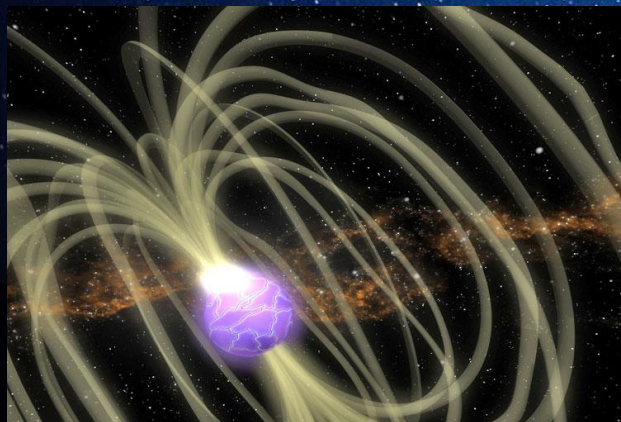


Estrelas de nêutrons 2

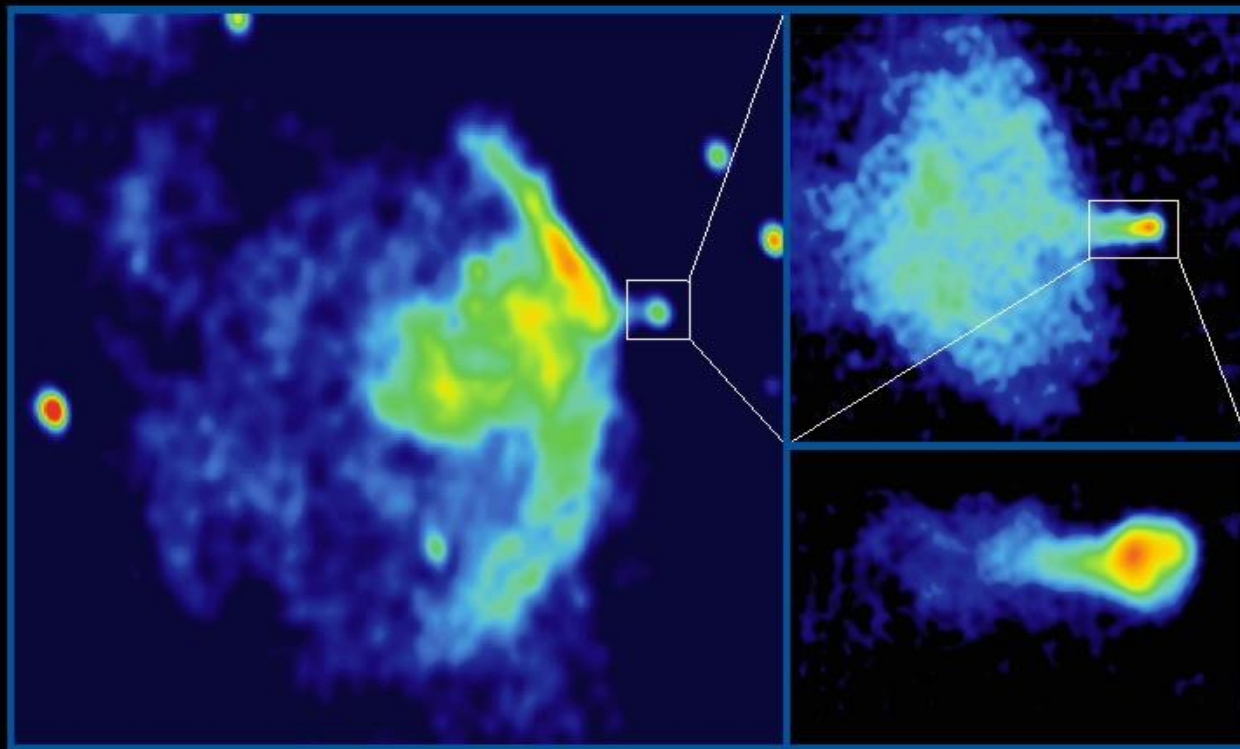


J.E. Horvath
Astronomia, IAG-USP



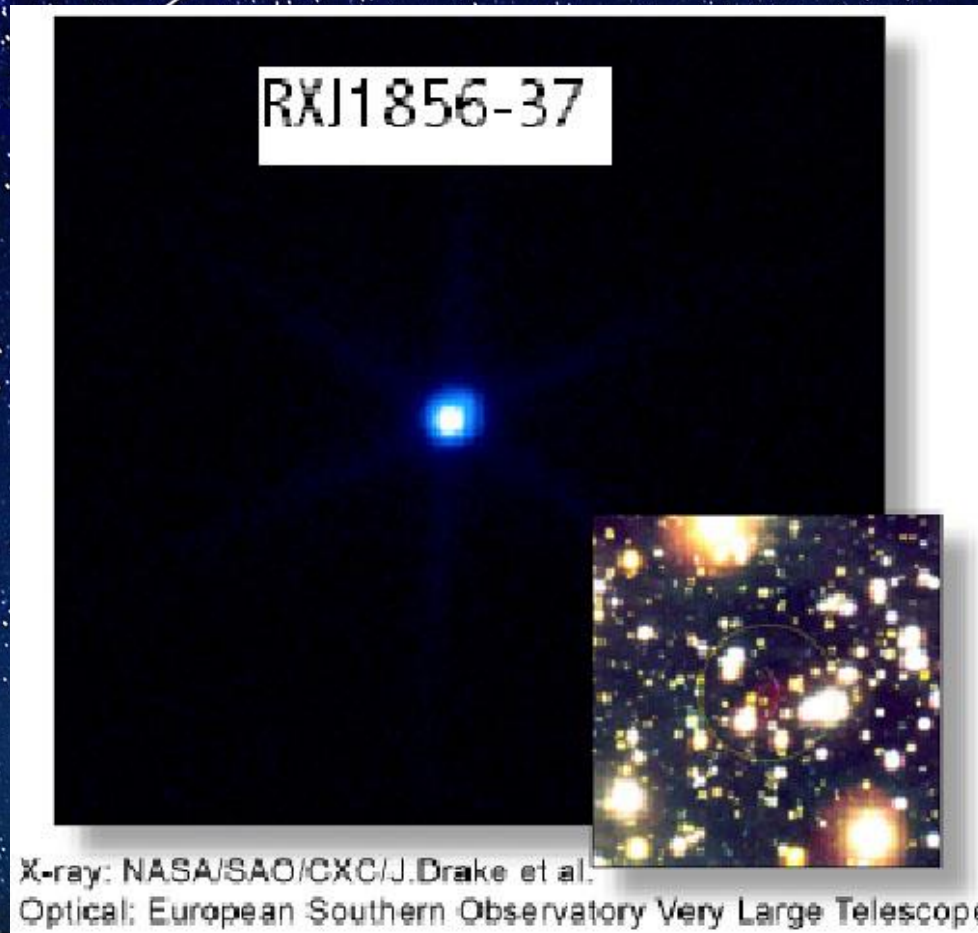
Mas...

SNR 5.4–1.2 and PSR B1757–24

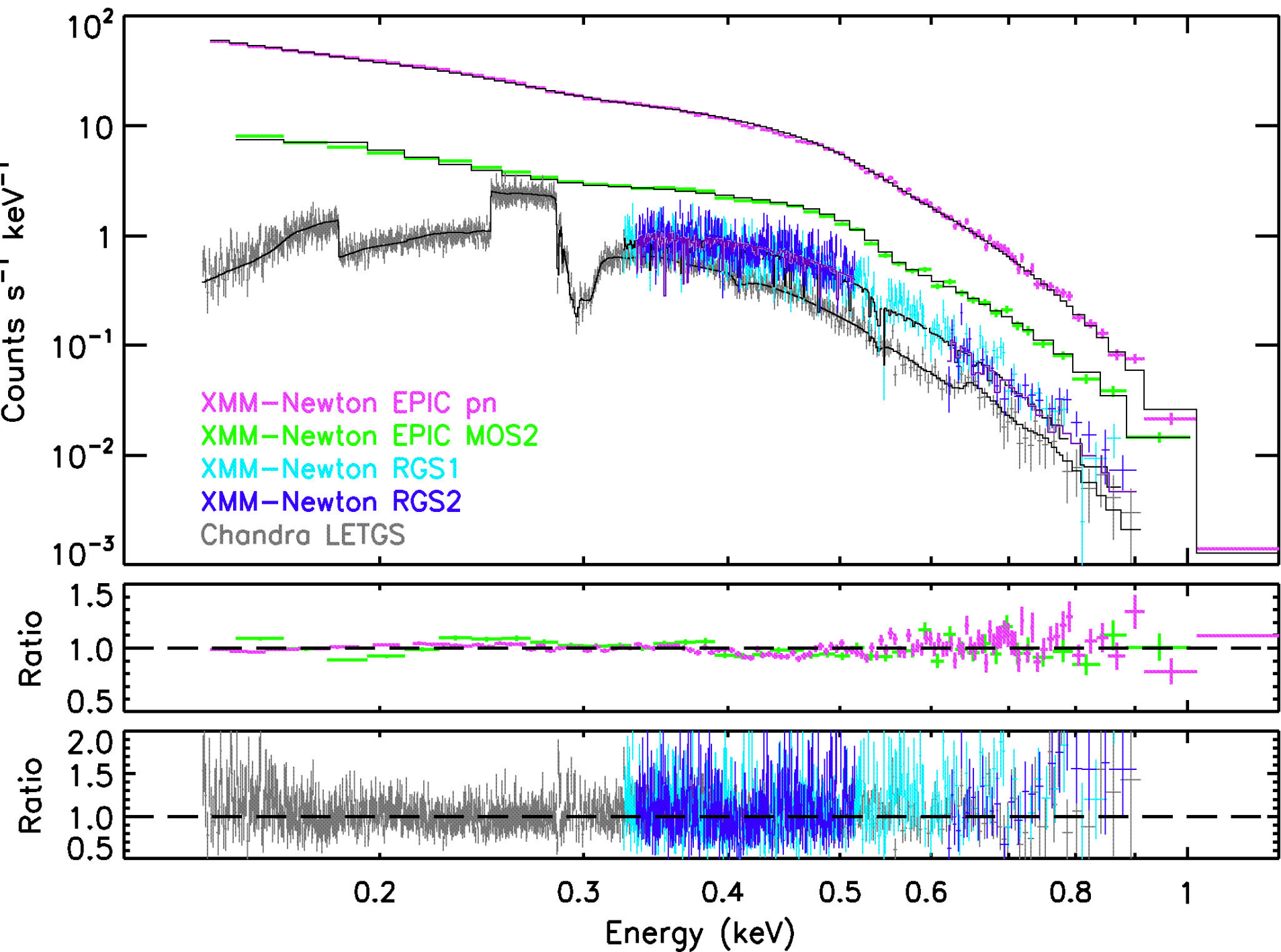


- ~ 30 associações confirmadas
- > 2000 pulsares
- > 200 SNR

Mas às vezes, a sorte está do nosso lado:
uma estrela de nêutrons no nosso pátio.



Um dos objetivos mais importantes é o de extrair a **massa** e o **raio** simultaneamente, para assim saber a composição



Observações e estrutura estelar

nas estrelas de
nêutrons a
Relatividade é
essencial

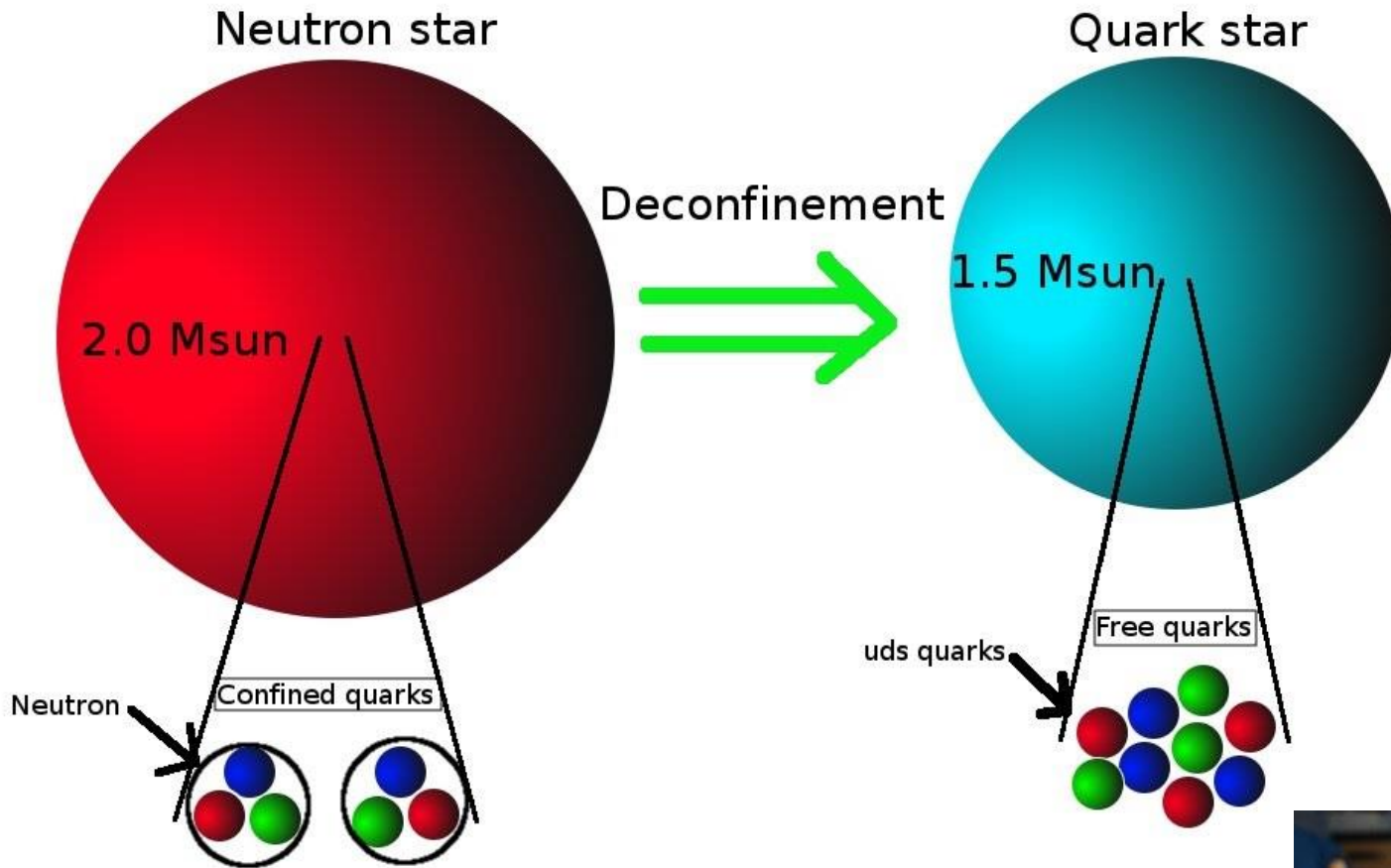
$$R_{\infty} = R / \sqrt{1 - \frac{2GM}{Rc^2}}$$

$$T_{\infty} = T \sqrt{1 - \frac{2GM}{Rc^2}}$$

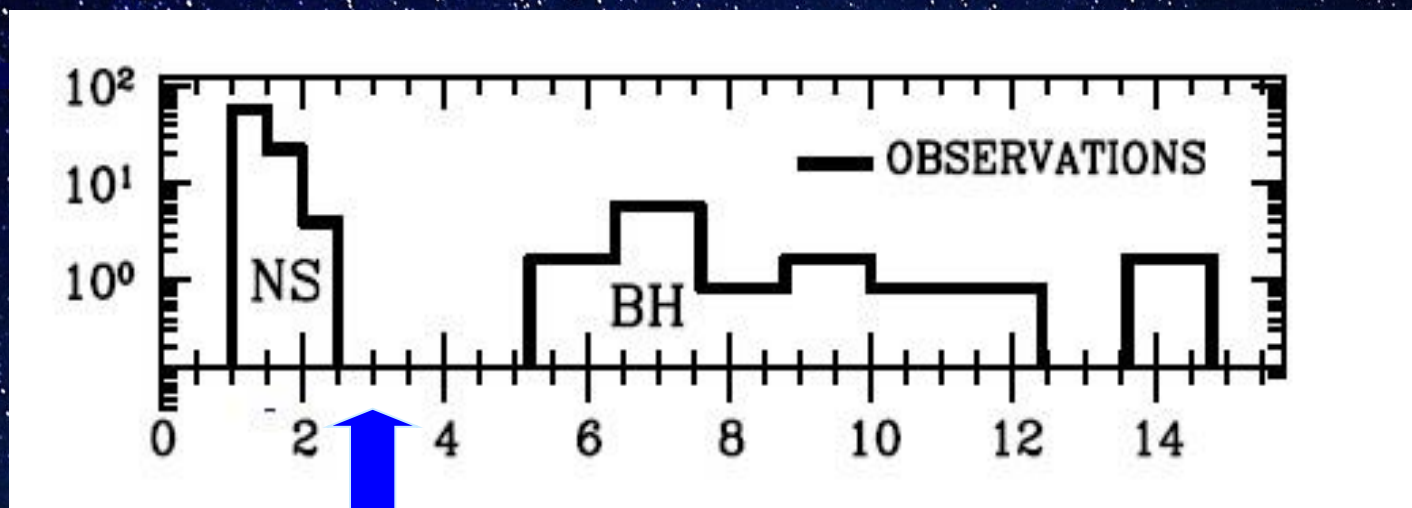
$$R_{\infty} = d \sqrt{\frac{f_{\infty}}{\sigma T_{\infty}^4}}$$

Fluxo, distância e temperatura do pico devem ser medidos.

A natureza da materia superdensa



A Terceira Lei de Kepler: Binarias medidas



Limite de Rhoades-Ruffini: valor máximo absoluto, deve ser satisfeito para qualquer teoria de matéria densa

A ideia de que as estrelas de nêutrons têm todas a massa “canônica” $1.4 M_{\odot}$ preveleceu até uns

10 anos atrás

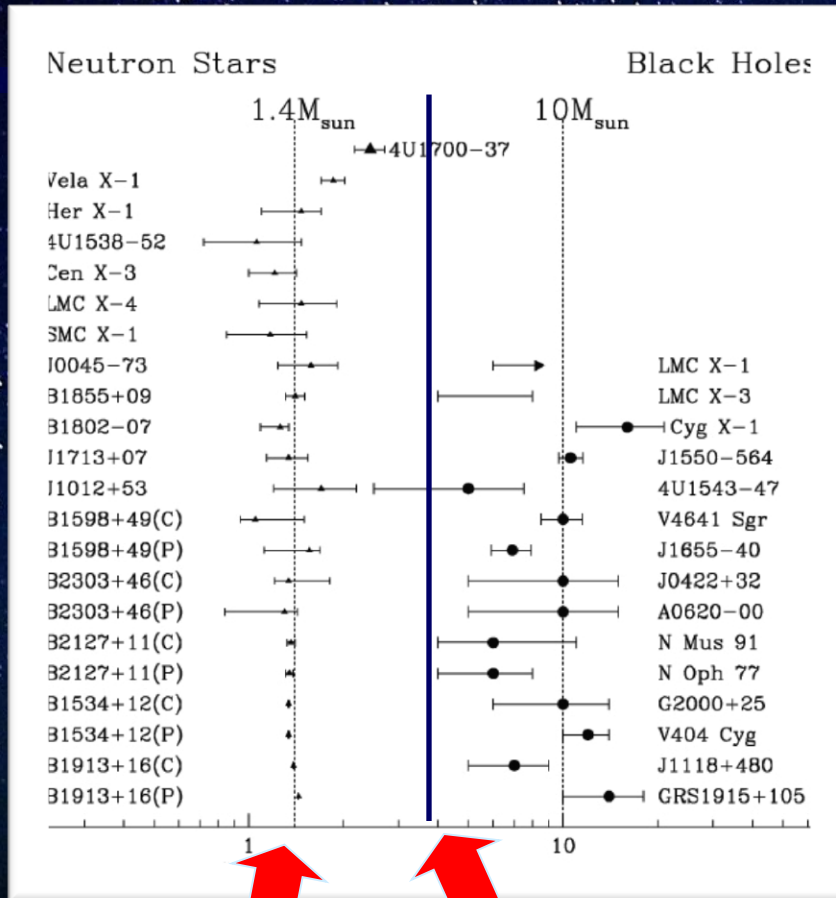
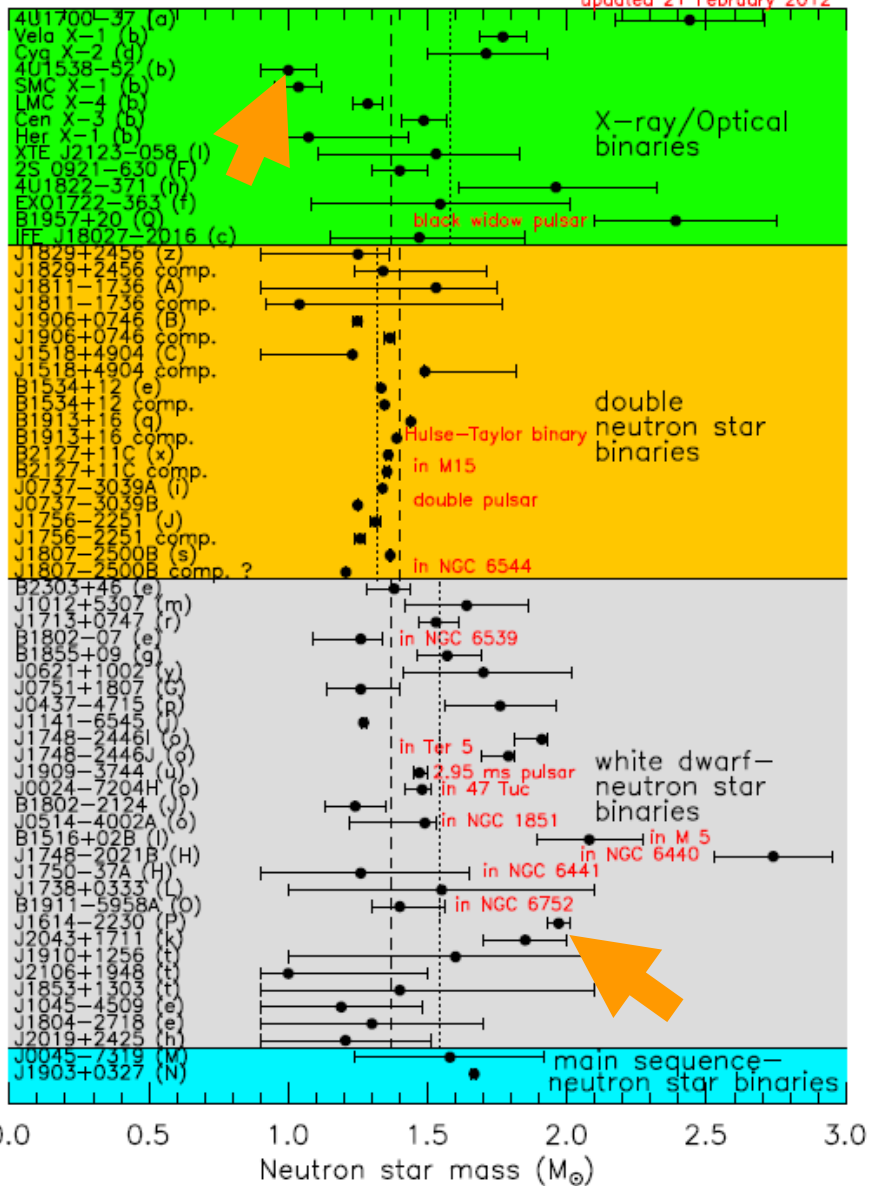


Figura de Clark et al. A&A 392, 909 (2002)

Consistentes com o valor $1.4 M_{\text{sun}}$

$\sim 3 M_{\text{sun}}$ é a massa máxima construída com matéria incompressível sem violar a causalidade (Rhoades-Ruffini)

updated 21 February 2012

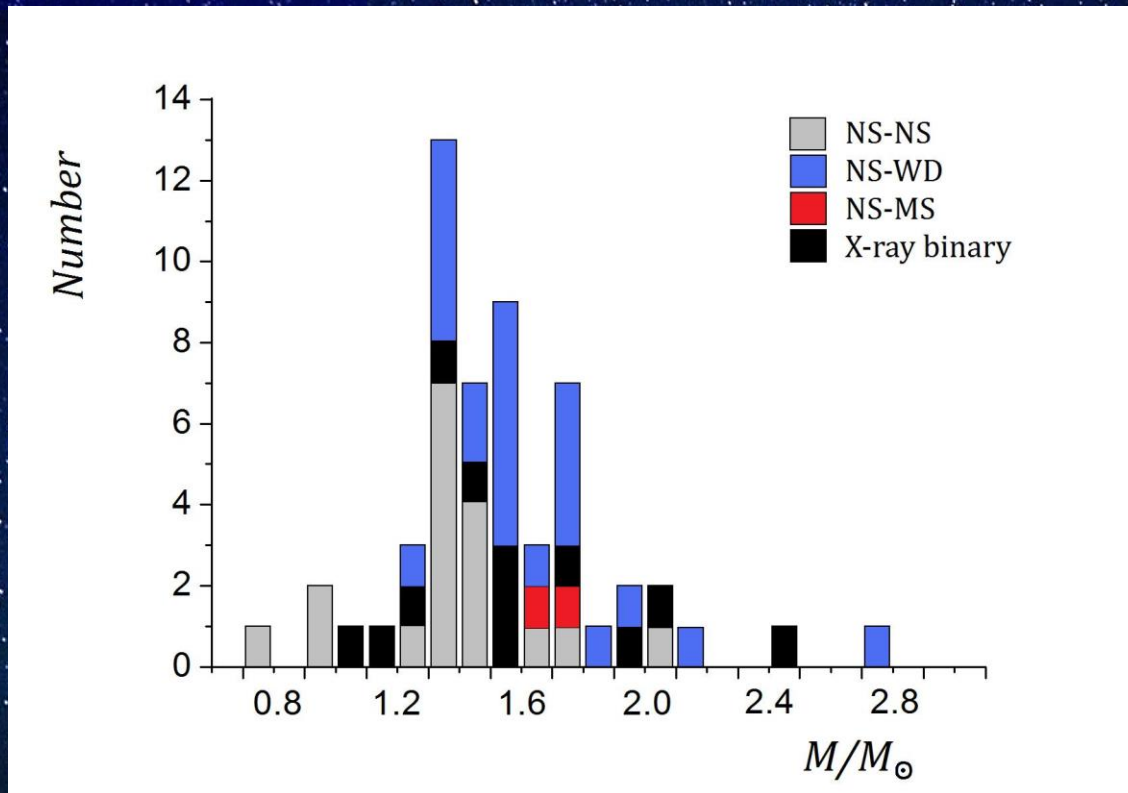


Porém, os dados mais recentes apontam para uma faixa *muito mais larga* de massas

Amostra compilada por Lattimer et al desde 2012, disponível em

<http://www.stellarcollapse.org/nsmasses>

A distribuição de massas é ao menos bimodal...



Uma análise Bayesiana (Valentim, Rangel & Horvath, MNRAS 414, 1427, 2011) mostrou que uma escala única de massa é improvável, a distribuição é mais complexa. Uma distribuição com duas gaussianas é sempre favorecida: 1.37 e 1.73 M_{\odot} são os valores obtidos

Dos caroços de O-Mg-Ne
Progenitores de 8-10 M_{\odot}
+ caroços de Fe > 10 M_{\odot}

Progenitores de >18 M_{\odot}
onde o caroço de Fe “pula”
para $\sim 1.8 M_{\odot}$

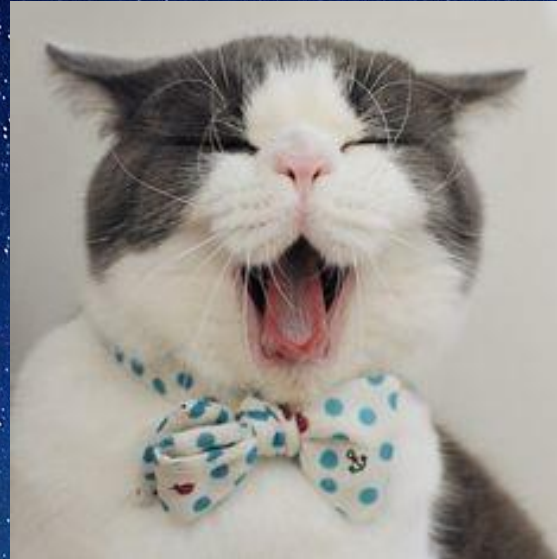
Por sinal, outros colegas encontraram resultados similares

Zhang et al. A&A 527, A83, 2011

Özel et al., ApJ 757, 55, 2012 (1.33 and 1.48 M_{\odot})

Kiziltan, Kottas & Thorsett, arXiv:1011.4291 (1.35 and 1.5 M_{\odot})

Intervalo...



Magnetares

Uma classe de NS que mostra emissão X **muito** superior a $I\Omega\dot{\Omega}$ têm surtos γ esporádicos e rotação lenta ($P \sim 10$ s)

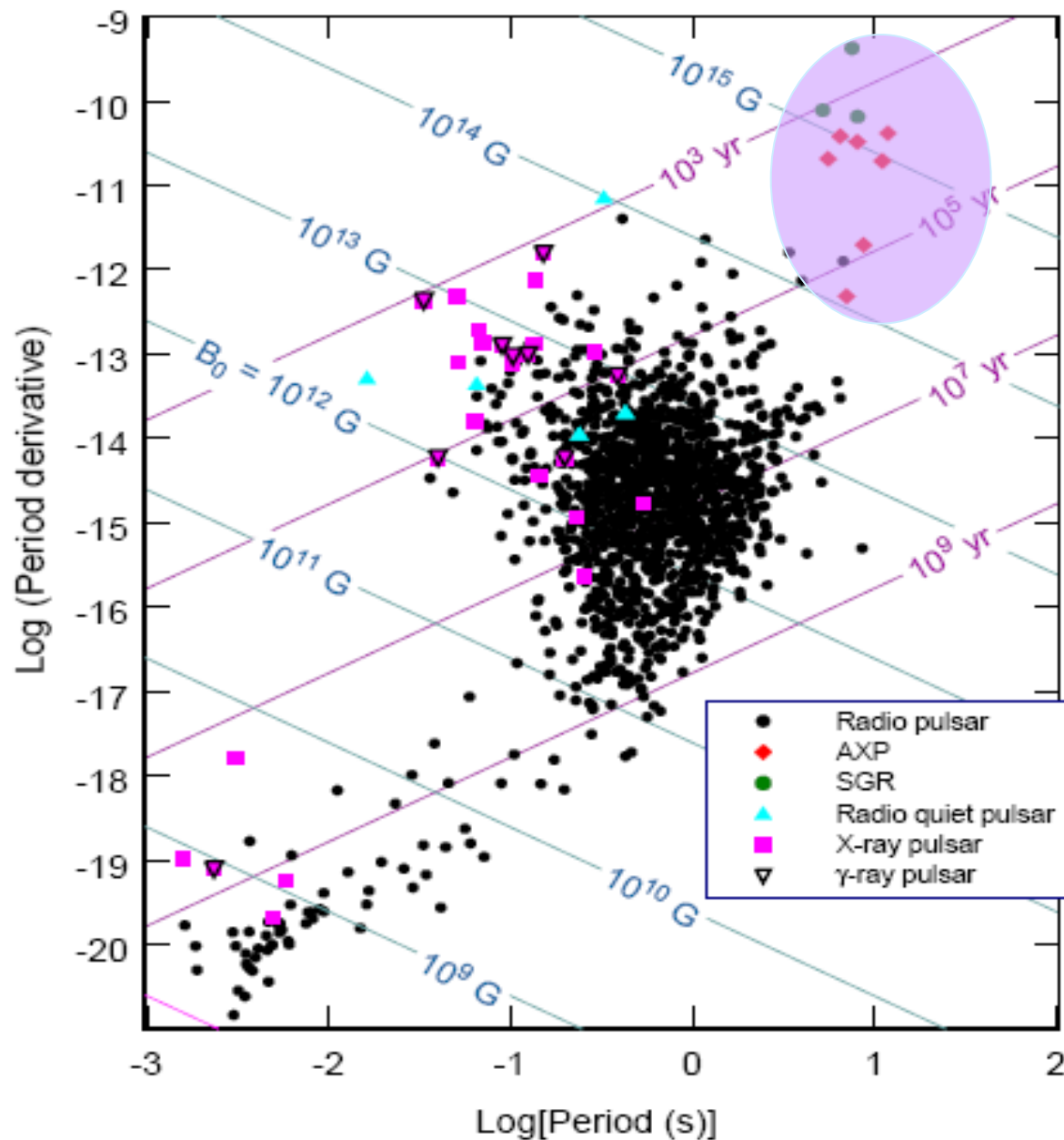
Uns 20 objetos conhecidos na galáxia (SGR-AXP)



A energia é fornecida pelo campo magnético (instabilidades), **não** pela rotação, esta é insuficiente para explicar os surtos

Como sabemos
que o B é tão
intenso?

$$B \propto \sqrt{P\dot{P}}$$



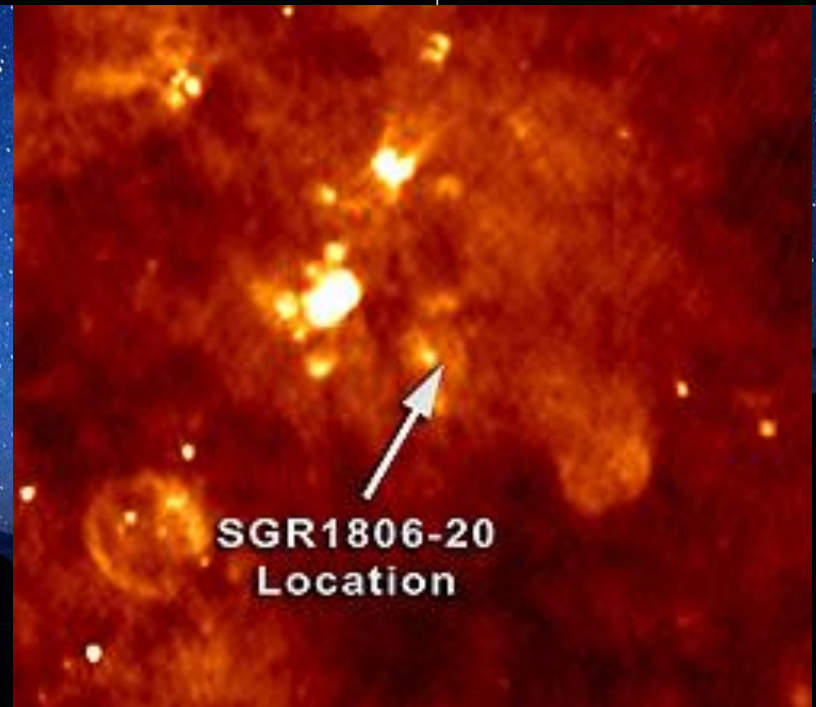
O “ambiente” dos magnetares:
remanescentes gasosos



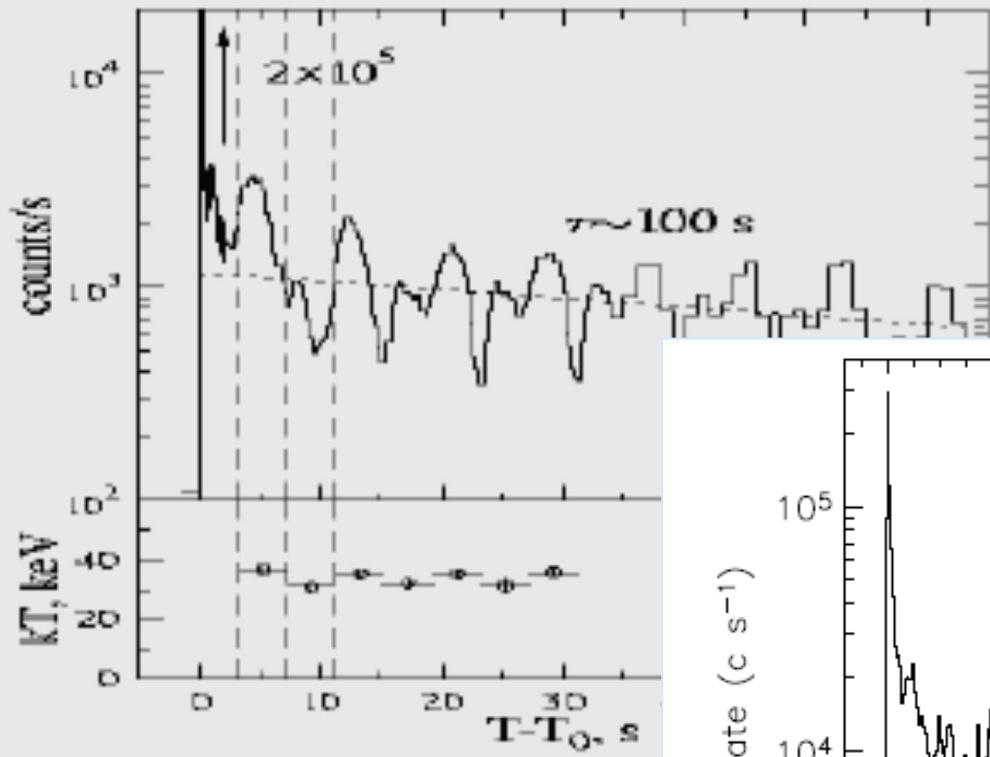
SGR 1900+14
Beppo SAX

May 1997

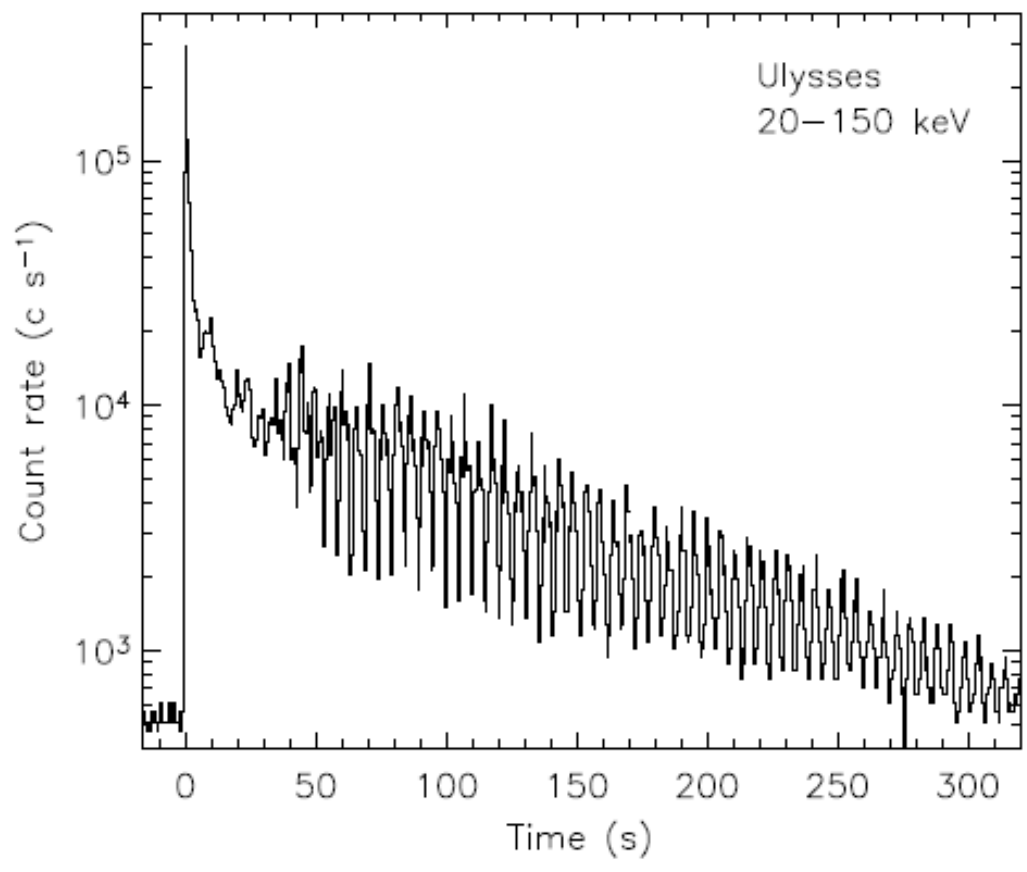
September 1998



Mas se a distâncias são ~ 10 kpc
ou maiores, como é que há tanta
energia liberada em surtos?



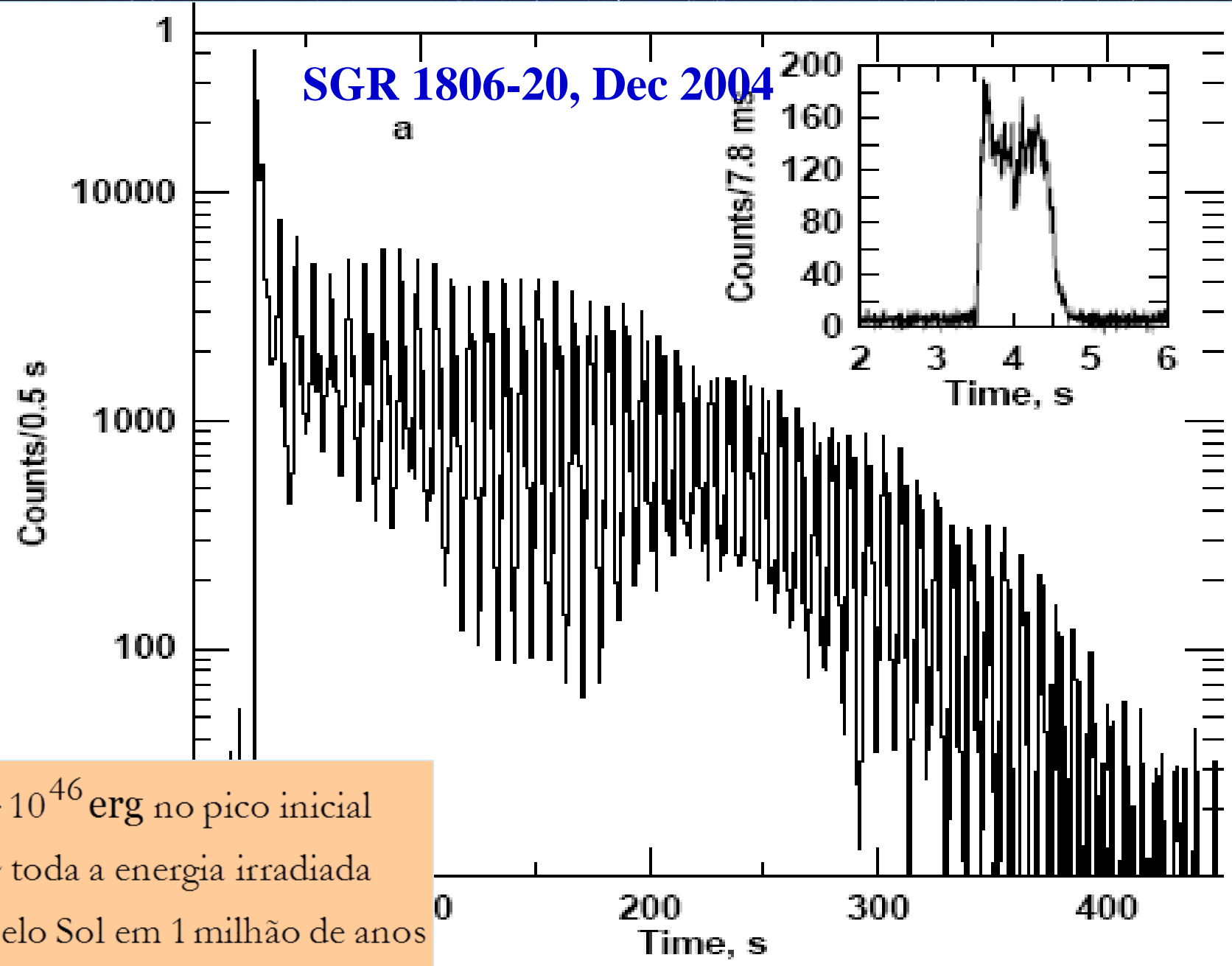
SGR 0526-66
5 de Marco de 1979



SGR 1900+14
27 de Agosto de 1998

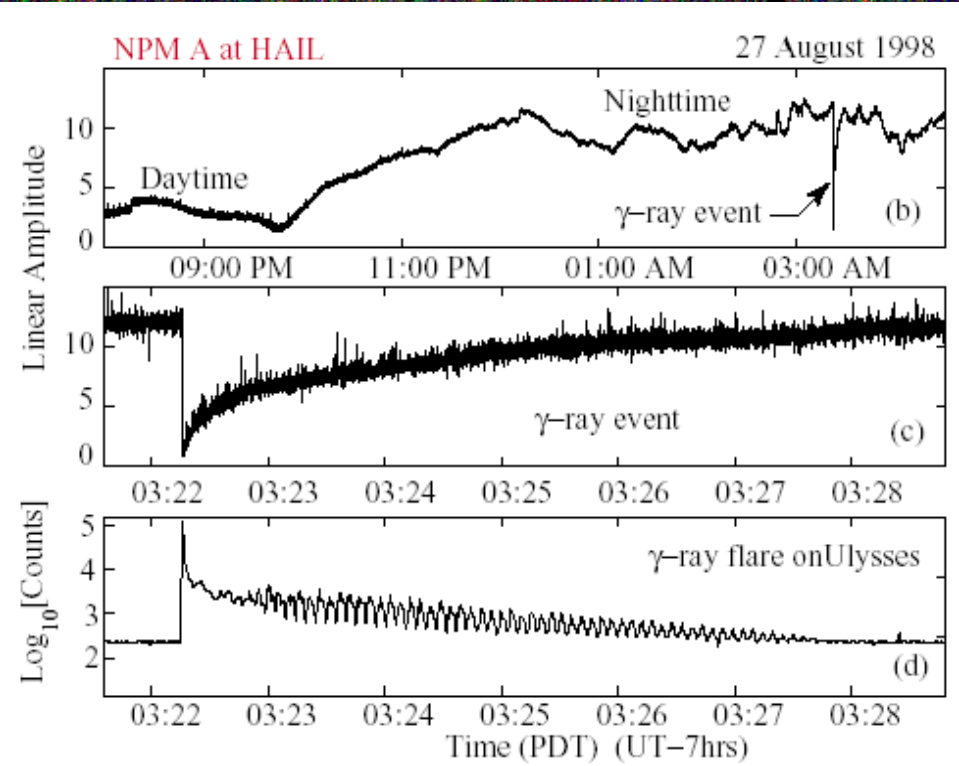
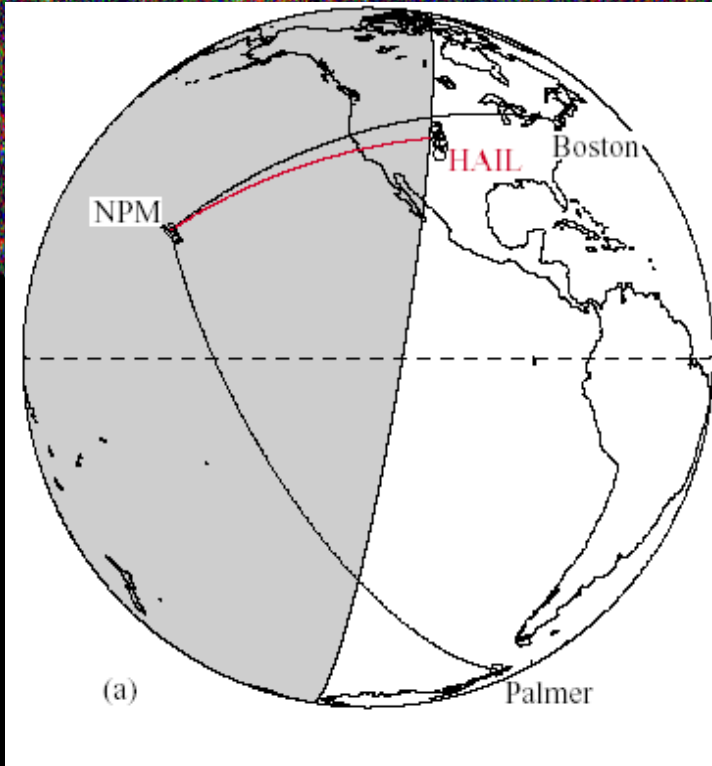
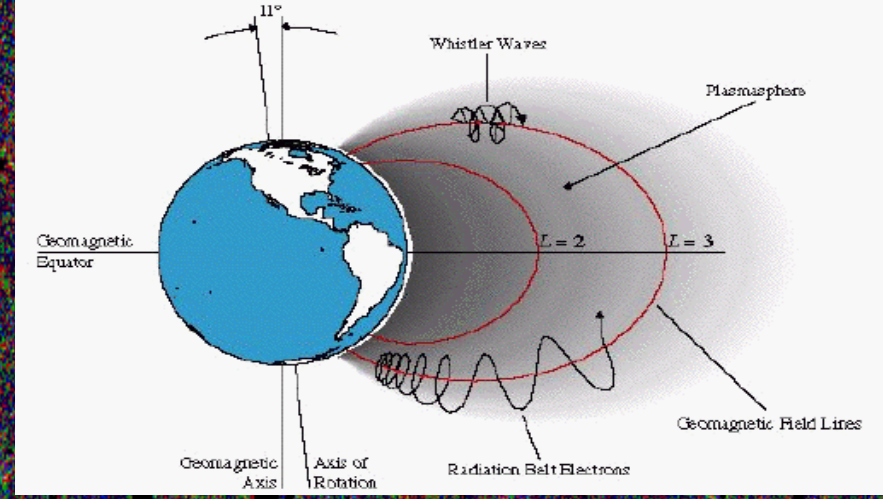
SGR 1806-20, Dec 2004

a



$> 10^{46}$ erg no pico inicial
~ toda a energia irradiada
pelo Sol em 1 milhão de anos
(e em raios gama !!!!)

December 2004 giant flare. a, 20–100-keV time history plotted with 0.5-s resolution, from the RHESSI γ -ray detectors. Zero seconds



Perturbação da ionosfera desde ~ 10 kpc !!!

MODELO 1



RRATs (Rotating Radio Transients)

MODELO 2



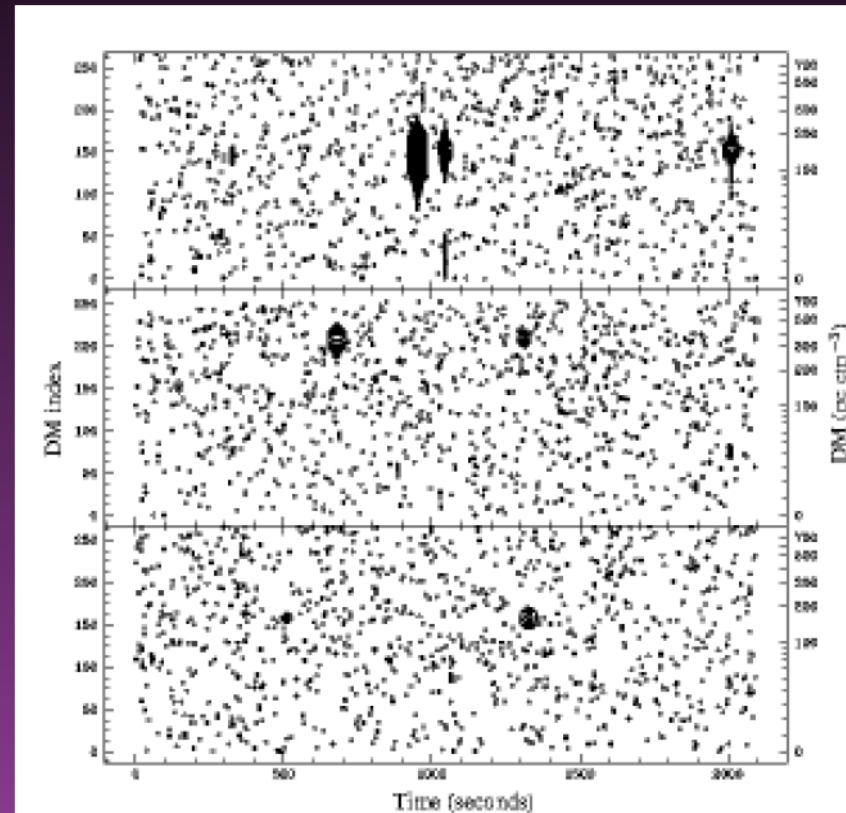
* Pulsos avulsos,
separados por \sim
horas, mas **em fase**

• Muito difíceis de
detectar, número
enorme deles
ma galáxia

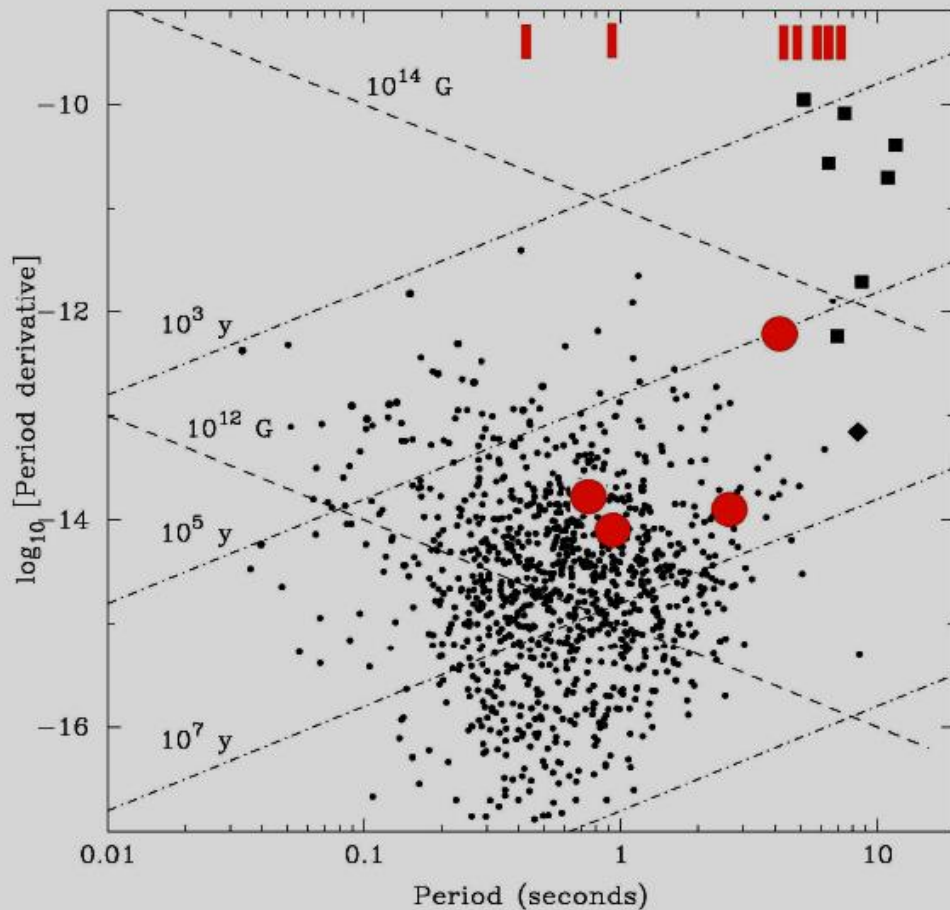
J1317-5759

J1443-60

J1826-1429



Provavelmente são também NS em rotação cuja emissão é esporádica Caso extremo de pulsares que estão **quase sempre “apagados”**



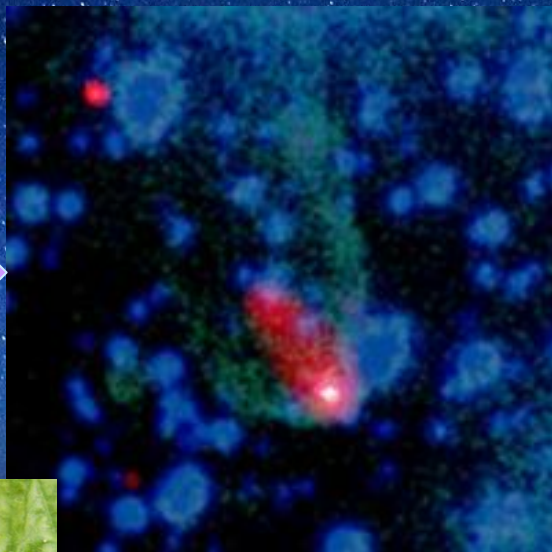
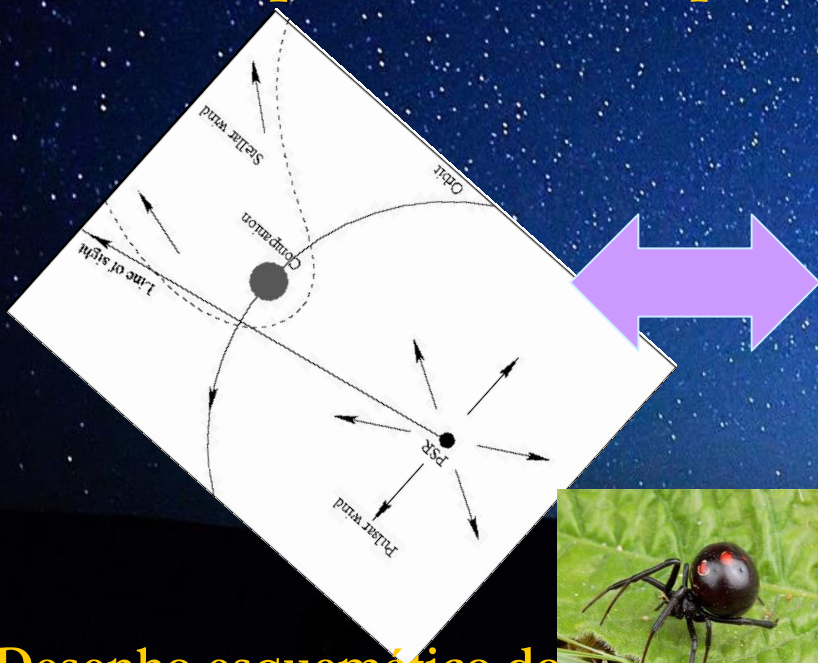
Idades \sim Myr

Todas as detectadas
estão no disco da
galáxia

“Aranhas” no Cosmo

1982: Backer et al. descobrem o primeiro membro da classe dos pulsares de *ms*. RECICLADOS PELA ACRESÇÃO?

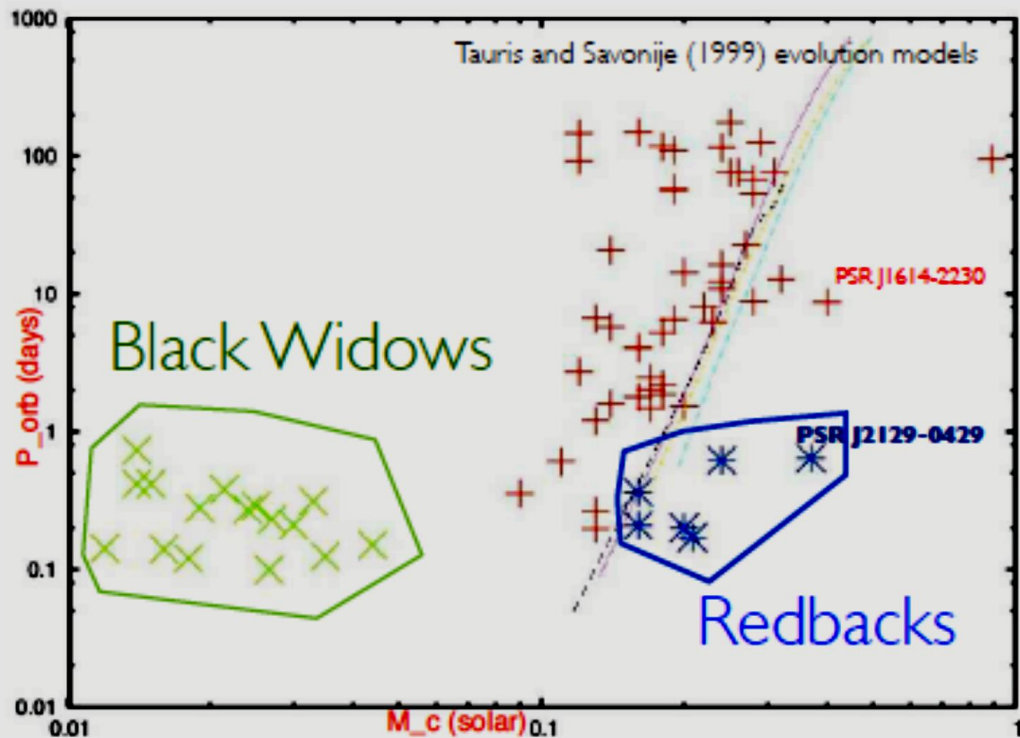
1988: Fruchter, Stinebring & Taylor (Nature 333, 237, 1988) detectam um pulsar eclipsante com uma companheira de massa **muito baixa**, a hipótese de *ablação da massa* pelo vento do pulsar é a mais provável (viúvas negras)



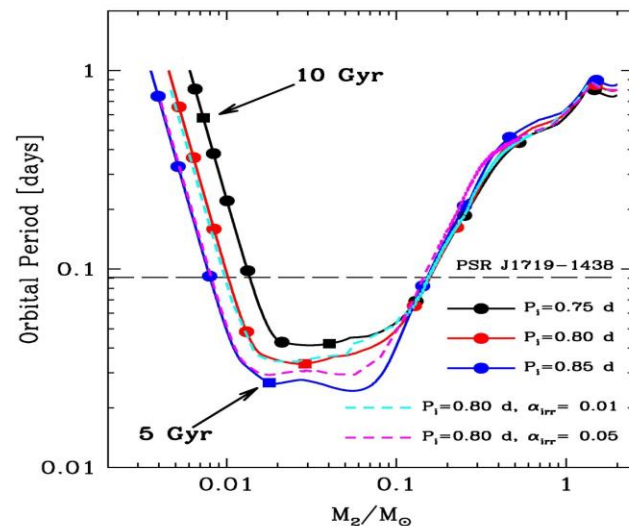
Desenho esquemático do pulsar PSR 1509-58

Imagens reais do *Chandra* (2012)

Retrato da família das aranhas...

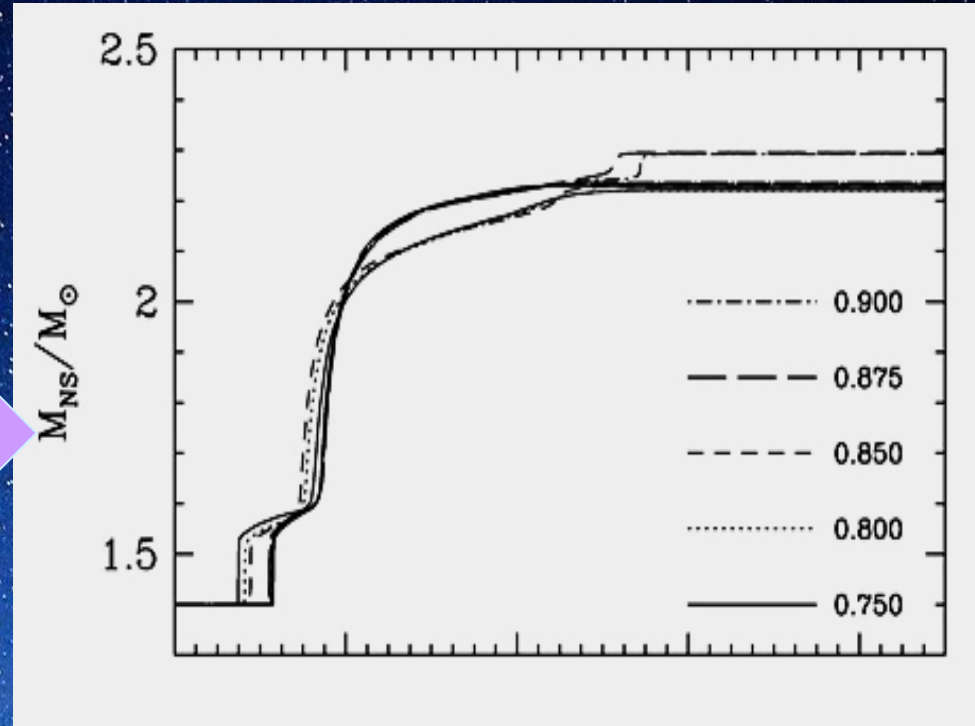
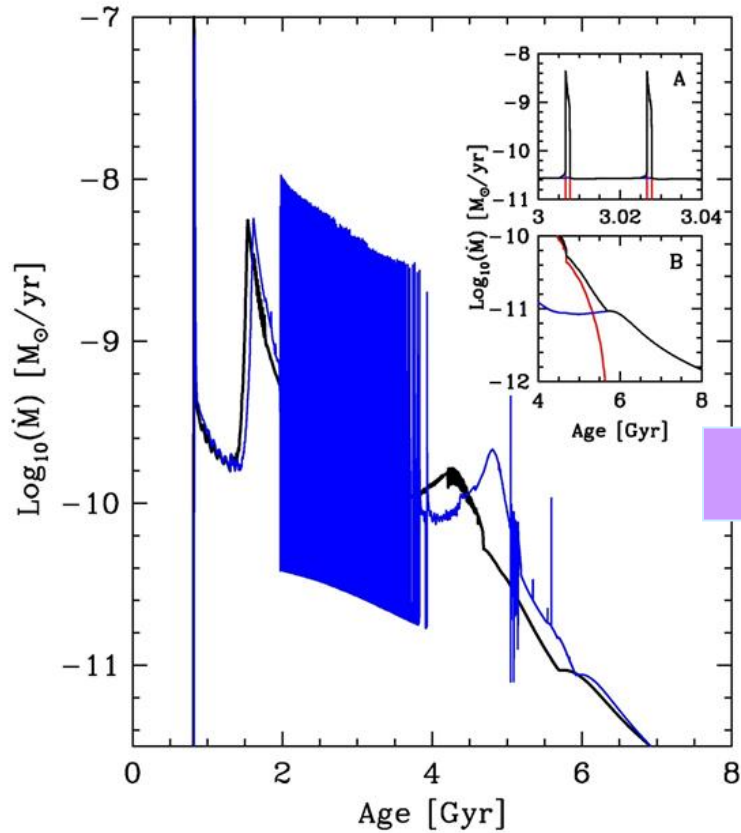


M. Roberts, arXiv:1210.6903



Benvenuto, De Vito & Horvath 2012)

Os nossos cálculos requerem transferência de $> 1 M$ para atingir o estado final observado !




Eficiência fixa na acreção of 50%: metade da matéria acretada escapa do sistema (e isso?)

Novos dados do pulsar “viúva negra” original
PSR 1957+20:

(van Kerkwijk, Breton & Kulkarni, ApJ 728, 95, 2011)

$M_{\text{psr}}/M_2 \sim 70$ (linhas espectrais, velocidade radial)


$$M_{\text{psr}} = 2.4 \pm 0.12 M_{\odot}$$

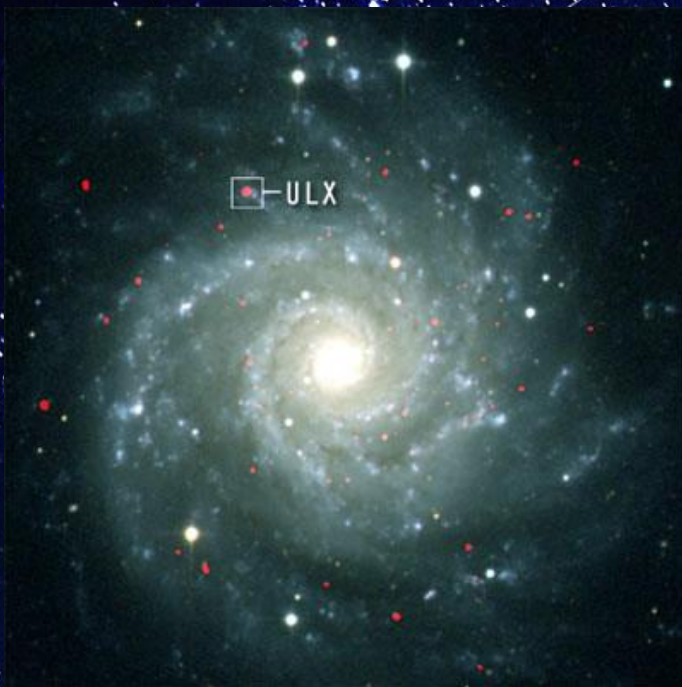
($M_{\text{psr}} > 1.66 M_{\odot}$ firme)

Romani et al. (ApJ 760, L36, 2012) acharam 3 soluções

Para a estrela de nêutrons PSR J1311-3430, dependendo da interpretação $M_{\text{psr}} > 2.1 M_{\odot}$ até $\sim 3 M_{\odot}$

(estamos perto do limite de
Rhoades-Ruffini???)

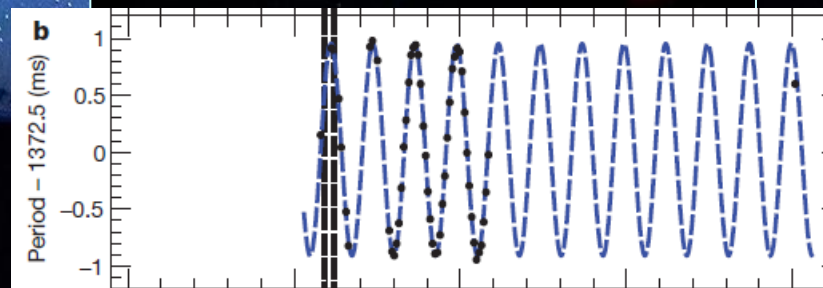
As ULX não são buracos negros! (9/Outubro/2014)



Esperava-se que fossem buracos negros de $\sim 100 M_{\odot}$ acretando...

$$L_{\text{Eddington}} = 1.2 \times 10^{38} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right) \text{ erg/s}$$

E o que foi identificado é uma estrela de nêutrons radiando 100 vezes mais raios X do que é “possível”...



Para lembrar...

- * Estamos em condições de estudar várias classes de estrelas de nêutrons, mas ainda longe de saber o que gostaríamos. Os instrumentos modernos enxergam estrelas de ~ 10 km a distâncias de \sim kpc*
- * Em particular, a sua composição interna é ainda um mistério, e há novas evidências que apontam para fazer o problema ainda mais complicado...*
- * **Longe** ficou a época “mágica” onde qualquer ideia era válida e permitia publicar algo...*

Perguntas?

