

As estrelas de nêutrons e os pulsares

- Landau propôs a existência de estrelas de nêutrons logo após a descoberta dos nêutrons por Chadwick, em 1932. Em 1934, sugeriu-se que as estrelas de nêutrons seriam formadas depois de uma explosão de supernova, o que acontece quando o caroço de uma estrela muito massiva sofre colapso gravitacional.
- A primeira explosão de supernova foi registrada pelos Chineses em 1054. A nebulosa de Caranguejo, na Constelação de Touro é a remanescente dessa explosão.
- Recentemente, uma explosão de supernova foi observada na Nuvem de Magalhães a 170.000 anos-luz da Terra.
- Ocorrendo o colapso gravitacional, uma estrela de proto-nêutrons é formada. Vários estágios diferentes podem acontecer durante o processo de esfriamento da estrela de proto-nêutron até que a estrela de nêutrons seja formada.

- Em 1967 o astrônomo inglês A. Hewish detectou os primeiros **pulsares**, que são estrelas de nêutrons em rotação com campos magnéticos muito fortes. Os pulsares são fontes de emissão de pulsos muito regulares, principalmente na faixa de comprimento de onda de rádio. **Chegaram a pensar que se tratavam de mensagens de extraterrestres...(ver animações)**
- A maioria dos pulsares emite pulsos na faixa de comprimento de onda do rádio, mas também de raios-X. Poucos emitem pulso na faixa ótica.
- O pulsar de Caranguejo emite tanto nas faixas de rádio, como na ótica e de raio-X.
- As estrelas de nêutrons são ligadas pela força gravitacional e a pressão é zero quando a densidade é zero (na superfície da estrela).

- O estado fundamental da força nuclear forte é composto de hádrons (prótons, nêutrons, híperons,...).

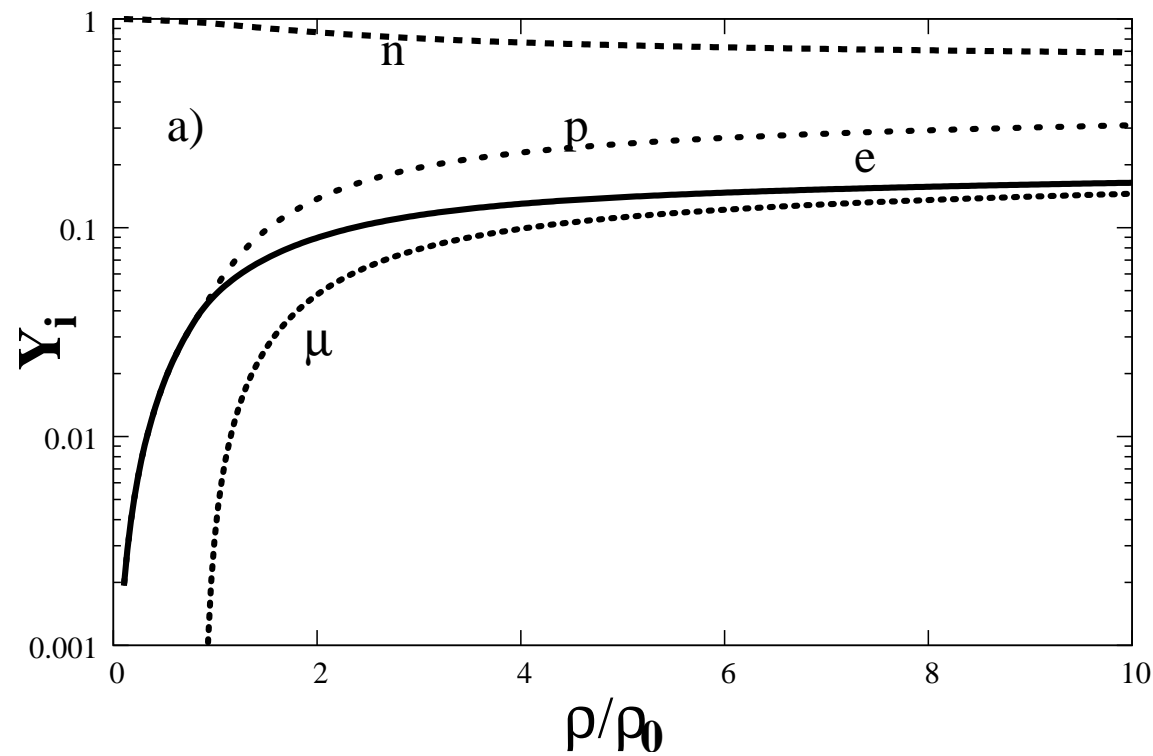
The baryon octet

Bárion	M (MeV)	conteúdo	J	τ_3	S	carga elétrica
p	938.28	uud	1/2	+1/2	0	1
n	939.57	udd	1/2	-1/2	0	0
Λ	1115.6	uds	1/2	0	-1	0
Σ^+	1189.4	uus	1/2	+1	-1	+1
Σ^0	1192.5	uds	1/2	0	-1	0
Σ^-	1197.3	dds	1/2	-1	-1	+1
Ξ^0	1314.9	uss	1/2	+1/2	-2	0
Ξ^-	1321.3	dss	1/2	-1/2	-2	-1

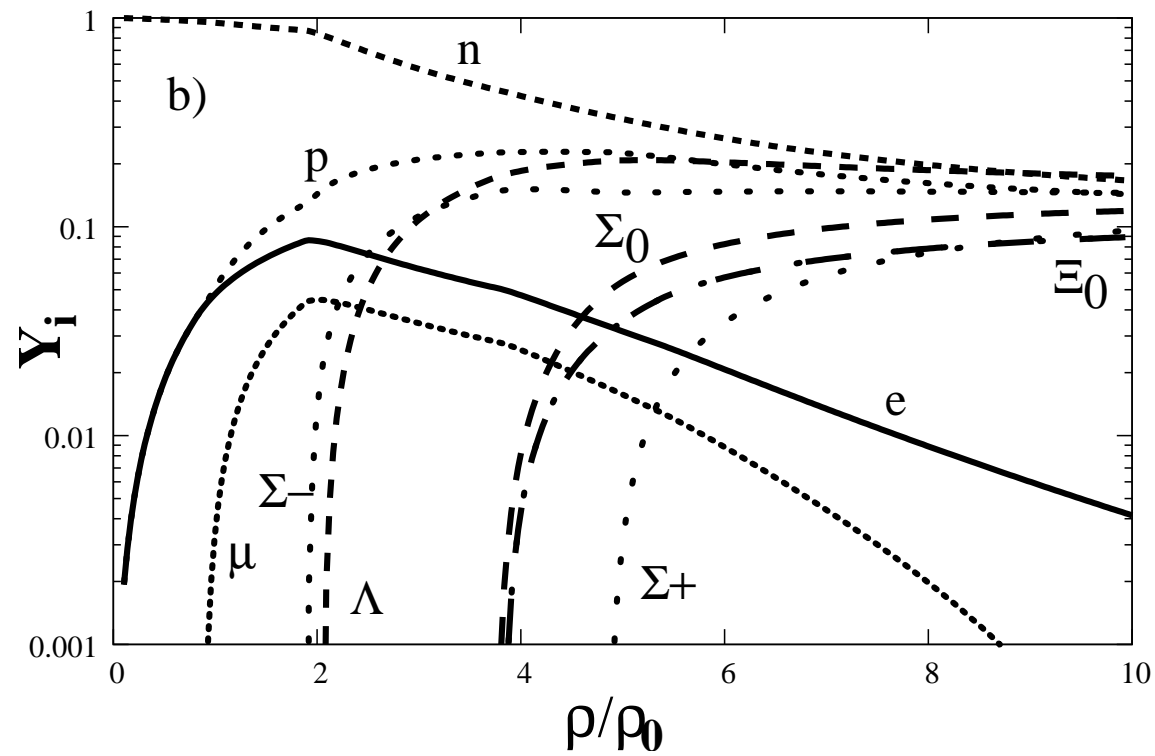
- Possíveis composições para as estrelas de nêutrons (o elétron e o muon estão sempre presentes para garantir a neutralidade de carga) são:

– estrelas hadrônicas:

* só nêutrons e prótons (com crosta);

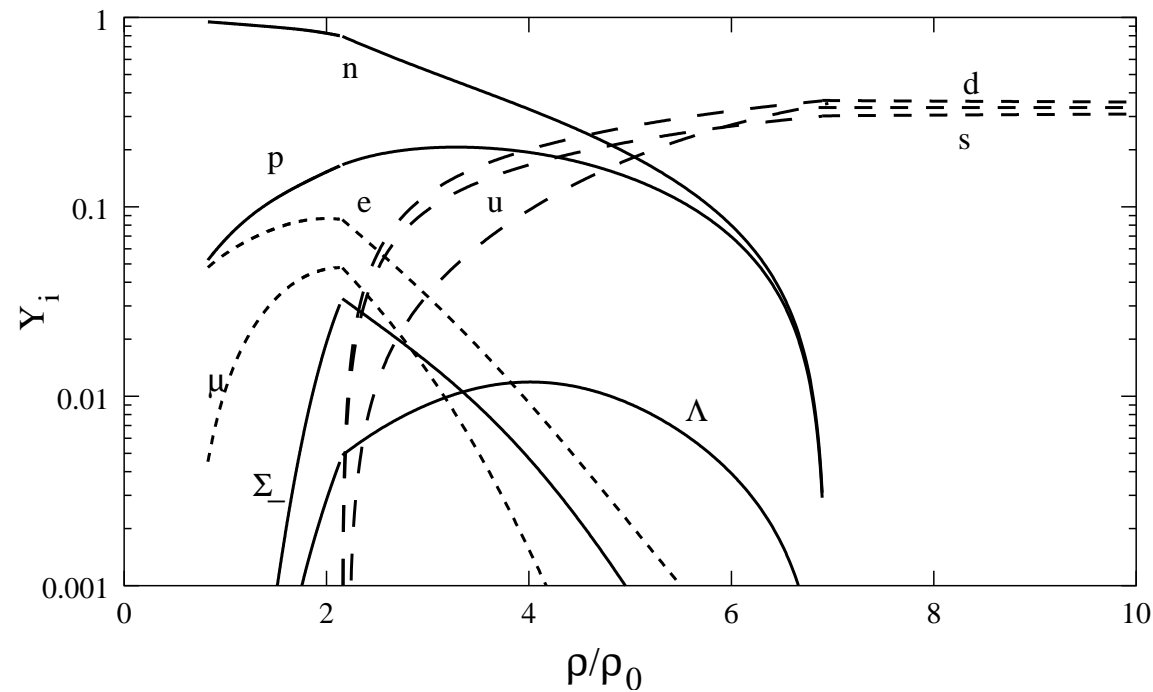


* os 8 bárions mais leves (com crosta);

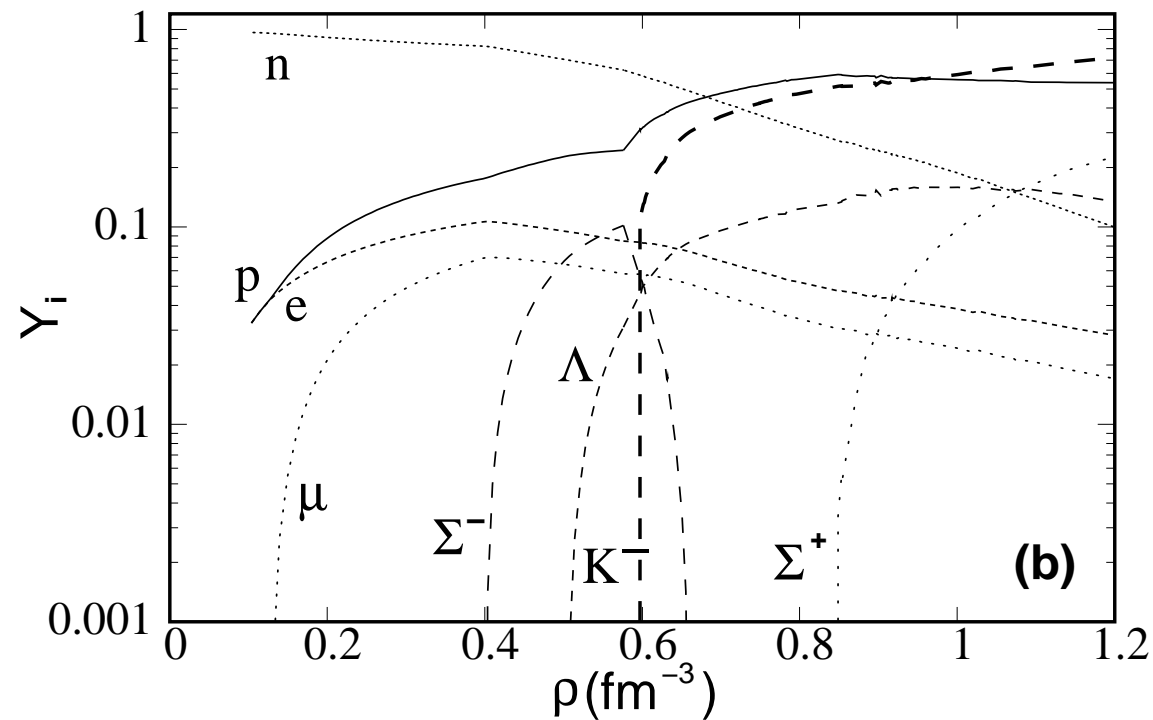


– estrelas híbridas:

- * só nêutrons e prótons na parte mais externa, uma mistura de nêutrons, prótons e quarks numa parte mais interna e, possivelmente, só quarks na parte central (com crosta);
- * os 8 bárions mais leves na parte mais externa, uma mistura desses bárions e quarks numa parte mais interna e, possivelmente, só quarks na parte central (com crosta);



- * só nêutrons e prótons na parte mais externa e uma mistura de nêutrons, prótons e um condensado de kaons na parte mais interna (com crosta);
- * os 8 bárions mais leves na parte mais externa e uma mistura desses bárions e um condensado de kaons na parte mais interna (com crosta);



- Mas os pulsares também poderiam ser estrelas de quarks (apenas)...
- Conjectura de Bodmer-Witten: matéria estranha (ou quarkiônica) pode ser o estado fundamental da interação forte a altas densidades. Essa conjectura não é possível de ser testada na Terra...
- Matéria estranha possui aproximadamente as mesmas quantidades de quarks u,d,s. Tão logo o centro da estrela se convertesse em matéria de quarks, toda a estrela também se converteria (desconfinamento).
- As estrelas de quarks seriam auto-ligadas apenas pela força nuclear forte e a força gravitacional não é necessária para assegurar a sua estabilidade. A pressão se torna zero para um densidade diferente de zero na superfície da estrela.

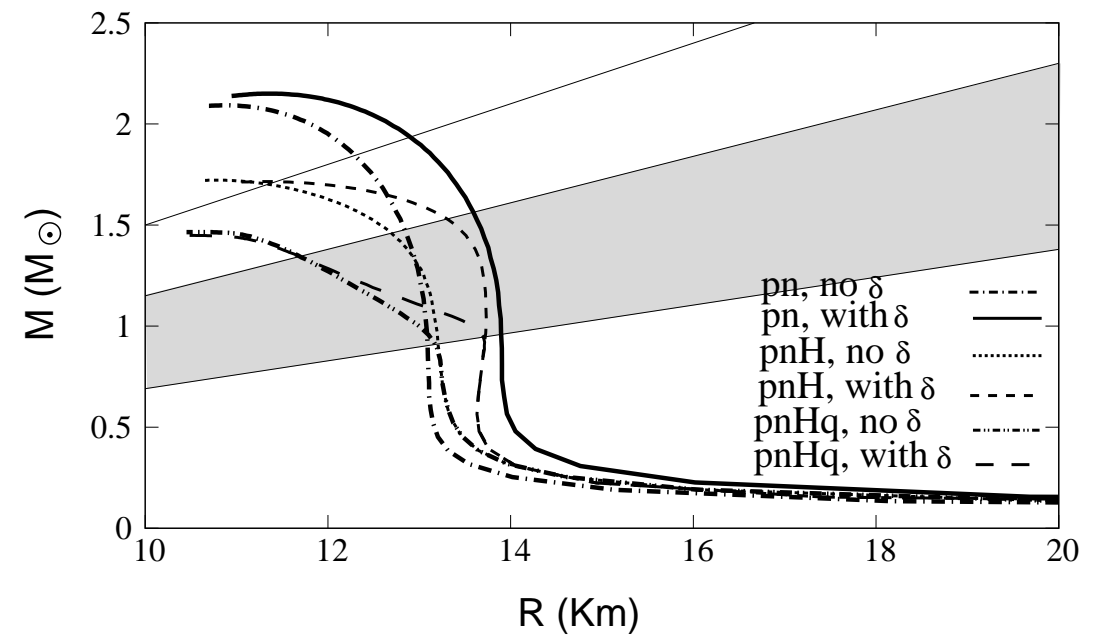
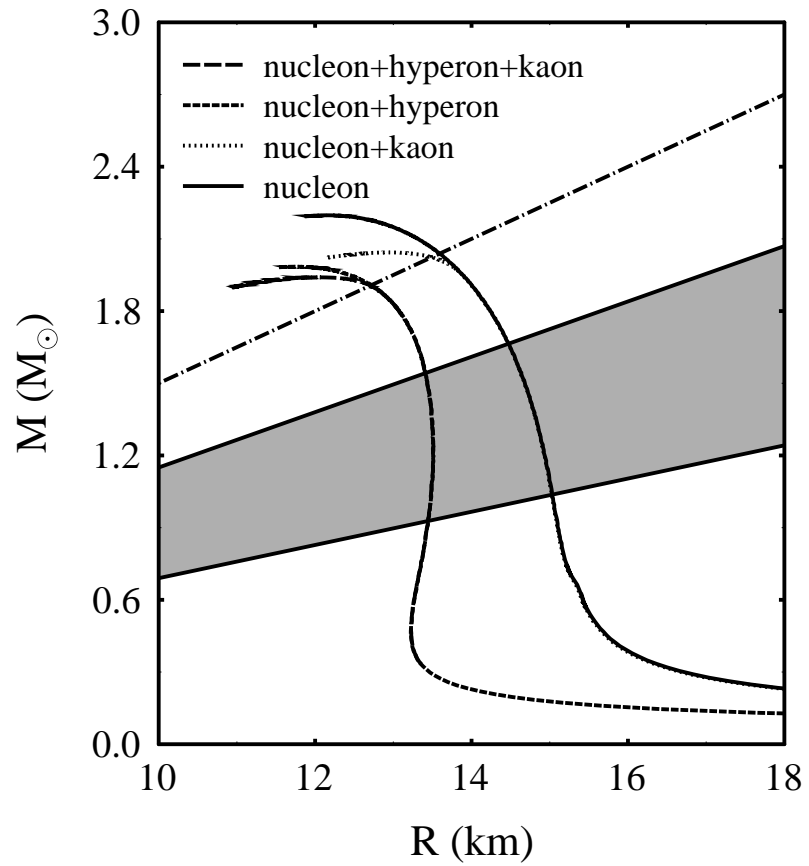
- Por que essa conjectura foi levada a sério se não pode ser testada?
- Porque:
 - algumas estrelas possuem velocidade de rotação mais alta do que seria esperado para uma estrela de nêutrons: estrelas ligadas pela força gravitacional não podem rodar mais rápido do que um certo limite porque se desintegrariam, mas estrelas de quarks podem.
 - pares elétron-pósitron se formam e são expelidos continuamente de pulsares. Eles poderiam ser produzidos em estrelas de quarks.
 - estrelas de quarks também poderia explicar um fenômeno conhecido por *glitches*, que são mudanças bruscas na velocidade de rotação dos pulsares.

- Enquanto as estrelas de nêutrons possuem uma crosta, as estrelas de quarks devem ser *carecas* porque a crosta fica ligada pela força gravitacional. Na formação da estrela de quarks ela deveria ser expelida.
- As estrelas de nêutrons possuem um raio da ordem de 11 Km e uma massa máxima da ordem de $1.44M_{\odot}$.
- As estrelas de quarks possuem um raio da ordem de 6 Km e uma massa máxima da ordem de $1.0M_{\odot}$.
- Ambos os tipos são observados.

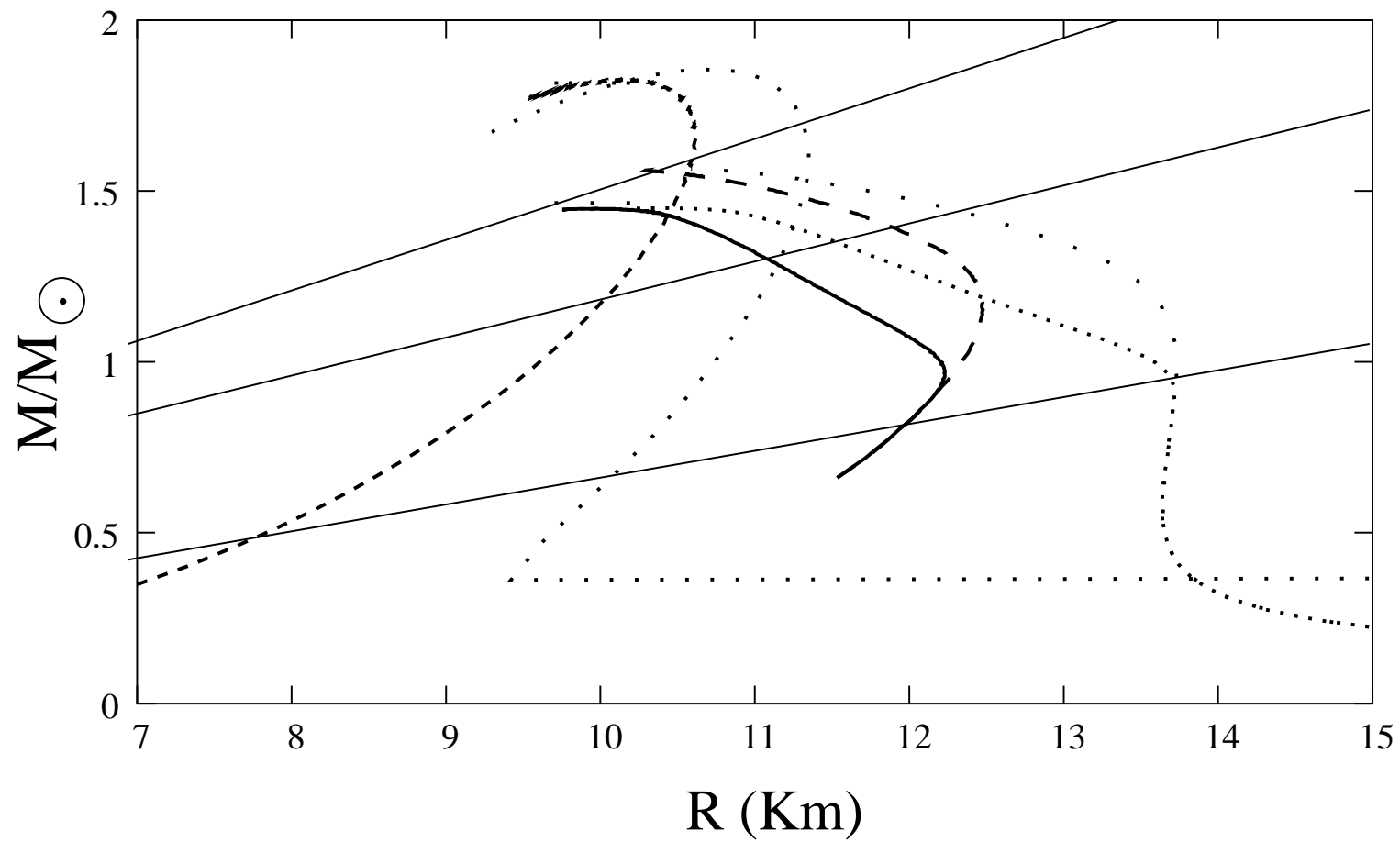
Como saber o que temos no interior dos pulsares?

Usando **restrições** obtidas por meio das observações. Algumas medidas do *redshift* de linhas espectrais geradas em pulsares podem determinar valores na razão massa-raio que sejam possíveis.

- A partir de 3 diferentes transições no espectro do sistema binário EXO0748-676, obteve-se um *redshift* de 0,35, o que corresponde a $M/R = 0.15M_{\odot}/Km$.
- A observação de 2 linhas de absorção no espectro do pulsar 1E 1207.4-5209 determinou que a razão massa/raio está entre $M/R = 0.069M_{\odot}/Km$ e $M/R = 0.115M_{\odot}/Km$.
- Há muitas controvérsias quanto a este segundo resultado na literatura.



Diferentes modelos que descrevem estrelas híbridas.



Diferentes models que descrevem estrelas de quarks, híbridas e hadrônicas.

Conclusões

Se a restrição contraditória for eliminada, muitos modelos que descrevem estrelas de nêutrons acabam excluídos, mas todos os que descrevem estrelas de quarks ficam mantidos.

A existência de um tipo de estrela não elimina o outro tipo. As observações indicam que ambos os tipos existem.

Precisamos de maior número de observações que possam nos ajudar a entender quais são os verdadeiros **constituintes internos dos pulsares**.

Tenho dó das estrelas
Luzindo há tanto tempo,
Há tanto tempo...
Tenho dó delas.

Não haverá um cansaço
Das coisas, de todas as coisas,
Como das pernas ou de um braço?

Um cansaço de existir,
De ser,
Só de ser,
O ser triste brilhar ou sorrir...

Não haverá, enfim,
Para as coisas que são.
Não a morte, mas sim
Uma outra espécie de fim,
Ou uma grande razão
Qualquer coisa assim
Como um perdão?

Fernando Pessoa

Obrigada pela atenção!