

# Explosão de Supernova

**P dos n degenerados:**

reduz colapso gravitacional do núcleo estelar - mas **densidade níveis muito altos** ( $\sim 10^{18} \text{ kg m}^{-3}$ ) antes que o núcleo estelar possa voltar a expandir → **equilíbrio não é mais alcançado**

Tal como bola ao ser jogada em alta velocidade contra um muro, é comprimida, pára e retorna em rebatida:

→ o núcleo estelar rebota violentamente em reação à compressão interrompida:

→ **Uma enorme onda de choque** através da estrela faz com que suas camadas externas se desloquem num evento explosivo, levando inclusive Fe do núcleo interno para o meio interestelar:

**explosão de supernova (colapso do núcleo)**

→ **Uma morte espetacular para as estrelas de altas massas**

# Explosão de Supernova

## 2 tipos de supernovas:

Tipo II: o que acabamos de ver → da explosão de estrelas massivas

Tipo I: da explosão de estrelas de < massa



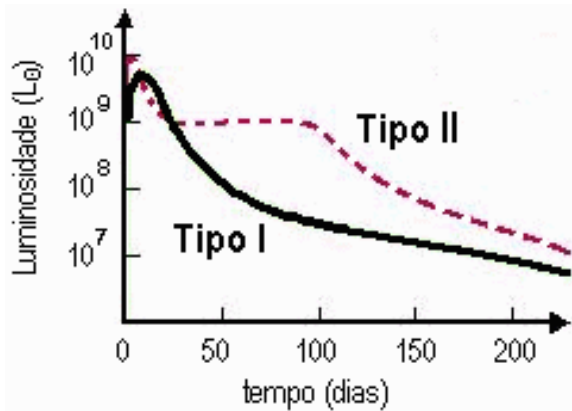
Colapso de anã branca normalmente: impedido quando P de elétrons degenerados torna-se importante.

**Se anã branca tem  $M > 1,4 M_{\odot}$**  (limite de Chandrasekhar):

→ P deg não suficiente para evitar o colapso gravitacional.

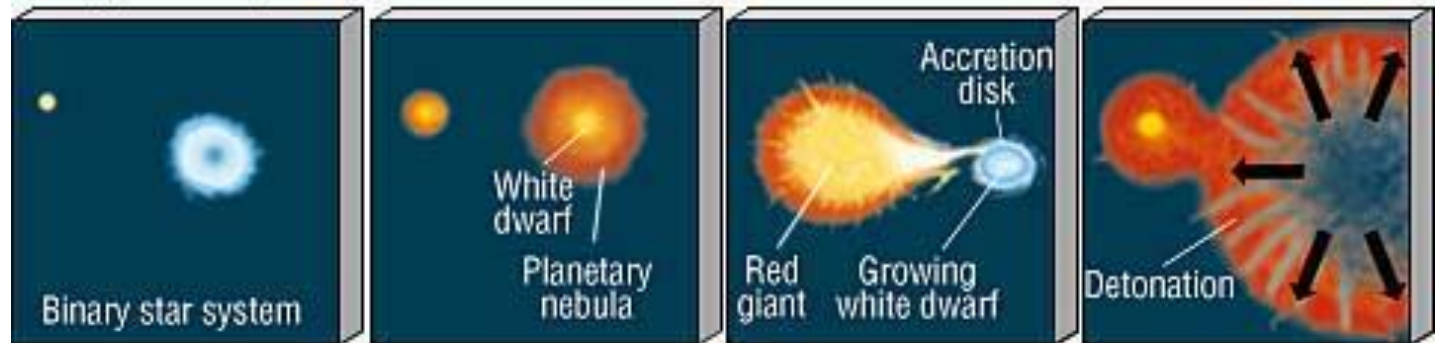
→ Com aumento repentino de T: fusão do C em toda anã branca e ela detona ↓

**supernova do tipo I**

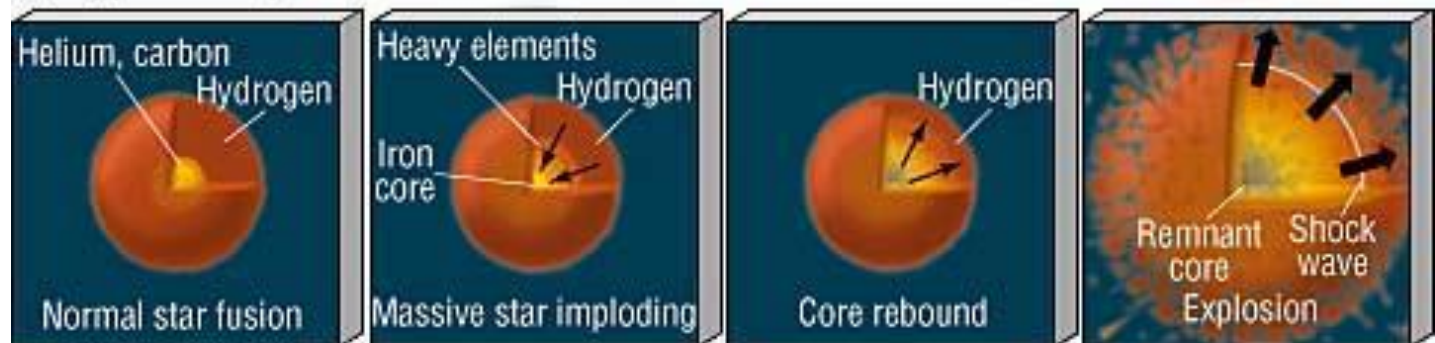


# Explosão de Supernovas

(a) Type- I Supernova



(b) Type- II Supernova



# Estrela de Nêutrons

**Supernova de tipo I:** NADA RESTA da estrela original após explosão !

**Supernova de tipo II:** a explosão deixa **pequena e compacta remanescente em seu centro.**

A explosão: deixa intacta a parte mais interna do núcleo estelar composto basicamente de nêutrons



**estrela de nêutrons** (o que sobrou da explosão da SN)

- tamanho  $\sim 20$  km,
- $M > 1 M$  solar,
- densidade  $\sim 10^{17} - 10^{18} \text{ kg m}^{-3}$  (  $\sim$  bilhões de vezes mais densa que uma anã branca)
- alta velocidade de rotação:  $P \sim$  frações de segundo (conservação de momento angular)
- campo magnético  $\sim$  trilhões  $B_{\text{terra}}$  (compressão das linhas de campo, durante o processo de contração)

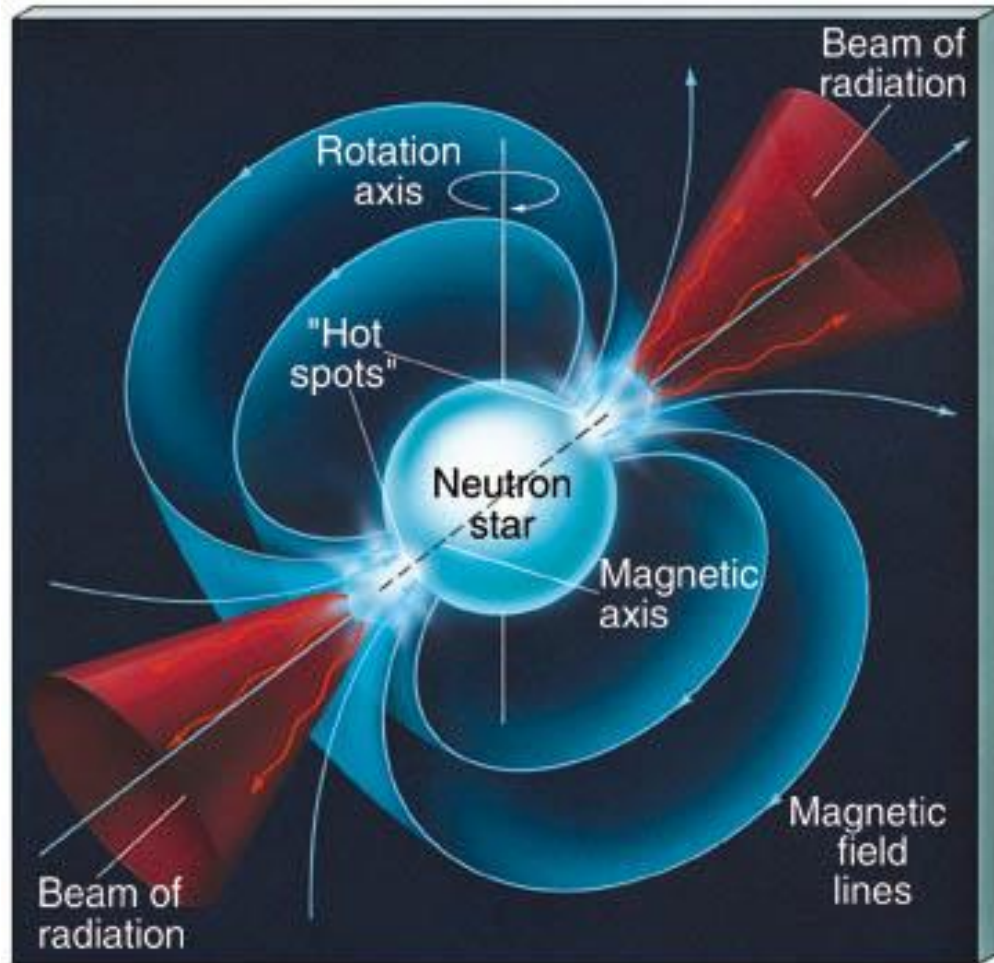
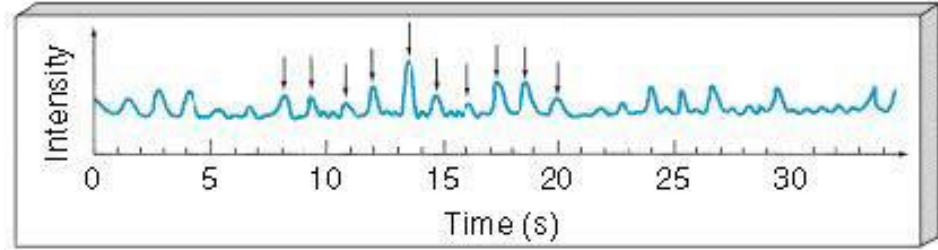
# Pulsares

**A primeira detecção de estrela de nêutron (1967):**

**Emissão rádio pulsante** com frequência muito precisa.

**Pulsar:** compacta estrela de nêutrons, com eixo de rotação não coincidente com o feixe de radiação:

**Flashes (pulsos) de radiação** são detectados a cada rotação da estrela cada vez que o feixe de radiação aponta para linha de visada: **como um farol**



# Buracos Negros

Assim como em **anãs brancas** com  $M > 1,4 M_{\odot}$ : P de elétrons degenerados não é suficiente para impedir o colapso gravitacional

Em **estrelas de nêutrons** com  $M > 3 M_{\odot}$ :

P de nêutrons degenerados não pode evitar o colapso gravitacional

→ Com  $\downarrow R$  : gravidade atinge tais níveis, que **nem mesmo a luz consegue escapar desse objeto:**



**buraco negro (BN)**

# Buracos Negros: Física básica

## Condições físicas nas vizinhanças de um buraco negro:

→ **Teoria geral da relatividade** (descreve circunstâncias em que as velocidades alcançam velocidade da luz (maxima) em regiões de intensos campos gravitacionais):

→ Sabemos que **velocidade de escape**:

se R diminuir gradualmete: **gravidade** ↑:  $> v_{esc}$ :

→ Qual a velocidade para um objeto (**m**) escapar (mecanica classica)?

$$mv^2/2 = GMm/R \quad \rightarrow \quad v_{esc} = (2 GM/R)^{1/2}$$

$$\text{Se máxima } v_{esc} = c \quad \rightarrow \quad R_s = 2 G M/c^2 = 3 (M/M_{sol}) \text{ km}$$

$$R_s = 3 (M/M_{sol}) \text{ km} \quad \rightarrow \quad \text{Raio de Schwarzschild}$$

# Buracos Negros

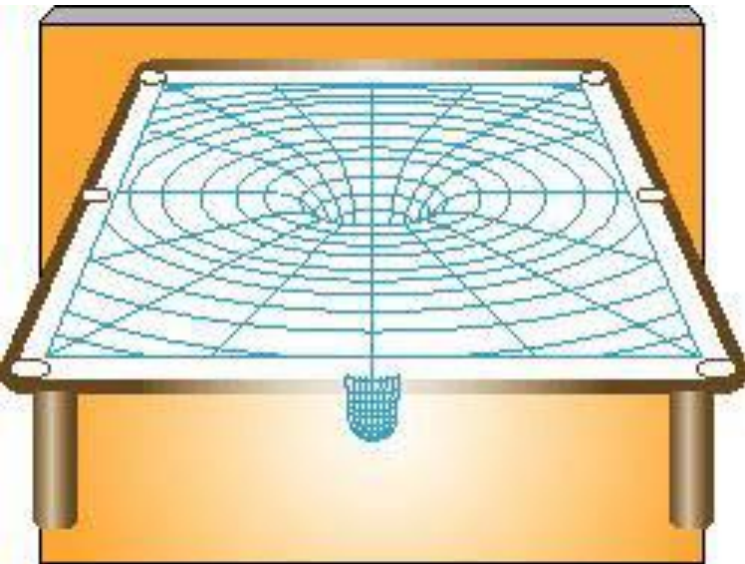
Se  $R \leq R_s = 3 (M/M_{\text{sol}}) \text{ km} \rightarrow$   
nem luz escapa : BN:

Para estrela  $M = 1 M_{\odot}$ :  $R_s = 3 \text{ Km}$

**Relatividade Geral:** Todo corpo massivo causa curvatura no espaço à sua volta e todos os outros objetos seguem trajetórias curvas na sua vizinhança



**BN:** tudo que estiver à sua volta cai dentro dele





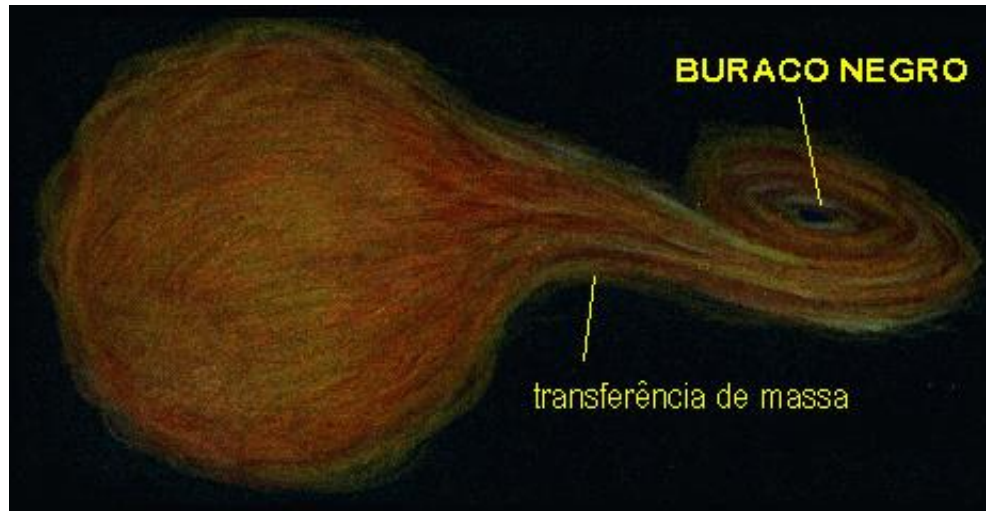
# Buracos Negros: Evidências Observacionais

**Possíveis BNs: ex. Cygnus X-1**

**Medidas raios-X:** presença de gases a alta  $v$  nas suas vizinhanças.

variabilidade da radiação →  $R \sim 300 \text{ Km}$

Região é ~ formada por **disco de acreção** de matéria de estrela companheira visível.



Desenho (nao imagem)