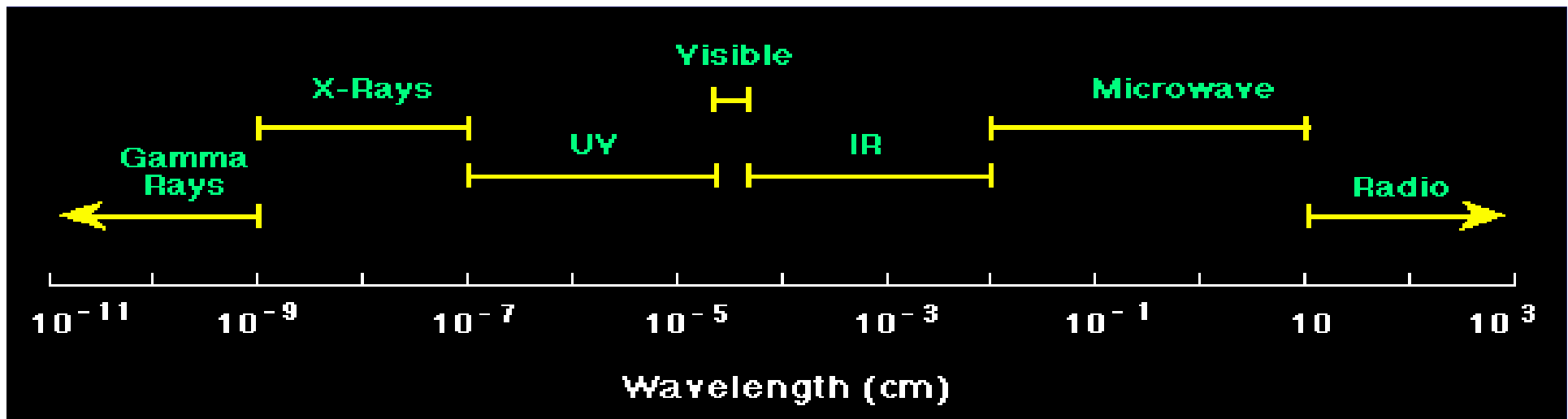
Donde h es la constante de Planck y $h = 6,62 \times 10^{-27} \text{ ergs} \cdot \text{s}$.

- La radiación en la zona visible del espectro es muy importante, porque la atmósfera terrestre la deja pasar relativamente bien. En otras zonas del espectro la absorción es mucho mas intensa y la radiación cósmica penetra solamente hasta cierto nivel de la atmósfera terrestre.
- La atmósfera absorbe: ondas cortas del espectro UV, X y γ y ondas largas: infrarrojos (desde 1 mm) y radioeléctricas (excepto $\sim 1 \text{ mm}$, $4,5 \text{ mm}$, 8 mm , 1 cm - 20 cm).

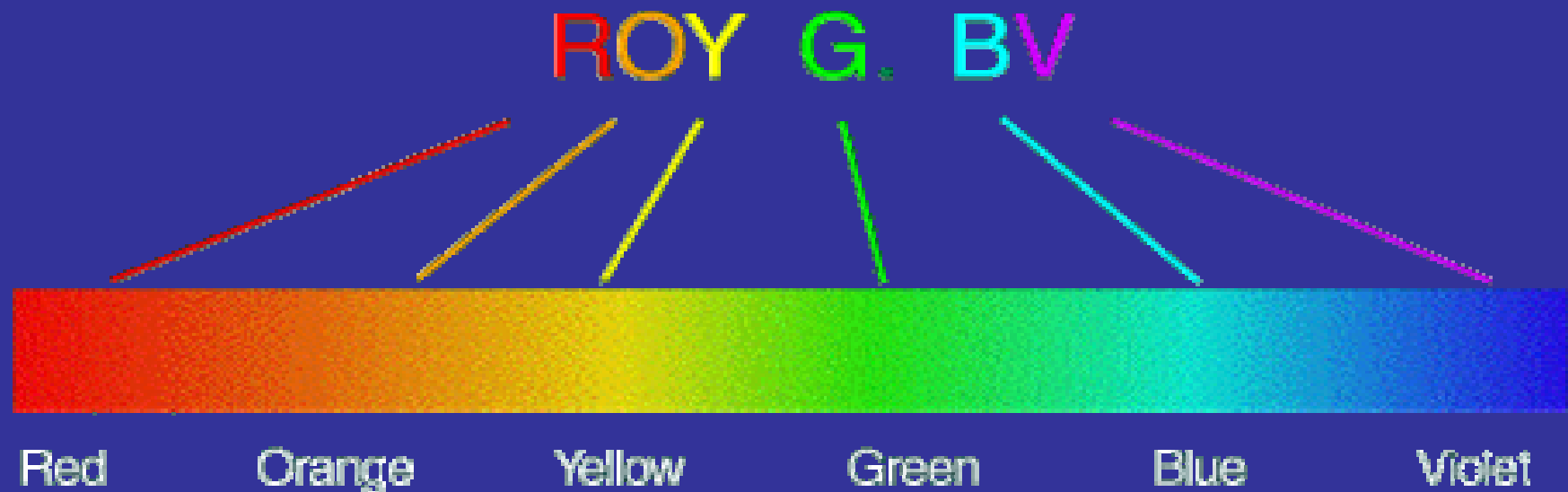


Spectrum of Electromagnetic Radiation

Region	Wavelength (Angstroms)	Wavelength (centimeters)	Frequency (Hz)	Energy (eV)
Radio	$> 10^9$	> 10	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Microwave	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infrared	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Visible	$7000 - 4000$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultraviolet	$4000 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
X-Rays	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Gamma Rays	< 0.1	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

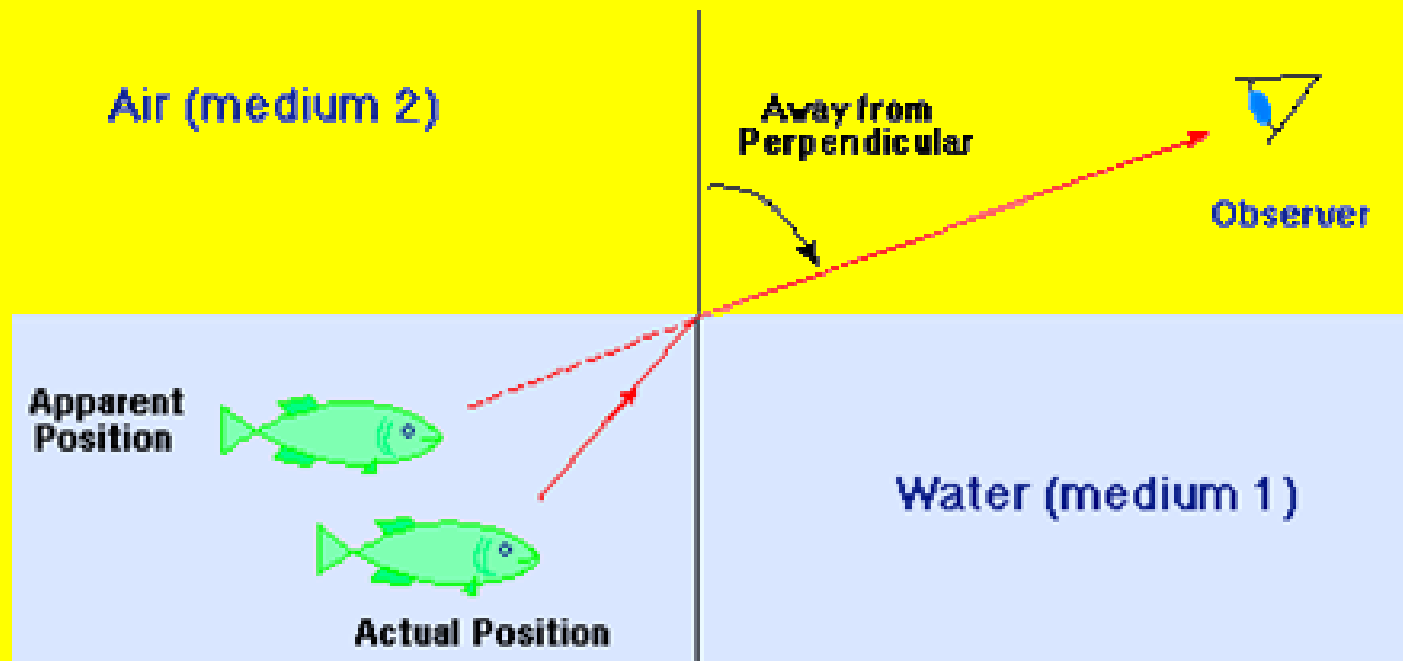


The visible spectrum



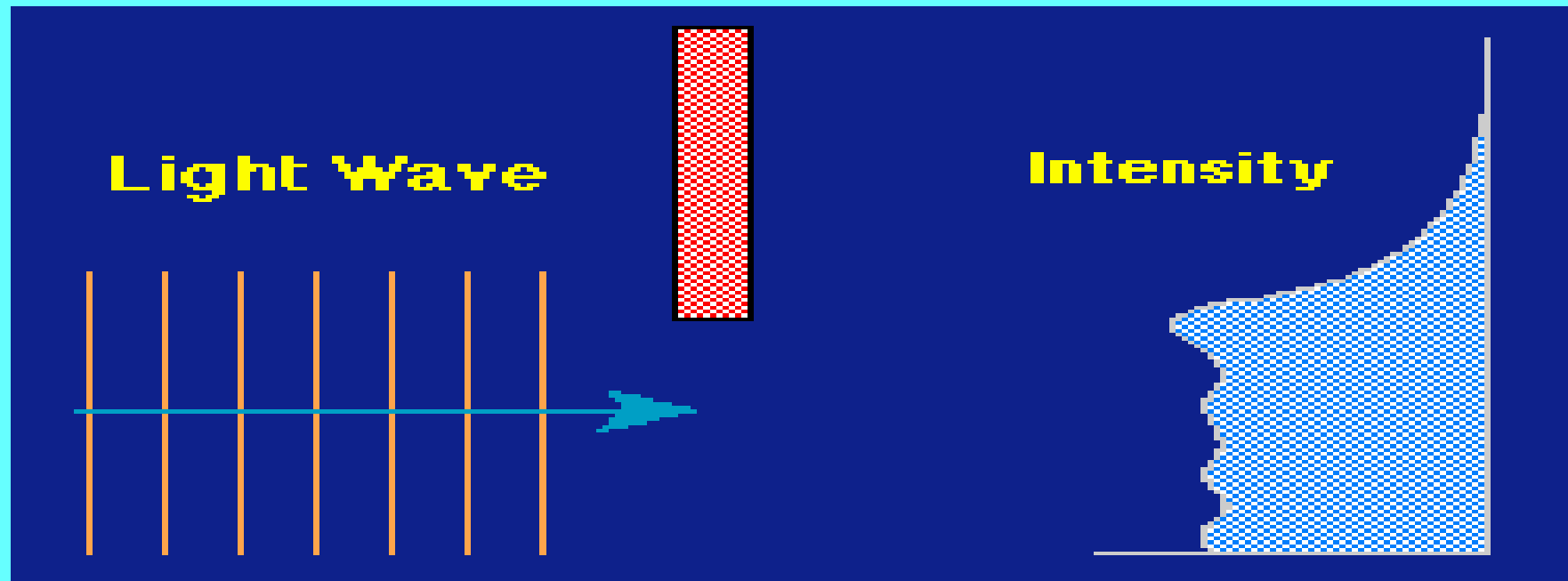
Refraction of Light

- The direction of light propagation can be changed at the boundary of two media having different densities. This property is called *refraction*, and is illustrated in the following figure for the boundary between air and water. The apparent and actual positions of the fish differ because the direction of light propagation has been changed as light passes from the more dense water into the less dense air. If we adopt the convention that the light passes from medium 1 into medium 2, the general rule is that the refraction is:
 - *Away from the perpendicular* if medium 2 is less dense than medium 1
 - *Toward the perpendicular* if medium 2 is more dense than medium 1
 - Thus, in the above example the refraction is away from the perpendicular because air is less dense than water. Such effects form the basis of the refracting telescope, and of optical devices using lenses in general.



Diffraction of Light

- Because light is a wave, it has the capability to "bend around corners". This is called *diffraction*, and is illustrated in the adjacent image. The intensity of light behind the barrier is not zero in the shadow region. diffractive effects occur generally when a part of a light wave is cut off by an obstruction. Diffraction has a number of consequences for astronomy. Two of the more important are that this property is the basis for the *diffraction grating* that can be used to separate light into its constituent colors, and that diffractive effects set an absolute limit on the quality of an image observed through an optical instrument such as a telescope. This *diffractive limit* occurs because the lenses of such objects are of finite size and diffract light because they cut off part of the light wave.

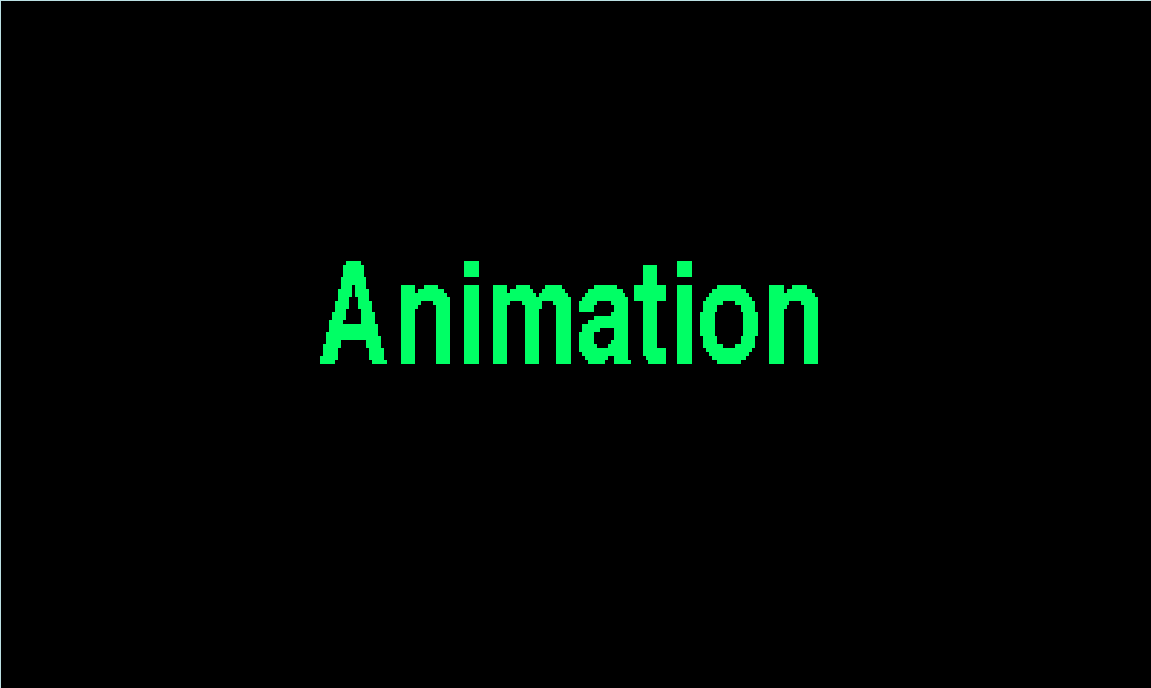


Factors Governing Refraction

- The amount of refraction of light at a boundary between two media depends on three things:
 1. The nature of the media (embodied in a characteristic quantity called the *index of refraction* for a medium).
 2. The angle of incidence for the light ray on the boundary.
 3. The wavelength of light.
- The dependence of refraction on the wavelength of light is called *dispersion*. This dependence has both positive and negative implications for astronomy. On the positive side, it is the basis for the prism and its ability to separate light according to wavelength; on the negative side, it is the source of *chromatic aberration* in optical devices (the failure of different wavelengths to focus at the same point).

Dispersion and The Prism

- Dispersion is the basis for the prism and its ability to spatially separate light according to wavelength, as illustrated in the following animation. Light separated into its frequency (and therefore energy or wavelength) components is called a *spectrum* of light. Here are Java applets illustrating the dispersion of visible light by a [triangular prism](#) and by a [rectangular glass slab](#).



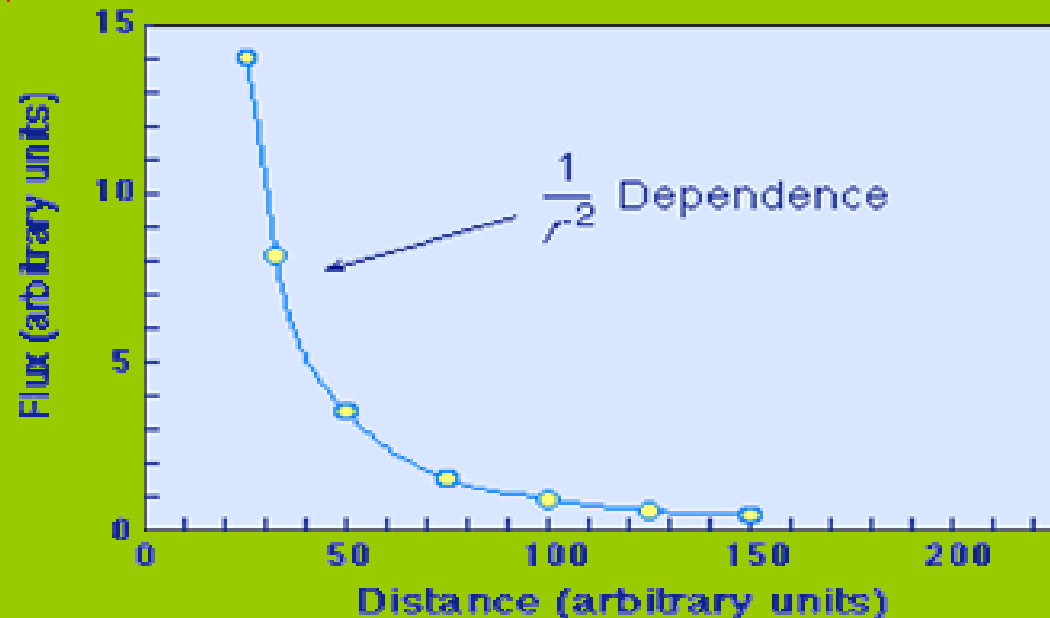
Animation

Spectrographs

- A *spectrograph* is a refined instrument that produces a spectrum. Although a prism can disperse light according to color, in modern spectrographs it is more common to accomplish the same task by using a diffraction grating. The diffraction grating works on a completely different principle (diffraction rather than refraction) but it also can separate light spatially according to wavelength. We will see in subsequent sections that the spectrograph is a central tool of modern astronomy.

Intensity: the Inverse Square Law

- The intensity of light observed from a source of constant intrinsic luminosity falls off as the square of the distance from the object. This is known as the *inverse square law* for light intensity. Thus, if I double the distance to a light source the observed intensity is decreased to $(1/2)^2 = 1/4$ of its original value. Generally, the ratio of intensities at distances d_1 and d_2 are
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$



1. Suppose we have an electromagnetic wave of wavelength

$$\lambda = 4000 \text{ \AA} = 4 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

Calculate its frequency and its energy.

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{10} \text{ cm / sec}}{4 \times 10^{-5} \text{ cm}} \\ &= 7.5 \times 10^{14} \text{ sec}^{-1} = 7.5 \times 10^{14} \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{(4.135 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{sec})(3 \times 10^{10} \text{ cm / sec})}{4 \times 10^{-5} \text{ cm}} \\ &= 3.1 \text{ eV} \end{aligned}$$

2. Suppose we have a gamma-ray of energy 100,000 eV. What is its frequency?

$$E = h\nu \Rightarrow \nu = E / h$$

$$\nu = \frac{1 \times 10^5 \text{ eV}}{4.135 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{sec}} = 2.4 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

➤ Concepto de Astrofotometría

- *Existen dos métodos fundamentales para la medición de la cantidad de energía irradiada por un cuerpo (energía luminosa) :*
 - ✓ *La determinación directa de la cantidad de energía luminosa que llega desde el cuerpo hasta el instrumento de medidor.*
 - ✓ *La comparación de la radiación del cuerpo que se estudia con la radiación de cualquier otro objeto, cuya radiación es conocida.*
- *Las fuentes luminosas (incluso de igual potencia) pueden distinguirse por la composición espectral de su radiaciones. Por ejemplo, el Sol irradia sobre todo rayos amarillos-verdes, unas estrellas irradian rayos añiles, azules, Quasares irradian ondas electromagnéticas Entonces la comparación de la radiación de dos objetos tiene sentido solamente en una misma zona espectral.*
- *El aparato fotosensible o receptor de la radiación reacciona desigualmente en los rayos de distintas longitudes de onda y por esto, los resultados de la medición de la cantidad de luz depende de cuales sean los rayos a los que el aparato es mas sensible, es decir su sensibilidad espectral. Generalmente se pueden señalar la zona de sensibilidad espectral del aparato dado y la anchura de este intervalo se denomina banda pasante del receptor dado.*

➤ Concepto de Astrofotometría

- *Flujo de radiación (flujo luminoso) se denomina a la cantidad de la energía luminosa que pasa en la unidad de tiempo a través de una superficie dada (por ejemplo: entrada del telescopio).*
- *El flujo luminoso que incide sobre una superficie de 1 cm^2 se denomina iluminación: $E = F/S$. Este concepto de E es muy importante en astrofísica, ya que solo esta magnitud puede ser medida durante las observaciones.*
- *La iluminación E es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia hasta la fuente y proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos. Pero al utilizar esta ley en astrofísica es necesario tener en cuenta las propiedades ópticas del medio que llena el espacio entre el cuerpo y el observador. La E puede caracterizar la radiación en todo el espectro (flujo total o integral) o en cualquier parte determinada y si dicha parte es muy estrecha la radiación y el flujo se denomina monocromáticos*
- *Se denomina **brillo** (B) al flujo de radiación que pasa a través de una superficie unitaria perpendicular a la dirección dada y contigua a la superficie irradiante y que está comprendido en el interior de un ángulo sólido unitario o : $B = E / W$, donde W es el ángulo sólido bajo el que el objeto se ve en el cielo.*

➤ Concepto de Astrofotometría

- Esta deducción da un método simple de determinación del brillo de los objetos extendidos con ayuda del telescopio y de un receptor de radiación instalado en el foco del telescopio; Ya que W es igual a la superficie S de la imagen del objeto obtenida en el plano focal del telescopio dividida por el cuadrado de su distancia focal F ($W = S / F^2$), mientras que E se mide por el flujo de radiación, que pasa a través del objetivo dividido por el área del orificio del telescopio.
- Muchos astros, como estrellas, están tan lejos que incluso en los instrumentos más grandes es imposible determinar sus dimensiones angulares. Semejantes objetos se denominan *puntiformes*. La iluminación que éstos originan en la Tierra es para nosotros la única magnitud que caracteriza la potencia de su radiación.
- Para los objetos puntiformes, como para estrellas, cuyas dimensiones angulares no se logran determinar directamente, tampoco se puede determinar su brillo. Solamente se puede observar el flujo de su radiación o las iluminaciones. En la astronomía esta iluminación se mide en una escala logarítmica especial en magnitudes estelares. Se denomina *magnitud estelar* al logaritmo tomado un signo negativo de base 2,512 de la iluminación originada por el objeto dado en la superficie perpendicular a los rayos:

$$m = - \log_{2,512} E$$

➤ Concepto de Astrofotometría

- Como intervalo de 1 magnitud estelar (1^m) se toma la relación de las iluminaciones igual a 2,512- veces. Las estrellas cuya iluminación es menor tienen mayor magnitud estelar.
- Entonces, por la definición, para 2 estrellas que originan iluminaciones E_1, E_2 , la diferencia de las magnitudes estelares:

$$m_1 - m_2 = -\log_{2,512} \frac{E_1}{E_2},$$

Entonces:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{-(m_1 - m_2)}, \quad \log_{10} 2,512 = 0,4, \quad \log E_1/E_2 = -0,4(m_1 - m_2)$$

- La estrella de 0^m crea en el límite de la atmósfera terrestre una iluminación de $2,54 \times 10^{-6}$ lux, como una candela desde una distancia de 600 m.
- El intervalo de 5^m correspondiente a la relación de iluminación de 100 veces.
- La magnitud estelar puede ser utilizada tanto para la radiación total como para cualquier otra zona espectral determinada. La magnitud estelar obtenida con base en la determinación general de la energía total, irradiada en todo el espectro se denomina *magnitud bolométrica* y los resultados de las mediciones visuales, fotográficas, fotoeléctricas del flujo de radiación permiten establecer respectivamente sistemas *visuales*, *fotográficos*, *fotoeléctricos de magnitudes estelares*.

Magnitudes estelares

- **Magnitud absoluta, real (M)** → magnitud aparente que tendría si estuviera a 10 parsecs.

$$M = 5 - 5 \log d + m$$

$$M = - \log_{2,512} E$$

(absoluta) → → → → Percibida a 10ps de distancia (estándar) !!

- **Magnitud aparente (m)** → medida del brillo aparente; cantidad de luz que se recibe del objeto.

$$m = - \log_{2,512} E$$

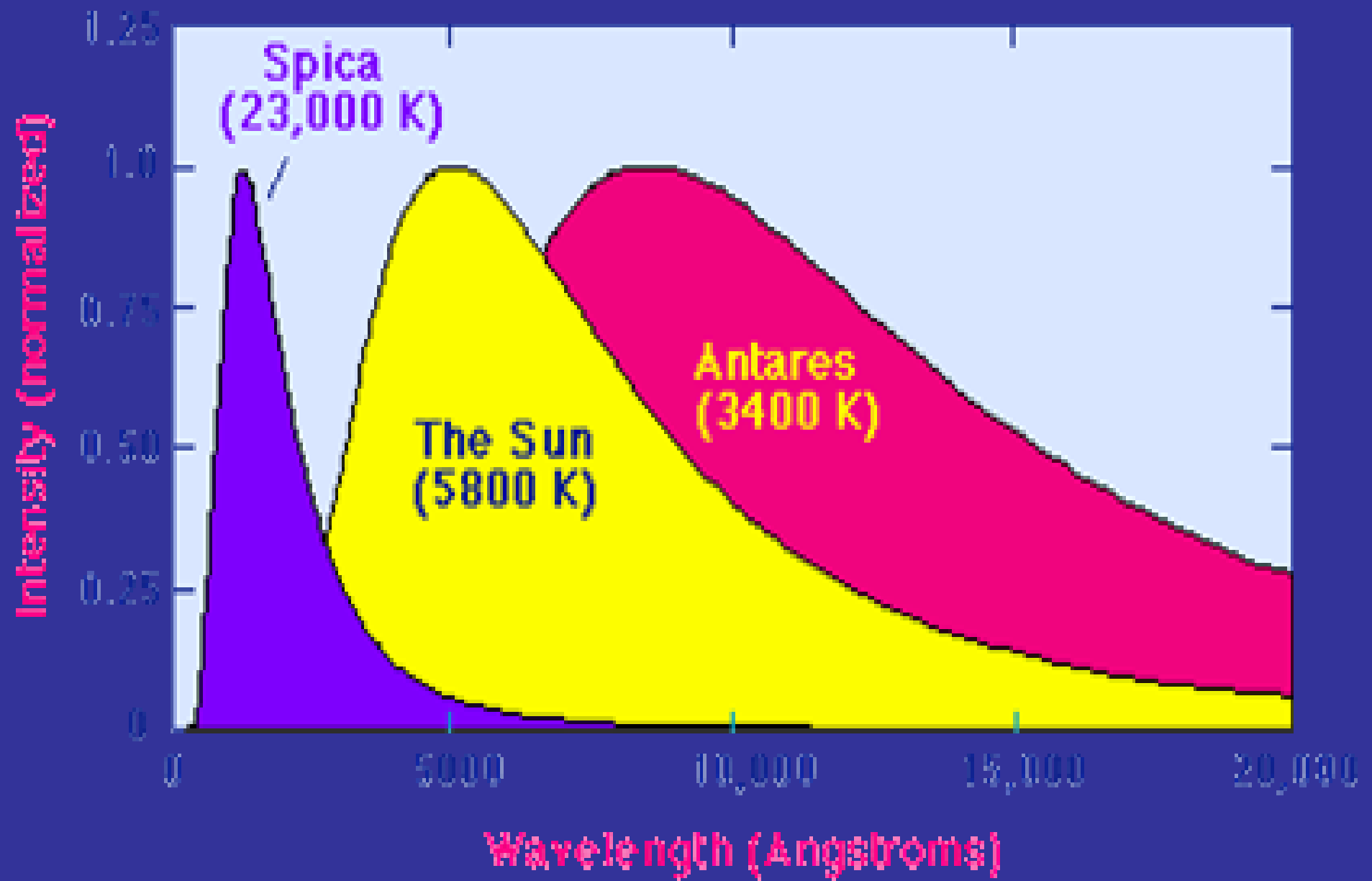
(aparente) → → → → Percibida en el momento !

➤ Debilitamiento de la Luz al Pasar a través de una Sustancia

- Las propiedades absorbentes del ambiente se caracterizan por el espesor óptico τ , que es el logaritmo natural de la relación entre los flujos luminosos antes y después de pasar a través de la capa.
- Entonces, después de pasar la capa de espesor óptico τ , el flujo luminoso y también iluminación disminuye en $e^{-\tau}$ veces.
- El espesor óptico de varias capas paralelas es igual a la suma de los espesores ópticos de éstas. Por ejemplo, para 2 capas paralelas con espesores ópticos τ_1 y τ_2 tenemos: el espesor óptico total de ambas capas es igual $\tau_1 + \tau_2$.
- Se puede demostrar fácilmente lo mismo para varias capas.
- Cuando $\tau \gg 1$ la capa se hace fuertemente opaca (se denomina *ópticamente gruesa*). Por ej. si para una capa $\tau = 3$, entonces pasa solo un 5% de la luz. La capa con $\tau \ll 1$ se denomina *ópticamente fina*.

➤ Radiación Térmica.

- Todo cuerpo, incluso si está poco calentado irradia ondas electromagnéticas (radiación térmica). Sí sucede un calentamiento más, el espectro de radiación térmica varía:
 - ✓ aumenta la cantidad total de energía emitida
 - ✓ aparecen rayos de longitud de onda cada vez menor.
- Para cada valor dado de la temperatura (T) el cuerpo caliente irradia más intensamente en cierta banda del espectro que determina el color visible del objeto. Así, por ejemplo, $T = 2000\text{K}$ - se irradia más intensamente los rayos rojos, $T = 6000\text{K}$ - los rayos amarillos verdes, $T = 10\,000 - 20\,000\text{K}$ -los rayos azul claro, azules y violetas.
- Pero, la distribución exacta de la energía y el aspecto concreto del espectro generalmente no depende solamente de la T , y también de la composición química y del estado físico del cuerpo.



WIEN LAW

➤ Radiación del Cuerpo Negro

- Si un cuerpo radiante se aísla completamente del medio ambiente con paredes de impenetrabilidad térmica ideal, después de que T sea igual en todos sus partes el cuerpo llegará a su estado de *equilibrio térmico o termodinámico*. En este caso su radiación queda determinada únicamente por la temperatura y se denomina radiación equilibrada. El cuerpo que se encuentra en las condiciones de equilibrio termodinámico se denomina *cuerpo negro*, porque no se puede perder su energía térmica y absorbe totalmente toda clase de radiación.
- Semejantes condiciones no se cumplen en ningún lugar, ya que no existen aisladores térmicos ideales,. frecuentemente se encuentran condiciones que se aproximan al equilibrio termodinámico. Por ej. cuando un cuerpo (por ej., como las capas interiores de una estrella) esta rodeado de una capa muy opaca de gas (de la atmósfera).
- El poder emisor de un cuerpo negro se puede calcular por la fórmula de Plank, para distintos valores de la T .
- Además, por la ley de Kirchhoff, para la radiación con la longitud dada de onda, la relación entre los poderes emisor y absorbente del cuerpo negro depende solamente de la temperatura.

Intensity ($\times 10^{13}$)

30

20

10

0

6000 K

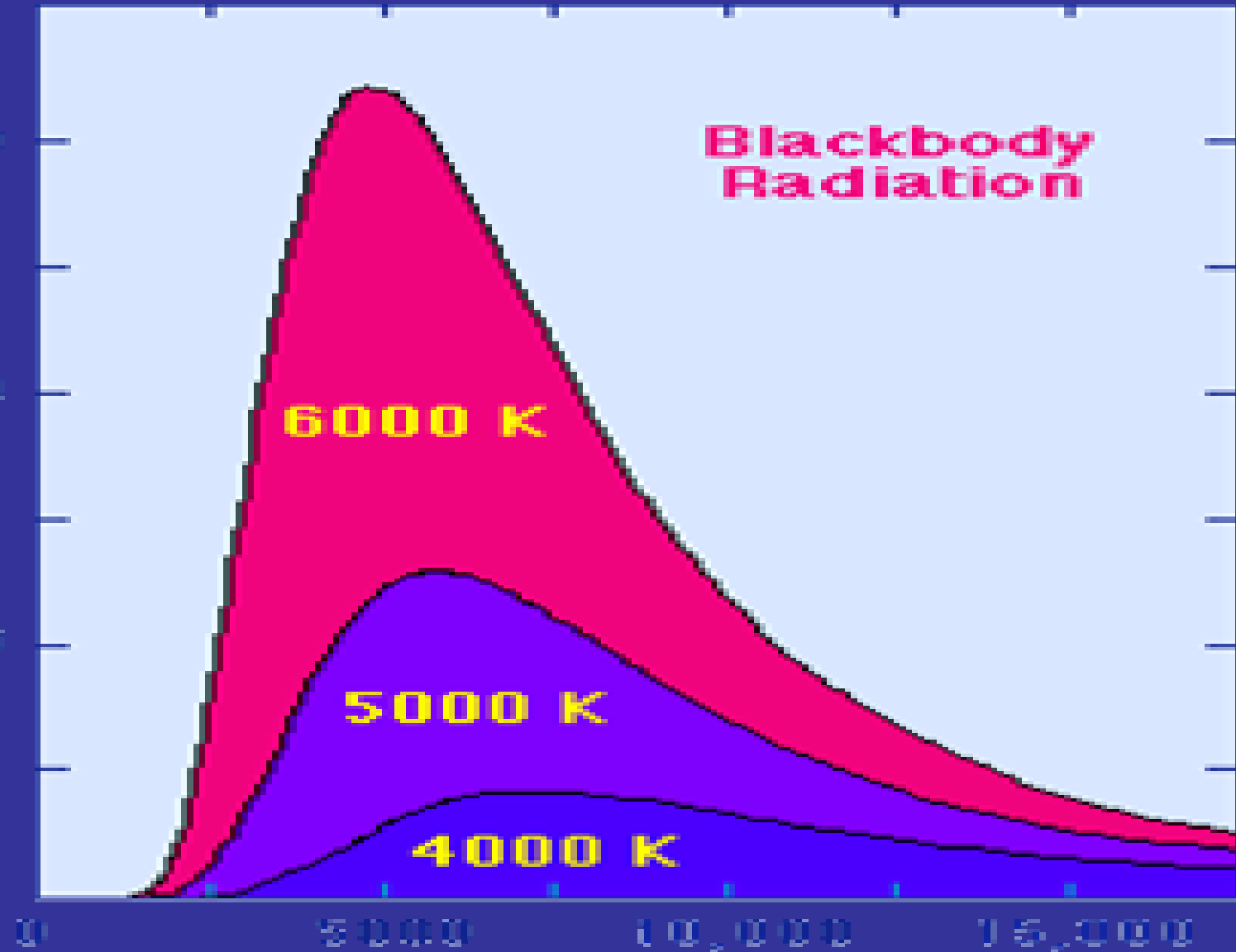
5000 K

4000 K

Blackbody
Radiation

Wavelength (Angstroms)

PLANCK RADIATION LAW



Fundamentos de la Astrofísica (9)

➤ Radiación del Cuerpo Negro

- **El desplazamiento máximo de radiación con el aumento de la T** o el máximo de radiación del cuerpo negro se desplaza a la zona de ondas cortas del espectro y

- $\lambda_{\text{max}} = \frac{0,29 \text{ K}}{T}$: ley de Wien.

- A medida que aumenta la T varía no solo el color de radiación, también su potencia. La potencia de emisión de un cuerpo negro:

- $\varepsilon = \sigma T^4$: ley Stefan Boltzman, donde σ es la constante de Stefan Boltzman

Fundamentos de la Astrofísica (10)

- En astrofísica se tienen que ver con los 3 tipos de espectros examinados: continuo, lineal y de absorción.
- En el espectro continuo (se observa en los espectros de las nebulosas más densas y brillantes (calientes), en las que la masa total del gas luminoso es grande) la intensidad varia suavemente dentro de los límites de una amplia zona.

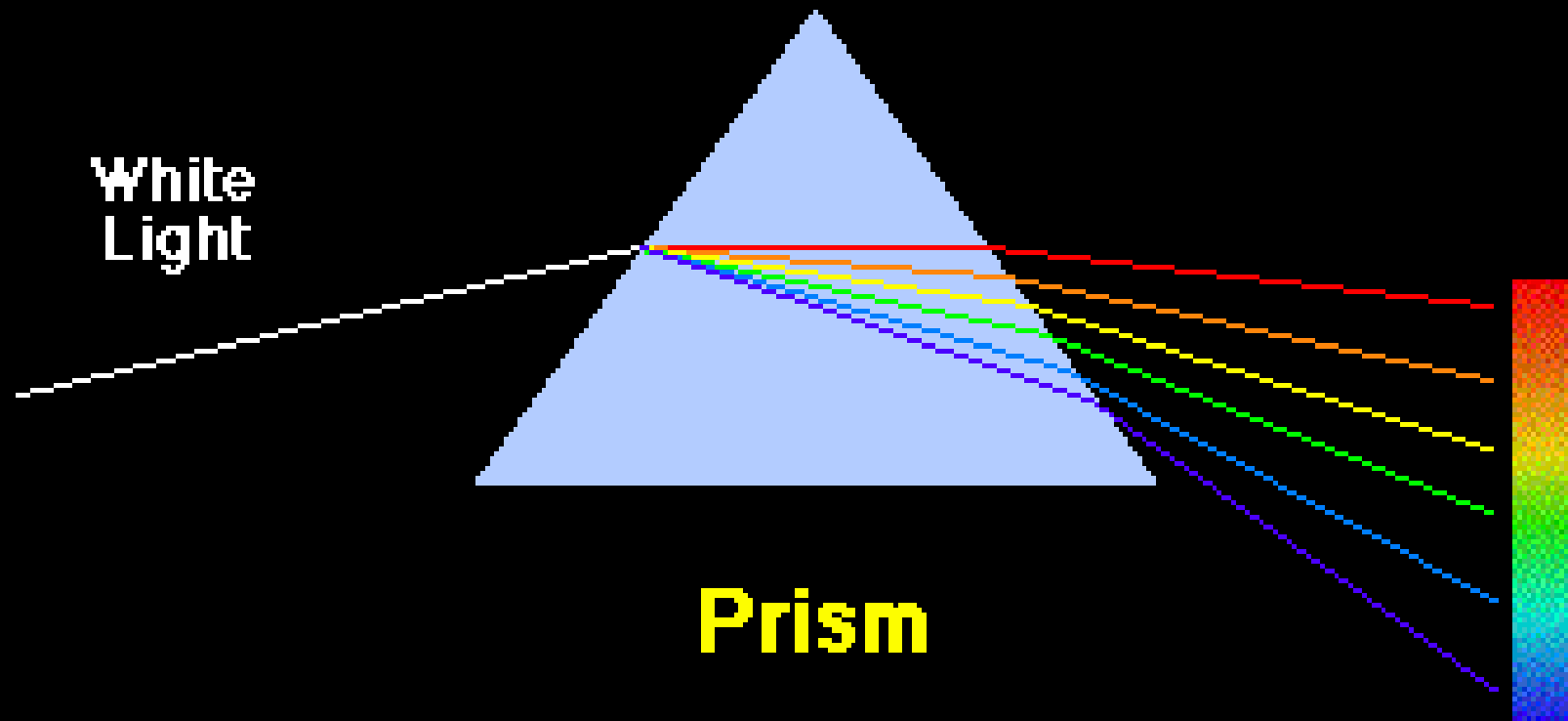
Fundamentos de la Astrofísica (11)

- En astrofísica se tienen que ver con los 3 tipos de espectros examinados: continuo, lineal y de absorción.
- A diferencia, en el espectro lineal de emisión (se observa en los espectros de las nebulosas difusas o amorfas, en las que el gas es enrarecido transparente) la radiación está concentrada en fajas estrechas: rayas espectrales brillantes, que se caracterizan por tener valores determinados de longitud de onda.

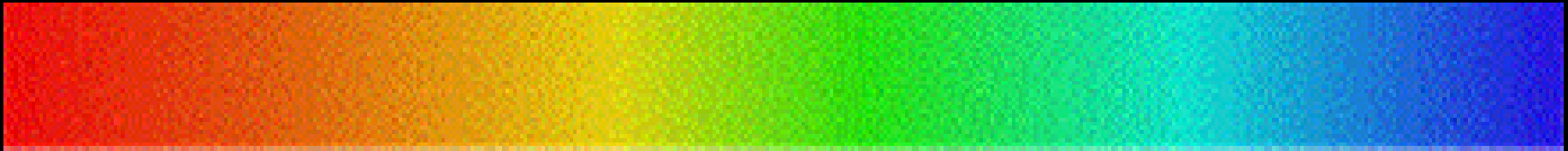
Fundamentos de la Astrofísica (12)

- En astrofísica se tienen que ver con los 3 tipos de espectros examinados: continuo, lineal y de absorción.
- *El espectro de absorción se observa en los espectros de las estrellas (como las formaciones gaseosas, densas y masivas). En las rayas de absorción se ven las capas mas exteriores de la estrella, porque en las rayas espectrales los átomos absorben la radiación mucho más intensamente que en el espectro continuo. El hecho de que estas rayas tengan un aspecto más oscuro que el espectro continuo, muestra la disminución del poder emisor de las capas exteriores.*

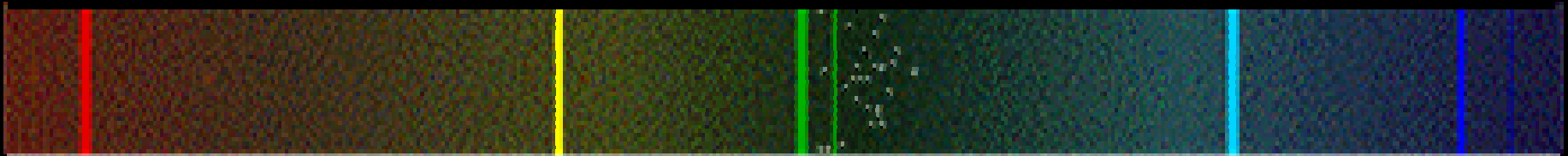
Isolated atoms can absorb and emit packets of electromagnetic radiation having discrete energies dictated by the detailed atomic structure of the atoms. When the corresponding light is passed through a prism or spectrograph it is separated spatially according to wavelength, as illustrated in the following image



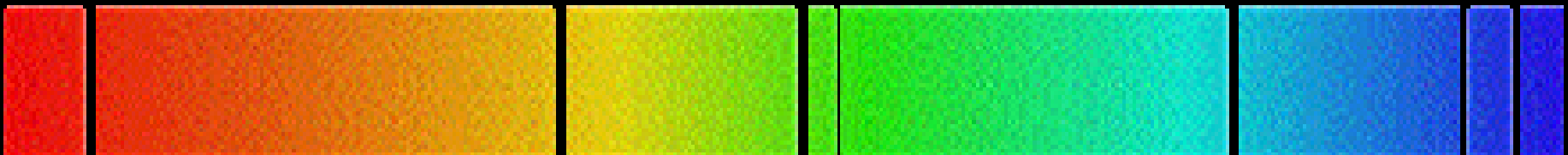
Continuous Spectrum



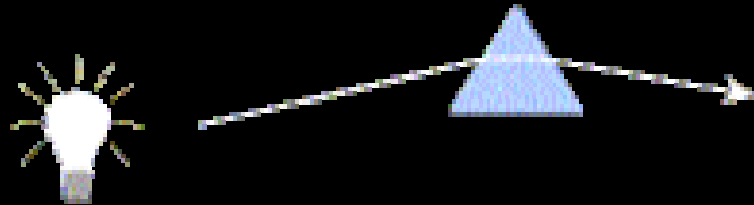
Emission Spectrum



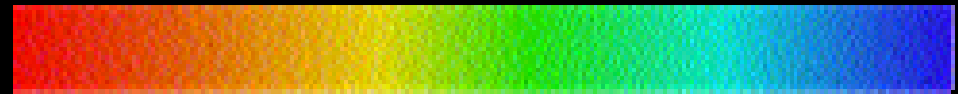
Absorption Spectrum



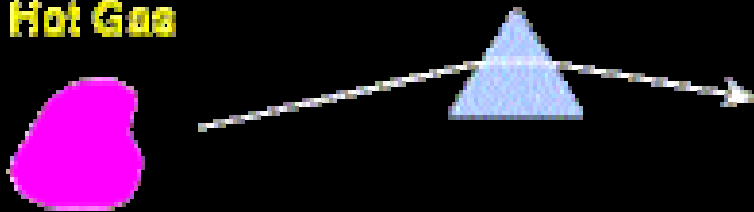
Continuous, emission, and absorption spectra



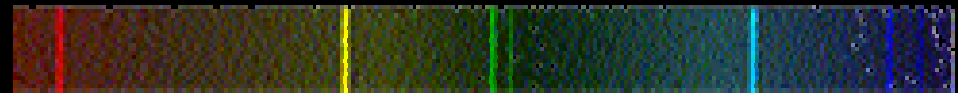
Continuous Spectrum



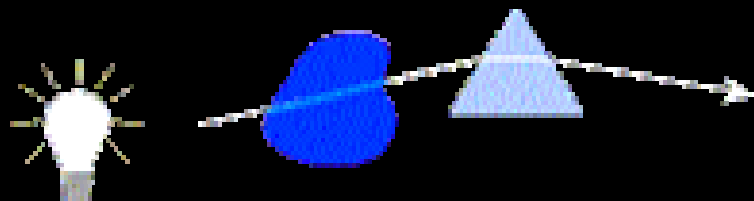
Hot Gas



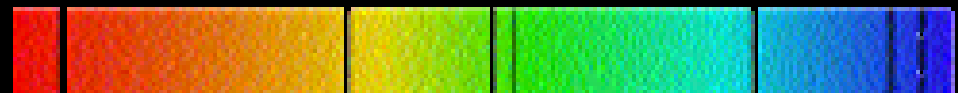
Emission Spectrum



Cold Gas

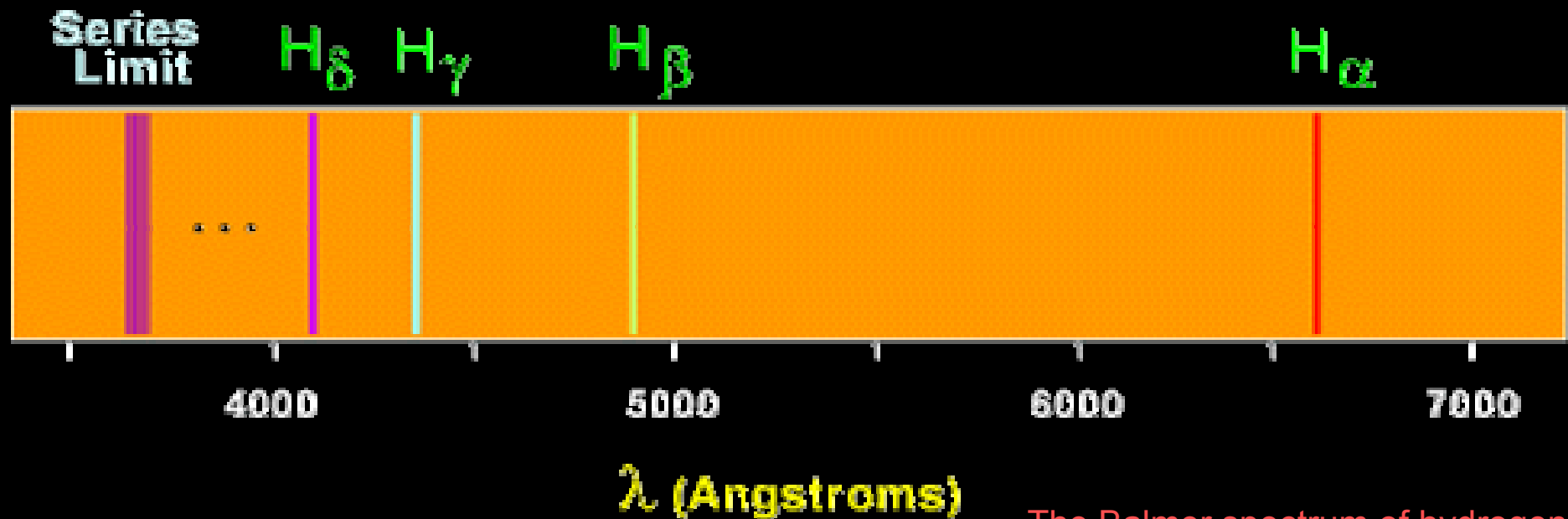
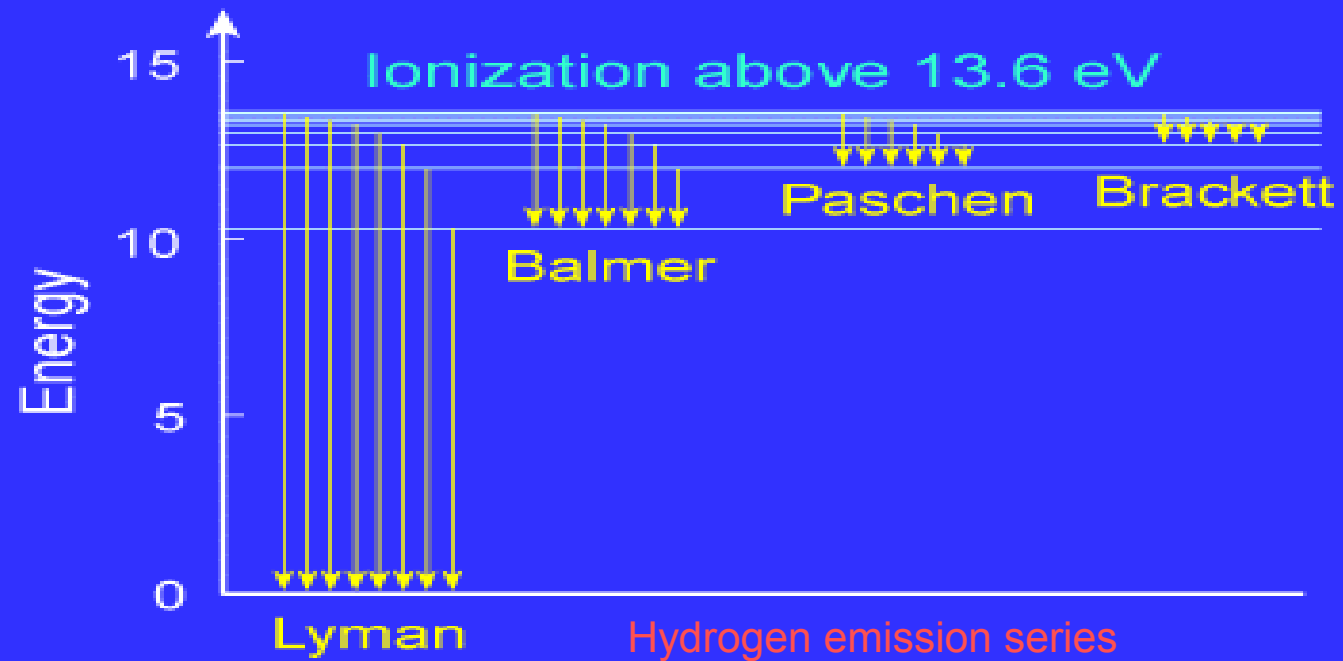


Absorption Spectrum



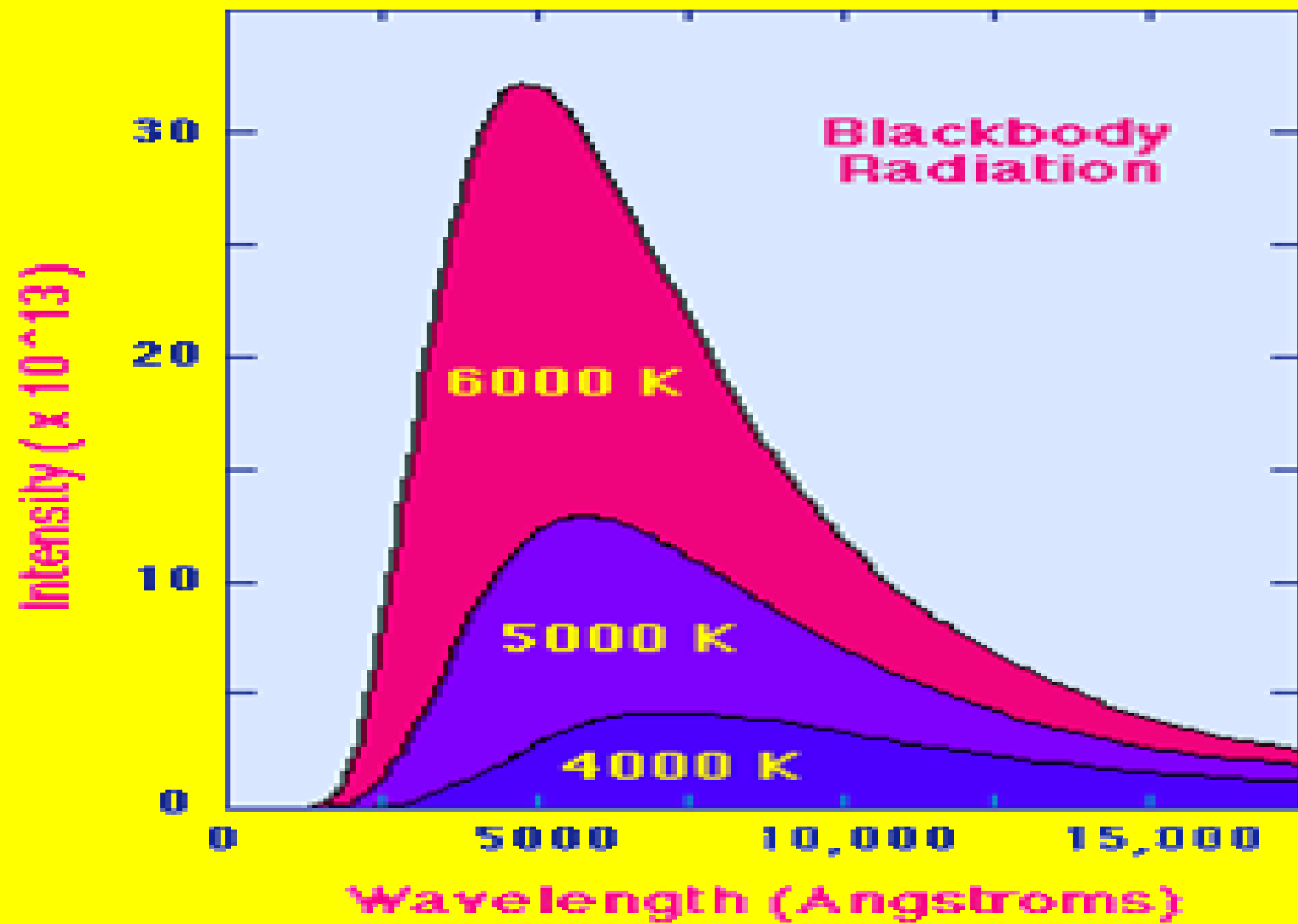
Hydrogen Emission and Absorption Series

- The spectrum of hydrogen is particularly important in astronomy because most of the Universe is made of hydrogen. Emission or absorption processes in hydrogen give rise to *series*, which are sequences of lines corresponding to atomic transitions, each ending or beginning with the same atomic state in hydrogen. Thus, for example, the *Balmer Series* involves transitions starting (for absorption) or ending (for emission) with the first excited state of hydrogen, while the *Lyman Series* involves transitions that start or end with the ground state of hydrogen; the adjacent image illustrates the atomic transitions that produce these two series in emission. Because of the details of hydrogen's atomic structure, the Balmer Series is in the visible spectrum and the Lyman Series is in the UV. The following image illustrates some of the transitions in the Balmer series.
The Balmer lines are designated by H with a greek subscript in order of decreasing wavelength. Thus the longest wavelength Balmer transition is designated H with a subscript alpha, the second longest H with a subscript beta, and so on.

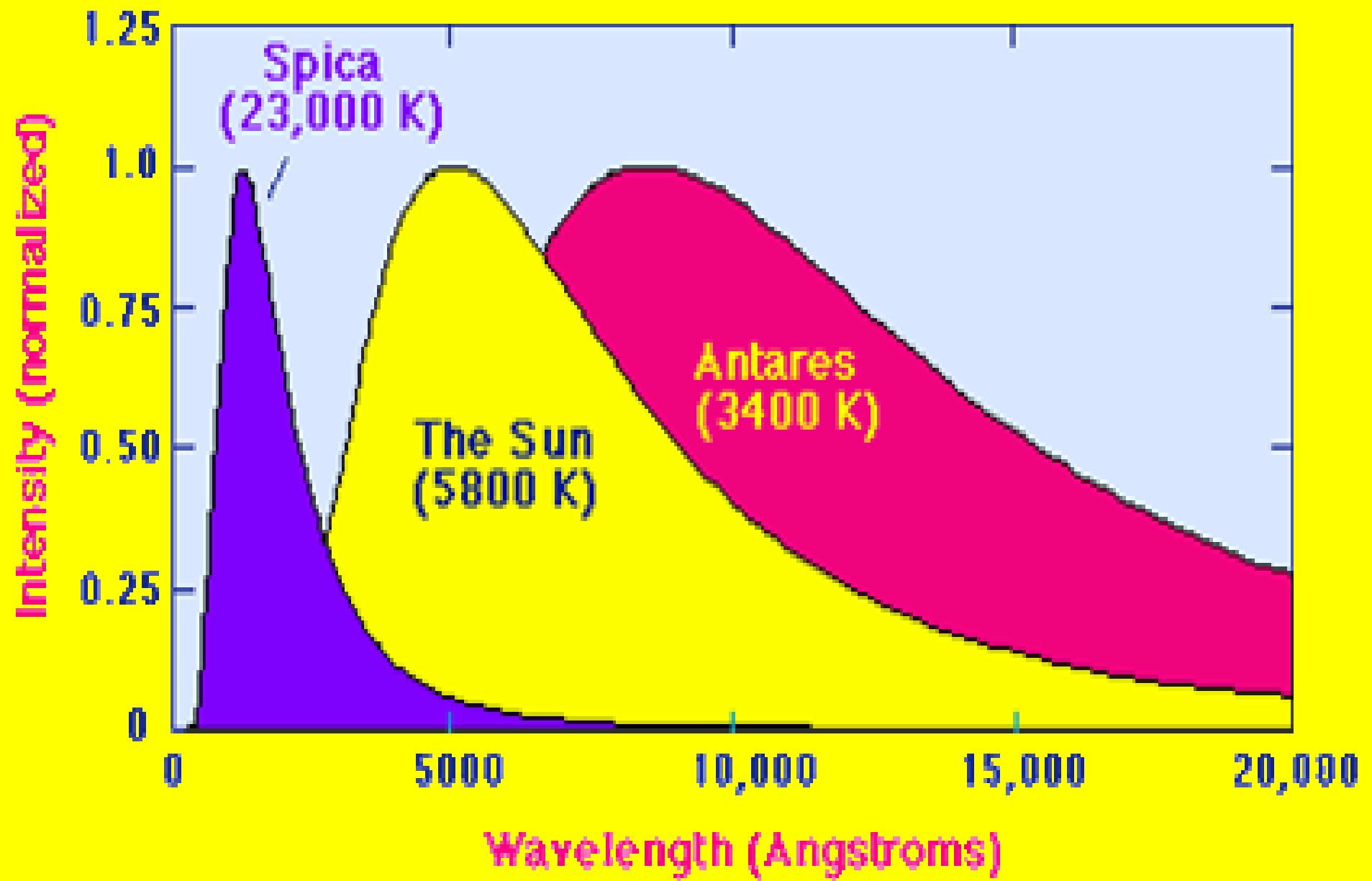


Fundamentos de la Astrofísica (13)

- La ley de Planck describe solamente la radiación del cuerpo negro. La radiación de los cuerpos reales se diferencia de la de Planck: son líneas espectrales de emisión y absorción, y cuanto más opaco es el gas en la zona dada del espectro, tanto más aproxima su radiación al valor determinado por la función de Planck para cierta T .
- La identificación de rayas espectrales con los espectros de los elementos químicos conocidos permite establecer su presencia en los objetos cósmicos y la investigación detallada de las rayas espectrales proporciona información respecto a la T , presión, cantidad de átomos radiantes o absorbentes.



Planck Radiation Law



Wien law

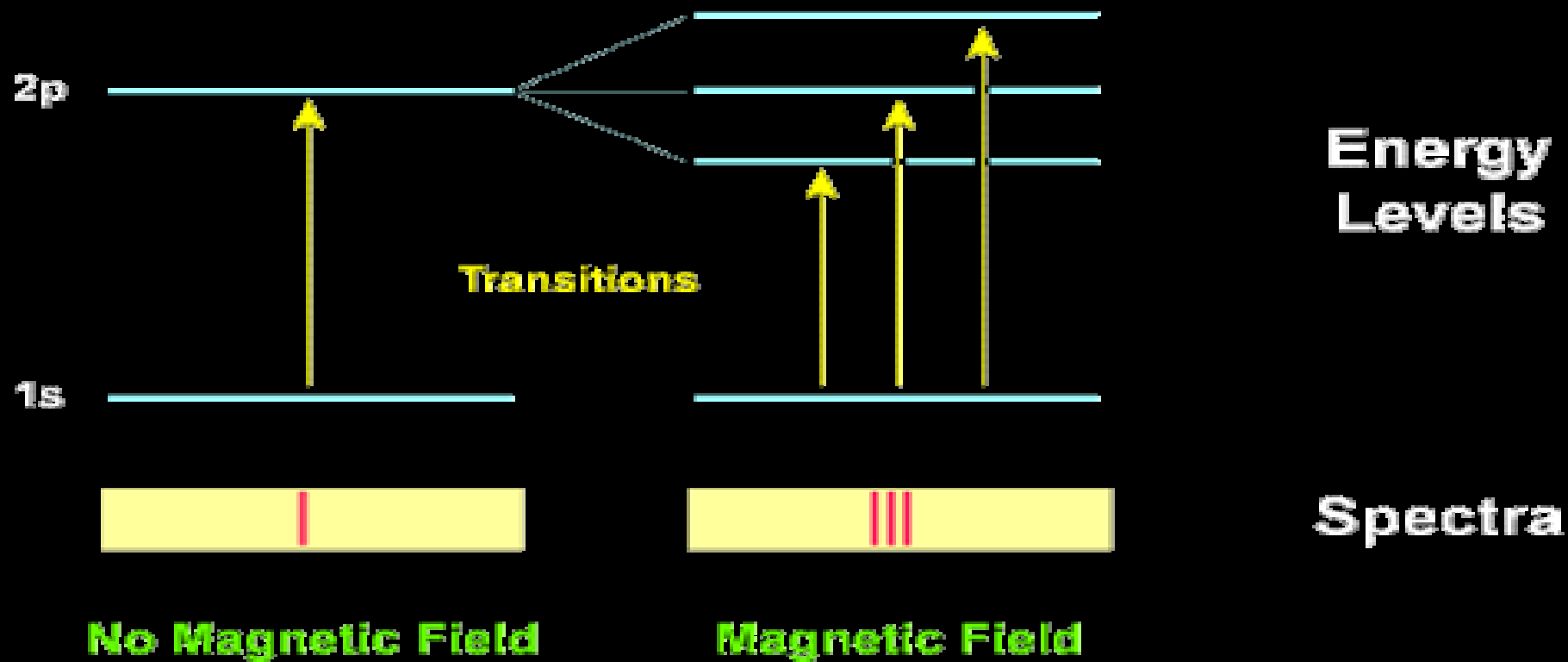
Some Blackbody Temperatures

Region	Wavelength (centimeters)	Energy (eV)	Blackbody Temperature (K)
Radio	> 10	$< 10^{-5}$	< 0.03
Microwave	$10 - 0.01$	$10^{-5} - 0.01$	$0.03 - 30$
Infrared	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$0.01 - 2$	$30 - 4100$
Visible	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$2 - 3$	$4100 - 7300$
Ultraviolet	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$3 - 10^3$	$7300 - 3 \times 10^6$
X-Rays	$10^{-7} - 10^{-9}$	$10^3 - 10^5$	$3 \times 10^6 - 3 \times 10^8$
Gamma Rays	$< 10^{-9}$	$> 10^5$	$> 3 \times 10^8$

Fundamentos de la Astrofísica (14)

➤ Efecto de Zeeman

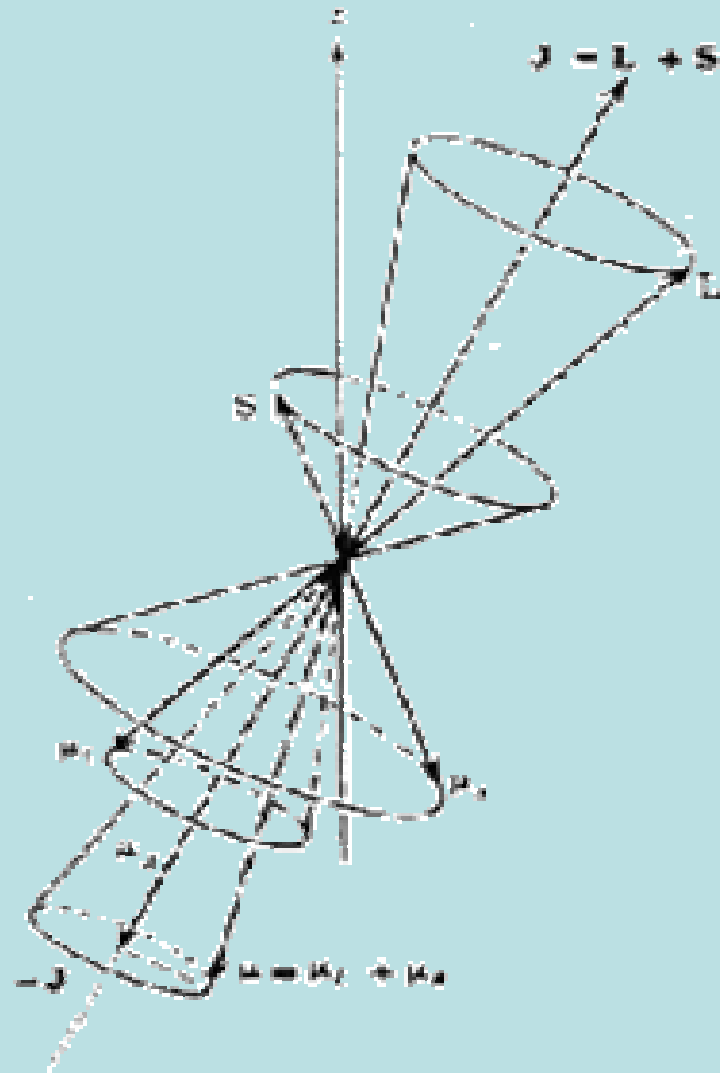
- Las rayas espectrales emitidas por un átomo que se encuentra en un campo magnético se desintegran en varias componentes estrechamente dispuestas. En el caso más simple la raya espectral se divide en dos y en tres partes. Este fenómeno se denomina efecto Zeeman.
- La distancia entre las componentes de las rayas espectrales desintegrados es proporcional a la intensidad del campo magnético. Esto da la posibilidad de medir, sobre la base de las observaciones espectroscópicas, los campos magnéticos cósmicos.



The Zeeman Effect

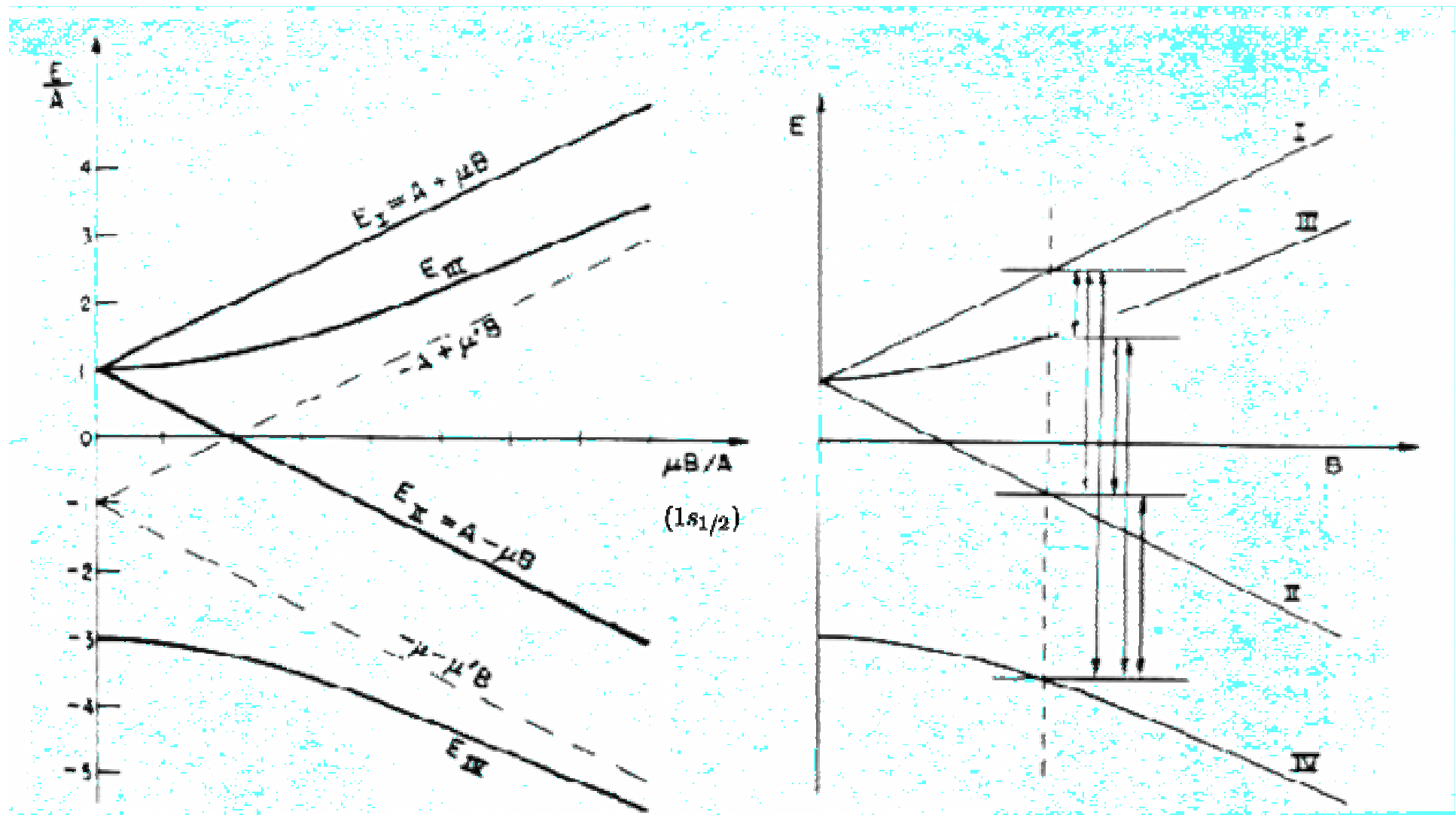
Efecto de Zeeman

- When considering the Zeeman effect, it is easiest first to consider the hydrogen atom without hyperfine structure. Then j is a good quantum number, and the atom has a $2j+1$ degeneracy associated with the different possible values of m_j . In the presence of an external magnetic field, these different states will have different energies due to having different orientations of the magnetic dipoles in the external field. The splitting of these energy levels is called the Zeeman effect.



geometry of the Zeeman effect

On the left, the total dipole moment precesses around the total angular momentum . On the right, precesses much more slowly about the magnetic field.



On left, Zeeman splitting of the hyperfine levels in the ground state $(1s_{1/2})$ of hydrogen. On right, some possible transitions between these states.

Polarization of Spectral Lines

- The lines corresponding to Zeeman splitting also exhibit *polarization effects*. Polarization has to do with the direction in which the electromagnetic fields are vibrating. This in turn, can have an effect on whether the spectral light can be observed. For example, polarizing sunglasses are often effective in suppressing ambient glare because light reflected from surfaces has a particular polarization and polarizing sunglasses are designed to not pass that polarization of light. One practical example in astronomy of such polarization effects is that in the preceding example the middle transition is polarized such that it cannot be easily be observed from directly over a surface perpendicular to the magnetic field. As a consequence, when looking directly down on a [sunspot](#) (which have strong magnetic fields) typically only two of the three transitions shown above can be seen and the line is observed to split into two rather than three lines (the missing transition could be observed from a different angle where its light would not be suppressed by the polarization effect, but it is very weak when observed from directly overhead).

Fundamentos de la Astrofísica (15)

✓ Efecto de Doppler

- Si varía la distancia entre un cuerpo radiante y el observador la velocidad de movimiento relativo de estos tiene una componente a lo largo del rayo visual, denominado velocidad radial. Las se pueden medir por los espectros lineales sobre la base del *efecto Doppler*, que consiste en el corrimiento (desplazamiento) de las rayas espectrales en una magnitud proporcional a la : *si aumenta la distancia entre un cuerpo radiante y el observador (es decir, si) el corrimiento de las rayas sucede hacia el lado rojo y en caso contrario hacia el lado azul y:*
- $\frac{\Delta \lambda}{\lambda}$ para efecto Doppler es proporcional a $\frac{v}{c}$ - corrección relativa.

Fundamentos de la Astrofísica (16)

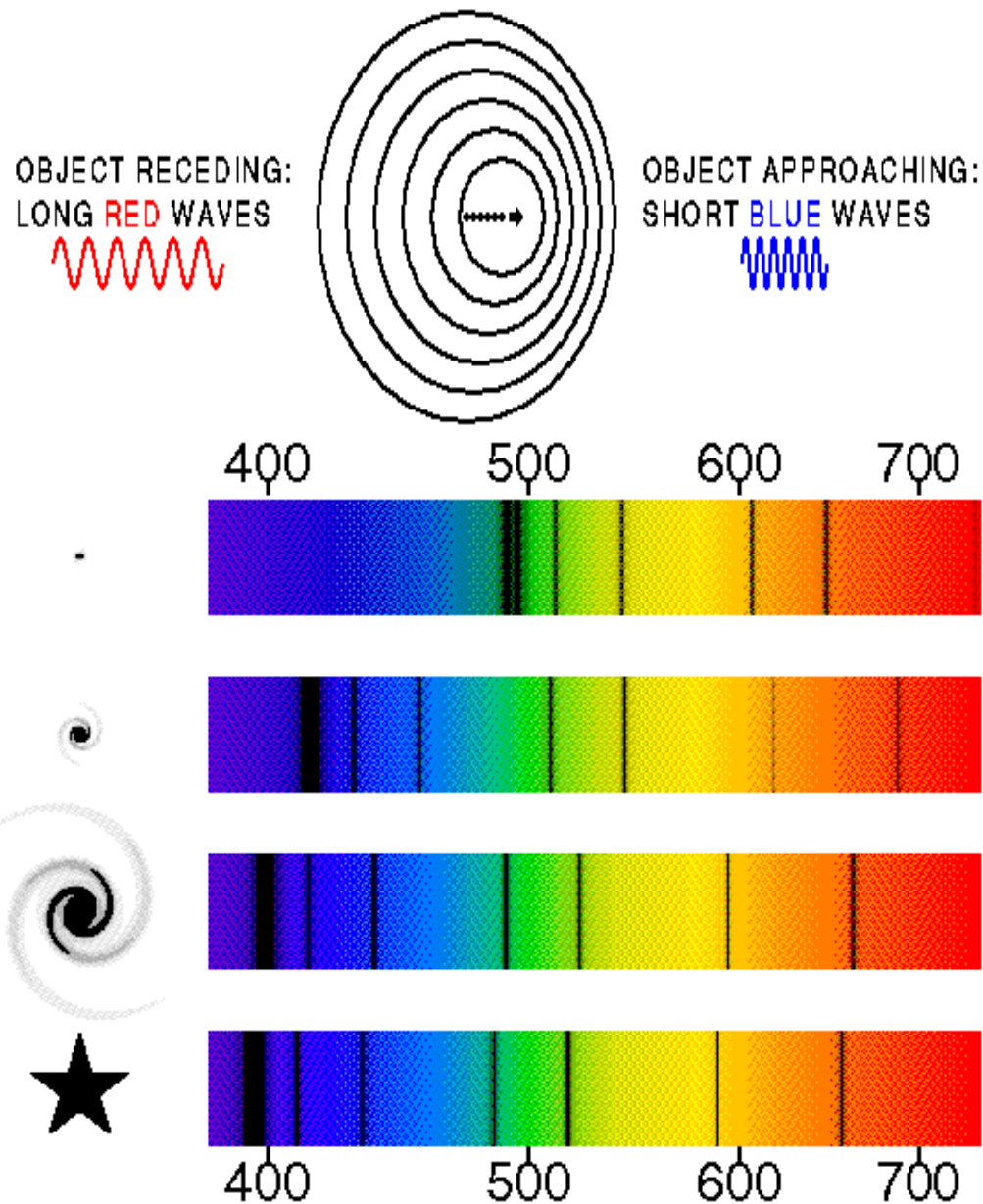
- Efecto de Doppler (2)
- Para medir el corrimiento de las rayas espectrales, al lado del espectro del objeto que se investiga, (por ej. de una estrella) en la misma placa fotográfica se ponen el espectro de la fuente de laboratorio, en la que existen las rayas espectrales ya conocidas. Después, con microscopios (y micrómetros) se miden el desplazamiento de las rayas del objeto respecto al sistema de laboratorio de longitudes de onda, hallando así la magnitud y por la fórmula se calcula la v . Si se resta de esta la proyección de la v del movimiento de la T sobre el rayo visual, obtendremos las v de la estrella respecto al sistema solar.
- La distribución de la energía irradiada en una zona estrecha del espectro en los límites de la raya espectral se denomina el perfil de la raya. Si el ensanchamiento de la raya espectral está provocado solamente por los movimientos térmicos de los átomos radiantes, entonces por la anchura del perfil se puede calcular la T de gas:

Fundamentos de la Astrofísica (17)

➤ Efecto de Doppler (3)

- es anchura Doppler- la mitad de la distancia entre los puntos del perfil de la raya en los que la intensidad es de la central. La distancia entre dos puntos simétricos del perfil en los que la intensidad es igual a la mitad de la intensidad central se denomina semianchura, m es de la masa molecular, k es la constante Boltzman y erg/K .
- Entonces, estudiando los perfiles de las rayas espectrales se pueden juzgar tanto sobre la T como respecto a los movimientos que transcurren en gas radiante.
- El principio de Doppler nos permite juzgar respecto a la *rotación* también: como resultado de la rotación de los cuerpos se observa la *expansión* de las rayas espectrales, sobre cuya base se puede juzgar respecto a la magnitud de la velocidad lineal de rotación de los cuerpos.

EFEECTO DOPLER



$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V_r}{c}$$

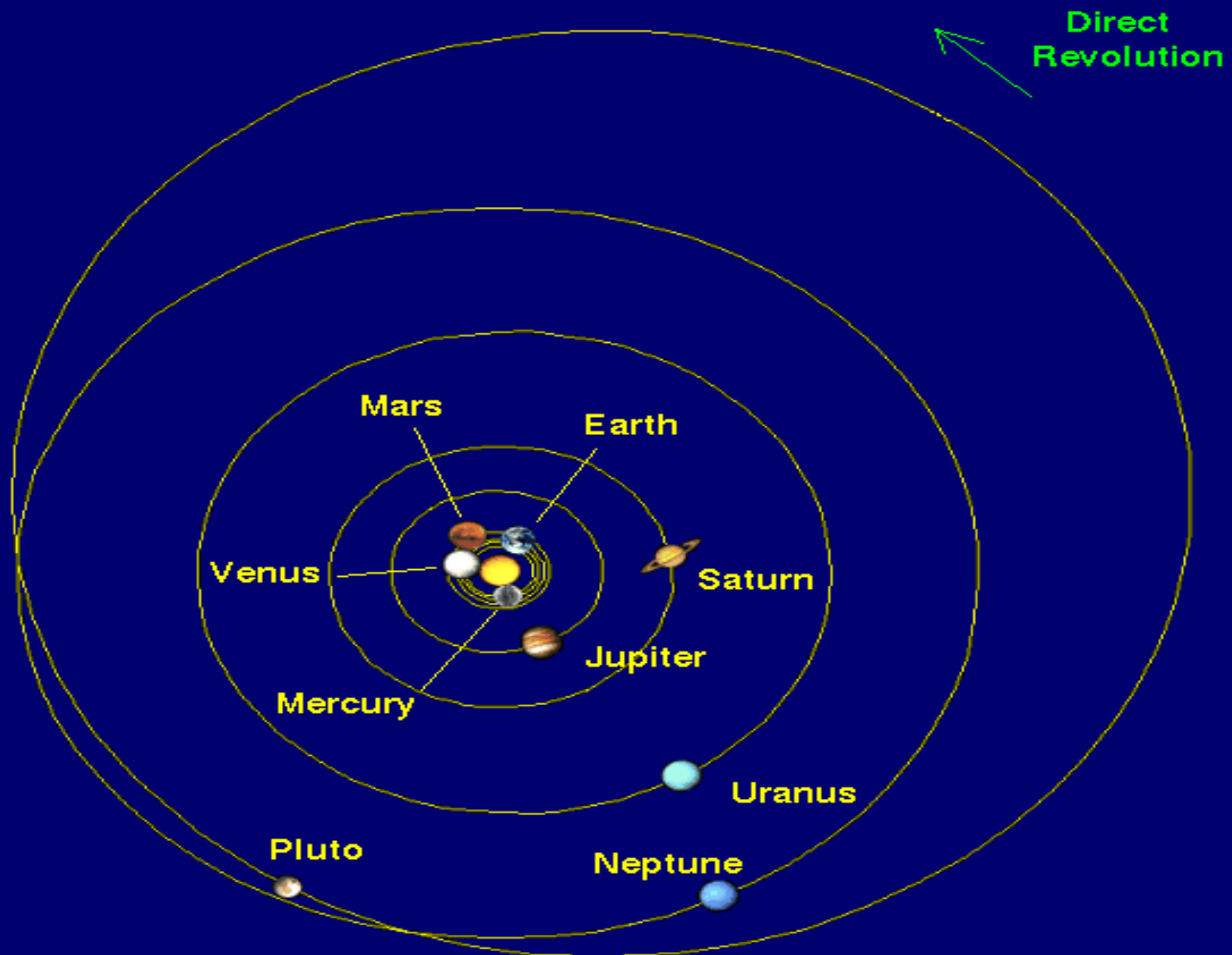
$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+V_r/c}{1-V_r/c}} - 1$$

Por ej.:

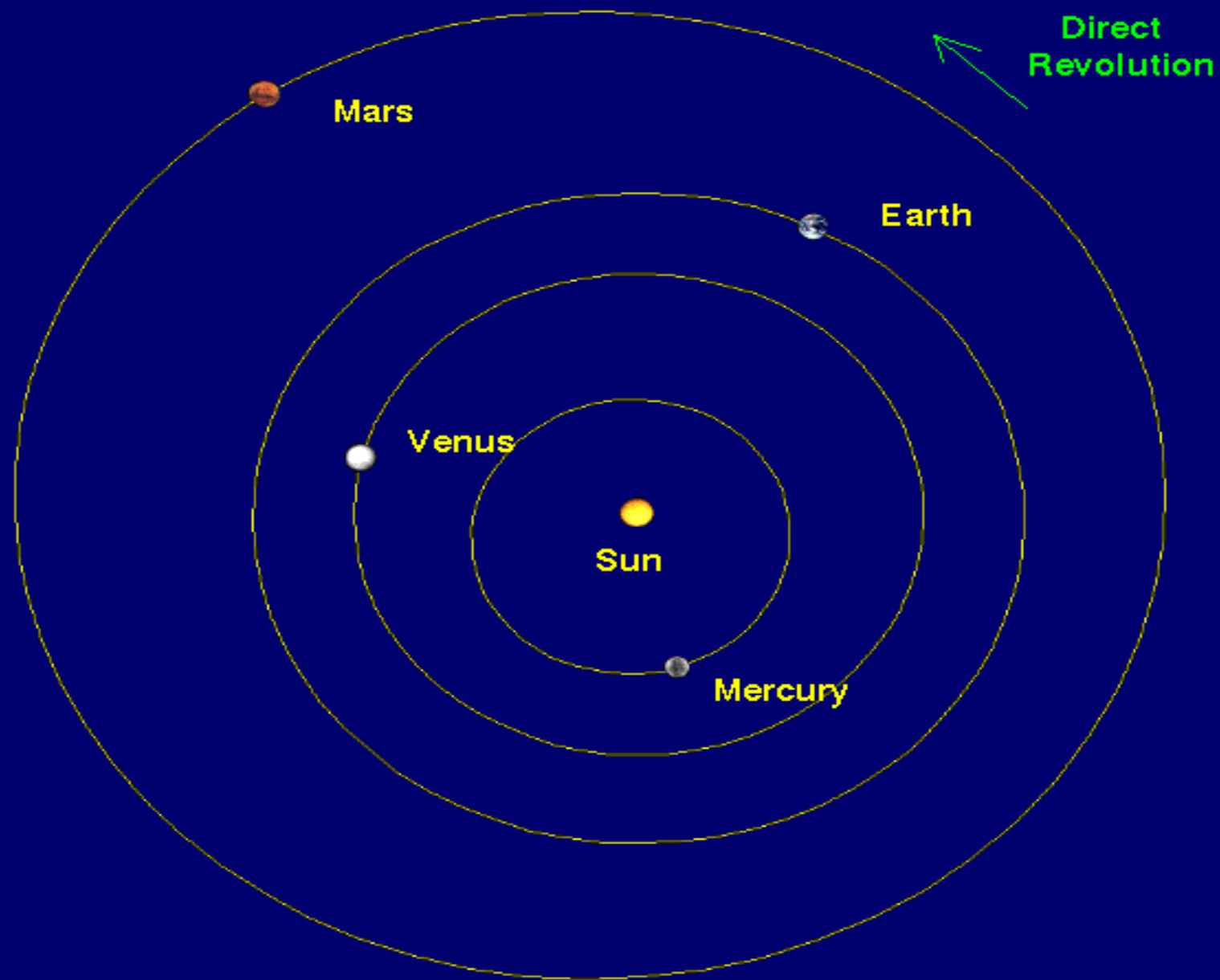
$Z=0.5$: $V_r=15000$ km/s

$Z=0.25$: $V_r=75\ 000$ km/s

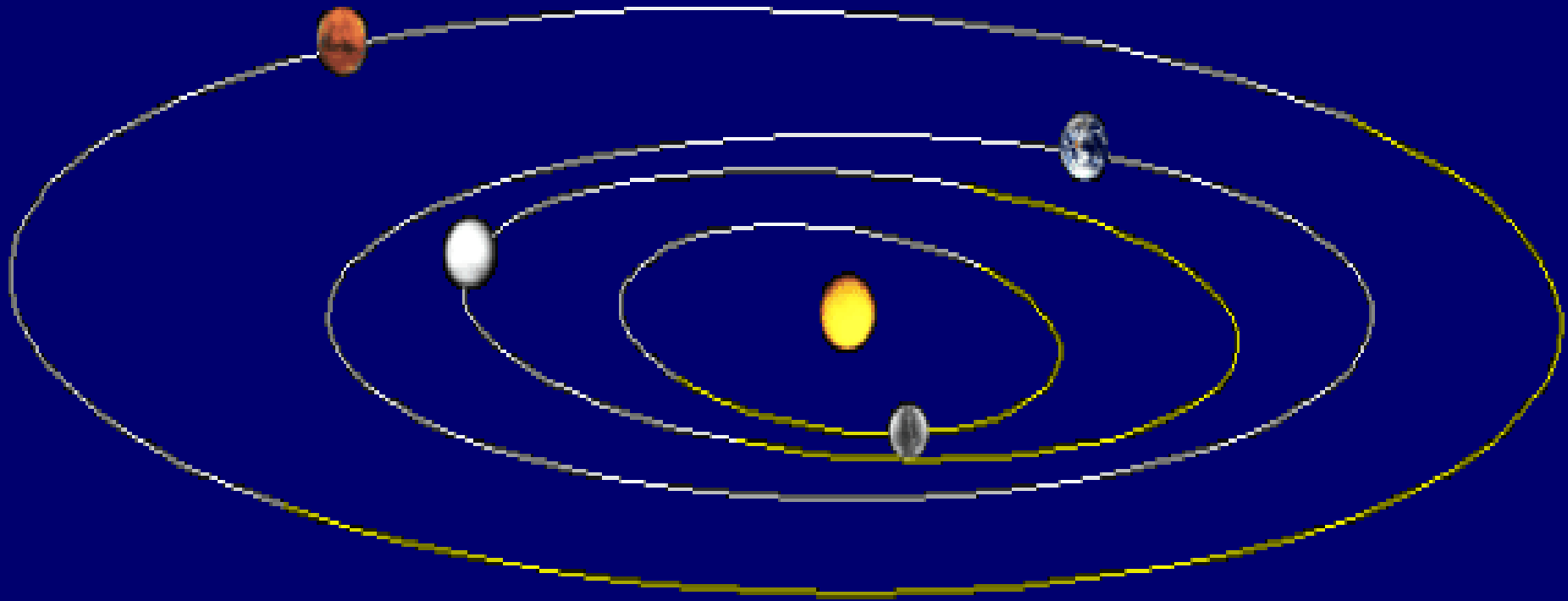
Sistema Solar



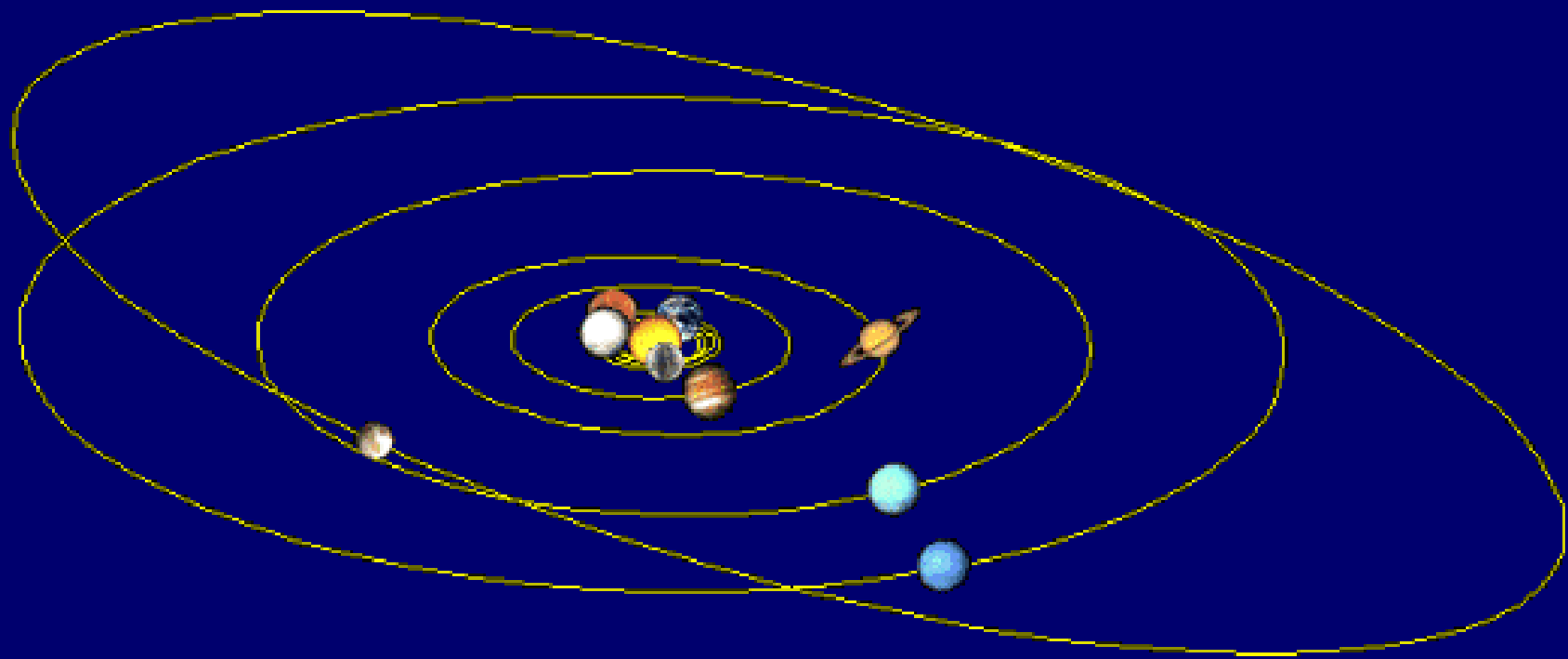
Sistema Solar



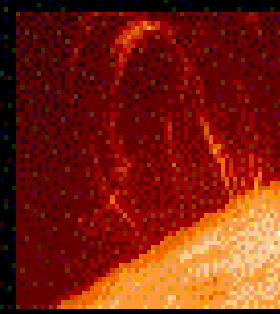
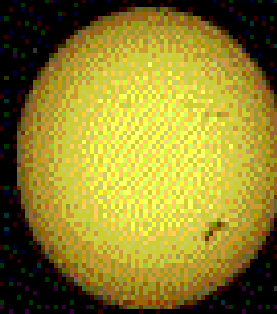
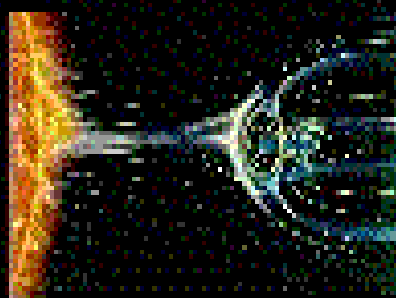
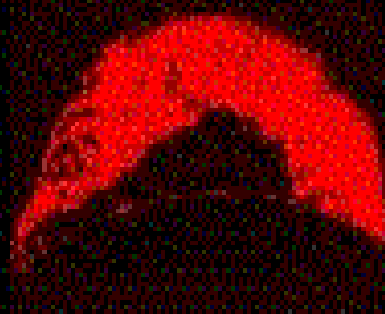
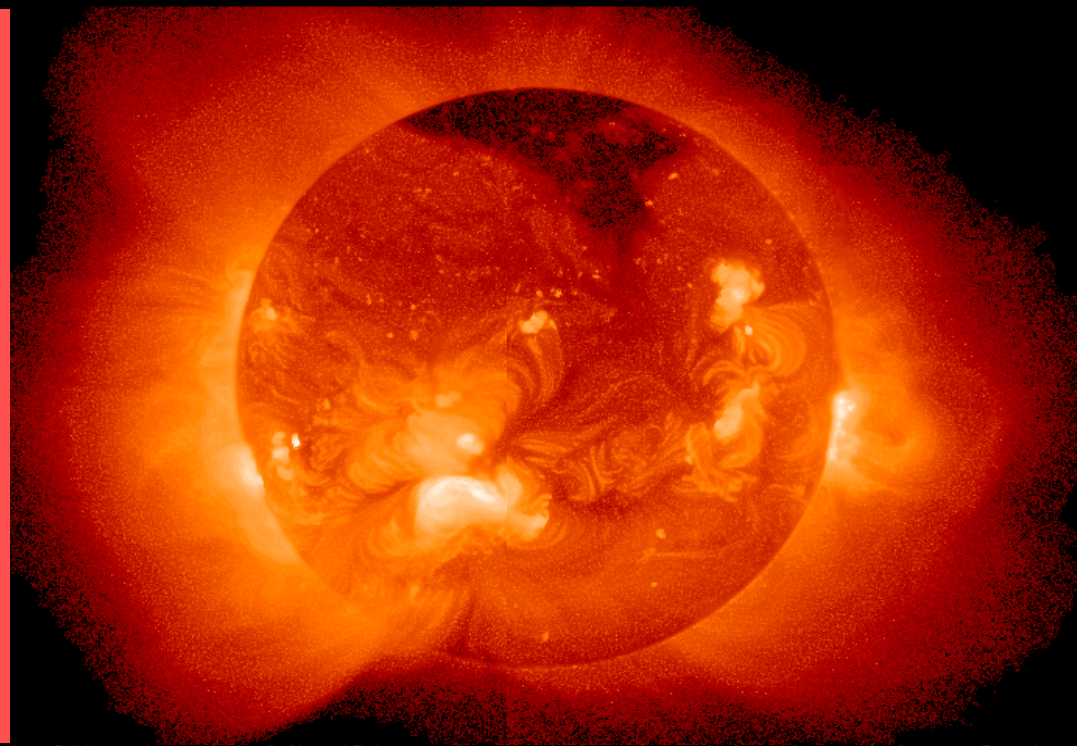
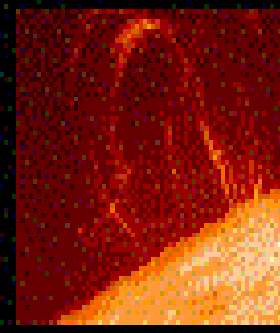
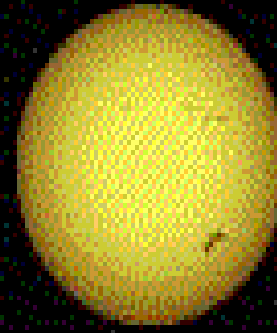
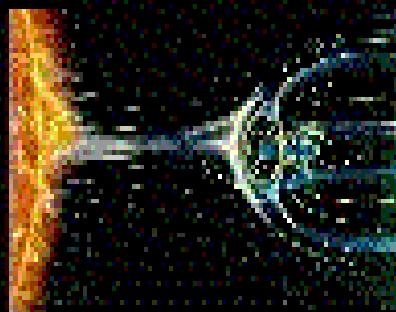
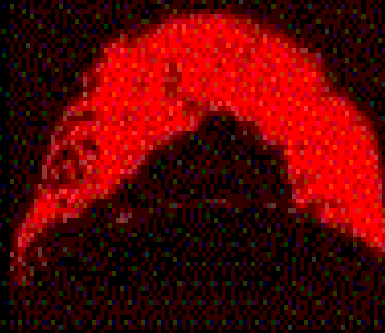
Sistema Solar



Sistema Solar

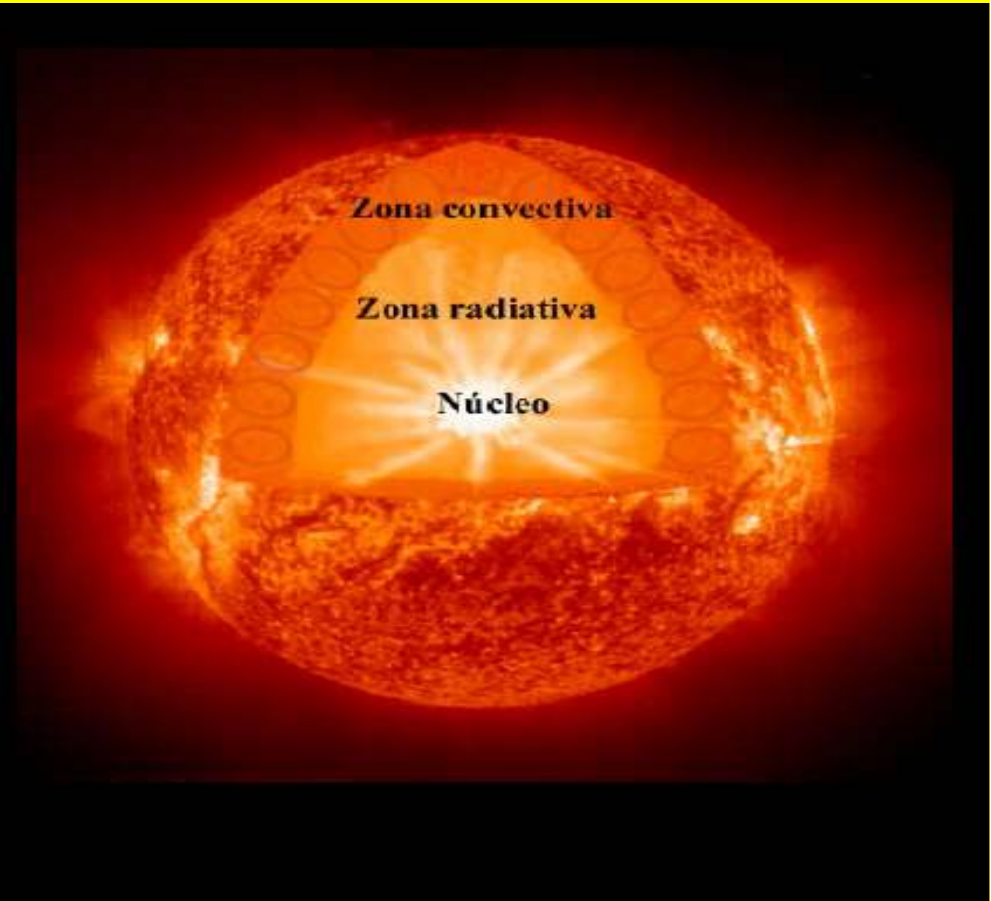
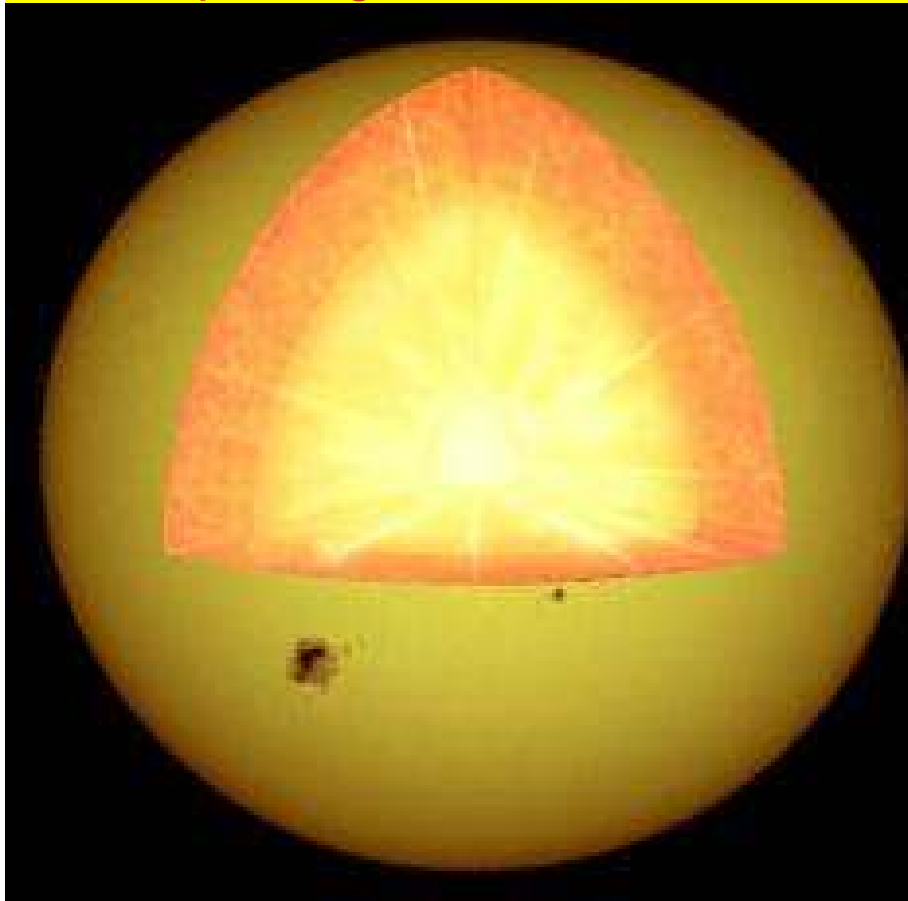


EI SOL



El Interior Solar

- Son cuatro regiones con diferentes procesos que ocurren en ellos.
- La energía genera en núcleo.
- Después difunde hacia afuera en la zona radiativa por medio de la radiación (generalmente son rayos- gamma y rayos-X).
- Sigue en la zona de convección por medio de la convección.
- En la capa fina entre la zona radiativa y convectiva ("tachocline") genera el campo magnético el Sol.

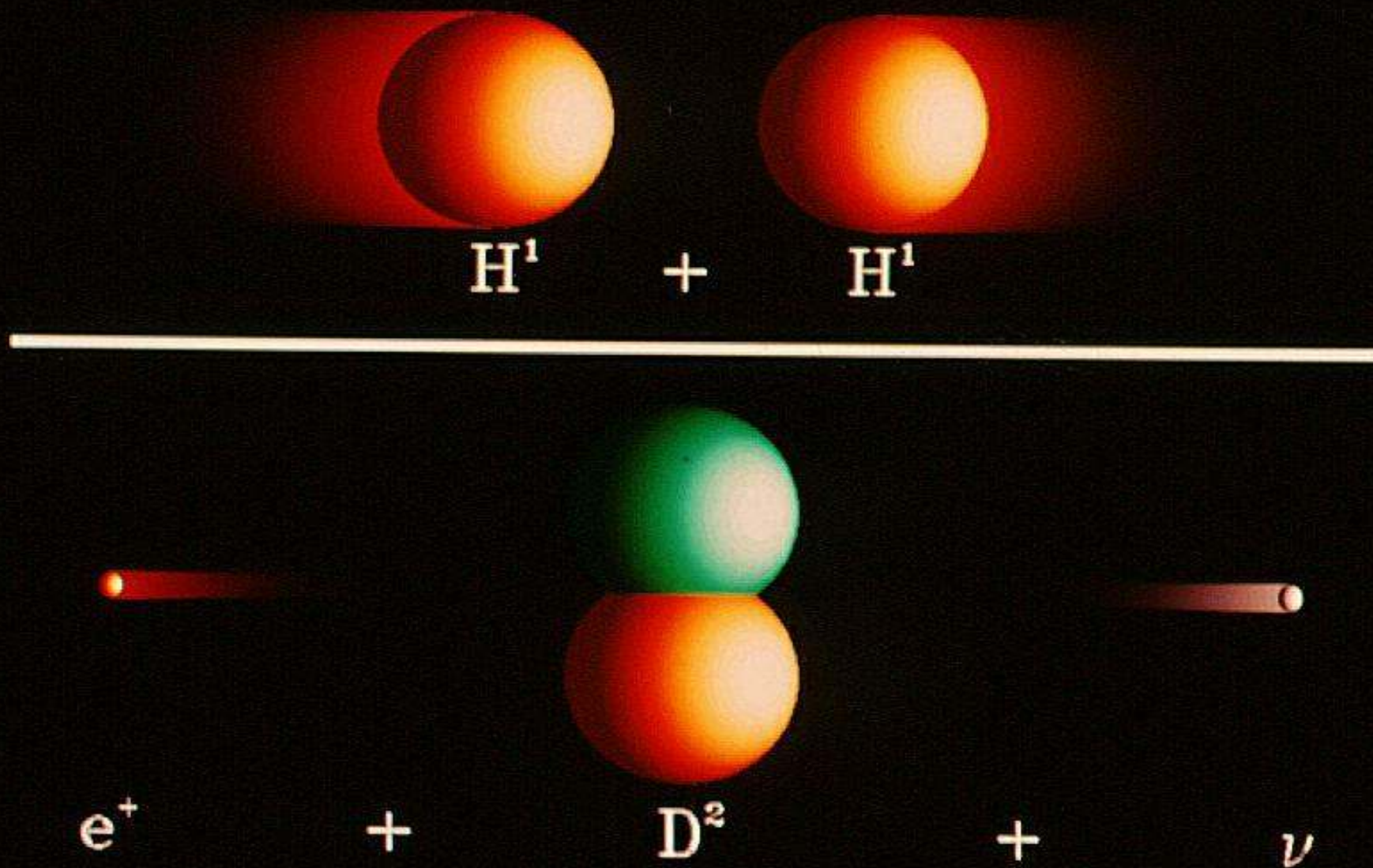


El Interior Solar

- **El Núcleo**

- El núcleo solar es una región central donde ocurre las reacciones nucleares, que convierte el hidrogeno al helio. Estas reacciones son muy sensibles respecto de la temperatura y la densidad.
- La temperatura en el centro del núcleo es $\sim 15,000,000^{\circ}\text{C}$ y la densidad es $\sim 150 \text{ g/cm}^3$. Ambos parámetros (la temperature y la densidad) decrecen alejandose del centro del núcleo.
- La reacciones nucleares suceden hasta la distancia de 175 000 km desde el centro, que es 25% del radio solar (radio solar es la distancia desde el centro hasta fotosfera).
- En esta distancia la temperatura baja hasta el medio de valor del centro y la densidad baja hasta 20 g/cm^3 . En las estrellas parecidos al Sol las reacciones nucleares suceden por medio de tres etapas del proceso Proton-Proton (PP).
- En el I etapo 2 protones colisionan y producen deuterium, positron y neutrino.
- En el II etapo el proton colisiona con deuterium y produce el núcleo de helium-3 y rayos-gamma.
- En el III etapo 2 helium-3 colisionan y producen núcleos de helium-4 (normal) con 2 protones.

STEP 1 En el 1 etapo 2 protones colisionan y producen deuterium, positron y neutrino



NASA/NSSTC/Hathaway

STEP 2

En el II etapo el proton colisiona con deuterium y produce el núcleo de helium-3 nucleo y rayos-gamma.

D^2

+

H^1

γ

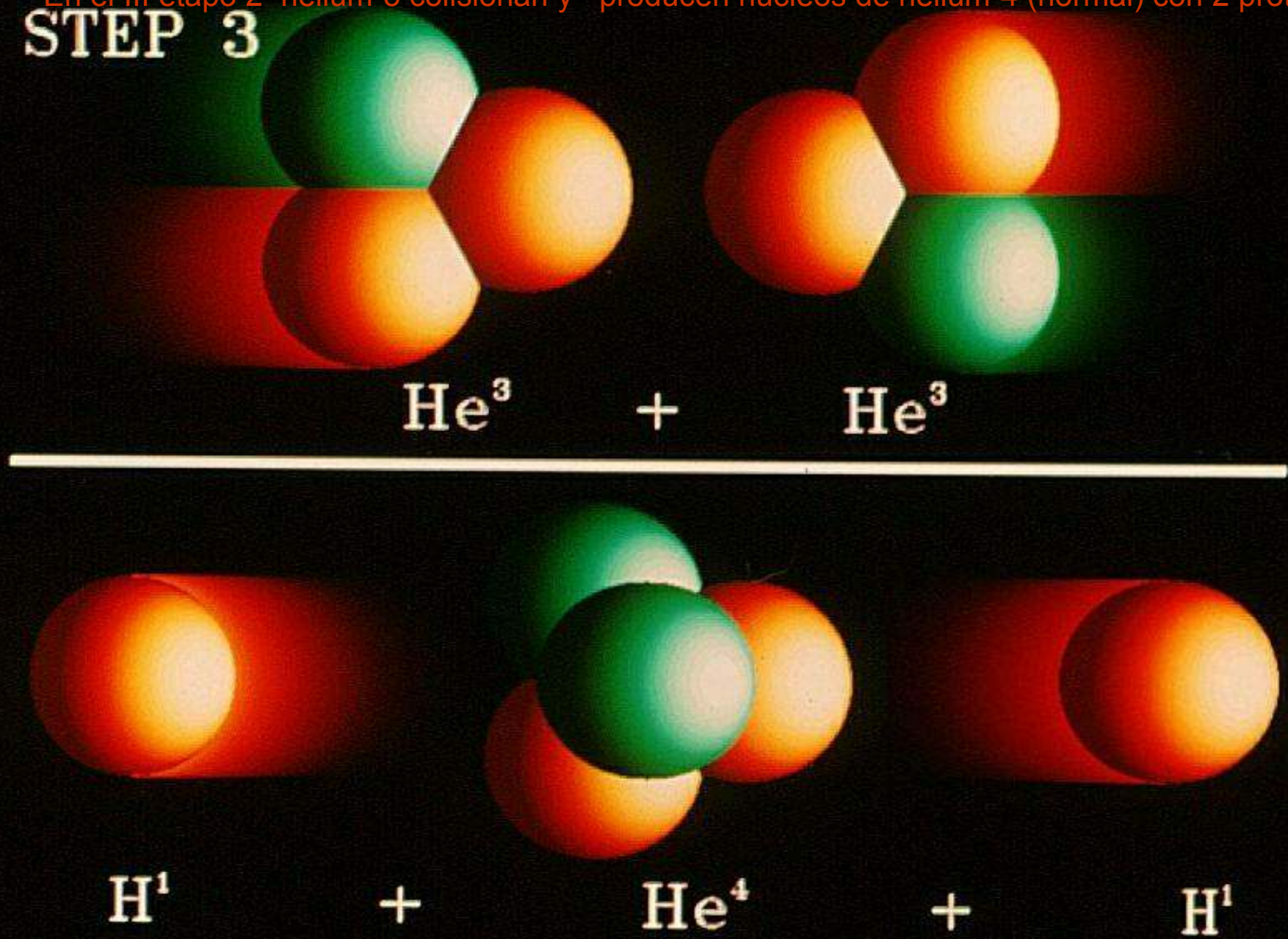
+

He^3

NASA/NSSTC/Hathaway

En el III etapo 2 helium-3 colisionan y producen núcleos de helium-4 (normal) con 2 protones

STEP 3

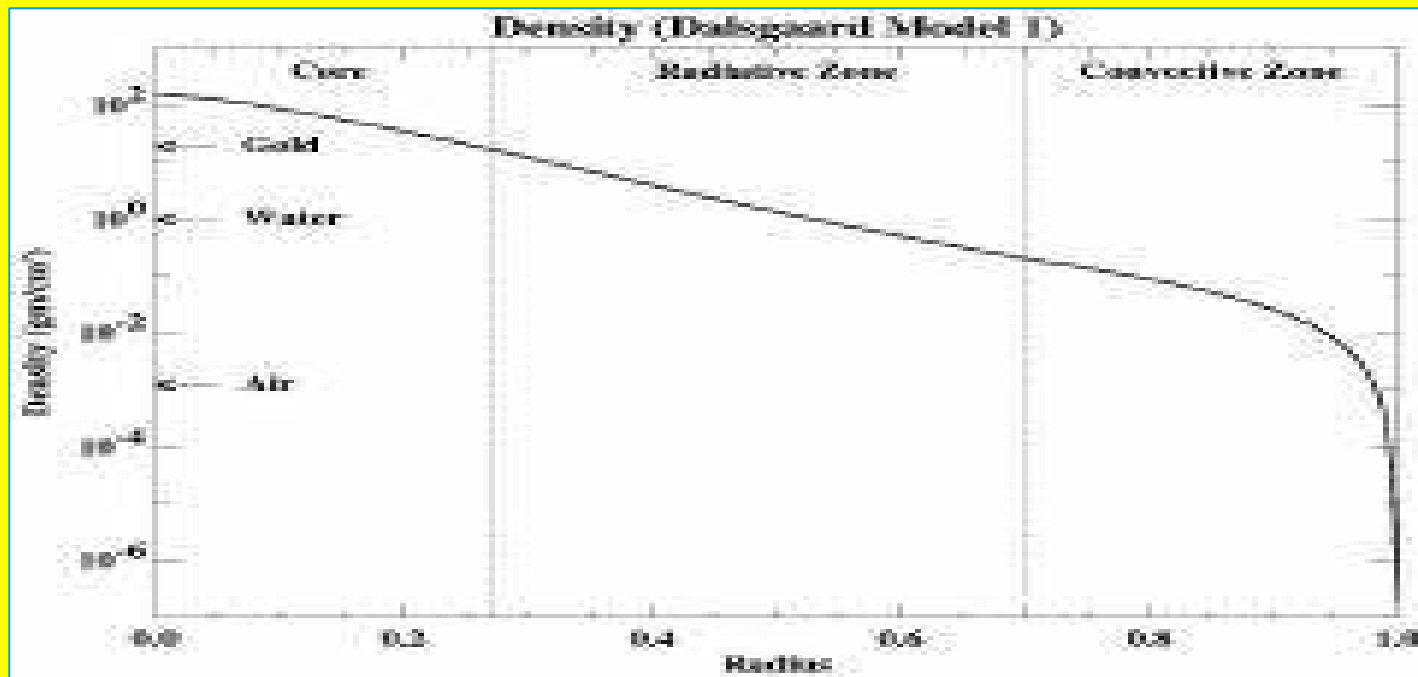


Neutrinos

- El Sol produce por lo menos 3-veces más neutrinos, que detectamos.
- La detección de los neutrinos en la Tierra es muy difícil.
- Esas partículas elementales (subatómicas) generan en el núcleo del Sol durante las reacciones nucleares.
- Desde el núcleo solar los neutrinos pasan directamente en el espacio.

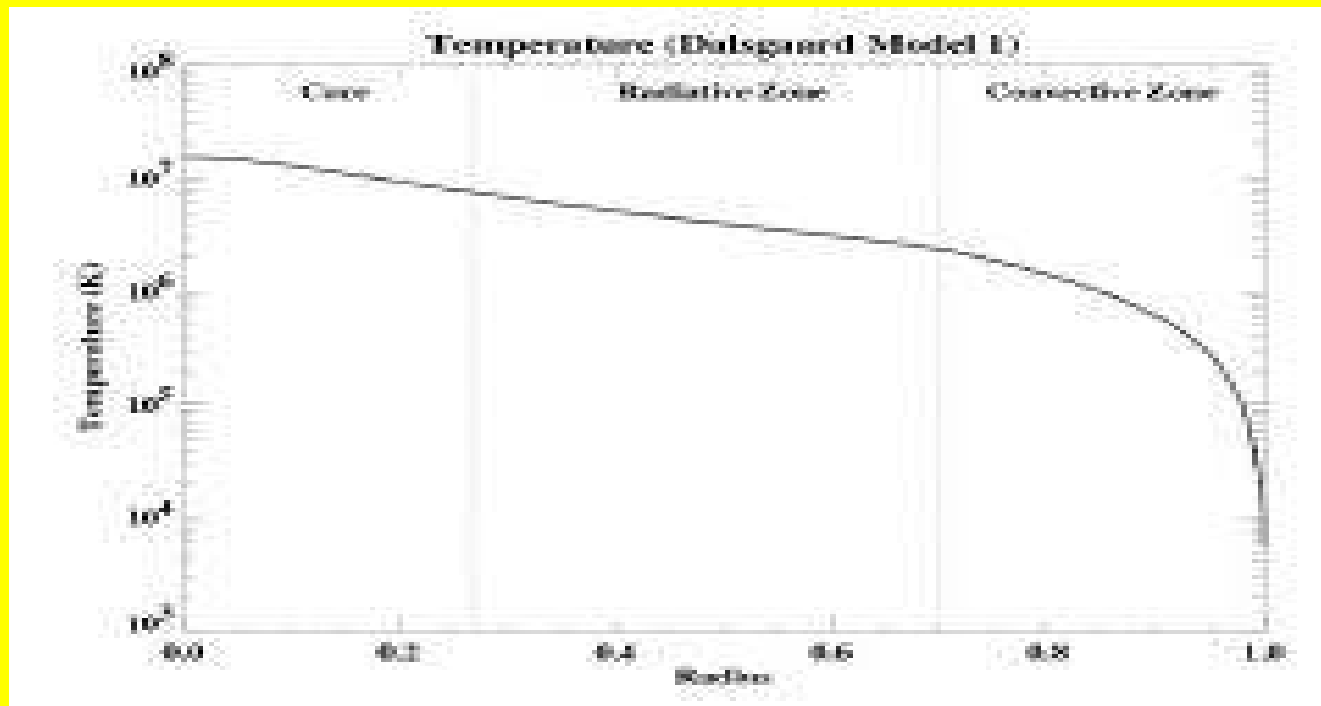
La Zona Radiativa

- La zona radiativa extiende desde el núcleo hasta el “tachocline” (desde 25% hasta 70% del radio).
- La zona radiativa se caracteriza con el medio de la transportación de la energía: por radiación.
- La energía generada en el núcleo está transportada por las fotones de la luz con la velocidad de luz.
- Los fotones chocan con partículas tan frecuentemente, que pueden tardar hasta un millón años para llegar hasta la capa intermedia “tachocline”.
- La densidad baj desde $\sim 20 \text{ g/cm}^3$ (about the density of gold) hasta $\sim 0.2 \text{ g/cm}^3$ (less than the density of water) para al fin de la capa de la zona radiativa.
- La temperatura decrece desde $7,000,000^\circ \text{C}$ hasta $\sim 2,000,000^\circ \text{C}$ en la misma distancia.



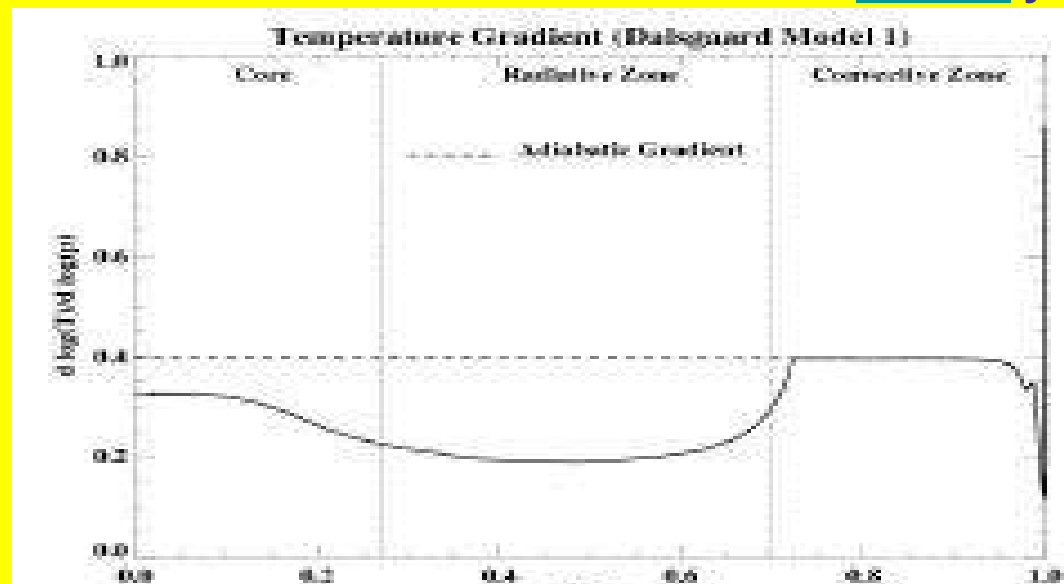
La Zona Intermedia

- La zona intermedia está situada entre las zonas radiativa y convectiva.
- Durante los últimos años los investigadores piensan que en esta capa delgada genera el campo magnético solar por el dinamo magnético.
- El cambio de las velocidades del fluido atravesando la capa (shear flows) puede estrechar las líneas del campo magnético esforzando la intensidad del campo magnético.
- Además parece que existe el cambio de la composición química atravesando esta capa.
- Por el cambio de velocidades del fluido esta capa recibió nombre “tachocline”.



La Zona Convectiva

- La zona convectiva es la zona más externa del interior solar. Se extiende en ~2 000 000 km. profundo desde la fotosfera.
- En el base de la zona convectiva la temperatura es ~ 2 000 000° C.
- Es la capa bastante fría para los iones pesados (como carbon, nitrogen, oxygen, calcium y iron) para detener algunos electrones. Por eso materia convierte mas opaco y más pesado para radiación.
- La capa detiene el calor y el fluido se hace inestable, y empieza convección.
- La convección empieza cuando el gradiente de la temperatura (the rate at which the temperature falls with height or radius) es mayor que el gradiente adiabático (the rate at which the temperature would fall if a volume of material were moved higher without adding heat).
- Donde esto ocurre con un volumen de materia que sube será más y más caliente respecto a la materia del alrededor. Esas movimientos de convección llevaran el calor rapidamente a la superficie. El fluido se expande y se enfria conforme sube.
- Sobre la superficie visible (fotosfera) la temperatura baja hasta ~5,700° K y la densidad baja hasta 0.0000002 gm/cm³.
- Como la demostración de la zona convectiva se observan Granulos y Supergranulos en la Fotosfera.



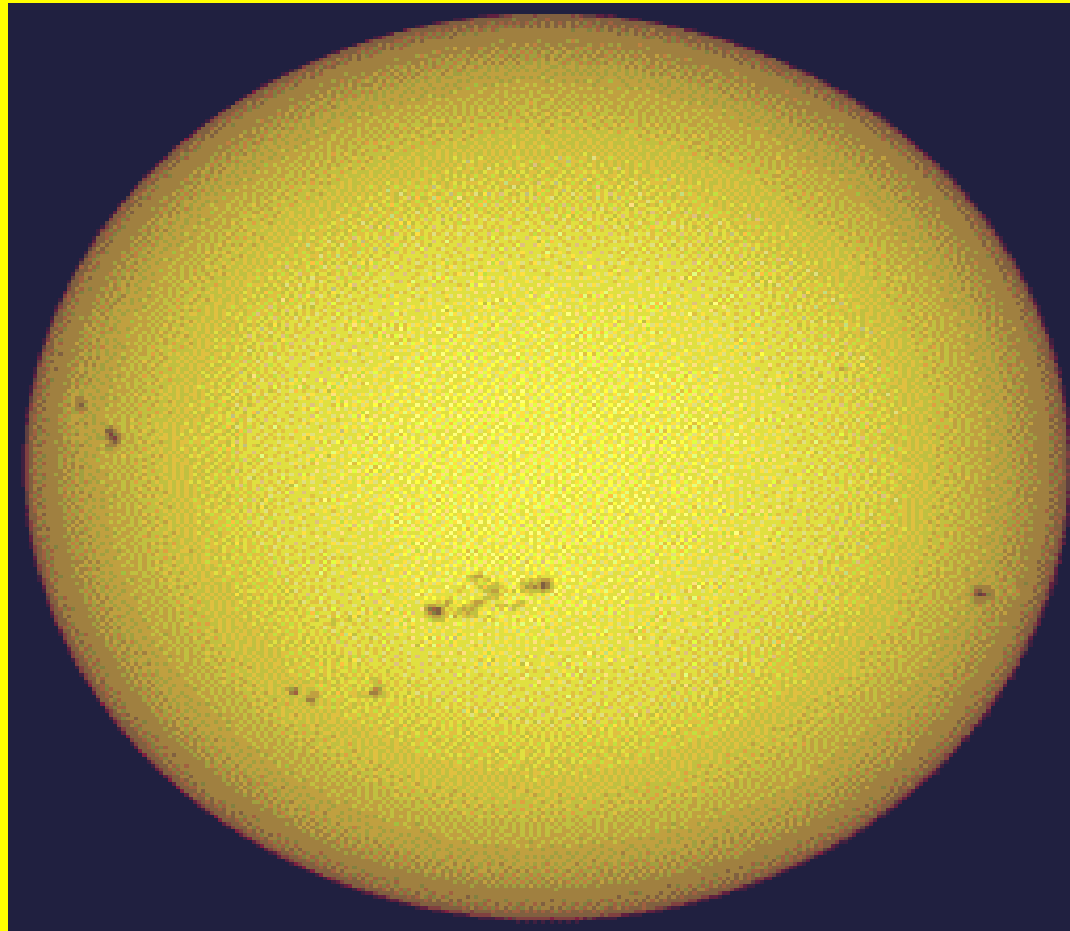
FOTÓSFERA

- La Fotósfera es el “superficie” visible del Sol y es la primera capa de la atmósfera solar.
- Es una capa muy delgada de ~100 km. (comparando con el radio solar de 700,000 km.).
- Las actividades fotosféricas son: Granulos, Supergránulos, Manchas, Fácúlas.
- Se mide el flujo de la materia con efecto de Doppler.



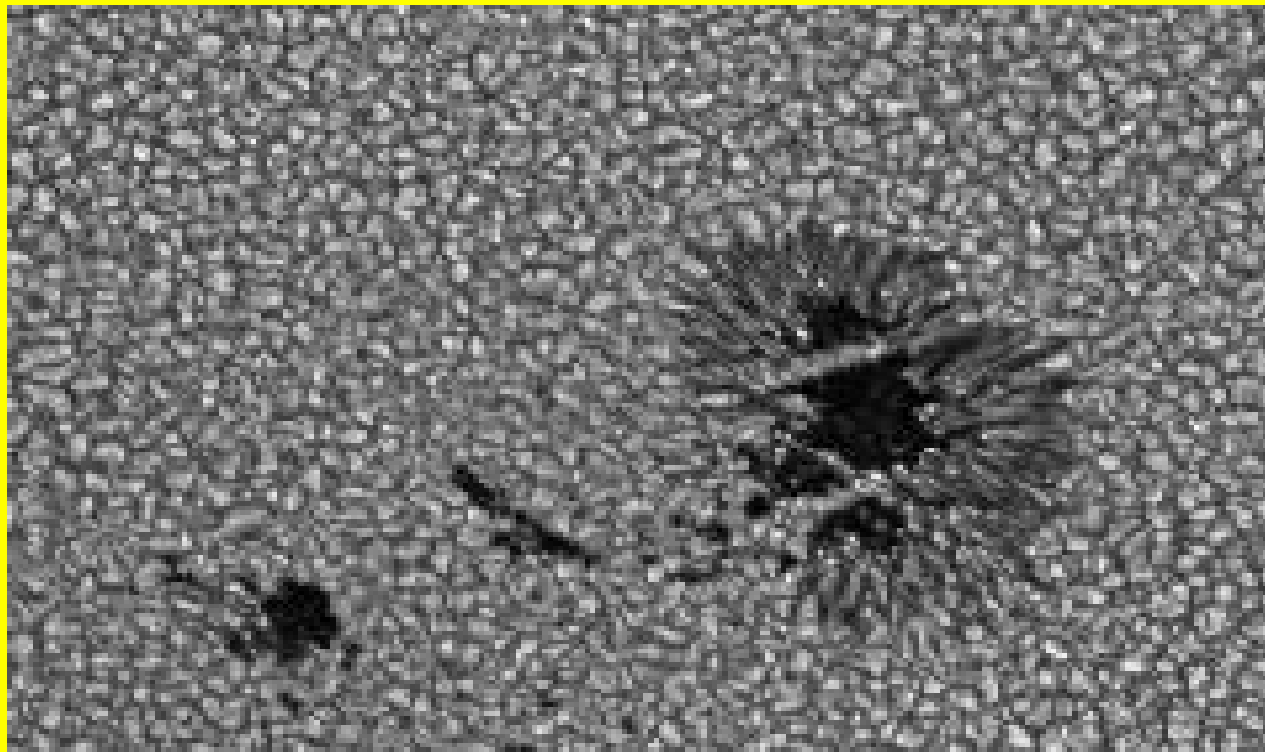
FOTÓSFERA

- El Sol muestra la rotación diferencial: desde 24 días terrestres (para la parte central) hasta 36 días terrestres (para la parte periférica). La rotación diferencial fue detectada por primera vez observando el movimiento de las Manchas solares.
- El eje de rotación del Sol está inclinada por 7.25 grados por respecto de la eclíptica. (Por eso, observamos el polo norte en setiembre y el polo sur en el marzo).
- [GONG](#) movie muestra la rotación solar y evolución las actividades solares-las manchas.



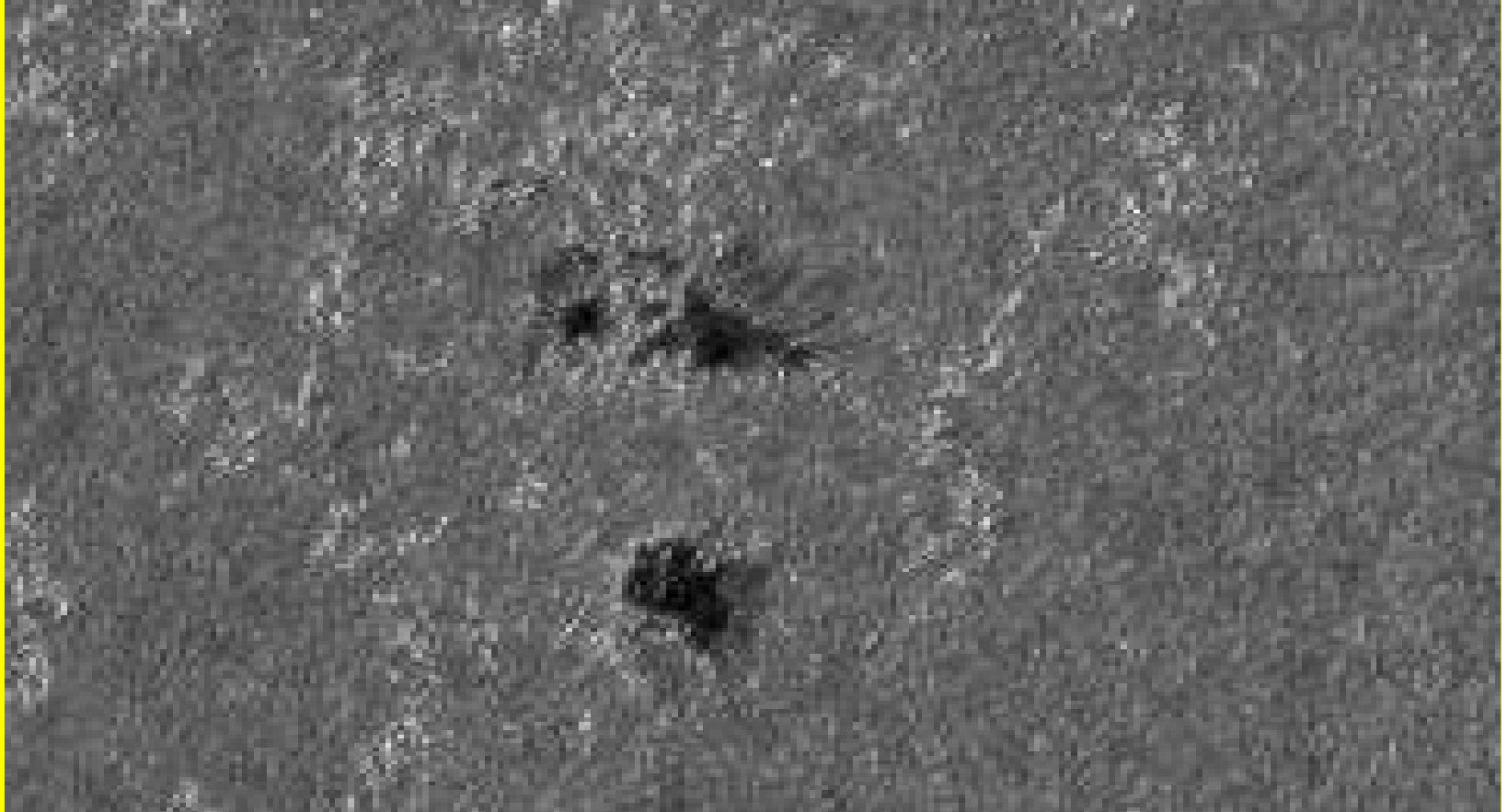
Las Actividades Fotosféricas

- Las Manchas solares
- Las Manchas solares son actividades oscuras porque su temperatura es más baja que de la Fotósfera , es 3700 K (comparada con la 5700 K de la fotósfera).
- Normalmente las Manchas viven desde algunos días hasta algunas semanas.
- Las Manchas solares son áreas magnéticas.El campo magnético de las Manchas es muy fuerte, 1 00'0 veces de la Tierra.
- El campo magnético es más fuerte en el parte más oscura de las Manchas-umbra y es relativamente débil en la parte más clara de las manchas-penumbra.
- Las Manchas más frecuentemente observamos en grupos con diferente polaridad (positivo o campo magnético norte y negativo o campo magnético sur).



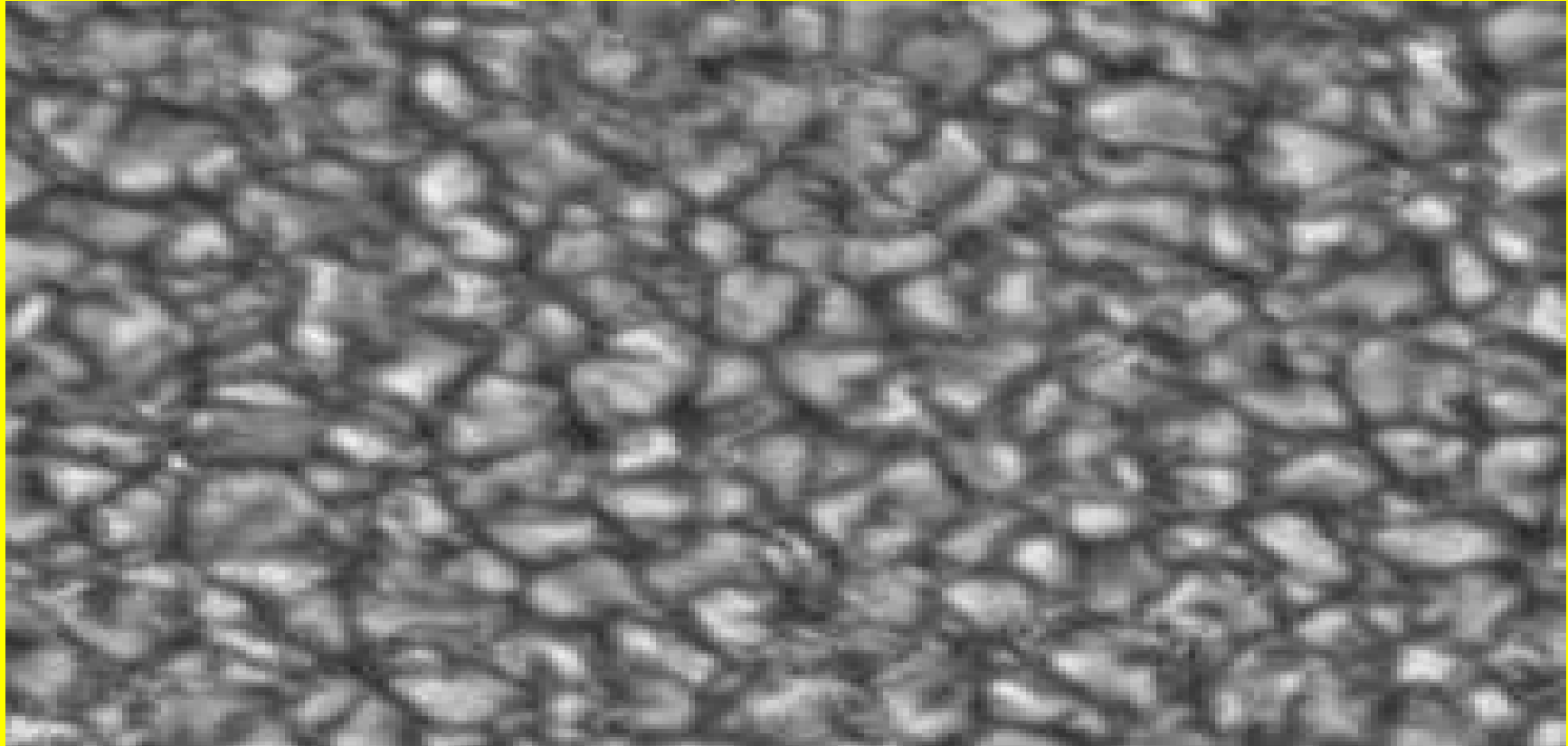
Las Actividades Fotosféricas

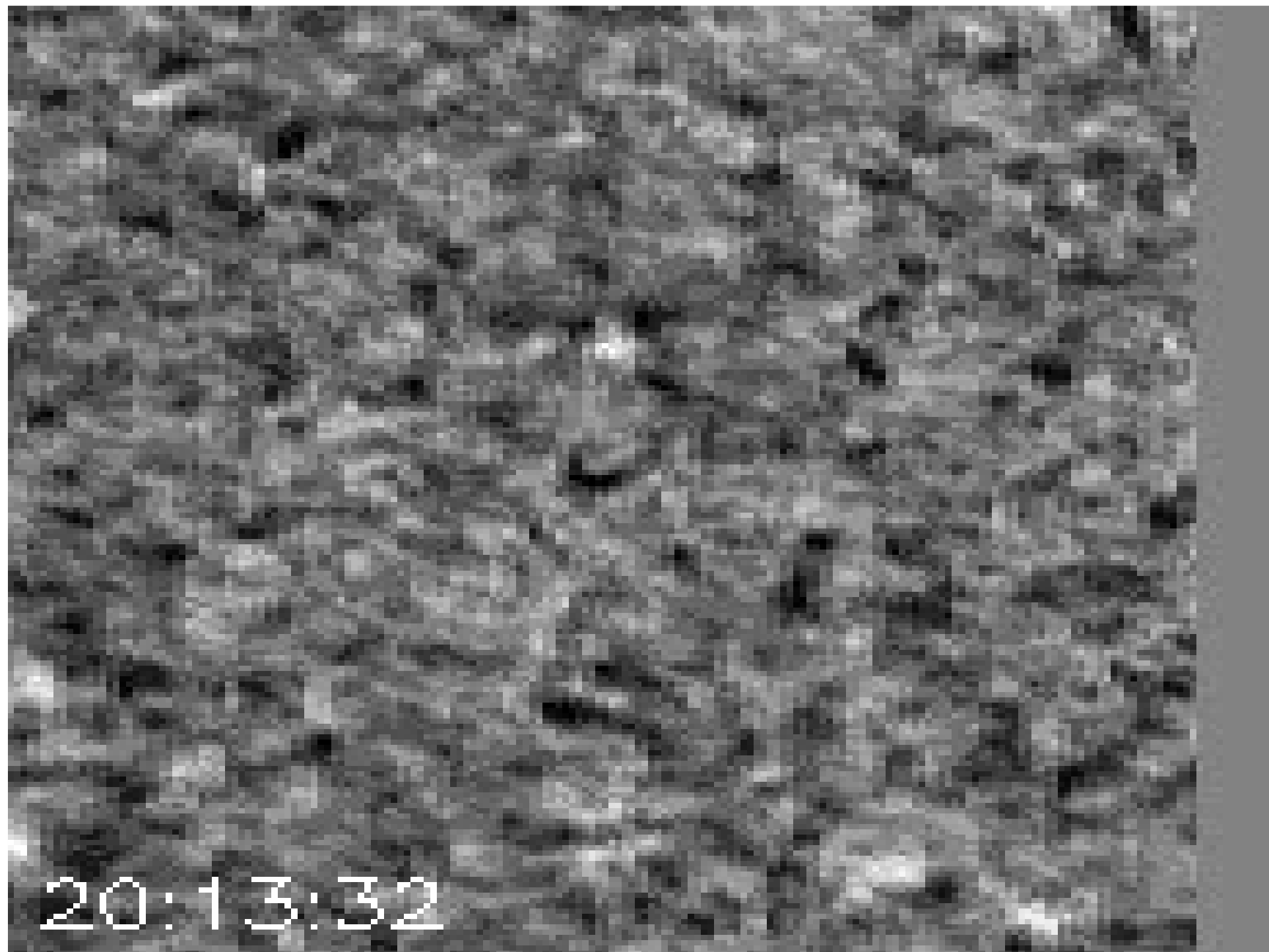
- Fáculas
- Fáculas son regiones claras que más fácilmente se observan cerca del limbo. Su temperatura es mayor que la temperatura de la Fotosfera.
- Fáculas son áreas magnéticas también, pero su campo magnético mucho más débil que de las Manchas.
- Durante el máximo de la actividad solar el Sol puede aparecer por ~0.1% más brillante respecto al período del mínimo solar por la causa de las Fáculas.

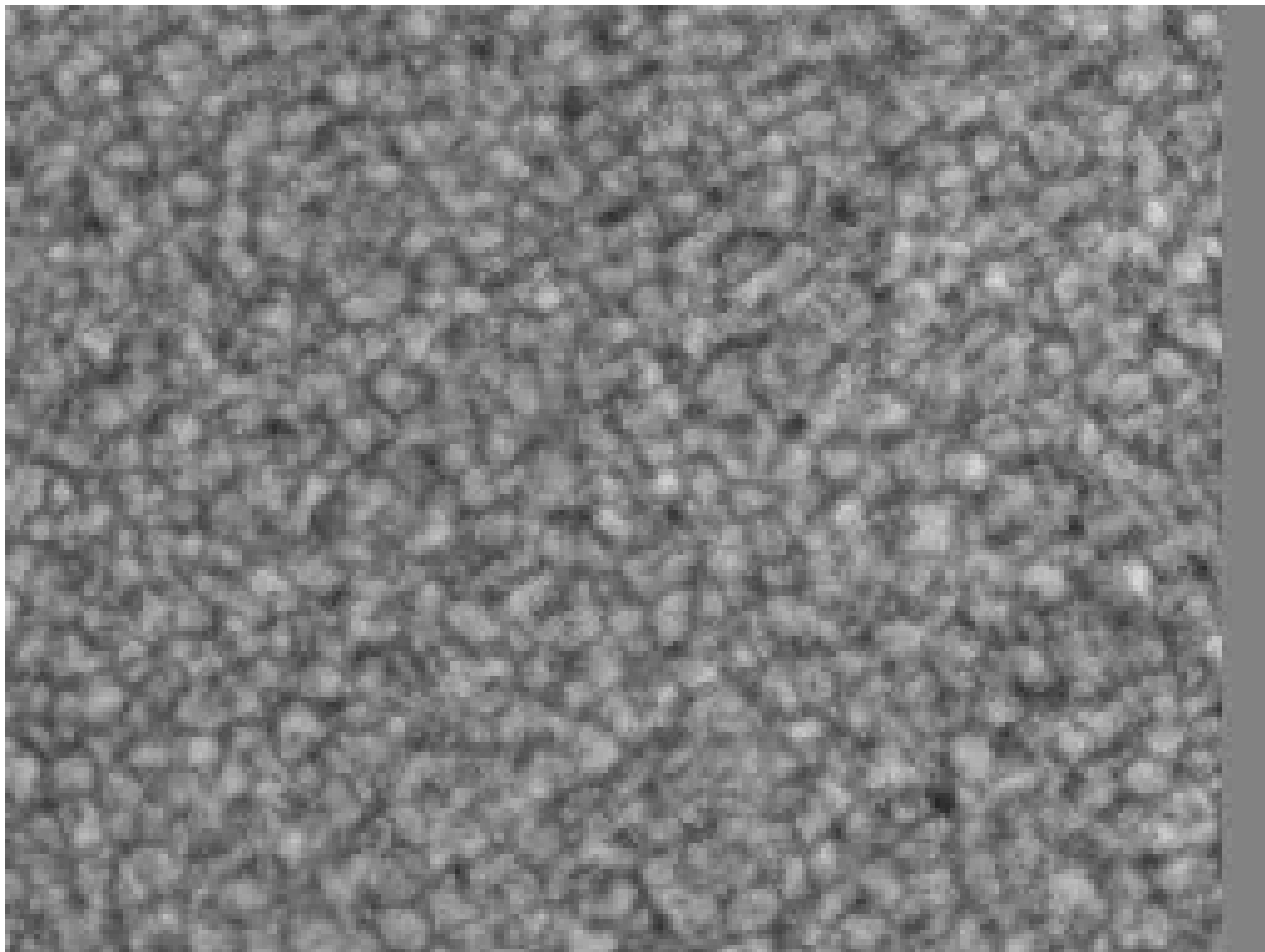


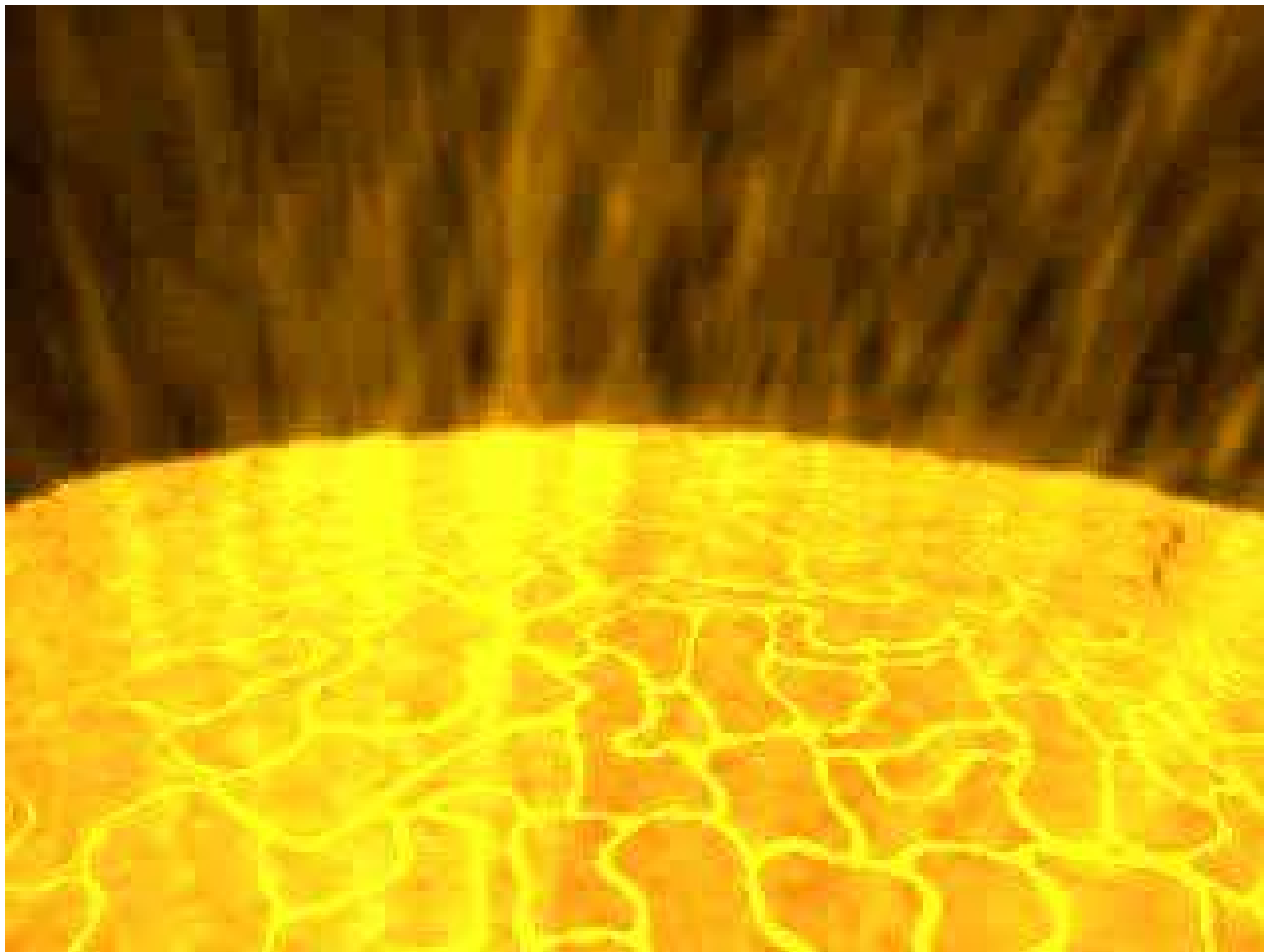
Las Actividades Fotosféricas

- Gránulos
- Gránulos son actividades pequeñas celulares (~1000 km del diámetro) y cubren toda superficie de la fotosfera.
- Gránulos están situados arriba de las células convectivas: están bombardeados constantemente por el gas caliente debajo en áreas claras, después el gas se enfría y cae en las líneas oscuras (límites) de gránulos.
- Los Gránulos viven desde ~5 hasta ~20 minutos y se renovan constantemente.
- El fluido dentro de los gránulos puede alcanzar a las velocidades 7 km/s y puede producir sonidos "booms" y además puede generar las ondas en la superficie solar.
- Movie de Swedish Vacuum Solar Telescope.



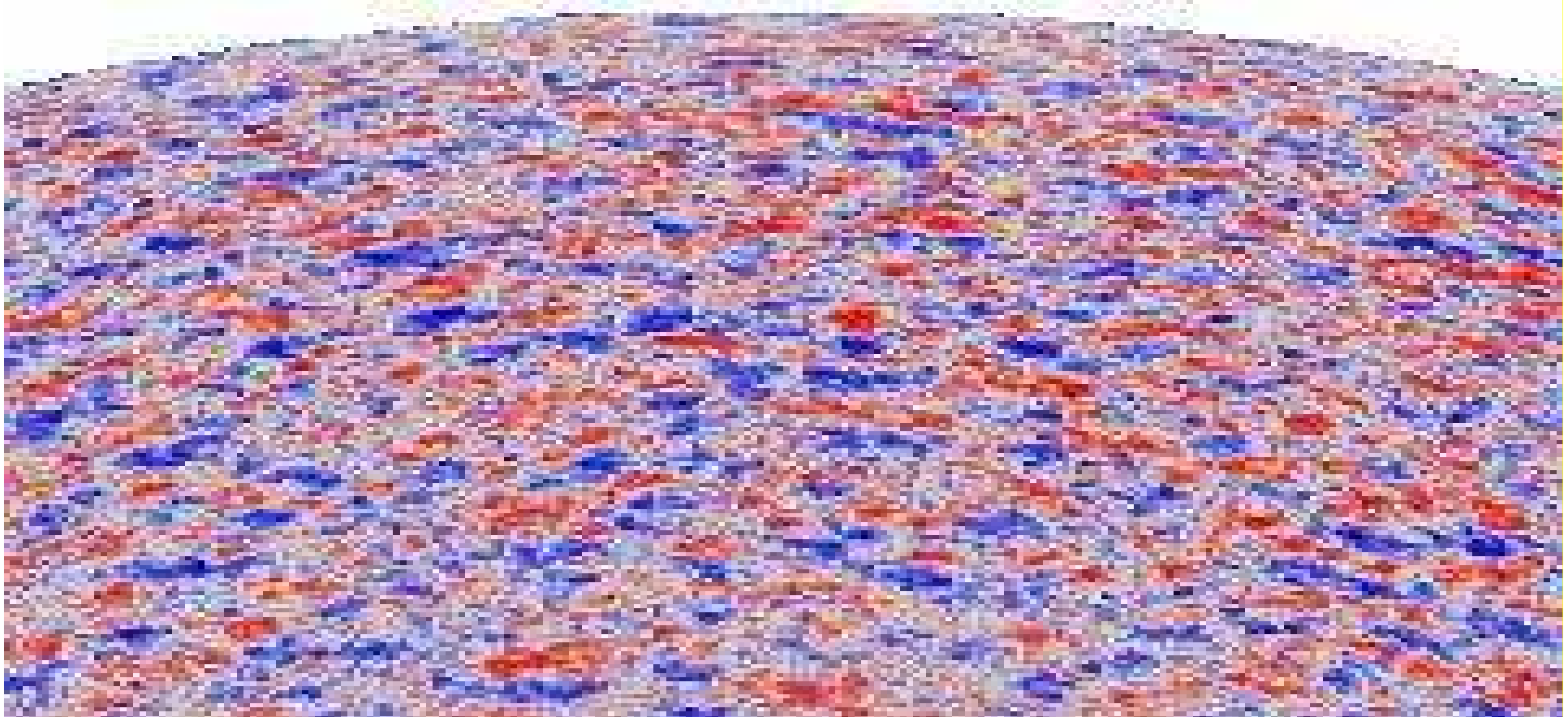






Las Actividades Fotosféricas

- Supergránulos
- Supergránulos son áreas mucho más largos que gránulos (~35,000 km. del diámetro).
- Se observa claramente el efecto de Doppler como desplazamiento hacia azul y rojo.
- Supergránulos también cubren toda superficie solar y se renovan sistemáticamente.
- Viven 1-2 días.
- El fluido tiene las velocidades ~0.5 km/s.
- Los límites coinciden con las líneas del campo magnético y se manifiestan como la Red cromosférica en la Cromósfera.



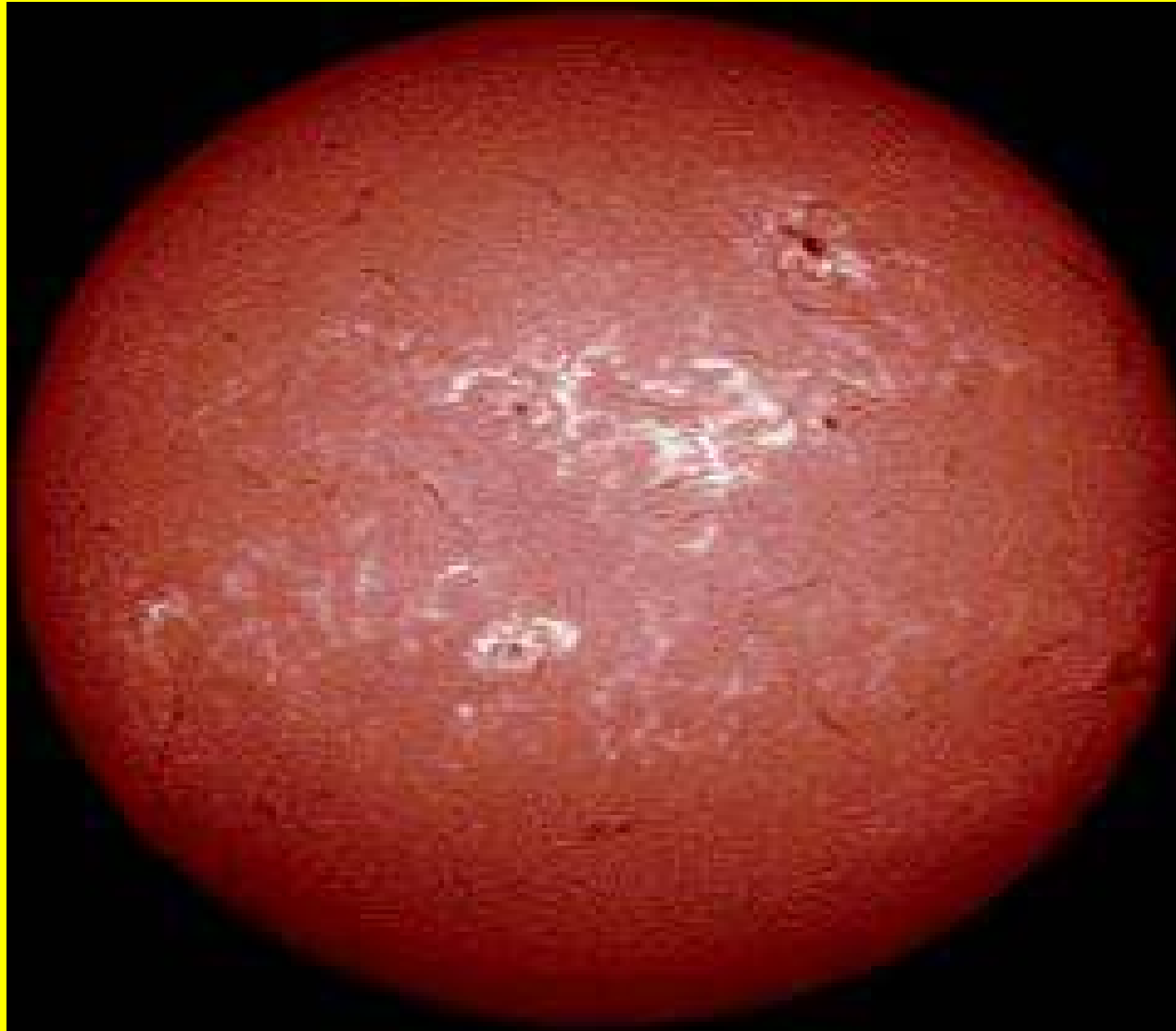
CROMÓSFERA

- La Cromósfera es la segunda capa más exterior de la atmósfera solar.
- Es una capa irregular donde la temperatura es mayor que en la fotosfera : desde 6000°C hasta $20,000^{\circ}\text{C}$.
- En esas temperaturas el hidrogeno emite la luz rojo (emisiones de $H\alpha$). Por eso la cromósfera es rojo y se puede observar (difícilmente) antes y despues del fase total de los eclipses solares durante algunos segundos.
- Además, estas emisiones algunas veces se observan en Prominencias rojas durante eclipses totales solares.



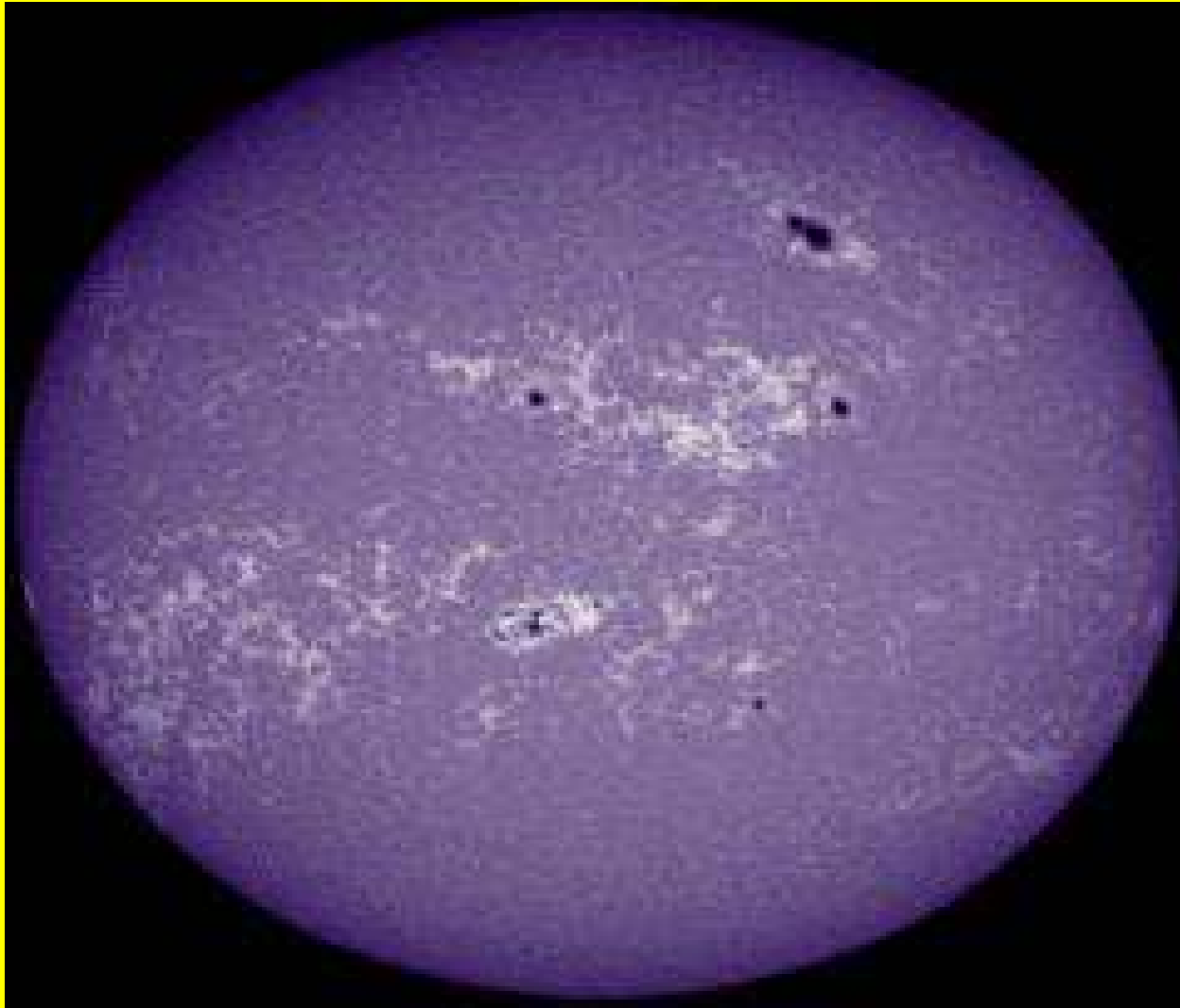
CROMÓSFERA

- Cuando se investiga el Sol con espectrógrafo o con el filtro Ha se observan las actividades cromosféricas: la Red cromosférica, Flóculas, Prominencias o Filamentosa, Explosiones cromosféricas.



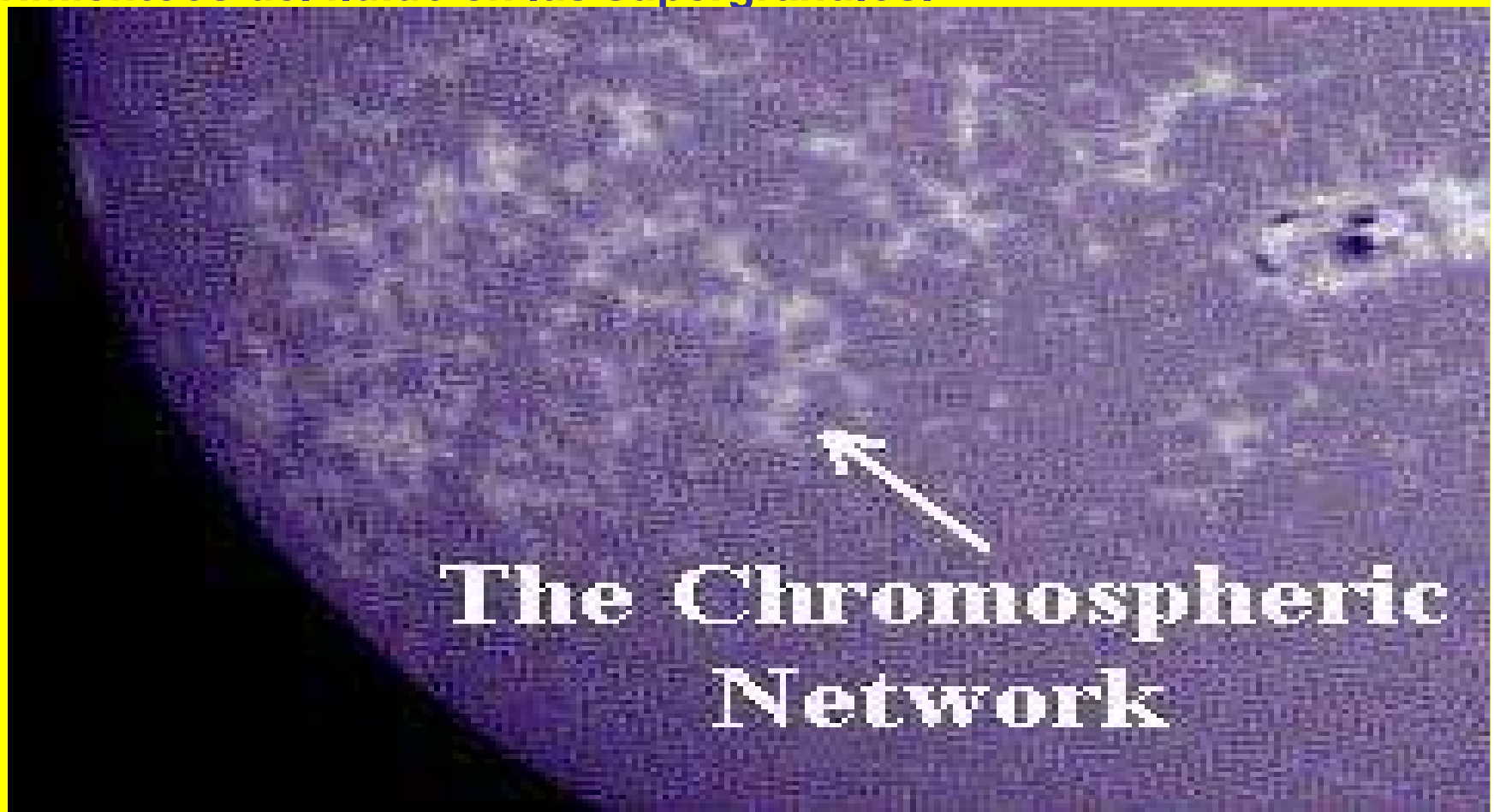
CROMÓSFERA

- La Cromósfera es visible además en el calcio ionizado (Ca II, en la parte violeta del espectro solar para la longitud de 393.4 nanometros).
- Esta emisión se ve en otras estrellas como el Sol y da la información importante sobre su Cromósfera y el ciclo de actividad.



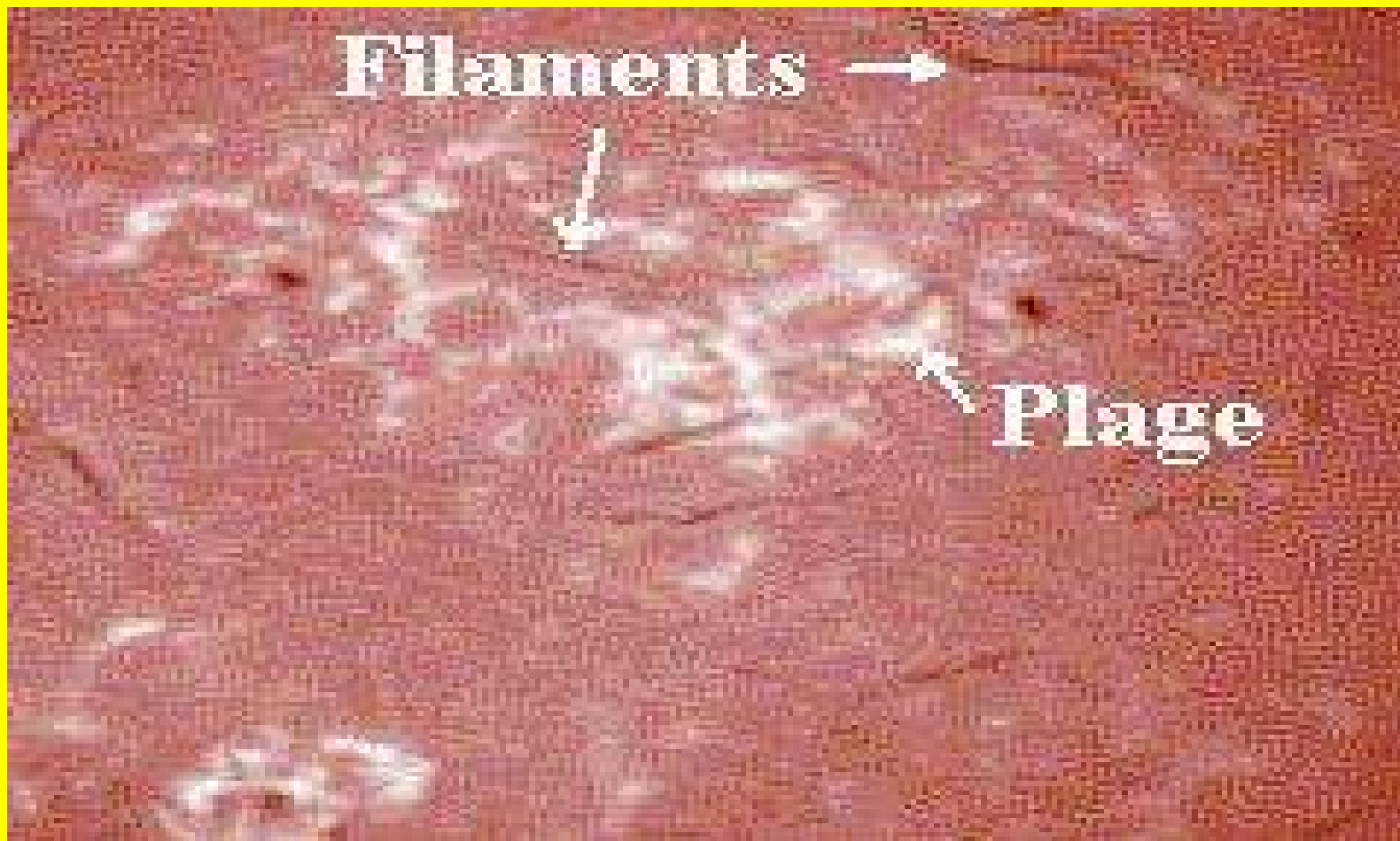
Las Actividades Cromosféricas

- La Red cromosférica
- La red cromosférica se observa mejor en la línea rojo de emisión Ha y en la línea ultravioleta de calcio (Ca II K).
- La Red cromosférica sobrepone en las celulas de supergranulación y se representa el campo magnético con líneas concentradas por las movimientooos del fluido en las supergránulos.



Las Actividades Cromosféricas

- Flóculas y Filamentos (o Prominencias)
- Flóculas son áreas brillantes (se observan en Ha) situadas sobre Fácúlas (o sobre áreas alrededor de las Manchas. Además, las flóculas asosian con la concentración del campo magnético y forman parte de la red cromosférica.
- Filamentos son áreas fibrales negras observables mejor en Ha. Son actividades densas, frias, son como nubes de materia (plasma) sustentadas en el superficie solar por los arcos del campo magnético. Cuando se observan en el disco solar se llaman Filamentos y cuando se obsevan en el limbo se llaman Prominencias.



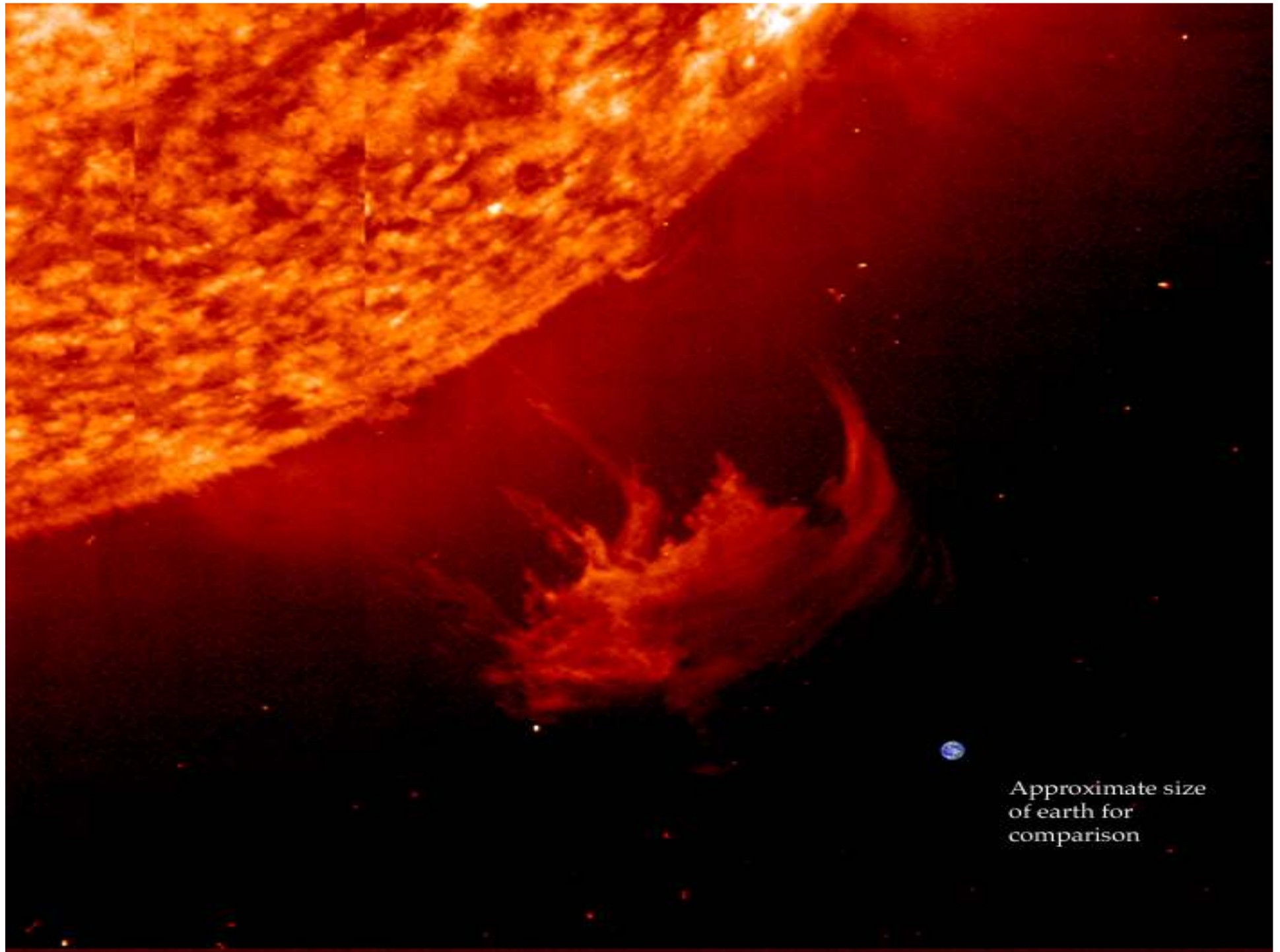
Las Actividades Cromosféricas

- Prominences (o Filamentos)
- Prominencias son Filamentos observables en el limbo solar.
- Ambos, Filamentos o Prominencias pueden permanecer tranquilos durante los días o semanas, dependiendo en los cambios del campo magnético que sostiene ellos. Y pueden explotar (Prominencias) o desaparecer (Filamentos) en unos minutos o unas horas.
- Movie de "Granddaddy" prominence eruption of 1945).



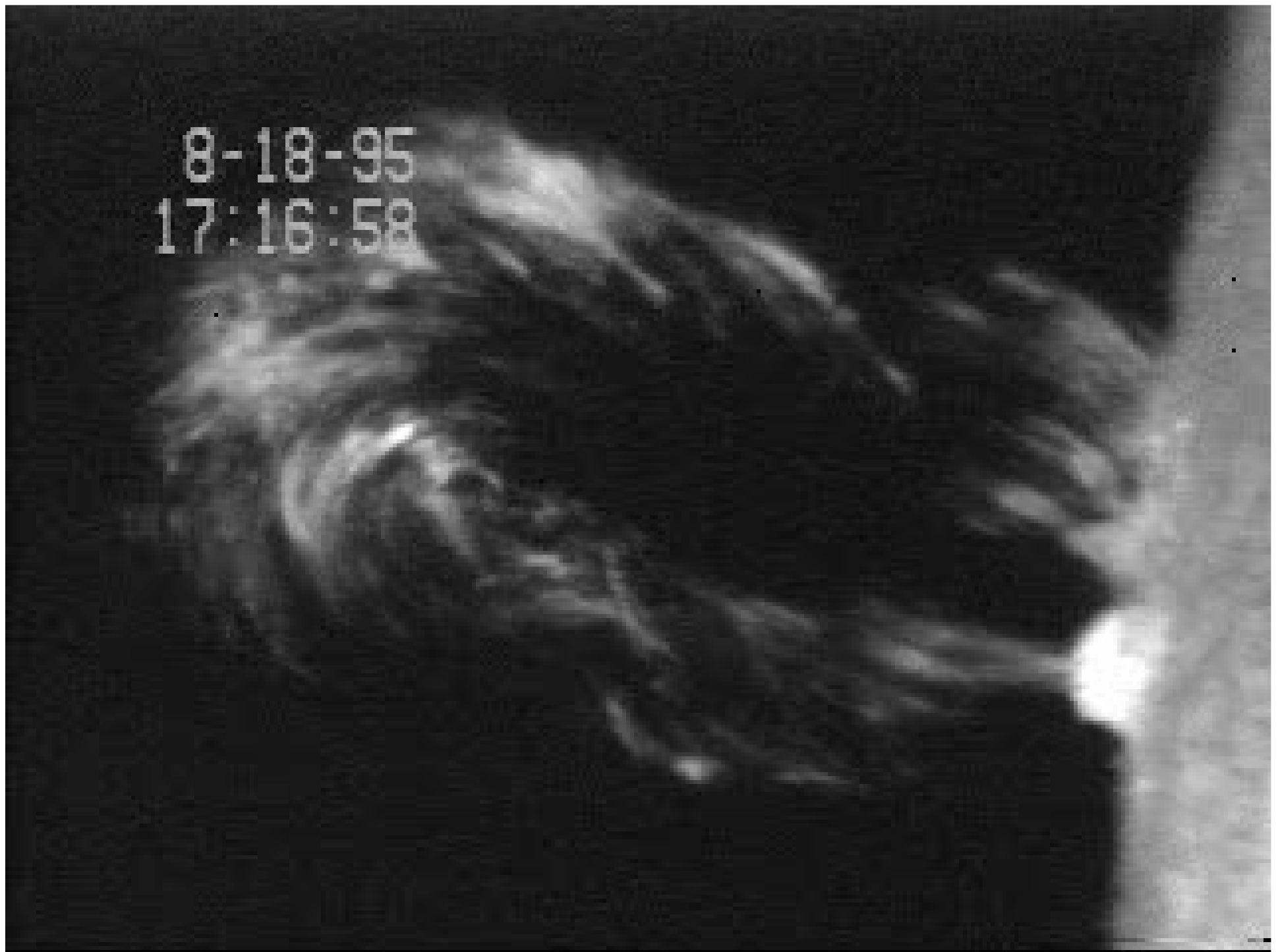
Prominence Eruption
1945 June 28

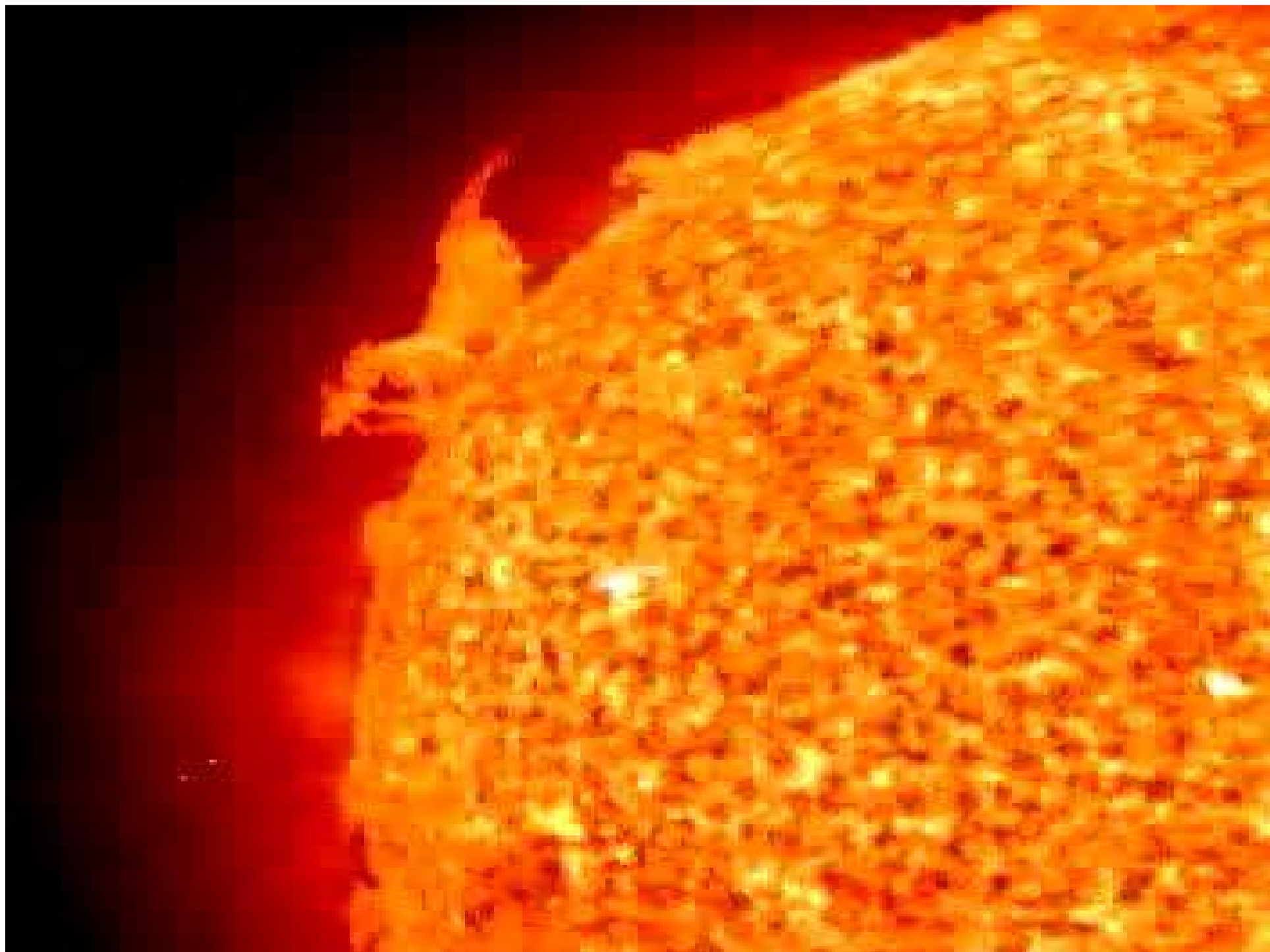
High Altitude Observatory

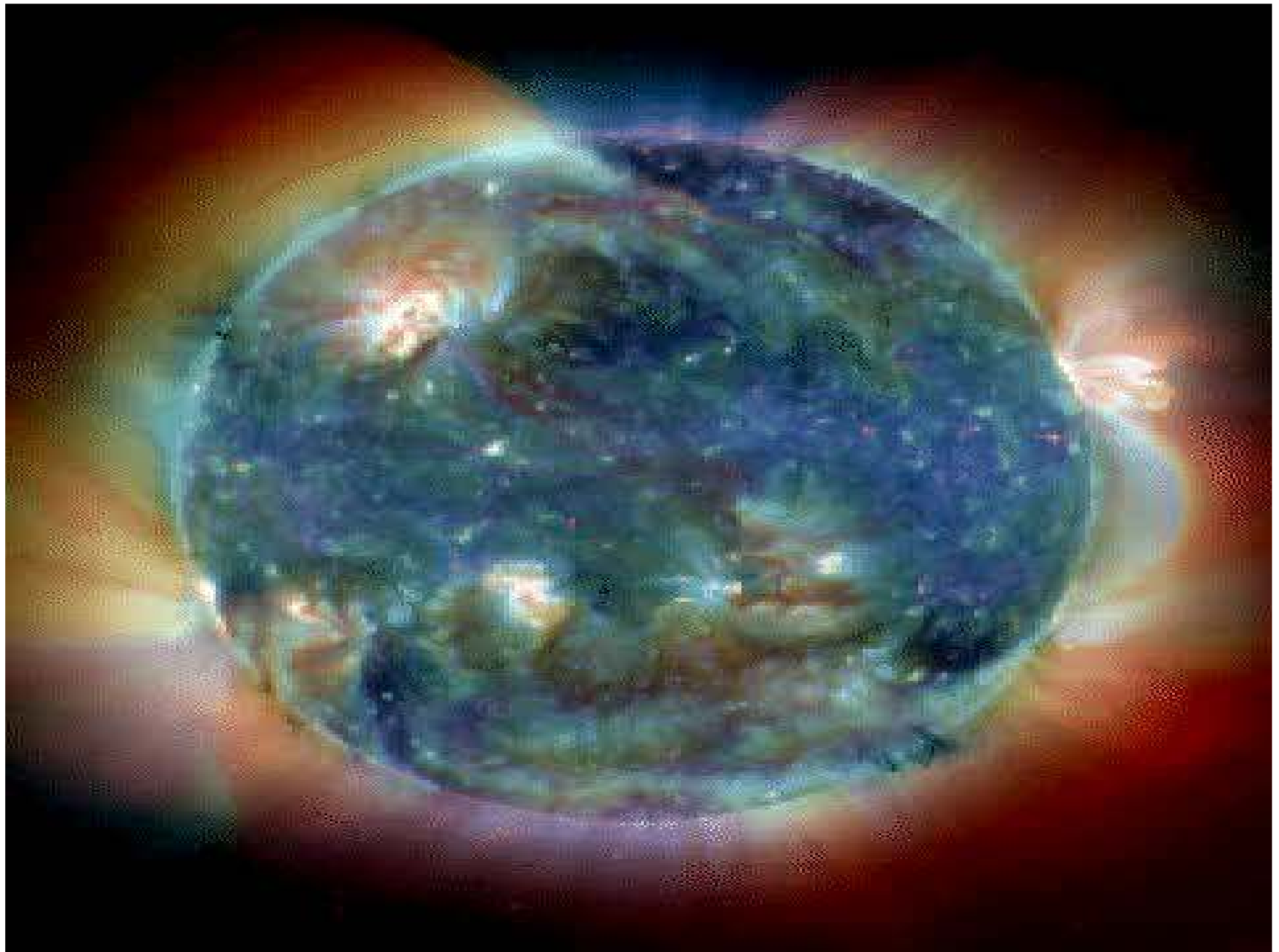


Approximate size
of earth for
comparison

8-18-95
17:16:58







Las Actividades Cromosféricas

- **Spiculas**
- Spiculas son pequeñas erupciones observables en la Red cromosférica.
- Aparecen como cortas y oscuras actividades en Ha.
- Viven algunos minutos y en ellos mueve la materia con la velocidad 20-30 km/s hacia la Corona.



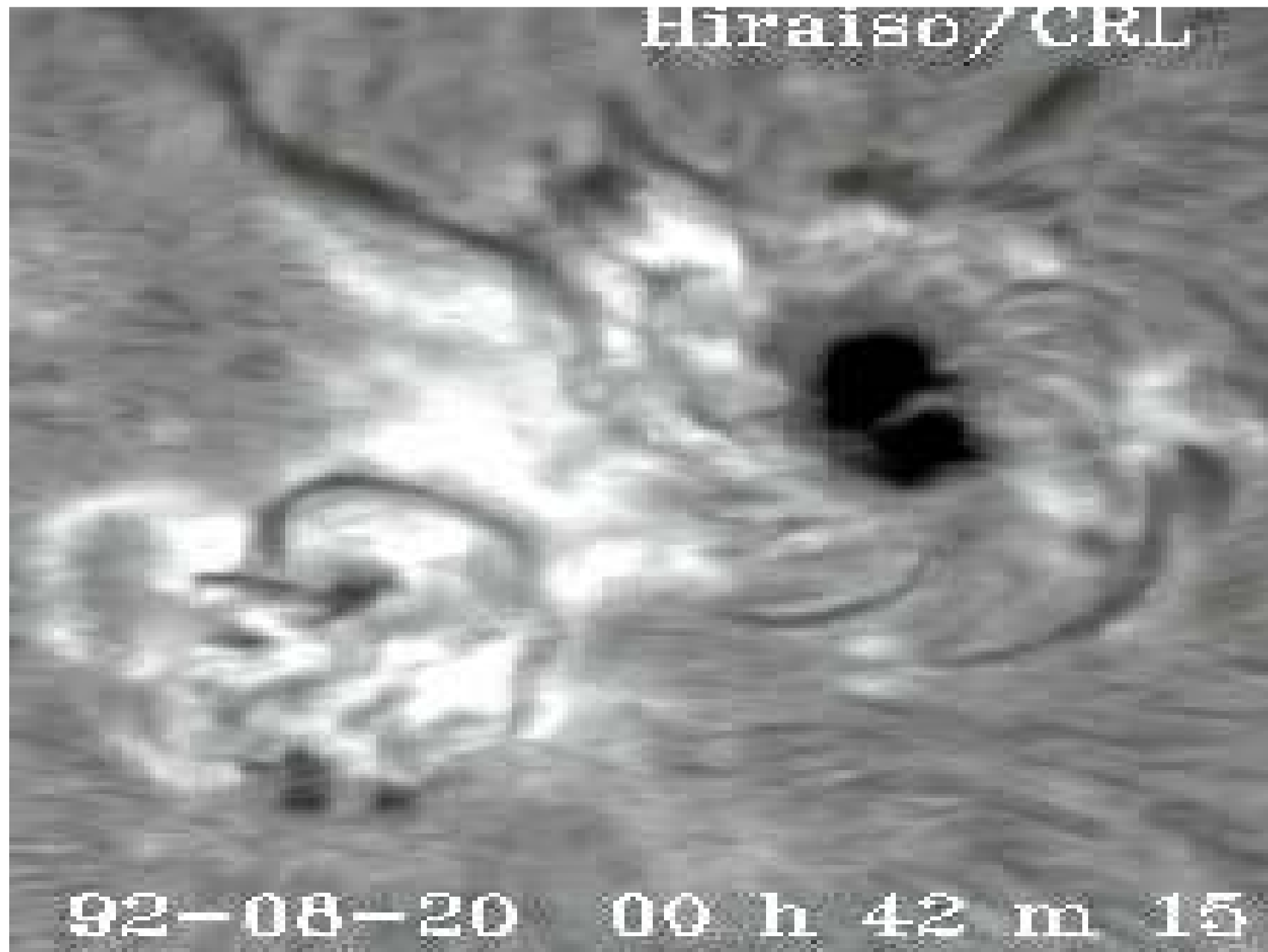
Explosiones Solares

Las Características

- Las explosiones solares ocurren durante unos minutos: la temperatura sube hasta varios millones grados y normalmente ocurre cerca de las Manchas solares o áreas activas (un conjunto de varias actividades solares) a través de la línea neutro (línea que divide las áreas con los signos opuestos del campo magnético).
- La energía liberada puede ser diferente: electro-magnético (rayos-gamma y rayos-X), partículas energéticas (protones y electrones), y fluidos de masa mass flows.
- La mayoría de las explosiones grandes se caracterizan por la actividad alta en rayos-X (X-class).
- M-Class flares have a tenth the energy and C-Class flares have a tenth of the X-ray flux seen in M-Class flares.
- La fuerza de las explosiones depende en área explosada.



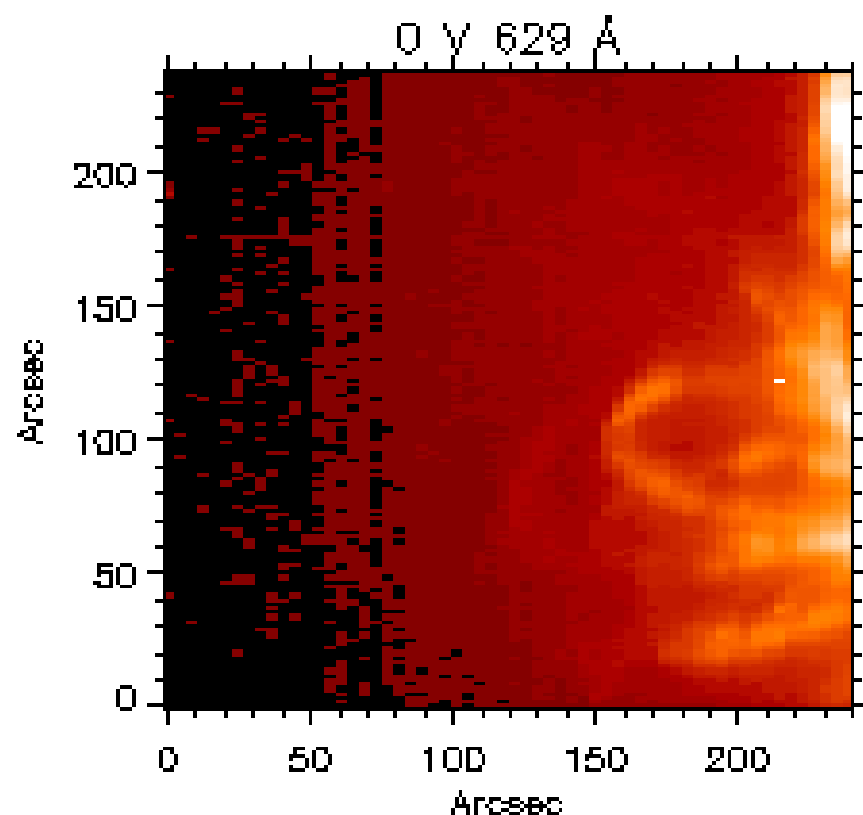
Hiraiso/CHL



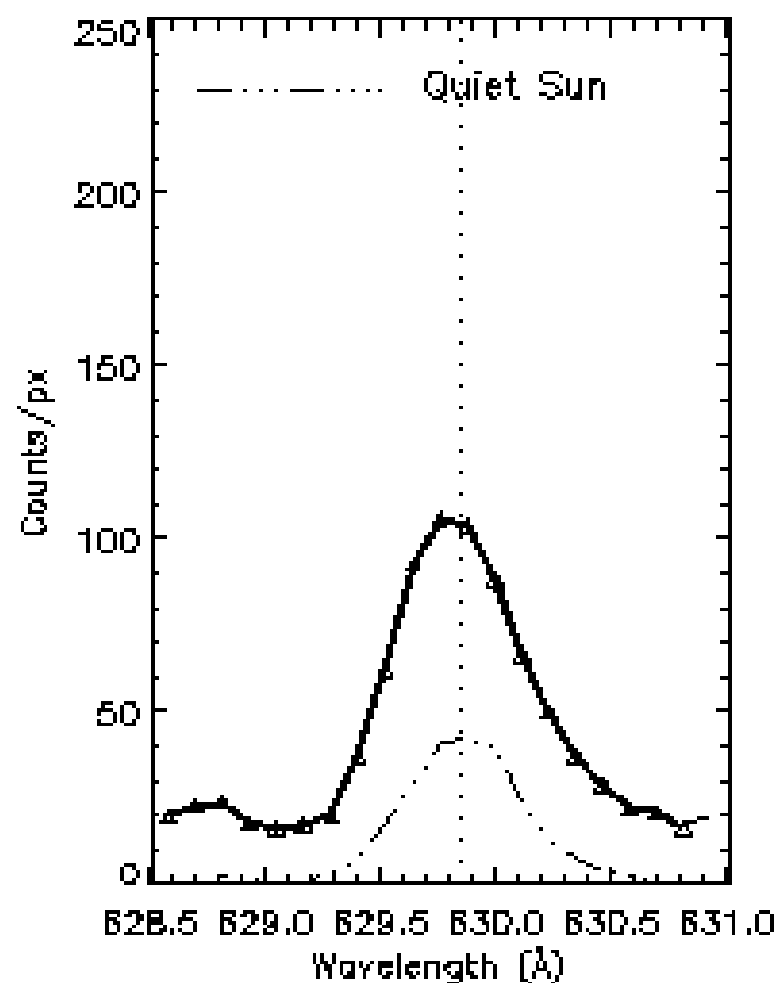
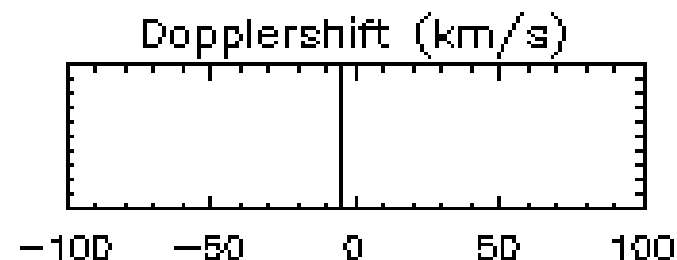
92-08-20 00 h 42 m 15

CDS NIS Raster

Active Region Loops East Limb
27-July-1996



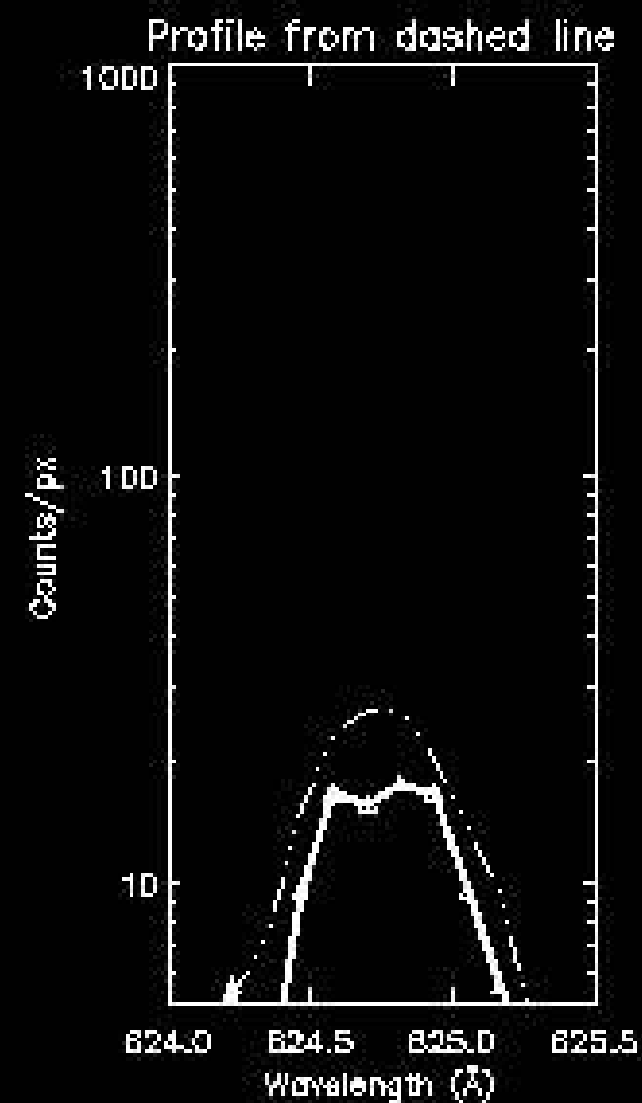
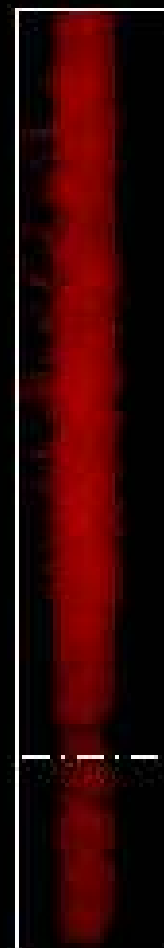
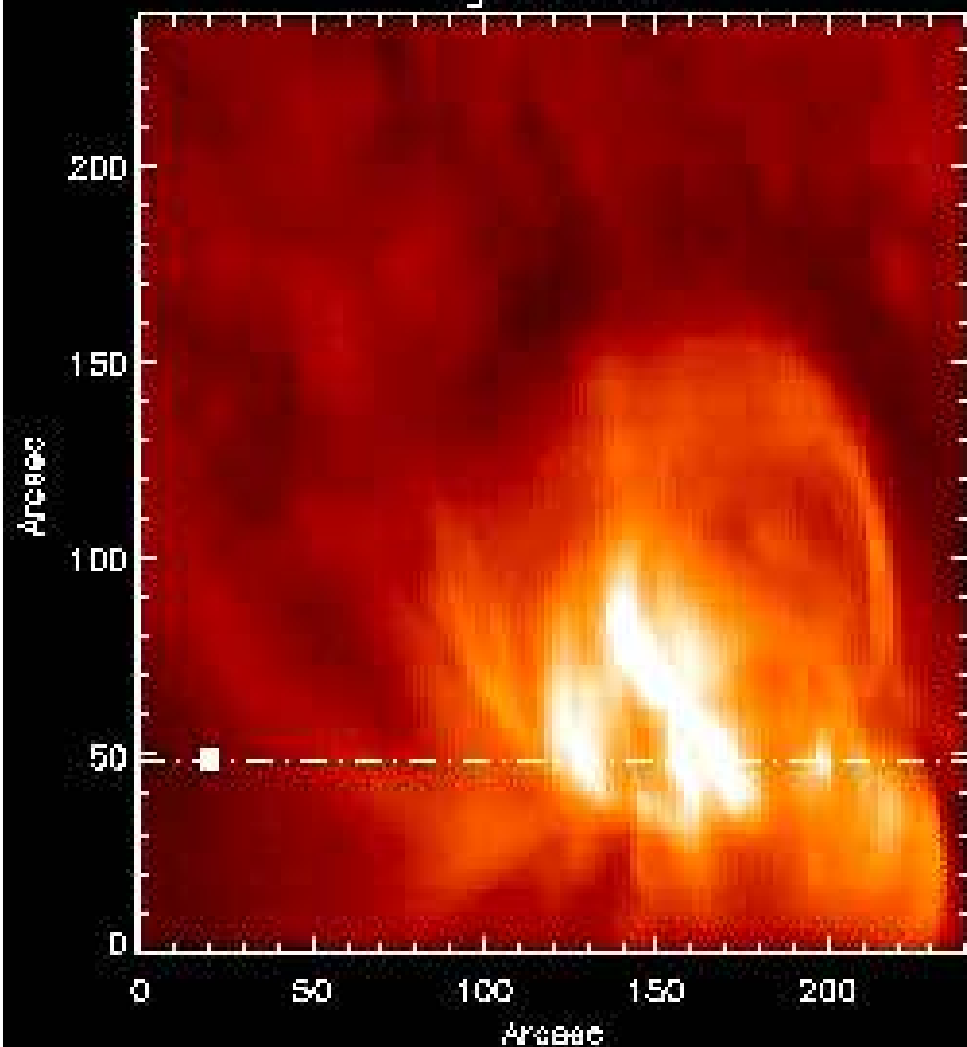
Sample of Plasma Motion in Loops



CDS NIS Raster

Active Region Loops
22-March-1996

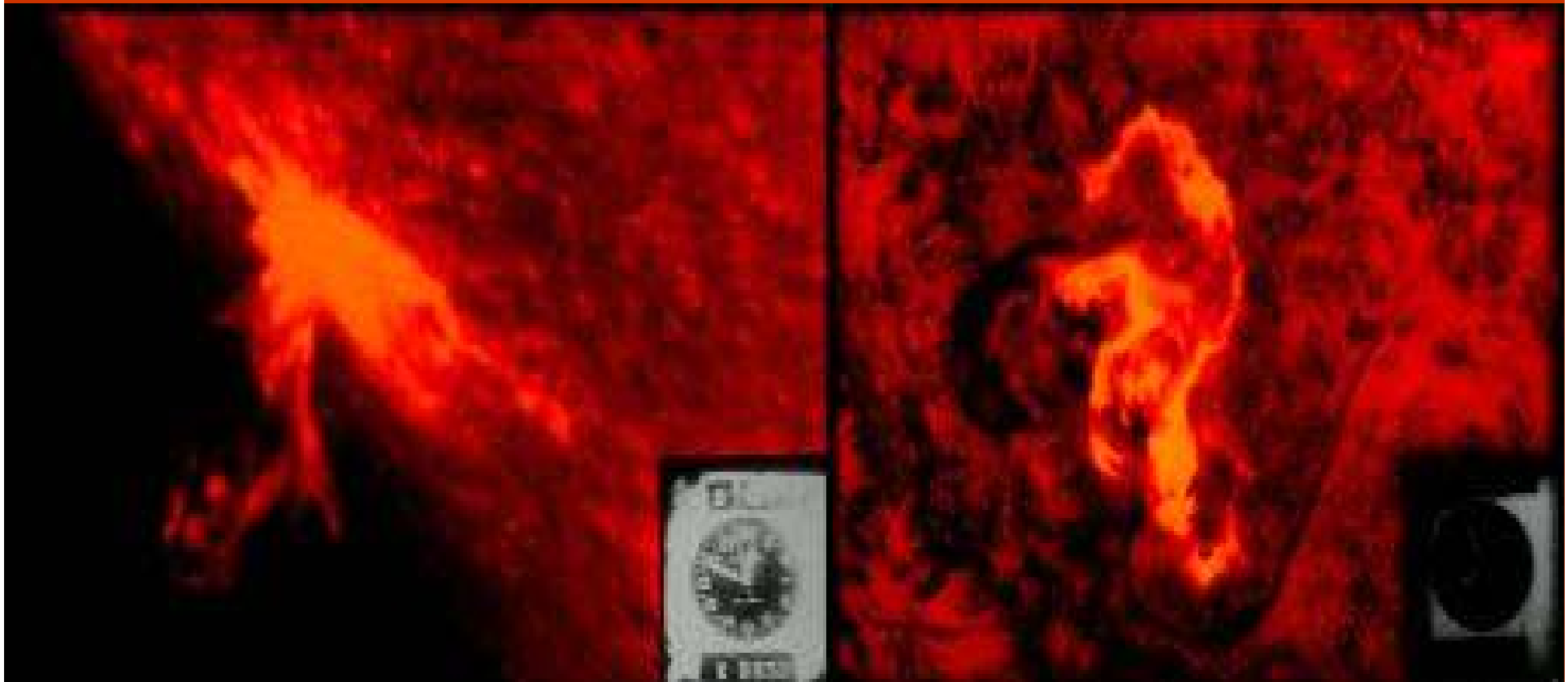
Mg IX 368 Å



Explosiones Solares

Las Observaciones

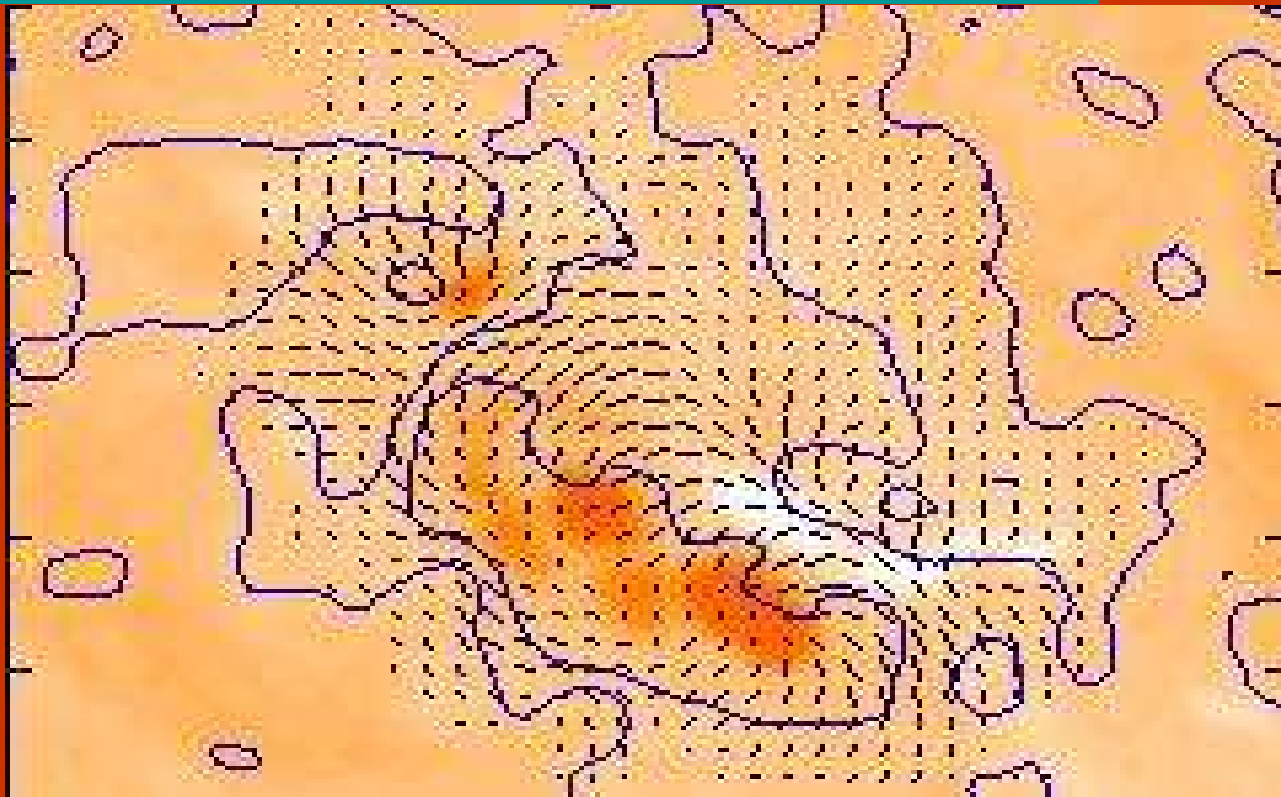
- **Se observan en H α .**
- The images are from the [Big Bear Solar Observatory](#). The image at the upper left shows material erupting from a flare near the limb of the Sun on October 10th, 1971. The [4.2MB mpeg movie](#) of this flare shows how material is blasted off of the Sun within just a few minutes. The image at the lower left shows a powerful flare observed on the disk of the Sun on August 7th, 1972. This is an example of a "two-ribbon" flare in which the flaring region appear as two bright lines threading through the area between sunspots within a sunspot group. (See the [2.2MB mpeg movie](#).) This particular flare, the "seahorse flare," produced radiation levels that would have been harmful to astronauts if a moon mission had been in progress at the time.



Explosiones Solares

El Campo Magnético

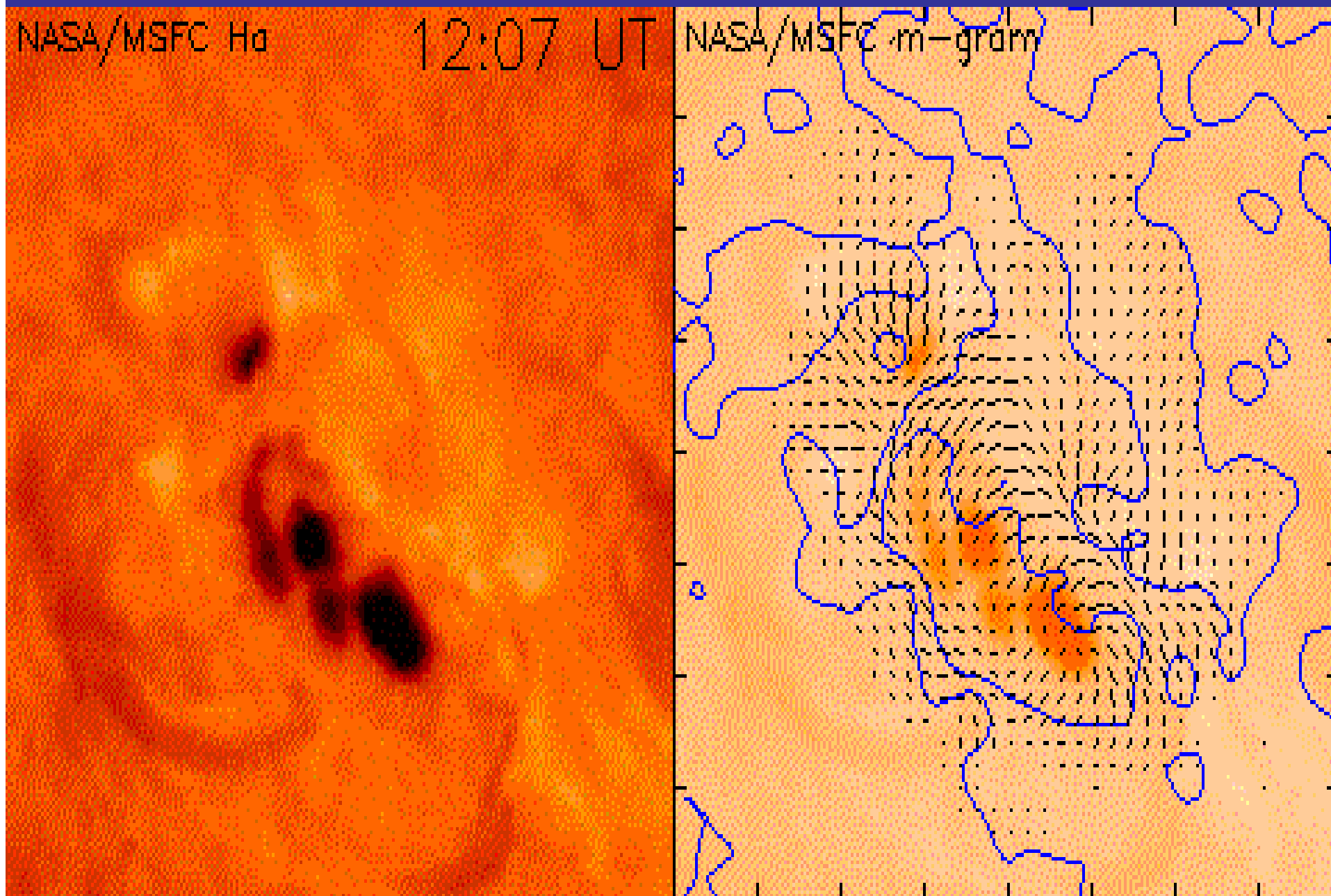
- El origen y evolución de las explosiones se explica por la estructura del campo magnético alrededor de las Manchas solares.
- La reconexión de las líneas del campo magnético produce las explosiones.
- In the image to the left the blue lines represent the neutral lines between areas of oppositely directed magnetic fields. Normally the magnetic field would loop directly across these lines from positive (outward pointing magnetic field) to negative (inward pointing magnetic field) regions. The small line segments show the strength and direction of the magnetic field measured with the [MSFC Vector Magnetograph](#). These lines and line segments overlies an image of a group of sunspots with a flaring region. The flare (the bright area) lies along a section of a neutral line where the magnetic field is twisted (or sheared) to point along the neutral line instead of across it.



NASA/MSFC H α

12:07 UT

NASA/MSFC m-gram





Solar Flare

1972 August 07

Big Bear Solar Observatory



Solar Flare

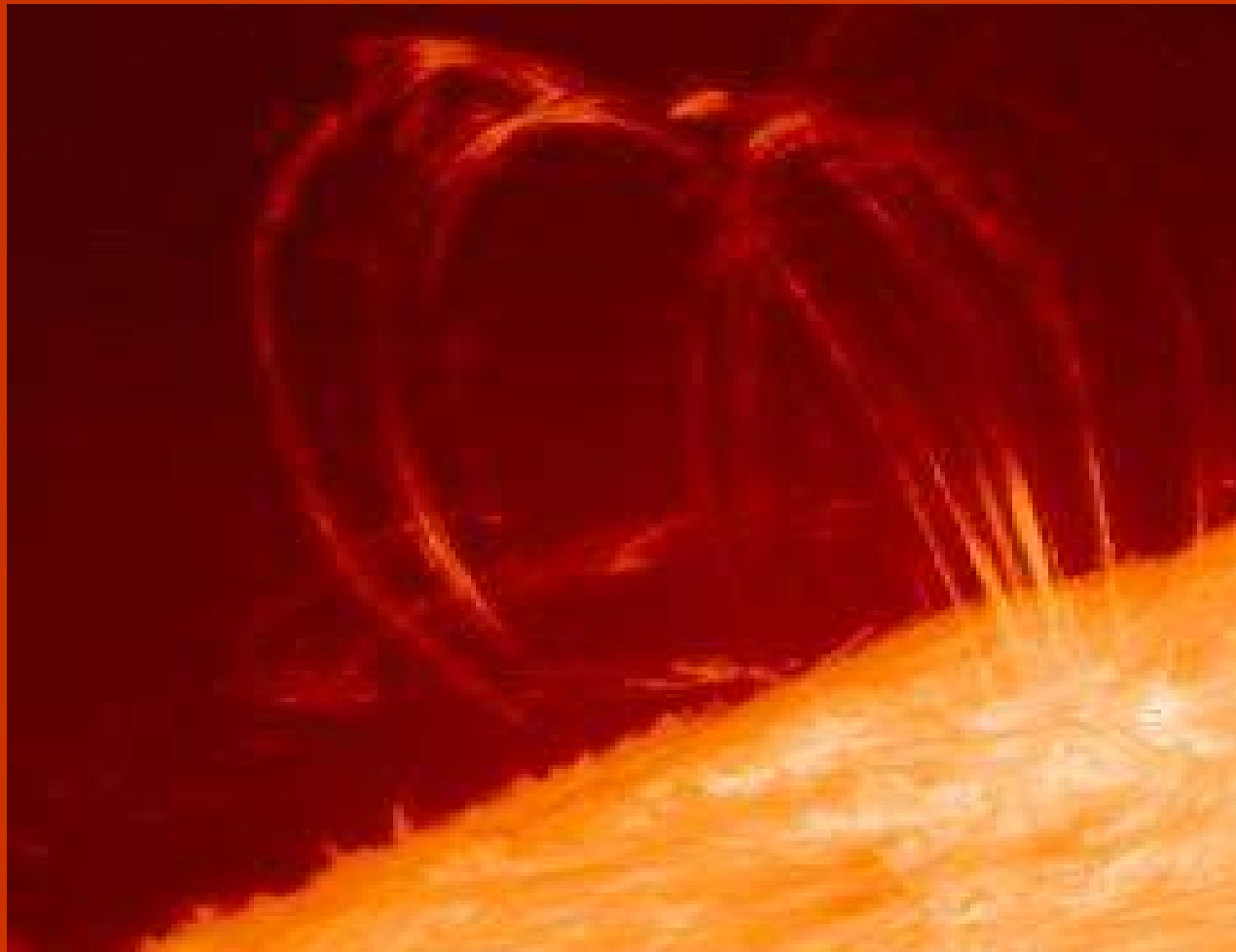
1971 October 10

Big Bear Solar Observatory



Post Flare Loops

- Despues de unas horas de las explosiones frecuentemente se observan arcos (loops) sobre el superficie solar (Ha).
- The loops shown to the left formed after an active region (AR 7205) flared on June 26, 1992. Time-lapse movies ([3.5 MB Quicktime movie](#) or [1.3 MB MPEG movie](#)) show how material "condenses" out of the Sun's hot corona in tops of these loops and then flows down the legs of the loops onto the surface. Within the magnetic confines of these loops the material is somewhat isolated from the million degree [corona](#) and can cool to much lower temperatures. These particular loops are of interest because they include a set of "bent-over" loops that figure prominently in theoretical models for some flares.



The background of the slide is a high-resolution H-alpha solar image. It shows a bright, turbulent solar surface with a prominent, large-scale loop structure in the upper right quadrant, which is the subject of the presentation. The colors range from deep red to bright orange and white, representing different temperatures and intensities of the solar plasma.

POST-FLARE LOOPS

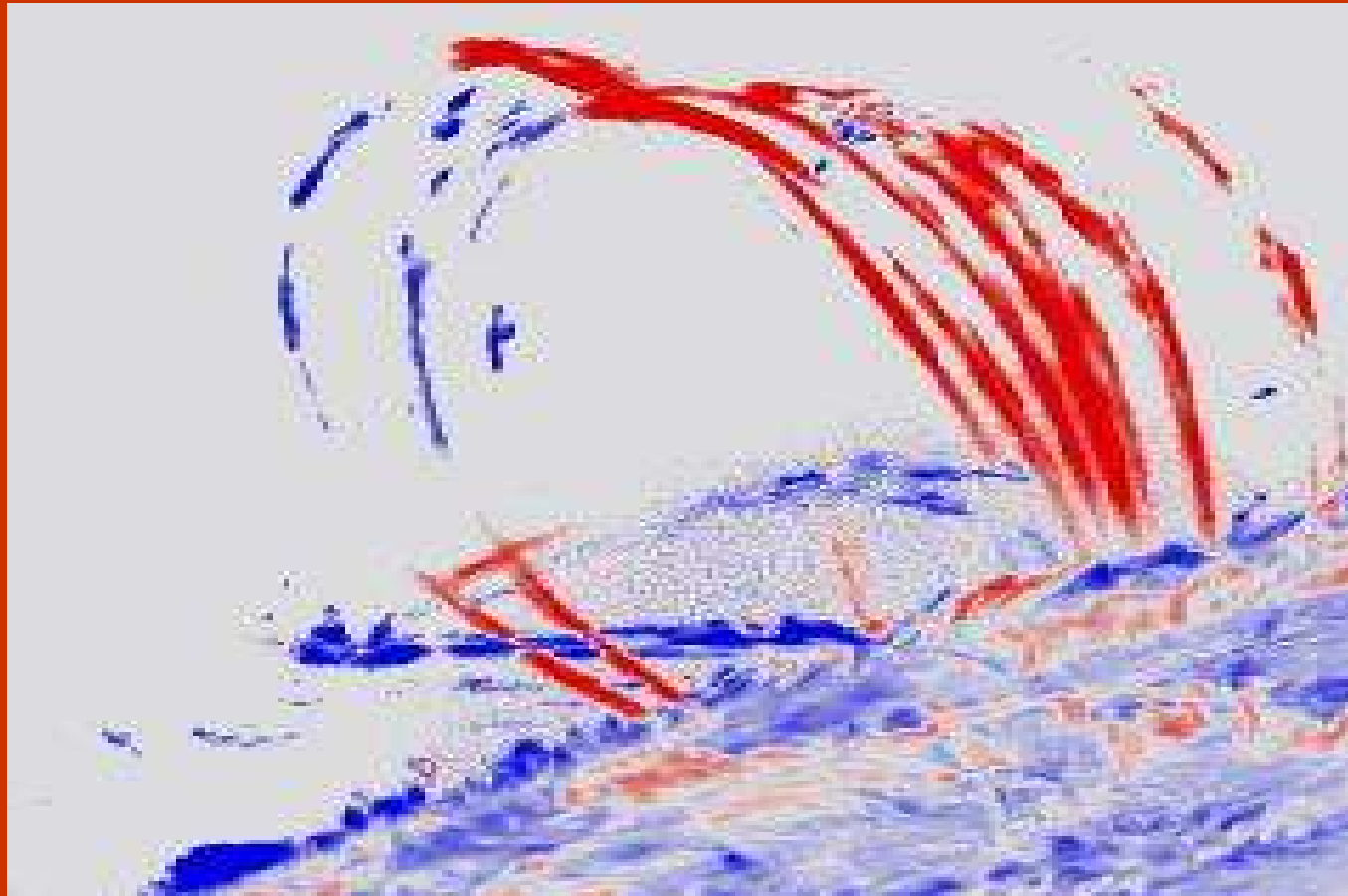
H-alpha Observations from LaPalma

June 26, 1992

08:10 - 08:55 UT

Post Flare Loops

- La velocidad de la materia fluida en loops se calcula con el efecto de Doppler (desplazamiento hacia rojo y hacia azul).
- The image at the left shows the Doppler shift of the H-alpha emission. This information can be used with the observed motion of the material ([3.5 MB Quicktime movie](#) or [2.4 MB MPEG movie](#)) to determine the three-dimensional flow of material within these loops. We find that the loops form an arcade, a series placed one after another to form a tunnel-like structure. The "bent-over" loop threads through the arcade with footpoints on opposite sides on the opposite ends.
- These observations were obtained with the Swedish Solar Telescope on LaPalma in the Canary Islands by T. Tarbell (Lockheed/Palo Alto) and the data was provided through B. Schmieder (Observatoire de Paris, Meudon). The scientific results can be found in a paper by Moore, Schmieder, Hathaway, and Tarbell, *Solar Physics* 176, pp 153-169 (1997).





POST-FLARE LOOPS

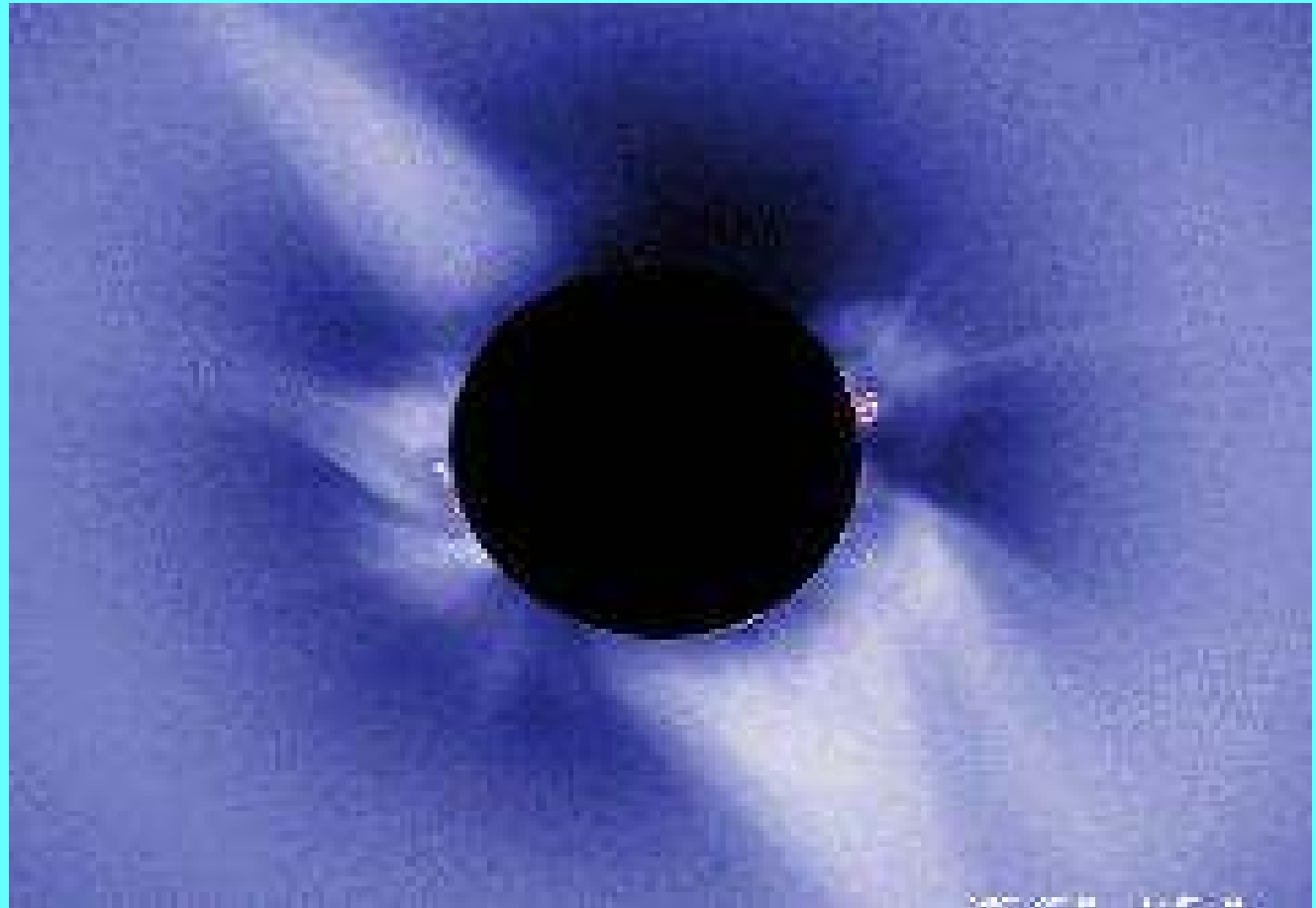
Doppler Observations from LaPlama

June 26, 1992

08:10 - 08:55 UT

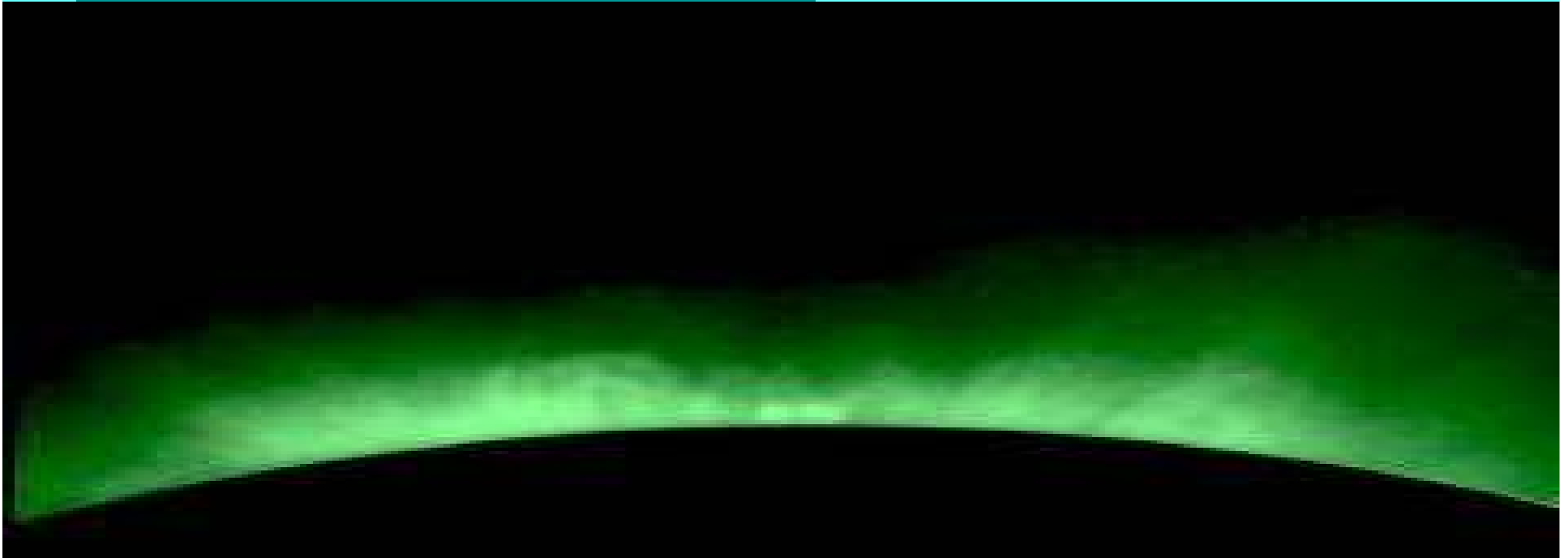
CORONA

- **La Corona de la Luz Blanca**
- La Corona es la capa más exterior de la atmósfera solar. Es visible durante las eclipses totales solares o con el coronógrafo solar.
- En la Corona solar observamos varias actividades: *Plumas*, *Arcos*, *Agujeros coronales*, *Eyecciones de masa Coronal*.
- La cantidad de todas actividades coronales aumenta en el máximo de la actividad solar.



CORONA

- **La Corona de Emisión**
- En el espectro visible de la Corona se observaban las líneas de emisión de materia desconocida, que se definió como "coronium", como el gas principal de la Corona hasta determinar que en realidad se trataba el gas supercaliente con las temperaturas elevadas casi hasta el nuclear: mayor que $1,000,000^{\circ}\text{C}$.
- En tan altas temperaturas ambos hidrogeno y helio (elementos dominantes) are completely stripped of their electrons. Even minor elements like carbon, nitrogen, and oxygen are stripped down to bare nuclei. Only the heavier trace elements like iron and calcium are able to retain a few of their electrons in this intense heat. It is emission from these highly ionized elements that produces the spectral emission lines that were so mysterious to early astronomers.
- We can now produce artificial eclipses in coronagraphs that cover the disk of the Sun and filter out everything except the emission due to these coronal ions. These coronagraphs produce images of the "emission line corona." Examples of these observations can be seen at [the National Solar Observatory's Coronal Data page](#).



CORONA

- **La Corona de Rayos- X**
- La Corona es más brillante en Rayos-X, por su alta temperatura. (La fotosfera fría emite muy poco rayos-X).
- In the early 70's [Skylab](#) carried an x-ray telescope that revealed coronal holes and coronal bright points for the first time. During the last decade [Yohkoh](#), provided a wealth of information and images on the sun's corona. Today we have the [SOHO](#) and [TRACE](#) satellites obtaining new and exciting observations of the Sun's corona, its [features](#), and its [dynamic character](#).



Actividades Coronales

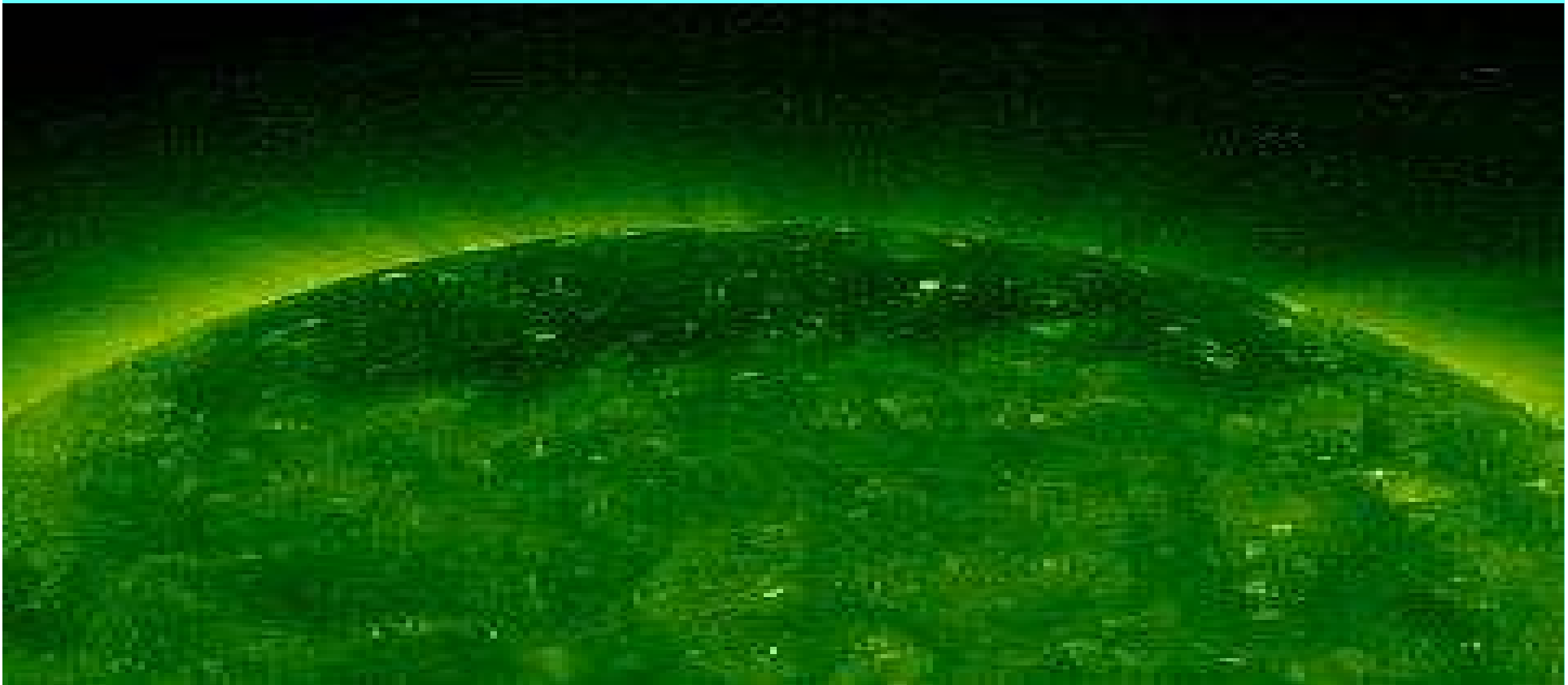
- **Helmet Streamers**

- Helmet streamers are large cap-like coronal structures with long pointed peaks that usually overlie [sunspots](#) and active regions. We often find a [prominence](#) or [filament](#) lying at the base of these structures. Helmet streamers are formed by a network of magnetic loops that connect the sunspots in active regions and help suspend the prominence material above the solar surface. The closed magnetic field lines trap the electrically charged coronal gases to form these relatively dense structures. The pointed peaks are formed by the action of the [solar wind](#) blowing away from the Sun in the spaces between the streamers.



Actividades Coronales

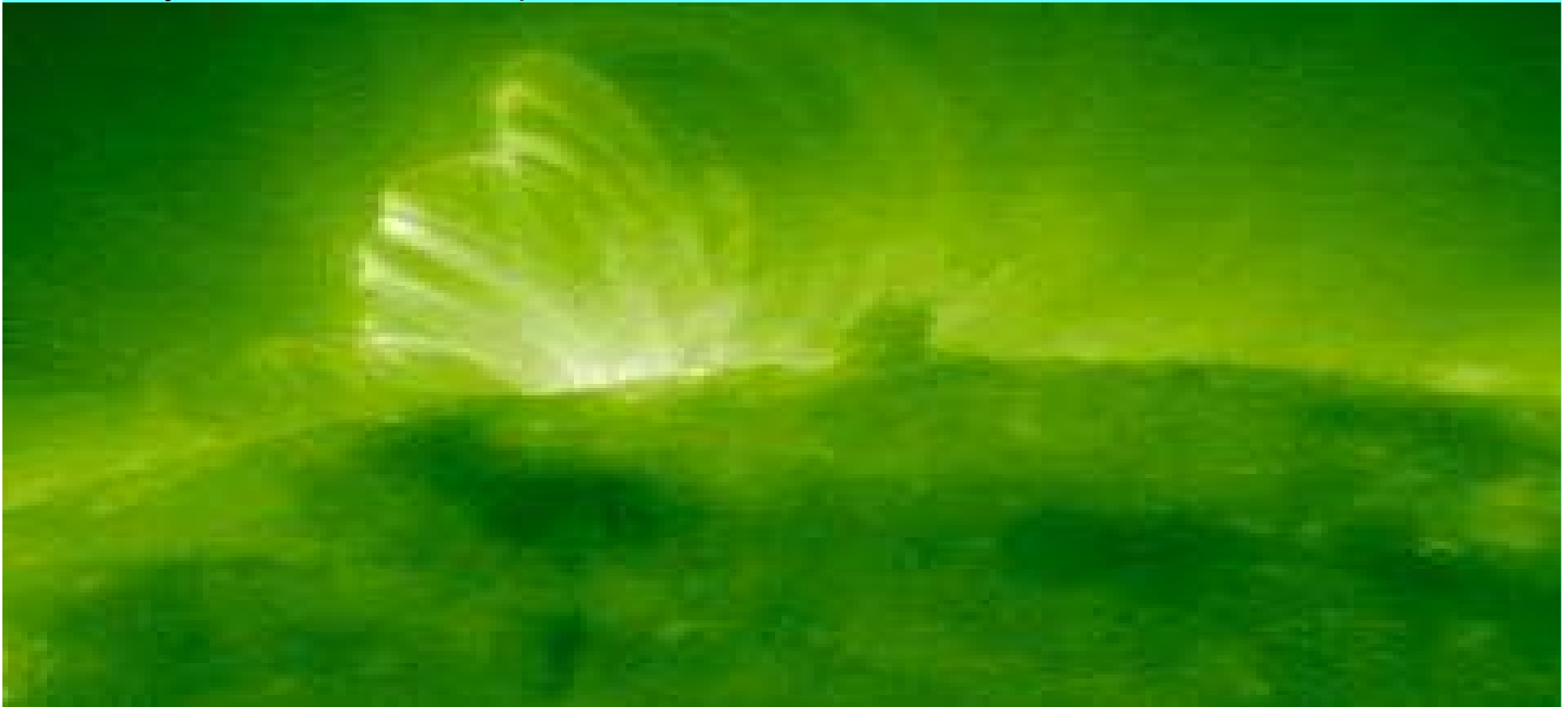
- **Polar Plumes**
- Polar plumes are long thin streamers that project outward from the Sun's north and south poles. We often find bright areas at the footpoints of these features that are associated with small magnetic regions on the solar surface. These structures are associated with the "open" magnetic field lines at the Sun's poles. The plumes are formed by the action of the solar wind in much the same way as the peaks on the helmet streamers.



Actividades Coronales

- **Coronal Loops**

- Coronal loops are found around sunspots and in active regions. These structures are associated with the closed magnetic field lines that connect magnetic regions on the solar surface. Many coronal loops last for days or weeks but most change quite rapidly ([10 Mb Quicktime movie from TRACE observations](#)). Some loops, however, are associated with [solar flares](#) and are visible for much shorter periods. These loops contain denser material than their surroundings. The [three-dimensional structure](#) and the dynamics of these loops is an area of active research.



Actividades Coronales

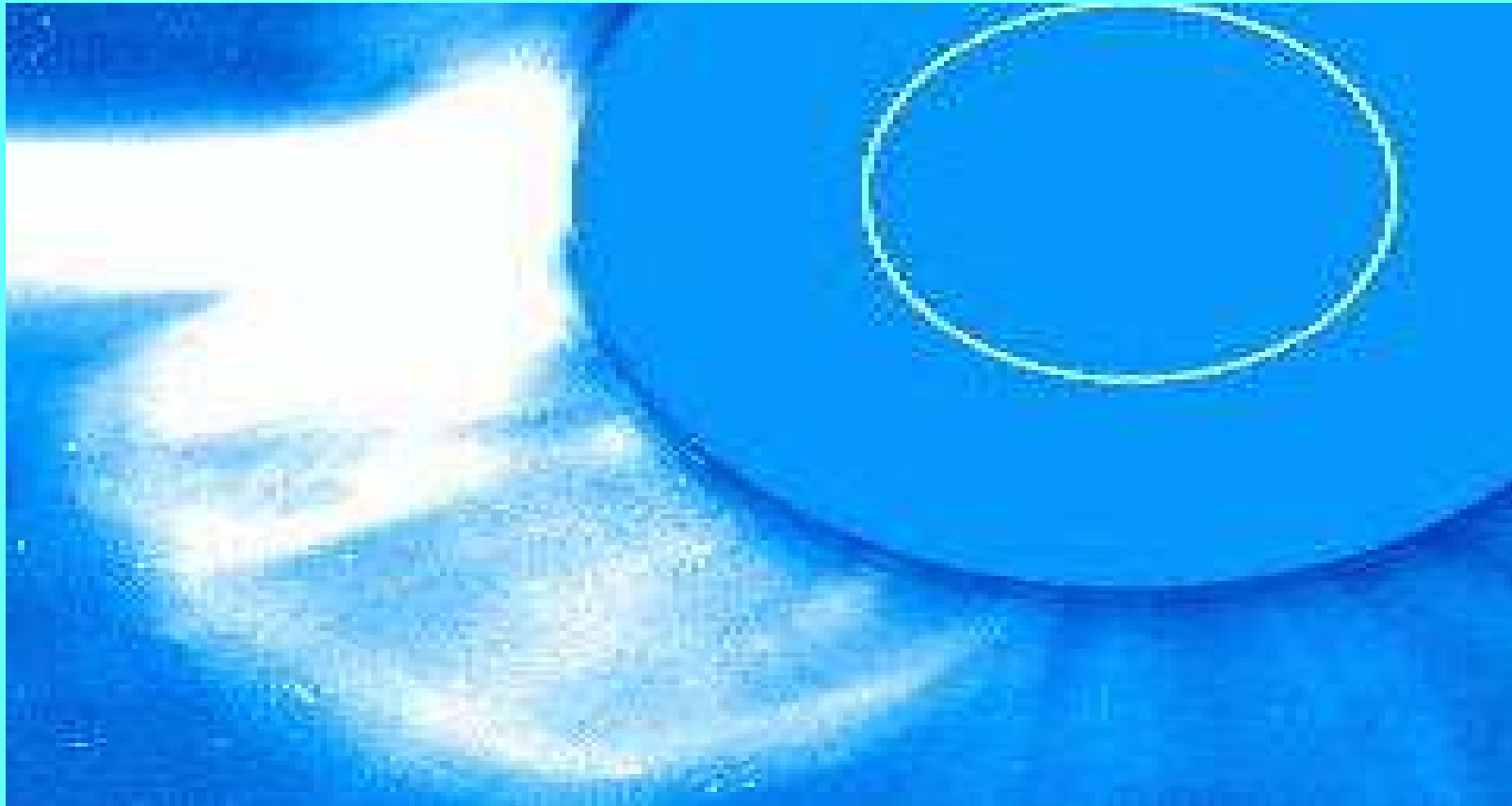
- **Coronal Holes**
- Coronal holes are regions where the corona is dark. These features were discovered when X-ray telescopes were first flown above the earth's atmosphere to reveal the structure of the corona across the solar disc. Coronal holes are associated with "open" magnetic field lines and are often found at the Sun's poles. The high-speed [solar wind](#) is known to originate in coronal holes.



Actividades Coronales

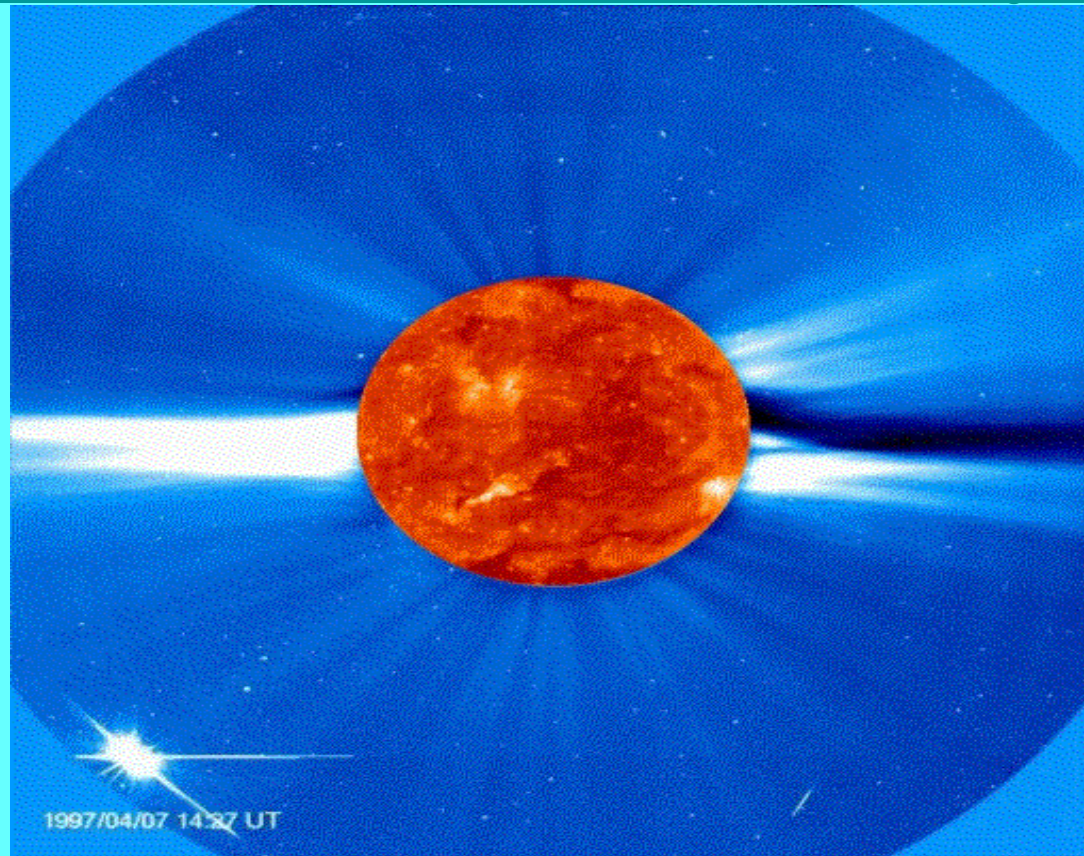
- **Coronal Mass Ejections**

- Coronal mass ejections (or CMEs) are huge bubbles of gas threaded with magnetic field lines that are ejected from the Sun over the course of several hours. Although the Sun's [corona](#) has been observed during total eclipses of the Sun for thousands of years, the existence of coronal mass ejections was unrealized until the space age. The earliest evidence of these dynamical events came from observations made with a coronagraph on the 7th Orbiting Solar Observatory (OSO 7) from 1971 to 1973. A coronagraph produces an artificial eclipse of the Sun by placing an "occulting disk" over the image of the Sun. During a natural eclipse of the Sun the corona is only visible for a few minutes at most, too short a period of time to notice any changes in [coronal features](#). With ground based coronagraphs only the innermost corona is visible above the brightness of the sky. From space the corona is visible out to large distances from the Sun and can be viewed continuously. The animated sequence of images at the top of this page were obtained with the [High Altitude Observatory's](#) coronagraph on the [Solar Maximum Mission](#) in April of 1980.



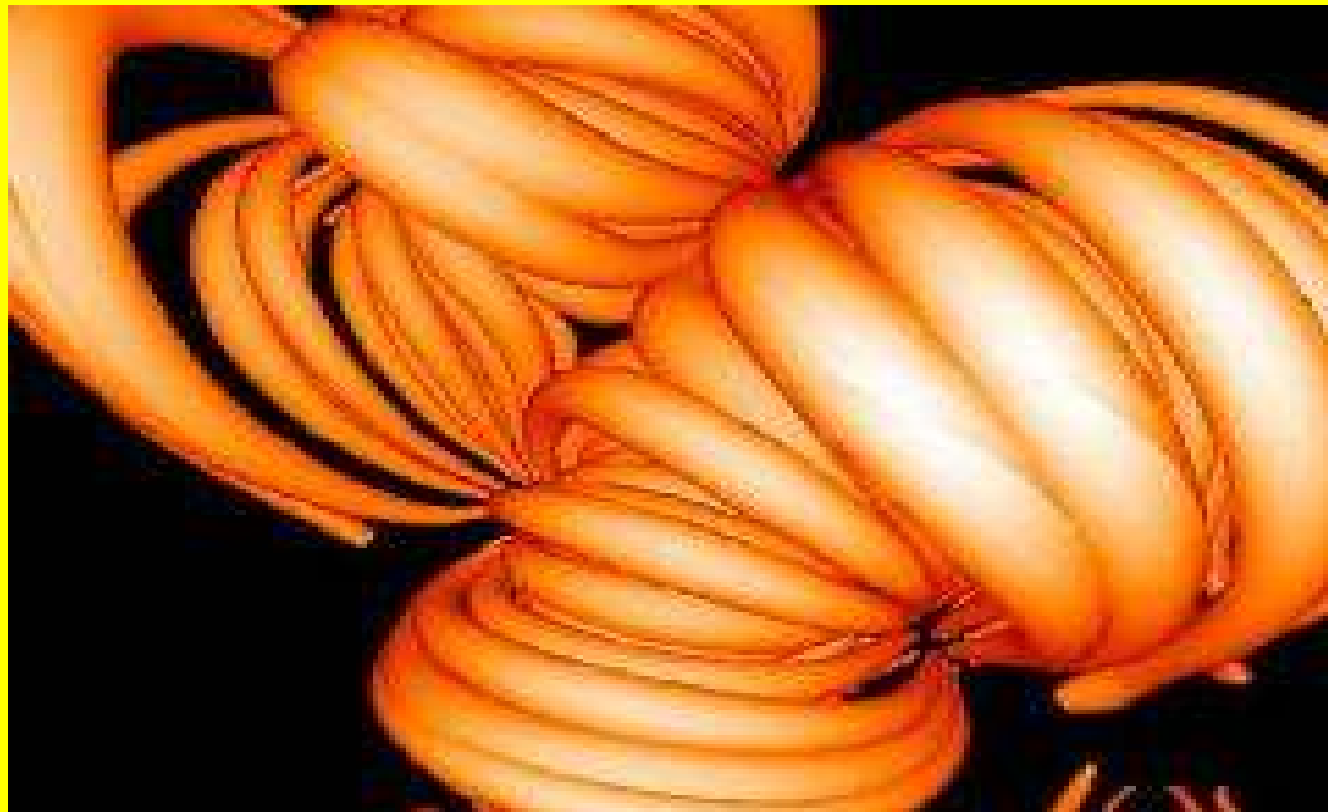
Actividades Coronales

- Coronal Mass Ejections disrupt the flow of the solar wind and produce disturbances that strike the Earth with sometimes catastrophic results. The Large Angle and Spectrometric Coronagraph ([LASCO](#)) on the Solar and Heliospheric Observatory ([SOHO](#)) has observed a large number of CMEs. The event of April 7th, 1997 is shown to the left (click on the image for the animation). It produced a "halo event" in which the entire Sun appeared to be surrounded by the CME. Halo events are produced by CMEs that are directed toward the Earth. As they loom larger and larger they appear to envelope the Sun itself.
- Coronal mass ejections are often associated with [solar flares](#) and [prominence](#) eruptions but they can also occur in the absence of either of these processes. The frequency of CMEs varies with the [sunspot cycle](#). At solar minimum we observe about one CME a week. Near solar maximum we observe an average of 2 to 3 CMEs per day ([3.4 MB MPEG movie from the SOHO/LASCO instrument showing a month of CMEs from 1998](#)).



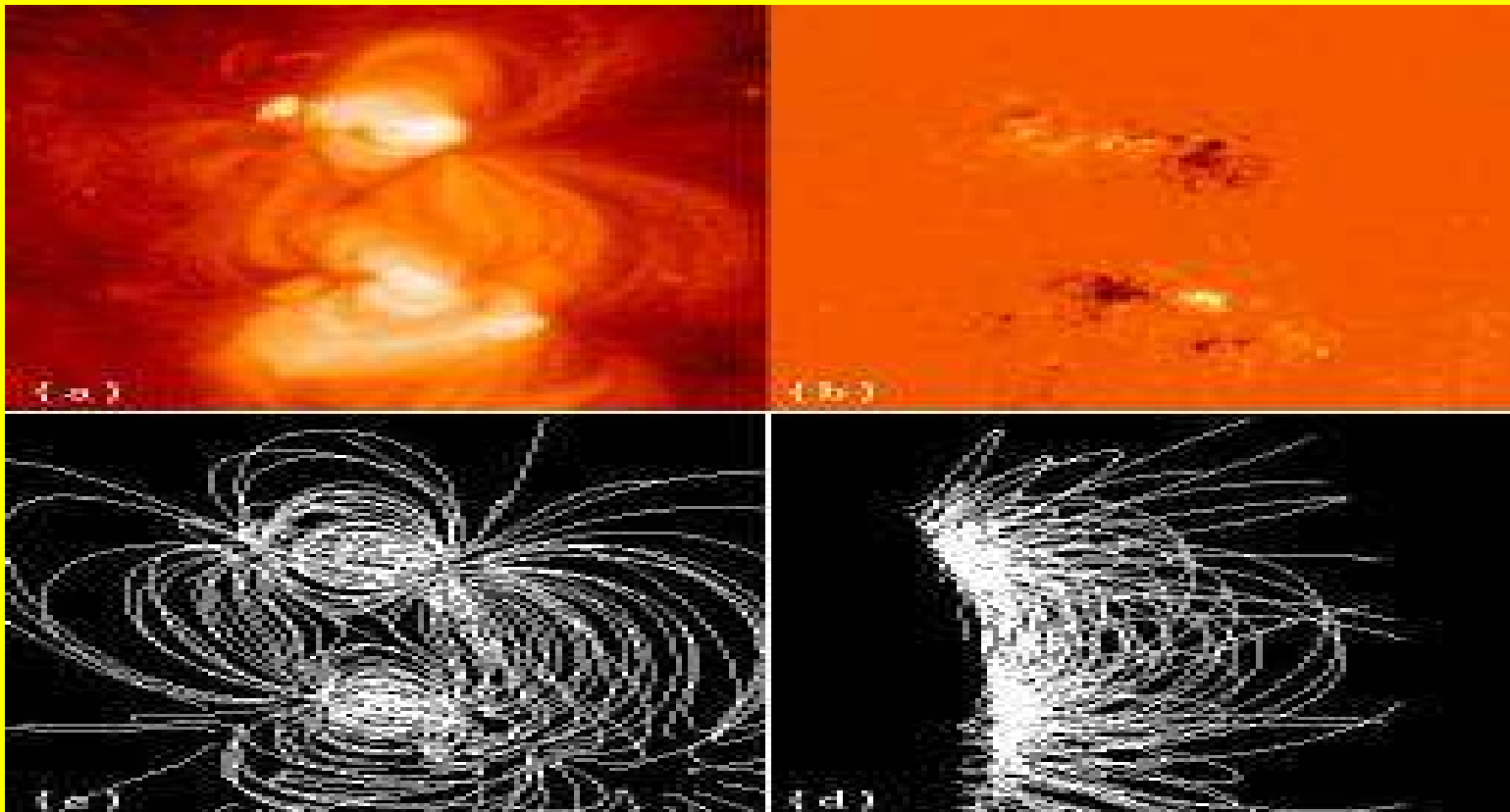
3D Coronal Magnetic Fields

- Magnetic field lines loop through the solar atmosphere and interior to form a complicated web of magnetic structures. Many of these structures are visible in the chromosphere and corona, the outermost layers of the Sun's atmosphere. However, we measure the magnetic field itself in the photosphere, the innermost layer of the Sun's atmosphere. A variety of techniques are then used to mathematically map these magnetic field measurements into the outer layers where they can be compared with the observed structures.



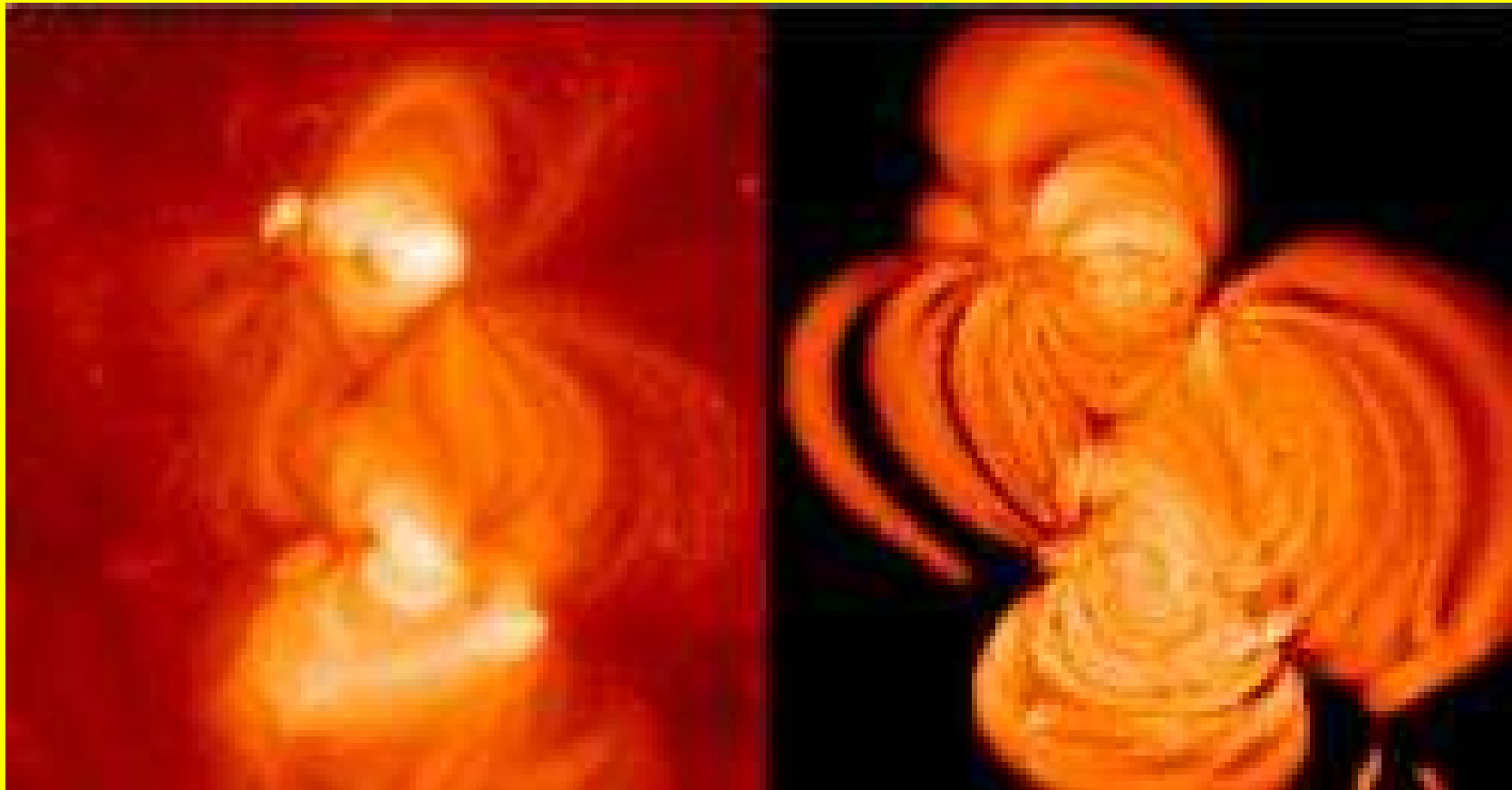
3D Coronal Magnetic Fields

- The four panels to the left show an example of these magnetic field calculations. Panel (a) contains an image of the Sun's corona obtained by the Soft X-ray Telescope on the [Yohkoh](#) spacecraft on January 4th, 1994. It shows an interconnecting system of hot coronal loops within and between two active regions on opposite sides of the Sun's equator. Panel (b) shows the line-of-sight magnetic field measurements with positive fields in white and negative fields in black. Panel (c) shows the 3D magnetic field lines from a mathematical extrapolation of the surface fields. The magnetic field permeates the entire region but only selected field lines are displayed. These lines are in good agreement with the observed, Panel (a), structures but with some noticeable exceptions. Panel (d) shows a view of these field lines from the side.



3D Coronal Magnetic Fields

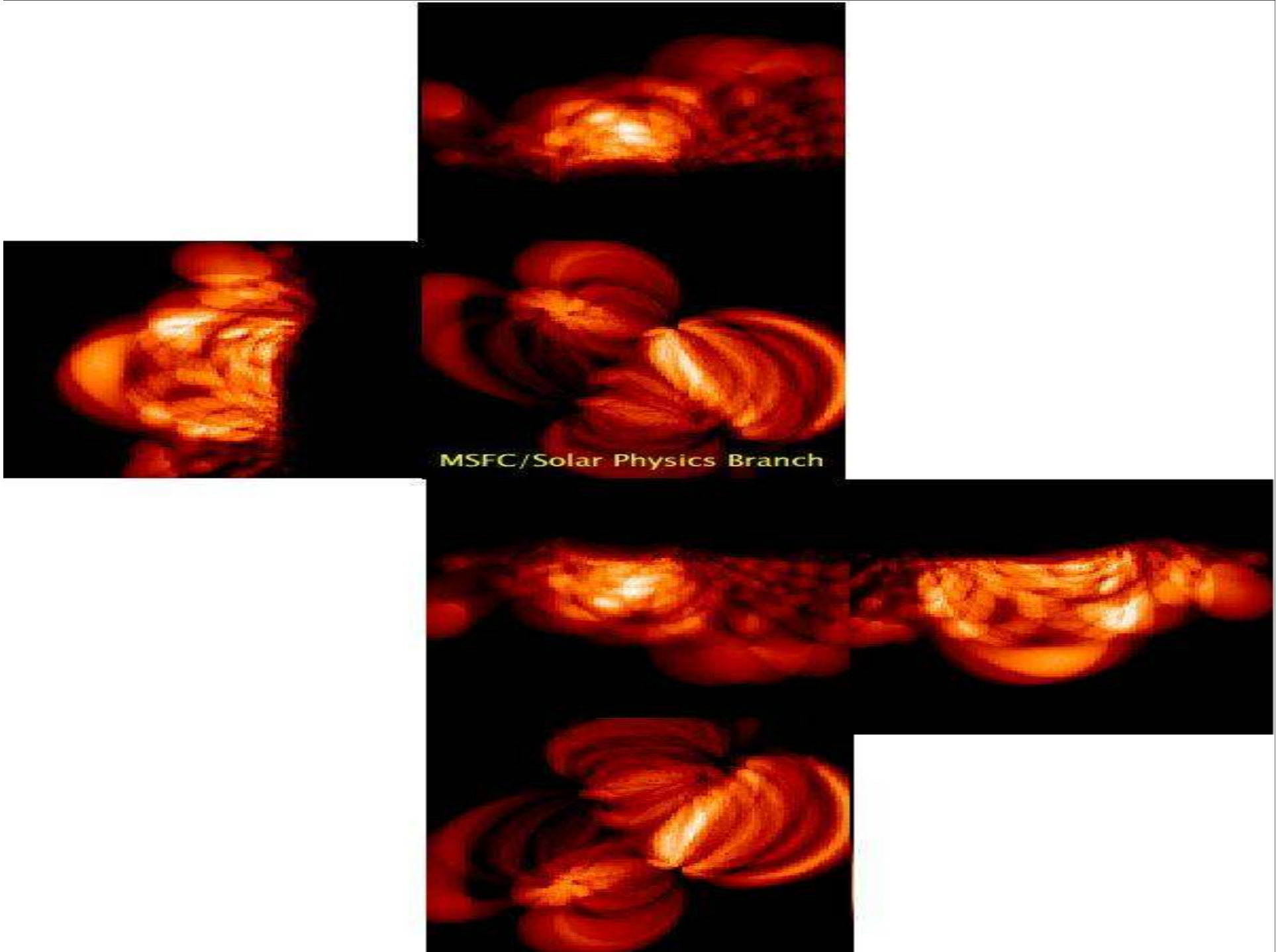
- An outstanding problem is our lack of understanding about how the Sun chooses different field lines to populate with hot coronal plasma. MSFC Solar Astronomer [Dr. Allen Gary](#) has devised a program that wraps each selected field line with a tube of plasma and then compares an image containing that tube with the X-ray observations to determine the density of the plasma. The set of tubes that best match these observations are shown at the top of the page. The observations and an image of the variable density tubes are shown to the left.
- The three-dimensionality of these loops is better illustrated by a movie in which the loop system is rotated in a manner similar to how the Sun would rotate it through a series of observations over a two week period. This movie is available as a [1.3 MB MPEG](#) movie, a [9.8 MB AVI](#) movie, and a [15.6 MB Quicktime](#) movie. A three-dimensional cube showing views of the loops from six different directions can be constructed from [this image](#), and is illustrated in a [770 kb Quicktime](#) movie.
- Electric currents flowing along these loops can alter their shapes and positions. To some extent the currents can be inferred from vector magnetic field measurements at their footpoints. An alternate method is to see how the loops are distorted from their current free configuration and then determine the currents required. A method of creating coronal loops using mathematical functions called splines has been developed by [Dr. Allen Gary](#). An interactive illustration of this method is available at [this link](#).



Synthesized Solar Active Region in Rotation

Allen Gary

**Solar Physic Branch
MSFC**



Coronal Heating

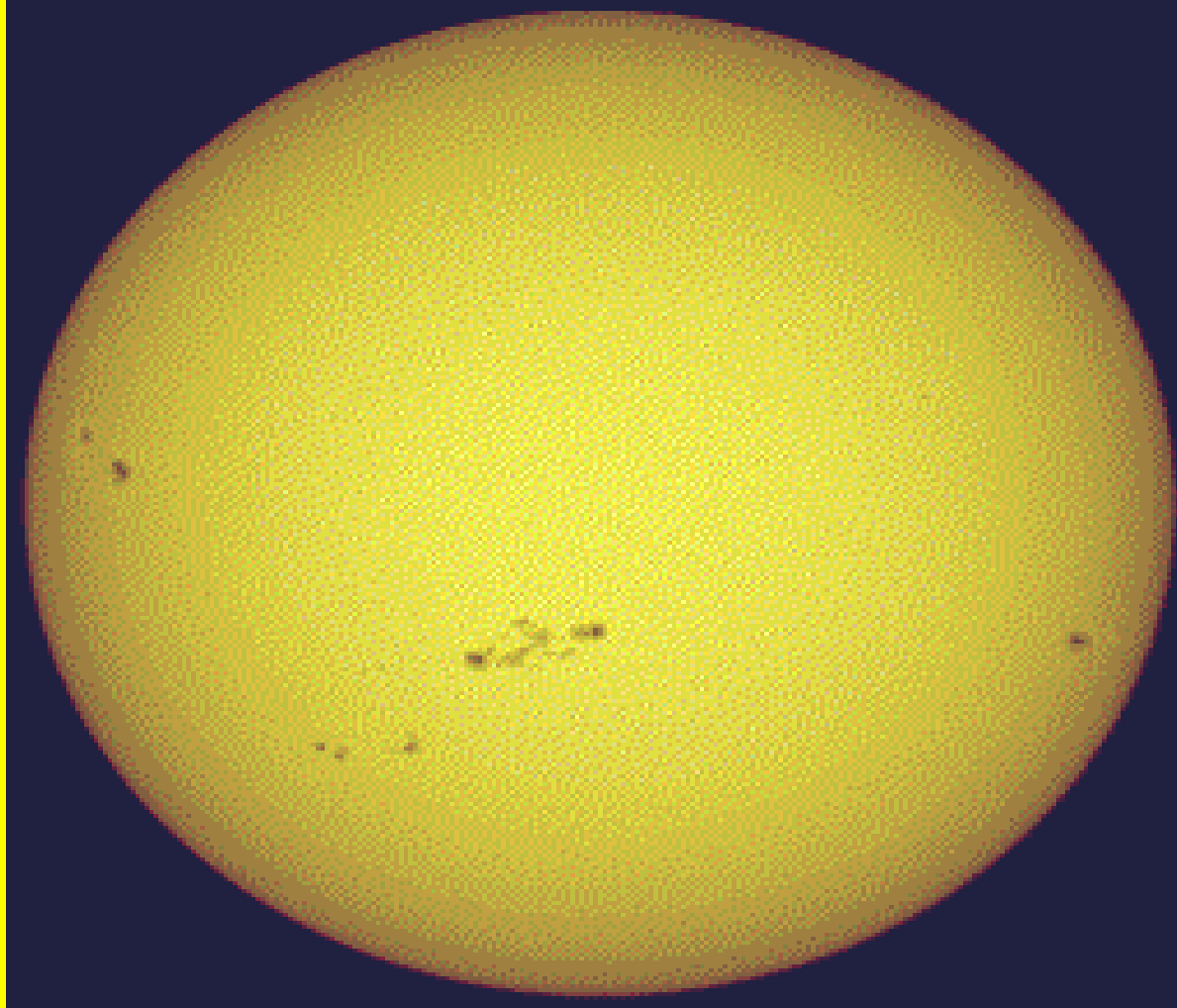
- A number of mechanisms have been proposed to explain coronal heating, The two most commonly proposed mechanisms are wave heating and micro-flare (or nano-flare) heating.

Solar Rotation

The Sun rotates on its axis once in about 27 days. This rotation was first detected by observing the motion of sunspots as shown in the animation to the left. The Sun's rotation axis is tilted by about 7.25 degrees from the axis of the Earth's orbit so we see more of the Sun's north pole in September of each year and more of its south pole in March.

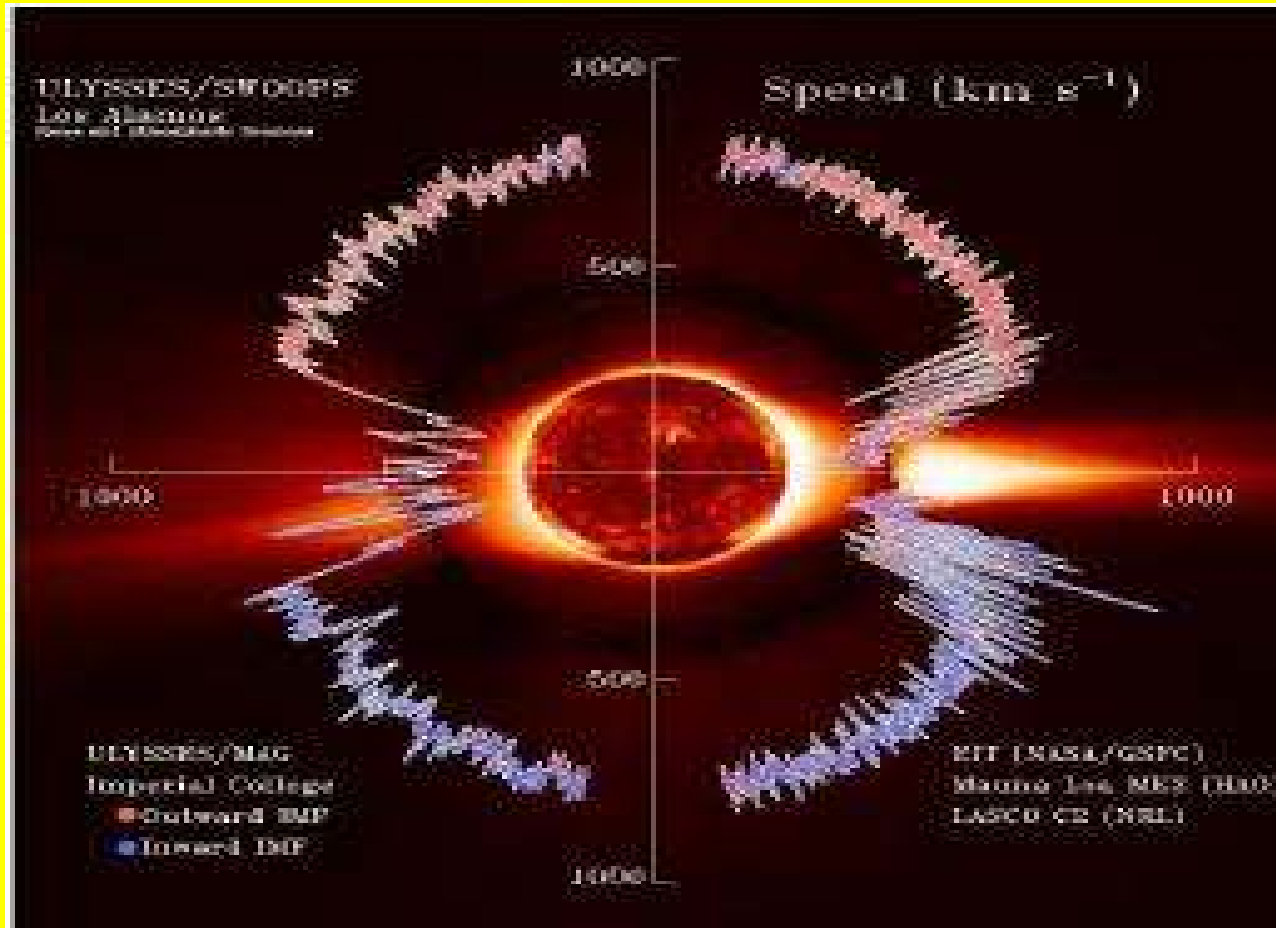
Since the Sun is a ball of gas, it does not have to rotate rigidly like the solid planets and moons do. In fact, the Sun's equatorial regions rotate faster (taking only about 24 days) than the polar regions (which rotate once in more than 30 days).

The source of this "differential rotation" is an area of current research in solar astronomy.



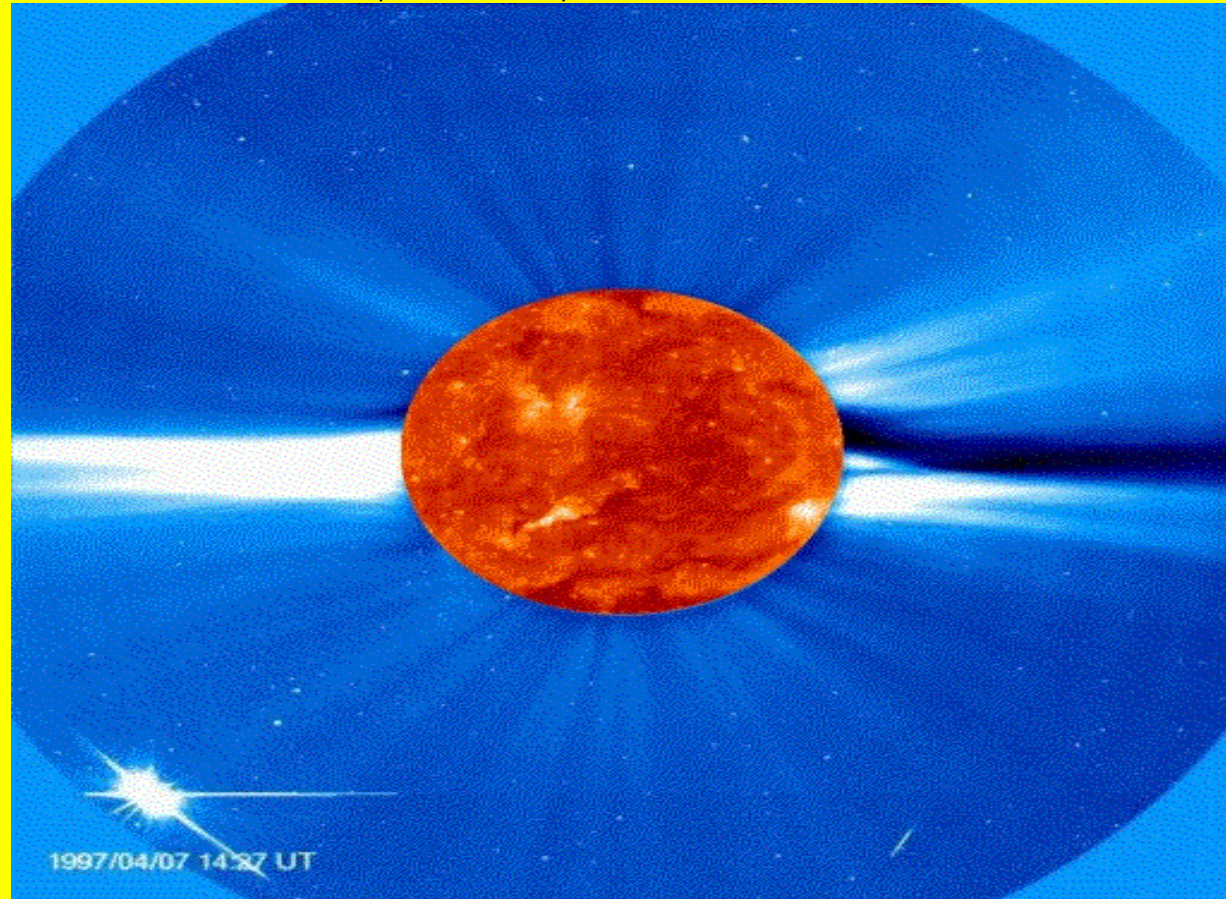
The Solar Wind

- The solar wind streams off of the Sun in all directions at speeds of about 400 km/s (about 1 million miles per hour). The source of the solar wind is the Sun's hot [corona](#). The temperature of the corona is so high that the Sun's gravity cannot hold on to it. Although we understand why this happens we do not understand the details about how and where the coronal gases are accelerated to these high velocities. This question is related to the question of [coronal heating](#).



Solar Wind Variations

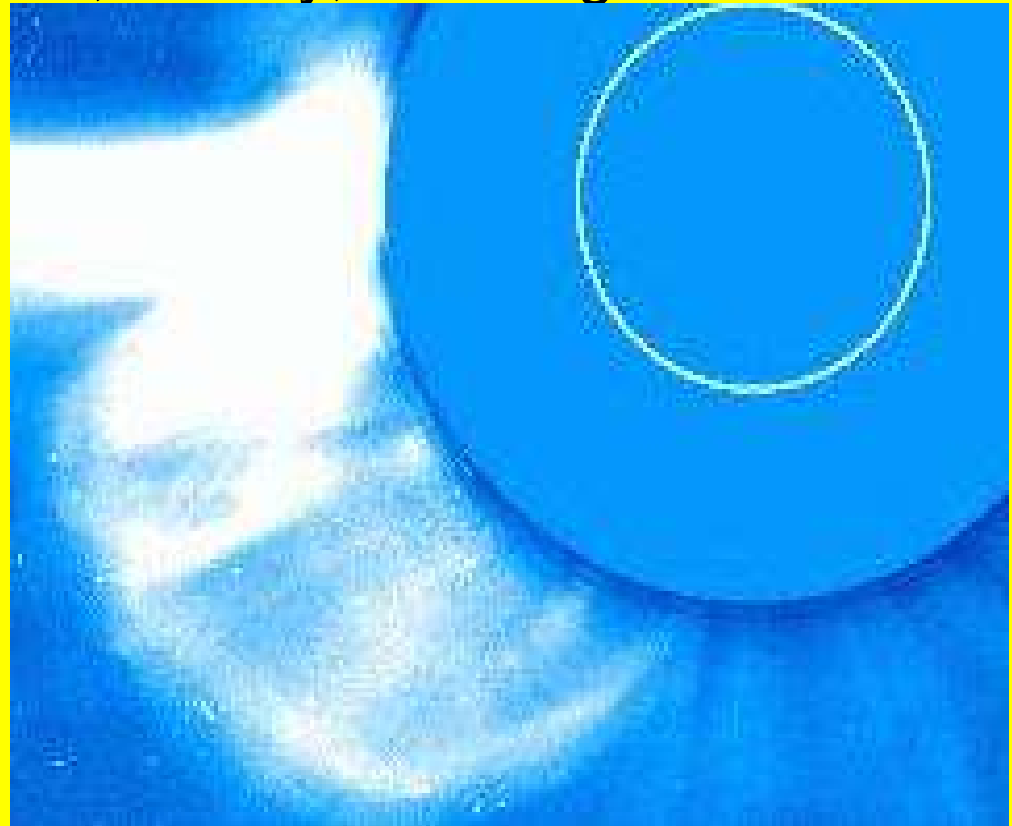
- The solar wind is not uniform. Although it is always directed away from the Sun, it changes speed and carries with it [magnetic clouds](#), [interacting regions](#) where high speed wind catches up with slow speed wind, and [composition variations](#). The solar wind speed is high (800 km/s) over [coronal holes](#) and low (300 km/s) over [streamers](#). These high and low speed streams interact with each other and alternately pass by the Earth as the Sun rotates. These wind speed variations buffet the Earth's magnetic field and can produce storms in the Earth's magnetosphere.
- The [Ulysses](#) spacecraft has now completed one orbit through the solar system during which it passed over the Sun's south and north poles. Its measurements of the solar wind speed, magnetic field strength and direction, and composition have provided us with a new view of the solar wind.
- The [Advanced Composition Explorer](#) (ACE) satellite was launched in August of 1997 and placed into an orbit about the L1 point between the Earth and the Sun. The L1 point is one of several points in space where the gravitational attraction of the Sun and Earth are equal and opposite. This particular point is located about 1.5 million km (1 million miles) from the Earth in the direction of the Sun. ACE has a number of instruments that monitor the solar wind and the spacecraft team provides real-time information on solar wind conditions at the spacecraft.



Solar Wind Features

Magnetic Clouds

- Magnetic Clouds are produced in the [solar wind](#) when solar eruptions ([flares](#) and [coronal mass ejections](#)) carry material off of the Sun along with embedded magnetic fields. These magnetic clouds can be detected in the solar wind through observations of the solar wind characteristics - wind speed, density, and magnetic field strength and direction.



Solar Wind Features

Corotating Interactive Regions

- Co-rotating Interactive Regions (CIRs) are regions within the solar wind where streams of material moving at different speeds collide and interact with each other. The speed of the solar wind varies from less than 300 km/s (about half a million miles per hour) to over 800 km/s depending upon the conditions in the corona where the solar wind has its source. Low speed winds come from the regions above [helmet streamers](#) while high speed winds come from [coronal holes](#). As the Sun rotates these various streams rotate as well (co-rotation) and produce a pattern in the solar wind much like that of a rotating lawn sprinkler. However, if a slow moving stream is followed by a fast moving stream the faster moving material will catch-up to the slower material and plow into it. This interaction produces shock waves that can accelerate particles to very high speeds.

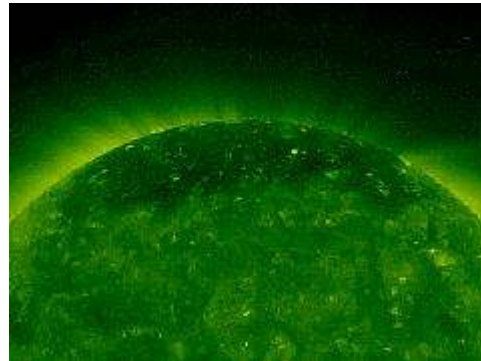
Solar Wind Features

Composition Variations

- The chemical composition of the solar wind has several interesting aspects that hint at physical processes that occur in the solar wind source regions. The solar wind composition is different from the composition of the solar surface and shows variations that are associated with solar activity and solar features.

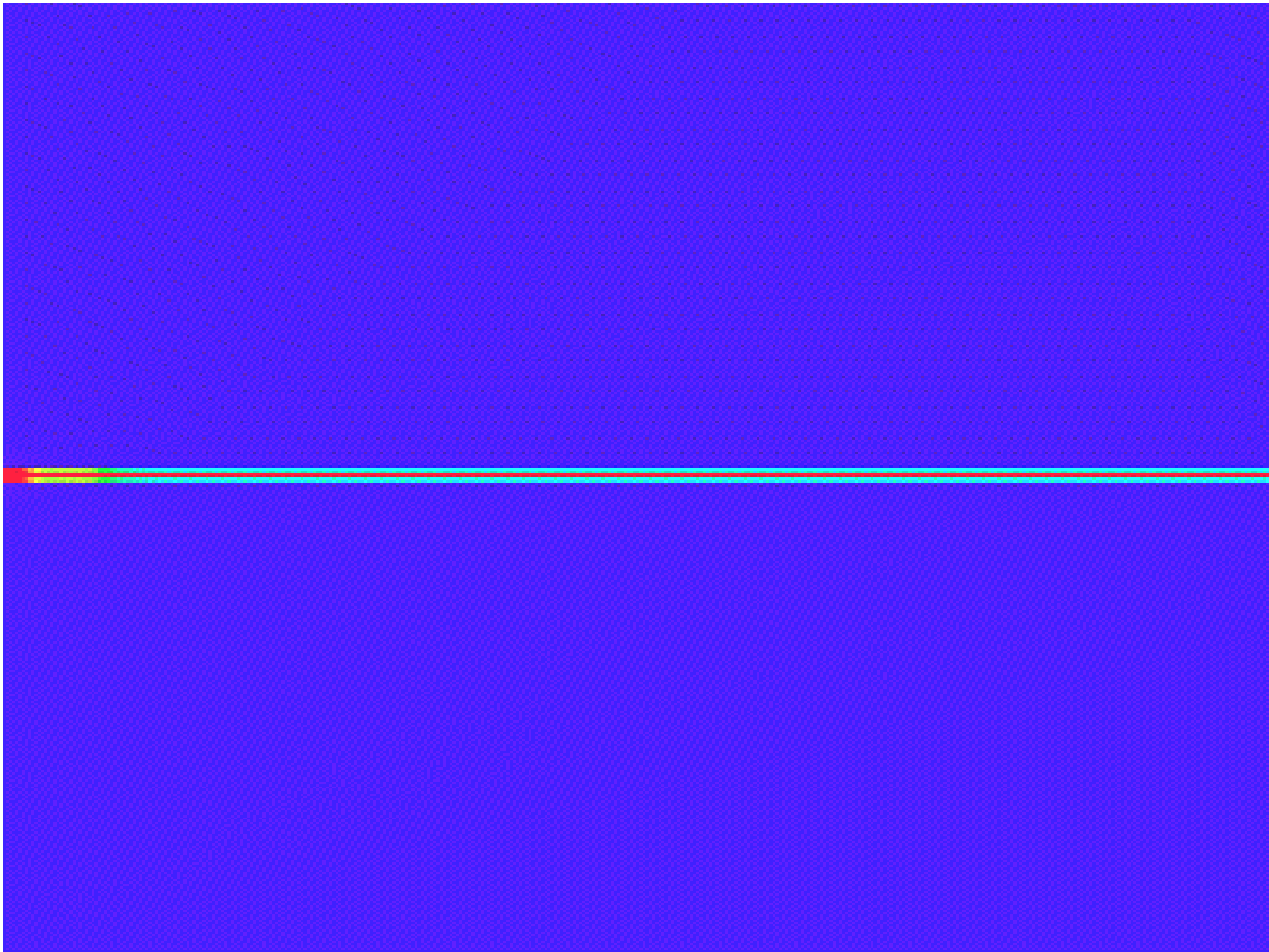
Solar Wind Dynamics

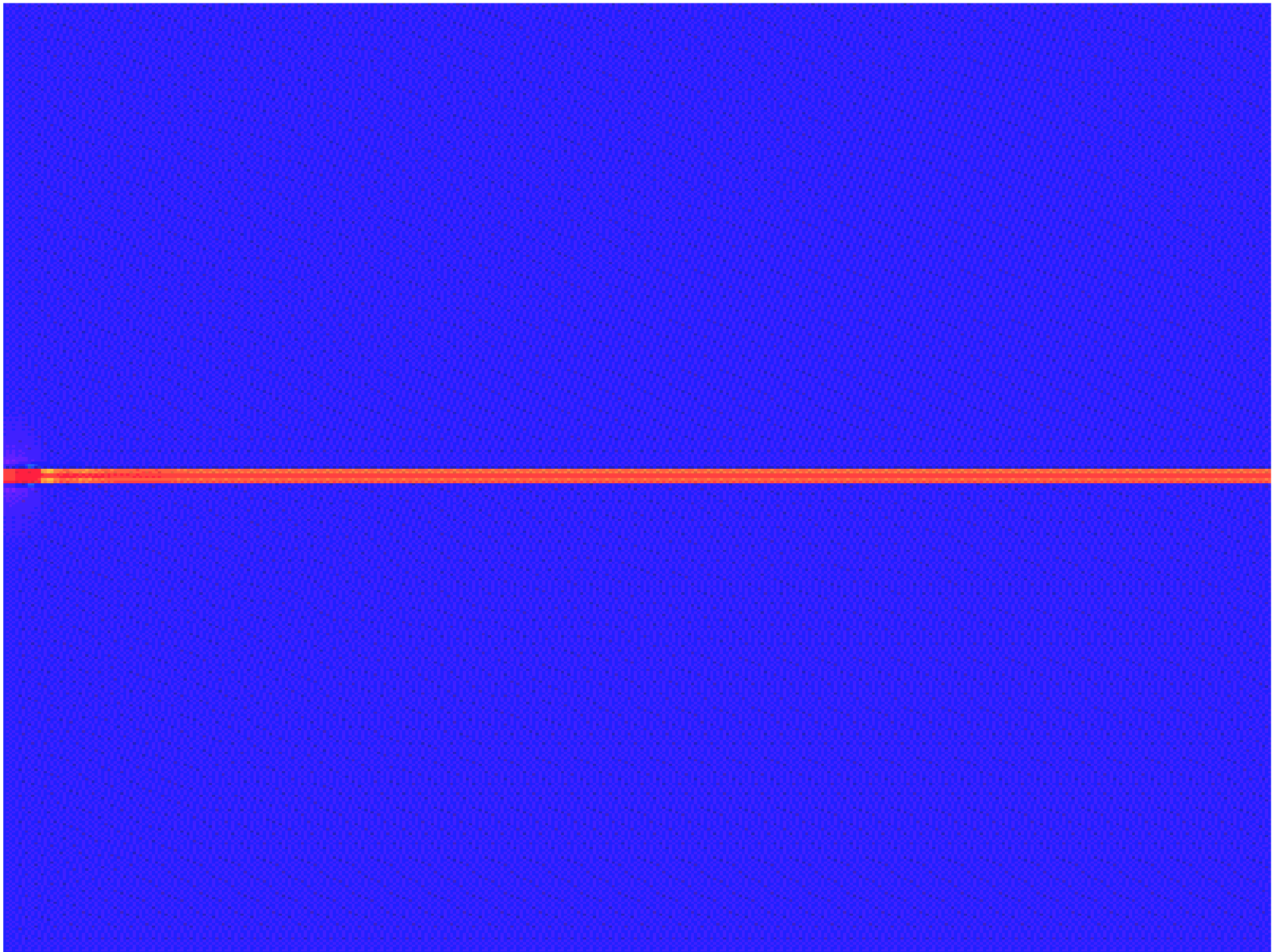
- **Polar Plume Simulation**
- Polar plumes are being modelled by [Steve Suess](#), [Shyamsundar Parhi](#), and Martin Sulkanen. Plumes are bright rays in coronal holes, visible between one and several solar radii. They are denser and slower compared to interplume plasma and are modelled here as jets or wakes. The plasma is considered compressible and ideal (no viscous dissipation, thermal diffusion, or electrical resistance). A jet is introduced with a prescribed flow speed and an internal magnetic field. The surroundings are at rest and are also permeated by a magnetic field but with a different field strength. The simulations are described in a paper titled "Can Kelvin-Helmholtz instabilities of jet-like structures and plumes cause solar wind fluctuations at 1 AU?" by Parhi, Suess, and Sulkanen. The paper appears in the July 1, 1999 issue of the *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No. A7, pages 14,781 to 14,787.
- *Click on image for animation. Click on image for animation.* The animations presented here are performed with the computer code Zeus-3D which solves the equations of ideal magnetohydrodynamics explicitly on a Eulerian grid. Open boundary conditions are considered at all boundaries of the simulation domain. The evolution of the Kelvin-Helmholtz instability is studied when a velocity perturbation of less than 1% of the jet flow speed is imposed at the origin of the preexisting jet. In the upper animation, where magnetic shear is low, the effect of the instability is less apparent than in case of strong shear as in the lower panel. This instability helps set up a process of mixing between plumes and interplumes, accompanied with the formation of shocks and plasma entrainment. This suggests that the instability thus generated at a few solar radii can account for the smooth fast solar wind and reduced velocity shear between plumes and interplumes as observed beyond 0.3 astronomical units (about the orbit of the planet Mercury).
-



Solar Wind Dynamics

- The animations presented here are performed with the computer code Zeus-3D which solves the equations of ideal magnetohydrodynamics explicitly on a Eulerian grid. Open boundary conditions are considered at all boundaries of the simulation domain. The evolution of the Kelvin-Helmholtz instability is studied when a velocity perturbation of less than 1% of the jet flow speed is imposed at the origin of the preexisting jet. In the upper animation, where magnetic shear is low, the effect of the instability is less apparent than in case of strong shear as in the lower panel. This instability helps set up a process of mixing between plumes and interplumes, accompanied with the formation of shocks and plasma entrainment. This suggests that the instability thus generated at a few solar radii can account for the smooth fast solar wind and reduced velocity shear between plumes and interplumes as observed beyond 0.3 astronomical units (about the orbit of the planet Mercury).
-





The Heliosphere

- The heliosphere is a bubble in space produced by the solar wind. Although electrically neutral atoms from interstellar space can penetrate this bubble, virtually all of the material in the heliosphere emanates from the Sun itself.
- The solar wind streams off of the Sun in all directions at speeds of several hundred km/s (about 1,000,000 mph in the Earth's vicinity). At some distance from the Sun, well beyond the orbit of Pluto, this supersonic wind must slow down to meet the gases in the interstellar medium. It must first pass through a shock, the termination shock, to become subsonic. It then slows down and gets turned in the direction of the ambient flow of the interstellar medium to form a comet-like tail behind the Sun. This subsonic flow region is called the helio-sheath. The outer surface of the helio-sheath, where the heliosphere meets the interstellar medium, is called the heliopause. The precise distance to, and shape of, the heliopause is still uncertain. Interplanetary spacecraft such as Pioneer 10 and 11 and Voyager 1 and 2 are traveling outward through the solar system and will eventually pass through the heliopause.
- The solar wind consists of particles, ionized atoms from the solar corona, and fields, in particular magnetic fields. As the Sun rotates once in about 27 days, the magnetic field transported by the solar wind gets wrapped into a spiral. Variations in the Sun's magnetic field are carried outward by the solar wind and can produce magnetic storms in the Earth's own magnetosphere.

S. T. SUESS
NASA-MSFC

INTERSTELLAR
NEUTRALS

PLUTO
NEPTUNE
VOYAGER 1
PIONEER 11
VOYAGER 2
PIONEER 10

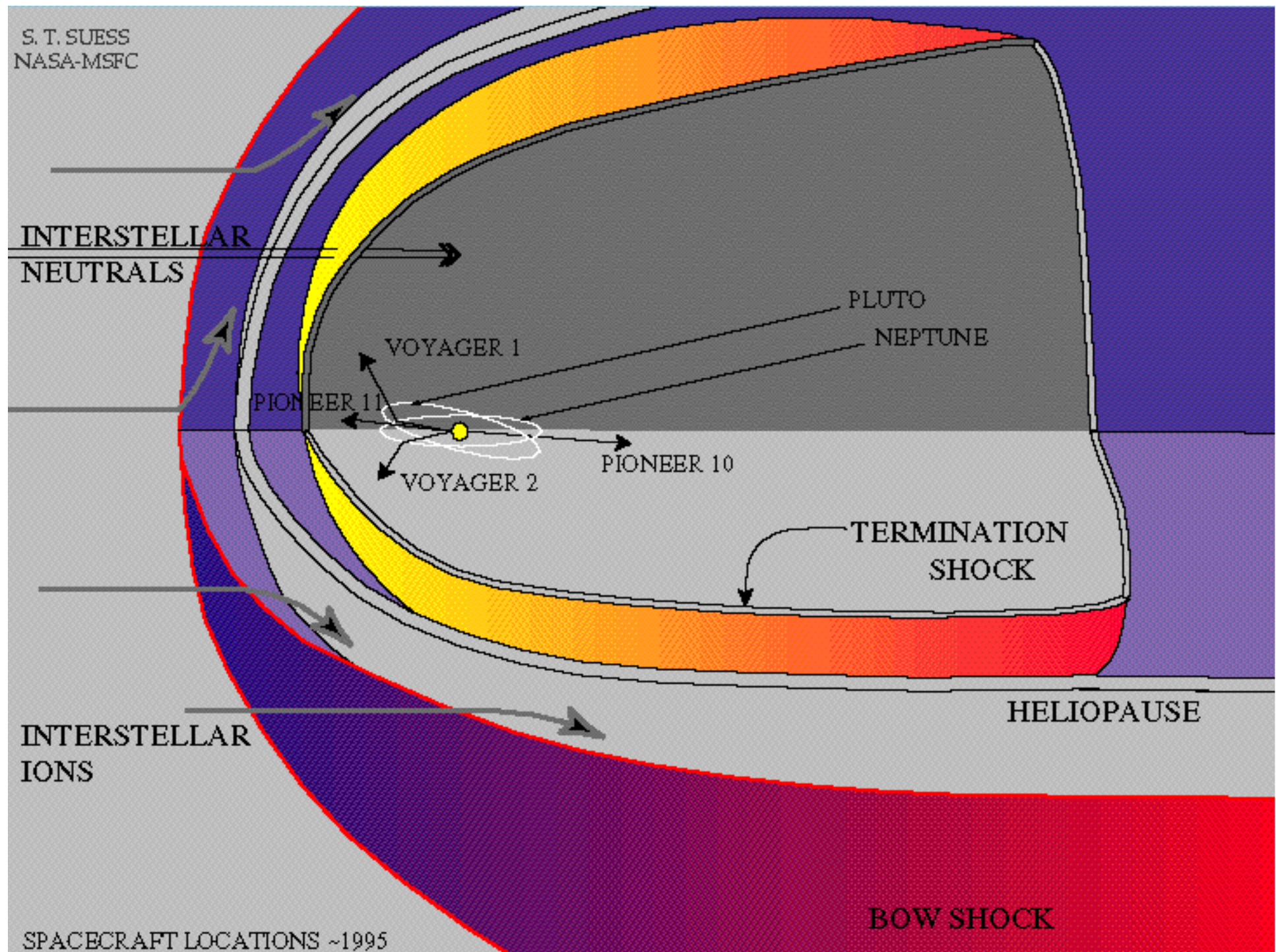
TERMINATION
SHOCK

HELIOPAUSE

INTERSTELLAR
IONS

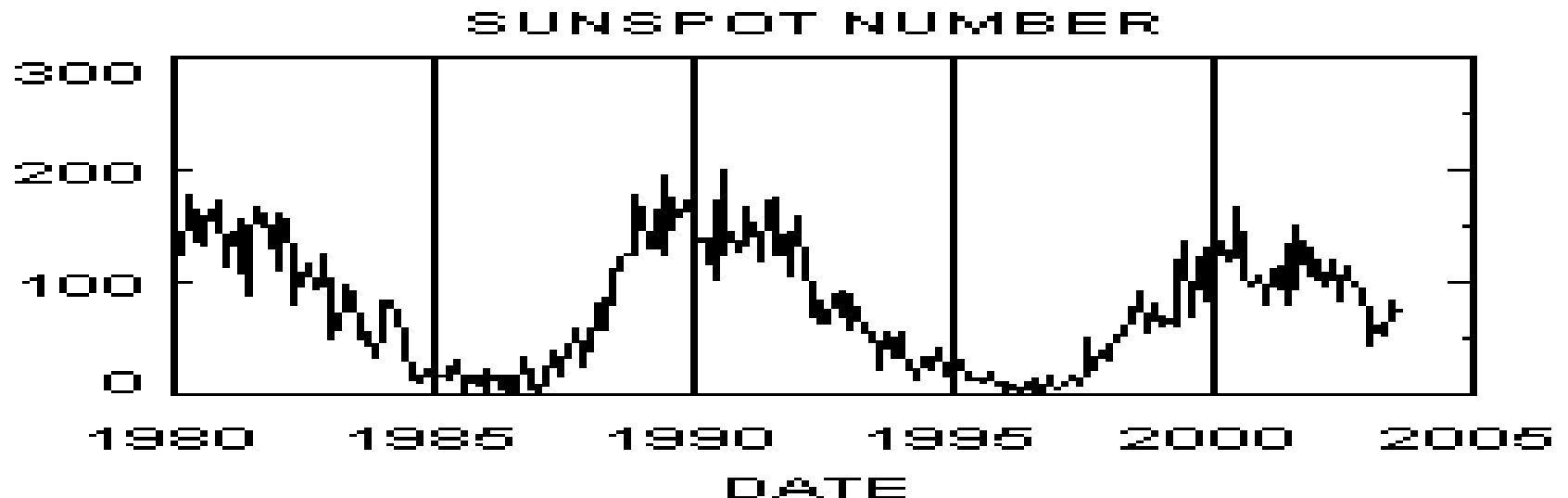
BOW SHOCK

SPACECRAFT LOCATIONS ~1995

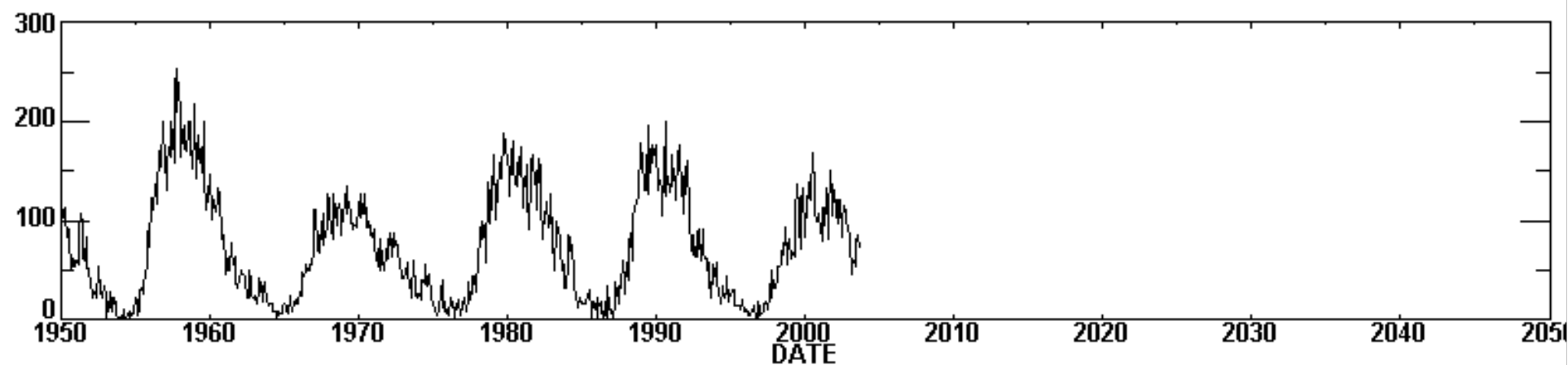
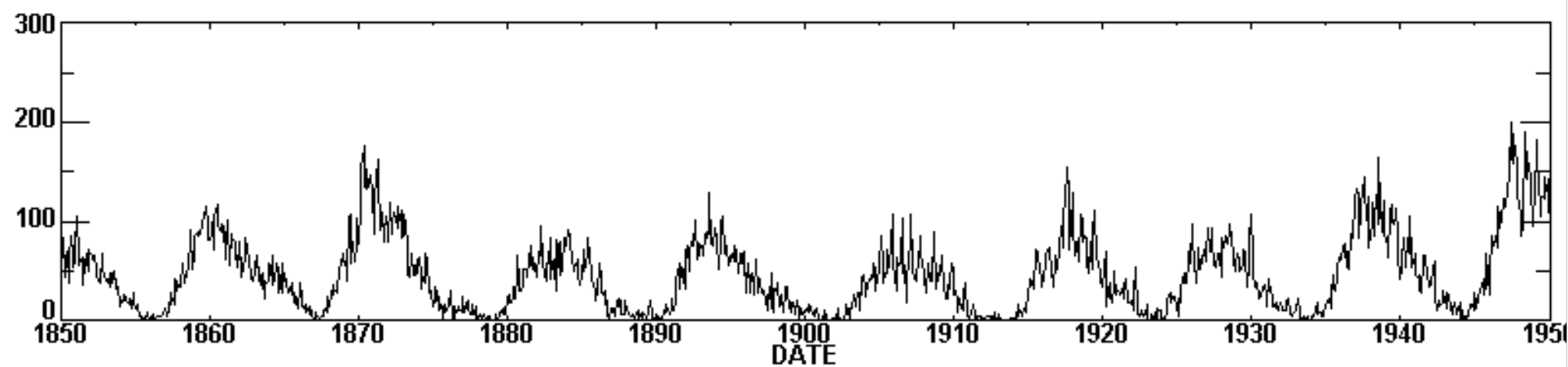
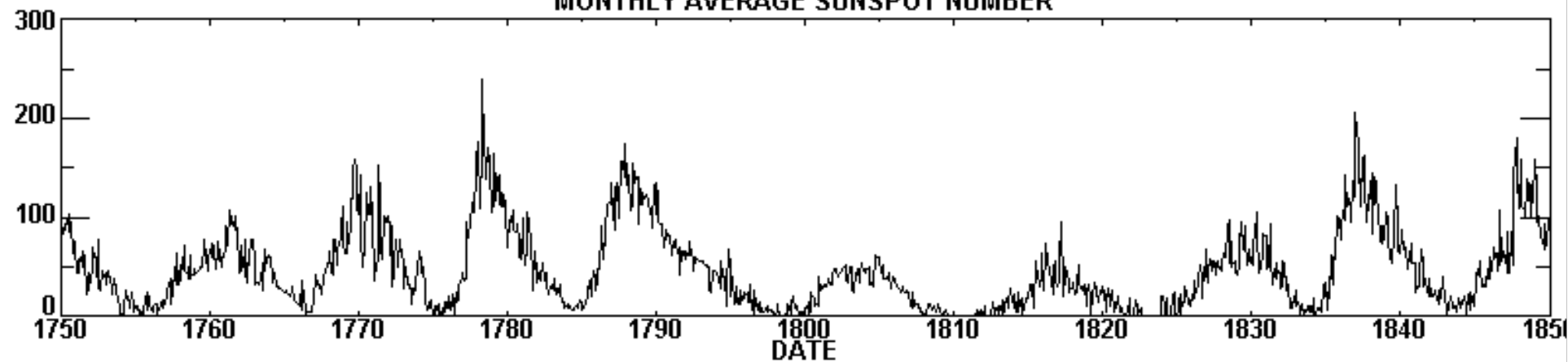


The Sunspot Cycle

- **Sunspot Numbers**
- In 1610, shortly after viewing the sun with his new telescope, Galileo Galilei made the first European observations of [Sunspots](#). Daily observations were started at the Zurich Observatory in 1749 and with the addition of other observatories continuous observations were obtained starting in 1849. The sunspot number is calculated by first counting the number of sunspot groups and then the number of individual sunspots. The "sunspot number" is then given by the sum of the number of individual sunspots and ten times the number of groups. Since most sunspot groups have, on average, about ten spots, this formula for counting sunspots gives reliable numbers even when the observing conditions are less than ideal and small spots are hard to see. Monthly averages (updated monthly) of the sunspot numbers ([25 kb GIF image](#)), ([37 kb postscript file](#)), ([62 kb text file](#)) show that the number of sunspots visible on the sun waxes and wanes with an approximate 11-year cycle.
- (Note: there are actually at least two "official" sunspot numbers reported. The International Sunspot Number is compiled by the [Sunspot Index Data Center](#) in Belgium. The NOAA sunspot number is compiled by the US [National Oceanic and Atmospheric Administration](#). The numbers tabulated in [spot_num.txt](#) are the monthly averages (SSN) and standard deviation (DEV) derived from the International Sunspot Numbers)

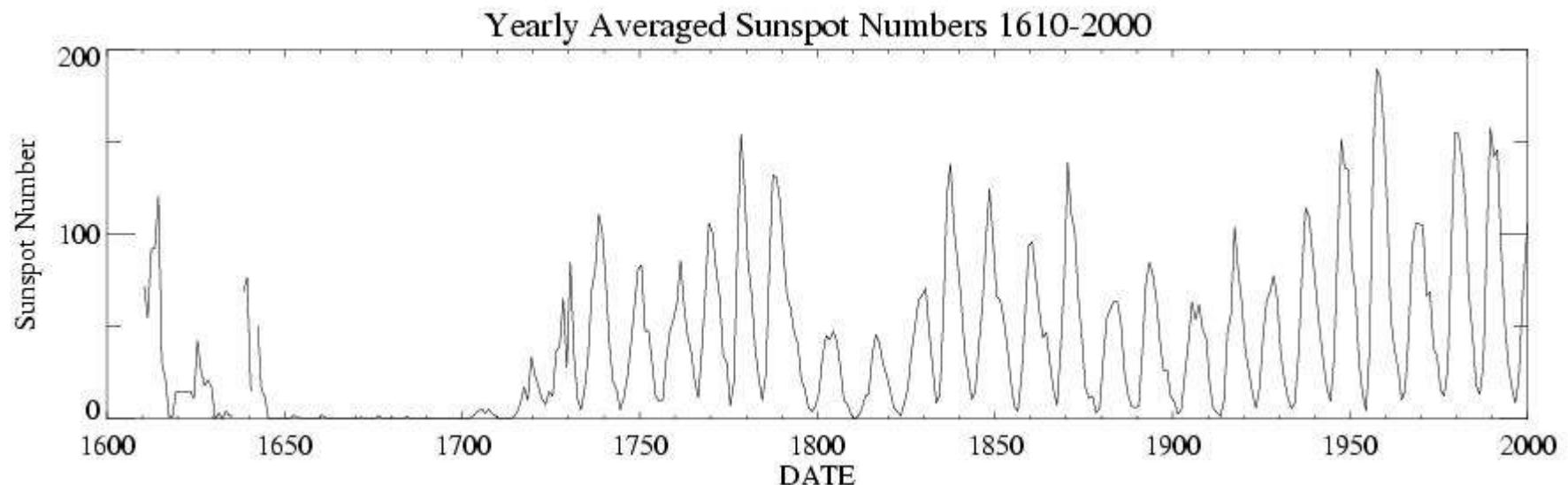


MONTHLY AVERAGE SUNSPOT NUMBER



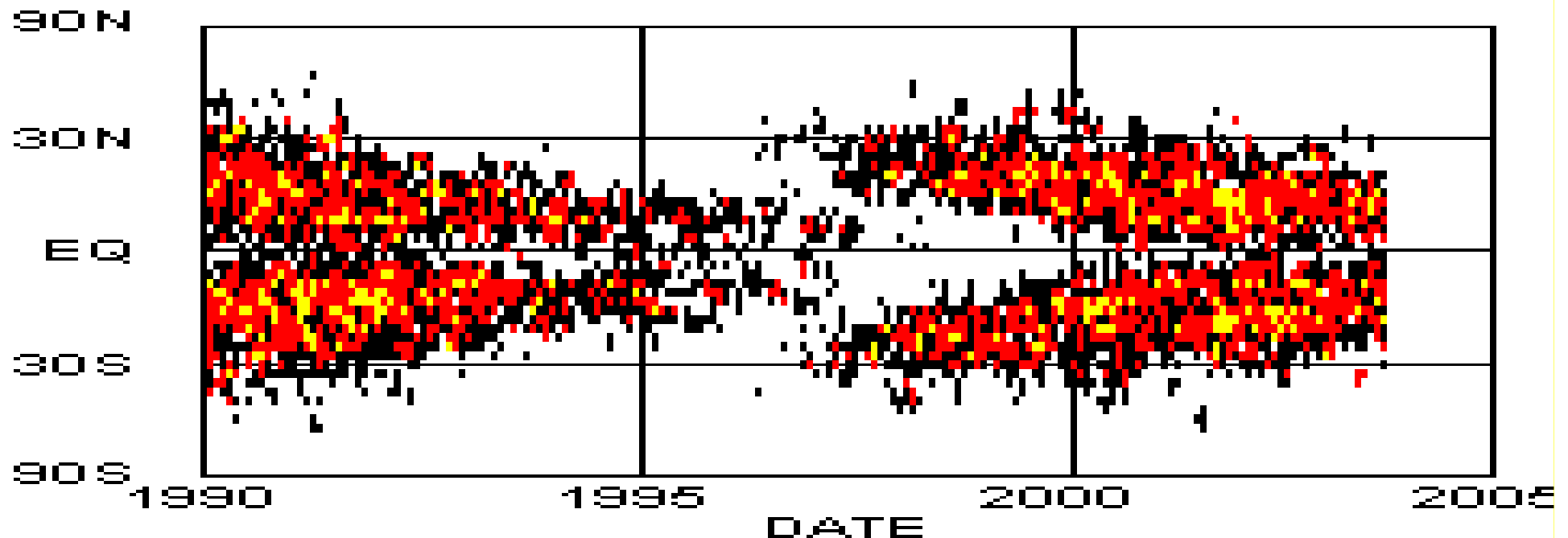
The Sunspot Cycle

- **The Maunder Minimum**
- Early records of sunspots indicate that the Sun went through a period of inactivity in the late 17th century. Very few sunspots were seen on the Sun from about 1645 to 1715 ([38 kb JPEG image](#)). Although the observations were not as extensive as in later years, the Sun was in fact well observed during this time and this lack of sunspots is well documented. This period of solar inactivity also corresponds to a climatic period called the "Little Ice Age" when rivers that are normally ice-free froze and snow fields remained year-round at lower altitudes. There is evidence that the Sun has had similar periods of inactivity in the more distant past. The connection between solar activity and terrestrial climate is an area of on-going research.

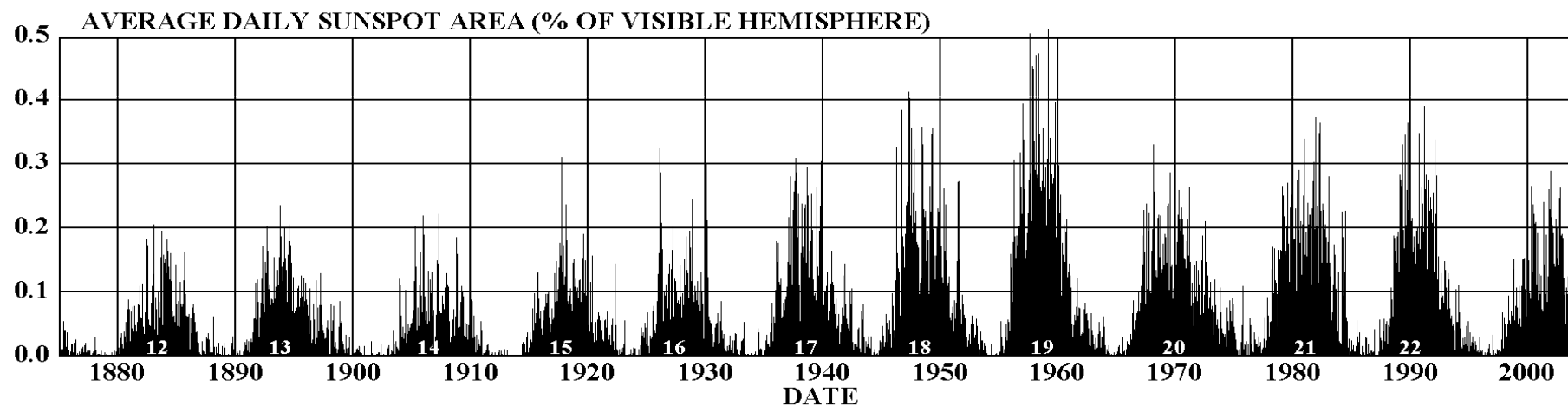
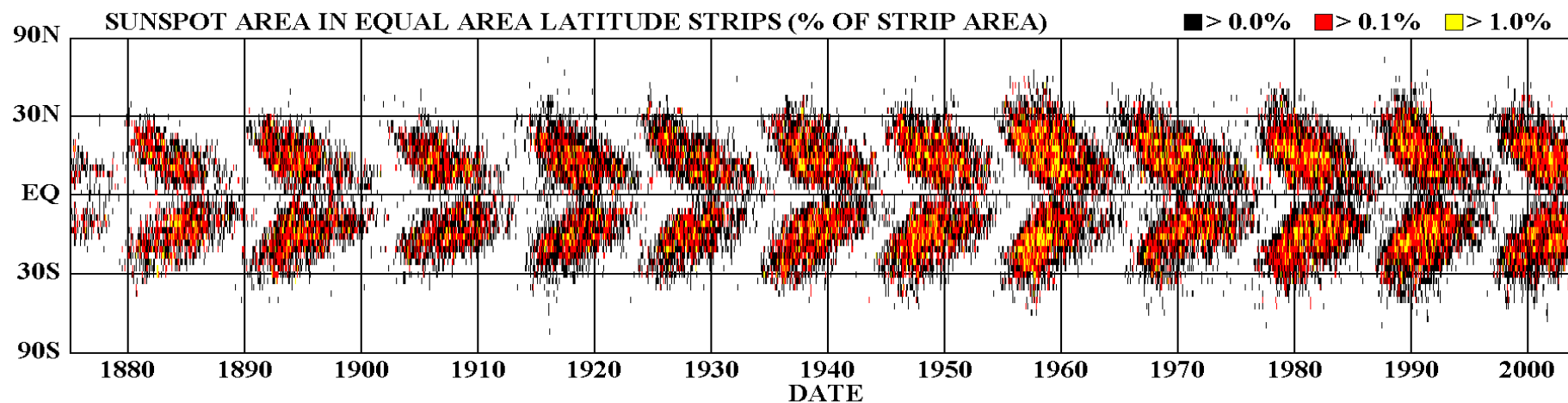


The Sunspot Cycle

- **The Butterfly Diagram**
- Detailed observations of sunspots have been obtained by the Royal Greenwich Observatory since 1874. These observations include information on the sizes and positions of sunspots as well as their numbers. These data show that sunspots do not appear at random over the surface of the sun but are concentrated in two latitude bands on either side of the equator. A butterfly diagram ([142 kb GIF image](#)) ([610 kb postscript file](#)) (updated monthly) showing the positions of the spots for each rotation of the sun since May 1874 shows that these bands first form at mid-latitudes, widen, and then move toward the equator as each cycle progresses. The cycles overlap at the time of sunspot cycle minimum with old cycle spots near the equator and new cycle spots at high latitudes. An alternate version of this diagram with different colors for even and odd numbered cycles is available as a [610kb postscript file](#).



DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS

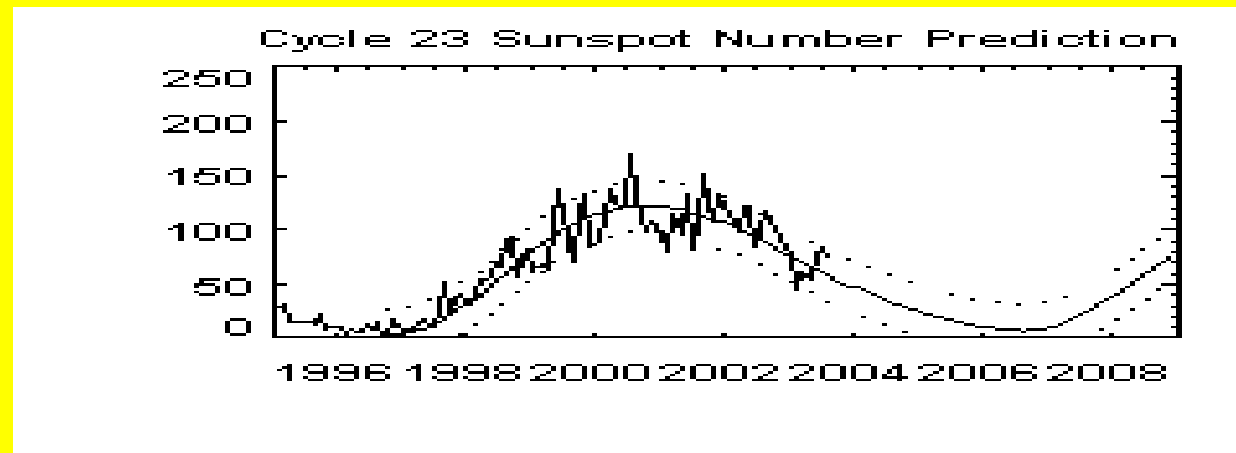


The Sunspot Cycle

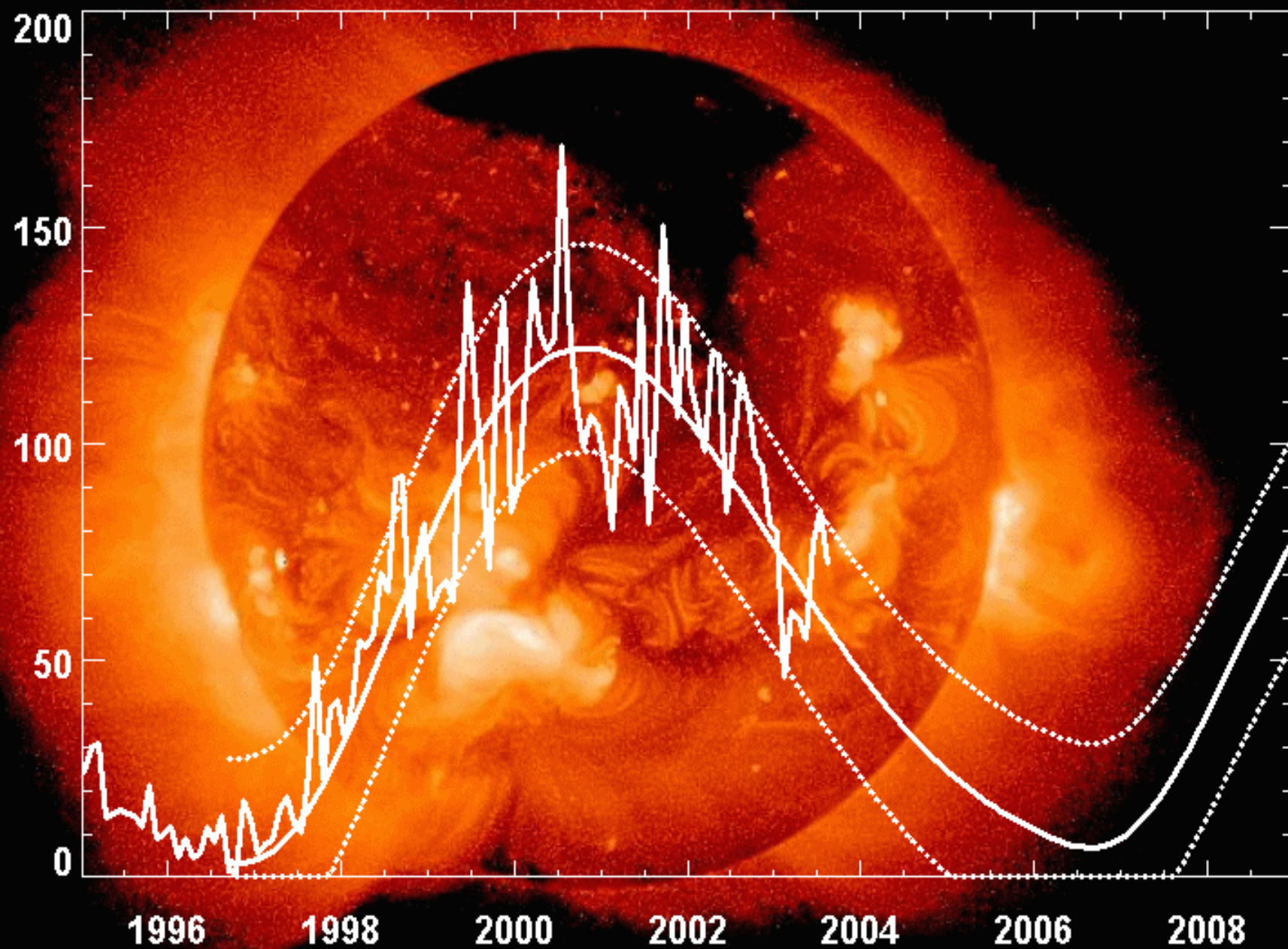
- **The Greenwich Sunspot Data**
- The Royal Greenwich Observatory data has been appended with data obtained by the US Air Force Solar Optical Observing Network since 1976. This newer data has been reformatted to conform to the older Greenwich data and both are available in [a local directory of ASCII files](#). Each file contains records for a given year with individual records providing information on the daily observations of active regions

The Sunspot Cycle

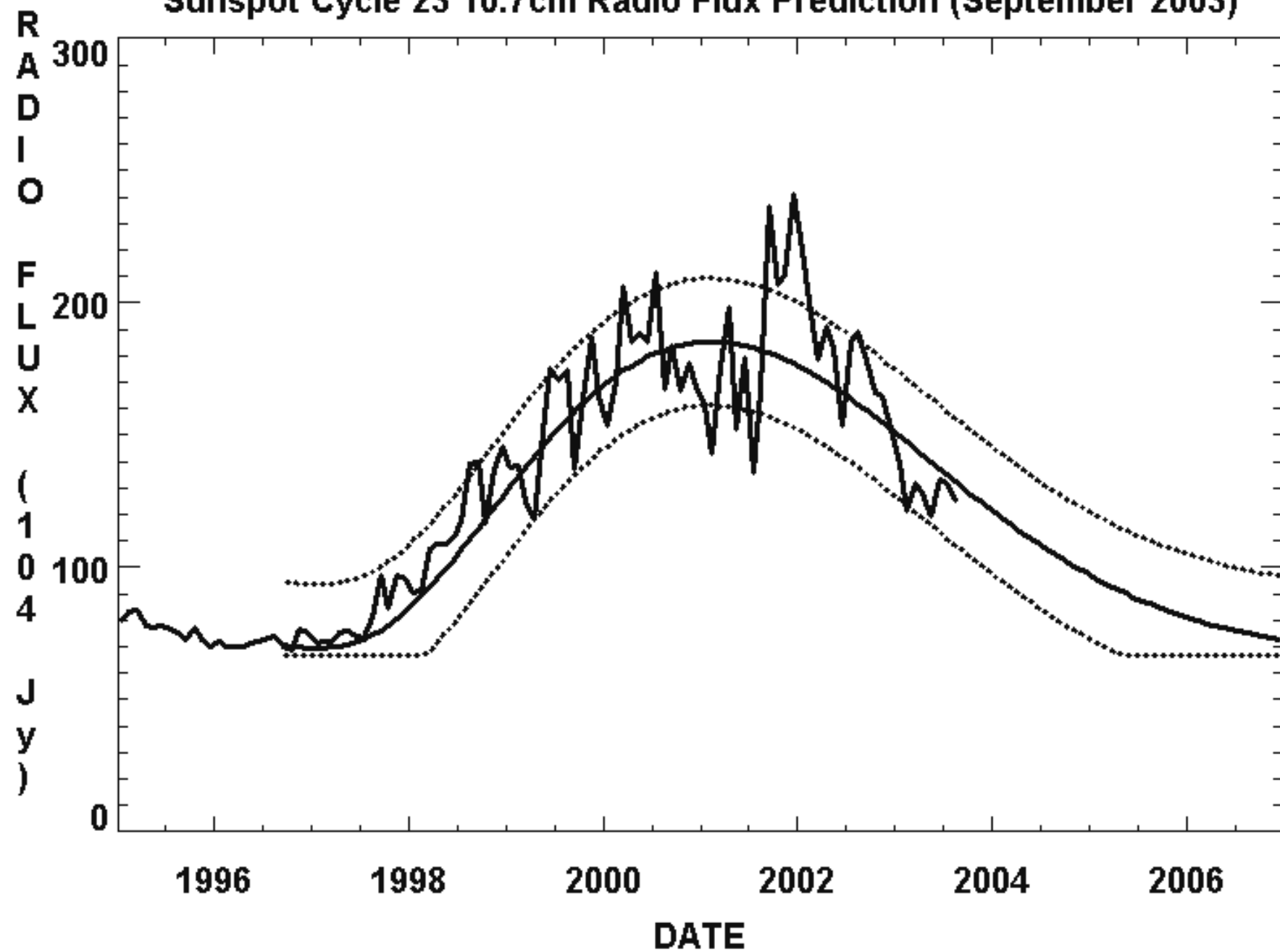
- **Sunspot Cycle Predictions**
- MSFC Solar Physics Branch members Wilson, Hathaway, and Reichmann have studied the sunspot record for characteristic behavior that might help in predicting future sunspot activity. Our current predictions of solar activity for the next few years can be found at [this link](#). Although sunspots themselves produce only minor effects on solar emissions, the magnetic activity that accompanies the sunspots can produce dramatic changes in the ultraviolet and soft x-ray emission levels. These changes over the solar cycle have important consequences for the Earth's upper atmosphere.



Cycle 23 Sunspot Number Prediction (September 2003)

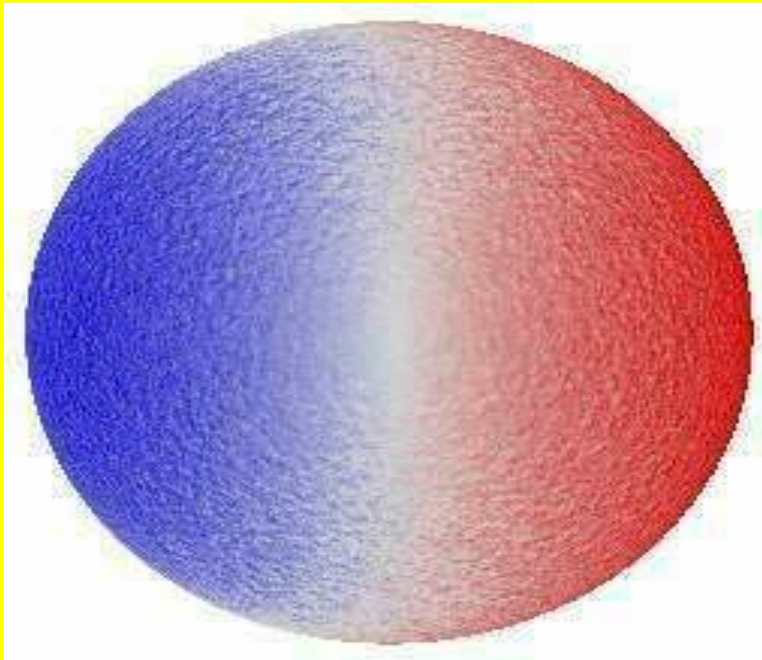


Sunspot Cycle 23 10.7cm Radio Flux Prediction (September 2003)



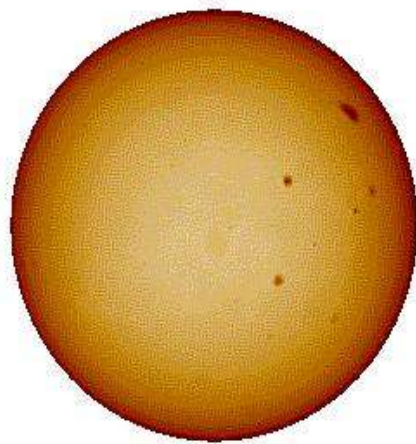
Surface Flows

- The surface of the sun is in constant motion due to the presence of several velocity components. These components include: rotation, cellular convection, oscillations, and meridional flow. The largest velocity signal is that due to solar rotation with an equatorial velocity of 2000 m/s. Both the oscillations and the convective motions have amplitudes of about 300 m/s. The meridional flow is the weakest at only about 20 m/s. Each of these components plays an important role in helping us understand the sun and how it produces its 11-year cycle of solar activity.
- Solar velocity data is available from the [Global Oscillation Network Group](#) (GONG) instruments and the [Michelson Doppler Imager](#) (MDI) on the SOHO Mission. Both of these investigations determine the flow velocities by measuring the Doppler shift of a spectral line formed by nickel atoms in the cooler layers of the solar atmosphere.

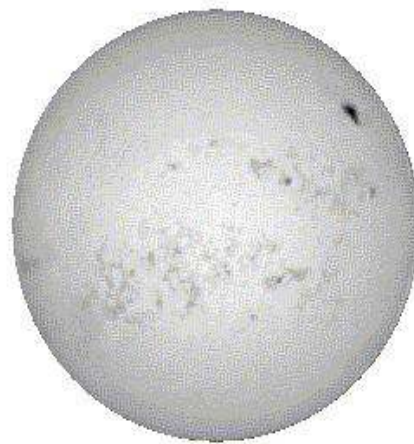


Surface Flows

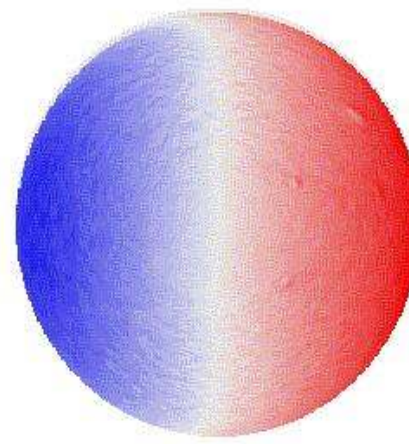
GONG Image Data Products



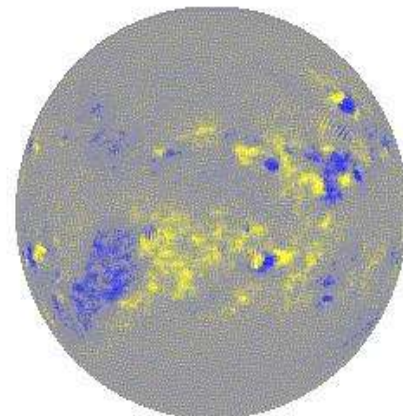
Intensity



Modulation



Velocity



Magnetic Field

- The GONG data presently consists of 1024 by 1024 pixel intensity images at three different spectral positions within the line with two different polarizations. These three images are processed to produce three [primary data images](#). The sum of these raw images gives an intensity image which shows sunspots and limb darkening. The size of the change in intensity at the three spectral positions gives a modulation image that shows roughly where magnetic fields are located. The shift in the position of the spectral line with respect to its laboratory position gives a velocity image which is dominated by solar rotation and the cellular pattern of solar convection called supergranulation. GONG also produces magnetograms, images of the sun's magnetic field using the two different polarizations.

Surface Flows

- The primary purpose of these GONG velocity images is to provide data for analyzing the oscillations of the sun. For studies of the nearly steady flows the oscillatory signal represents a source of noise and needs to be removed from the data. This is done by taking a [weighted average](#) of 17 velocity images taken at 1-minute intervals to produce an image of the nearly steady flows.
- These time averaged images are then processed by an [image analysis program](#)

TIME AVERAGE (TO REMOVE OSCILLATIONS)

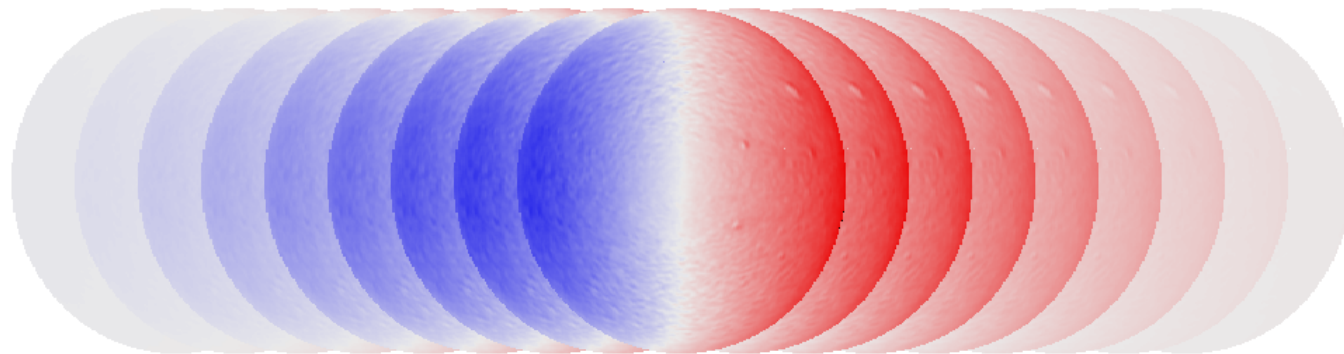


IMAGE WEIGHTING FUNCTION

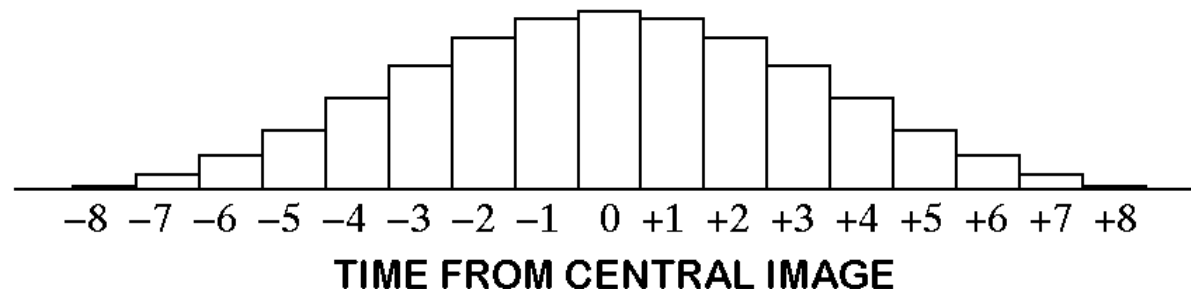
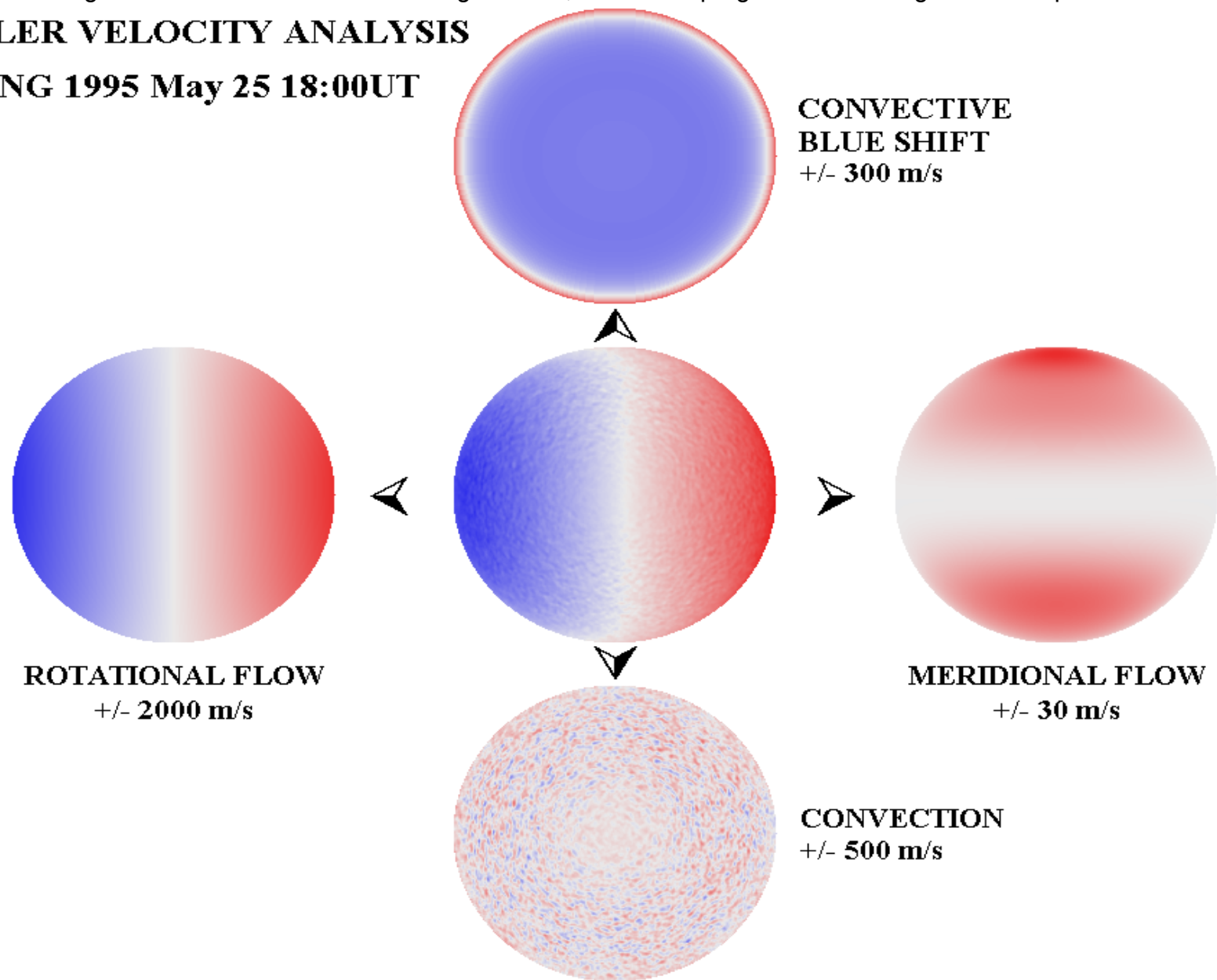


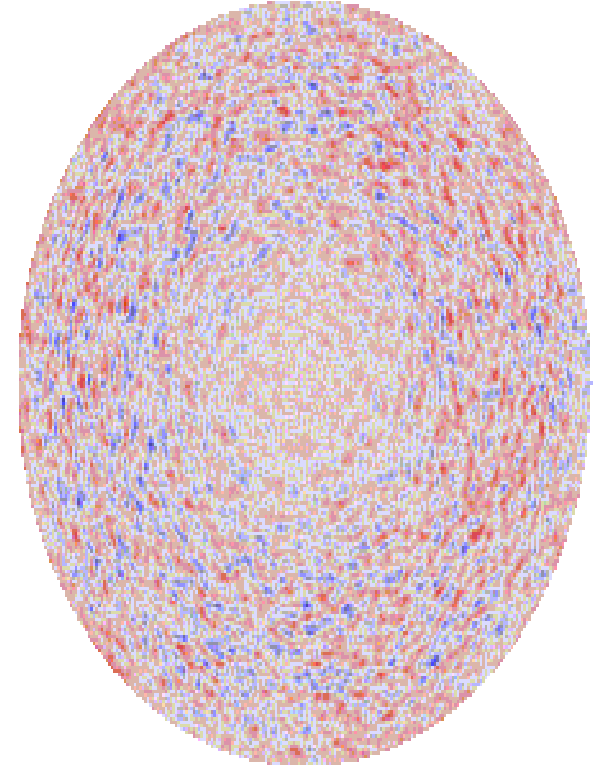
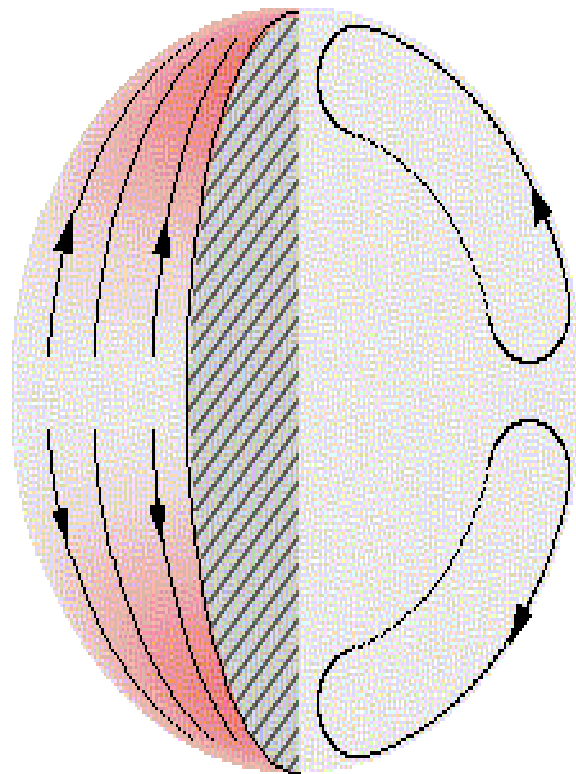
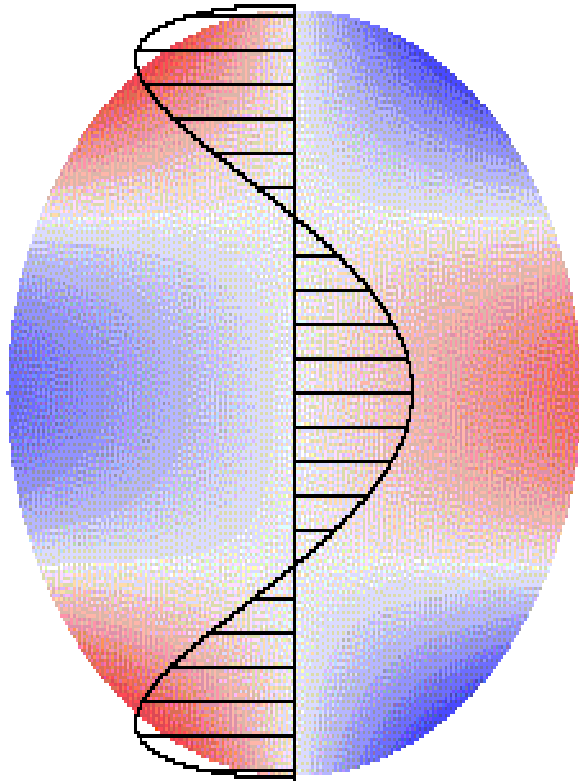
Image analysis program that separates the signal into its various components: [image analysis program](#) that separates the signal into its various components: Differential Rotation - the rotation signal that includes a rapidly rotating equator and slowly rotating polar regions; Meridional Flow - a flow directed from the equator towards the poles; [Convective Blue Shift](#) - a velocity artifact due to the correlation of bright convective elements with rising motions; and the Supergranulation - imagconvection pattern.

DOPPLER VELOCITY ANALYSIS

GONG 1995 May 25 18:00UT

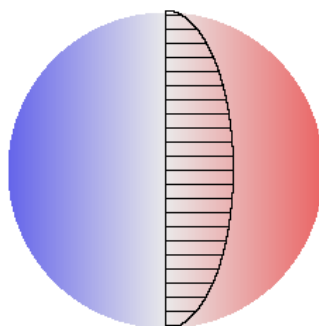


components:

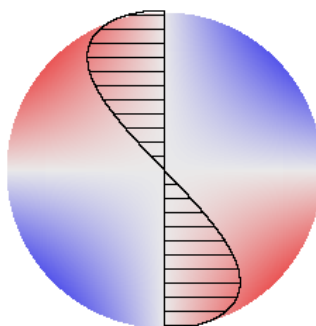


ROTATION COMPONENTS

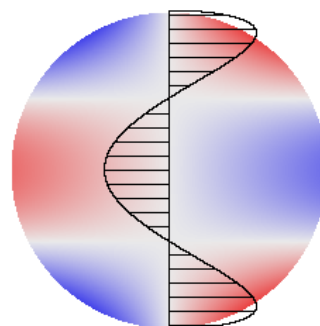
T_1^0



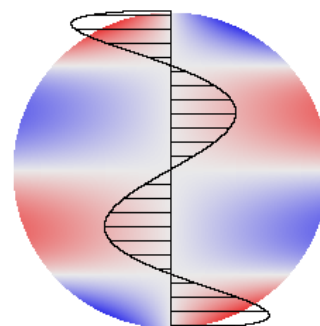
T_2^0



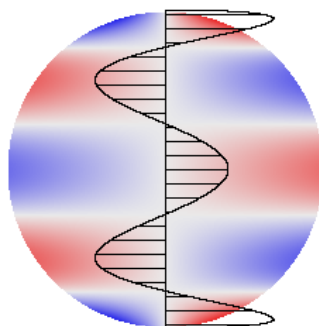
T_3^0



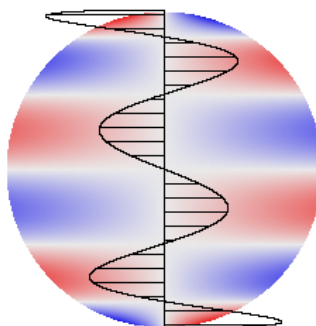
T_4^0



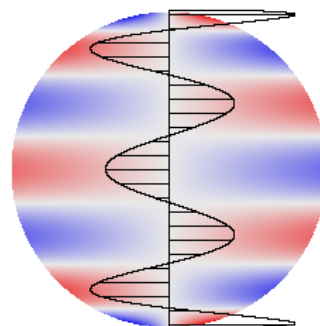
T_5^0



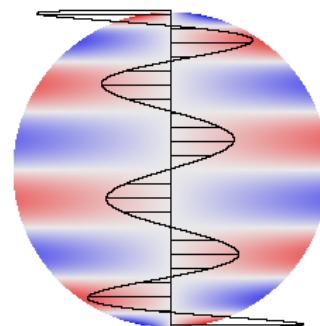
T_6^0



T_7^0

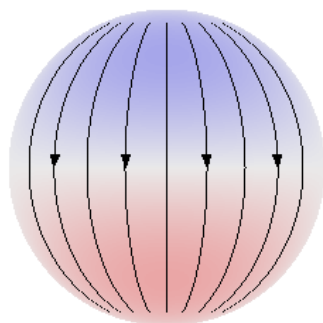


T_8^0

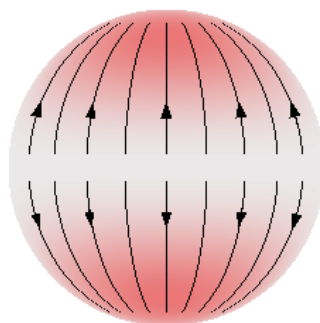


MERIDIONAL FLOW COMPONENTS

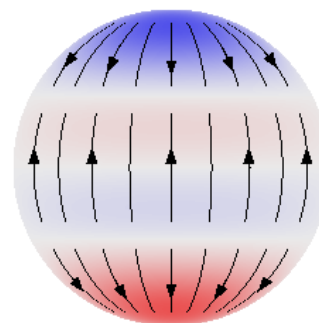
s_1^0



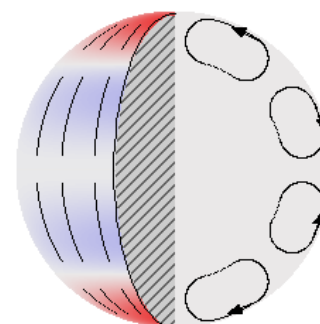
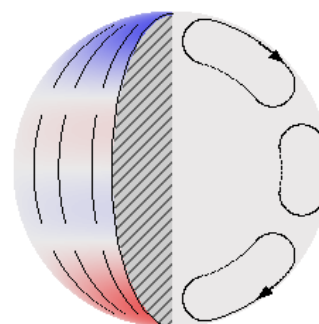
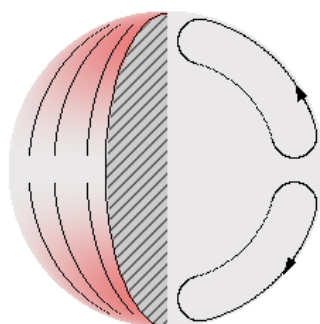
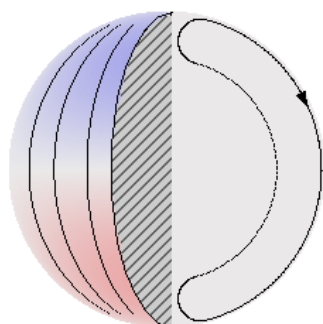
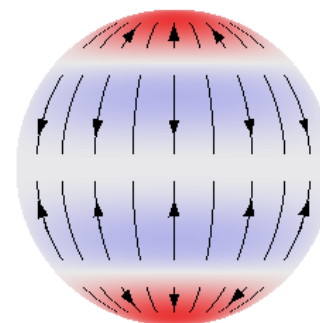
s_2^0



s_3^0

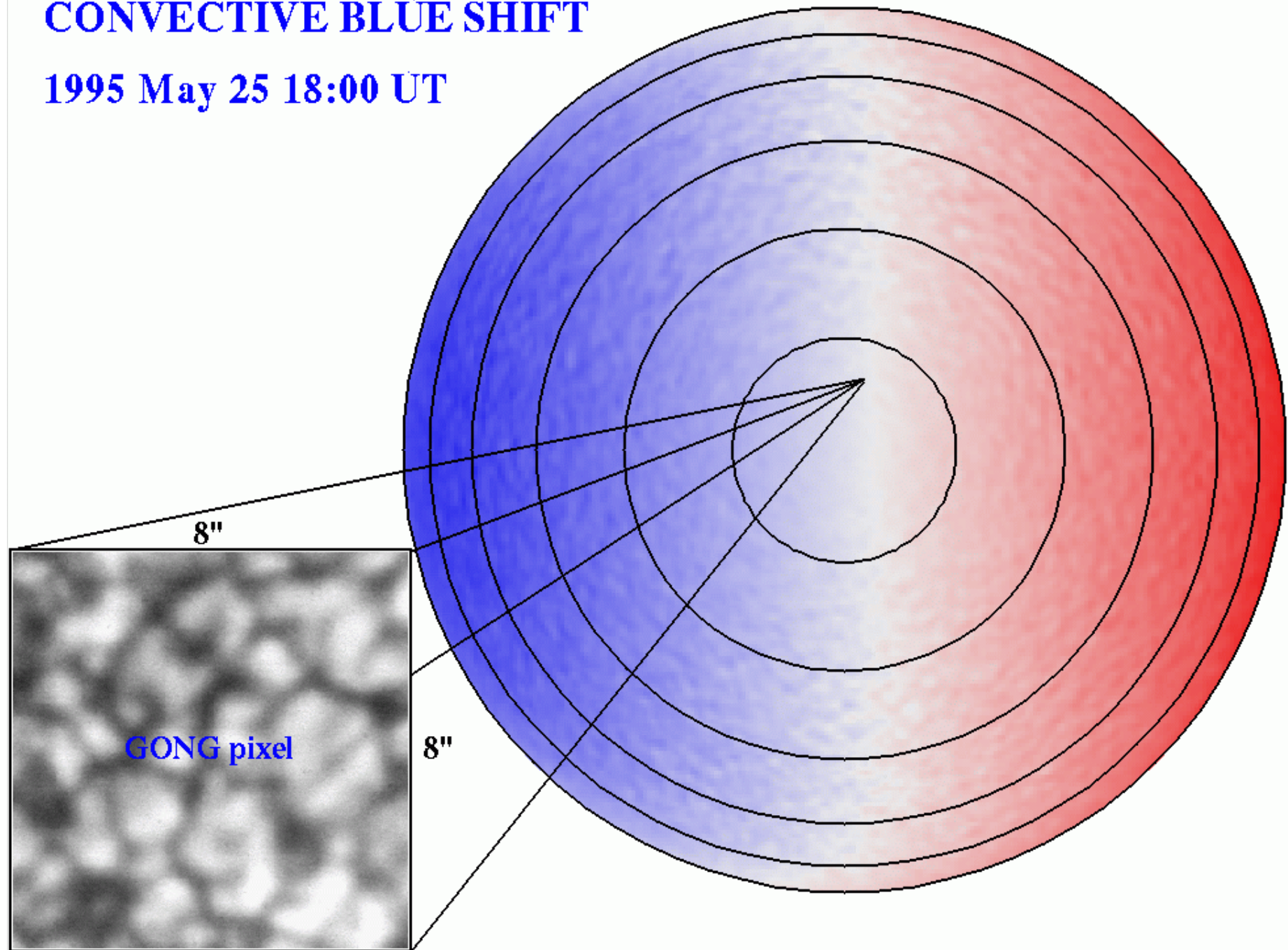


s_4^0

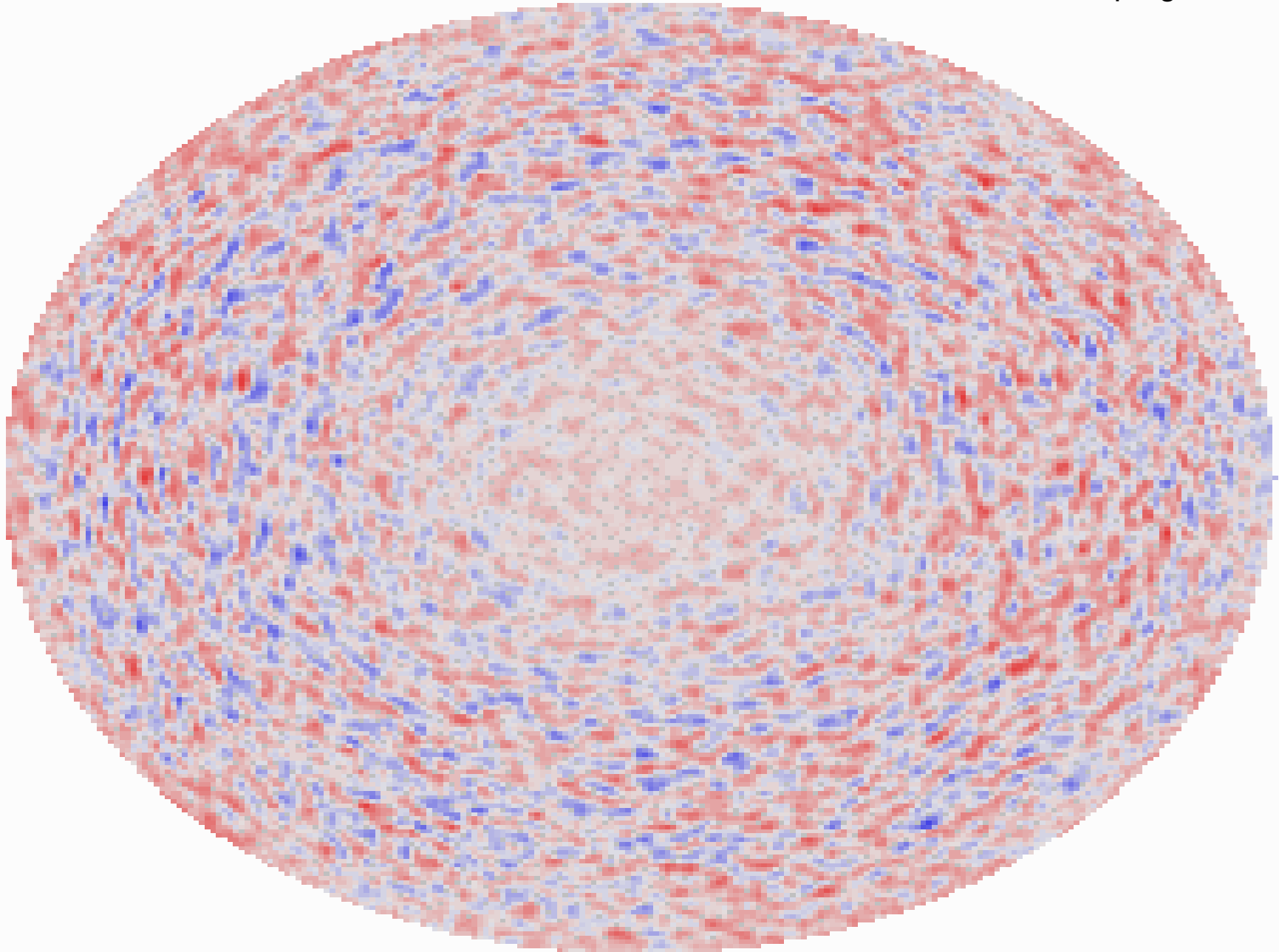


CONVECTIVE BLUE SHIFT

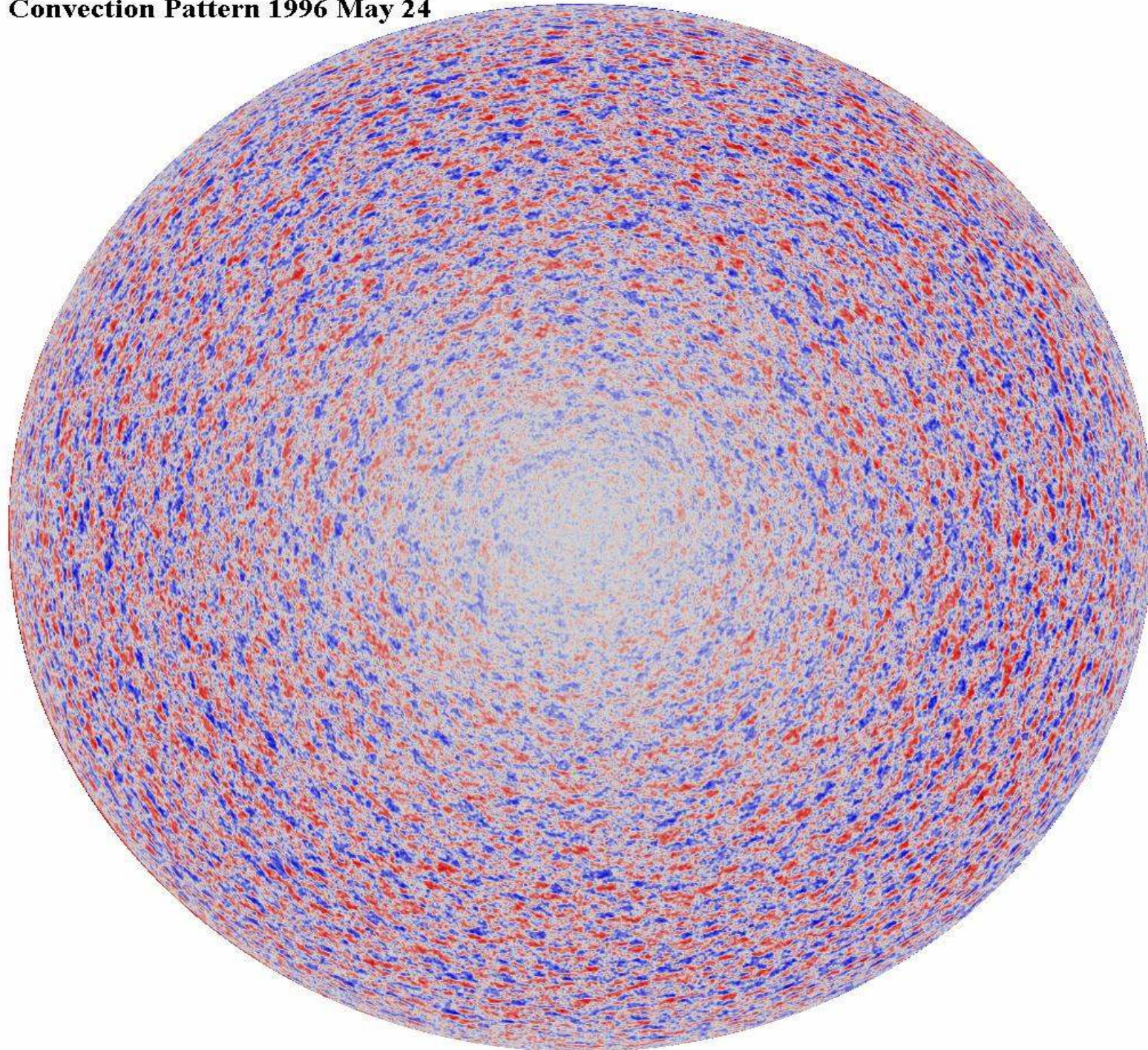
1995 May 25 18:00 UT



Supergranulación

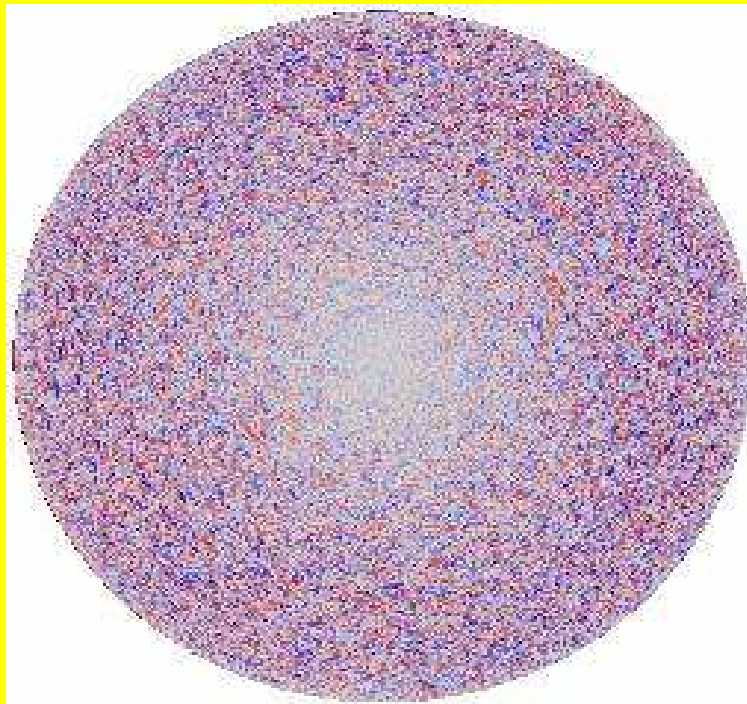


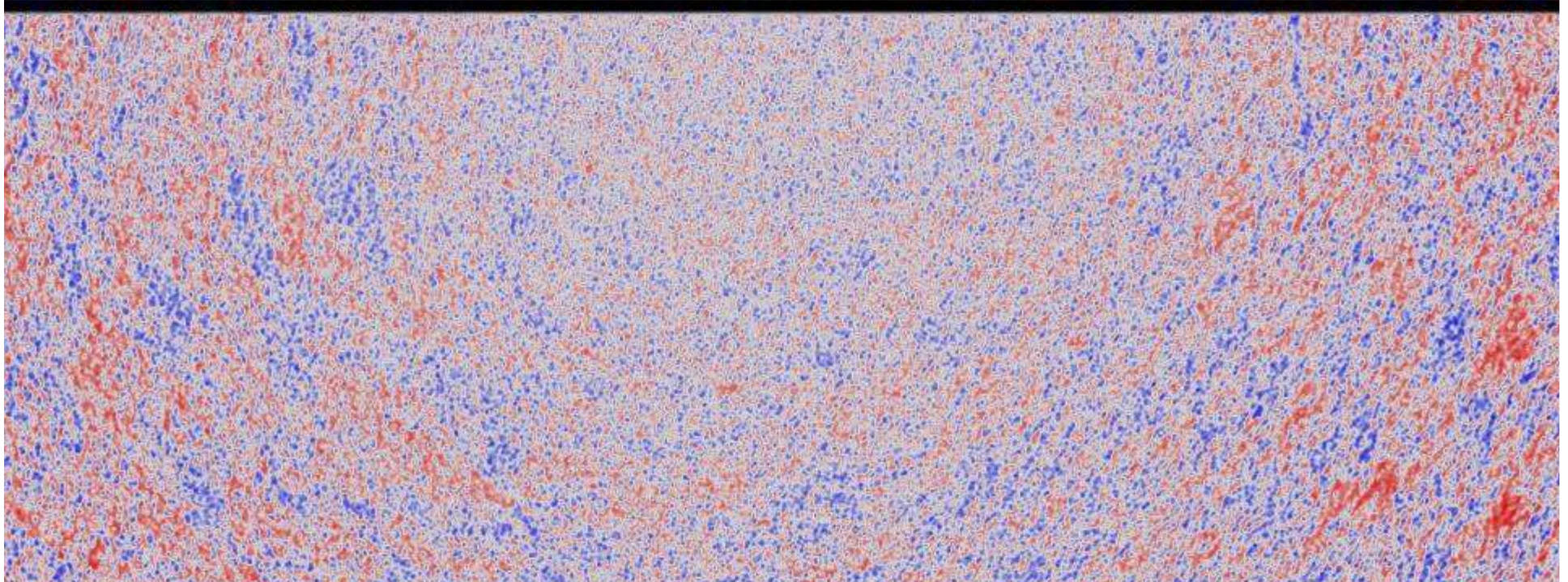
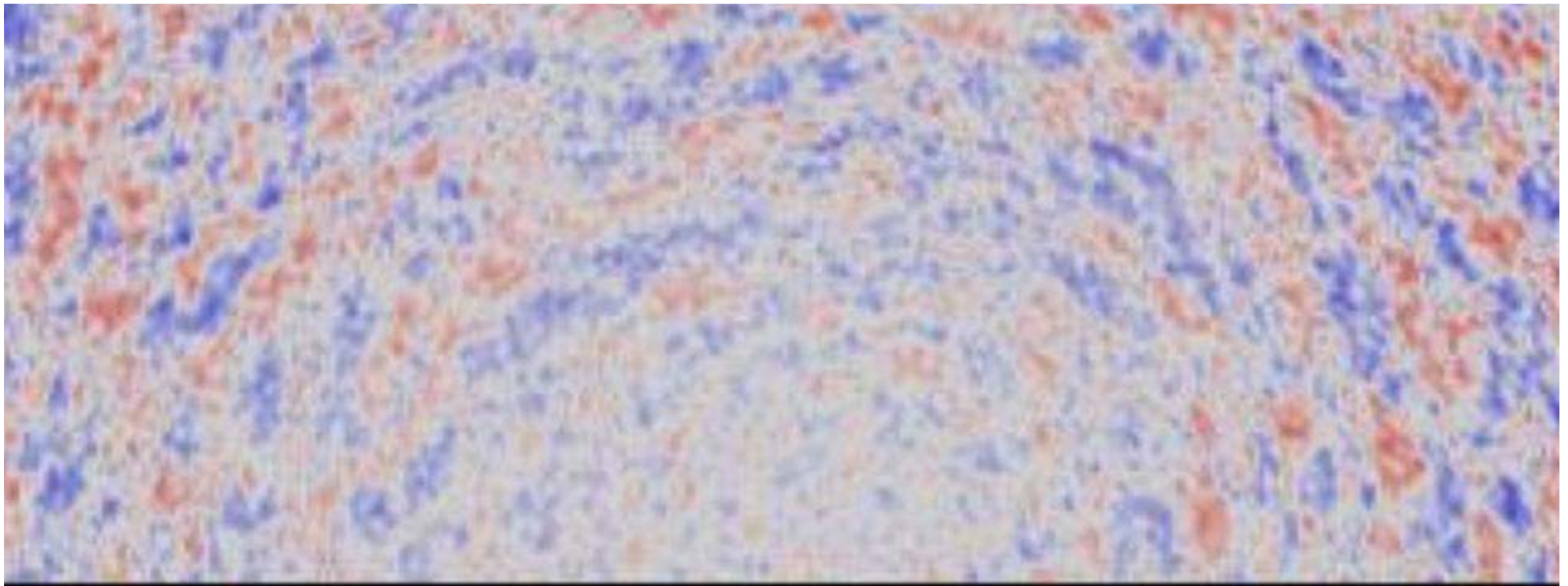
Convection Pattern 1996 May 24



Surface Flows

- The SOHO/MDI data consists of 1024 by 1024 pixel intensity images at four different spectral positions within the spectral line. This higher resolution data provides excellent information on the cellular flows. Using the same image analysis program to separate the flow components provides a much [clearer image of the supergranulation](#) convection pattern. This instrument also has a high-resolution mode with 3X magnification. This higher magnification reveals even [finer details](#) of the sun's convective flow elements.





Surface Waves and Helioseismology

- **5-minute Oscillations**
- Patches of the surface of the sun oscillate up and down with a typical period of about 5 minutes. The nature and source of these "5-minute oscillations" was a mystery for many years after their discovery in 1962. These oscillations are shown in the image on the left as areas of blue and red where the blue areas are moving toward us (blue-shifted) and the red areas are moving away from us (red-shifted). The fact that this signal is strongest near the center of the imaged disk of the sun and weakest near the edge indicates that the motions are primarily radial - inward and outward. [A movie \(3.7Mb MPEG\)](#) constructed from a series of these images (taken at the rate of one per minute for 150 minutes with the [GONG network](#) instruments) shows how individual patches are blue-shifted and then red-shifted through several cycles. The result is an apparent chaotic vibration of the sun.



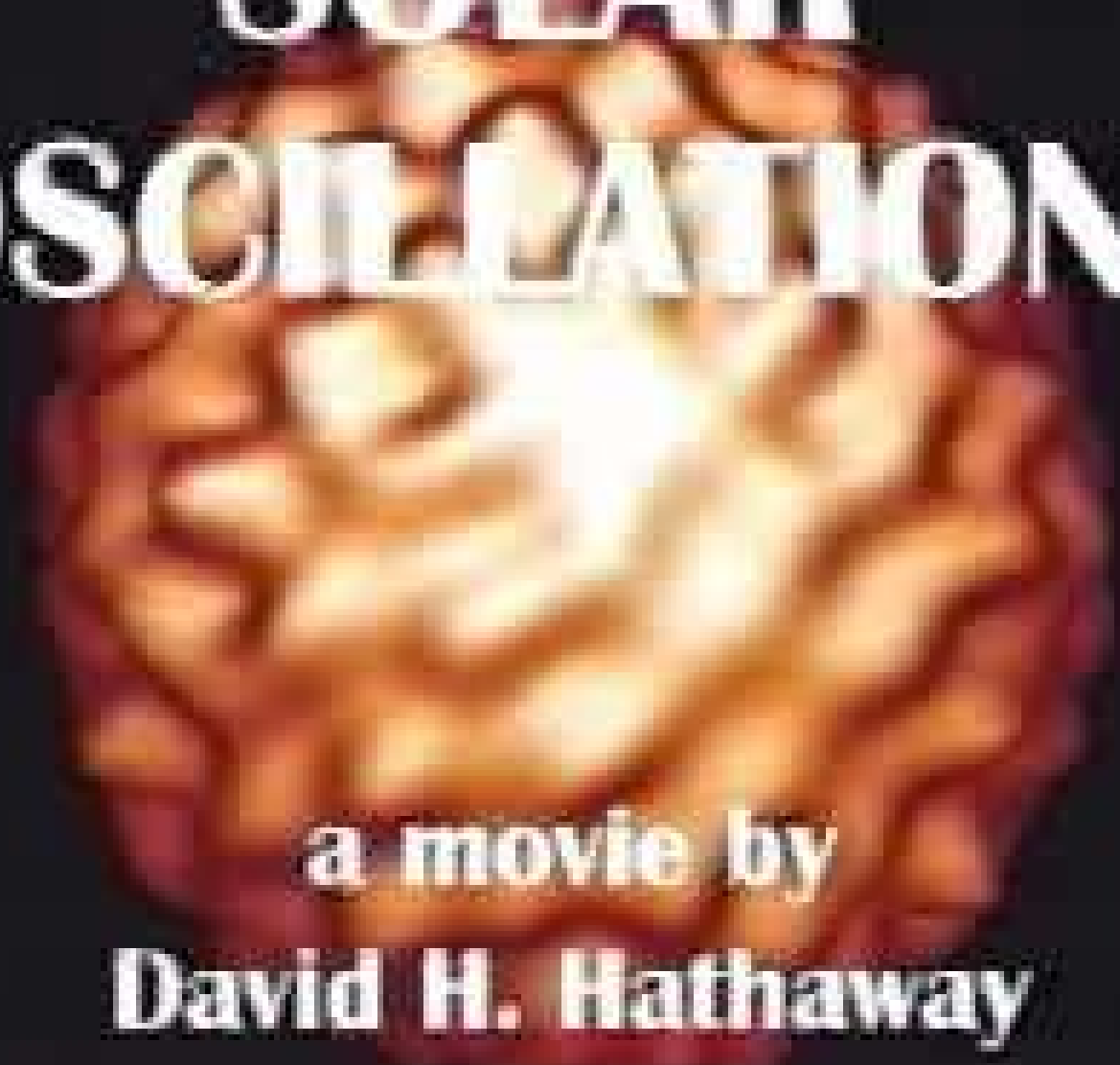
10 frames per second
600X (10 min/sec)

Surface Waves and Helioseismology

- ***p*-Modes**
- The mysterious source of these oscillations was identified by way of theoretical arguments in 1970 and confirmed by observations in 1975. The oscillations we see on the surface are due to sound waves generated and trapped inside the sun. Sound waves are produced by pressure fluctuations in the turbulent [convective motions](#) of the sun's [interior](#). As the waves move outward they reflect off of the sun's surface (the [photosphere](#)) where the density and pressure decrease rapidly. Inward moving waves are refracted (their direction of motion bent) by the increase in the speed of sound as the temperature increases and eventually return to the surface. These trapped sound waves set the sun vibrating in millions of different patterns or modes ([3.7 Mb MPEG movie](#)). Since sound is produced by pressure, these modes of vibration are called *p*-modes. One mode of vibration is shown in the image above as a pattern of surface displacements exaggerated by over 1000 times. A movie ([1Mb MPEG without audio](#), [6.5 Mb MPEG version with audio](#)) shows how this mode of oscillation consists of two oppositely moving waves.



SOLAR OSCILLATIONS



a movie by

David H. Hathaway

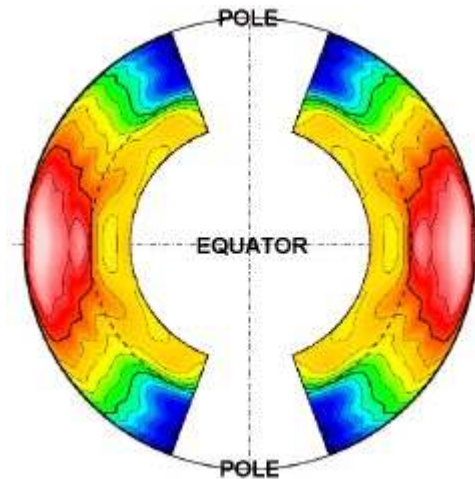
SOLAR OSCILLATIONS



The $l=20$ $m=16$ mode

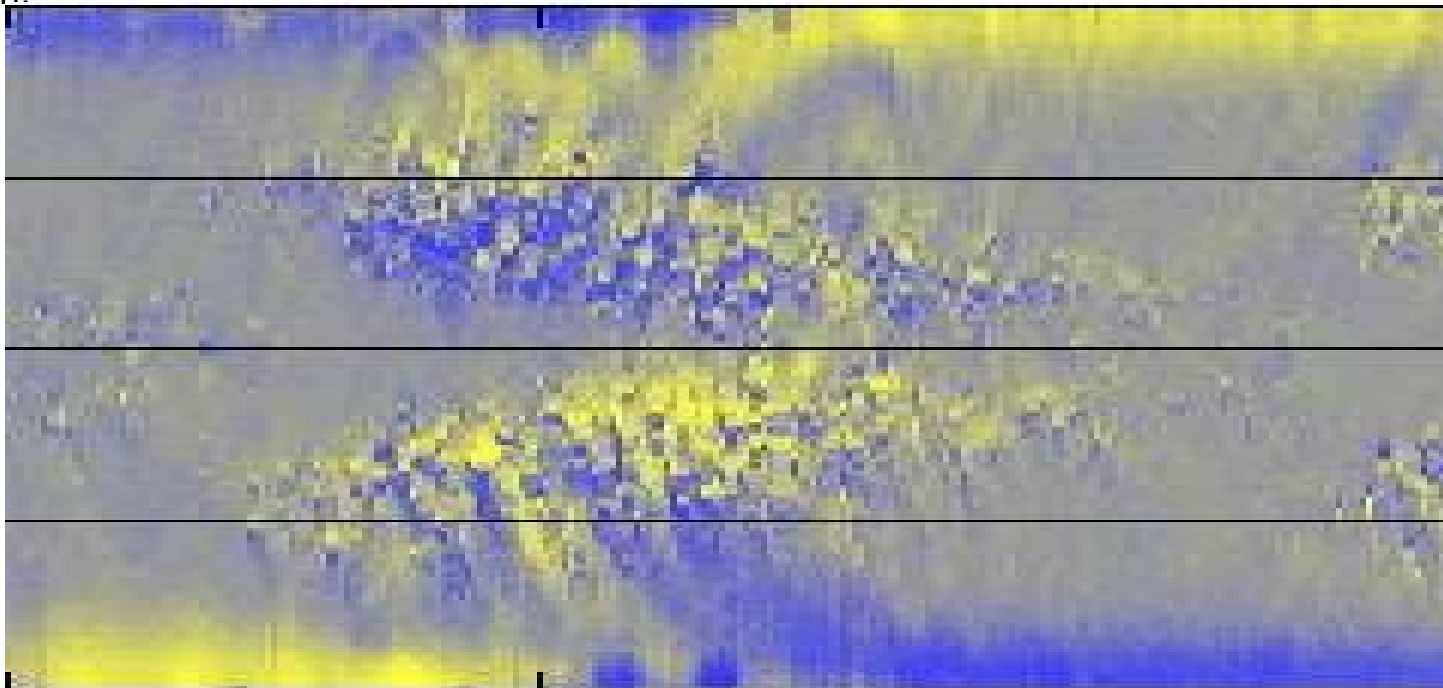
Surface Waves and Helioseismology

- **Helioseismology**
- These sound waves, and the modes of vibration they produce, can be used to probe the interior of the sun the same way that geologists use seismic waves from earthquakes to probe the inside of the earth. Some of these waves travel right through the center of the sun. Others are bent back toward the surface at shallow depths. Helioseismologists can use the properties of these waves to determine the temperature, density, composition, and motion of the interior of the sun. A number of fascinating discoveries have been made in the last few years using the science of helioseismology. The image above (from M. J. Thompson) shows the internal rotation rate of the sun with red for fast and blue for slow. The variation we see at the surface between the equator and the poles extends inward and then rapidly disappears at the base of the [convection zone](#) (shown by the dashed line).



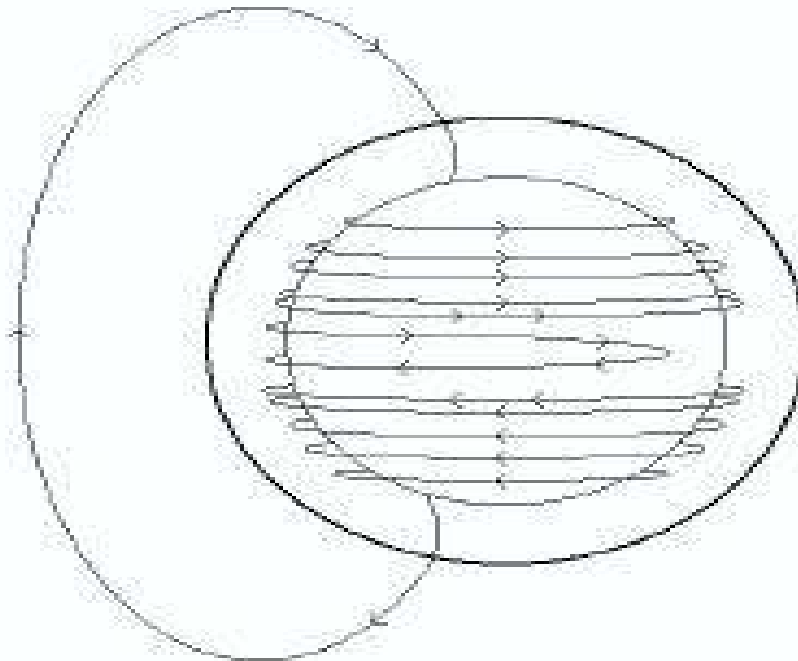
The Solar Dynamo

- It is widely believed that the Sun's [magnetic field](#) is generated by a magnetic dynamo within the Sun. The fact that the Sun's magnetic field changes dramatically over the course of just a few years, and the fact that it changes in a [cyclical](#) manner indicates that the magnetic field continues to be generated within the Sun. A successful model for the solar dynamo must explain several observations: 1) the 11-year period of the [sunspot cycle](#), 2) the equator-ward drift of the active latitude as seen in the [butterfly diagram](#), 3) [Hale's polarity law](#) and the 22-year magnetic cycle, 4) [Joy's law](#) for the observed tilt of sunspot groups and, 5) the reversal of the polar magnetic fields near the time of cycle maximum as seen in the [magnetic butterfly diagram](#). These features of the Sun's magnetic dynamo can all be seen in a movie of the Sun's magnetic field over the last 22-years ([15Mb Quicktime Movie](#)) ([15Mb AVI Movie](#)).
- Magnetic fields are produced by electric currents. These currents are generated within the Sun by the flow of the Sun's hot, ionized gases. We observe a variety of [flows](#) on the Sun's surface and within its [interior](#). Nearly all of these flows may contribute in one way or another to the production of the Sun's magnetic field.
- Magnetic fields are a little like rubber bands. They consist of continuous loops of lines of force that have both tension and pressure. Like rubber bands, magnetic fields can be strengthened by stretching them, twisting them, and folding them back on themselves. This stretching, twisting, and folding is done by the fluid flows within the Sun.



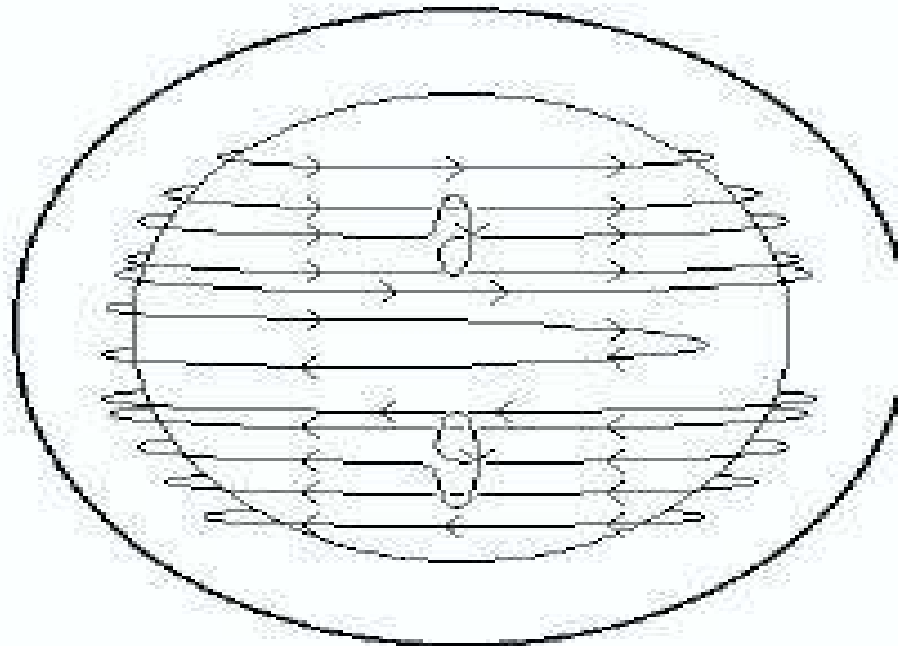
The Solar Dynamo

- **The Omega Effect**
- Magnetic fields within the Sun are stretched out and wound around the Sun by differential rotation - the change in rotation rate as a function of latitude and radius within the Sun. This is called the omega-effect after the Greek letter used to represent rotation. The Sun's differential rotation with latitude can take a north-south oriented magnetic field line and wrap it once around the Sun in about 8 months



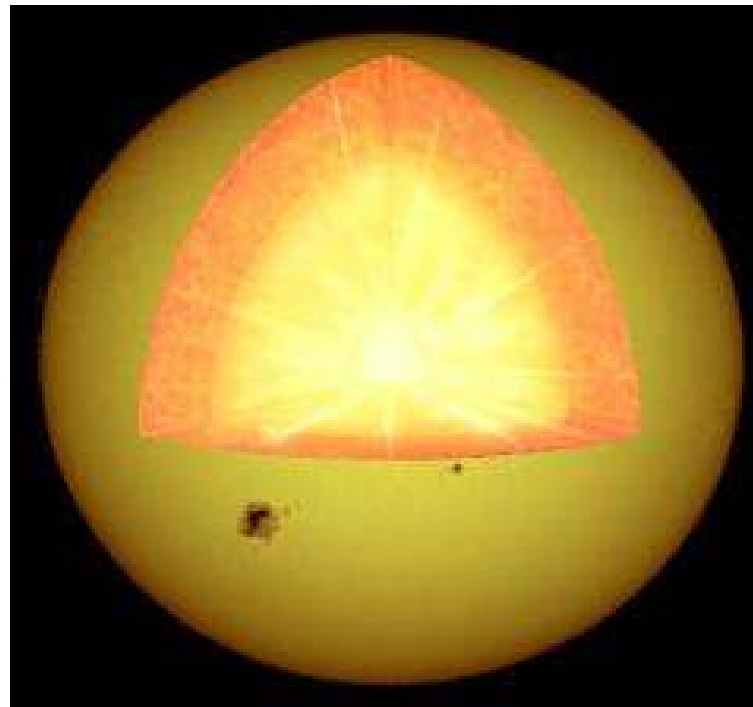
The Solar Dynamo

- **The Alpha Effect**
- Twisting of the magnetic field lines is caused by the effects of the Sun's rotation. This is called the alpha-effect after the Greek letter that looks like a twisted loop. Early models of the Sun's dynamo assumed that the twisting is produced by the effects of the Sun's rotation on very large convective flows that carry heat to the Sun's surface. One problem with this assumption is that the expected twisting is far too much and it produces magnetic cycles that are only a couple years in length. More recent dynamo models assume that the twisting is due to the effect of the Sun's rotation on the rising "tubes" of magnetic field from deep within the Sun. The twist produced by the alpha effect makes sunspot groups that obey [Joy's law](#) and also makes the magnetic field reverse from one sunspot cycle to the next ([Hale's law](#)).



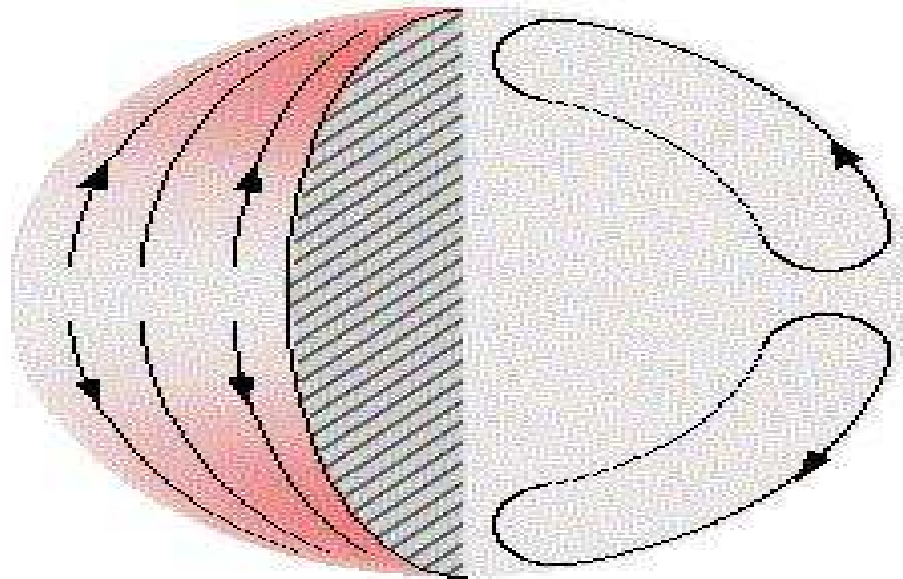
The Solar Dynamo

- **The Interface Dynamo**
- Early models of the Sun's magnetic dynamo worked on the idea that the dynamo activity occurs throughout the entire [convection zone](#). It was soon realized, however, that magnetic fields within the convection zone would rapidly rise to the surface and wouldn't have enough time to experience either the alpha or the omega effect. Since a magnetic field exerts a pressure on its surroundings, regions with a magnetic field should push aside the surrounding gas and make a bubble that would continue to rise all the way to the surface. This buoyancy is not produced in the stable layer below the convection zone. Within the [radiative zone](#) the magnetic bubble would rise only a short distance before it would find itself just as dense as its surroundings. This led to the idea that the Sun's magnetic field is being produced in the [interface layer](#) between the radiative zone and the convection zone. This interface layer is also a place where we find rapid changes in rotation rate as we look inward or outward across it.



The Solar Dynamo

- **The Meridional Flow**
- The Sun's meridional flow - the flow of material along meridian lines from the equator toward the poles at the surface and from the poles to the equator deep inside - must also play an important role in the Sun's magnetic dynamo. At the surface this flow is a slow 20 m/s (40 mph) but the return flow toward the equator deep inside the Sun where the density is much higher must be much slower still - 1 to 2 m/s (2 to 4 mph). This slow return flow would carry material from the polar regions to the equator in about 20 years. This rate of flow is very similar to that of the sunspot activity bands seen in the [butterfly diagram](#).



Magnetism - the Key to Understanding the Sun

- **Solar Magnetic Fields**
- Magnetism is the key to understanding the Sun. Magnetism, or magnetic field, is produced on the Sun by the flow of electrically charged ions and electrons. [Sunspots](#) are places where very intense magnetic lines of force break through the Sun's surface. The [sunspot cycle](#) results from the recycling of magnetic fields by the flow of material in the [interior](#). The [prominences](#) seen floating above the surface of the Sun are supported, and threaded through, with magnetic fields. The [streamers and loops](#) seen in the corona are shaped by magnetic fields. Magnetic fields are at the root of virtually all of the features we see on and above the Sun. Without magnetic fields the Sun would be a rather boring star.

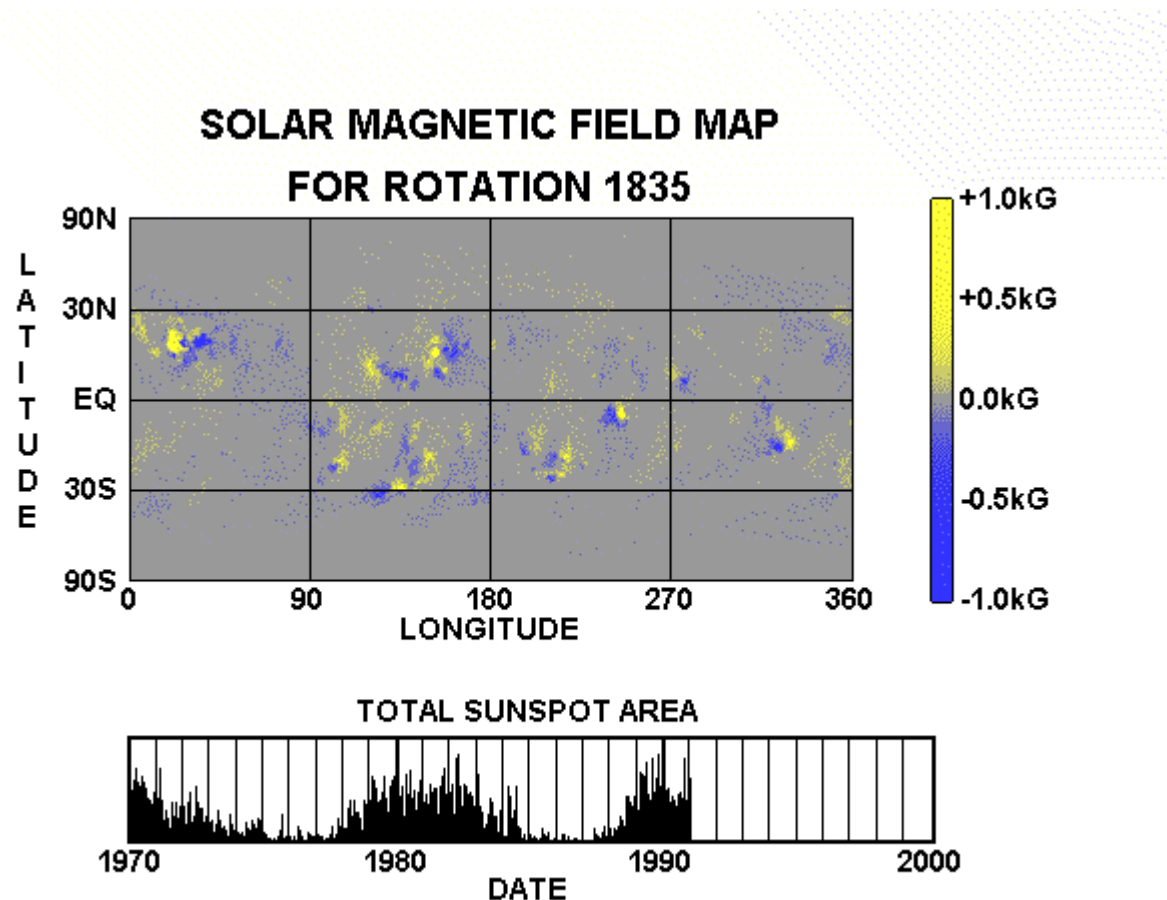


Magnetism - the Key to Understanding the Sun

- **Measuring Magnetic Fields**
- Magnetic forces change the direction of motion of moving charged particles like electrons. Because of this, electrons that orbit around a nucleus in one direction will have more energy than electrons that orbit about the nucleus in the opposite direction. This allows us to remotely measure the Sun's magnetic field by observing the difference in the energy of the light emitted as these electrons jump from orbit to orbit. With the [proper instrumentation](#) we can determine both the strength and the direction of the magnetic field all across the surface of the Sun.



- The Sun's magnetic field is the source of most (if not all) solar activity. The strength of the magnetic field is determined by variations in the polarization of light from different chemical elements in the Sun's atmosphere. As the Sun rotates once in about a month, observations of the Sun's magnetic field are combined to construct maps of the magnetic field at the Sun's surface.
- Maps from the National Solar Observatory for the previous 6 years are animated here to show the evolution of these magnetic field patterns. Yellow represents field coming "out" of the Sun (positive or North polarity) and blue represents field going "into" the Sun (negative or South polarity). The strip along the bottom indicates the date the map was taken by plotting the solar sunspot cycle up to that particular rotation of the Sun.
- This animation shows how active regions, places where magnetic fields erupt through the Sun's surface, decay as the field elements spread out across the surface. It shows that the latitude where activity occurs moves toward the Sun's equator as the sunspot cycle declines. Careful inspection also reveals differential rotation - regions near the equator drift to the right while regions above 30 degrees latitude drift to the left - and meridional flow - magnetic elements drift away from the equator and toward the poles.



20 years of the Sun's magnetic history is available [here](#)

Solar Magnetic Field Evolution

Fuentes electrónicas y bibliográficas

- <http://www.nasa.gov>
 - <http://www.mreclipse.com/>
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>
 - <http://www.eso.org>
 - <http://www.casca.ca>
 - <http://www.isro.org>
 - <http://www.esa.int/esaCP/index.html>
 - <http://sohowww.nascom.nasa.gov>
 - <http://www.astrored.com>
 - <http://heavens-above.com>
 - <http://www.solarviews.com>
 - <http://www.noaa.gov>
 - <http://hubblesite.org>
-
- P. I. Bakulin, E.V. Kononovich, Moroz, V.I. (1983) “Curso de Astronomía General” Editorial MIR, Moscú, URSS
 - Material archivado en el CINESPA – Planetario
- Este material fue compilado por MSc Lela Taliashvili, Escuela de Física, UCR