

Astrofísica Relativista

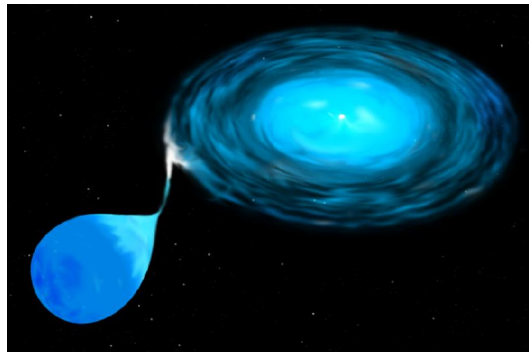
Sergio Mendoza

Instituto de Astronomía UNAM

<sergio@astroscu.unam.mx>

<http://www.astroscu.unam.mx/~sergio>

Marzo 26, 2003



† Clase disponible en:

www.astroscu.unam.mx/~sergio/fiscont



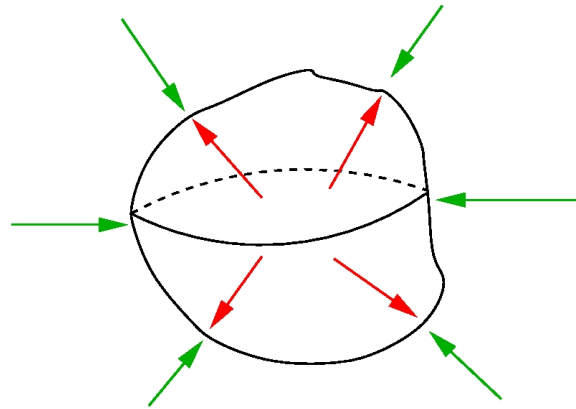
La **astrofísica** es la rama de la astronomía que estudia las propiedades físicas de los diversos objetos y/o partículas más allá de la atmósfera terrestre.

Clase 2. Astrofísica y relatividad

1 Introducción

- † La **presión** de un fluido se define como la cantidad de fuerza por unidad de área que un fluido suficientemente pequeño realiza sobre sus alrededores:

$$P \equiv \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}}. \quad (1)$$

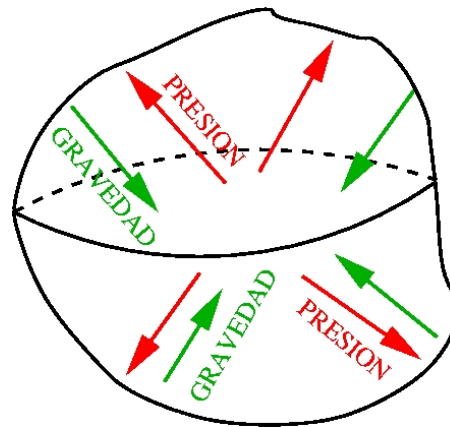


Un pedacito de fluido (gas) está en equilibrio de fuerzas con su alrededor.

- † **Principio de Pascal.** “la presión que se ejerce sobre una porción del fluido es la misma en todas direcciones y es perpendicular a la superficie sobre la que actúa”.

2 Equilibrio hidrostático

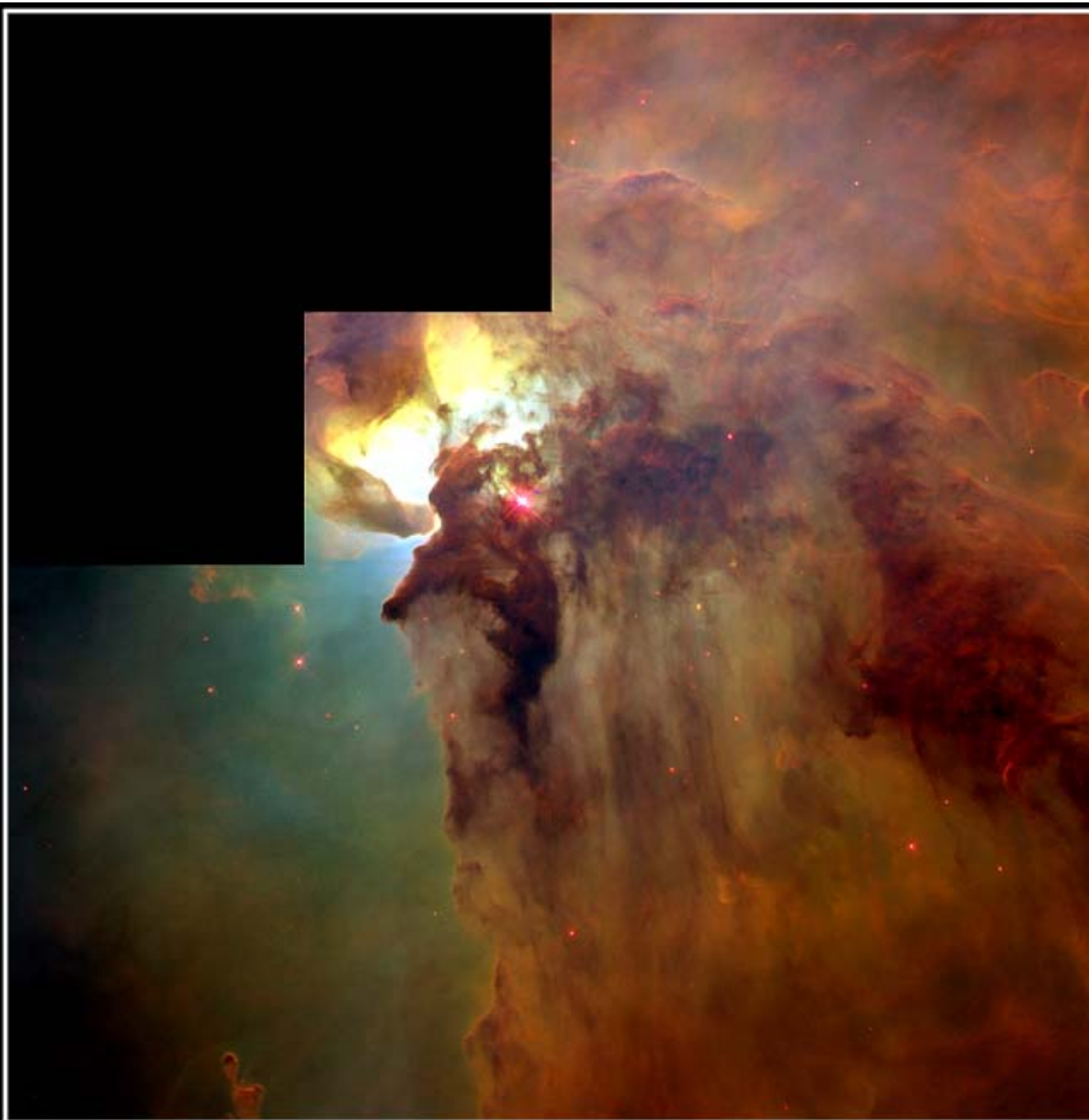
- † Equilibrio hidrostático es el equilibrio **mecánico** (balance de fuerzas) entre la presión de un objeto gaseoso (como una estrella) y su **gravedad propia**



Nube astronómica que se mantiene estable gracias a equilibrio de fuerzas de presión con las fuerzas de gravedad producidas por ella misma.



Nebulosa gigante de la laguna (m8). Tamaño $\approx 140 \times 160$ años luz. Distancia de la tierra $\approx 5\,200$ años luz.

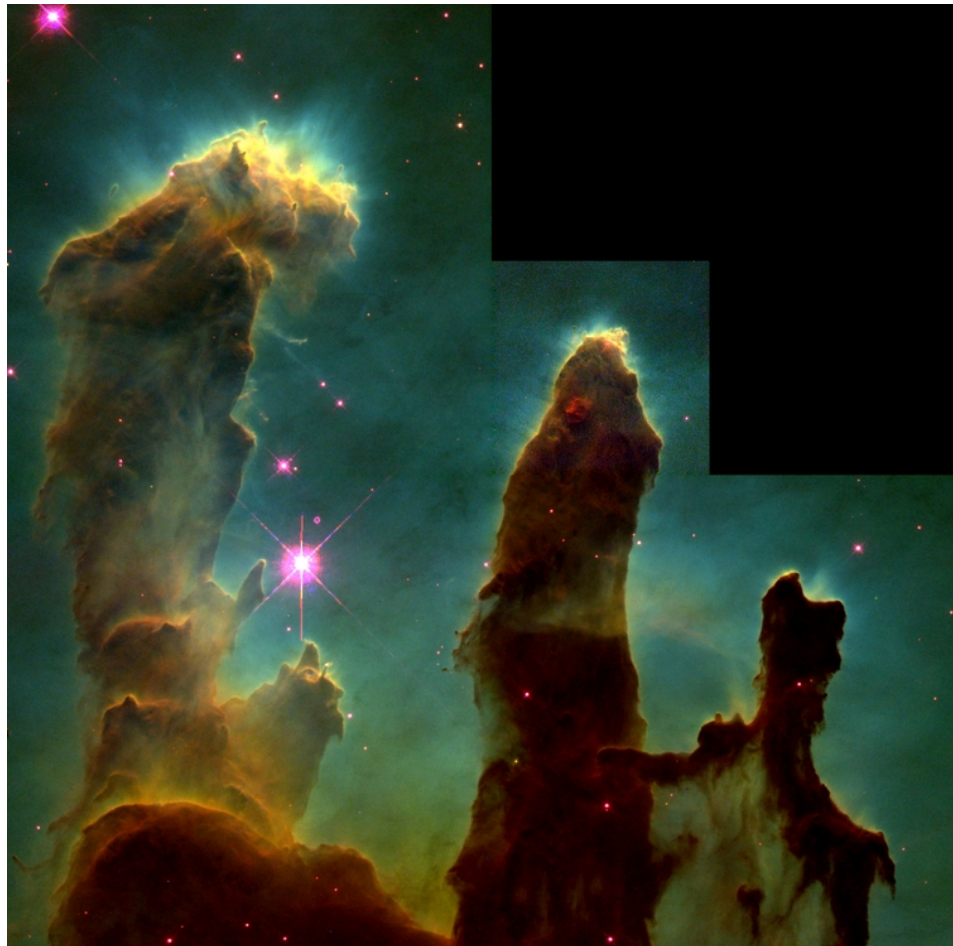


Lagoon Nebula • M8

HST • WFPC2

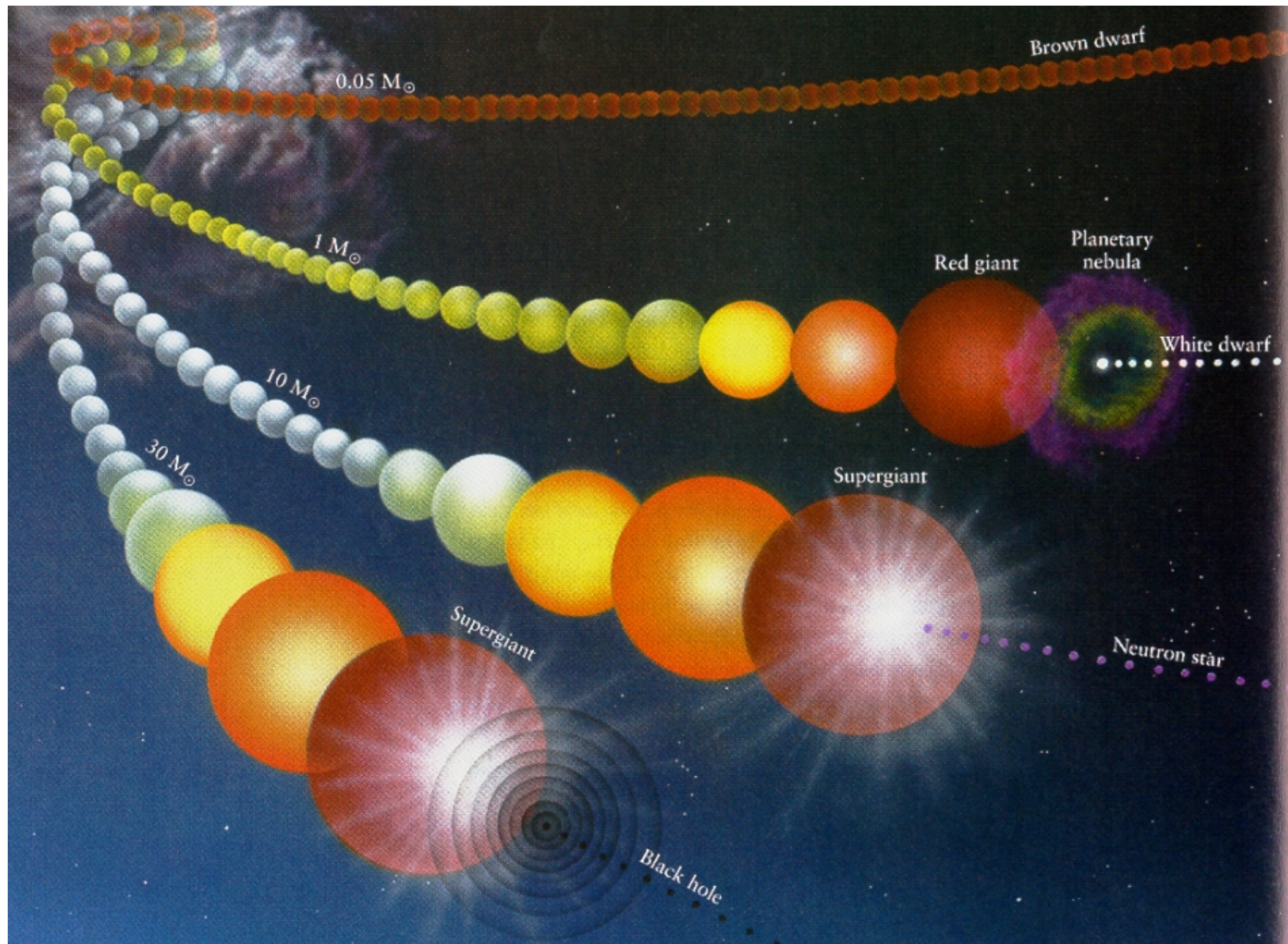
PRC96-38a • ST ScI OPO • January 22, 1997
A. Caulet (European Southern Observatory) and NASA

- † Fza de presión $>$ Fza de gravedad \Rightarrow Expansión de la nube
- † Fza de gravedad $>$ Fza de presión \Rightarrow Colapso gravitacional de la nube \Rightarrow formación de estrellas. \Rightarrow Criterio de Jeans de est. gravitacional.
- † ¿Cuántas estrellas se forman de un colapso gravitacional? ¿Detalles del colapso? no lo sabemos.



3 Evolución estelar

- † Nace(n) estrella(s) por colapso gravitacional
- † Reacciones nucleares en el interior producen fuerzas de presión extra y la estrella se mantiene estable por millones de años (dependiendo de su masa).
- † Elementos diversos se forman en el interior de la estrella: Deuterio, carbón, nitrógeno, oxígeno...
- † Después de un determinado tiempo las reacciones tienen que terminar y la fuerza de gravedad vence a la fuerza de presión.
- † En algunos casos las estrellas tienden a explotar y producen **supernovas**.
- † De aquí se forman **enanas blancas, estrellas de neutrones, estrellas de quarks o agujeros negros**.



4 Enanas blancas

- † Límite máximo de masa dado por **presión de degeneración** (PD).
- † PD se produce debido a que los fermiones (**electrones, neutrones, protones, leptones, y quarks**) obedecen el **Principio de exclusión de Pauli**.
- † Princ. exclusión: “Solamente 2 fermiones pueden estar contenidos en cada nivel de energía.
- † A medida que se empaquetan los fermiones \Rightarrow se incrementa la energía \Rightarrow electrones se mueven relativísticamente \Rightarrow **producción de presión no-térmica**.
- † Objetos **compactos** que son soportados por presión de degeneración se denominan **Enanas Blancas**.
- † Masa límite (**masa de Chandrasekhar**) que estos objetos pueden llegar a poseer es de $\sim 1.4M_{\odot}$.
- † Enanas blancas descubiertas por Chandrasekhar a sus 19 años en un viaje en barco de India a Inglaterra.

5 Estrellas de Neutrones

- † En el caso de enanas, cuando la materia es densa y cuando:

$$E_{\text{deg}} > (m_{\text{neutron}} - m_{\text{proton}}) c^2 = 1.29 \text{ MeV}$$

⇒ Decaimiento β inverso ocurre a $\rho \sim 10^{10} \text{ kgm}^{-3}$.

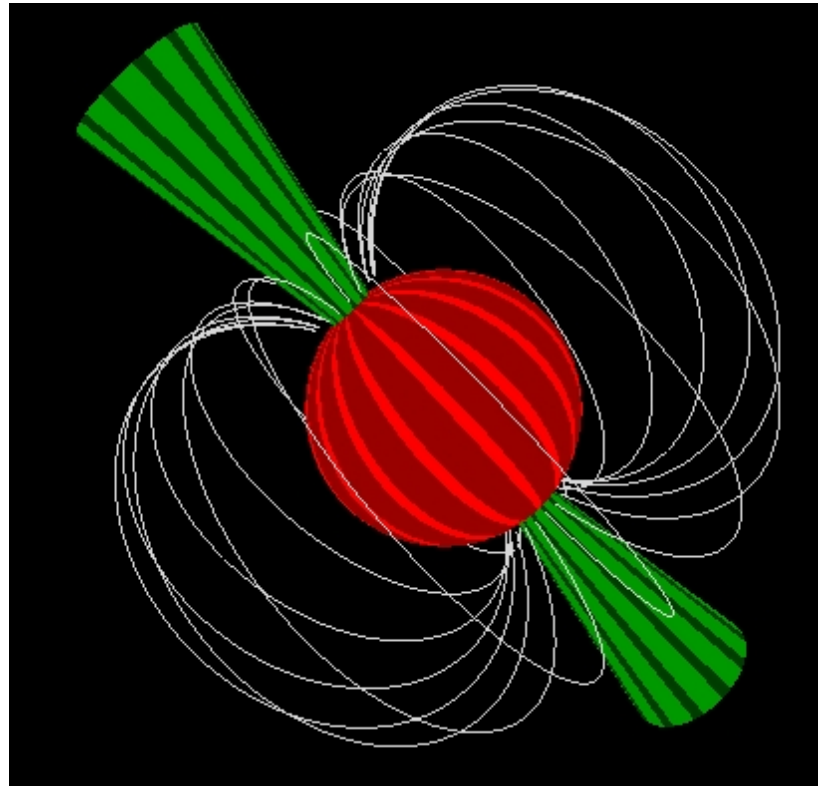


⇒ producción de neutrones

- † ⇒ Presión degenerada de neutrones importante.
- † Masa máxima de **estrellas de neutrones** $\approx 8 M_{\odot}$.
- † Estrellas descubiertas por el soviético Landau.

6 Pulsares

- † Estrellas de neutrones se enfrían y poseen campos magnéticos fuertes ($\sim 10^{13}$ veces el campo mag de la tierra).
- † Periodo de rotación P : $1.6 \text{ ms} \lesssim P \lesssim 5 \text{ s}$.
- † \Rightarrow Emiten radiación sincrotrónica (radio) por pulsos.
 \Rightarrow Se observan **Pulsares** (Bell & Hewish).
- † Video de Malcolm Longair y pulsar.



7 Supernovas

- † Estrellas masivas ($\gtrsim 8 M_{\odot}$) forman estrellas de neutrones al final de su evolución mediante un colapso gravitacional.
- † \Rightarrow Producción nuclear de acero en el núcleo.
- † \Rightarrow Pérdida de energía que lleva a un colapso.
- † \Rightarrow Incremento de densidad hasta llegar a **densidades nucleares** y así, núcleo rebota.
- † \Rightarrow Produce una explosión, denominada una **supernova** (Tipo II).
- † Materia es arrojada a velocidades $\sim 10\,000\text{ km/s}$
- † Luminosidad de la explosión es $\sim 10^9 L_{\odot}$.
- † En los restos sobrantes de la explosión queda una **estrella de neutrones** o un **agujero negro**.
- † Supernovas (tipo I) ocurren también cuando una enana blanca acreta (atrae) tanto gas de su alrededor de tal forma que su masa rebasa la masa de Chandrasekhar. Aquí no hay remanente central.



Supernova 1054 observada por Teotihuacanos y observación reciente -Nebulosa del Cangrejo (abajo).

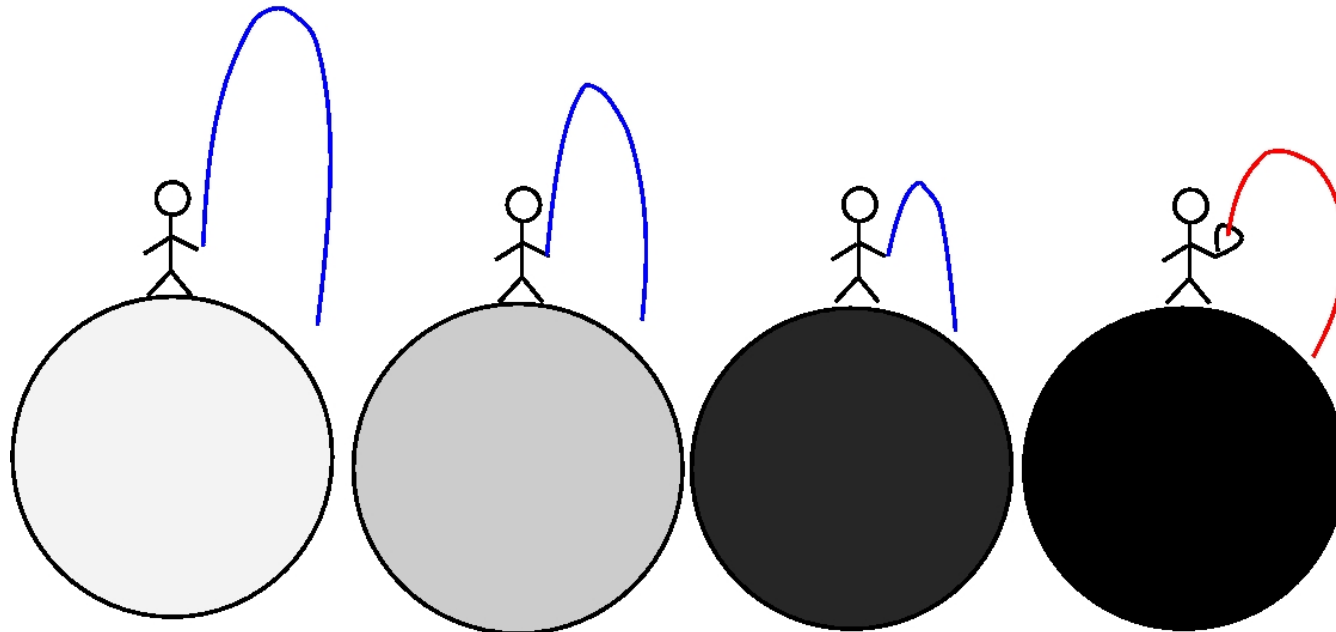
- † Cuando se tienen objetos mas aya de $\sim 20 M_{\odot}$
entonces no hay ninguna fuerza que los pueda detener
 \Rightarrow formación de un

AGUJERO NEGRO



8 Agujeros negros

- † Rev. John Mitchell 1783. Geólogo y astrónomo británico, padre de la sismología. Ideo concepto de estrellas binarias, inventó balanza de torsión, ideó la ley del cuadrado inverso de repulsión de cargas, comenzó con el experimento de medir la masa de la tierra con la balanza (terminado por Cavendish).
- † Hipótesis de Mitchell: la radiación electromagnética es atraída por la fuerza gravitacional.



† Velocidad de escape:

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GmM}{r} = 0 \quad (2)$$

Si $v = c$ entonces: $2GM/rc^2 = 1$. Es decir:

$$r_s \equiv \frac{2GM}{c^2} \quad (3)$$

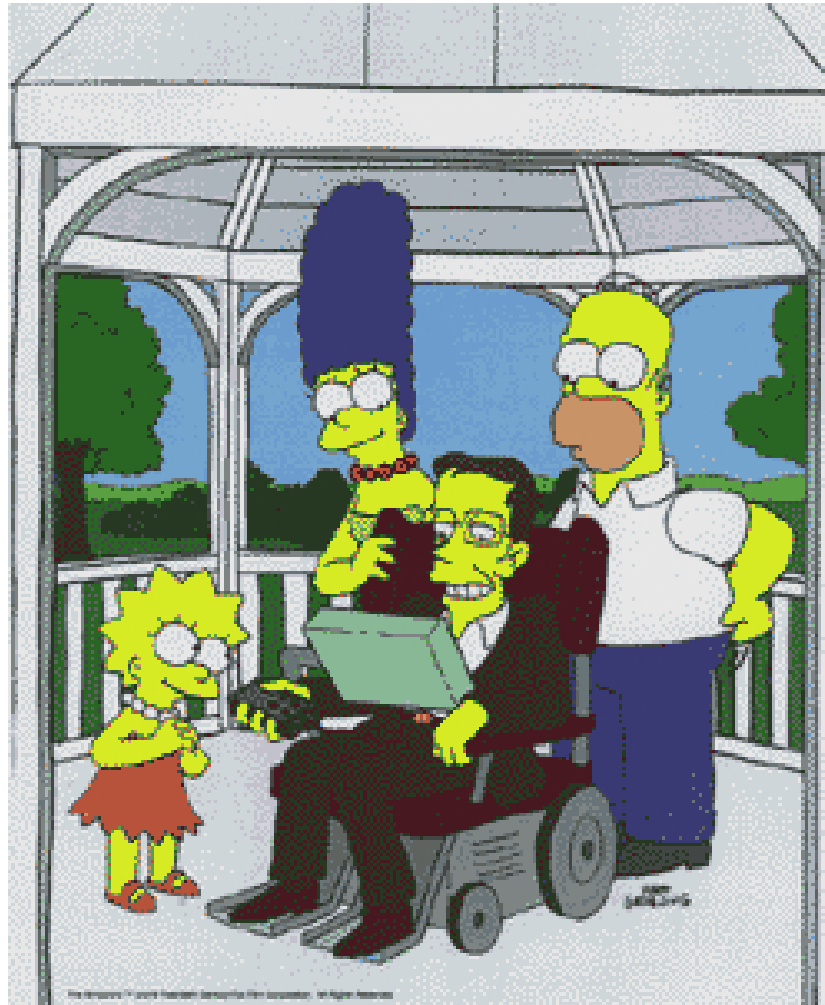
† En un objeto de masa M con radio menor a r_s , ni siquiera la luz puede escapar.

† John Wheeler bautizó a estos objetos como: agujeros negros (1960's)

† Negro porque ningún observador externo puede observarlos.

† Agujero porque ni siquiera la luz es capaz de escapar a la gran atracción gravitacional.

- † Tipos de agujeros negros:
- (i) Unas cuantas masas solares
 - (ii) Supermasivos (masas $\sim 10^9 - 10^{12} M_{\odot}$)
 - (iii) Agujeros negros primordiales (masas $< 10^{12} \text{kg}$)



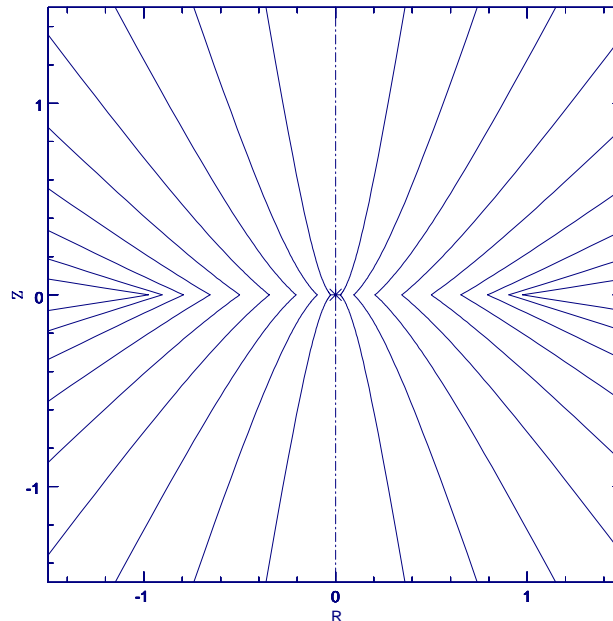
9 Acreción

- † Objeto gravitacional compacto sumergido en gas \Rightarrow gas es atraído (**acreción**) hacia el objeto gravitacional.
- † Materia puede ser acretada si:

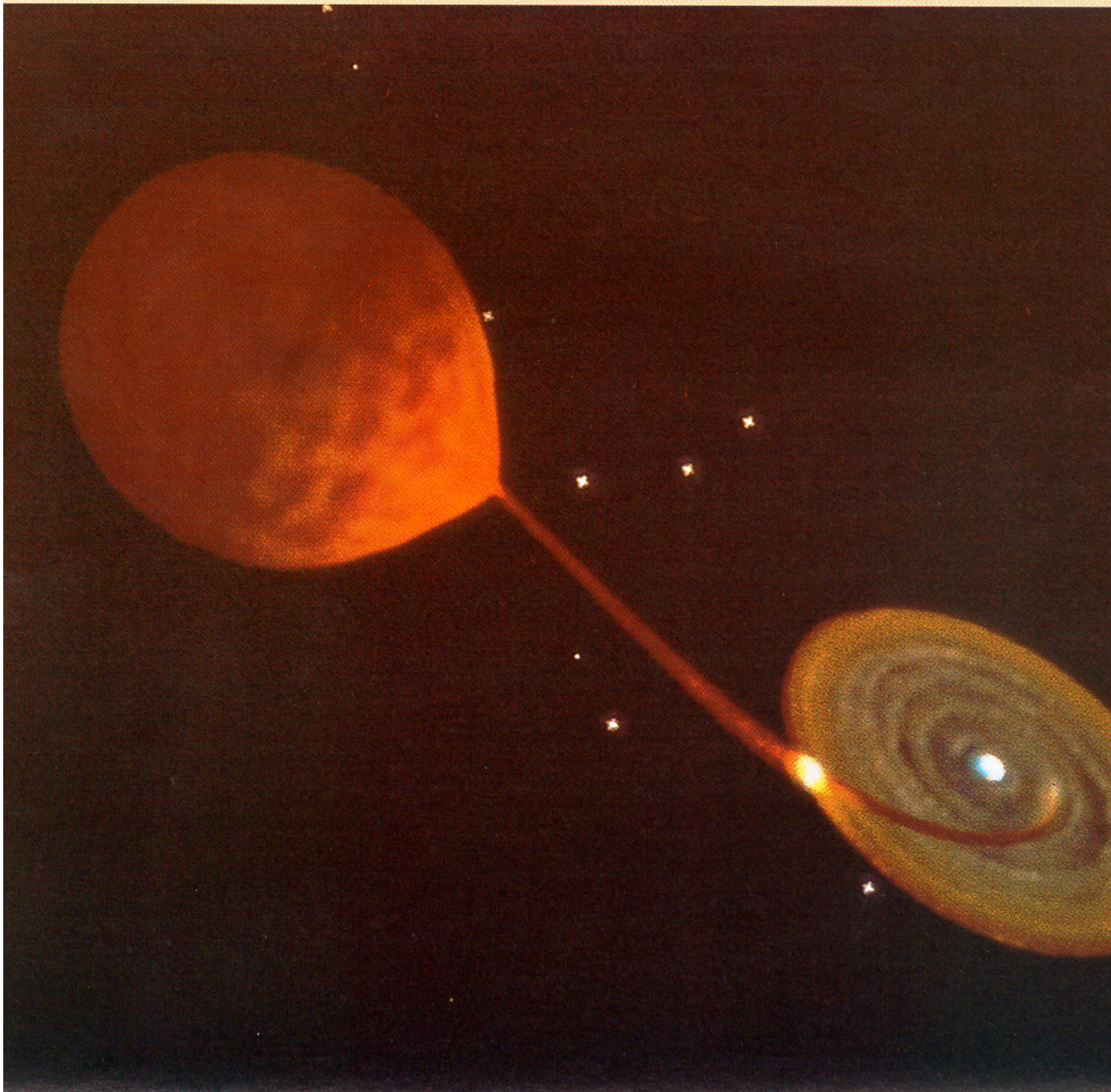
$$\frac{1}{2}v^2 - G\frac{M}{R} = 0. \quad (4)$$

Así, conoce R (radio de acreción).

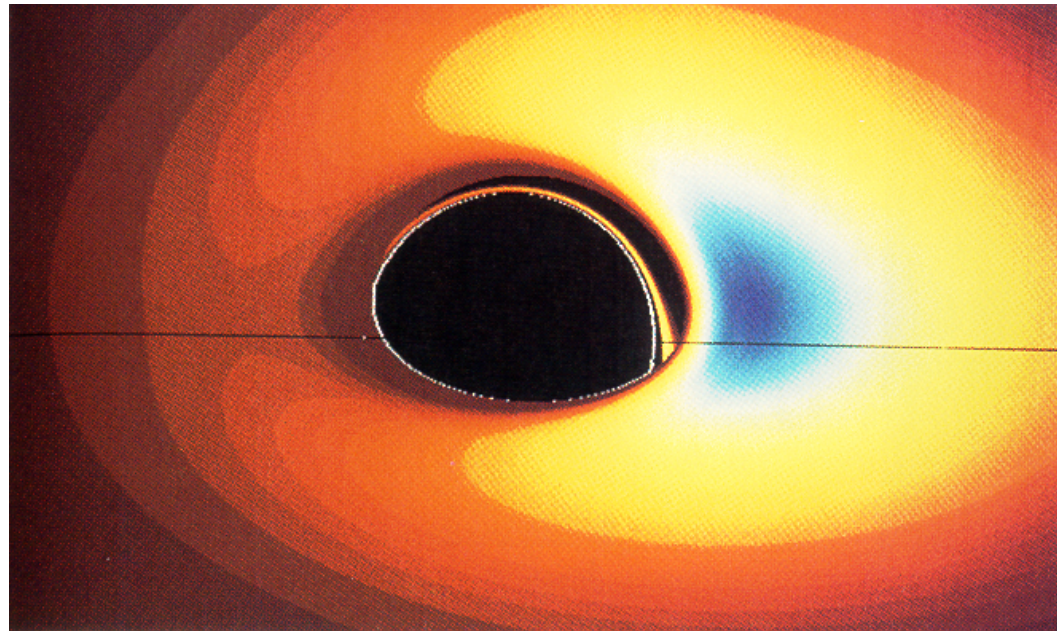
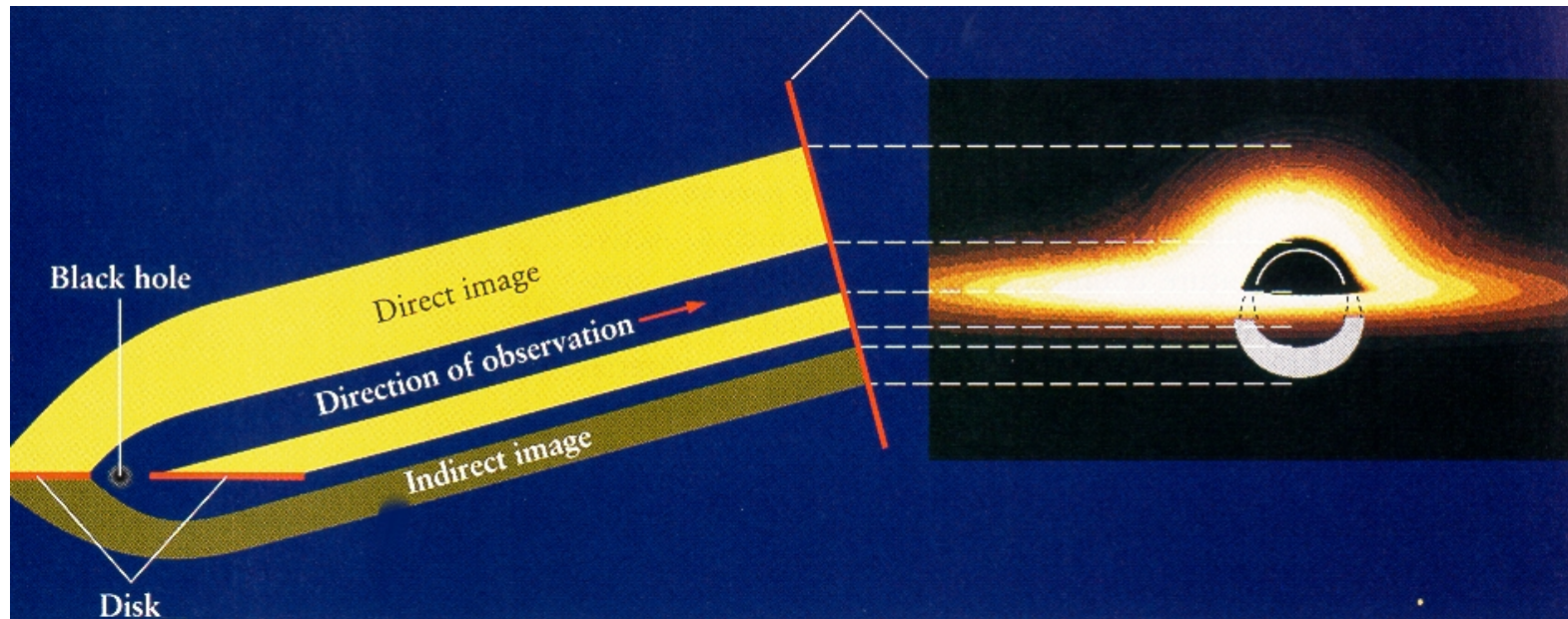
- † Acreción + rotación \Rightarrow disco de acreción



- † Acreción también puede arrastrar a compañera de sistema binario



- † Disco de acreción alrededor de AN \Rightarrow radiación proveniente del disco sufre deflexiones.



† ¿Deflexiones?

† La deflexión de rayos de luz también sirve para ver objetos muy lejanos en el universo mediante el efecto de **lentes gravitacionales** (la luz proveniente de una(s) galaxia(s) lejanas es curvada y amplificada por la gravedad de un cúmulo de galaxias en la línea de visión).



Gravitational Lens in Abell 2218

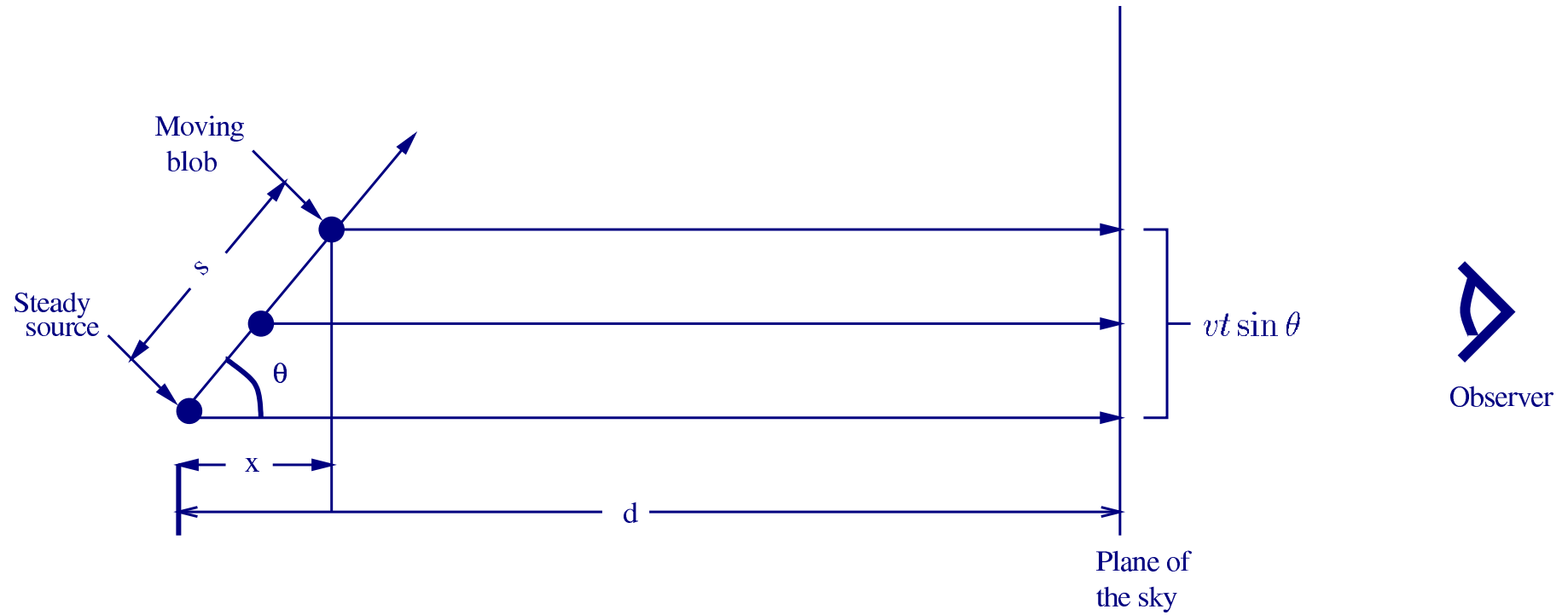
HST · WFPC2

PF95-14 · ST ScI OPO · April 5, 1995 · W. Couch (UNSW), NASA

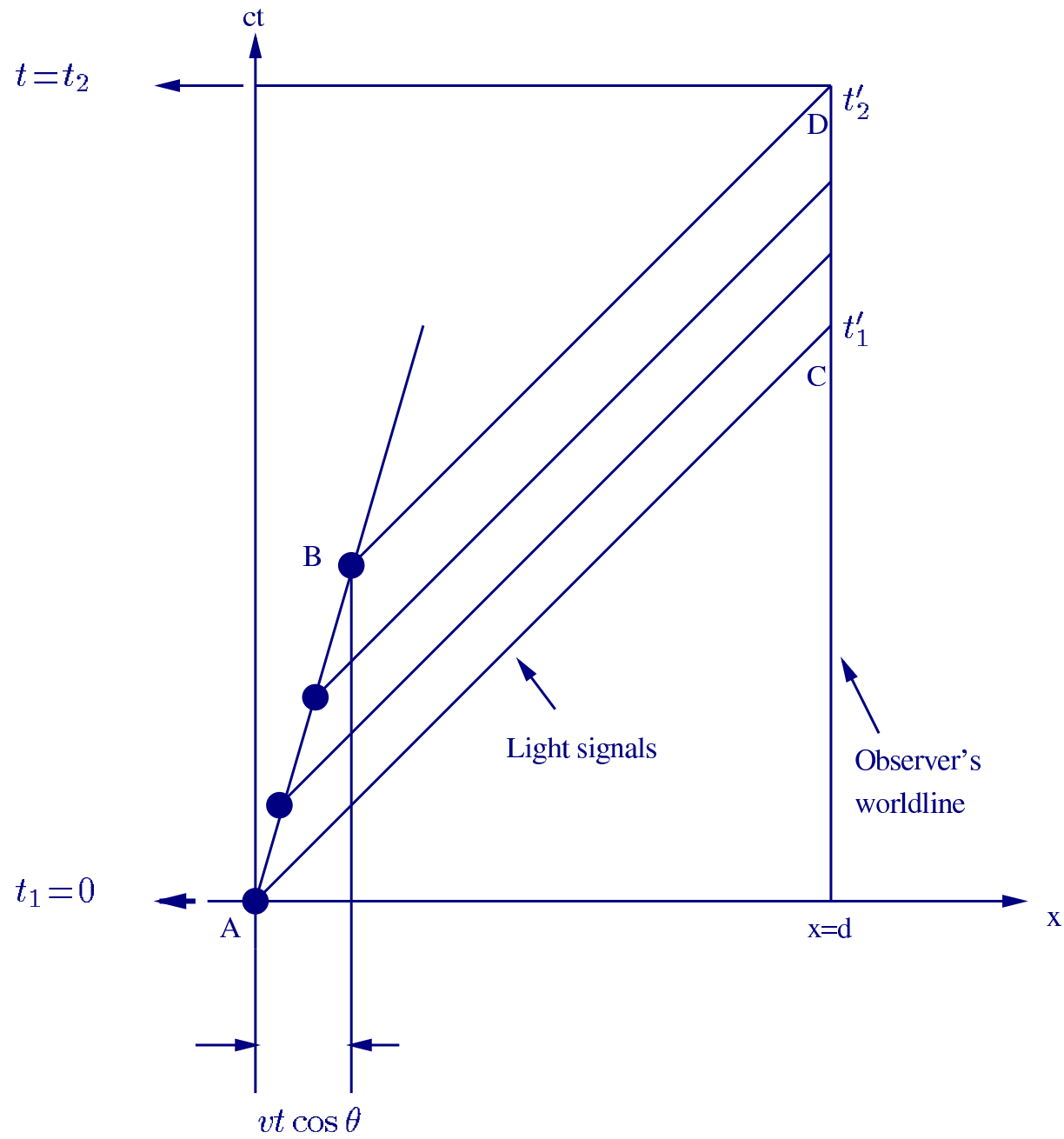
10 Movimientos superlumínicos

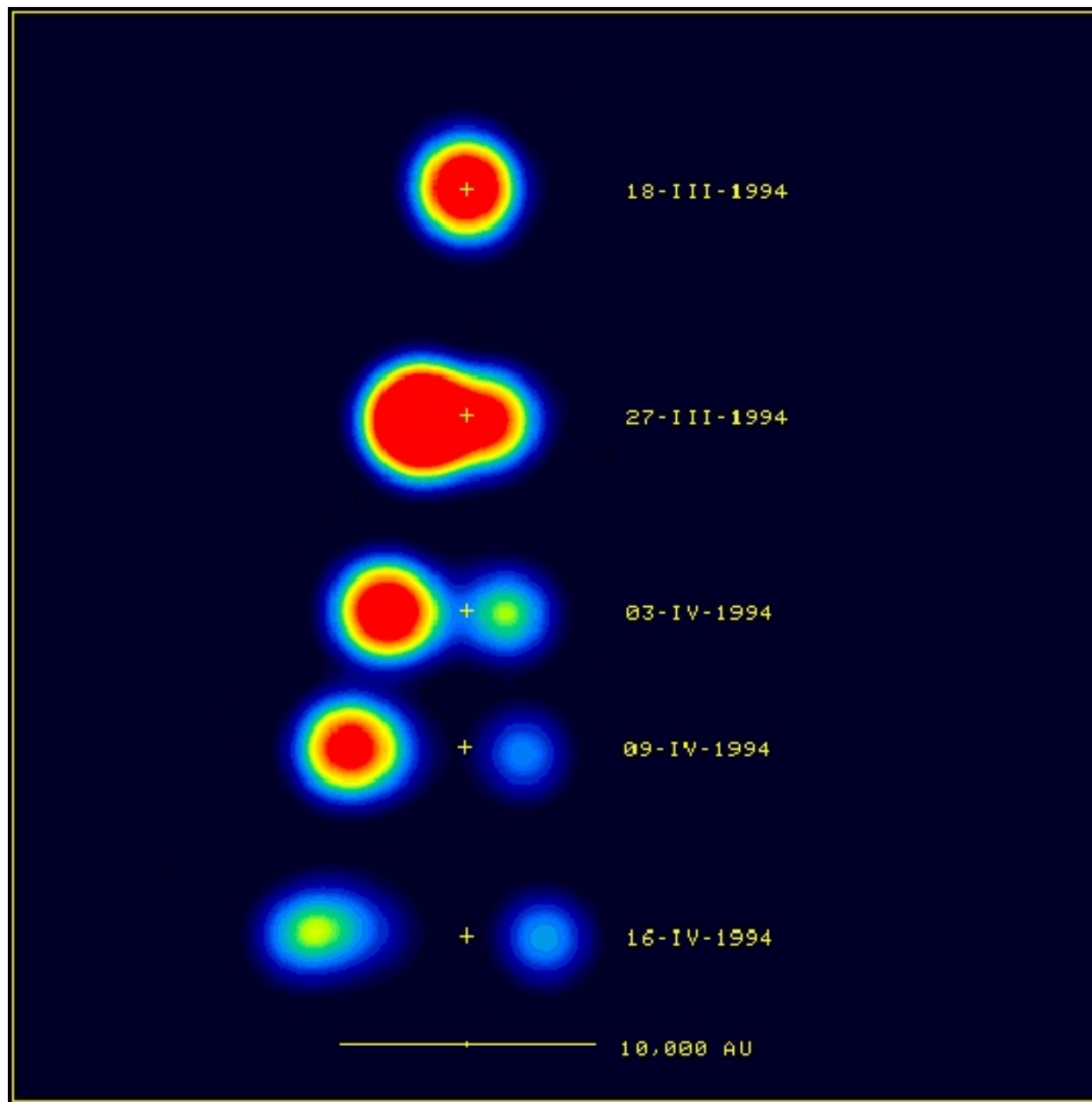
- † Predicción teórica de Martin Rees (Astrónomo Real).
- † Existen fuentes en el cielo que se mueven aparentemente a velocidades mayores que la de la luz.
- † Problema: astrónomos miden velocidad como distancia entre tiempo.
- † Solución: un problema de proyección en el cielo debido a movimientos relativistas ($v \sim 0.99c$).

- † Imaginemos un objeto que se mueve con respecto a una fuente fija el plano del cielo.



† Diagrama espacio-tiempo del problema superlumínico.

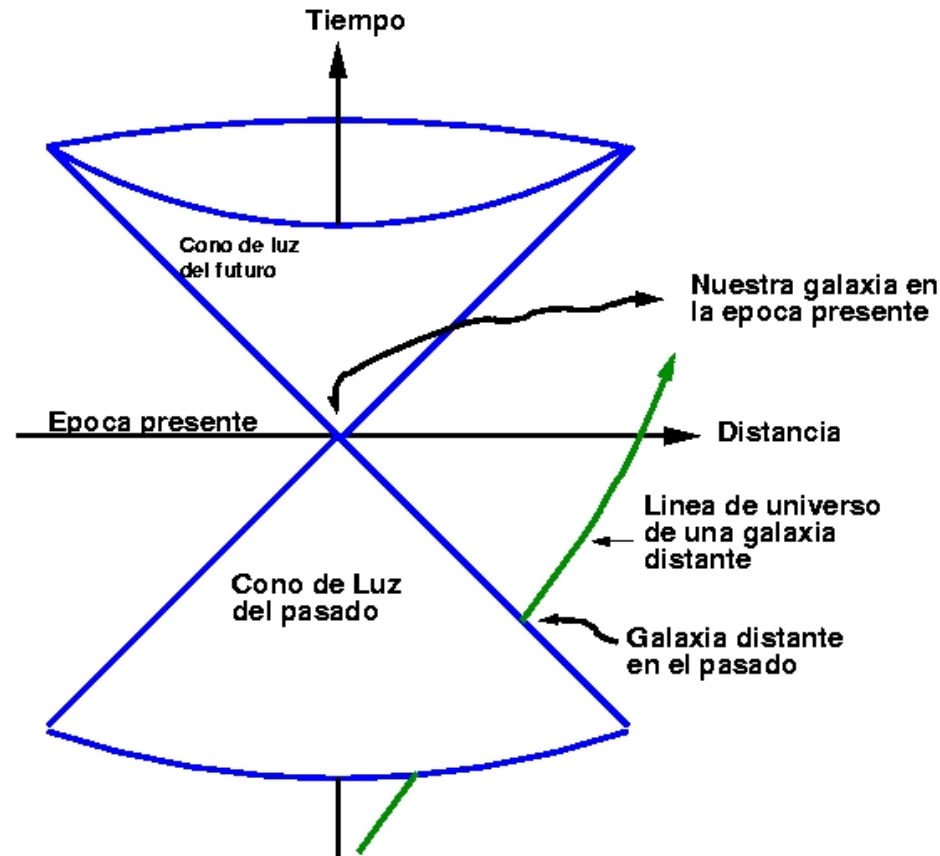




Observaciones de la fuente superlumínica GRS 1915+105 por L.F. Rodríguez (IAUNAM)

11 Cosmología

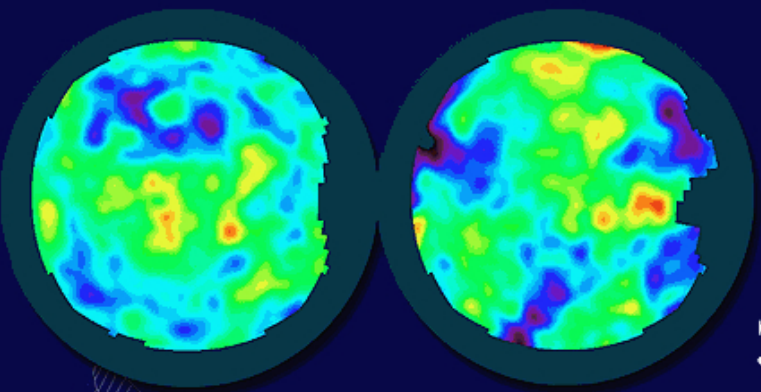
- † Principio cosmológico: “Vivimos en un lugar común y corriente del universo”
- † Consecuencias: homogeneidad e isotropía
- † Recesión de galaxias (universo no estático) -ley de Hubble.



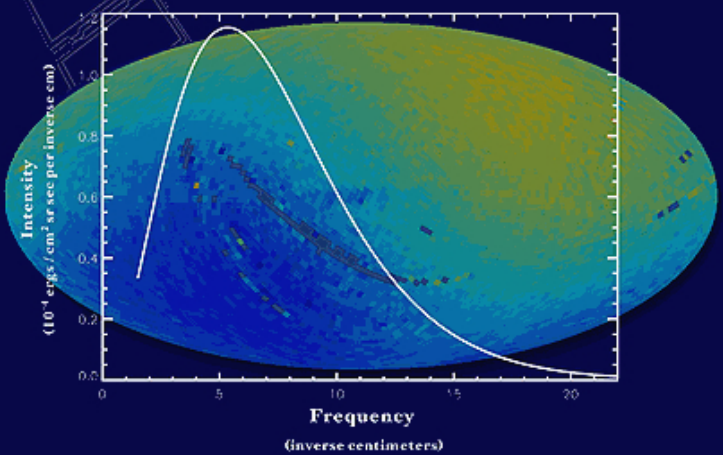
- † Observador fundamental es aquel que viaja con el flujo de Hubble, por ejemplo nosotros.
- † La dinámica de las galaxias en expansión produce una “presión” y esta contrarresta la posibilidad de que la gravedad haga colapsar al universo.
- † \Rightarrow Si las únicas fuerzas que existen son las de presión y gravedad el universo tiene un final como sigue:
 - (i) Universo abierto ($k > 0$) –Hiperbólico– (la presión gana a la gravedad) \Rightarrow expansión por siempre.
 - (ii) Universo cerrado ($k < 0$) –Parabólico– (la gravedad gana a la presión) \Rightarrow recolapso.
 - (iii) Universo plano ($k = 0$) –Plano– (la presión gana a la gravedad) \Rightarrow expansión por siempre.
- † Existen fuerzas de **antigravedad**. Se denomina **quintaesencia**.

Cosmic Microwave Background

Anisotropy

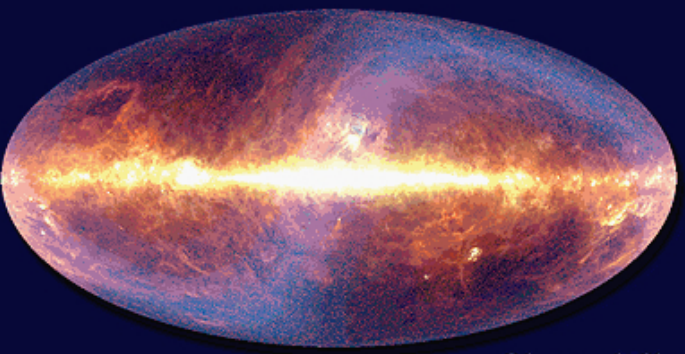


Spectrum

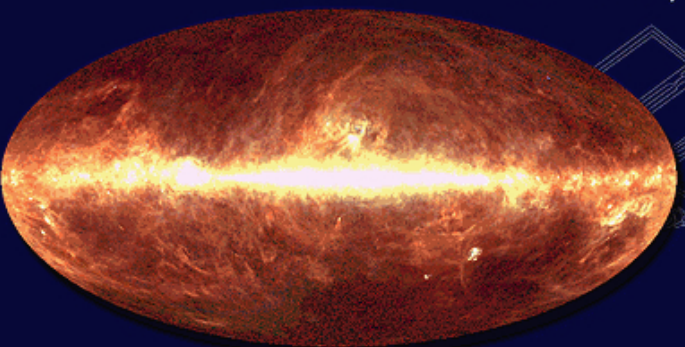


the COBE Legacy

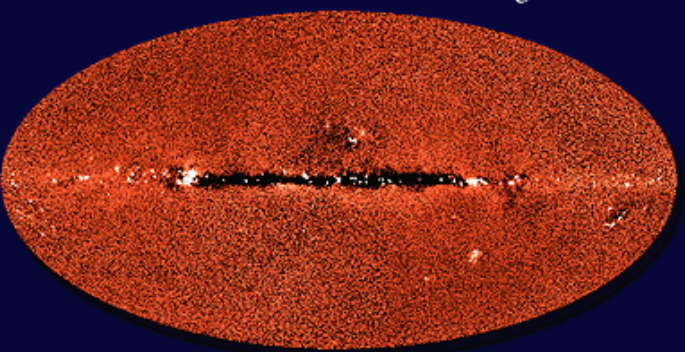
Observed Sky



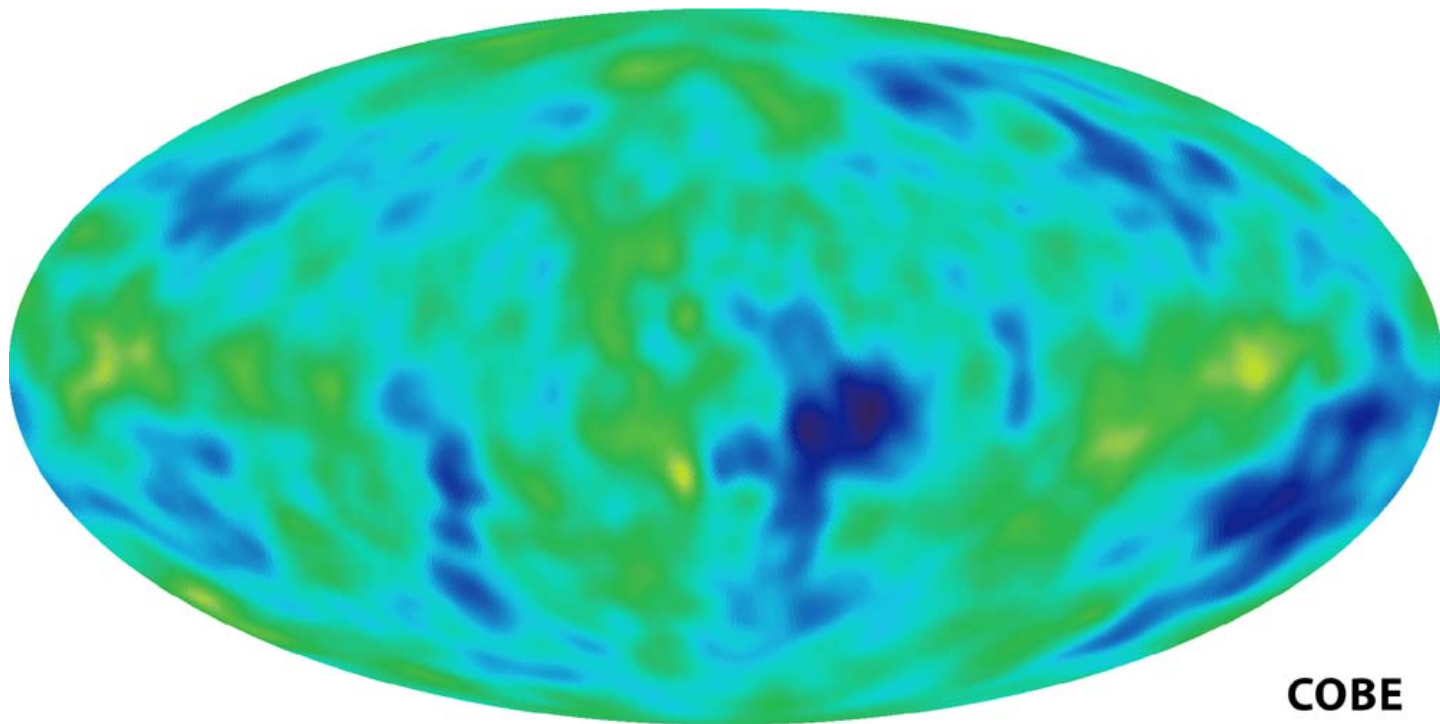
Zodiacal Light Removed



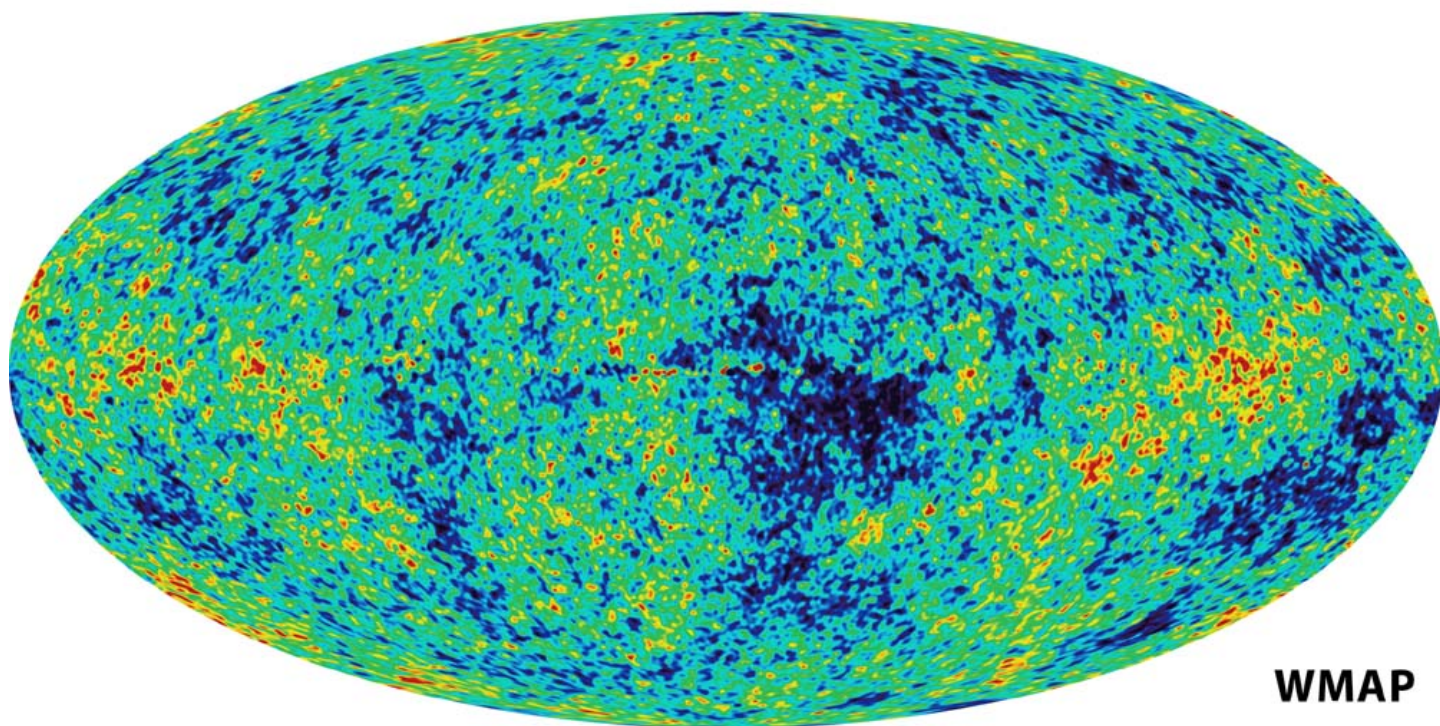
Extragalactic Background



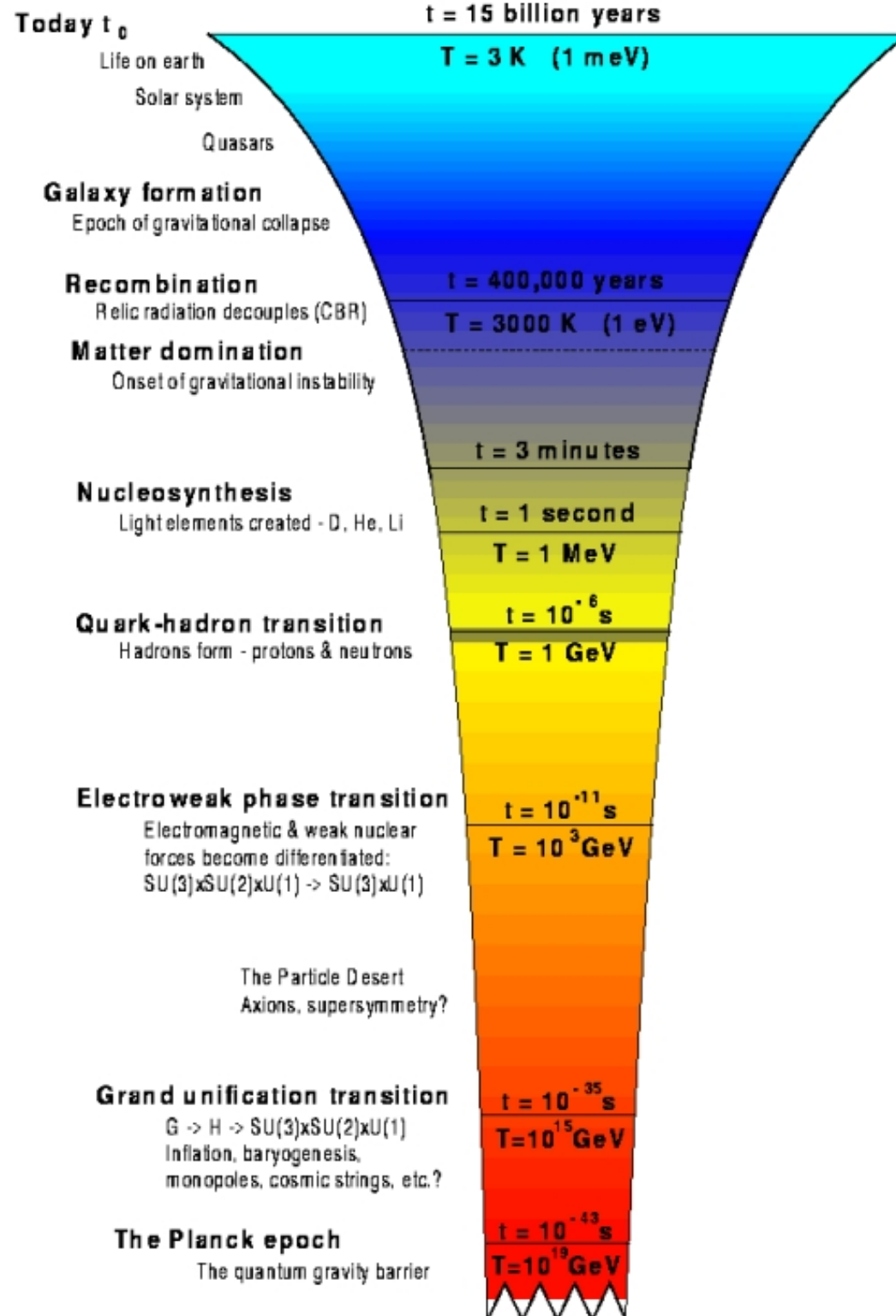
Diffuse Infrared Background



COBE



WMAP



- † Fenómenos del universo explicados con física terrestre
- † ¿Nueva física? ¡Quizás! Todo depende de si las observaciones recientes con respecto a las “constantes” de la física son ciertas. . . ¿Cómo sabemos que las constantes como G , \hbar , c , e , etc. son de verdad constantes?
- † Solo el tiempo dirá. . .

12 Bibliografía

† Para antes de dormir:

- * Longair, M.S., *Our Evolving Universe*, 1996, 1era edición, Ed. Cambridge University Press.
- * Thorne, K.S., *Black Holes and Time Warps (Einstein's Outrageous Legacy)*, 1994, 1era edición, Ed. Norton
- * Begelman, M & Rees, M *Gravity's fatal attraction : black holes in the universe*, 1998, 1era edición, Ed. Freeman
- * Hawking, S. *The universe in a Nutshell*, 2001, 1era edición, Ed. Bantam

† Avanzados:

- * Landau, L.D. & Lifshitz, E.M., *The Classical Theory of Fields*, Course of Theoretical Physics, vol II, 1994, 4ta edición, Ed. Pergamon
- * Misner, Thorne & Wheeler, *Gravitation*, 1995, 9na edición, Ed. Freeman.