
Las Estrellas de Neutrones

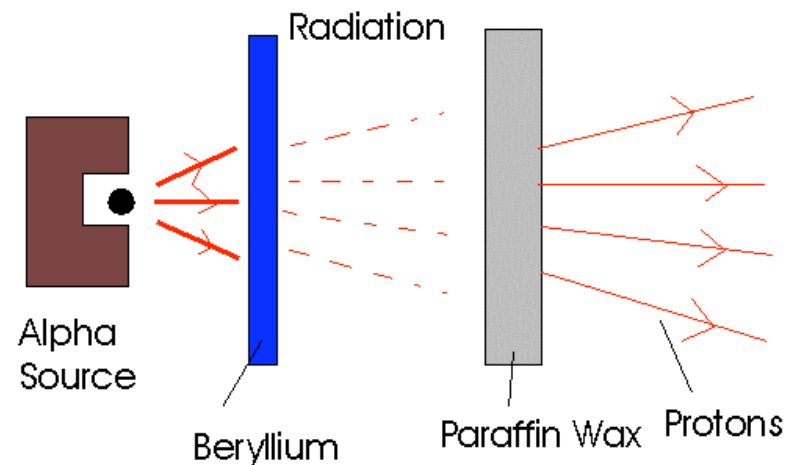
Juan Antonio Miralles
Departament de Física Aplicada
Universitat d'Alacant

Primeras Hipótesis

Descubrimiento del neutrón: James Chadwick (1932)



- *Partícula subatómica
- *Masa similar a la del protón
- *Sin carga eléctrica
- *Constituyente de los núcleos atómicos
- *Explica propiedades de los núcleos atómicos



Primeras Hipótesis

Baade y Zwicky acuñan el término Estrella de Neutrones (1934)



Fritz Zwicky

Walter Baade

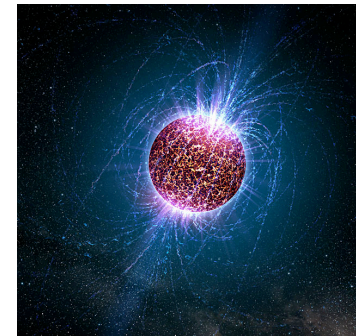
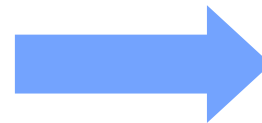
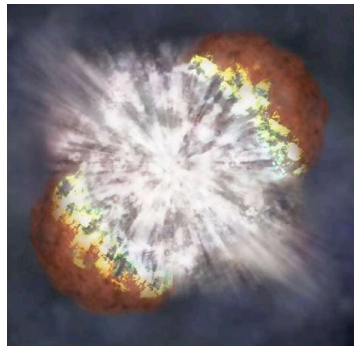
COSMIC RAYS FROM SUPER-NOVAE

BY W. BAADE AND F. ZWICKY

MOUNT WILSON OBSERVATORY, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON AND CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, PASADENA

Communicated March 19, 1934

In addition, the new problem of developing a more detailed picture of the happenings in a super-nova now confronts us. With all reserve we advance the view that a super-nova represents the transition of an ordinary star into a *neutron star*, consisting mainly of neutrons. Such a star may

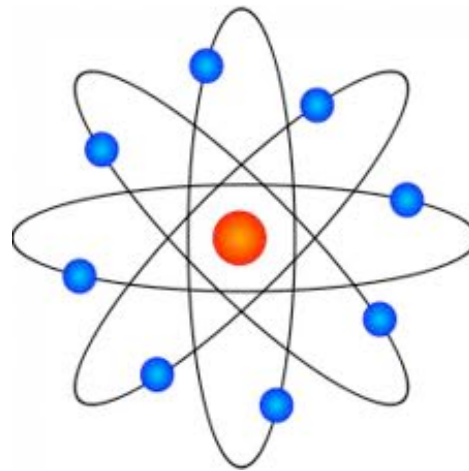
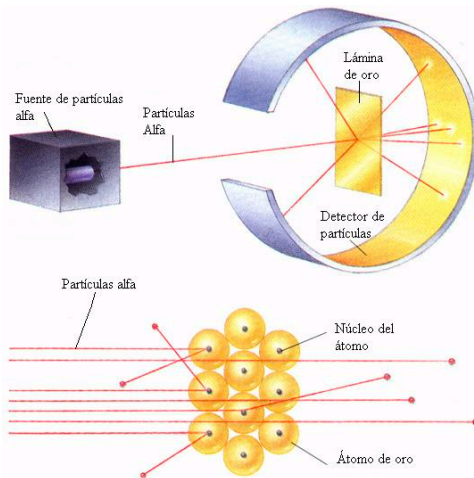


El Átomo

Ernest Rutherford (1910)



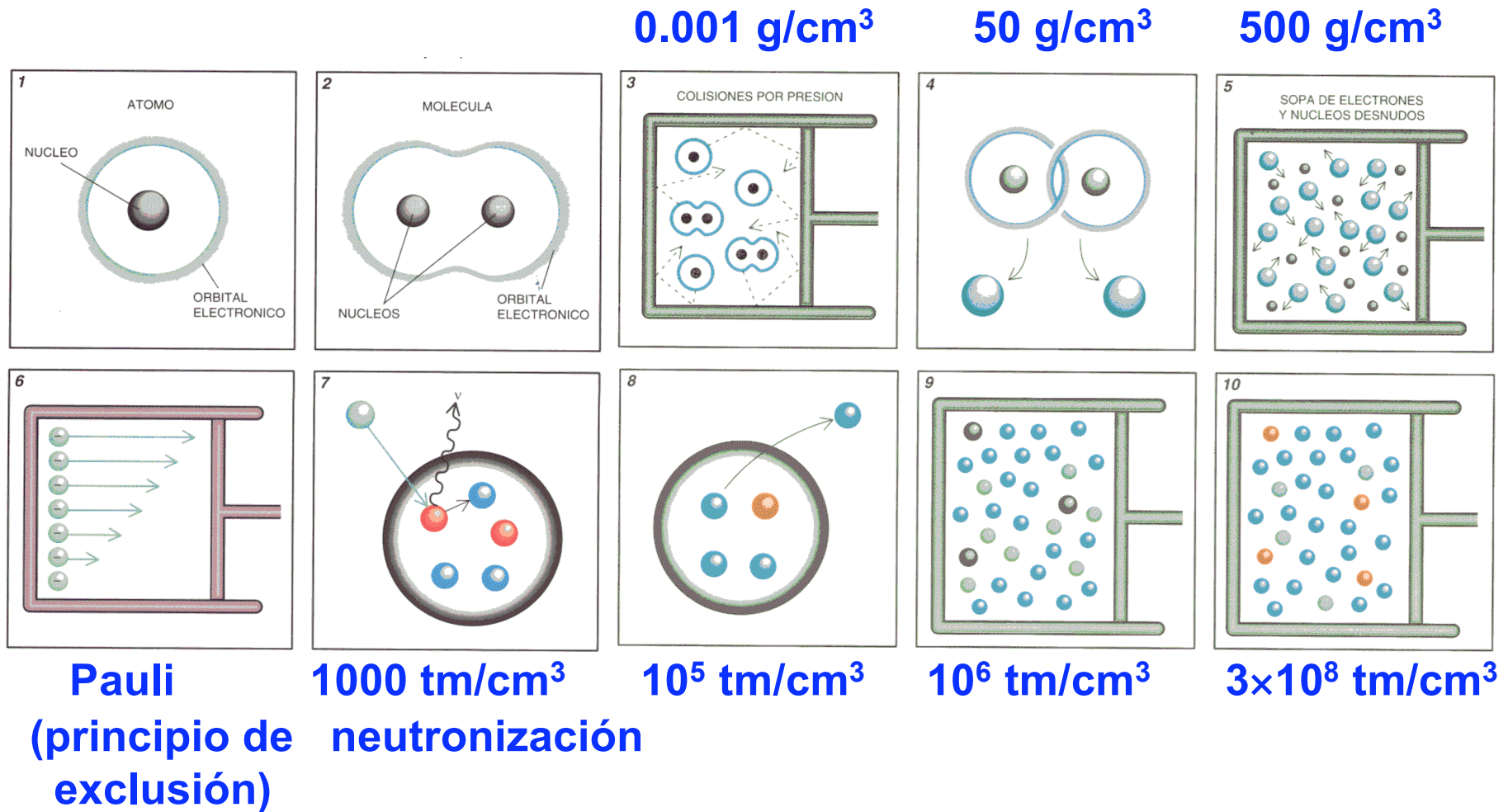
- * El átomo está formado por electrones y protones
- * La carga positiva (protones) radica en el núcleo
- * Los electrones orbitan alrededor del núcleo
- * El 99.95 % de la masa está en el núcleo
- * El tamaño del núcleo es entre 10000 y 100000 veces menor que el del átomo
- * La materia ordinaria está prácticamente vacía



Con el descubrimiento del neutrón el modelo atómico se modifica incluyendo neutrones en el núcleo

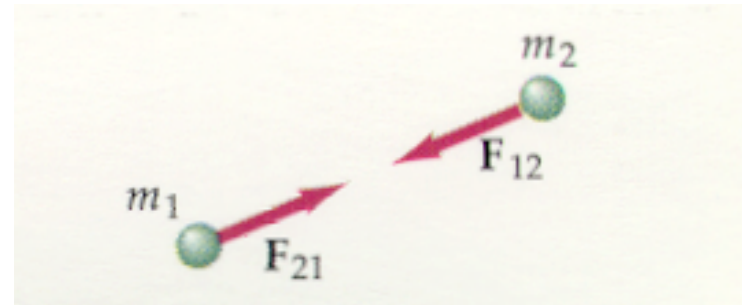
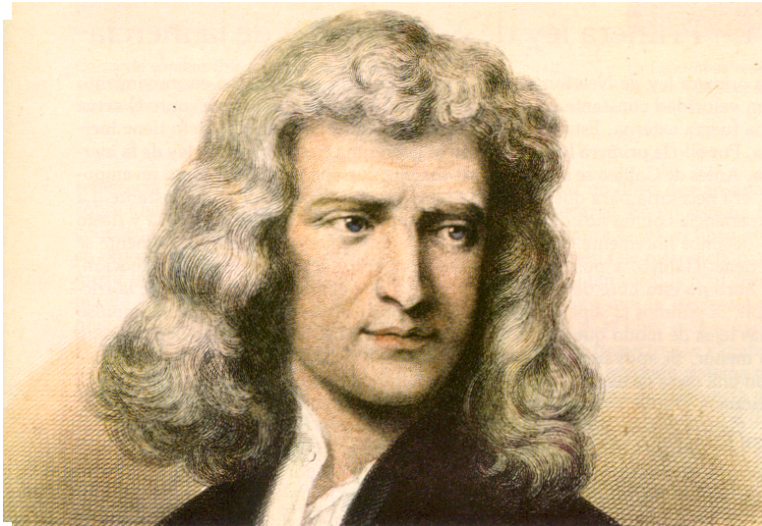
Átomos y núcleos

De materia ordinaria a materia superdensa



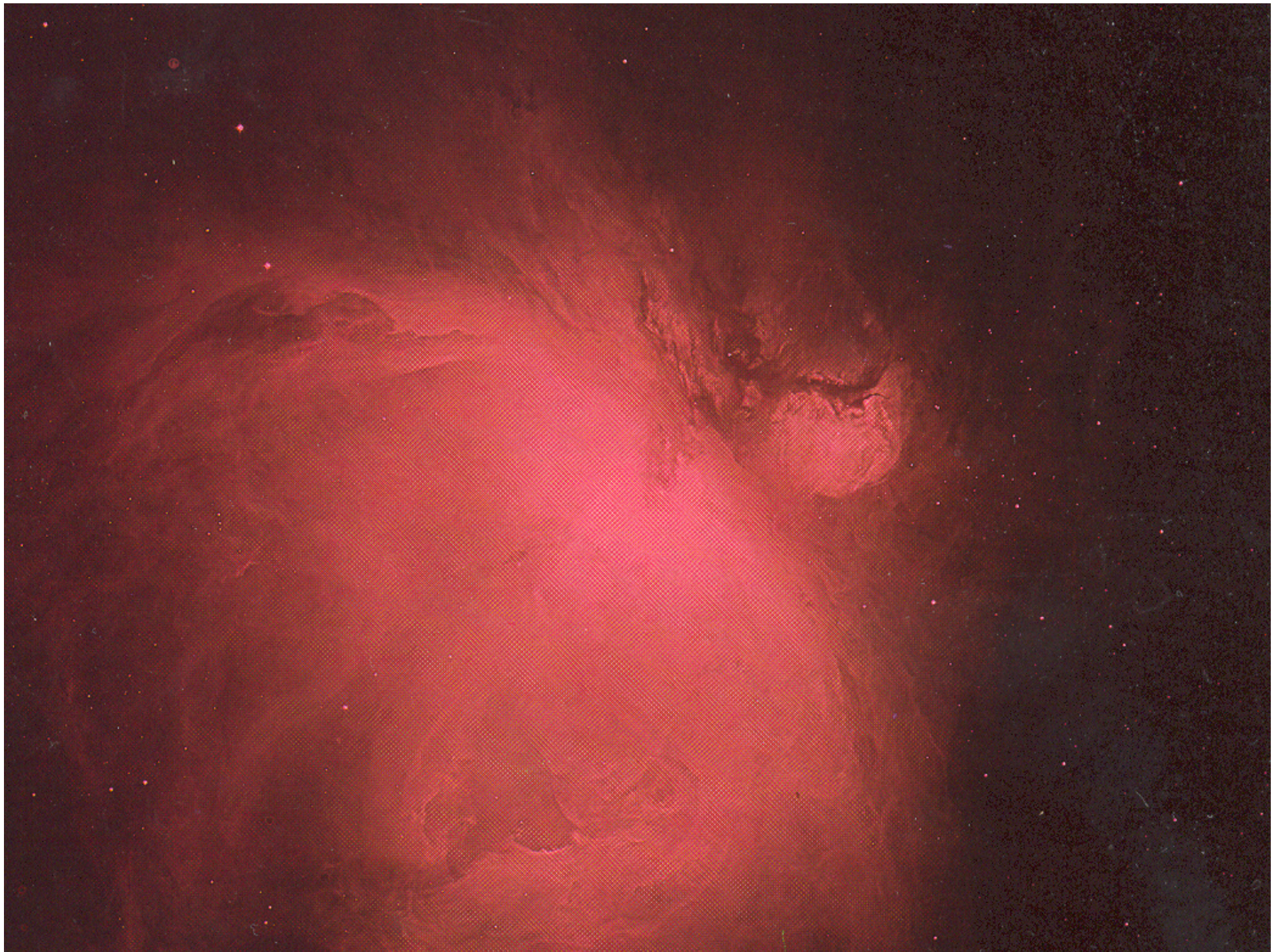
Ley de gravitación universal

Isaac Newton (1687)



Universalidad:
Movimiento de caída de una manzana
Movimiento de los planetas





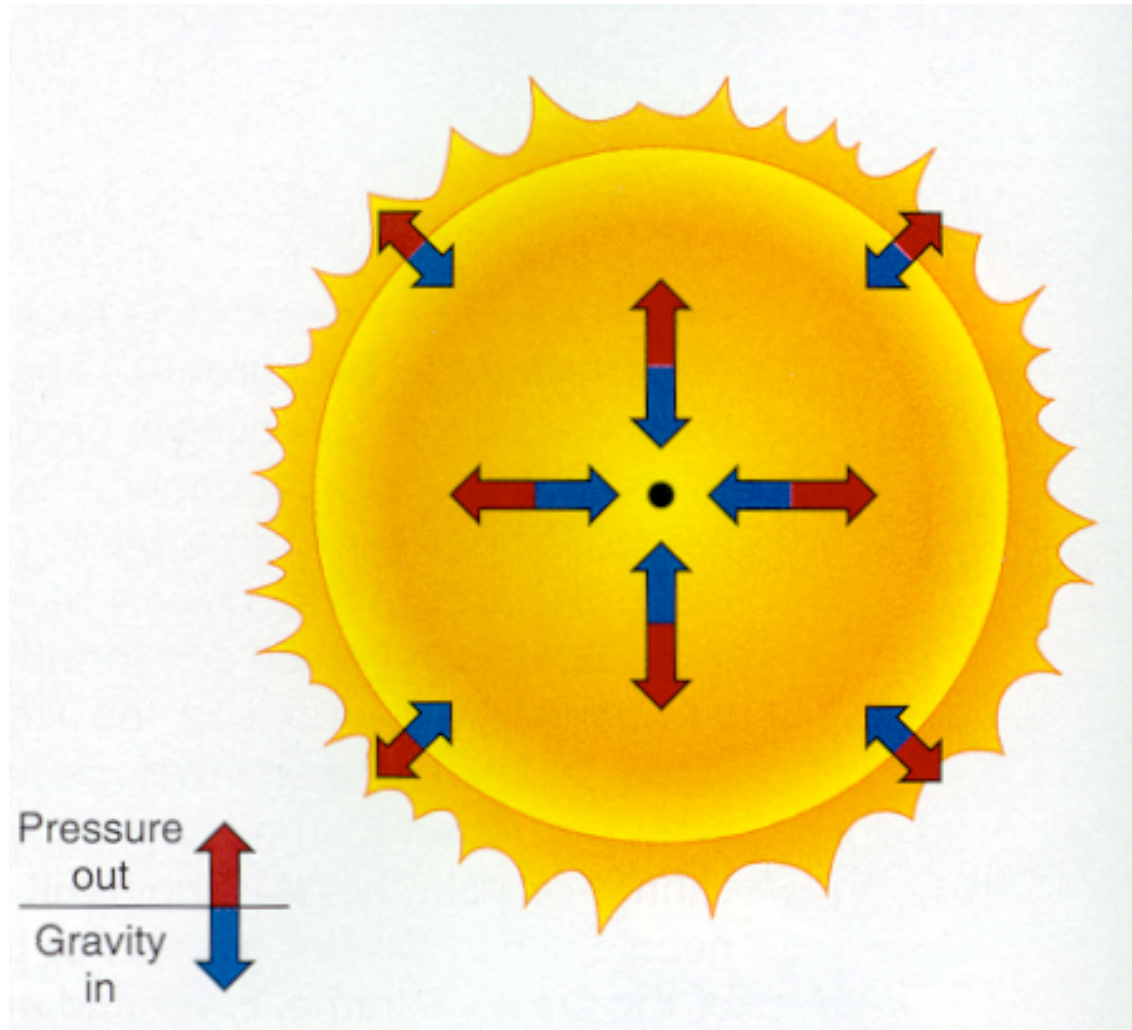
Cúmulo estelar

Pléyades (constelación de Tauro)

400 a.l., 500 miembros, 50 millones de años



Balance de fuerzas en una estrella

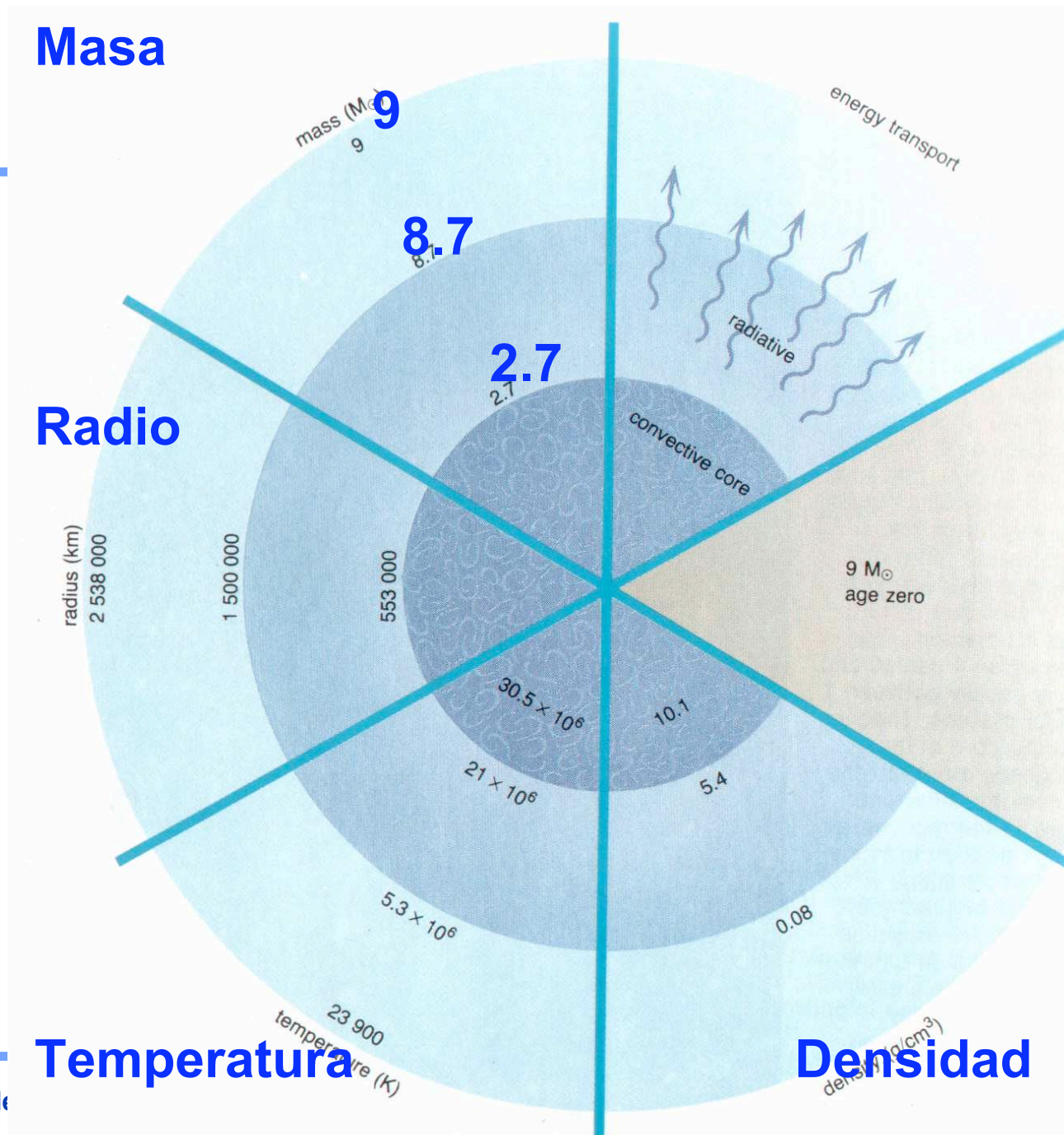


Masa

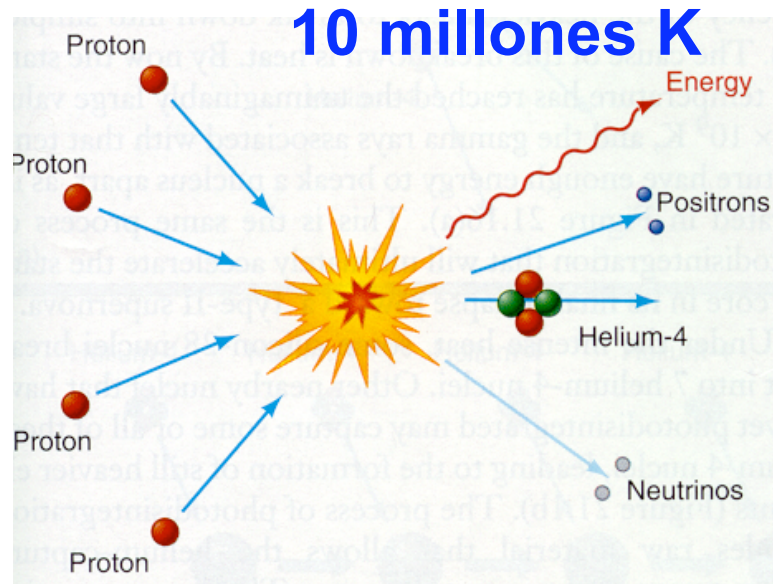
Radio

Temperatura

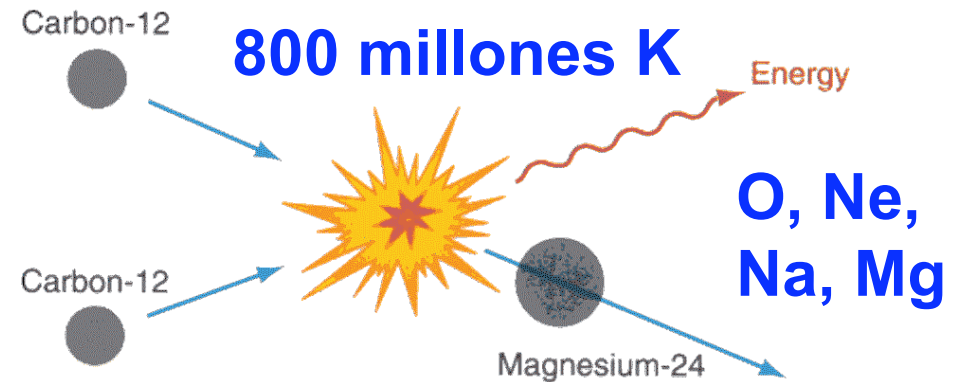
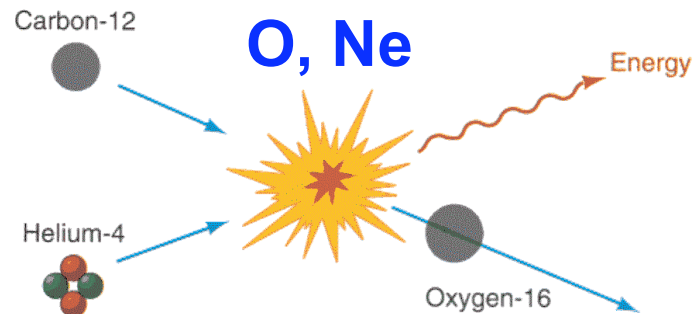
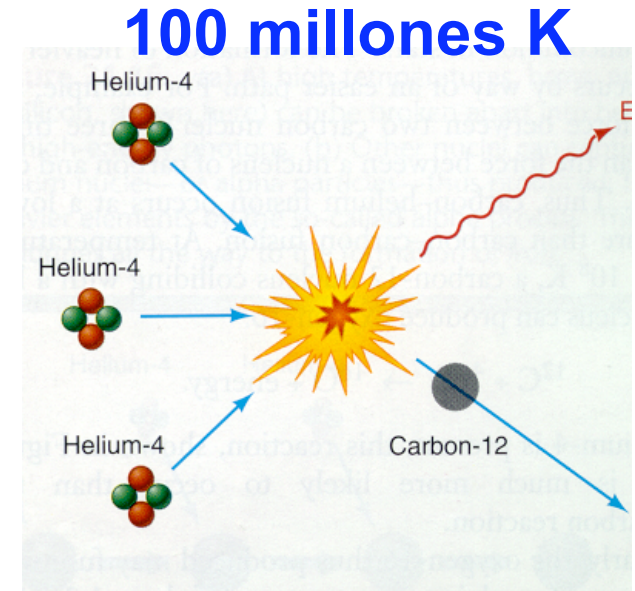
Densidad



Etapas combustivas



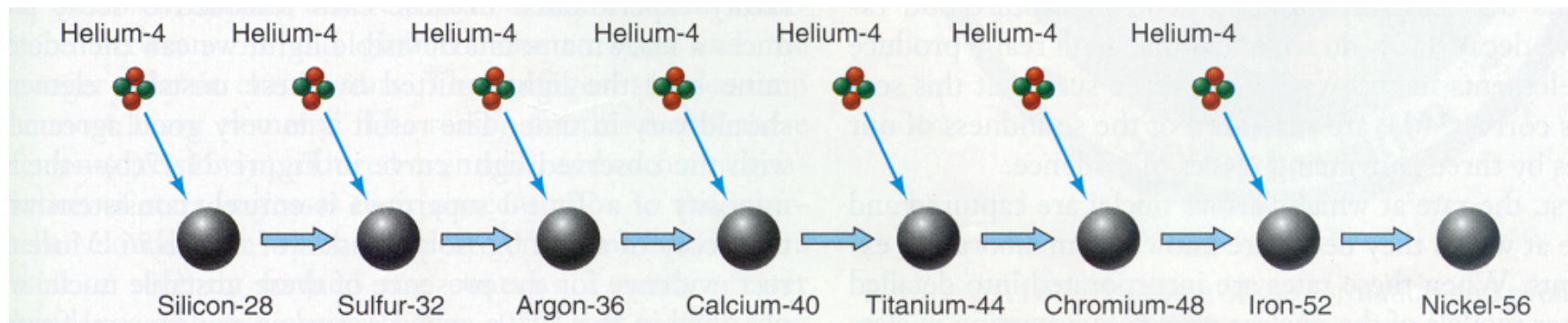
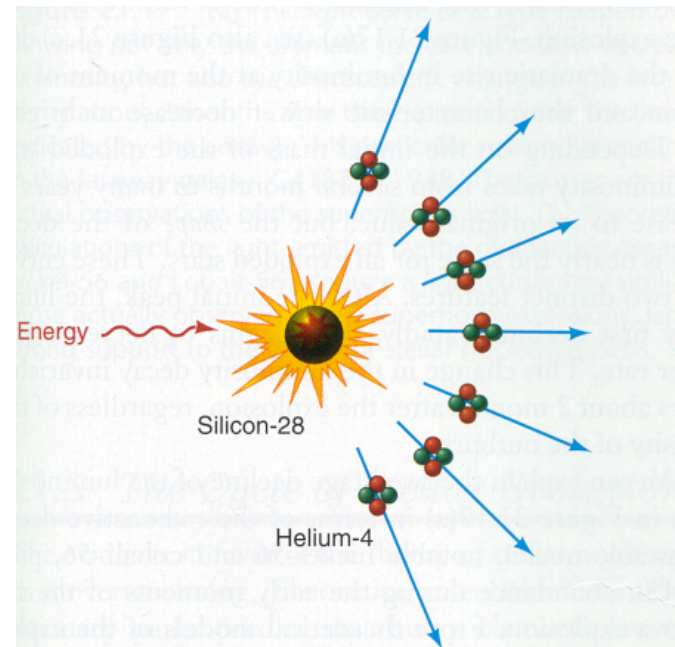
1 g H =
 10^8 kcal =
20 tm C



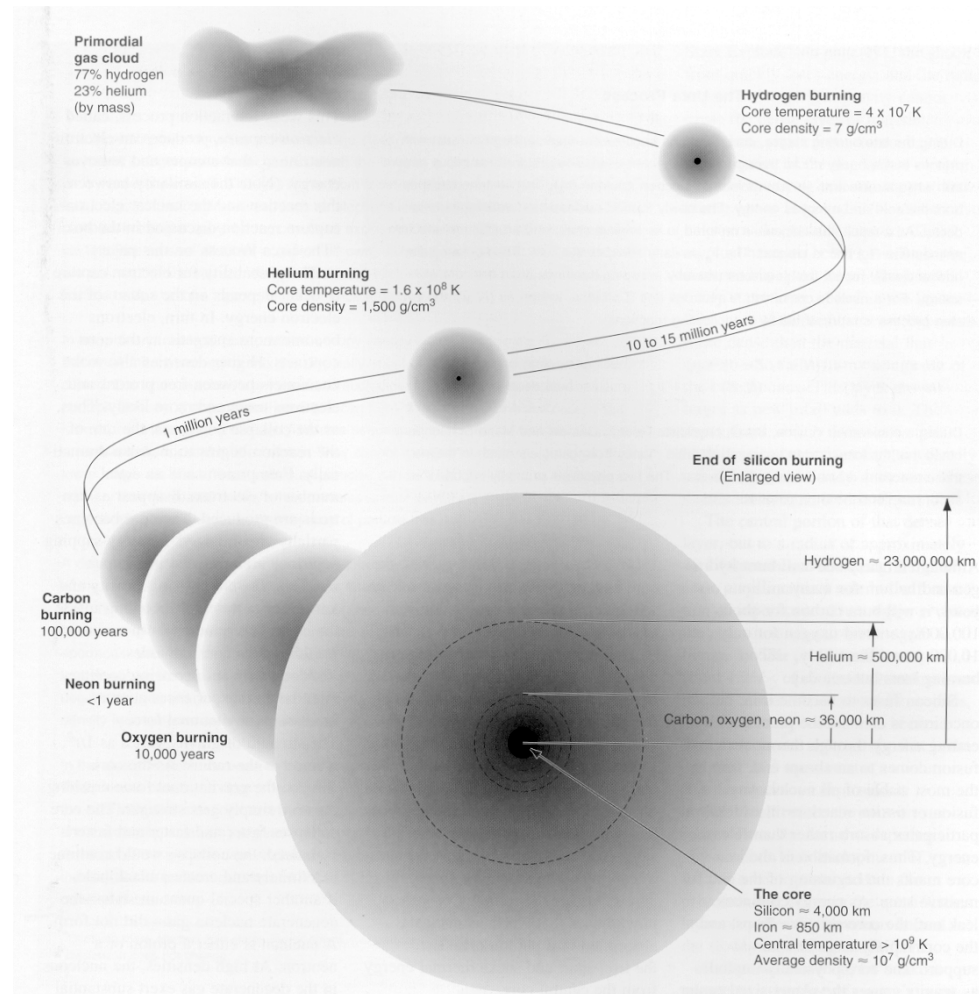
Últimas fases combustivas

Ne, O  Si
2000 millones K

3000 millones K



Evolución de una estrella masiva



Estrella masiva

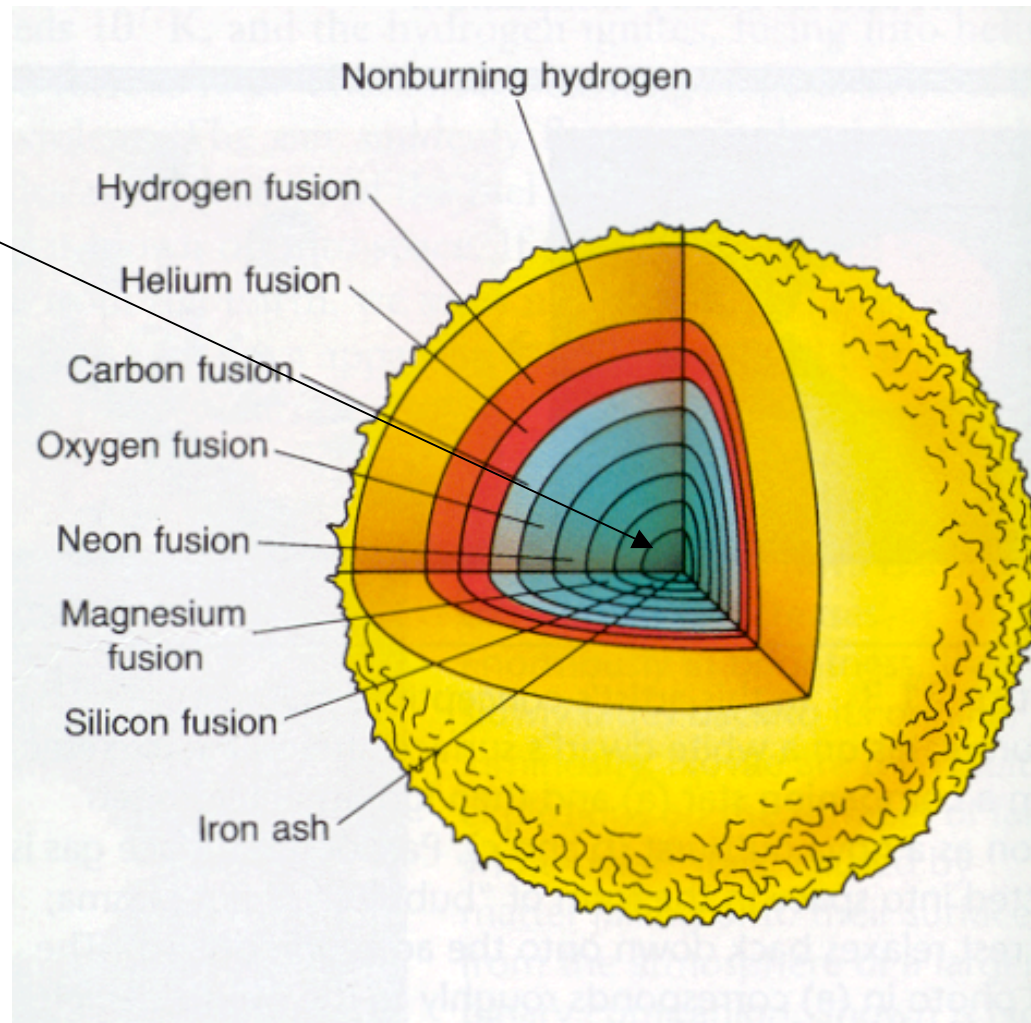
NÚCLEO

$M=1.5 M_{\text{sol}}$

$R=1000 \text{ km}$

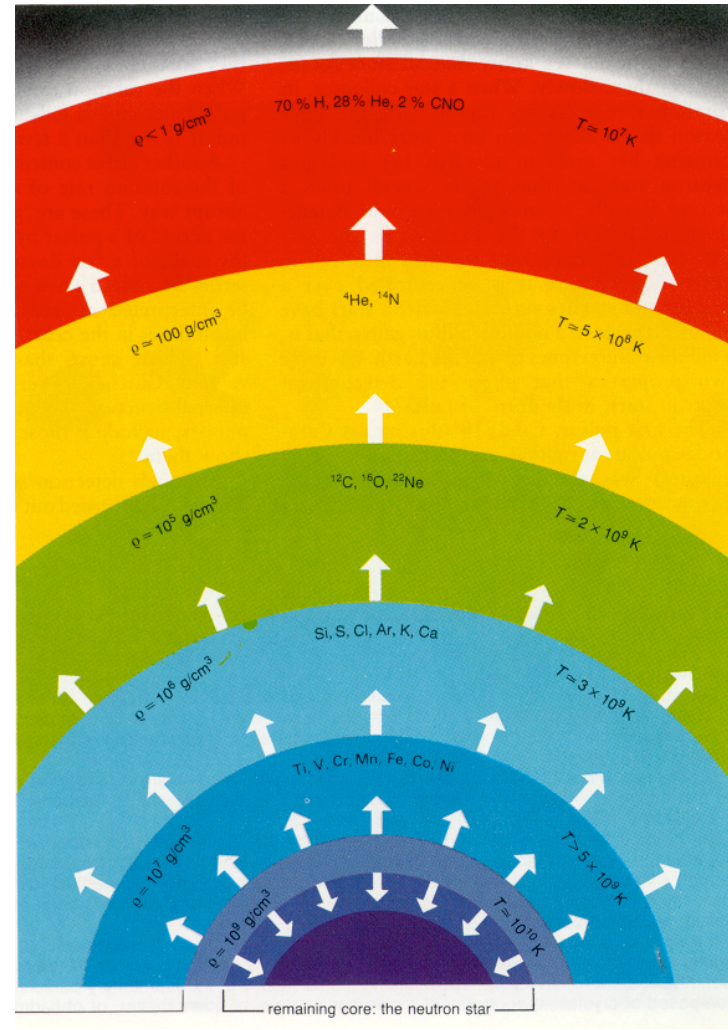
$T=10^9 \text{ K}$

$\rho=1000 \text{ tm/cm}^3$



Colapso Estelar

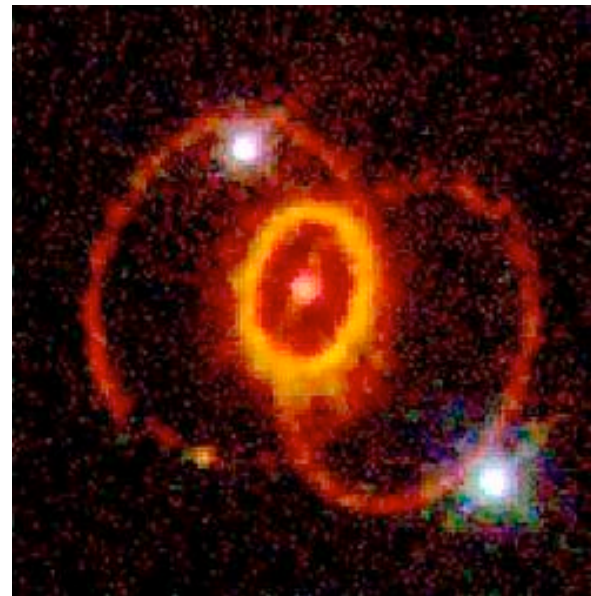
- Inestabilidad
- Colapso (0.1 s)
- Velocidades $\sim 0.1 c$
- $1000 \times 10^6 \text{ tm/cm}^3$
- Fuerza repulsiva
- Onda de choque
- Explosión Supernova
- Elementos expulsados
- Formación de EN: Objeto muy denso y caliente, emisor de neutrinos



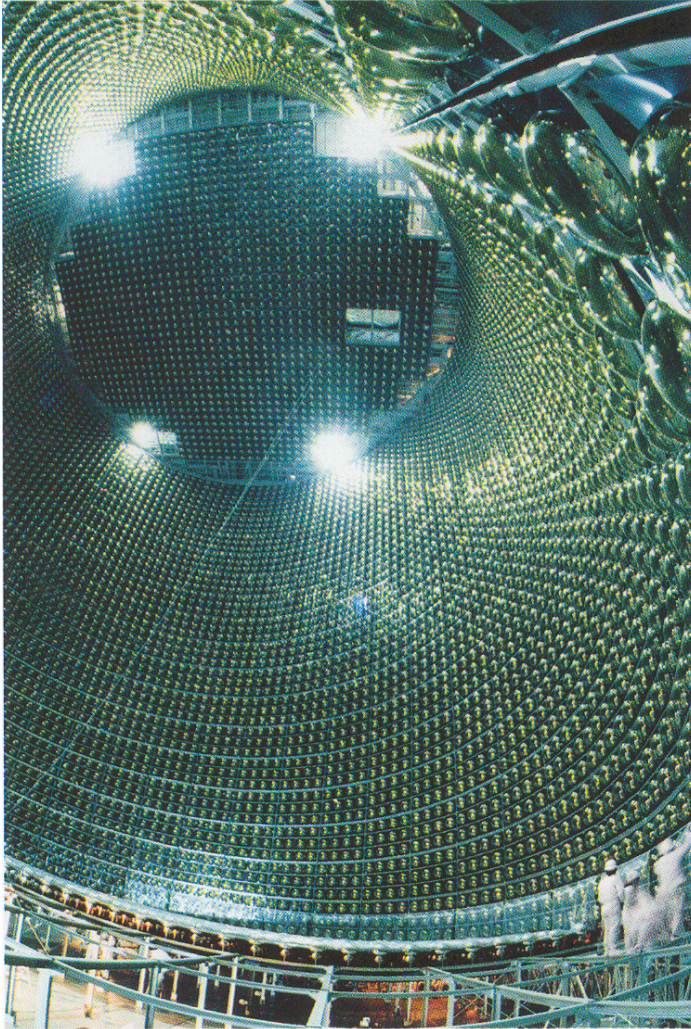
Supernova 1987A



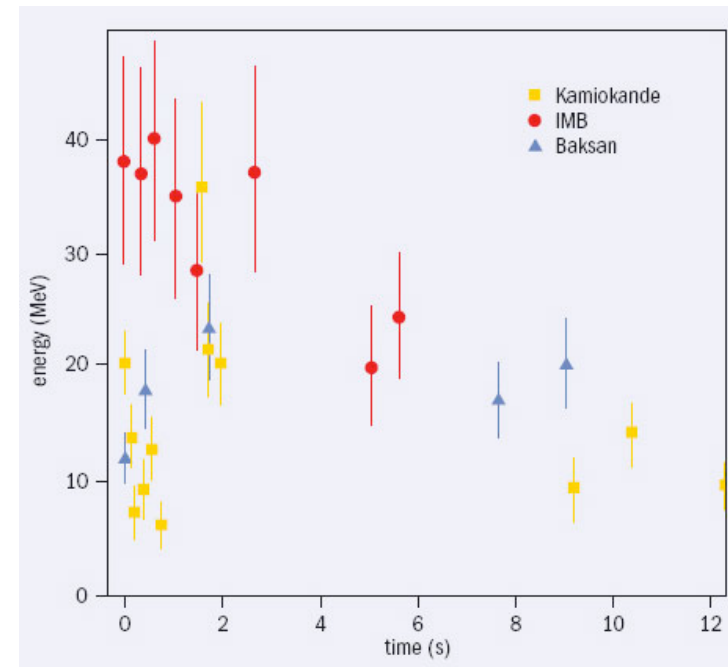
- Situada en la Gran Nube de Magallanes
- Se detecta en el óptico el 23 de febrero de 1987



Super Kamiokande



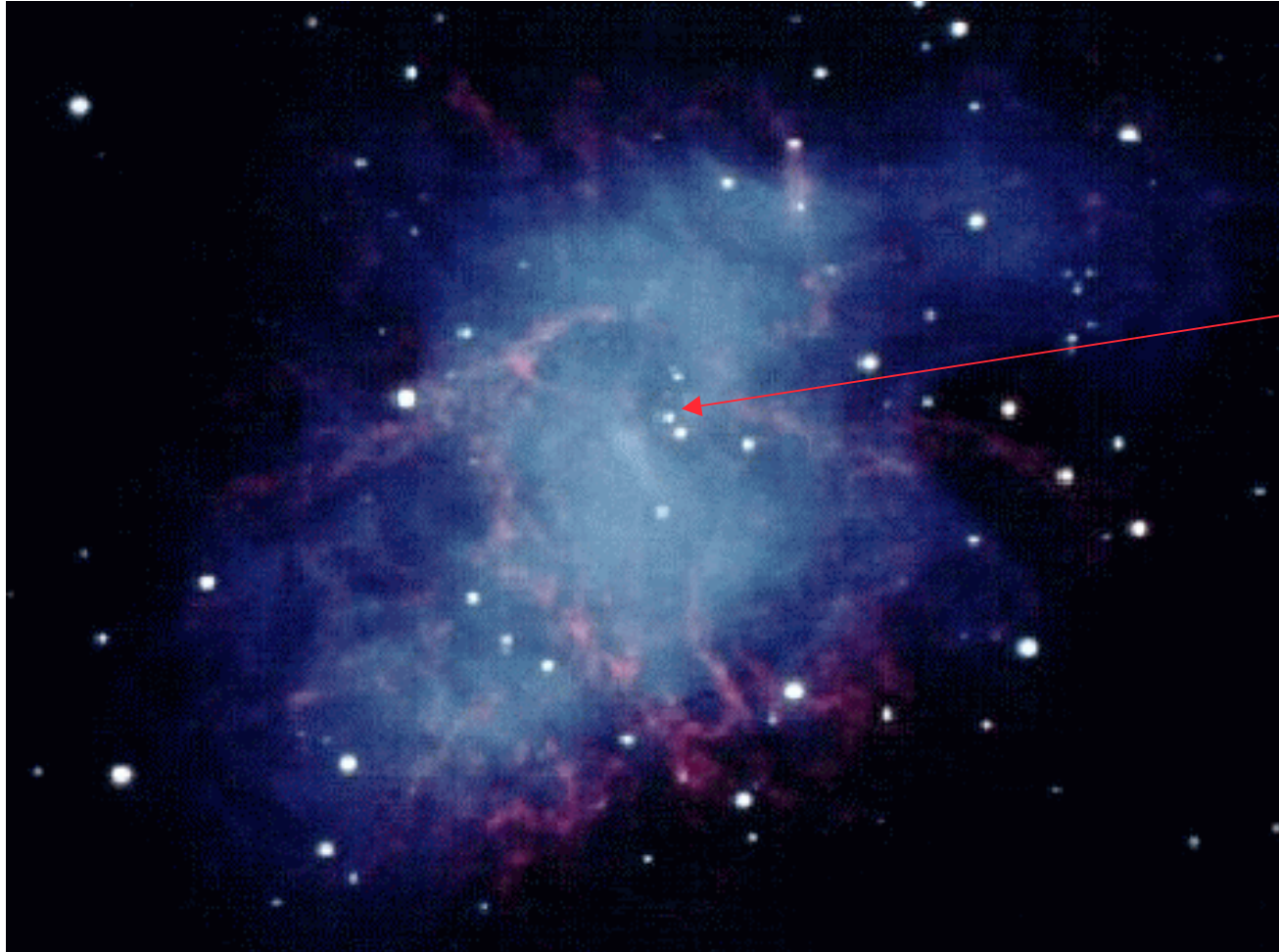
DETECTOR DE NEUTRINOS
50 000 tm de agua
13 000 Fotodetectores



Supernova 1987A

- Se detectan 24 neutrinos en los detectores terrestres
- Confirmación de la teoría de formación de estrellas de neutrones
- Se detecta material expulsado.
- No se ha detectado estrella de neutrones: algunos piensan que se ha formado un agujero negro

Restos de supernova



**Estrella
de
neutrones**

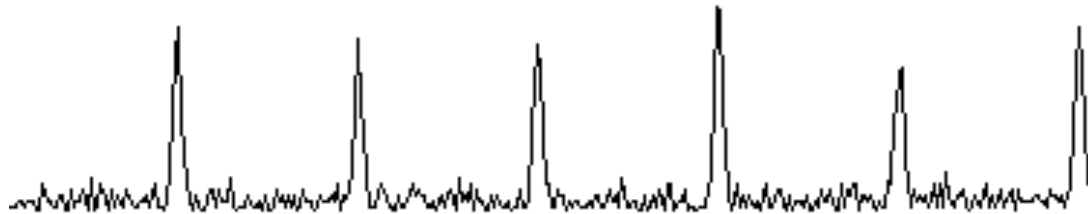
Nebulosa del Cangrejo: Observada el 1054

Descubrimiento del primer púlsar

Jocelyn Bell y Antony Hewish (1968)
Cambridge (Inglaterra)



P.N. 1974



P=1,34 s
PSR 1919+21

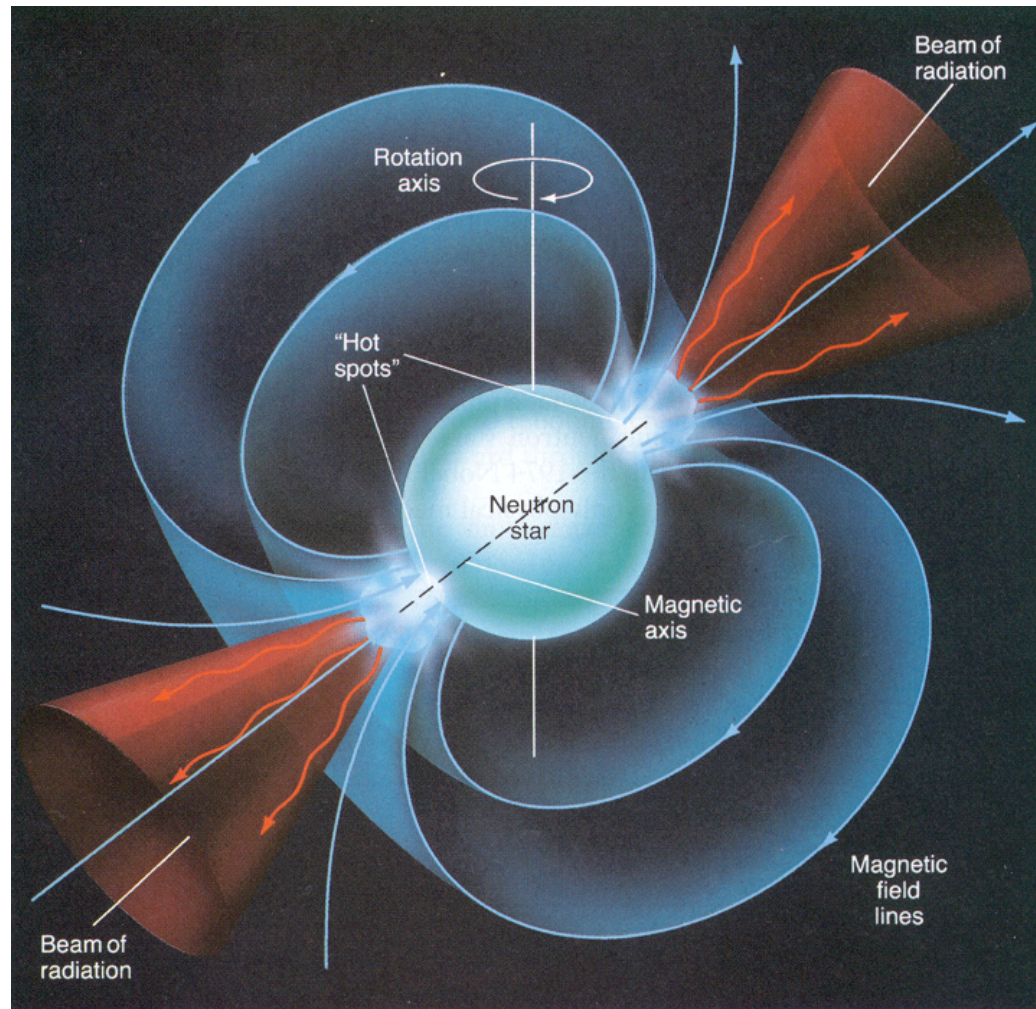
Púlsares:

Estrellas de neutrones en rotación



- Radiotelescopios
- Han sido detectados
- unos 2300
- Algunos asociados a
- restos de supernovas
- Relojes de gran precisión
- Periodos entre 1.4 ms- 8.5 s
- P aumenta ($t_c=10^6$ - 10^7 años)
- Campos magnéticos muy
- intensos: $B=10^{12}$ Gauss
- En la Galaxia: 10^9
- Velocidades: 500 km/s

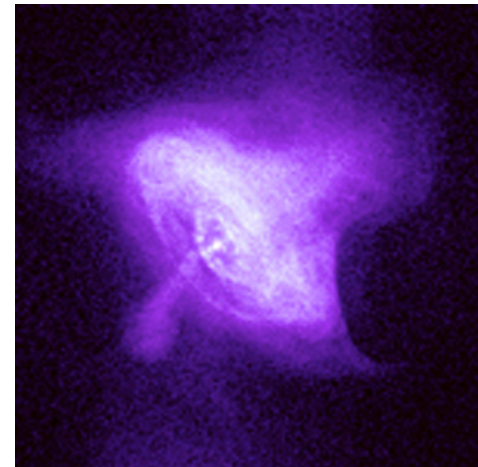
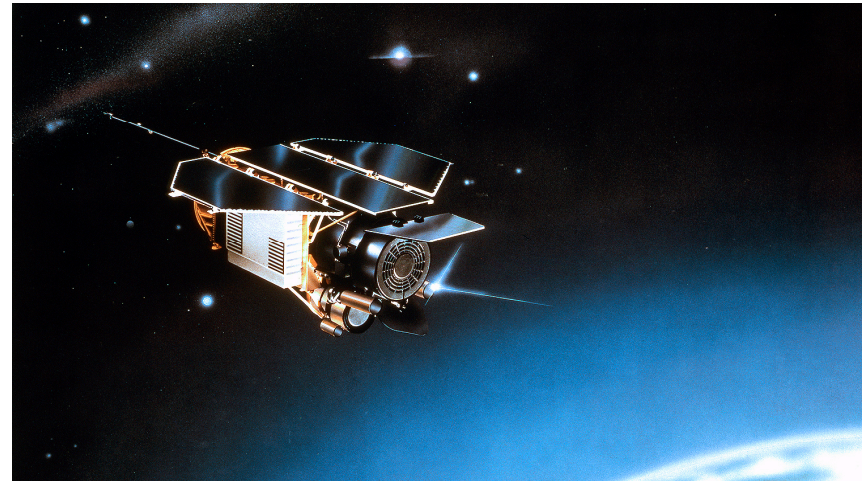
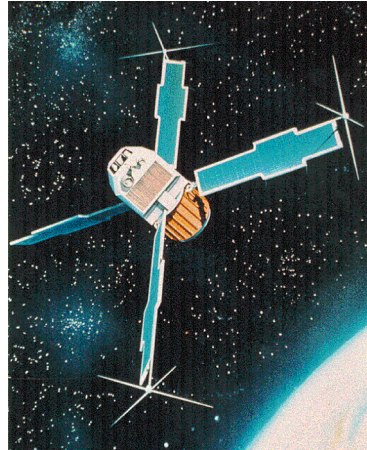
Púlsar



Observación en rayos X

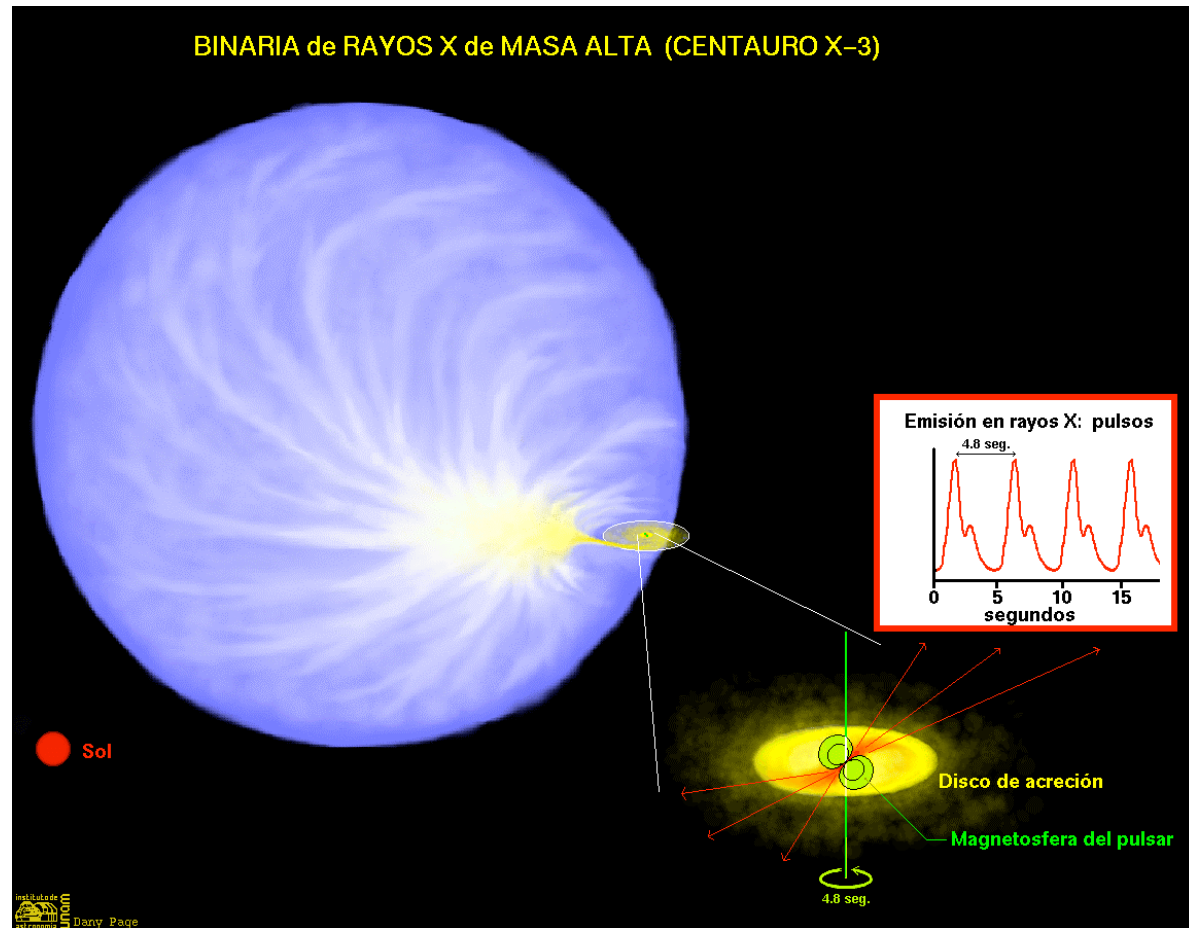


R. Giacconi

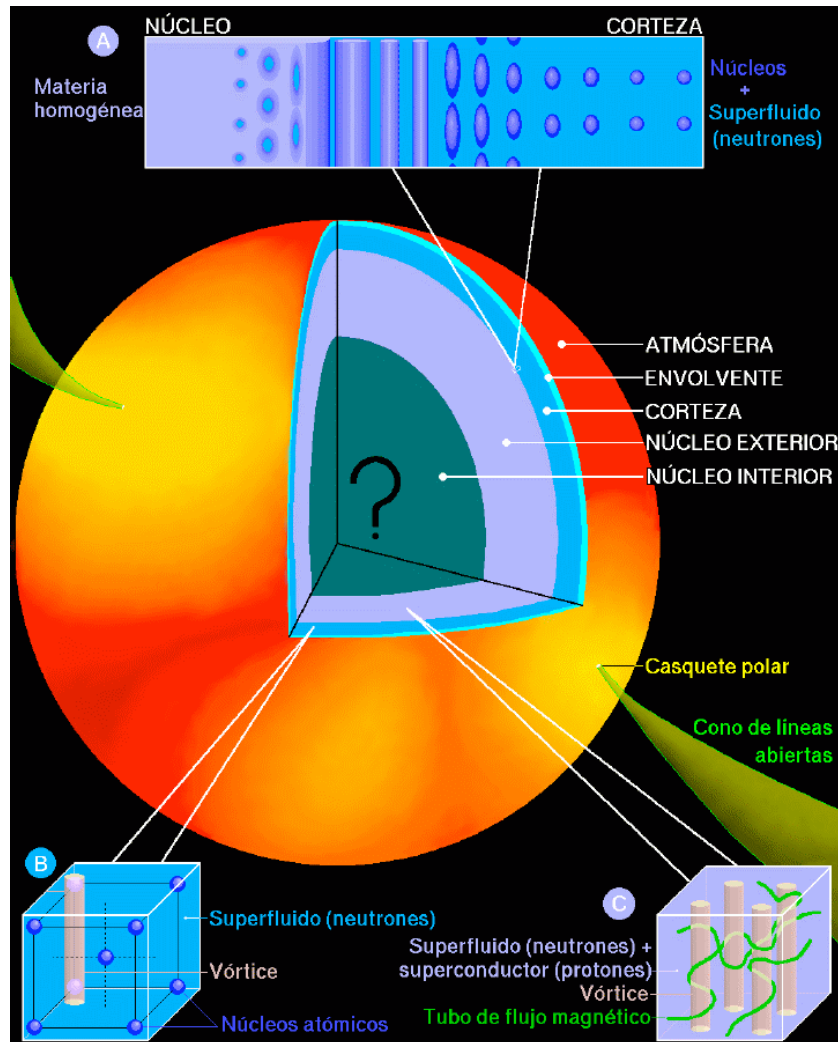


Púlsares de rayos X

- Pulsos de rayos X
- El periodo disminuye por acreción
- La energía la extraen de la acreción



Estructura interna



- Radio 10-20 km
- Masa 1-2 M_{sol}
- Densidad central 10^{15} g/cm^3
- 1 cm^3 : 1000 millones tm
- Gravedad en la superficie 10^{14} cm/s^2
- Temperatura superficie 10^6 K
- Campo magnético 10^{12} Gauss

$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$

Núcleo interno: $>6 \times 10^{14}$

Núcleo externo: $2-6 \times 10^{14}$

Corteza: $10^{10}-2.7 \times 10^{14}$

Envoltura: $<10^{10}$

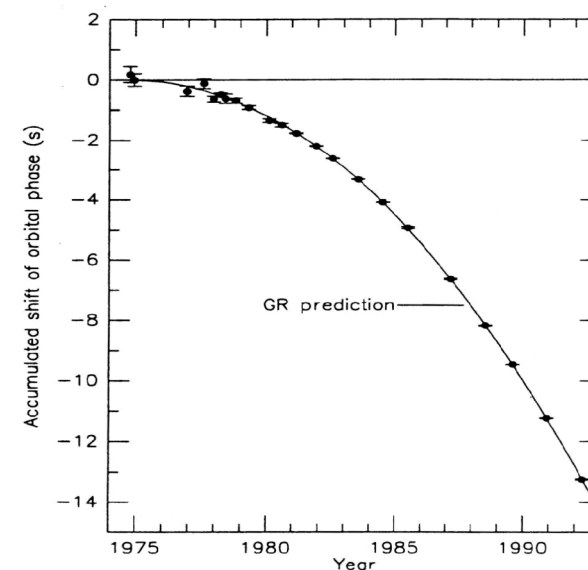
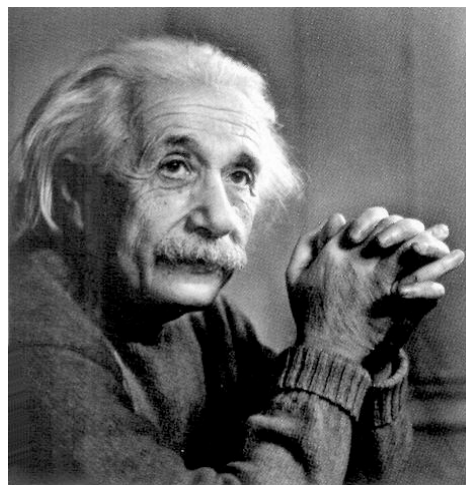
Atmósfera: 0.1

Púlsar binario (PSR 1913+16)

•Hulse y Taylor (1974)



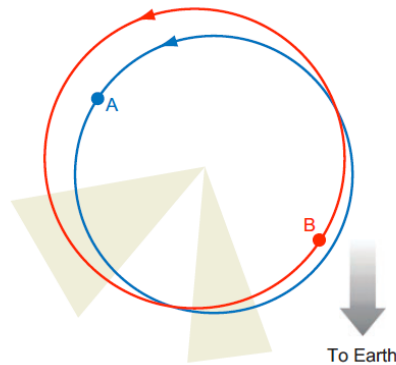
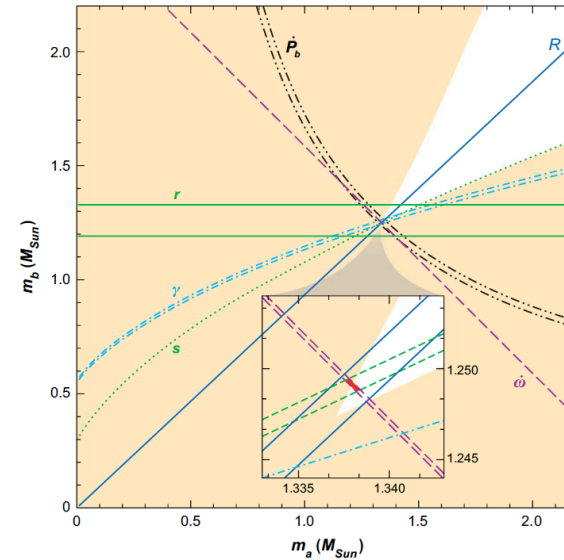
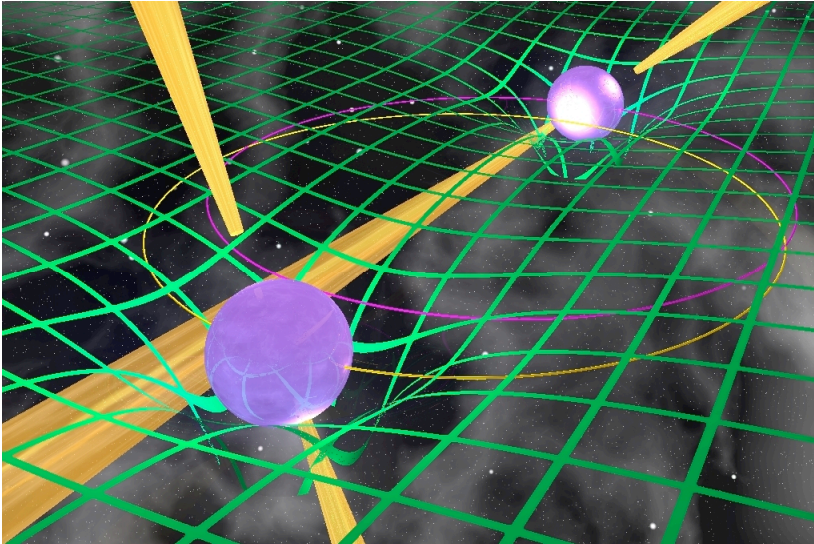
PN. 1992



$P_{\text{orbital}} = 7\text{h } 45\text{min}$

- Periodo ha variado 20 s. de 1975-2004
- Pérdida de energía orbital por emisión de ondas gravitatorias: en 380 millones de años colisionarán

Pulsar doble



$P_{\text{orbital}} = 147 \text{ min}$

- $M_A = 1.3381$ $P_A = 22.7 \text{ ms}$
- $M_B = 1.2489$ $P_B = 2.77 \text{ s}$
- Colisionarán en 85 millones de años