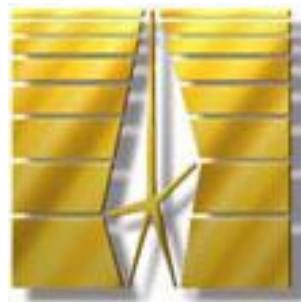


Нейтронные звёзды и их оболочки

А.И. Чугунов

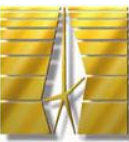
ФТИ им. А.Ф. Иоффе



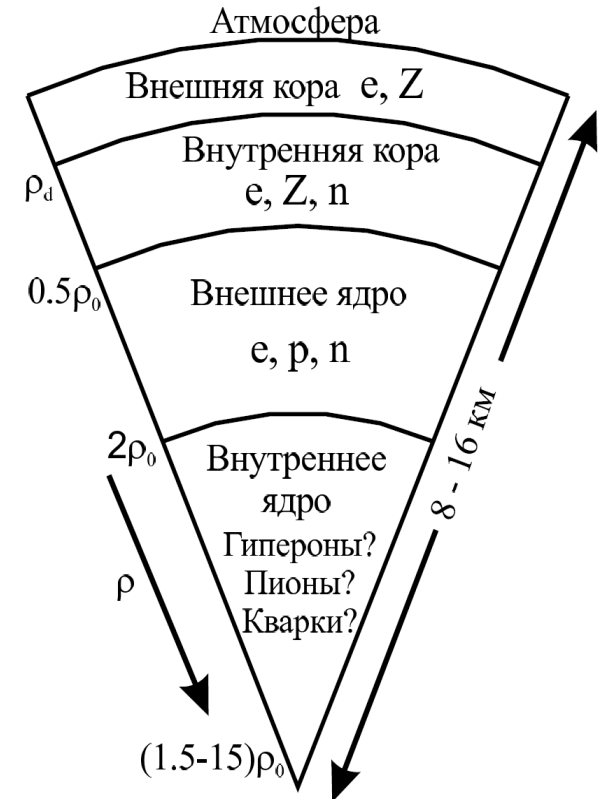
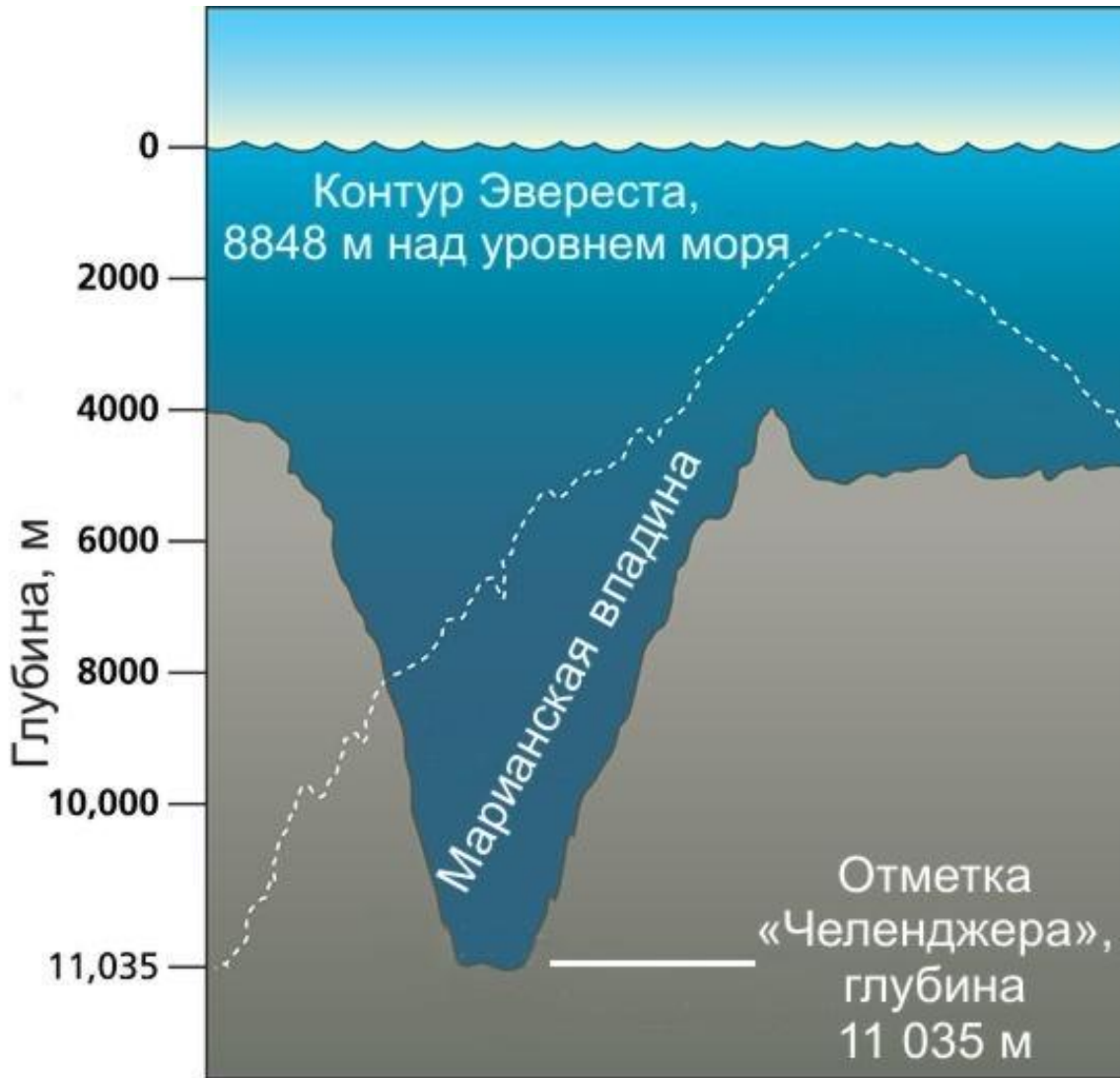
Санкт-Петербургский Астрономический Семинар
28 апреля 2010

План доклада

1. Нейтронные звёзды
2. Массы нейтронных звёзд
3. Остывание нейтронных звёзд
4. Колебания нейтронных звёзд
5. Оболочки нейтронных звёзд



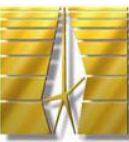
Нейтронные звёзды



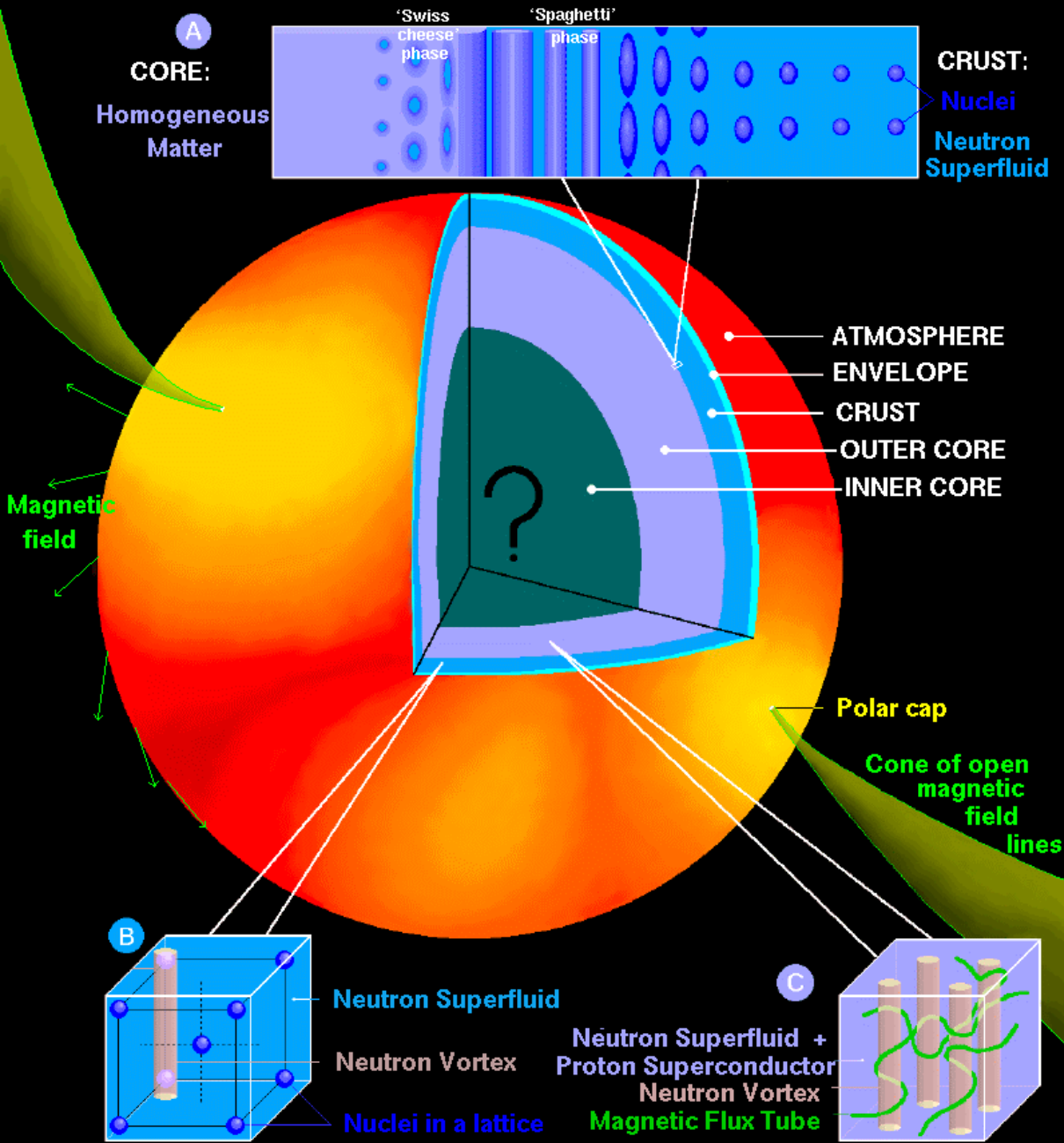
$$R \sim 10 \text{ km},$$

$$M \sim 1.4 M_{\odot},$$

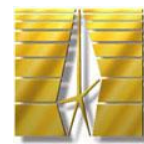
$$\rho \sim 10^{15} \text{ г/см}^3$$



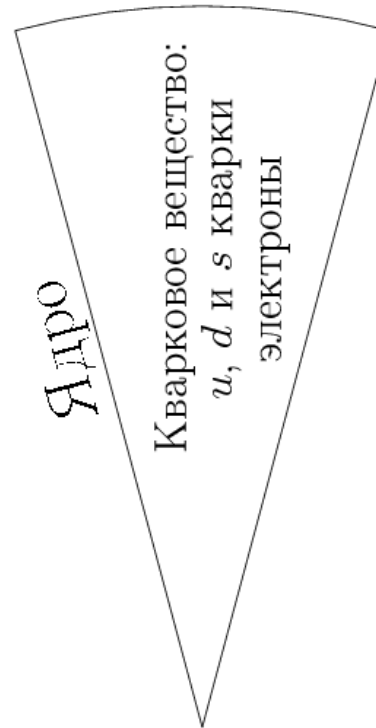
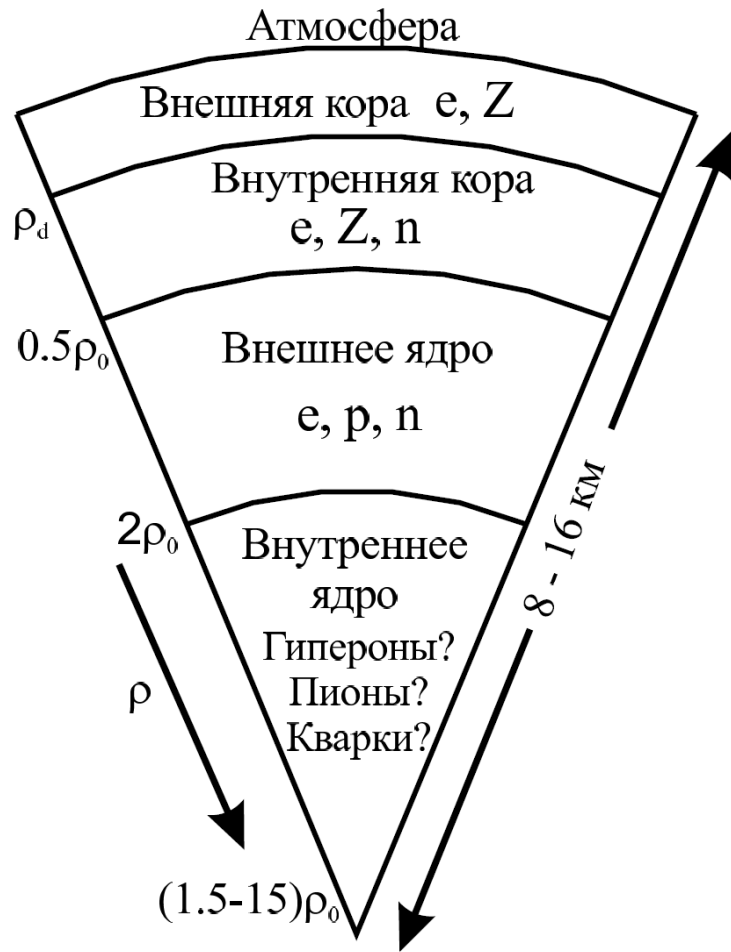
A NEUTRON STAR: SURFACE and INTERIOR



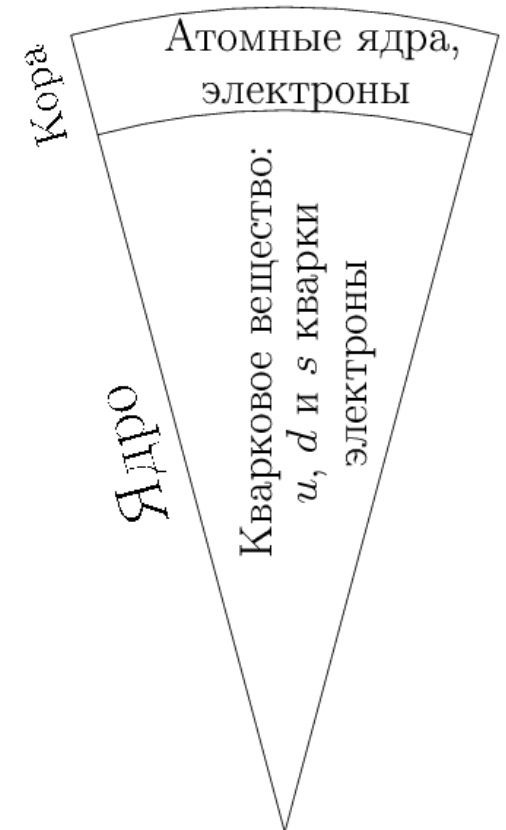
©Dany Page,
UNAM



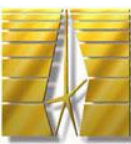
Странные (кварковые) звёзды



Странная звезда без коры

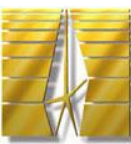


Странная звезда с корой



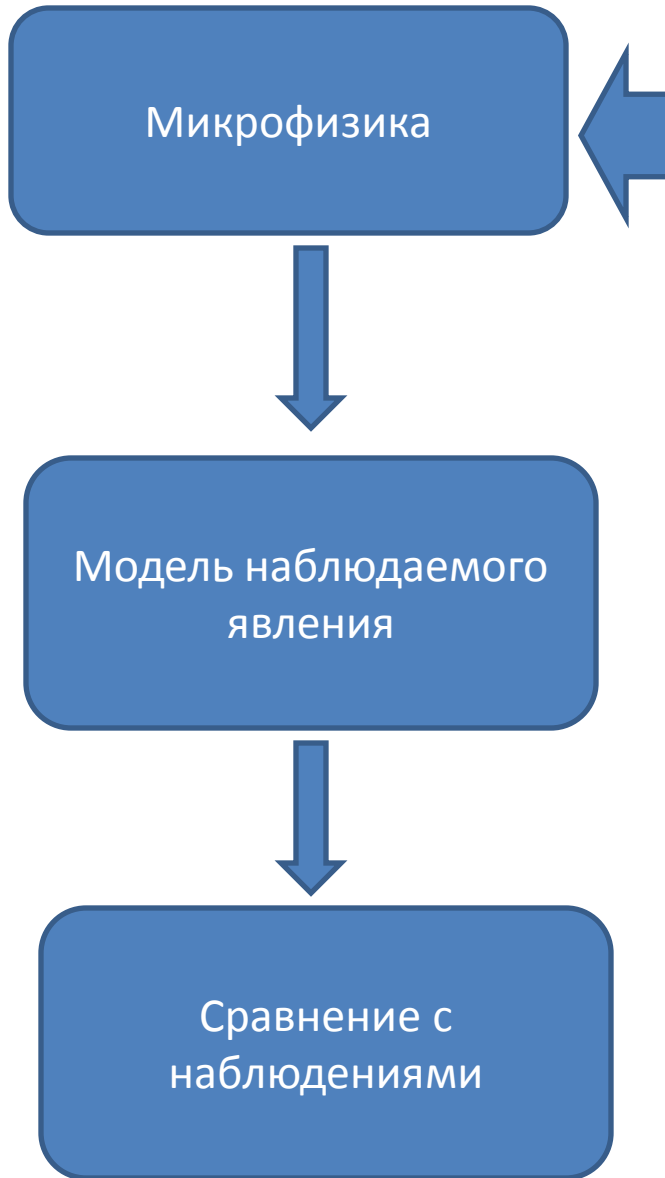
Наблюдательные проявления

- Пульсары
 - Периоды P , dP/dt , d^2P/dt
 - Радио излучение
 - Рентгеновское излучение
 - Глитчи – резкие сбои периода
- Тепловое излучение поверхности
 - Изолированные звёзды
 - Аккрецирующие звёзды
 - Вспышки, сверхвспышки
- Аккреция
- Колебания
- ...

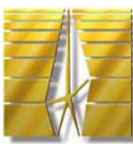


Моделирование

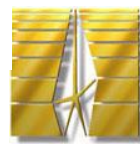
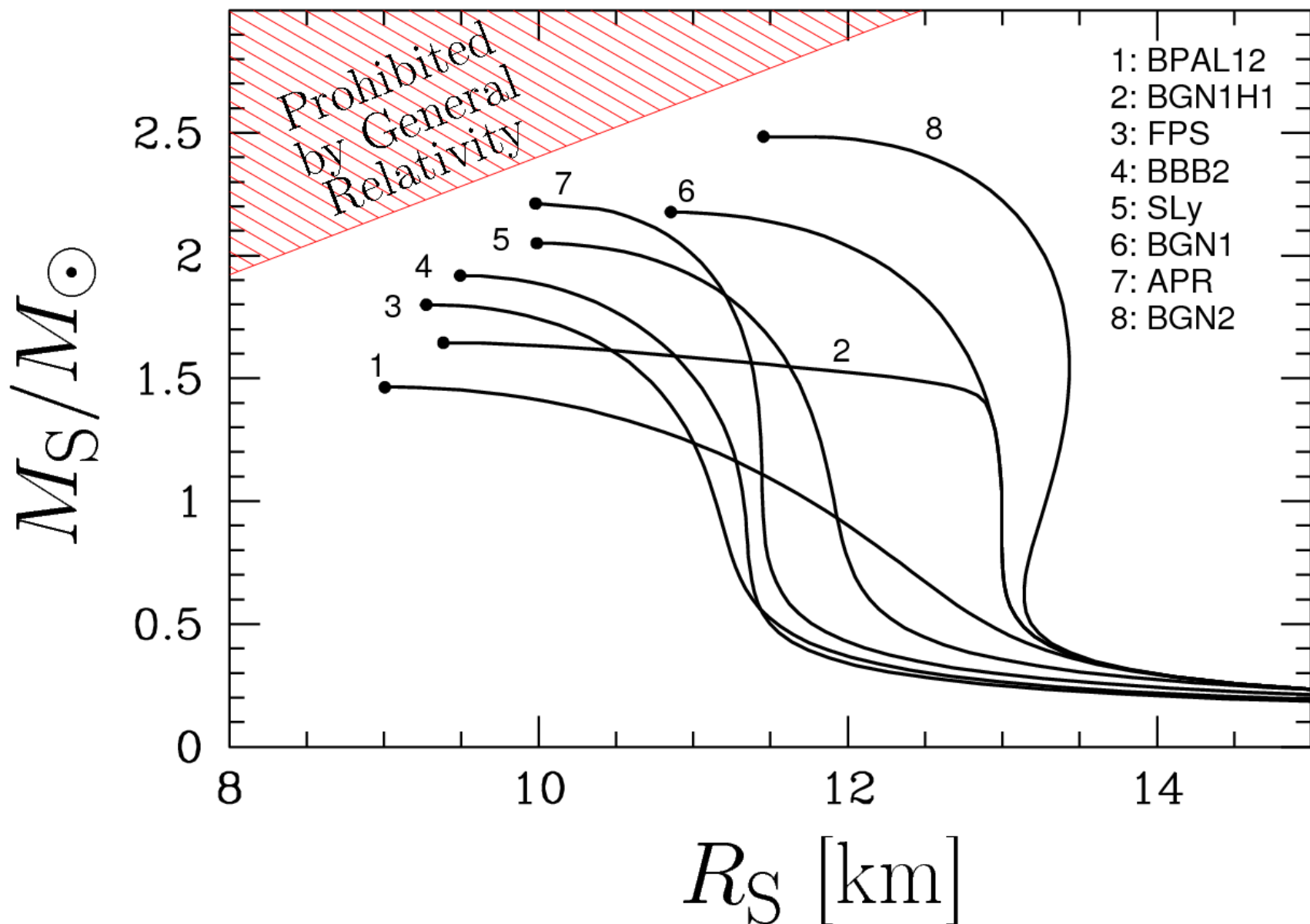
Ограничения



- Уравнение состояния ядра
- Сверхтекучесть
- Нейтринное излучение
- Коэффициенты переноса
- Перенос и «химия» в атмосфере
- Свойства плазмы магнитосферы
- Состав коры
- Упругие свойства коры
- Ядерные реакции
-



Зависимость массы от радиуса



Измерения массы:

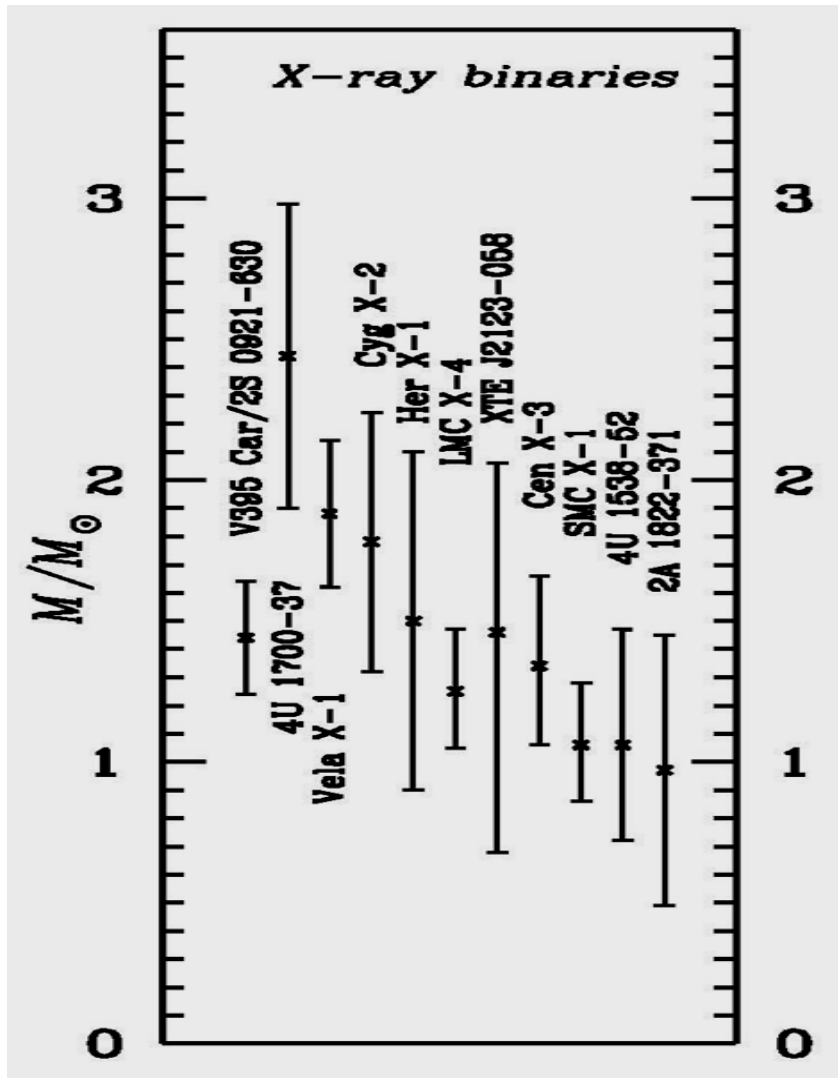
Двойные системы с нейтронной звездой

«Классическая» двойная система – не хватает параметров для измерения массы

Компаньон

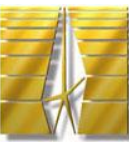
- Обычная звезда. Рентгеновские двойные (с аккрецией на нейтронную звезду)
- Белый карлик или нейтронная звезда.
Эффекты ОТО – дополнительные измеряемые параметры!!!

Рентгеновские двойные



- Большие погрешности
- Сложность моделирования из-за больших размеров компаньона
- Есть заявка на массивную НЗ (4U 1700-37)

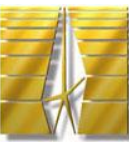
(рисунок из доклада Д.Г. Яковлева на семинаре сектора теоретической астрофизики)



Двойные нейтронные звезды

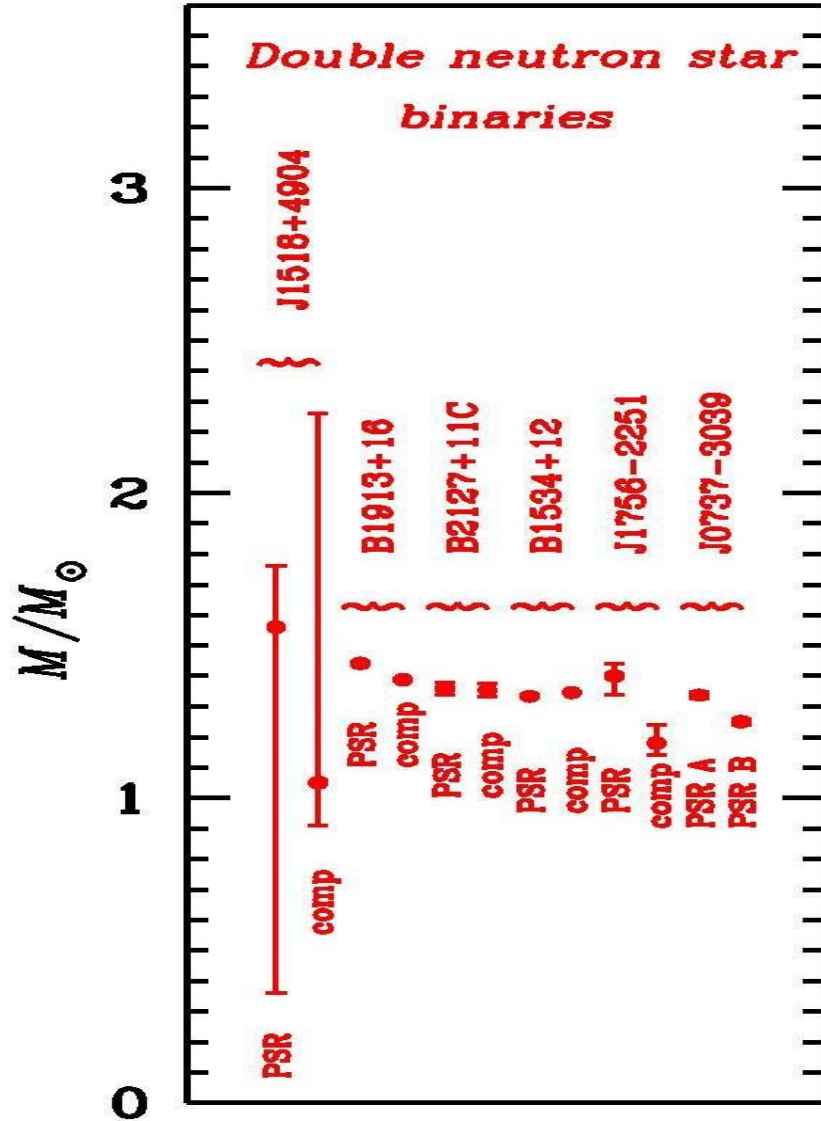
- Точечные массы
- Точные тайминг (для пульсаров)
- Эффекты ОТО
- Короткие орбитальные периоды

3 слайда далее из доклада Д.Г. Яковлева на семинаре сектора теоретической астрофизики ФТИ 23 марта 2010 г.

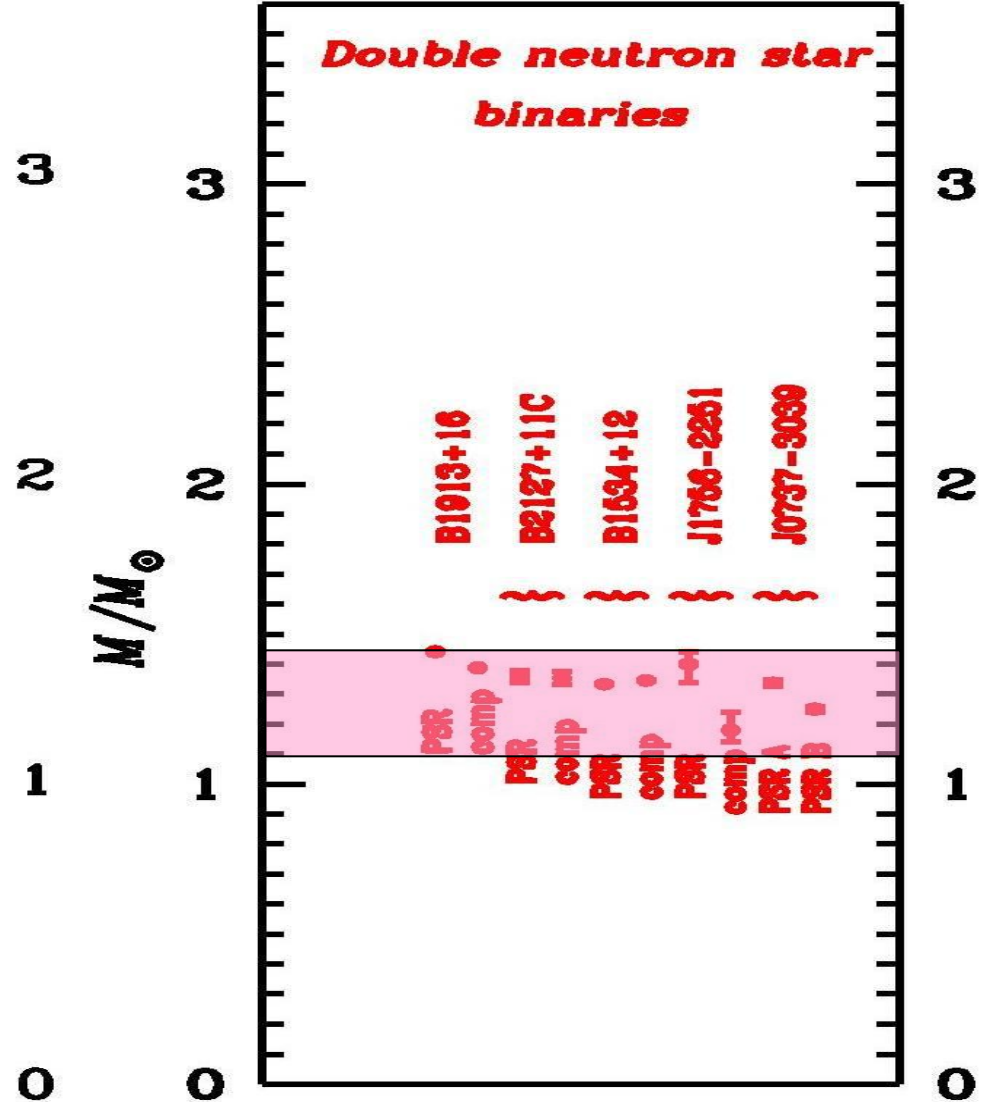


МАССЫ ДВОЙНЫХ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

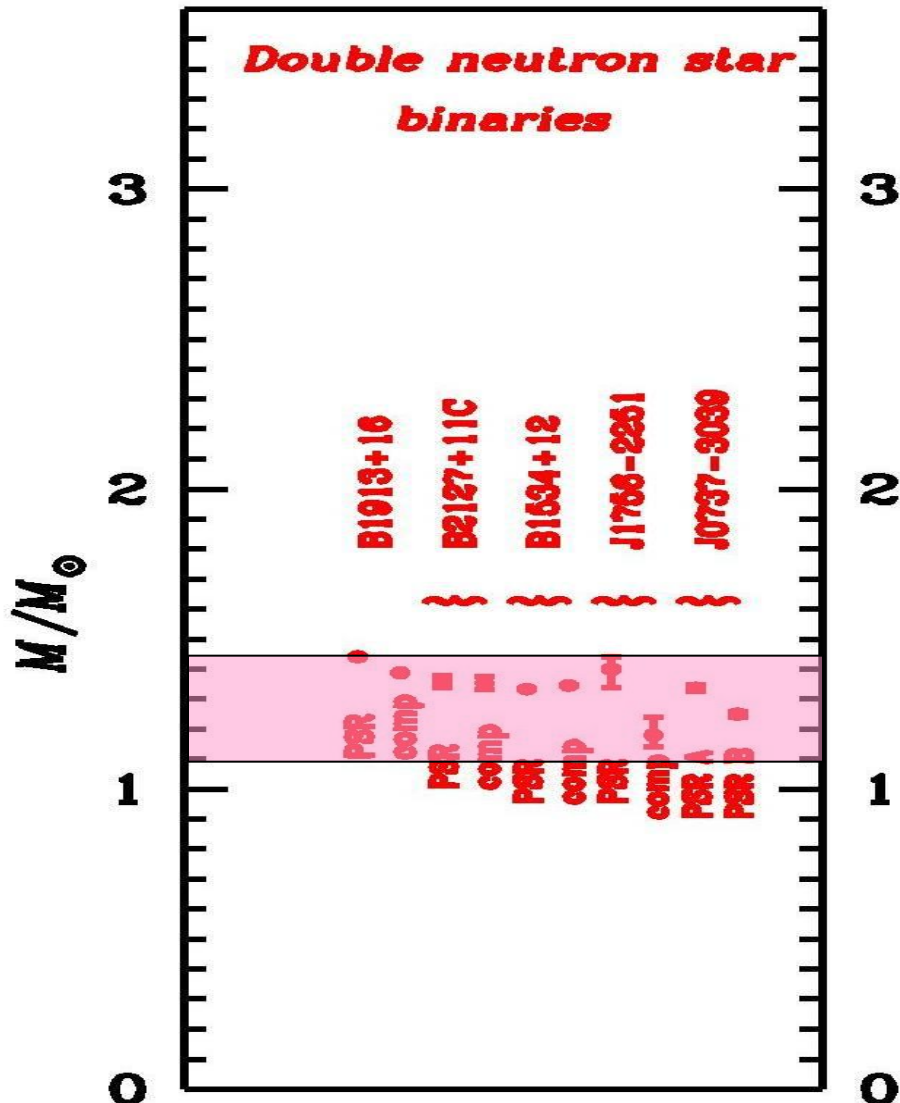
2007



2010



ВЫВОДЫ: МАССЫ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД



- Массы 10 нейтронных звезд в 5 системах измерены очень точно
- Пульсар Халса-Тейлора остается самой массивной нейтронной звездой такого типа
- Полная масса $M=M_1+M_2$ во всех системах примерно одинакова; M_1 и M_2 почти равны
- Трудно ожидать, что в этих системах есть массивные нейтронные звезды

РАДИОПУЛЬСАРЫ И БЕЛЫЕ КАРЛИКИ (или другие компактные компаньоны)

Преимущества:

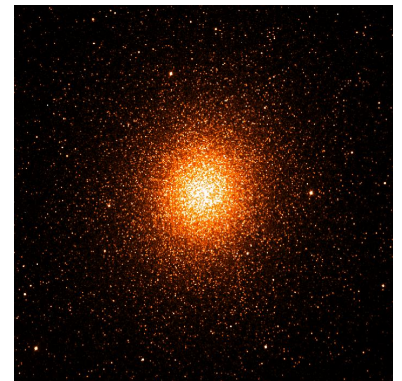
- *Компактность – кеплеровская задача*
- *Часто – миллисекундные пульсары, раскрученные аккрецией:
пульсары могут быть массивными,
короткие периоды – хороший тайминг,
слабое магнитное поле – нет пульсарного шума и глитчей*

Недостатки:

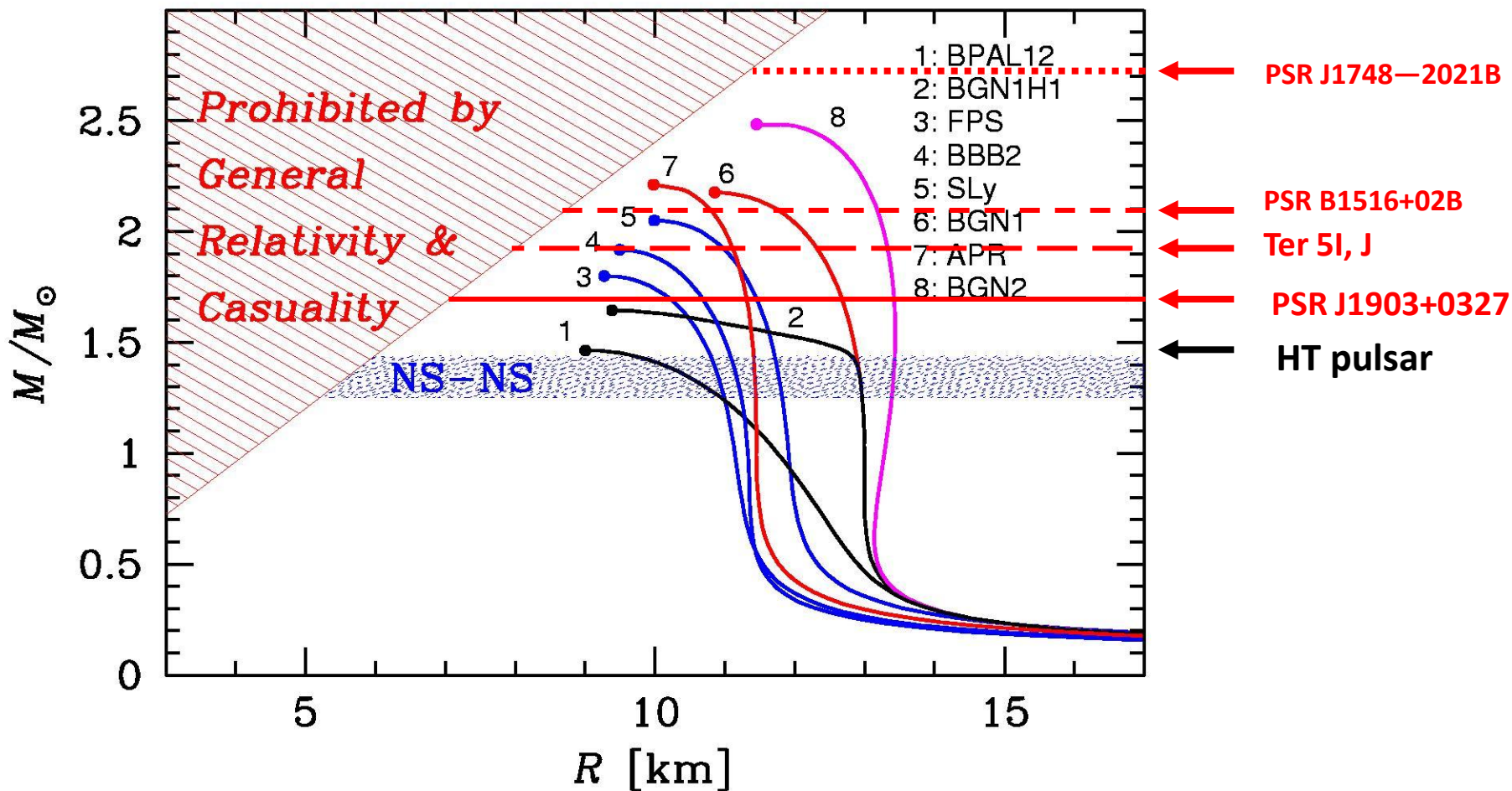
- *Прошли фазу активной аккреции – часто почти круговые орбиты =
трудно измерить вековой дрейф периастра и параметр гамма*
- *Маломассивные компаньоны – трудно измерить эффект Шапиро
и dP_b/dt*

Особенность:

- *Часто наблюдаются в шаровых скоплениях*

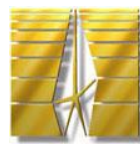


Измерения массы и зависимость $M(R)$

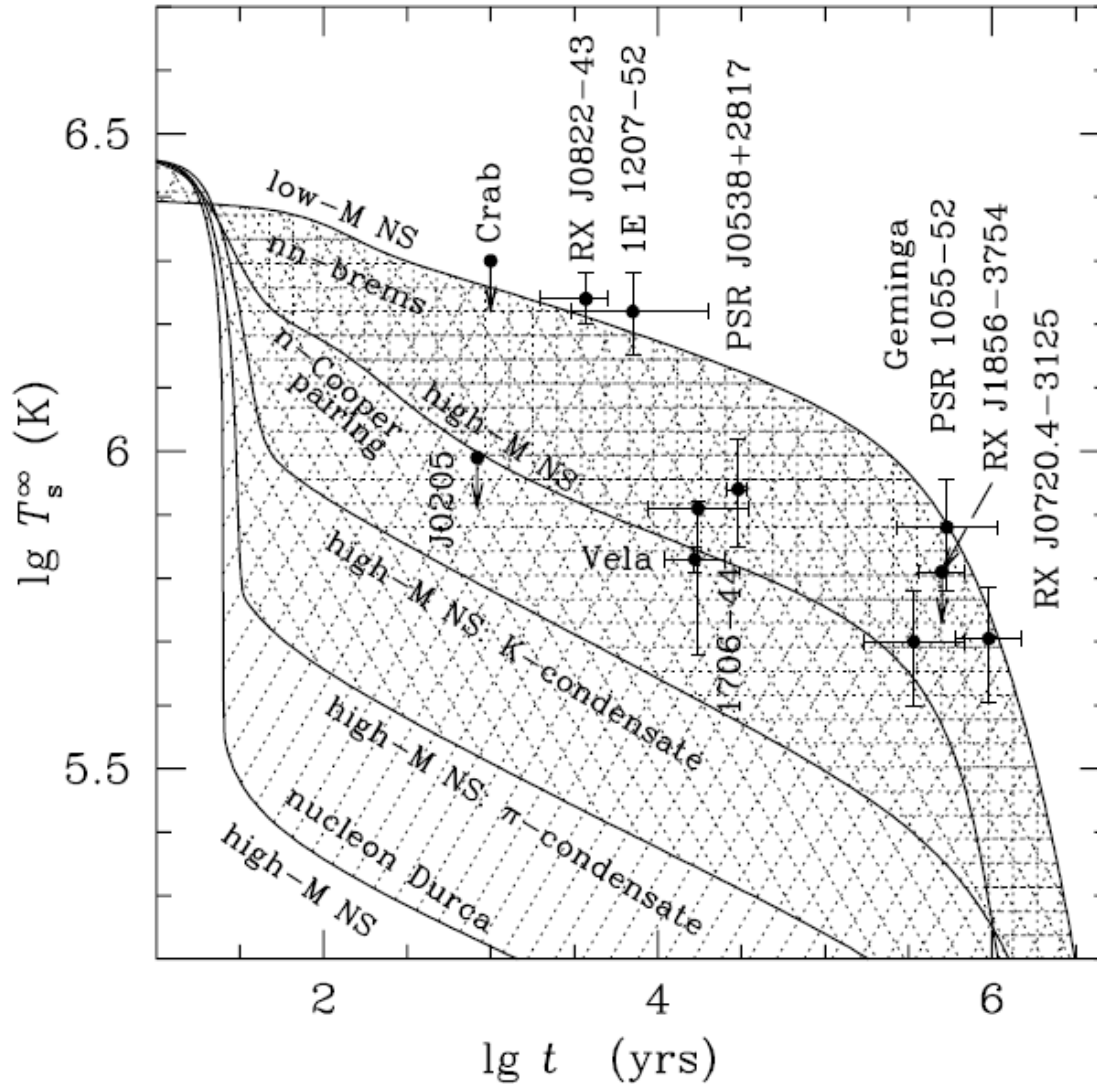


(Рисунок из доклада Д.Г. Яковлева на семинаре сектора теоретической астрофизики ФТИ 23 марта 2010 г.)

ИТОГО: Измерения массы важны, но в настоящее время они позволяют отбросить лишь наиболее мягкие уравнения состояния.



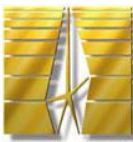
Остывание одиночных нейтронных звёзд



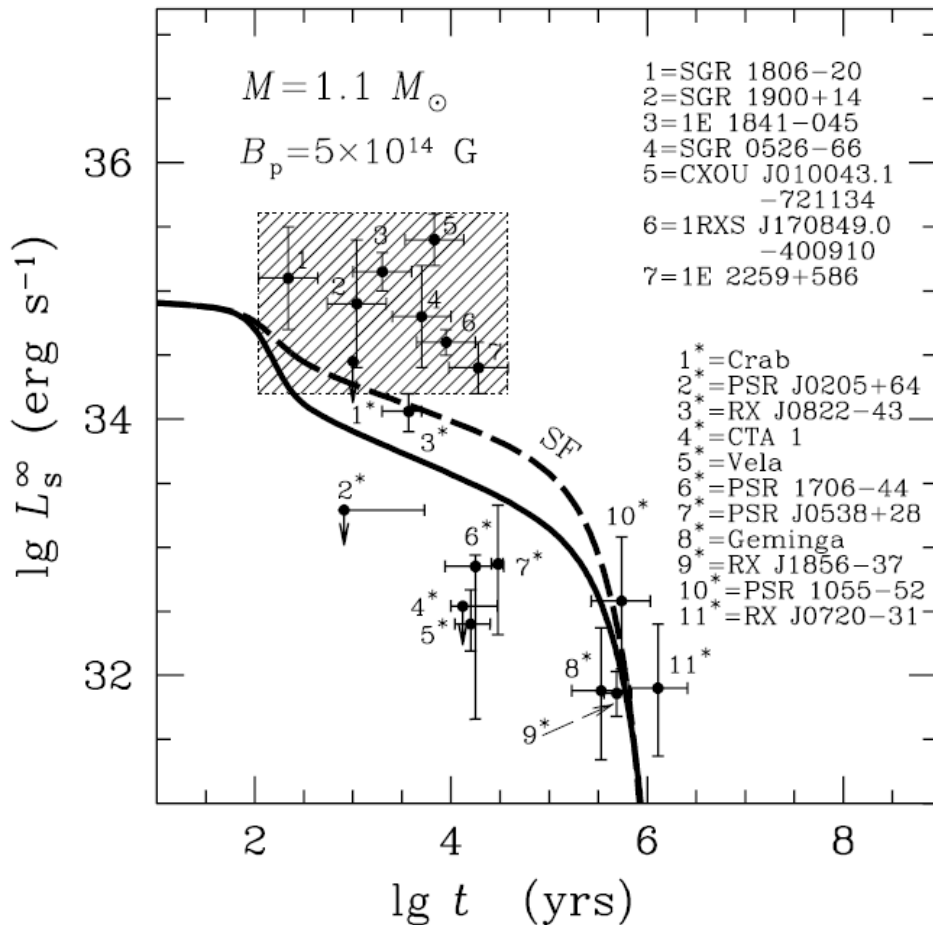
- Можно описать остывание без использования экзотических уравнений состояния.
- Существуют ограничения на уравнения состояния вещества. Например, сложно объяснить наблюдения при умеренной сверхтекучести с пиком критической температуры от $3 \cdot 10^8$ до $3 \cdot 10^9$ К при плотности $< 8 \cdot 10^{14}$ г/см³

D.G. Yakovlev et al., Nucl. Phys. A, 752 (2005), 590

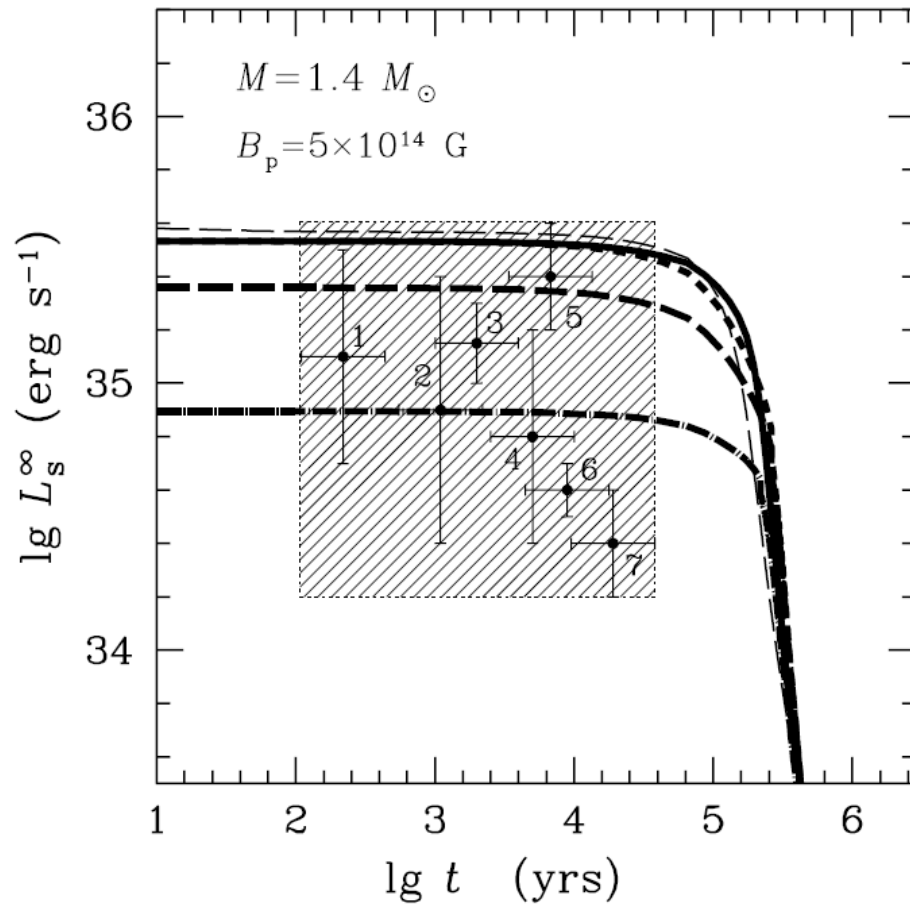
Санкт-Петербургский Астрономический Семинар, 28 апреля 2010



Остывание магнитаров

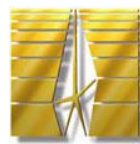


Без источников тепла в коре

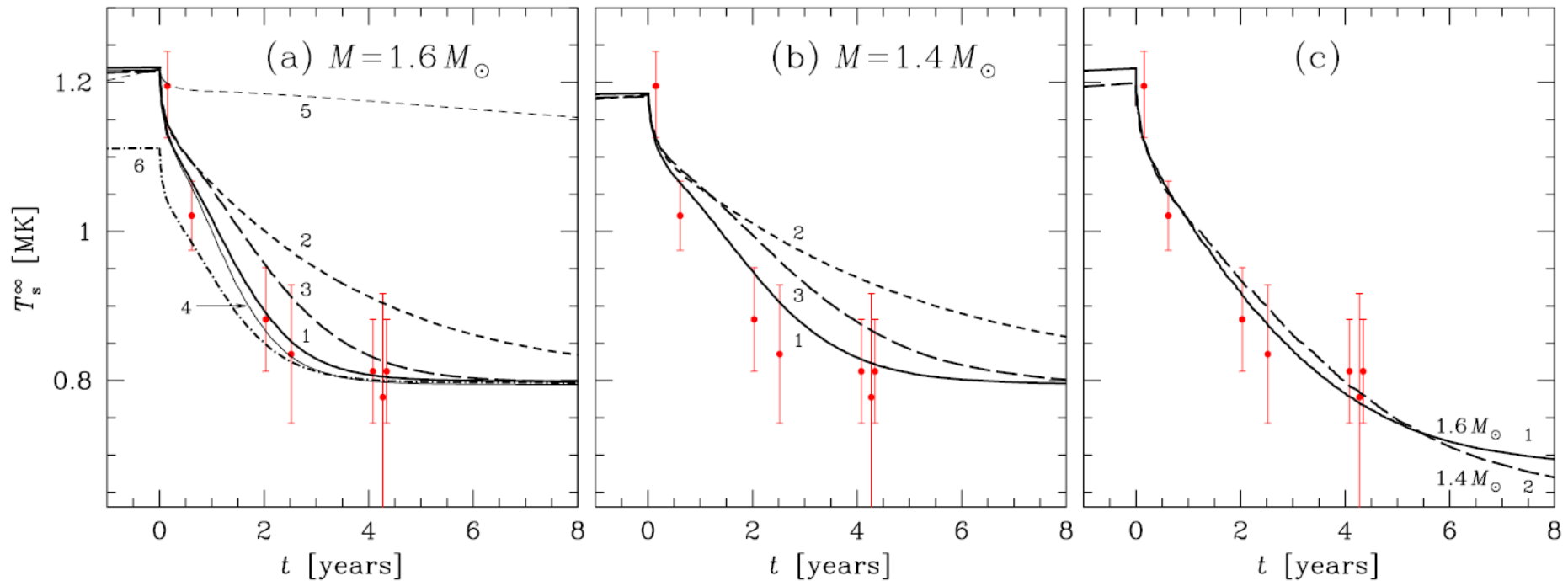


С источниками тепла в коре

A.D. Kaminker et al., MNRAS, 395(2009), 2257

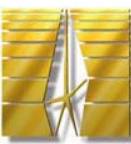


Остывание транзиентов

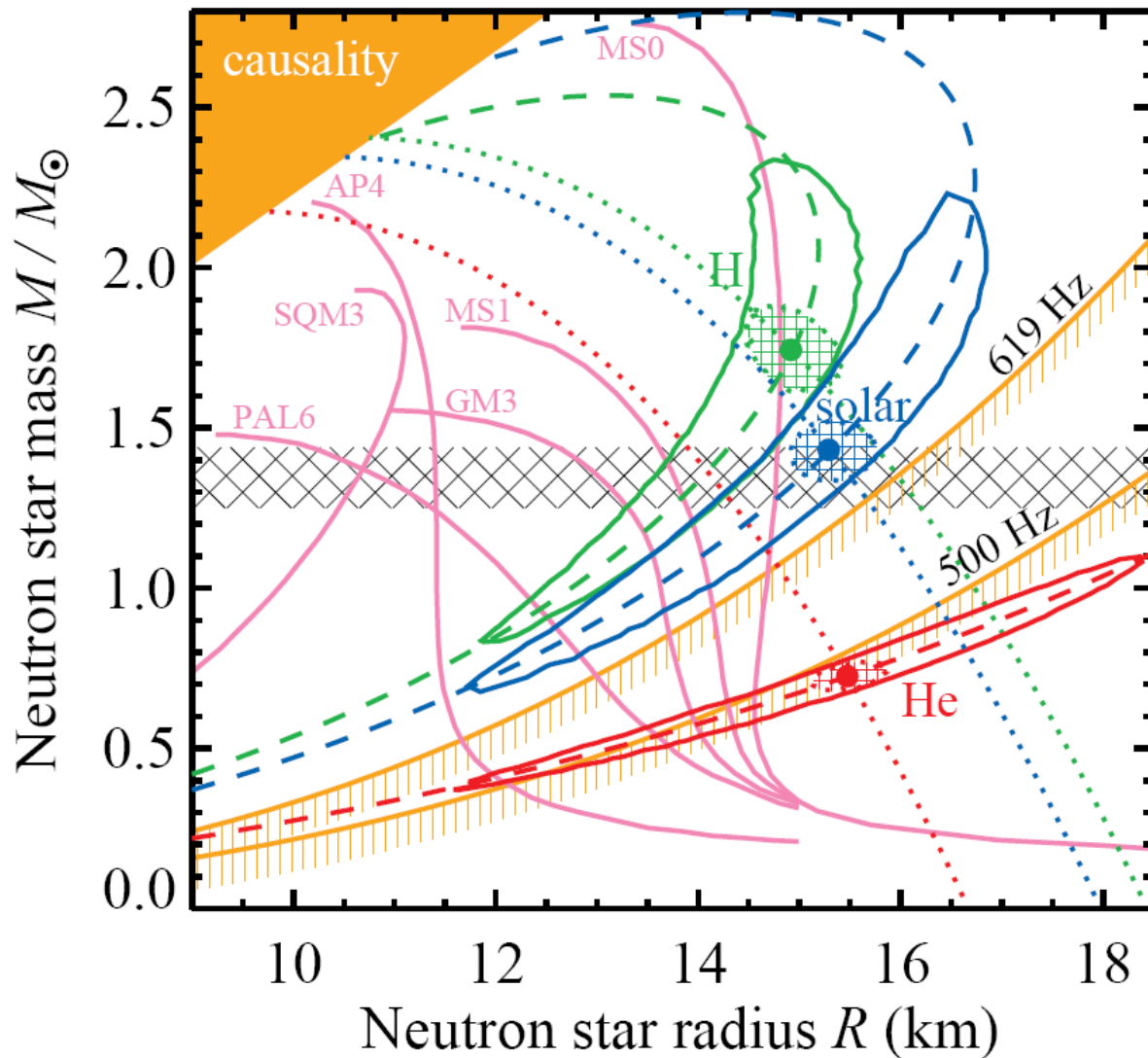


- Остывание KS 1731–260 можно объяснить в модели глубокого прогрева коры.
- Теплопроводность коры высокая. Модель аморфной коры не позволяет объяснить быструю эволюцию

P.S. Shternin, D.G. Yakovlev, MNRAS, 382L (2007), 43



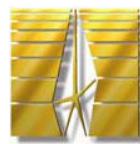
Остывание барстеров



Сильная
зависимость
от модели
атмосферы

V. Suleimanov et al., arXiv:1004.4871

Санкт-Петербургский Астрономический Семинар, 28 апреля 2010



Популяционный синтез

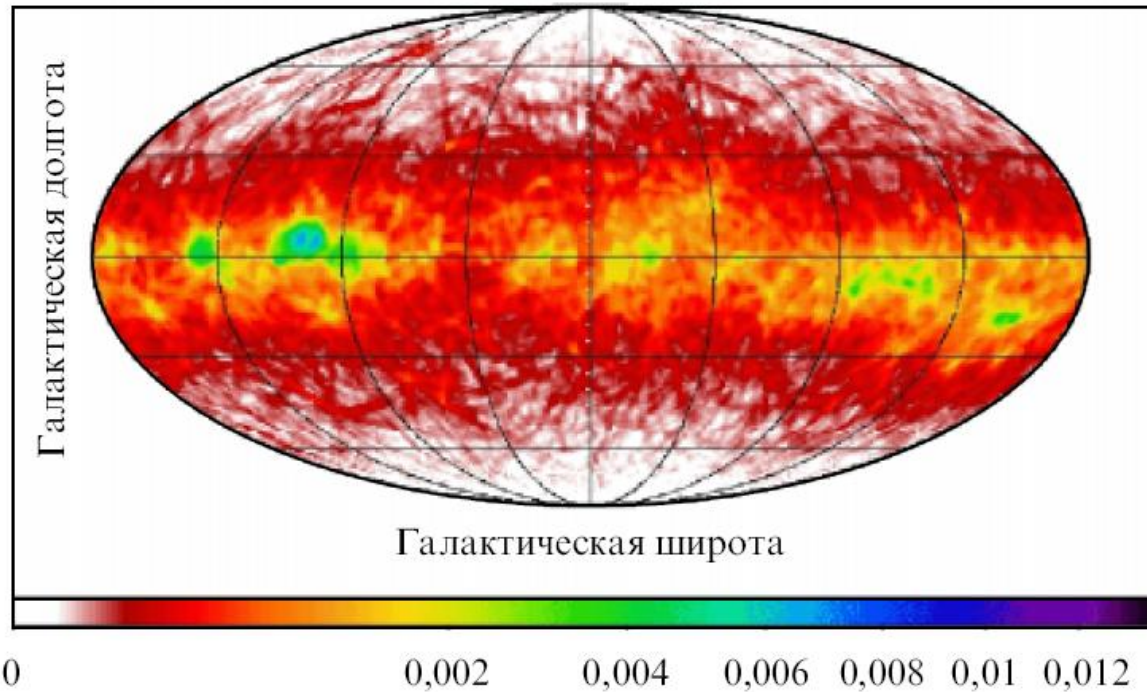
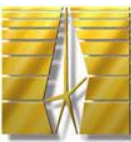
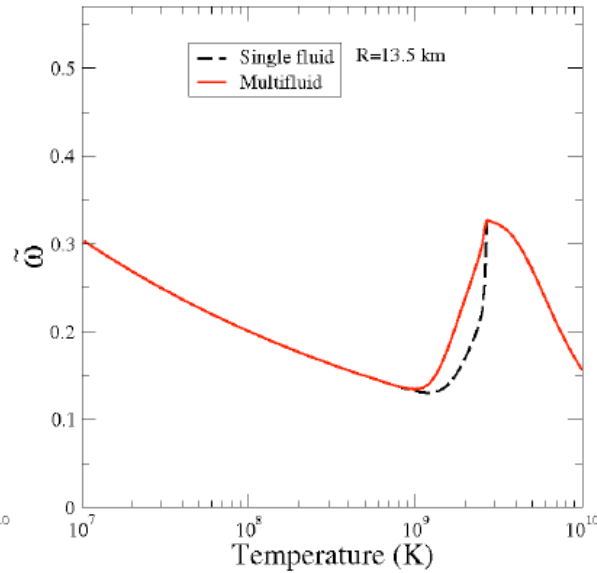
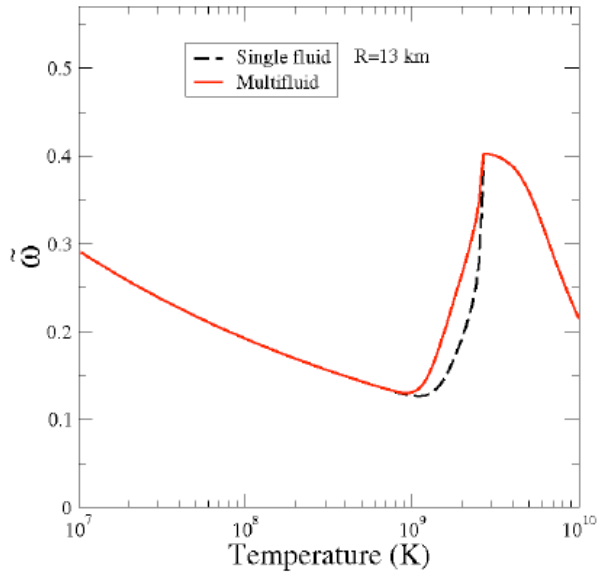
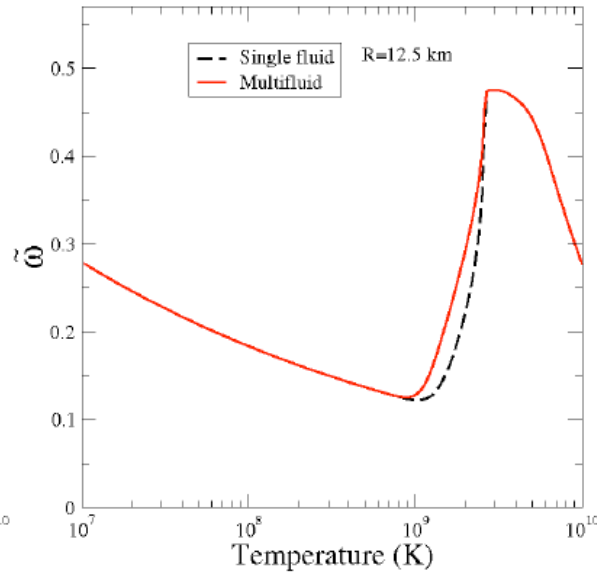
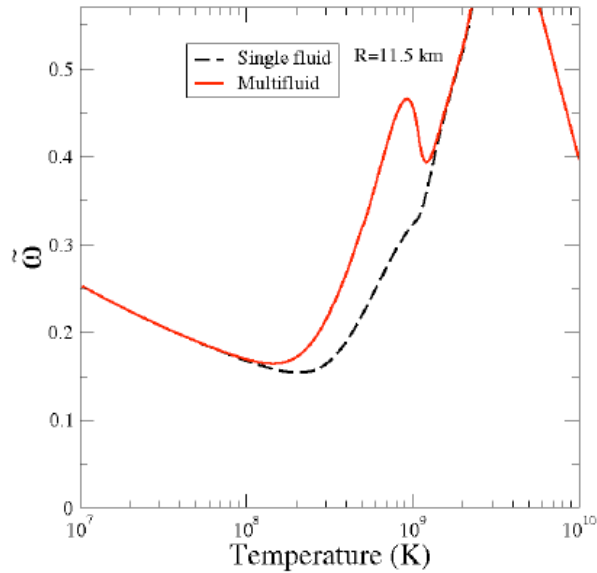


Рис. 12. Результат расчета распределения остывающих нейтронных звезд. Рисунок построен в галактических координатах. На высоких галактических широтах видны отдельные треки нейтронных звезд. Расчет проводился для реалистического начального распределения объектов. Сгущения вблизи плоскости Галактики и Пояса Гулда соответствуют близким богатым скоплениям и ассоциациям массивных звезд [178].

С.Б. Попов, М.Е. Прохоров, УФН, 177 (2007), 1179



Колебания



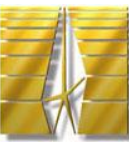
Неустойчивость г-мод из-за излучения гравитационных волн

$$\tilde{\omega} = \Omega \left(\frac{R^3}{GM_0} \right)^{1/2}$$

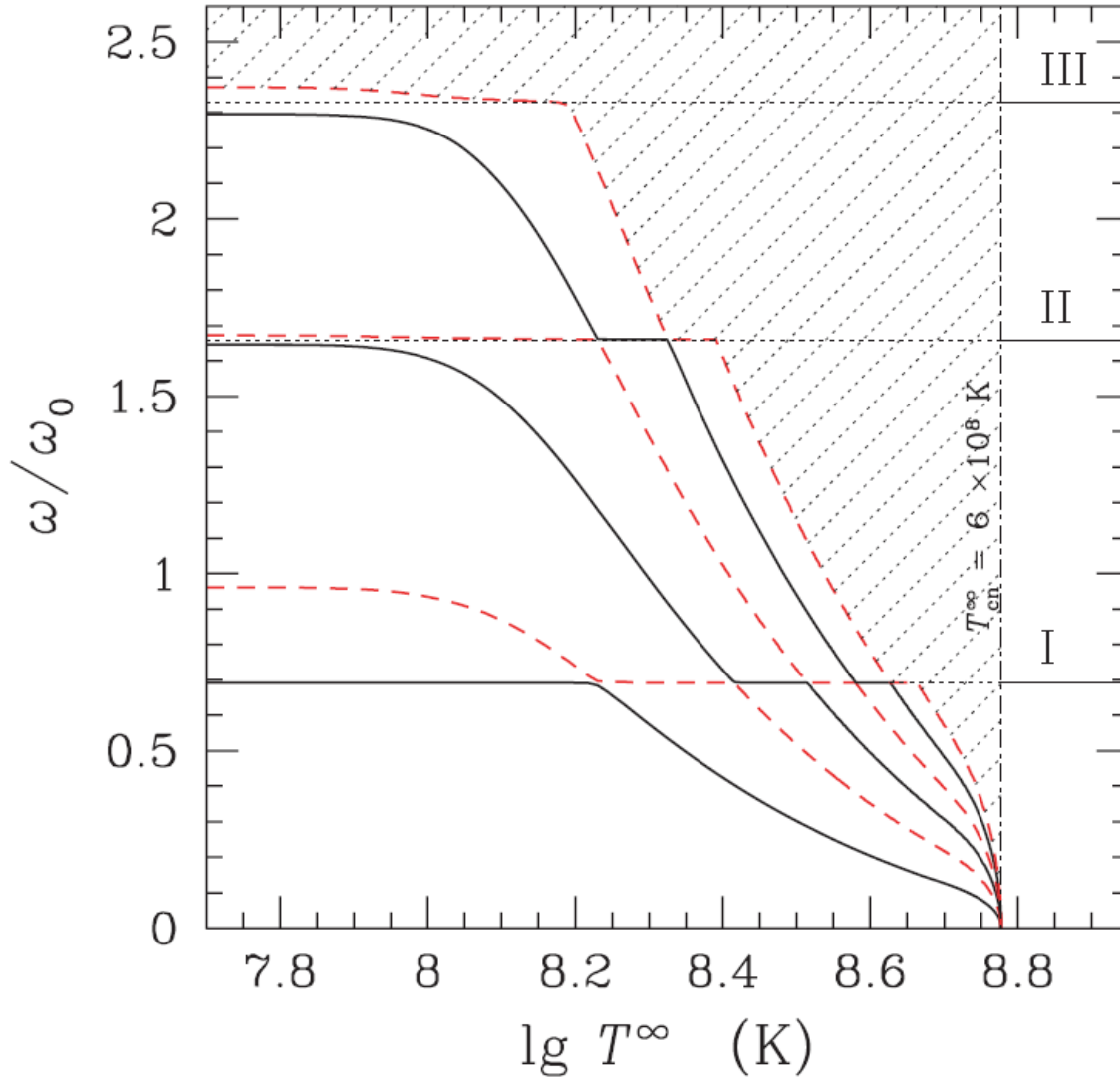
- Быстрое торможение вращения
- Мощное гравитационное излучение

V. Haskell, N. Andersson, arxiv:1003.5849

Санкт-Петербургский Астрономический Семинар, 28 апреля 2010

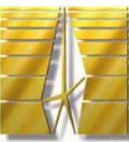


Колебания



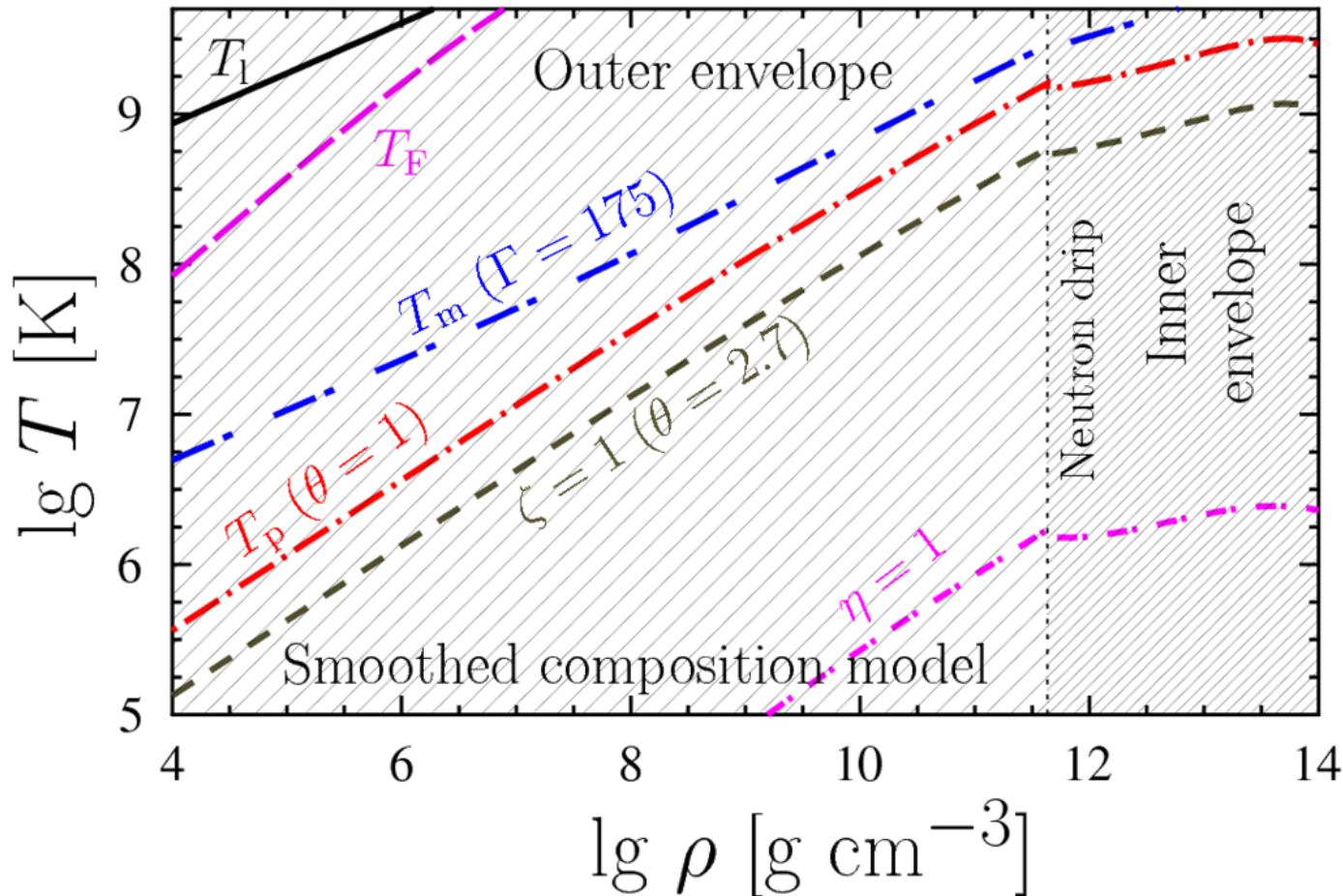
Температура
влияет на
спектр
колебаний из-за
сверхтекучести

M.E. Gusakov, M. Andersson, MNRAS, 372 (2006), 1776



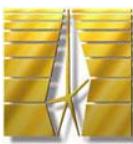
Вещество в оболочках нейтронных звёзд

$$\Gamma = \frac{Z^2 e^2}{a k_B T} \approx \frac{22.75 Z^2}{T_6} \left(\frac{\rho_6}{A} \right)^{1/3} \quad \theta = \frac{T}{T_p}$$



$$a = \left(\frac{3}{4\pi n_i} \right)^{1/3}$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi Z^2 e^2 n_i}{m_i}}$$



Как изучать свойства ионов в веществе оболочек?

Численно:

МК: $\Gamma \gtrsim 1$

МД: Динамика

МКИТ: Квантовые эффекты

ГЦ: $\Gamma \lesssim 1$

...

Теория:

Твёрдое тело: $\Gamma > \Gamma_m$

Жидкость: $1 \lesssim \Gamma < \Gamma_m$

Газ: $\Gamma \lesssim 1$

Модели: По возможности

...

Аппроксимация!!!
(лучше на основе теории)

Для чего важны свойства оболочек?

Микрофизика

УрС $P(\rho, T)$: Обычно достаточно
 $P(\rho, T) \approx P(\rho, T = 0)$.

Термодинамика: Теплоёмкость

Перенос: e_i рассеяние

Нейтринное излучение: e_i
рассеяние

Упругость: Кулоновский кристалл

Скорости ядерных реакций:
На много порядков усилены
экранированием

...

Компактные звёзды

$M(R)$: Можно рассчитывать при
 $T = 0$

Колебания: g , s , i -моды, затухание

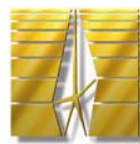
Остывание: Поверхностная T

Вспышки: Определяются
скоростями реакций

Гравитационные волны: g -моды,
горы

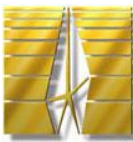
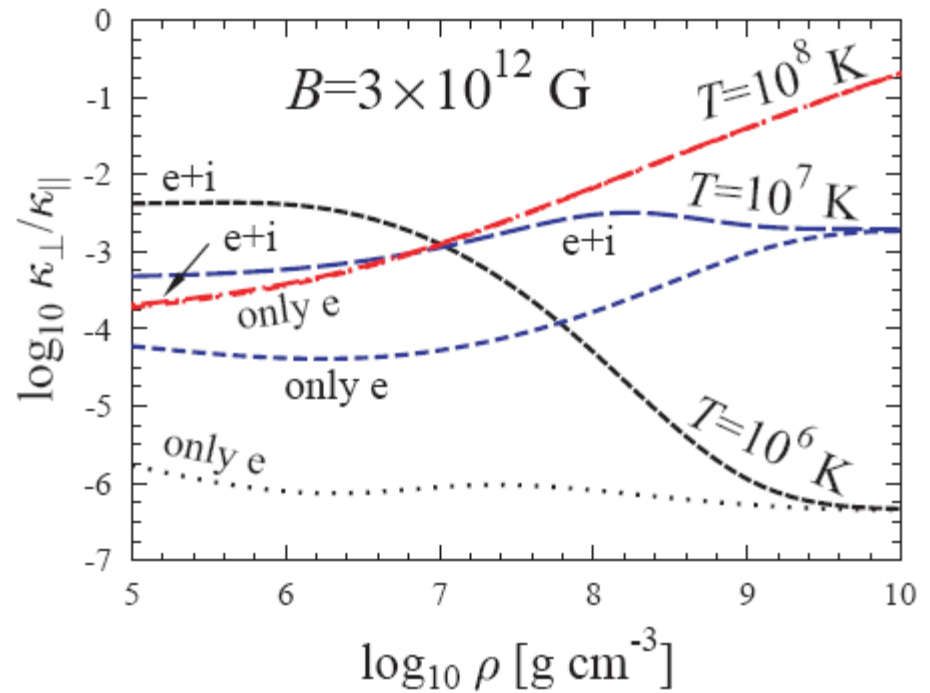
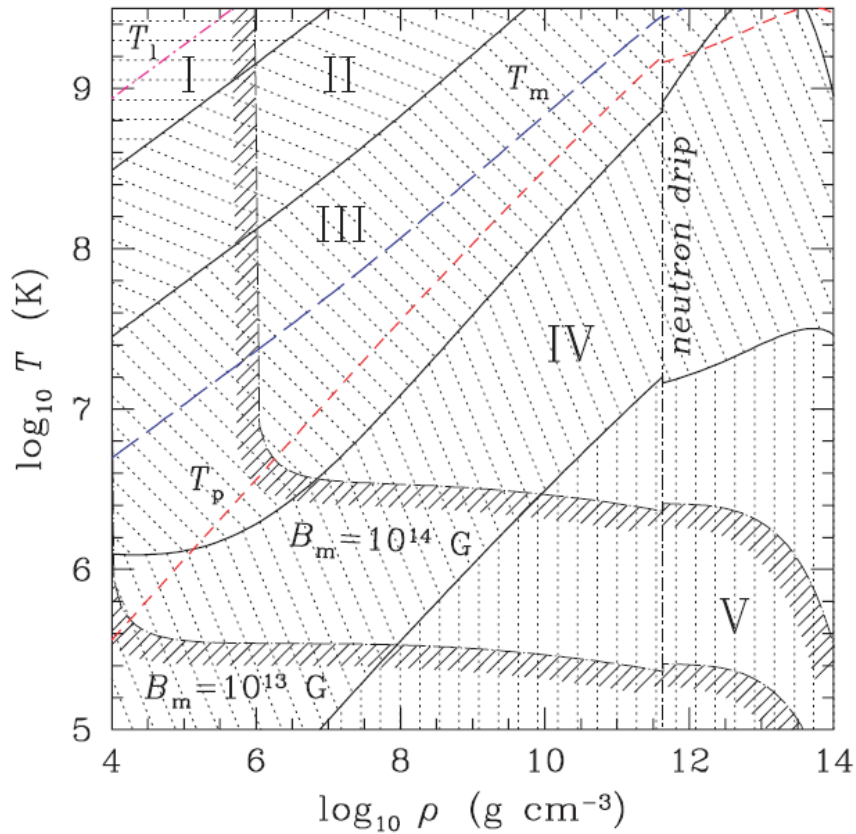
Магнитные поля: Омическое
затухание

...

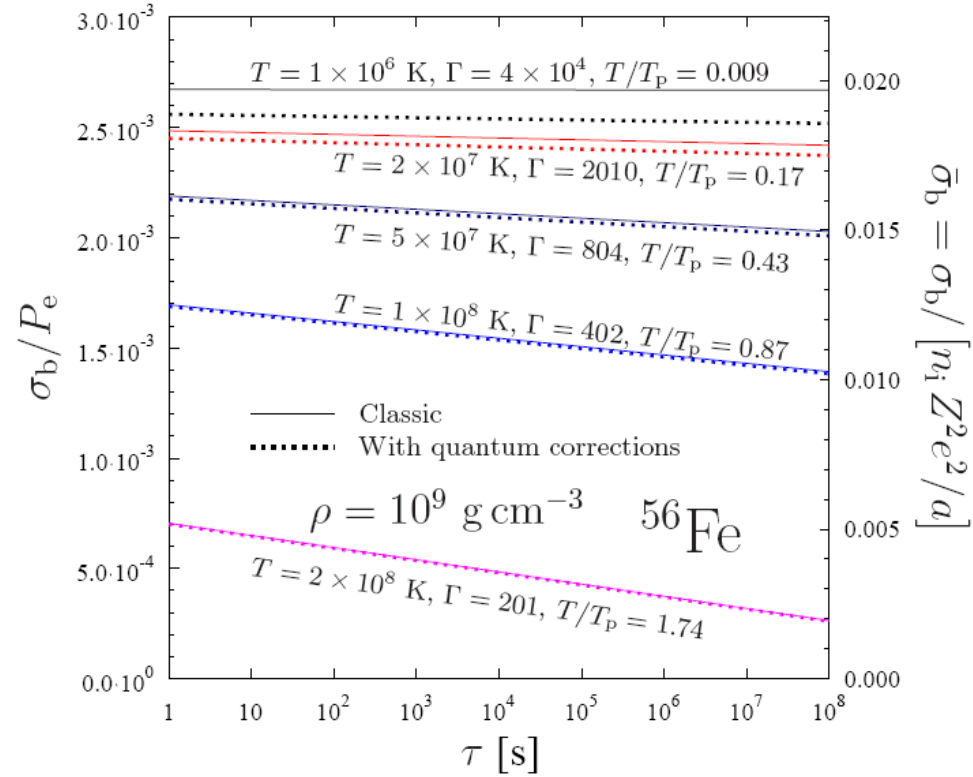
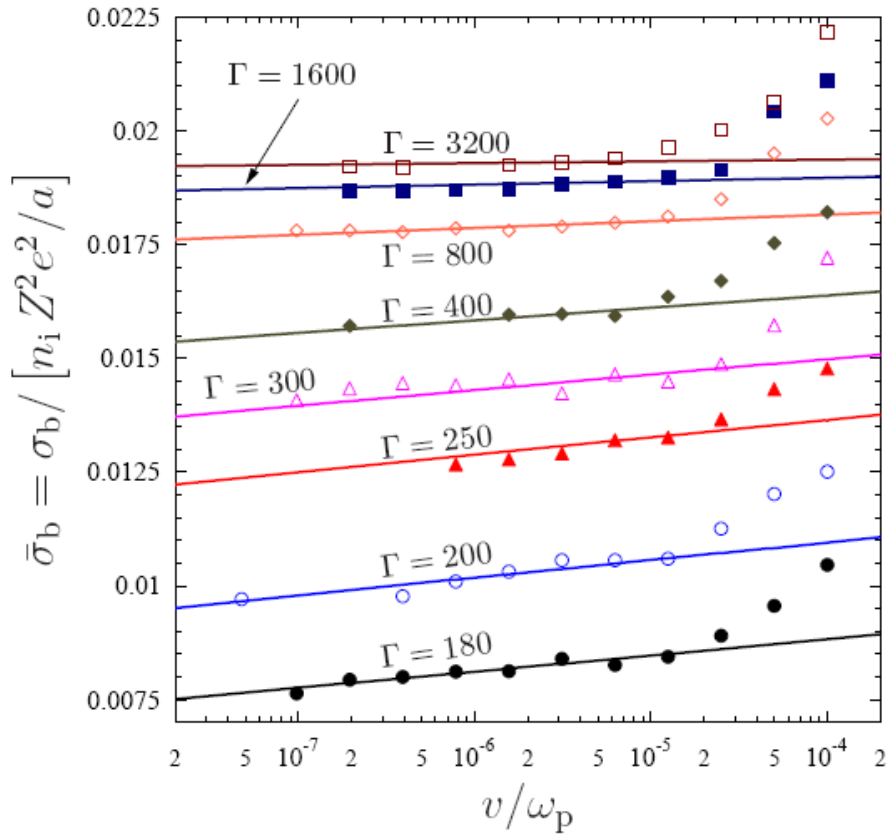


Ионная теплопроводность в оболочке

A.I. Chugunov, P. Haensel, MNRAS , **381** (2007), 1143



Разрывное напряжение



$$\frac{\tau}{\tau_0} = \exp\left(\frac{U - \sigma V}{T}\right) \quad P_e \approx 4.4 \cdot 10^{26} \text{ дин/см}^2$$

A.I. Chugunov, C.J. Horowitz, to be submitted to MNRAS



Заключение

Нейтронные звёзды —
интересные объекты, о
которых много известно,
но еще больше предстоит
узнать

