

Астрофизические лаборатории для исследования Вселенной

М. Ревнивцев

*Институт Космических
Исследований РАН*

+

Во Вселенной существуют
сверхбольшие/сверхмалые
температуры, плотности,
давления, магнитные поля....

—

Безконтактные методы
исследования, нет влияния на
постановку эксперимента

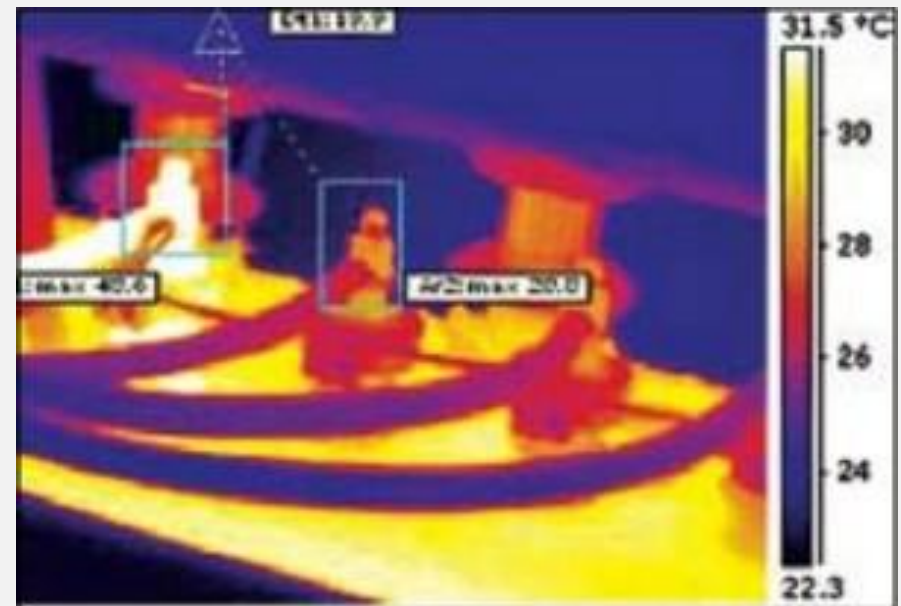
+ безопасно

Бесконтактные методы – на элизотика

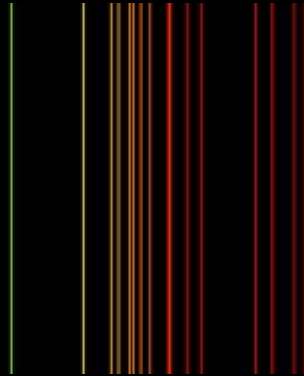
PATIENT: 3941 1999020171 1



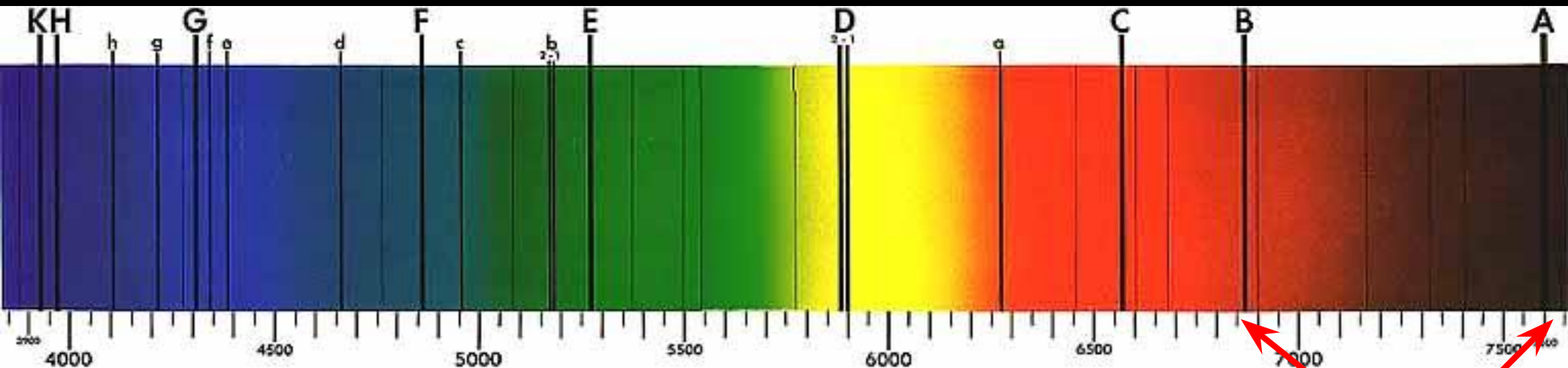
Бесконтактные методы – не экзотика



Бесконтактные методы – не экзотика



Спектр Солнца



Ca

H

Fe

Na

H

O₂

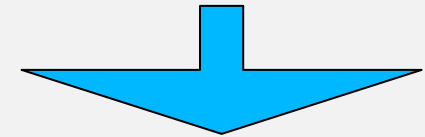
Измерения масс небесных тел

$$\frac{a^3}{(P/2\pi)^2} = G(M + m),$$

расстояние

+

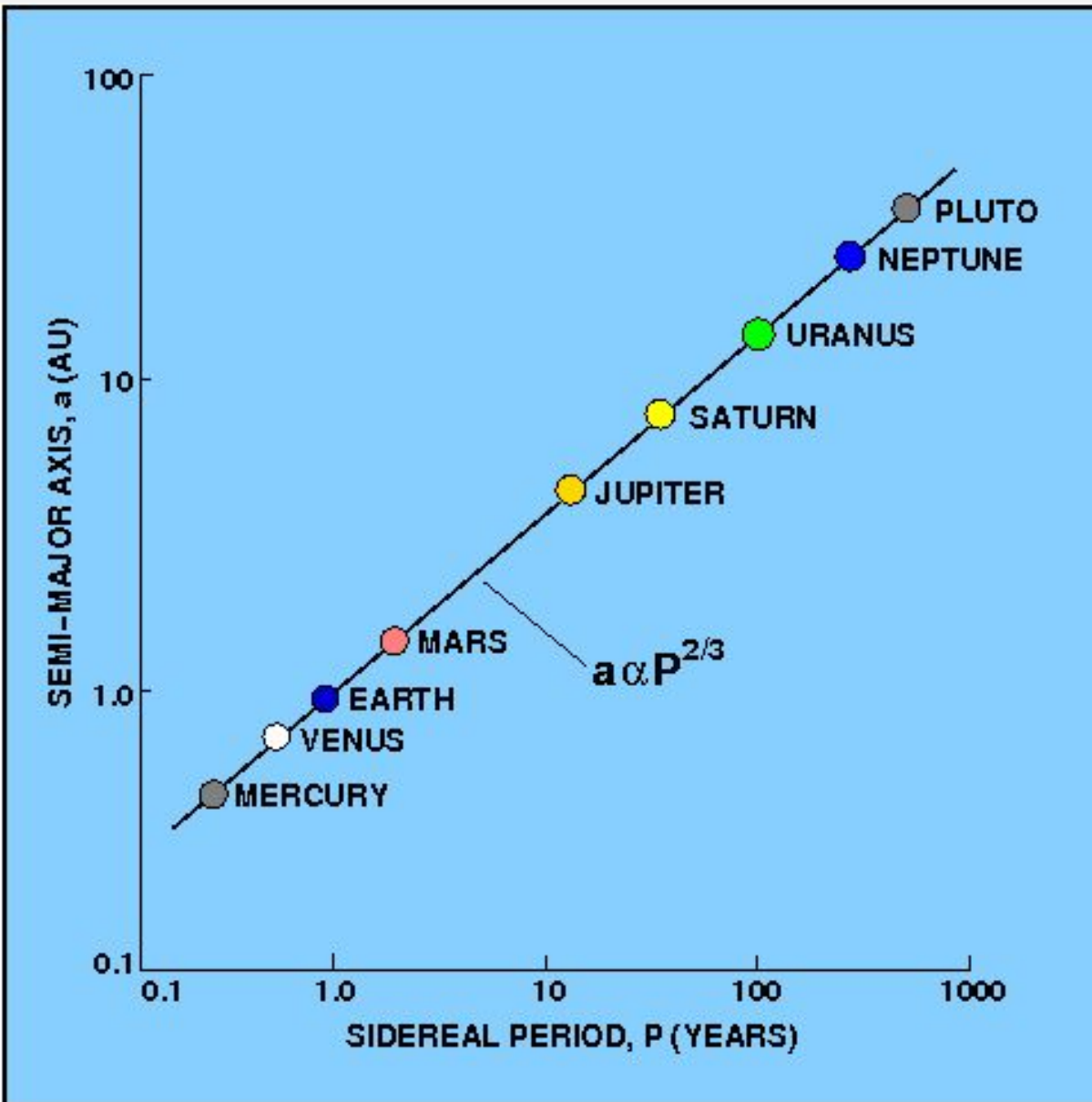
период
обращения



Масса
центрального
тела



Измерения масс небесных тел

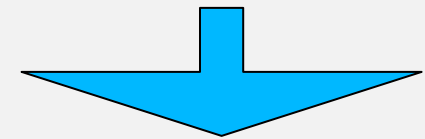


$$\frac{a^3}{(P/2\pi)^2} = G(M + m),$$

расстояние

+

период
обращения

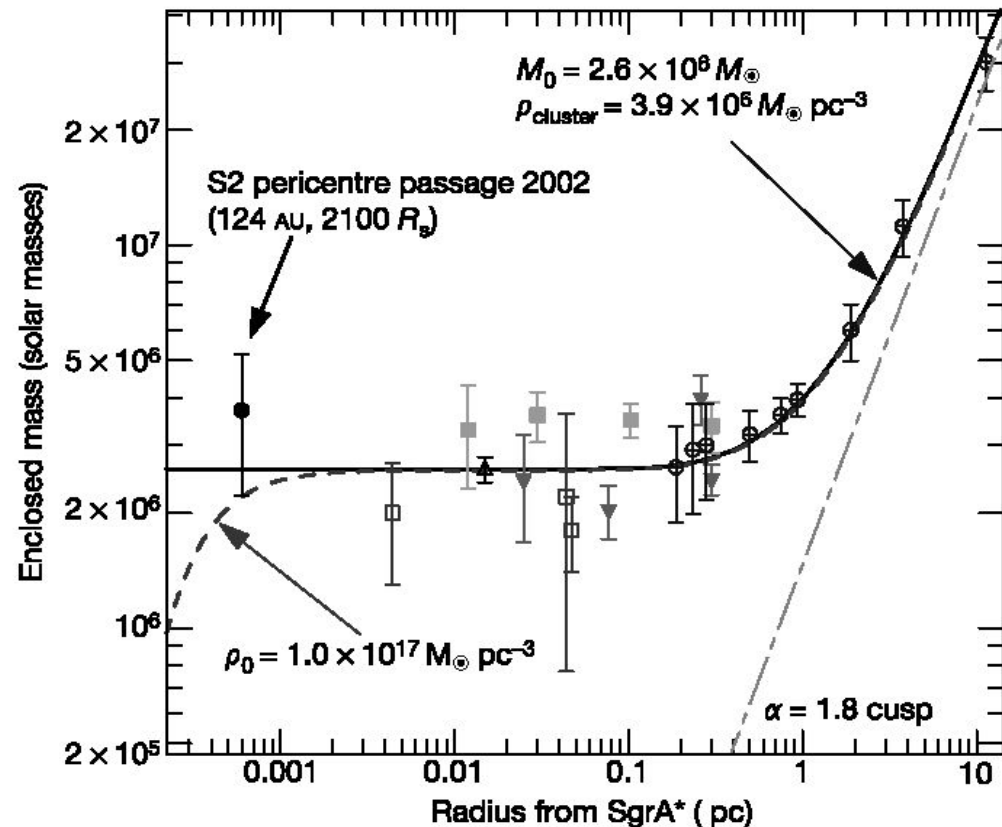


Масса
центрального
тела

Сверхмассивная черная дыра в нашей Галактике: Стрелец А*

Черные дыры

$$G(M+m)=a^3 (2\pi)^2/P^2$$



Непосредственное измерение траекторий звезд

1992

10 light days

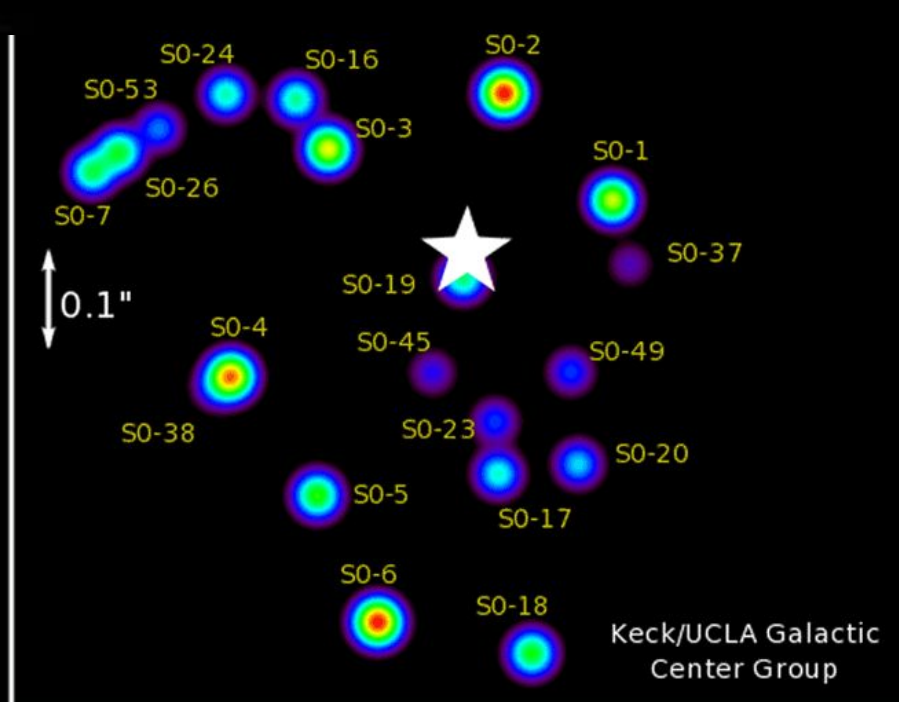
Телескоп
VLT (8м)

вокруг
Sgr A*

1995.5

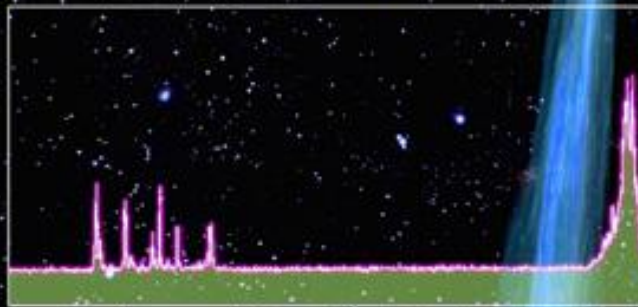
Внутри размера
~солнечной системы
~3 миллиона
Солнечных масс

Телескоп
Кекс (10м)



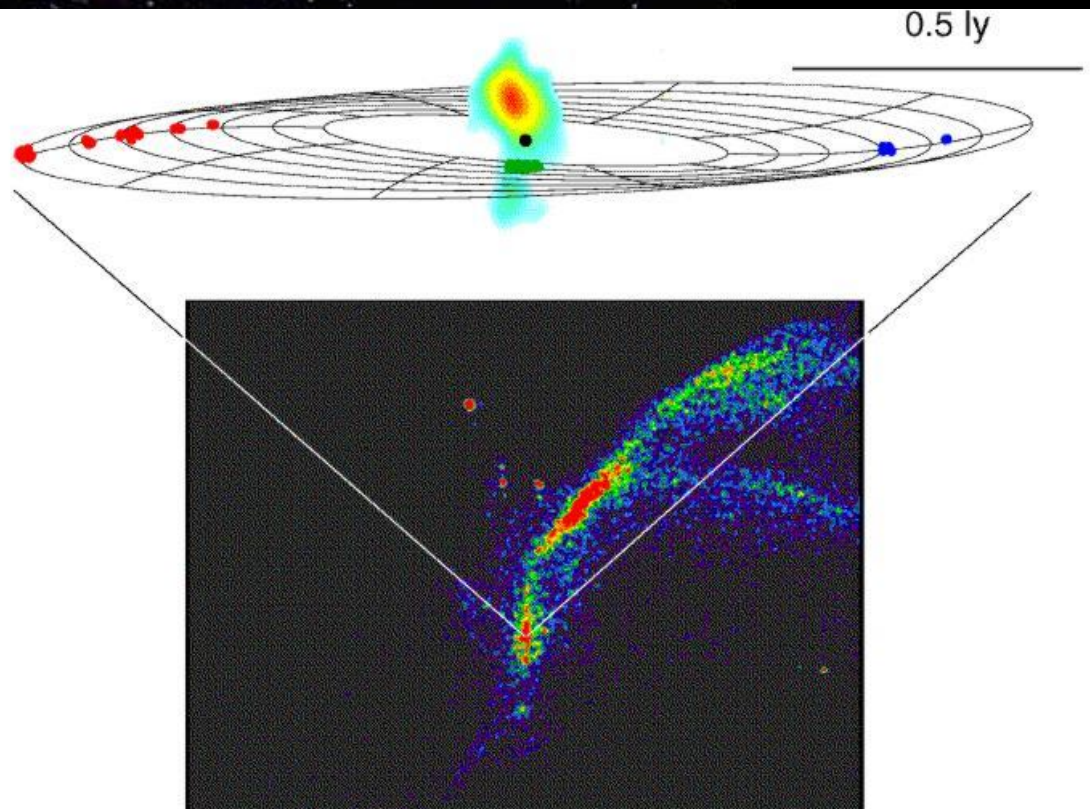
NGC 4268

Измерение скоростей
в диске по мазерам



1000

0

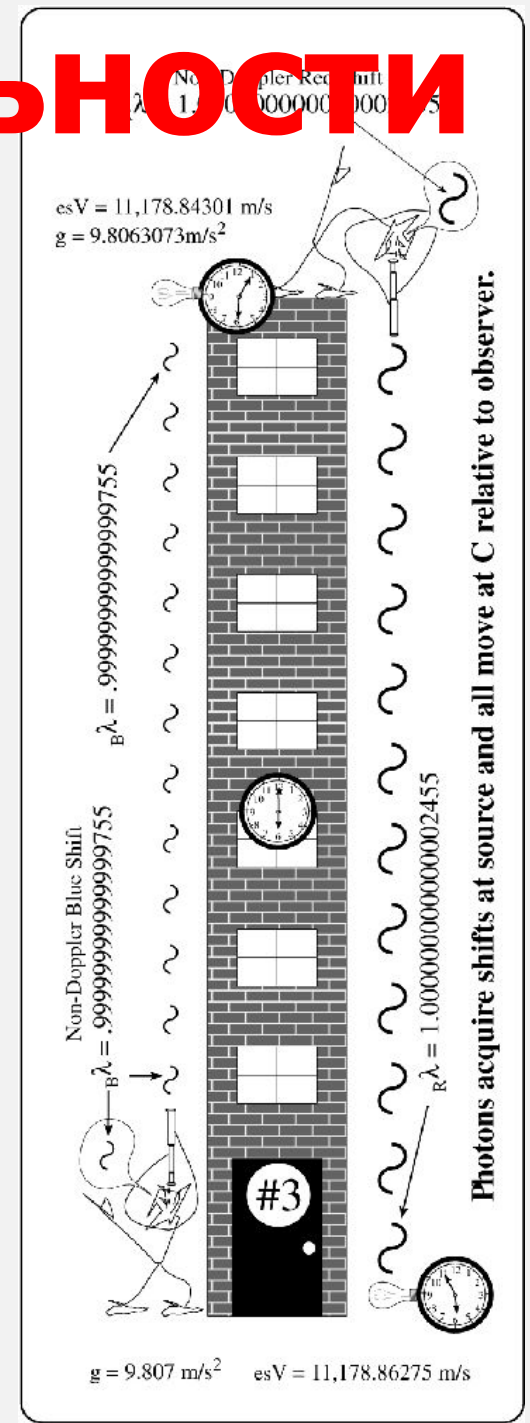


Проверка общей теории относительности



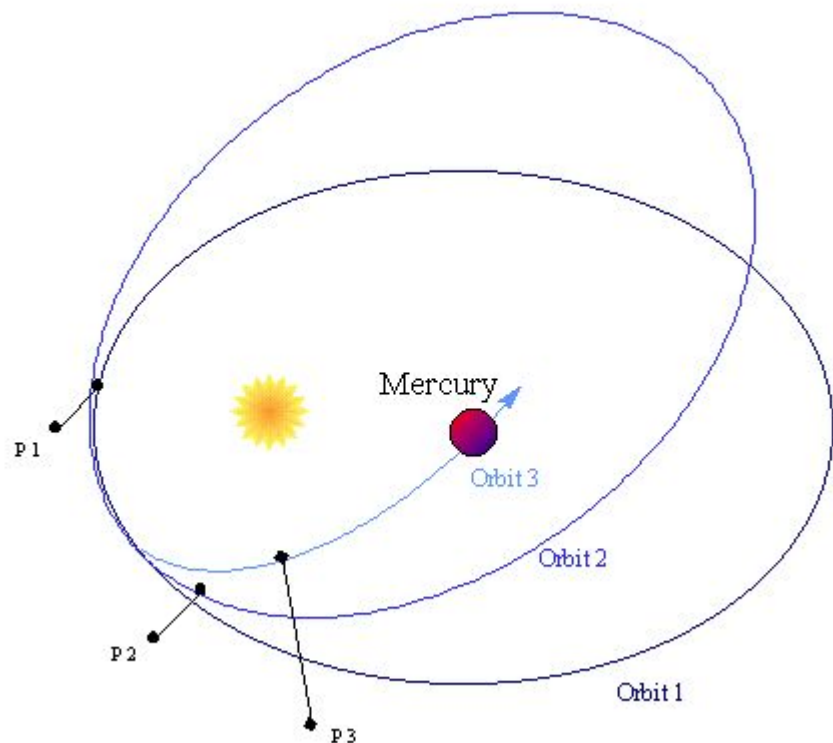
Эксперимент Паунда и Ребки

$$\Delta\phi = -\frac{gh}{c^2} = -2,46 \times 10^{-15}$$

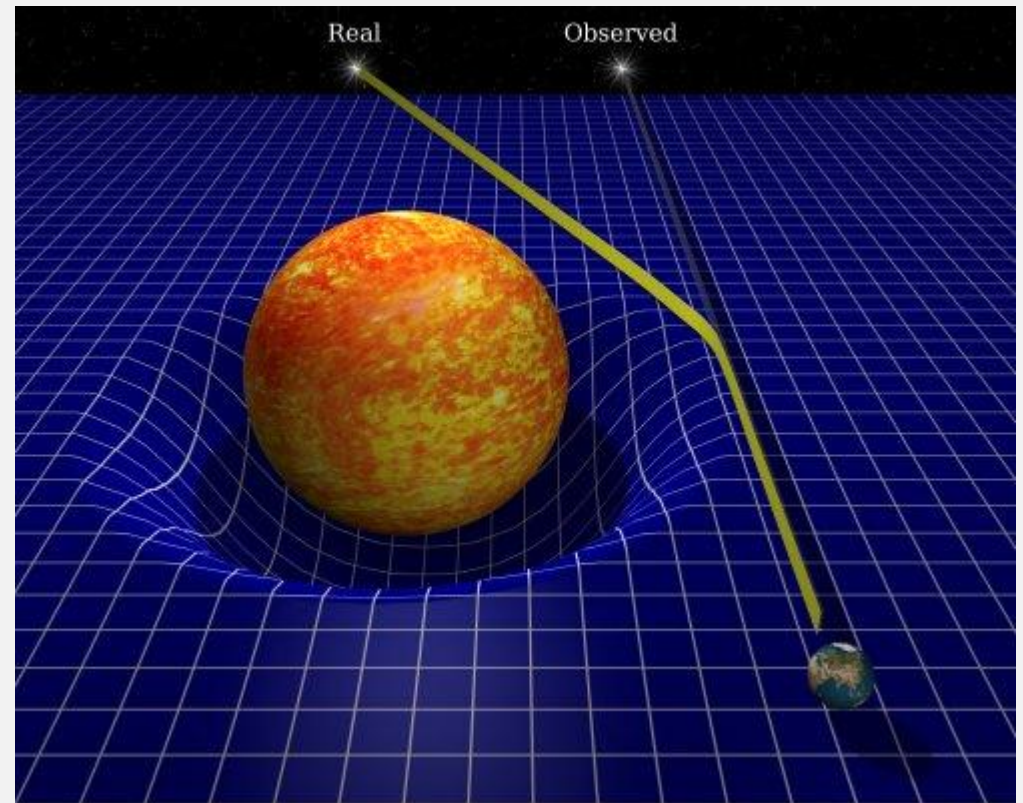


Тесты в Солнечной системе

Орбита Меркурия



Отклонение света

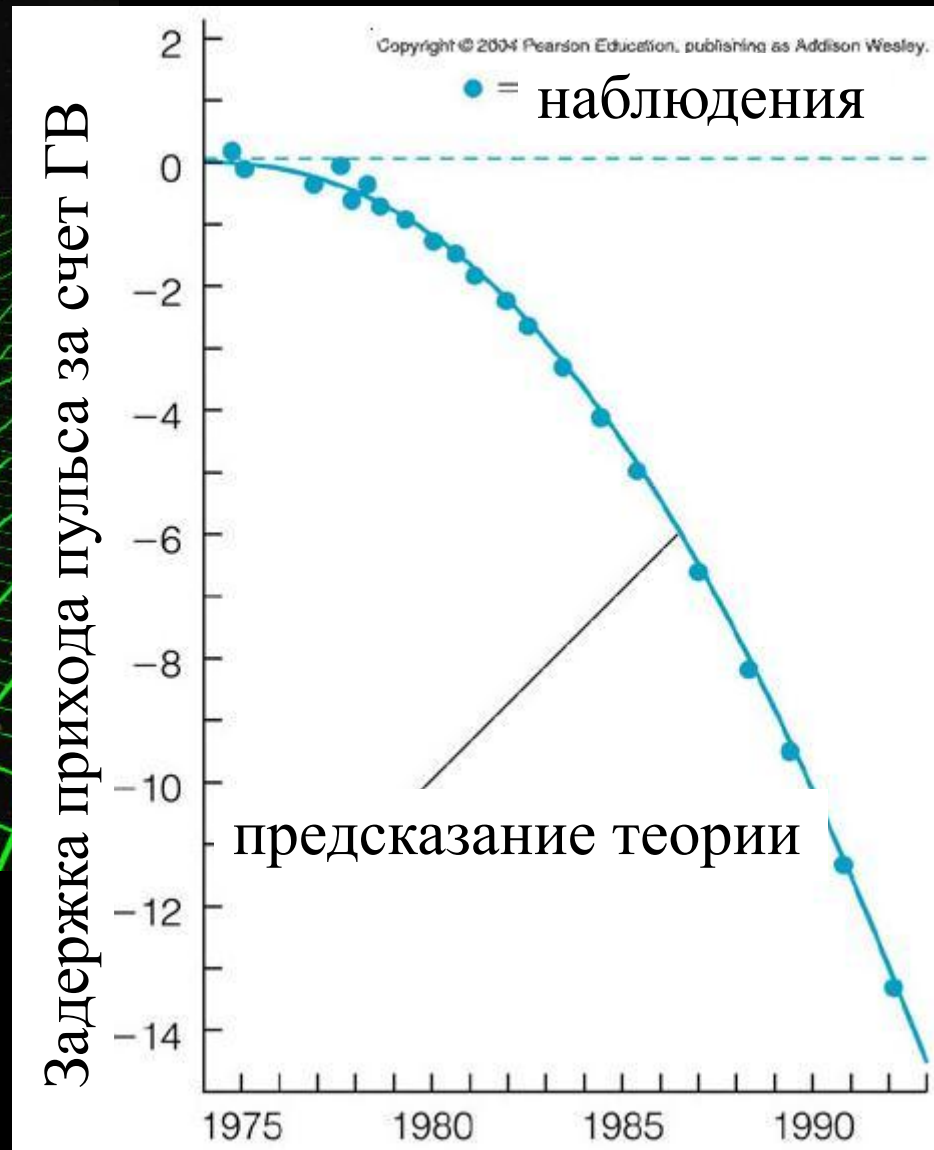
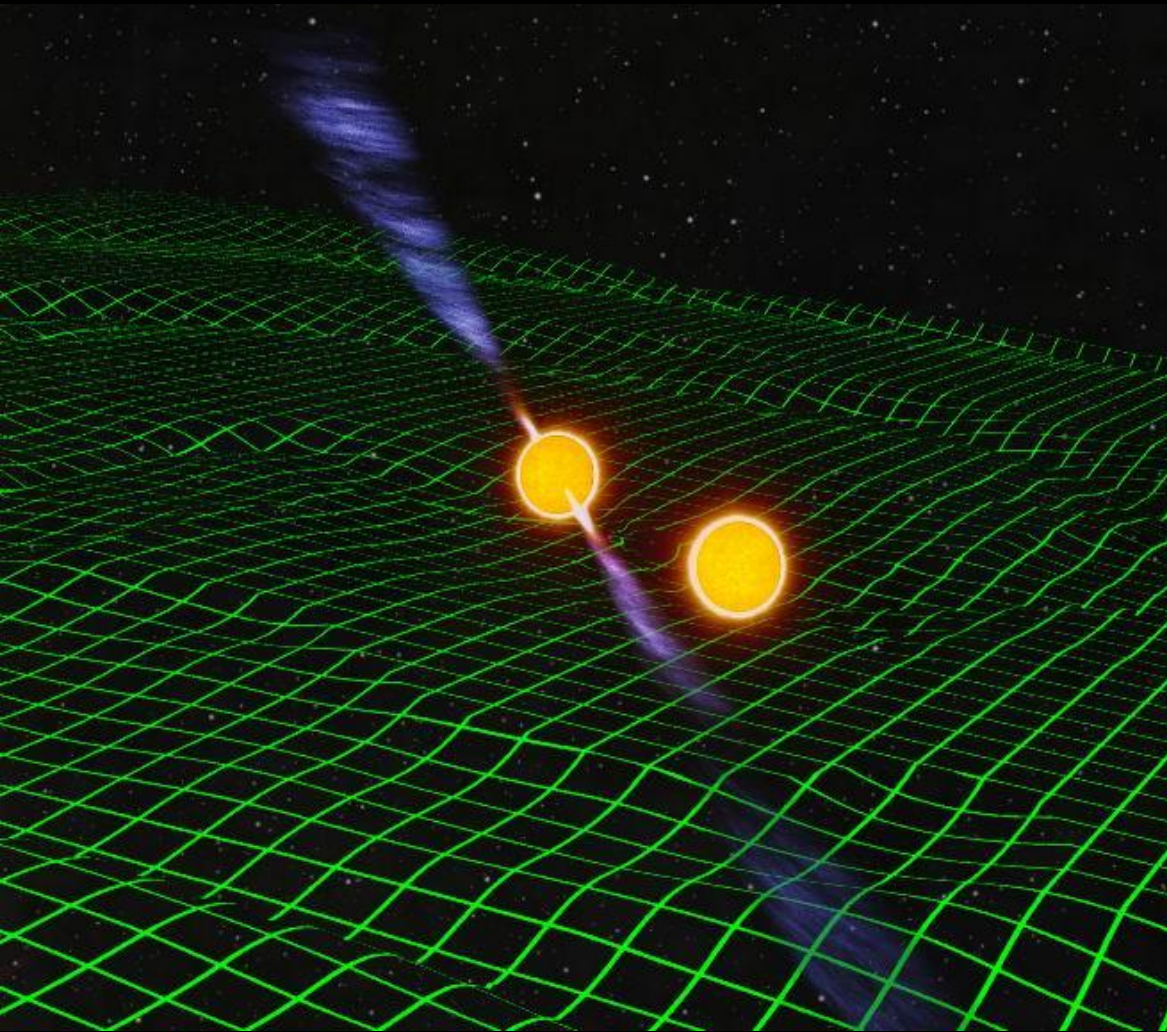


20 May 1947
25 Feb 1952
30 Jun 1973

Brazil	2.01 ± 0.27
Sudan	1.70 ± 0.10
Mauritania	1.66 ± 0.19

расчет = 1.75 угл.секунд

Гравитационные волны



Лучший случай - PSR J0737-3039

Две нейтронные звезды

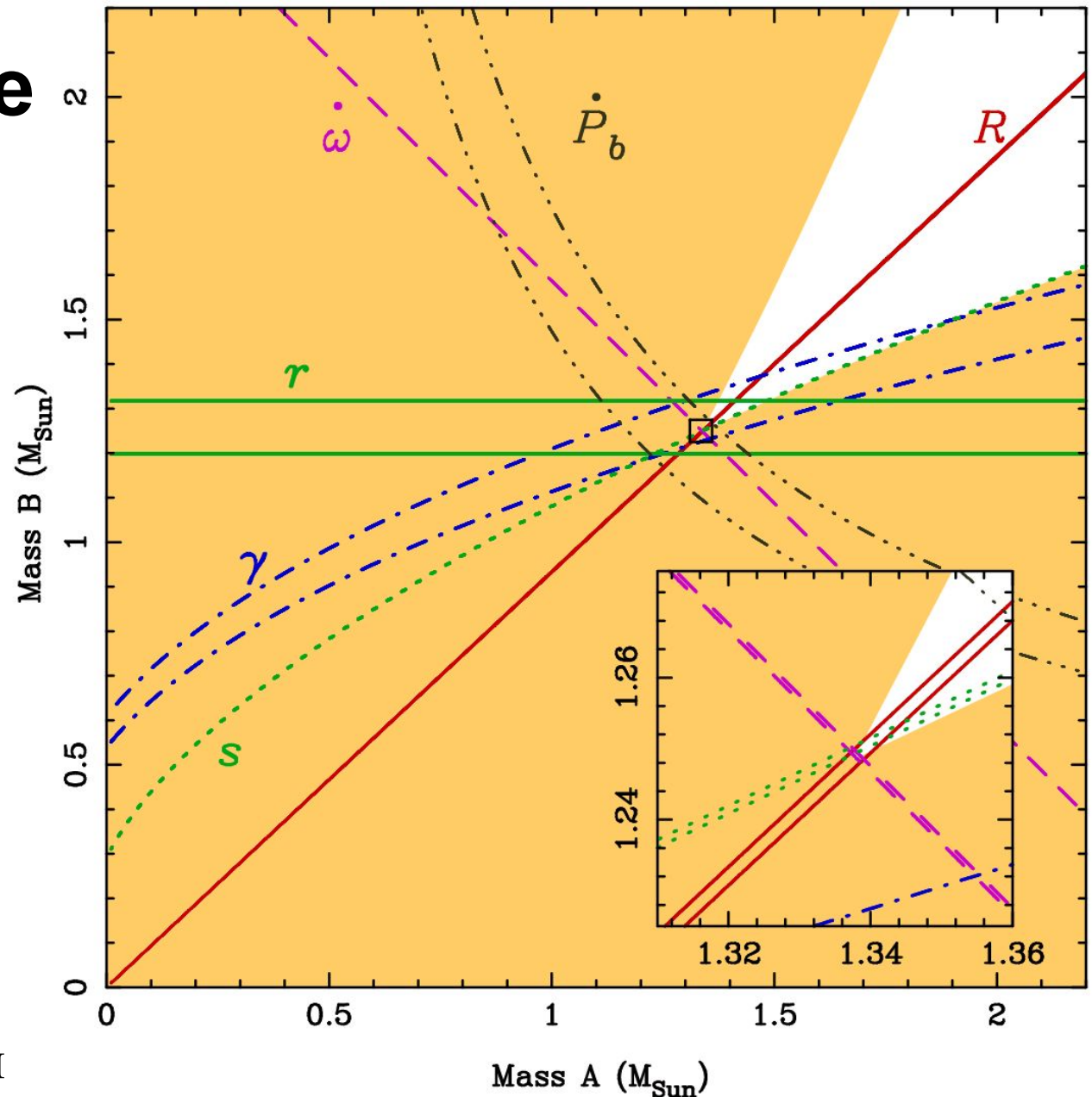
R-отношение масс
(орбиты)

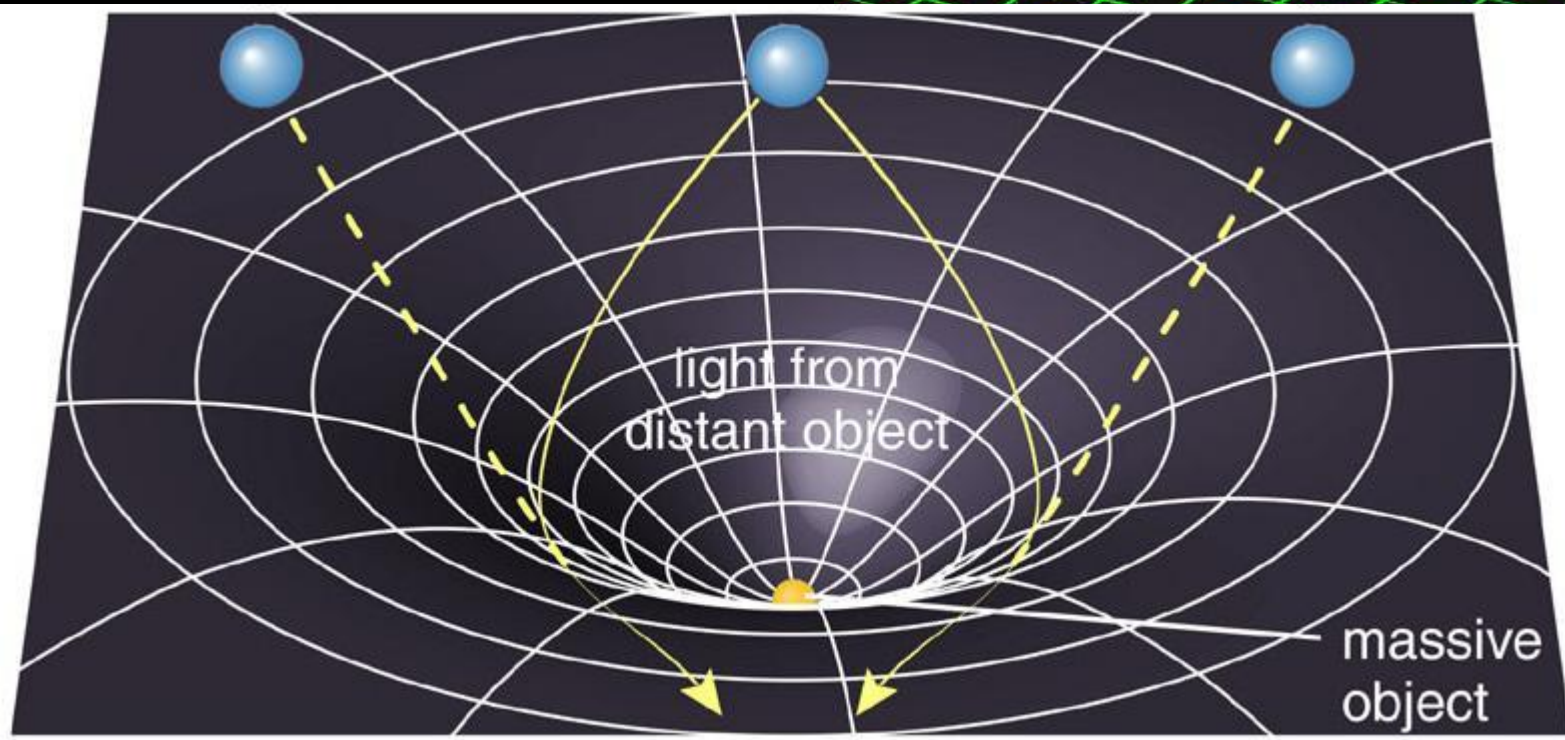
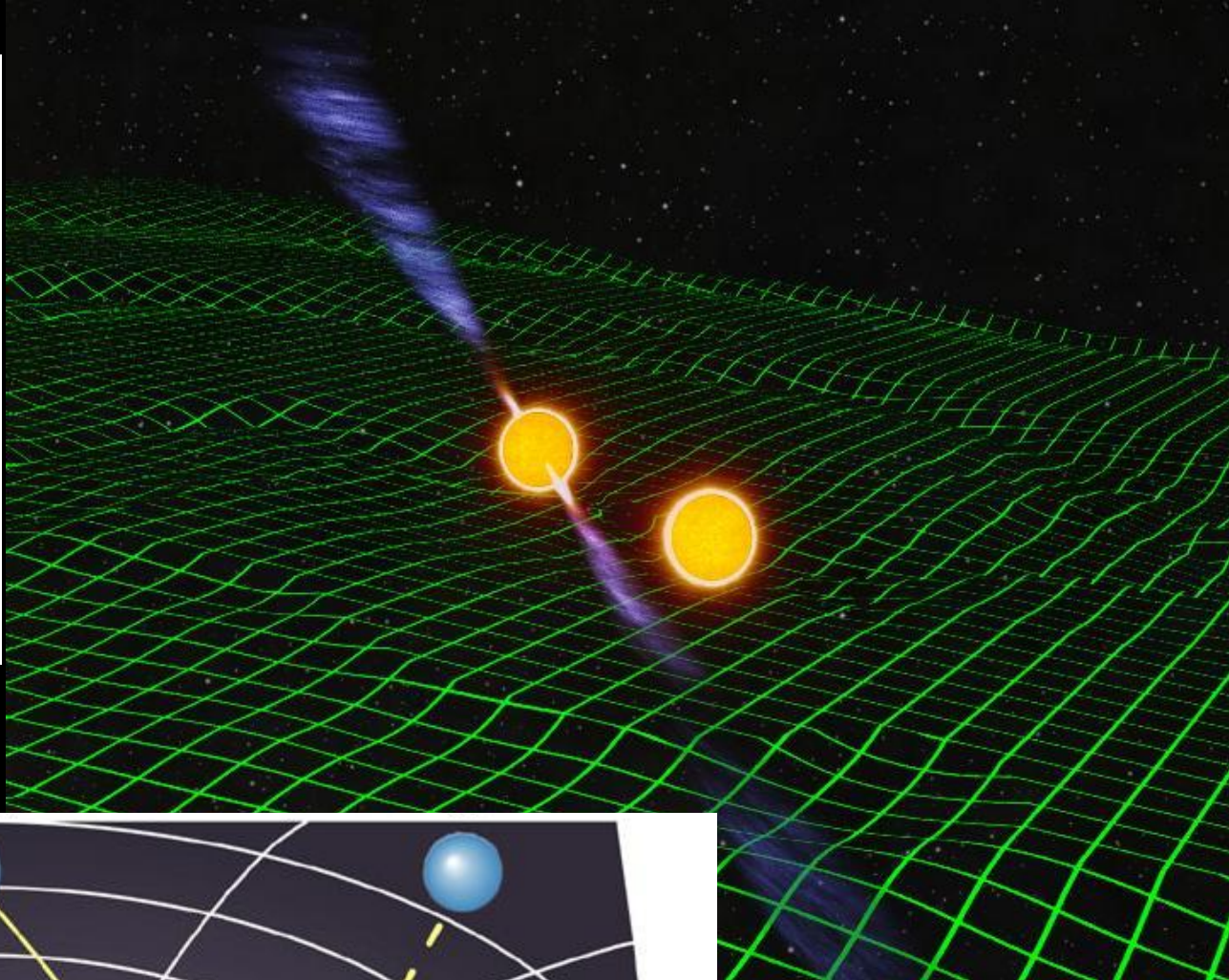
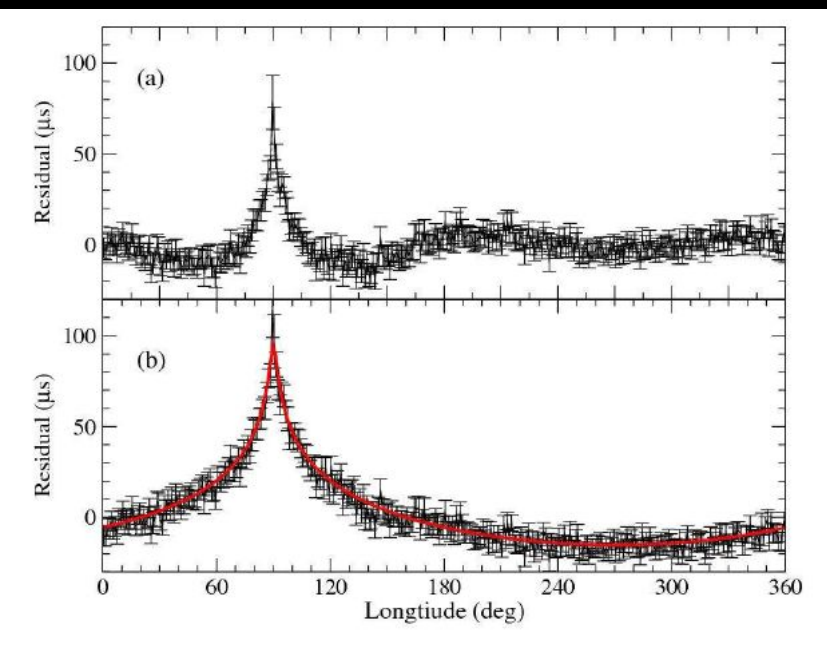
$\dot{\omega}$ -прецессия орбиты

$\dot{P}_b$ -торможение за
счет ГВ

r, s — задержка сигнала
времени вблизи
одной НЗ

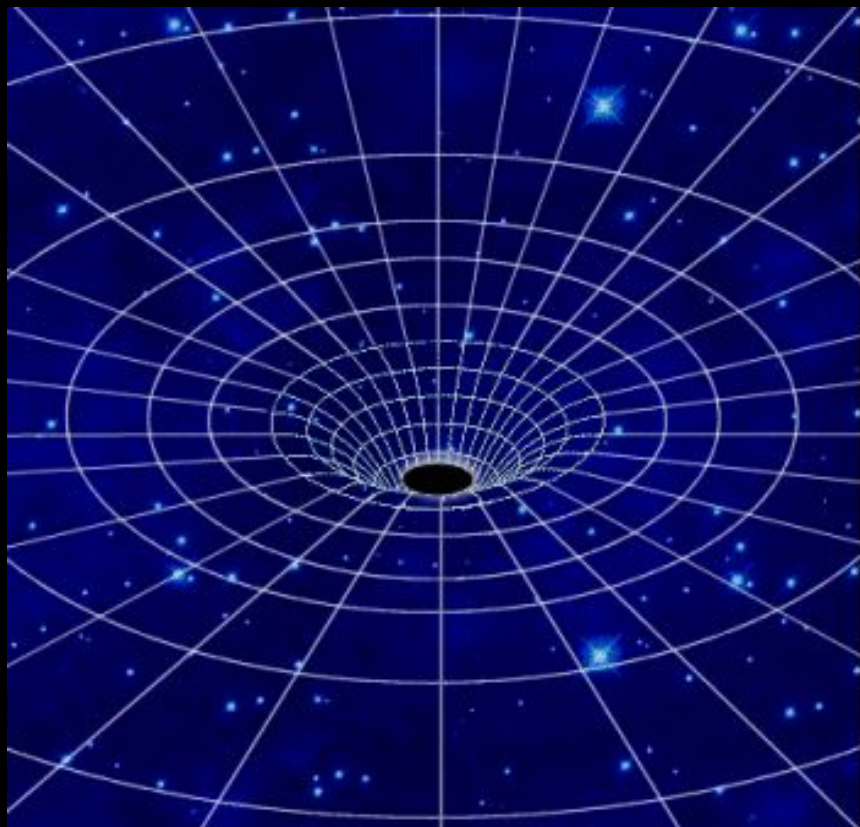
γ — грав.замедление времени





Timing parameter	PSR J0737–3039A	PSR J0737–3039B
Right Ascension α	07 ^h 37 ^m 51 ^s .24927(3)	—
Declination δ	−30°39′40″.7195(5)	—
Proper motion in the RA direction (mas yr ^{−1})	−3.3(4)	—
Proper motion in Declination (mas yr ^{−1})	2.6(5)	—
Parallax, π (mas)	3(2)	—
Spin frequency ν (Hz)	44.054069392744(2)	0.36056035506(1)
Spin frequency derivative $\dot{\nu}$ (s ^{−2})	$-3.4156(1) \times 10^{-15}$	$-0.116(1) \times 10^{-15}$
Timing Epoch (MJD)	53156.0	53156.0
Dispersion measure DM (cm ^{−3} pc)	48.920(5)	—
Orbital period P_b (day)	0.10225156248(5)	—
Eccentricity e	0.0877775(9)	—
Projected semi-major axis $x = (a/c) \sin i$ (s)	1.415032(1)	1.5161(16)
Longitude of periastron ω (deg)	87.0331(8)	87.0331 + 180.0
Epoch of periastron T_0 (MJD)	53155.9074280(2)	—
Advance of periastron $\dot{\omega}$ (deg/yr)	16.89947(68)	[16.96(5)]
Gravitational redshift parameter γ (ms)	0.3856(26)	—
Shapiro delay parameter s	0.99974(−39, +16)	—
Shapiro delay parameter r (μ s)	6.21(33)	—
Orbital period derivative $\dot{P}_b$	$-1.252(17) \times 10^{-12}$	—
Timing data span (MJD)	52760 – 53736	52760 – 53736
Number of time offsets fitted	10	12
RMS timing residual σ (μ sec)	54	2169
Total proper motion (mas yr ^{−1})	4.2(4)	—
Distance $d(\text{DM})$ (pc)	~ 500	—
Distance $d(\pi)$ (pc)	200 – 1000	—
Transverse velocity ($d = 500$ pc) (km s ^{−1})	10(1)	—
Orbital inclination angle (deg)	88.69(−76,+50)	—
Mass function ($M_\odot$)	0.29096571(87)	0.3579(11)
Mass ratio, R	1.0714(11)	—
Total system mass ($M_\odot$)	2.58708(16)	—
Neutron star mass ($m_\odot$)	1.3381(7)	1.2489(7)

Можно ли обнаружить черные дыры?



Основной механизм выделения энергии – аккреция на компактный объект

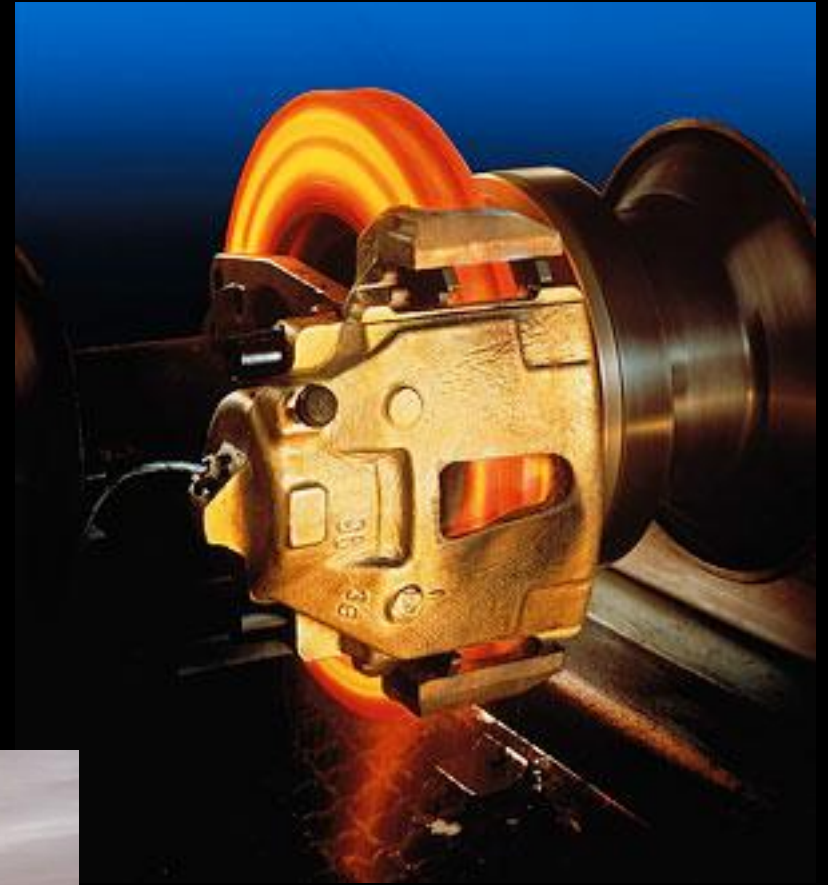
Простейший пример аккреции

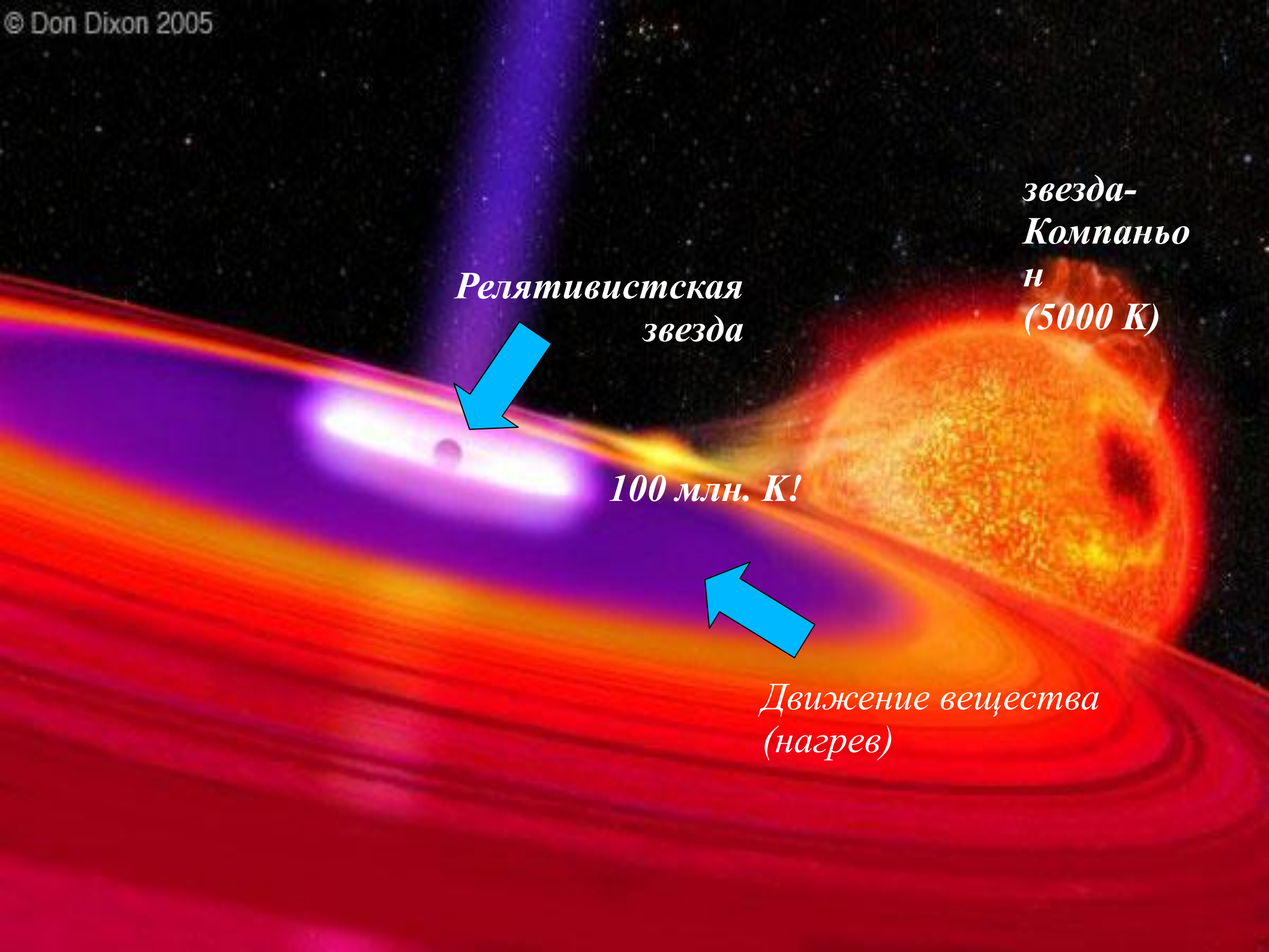


Здесь потенциальная энергия гравитационного поля

**А уж перевод кинетической
энергии в тепло –
самое привычное дело:**

**нагрев тормозных колодок,
покрышек, дороги...**





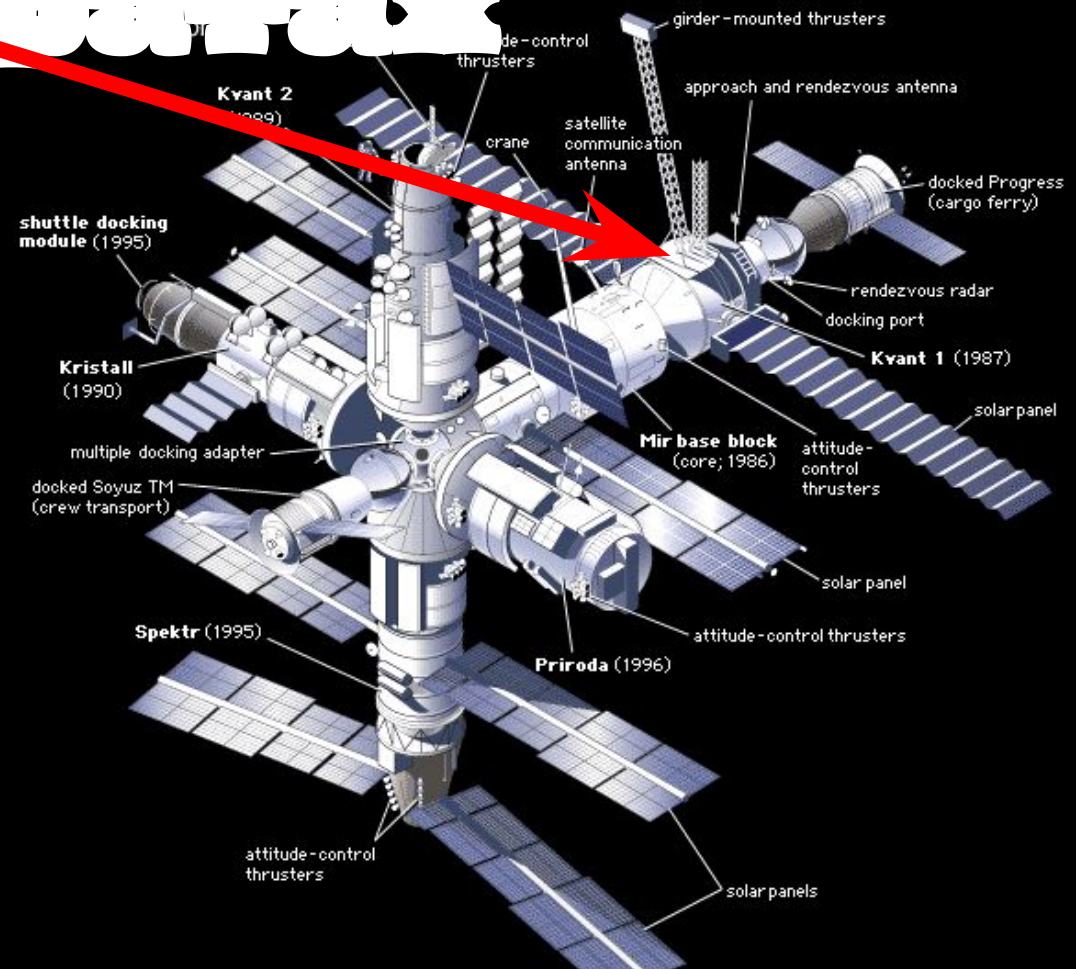
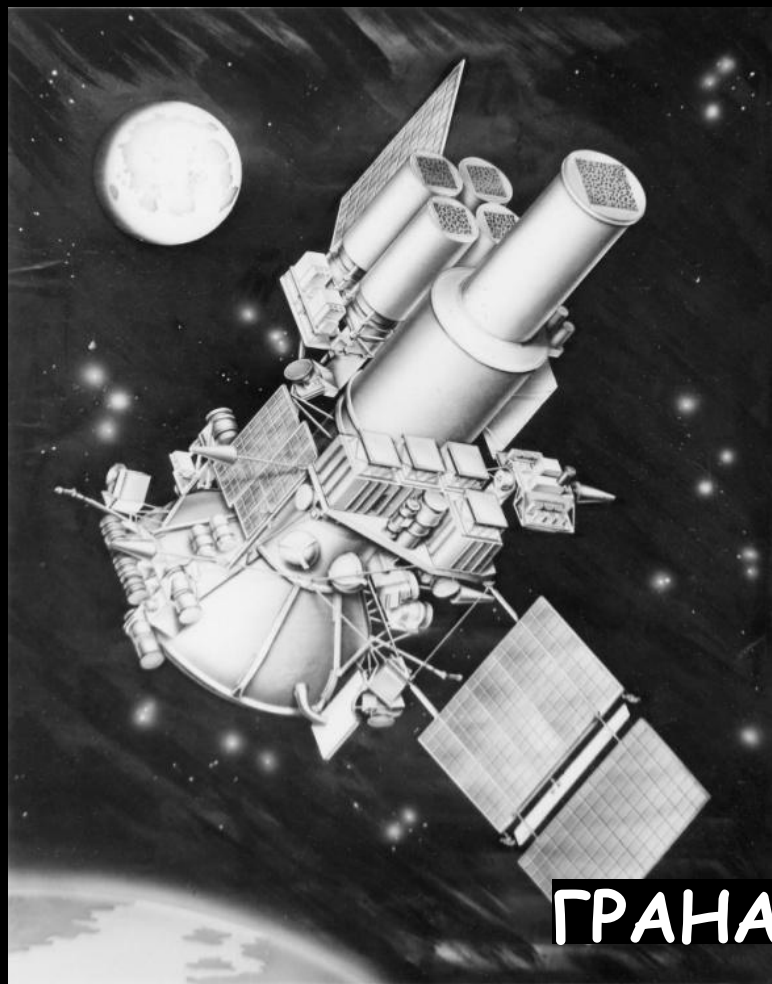
*Релятивистская
звезда*

*звезда-
Компаньон
(5000 K)*

100 млн. K!

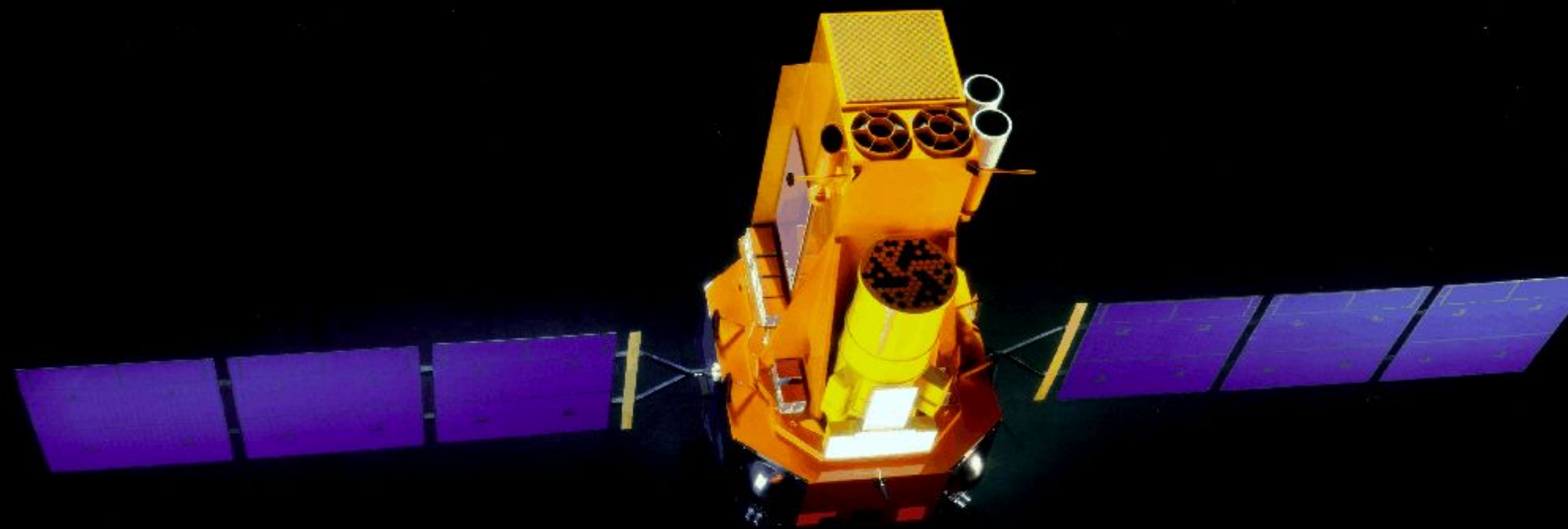
*Движение вещества
(нагрев)*

ТАКЖЕ ОННОТОНУ ОТКРЫВАЮЩИХ И ИХ СОБОТОНУК/ПОСОНУК ИХ ТАКЖЕ ТАКЖЕ



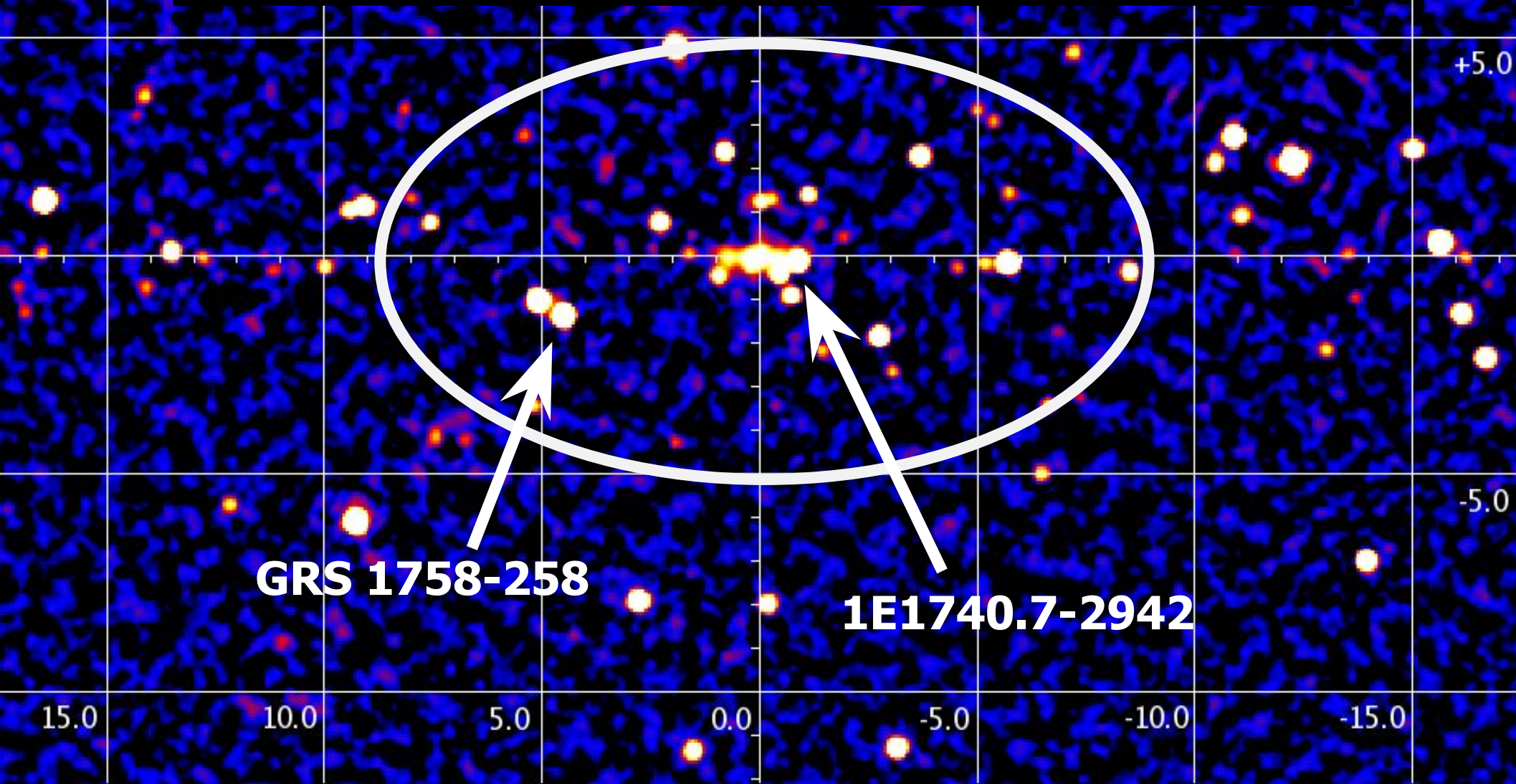
ГРАНАТ (1989-1999)

**Действующая обсерватория,
созданная с участием Российского
Космического Агенства**

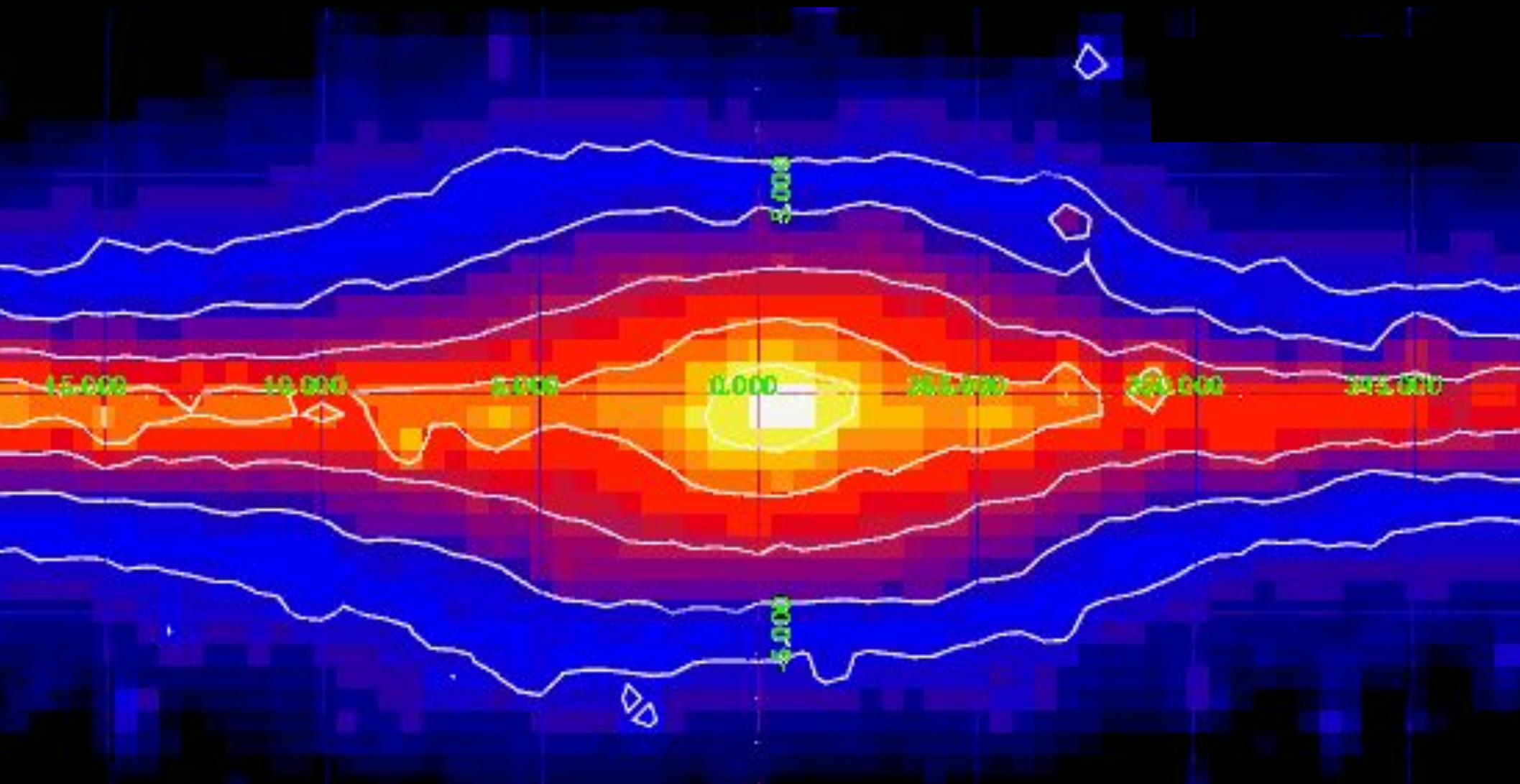


**ИНТЕГРАЛ (ЕКА/РКА)
(2002-)**

Черные дыры и нейтронные звезды в нашей Галактике по результатам обзора обсерватории ИНТЕГРАЛ



Распределение звезд

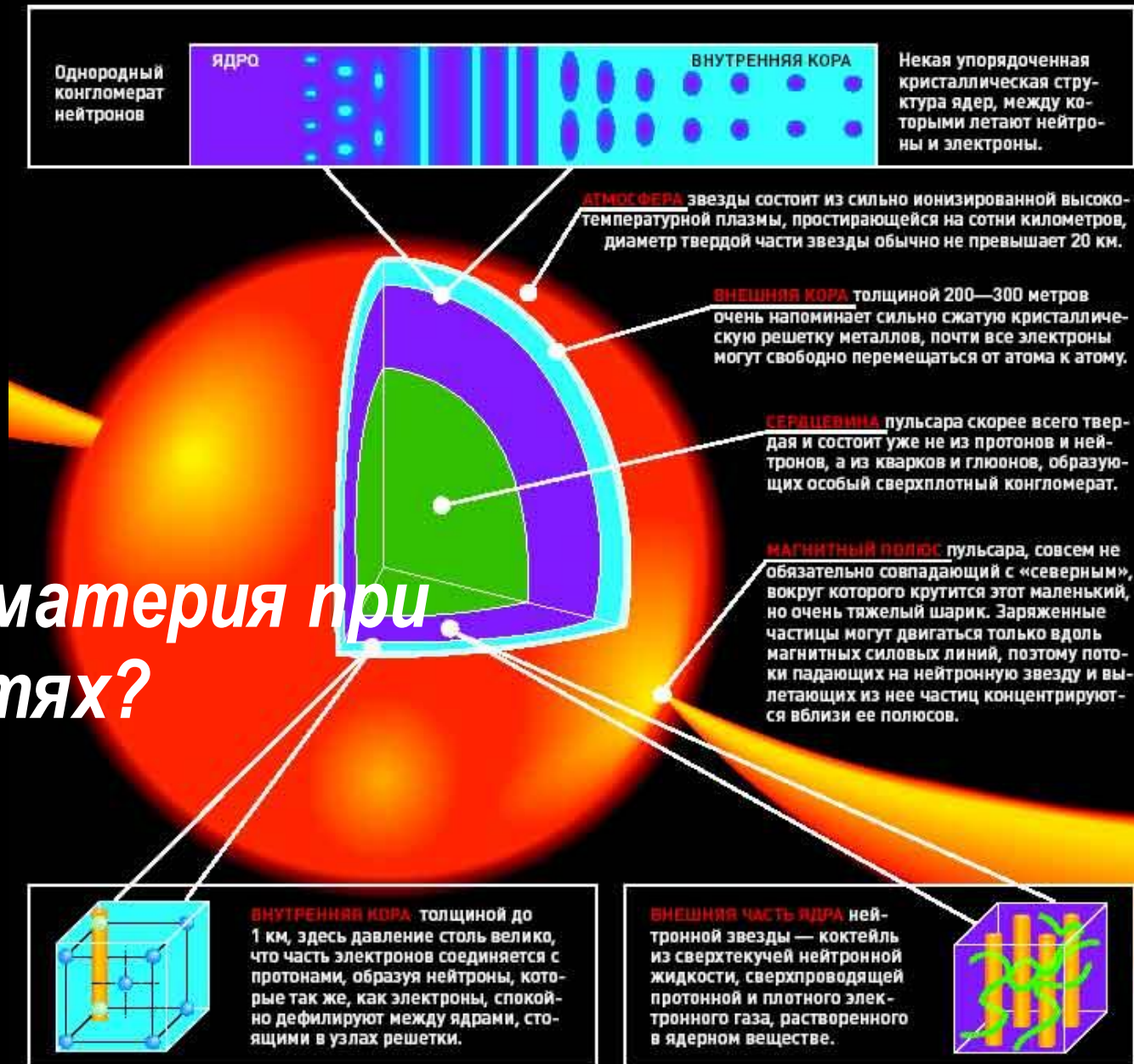


Сверхвысокие плотности

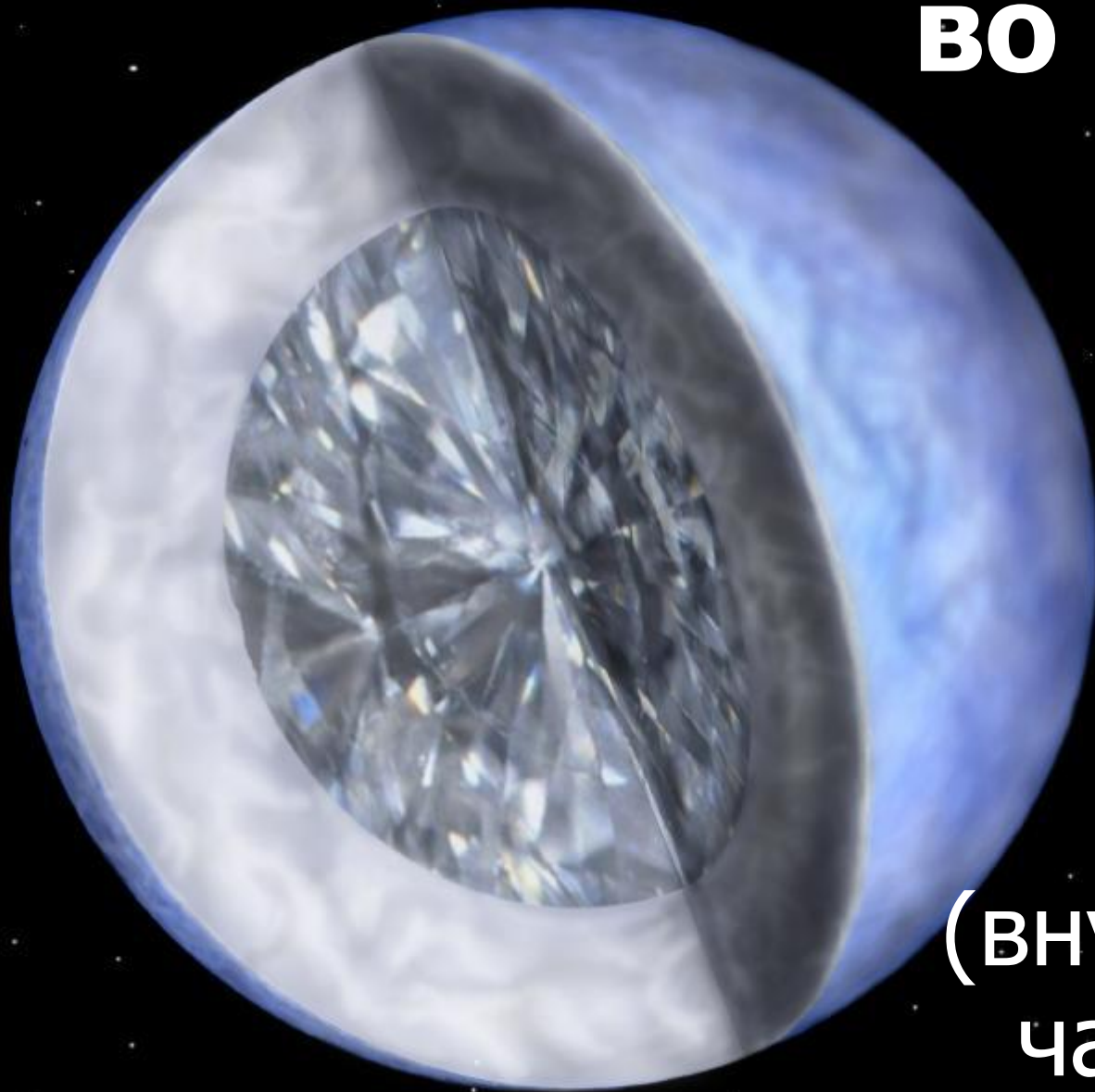
Белый карлик: плотность
 $\sim \text{тонны}/\text{см}^3$

Нейтронная звезда:
плотность **сотни миллионов тонн/см³!**

Как ведет себя материя при таких плотностях?



Белые карлики – самые большие алмазы во Вселенной



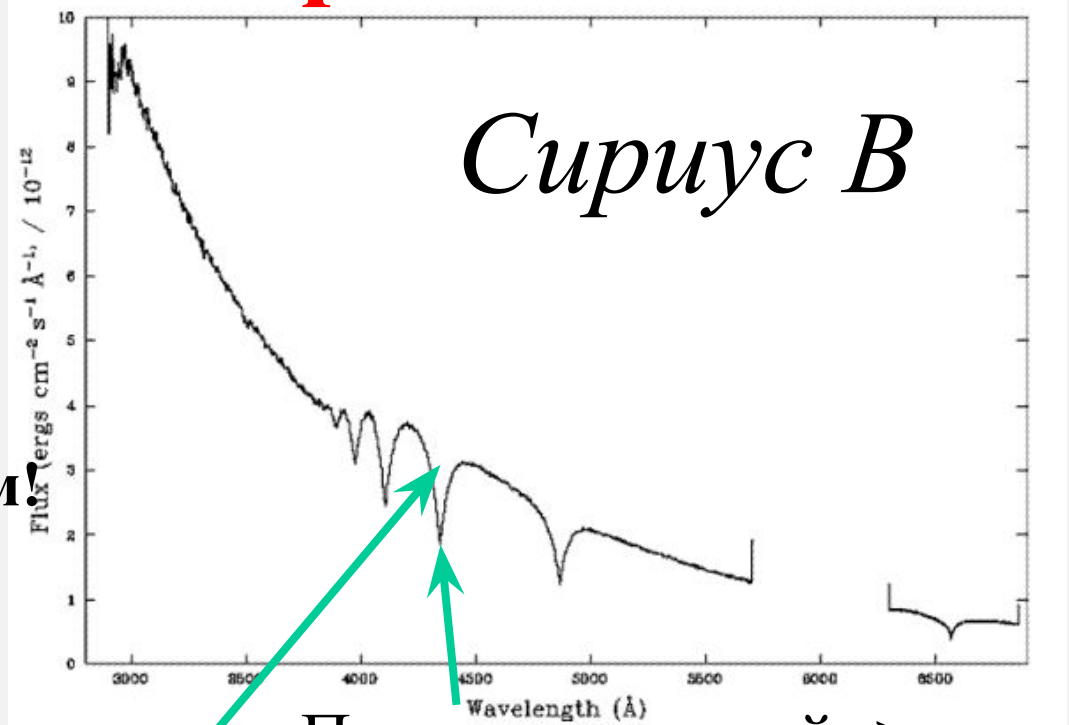
(внутренняя часть
часто – углерод)

Белые карлики

Вырожденный
электронный газ

Оболочка
идеального
газа

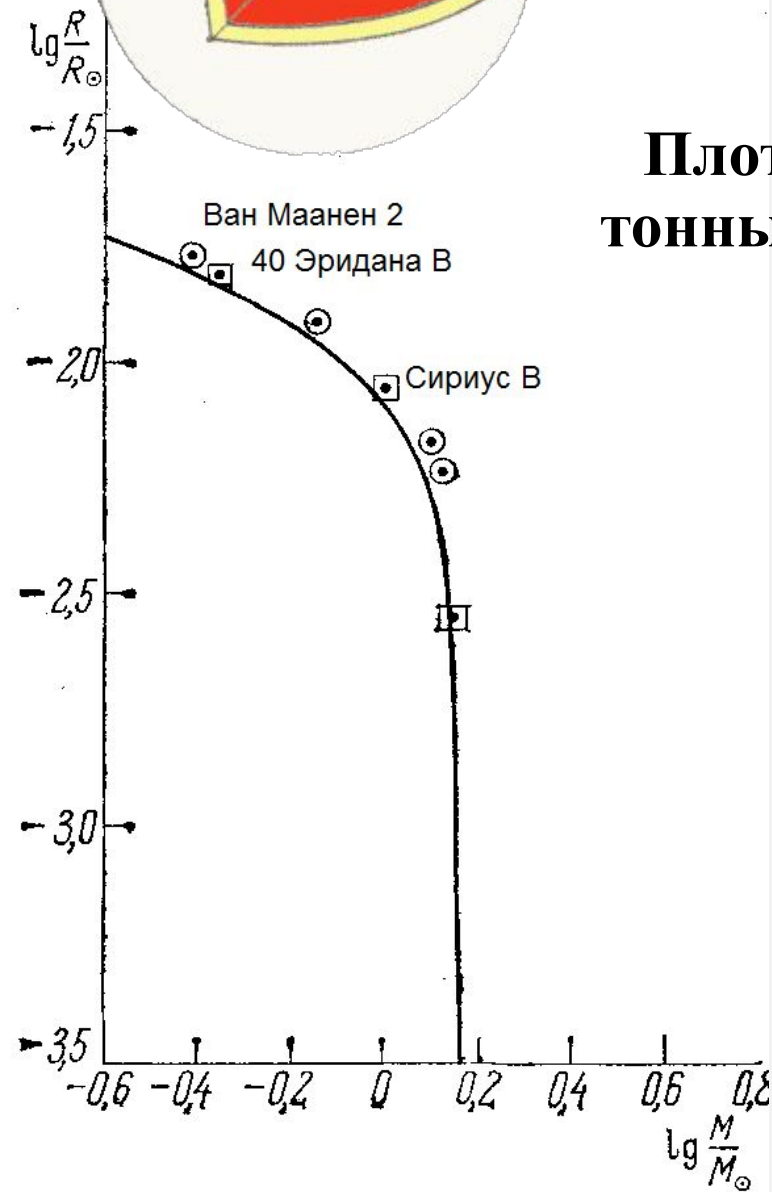
Плотность
тонны/куб.см



Сириус В

Положение линий ->
гравитационное красное
смещение (~20-80 км/сек)

Форма линий ->
сила тяжести
(давление)
на поверхности
(log g ~8.556)



Нейтронные звезды (открыты 1967)

Только нейтронные
звезды могут вращаться
с такой скоростью!

$\nu \sim 0.1$ с на поверхности!

Сила тяжести

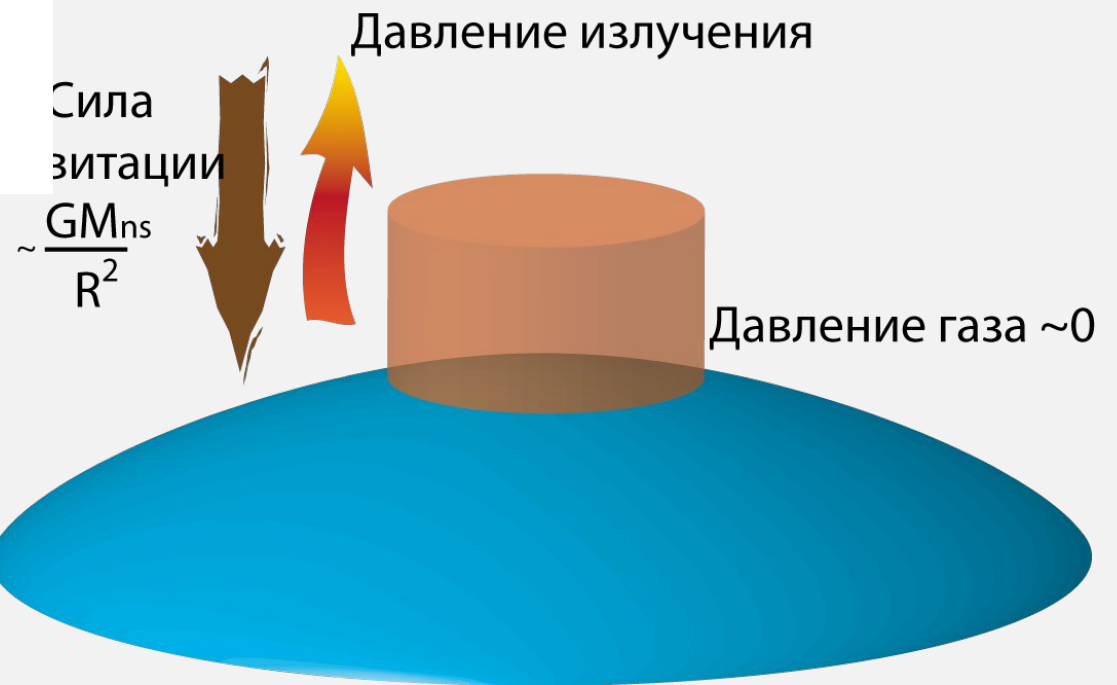
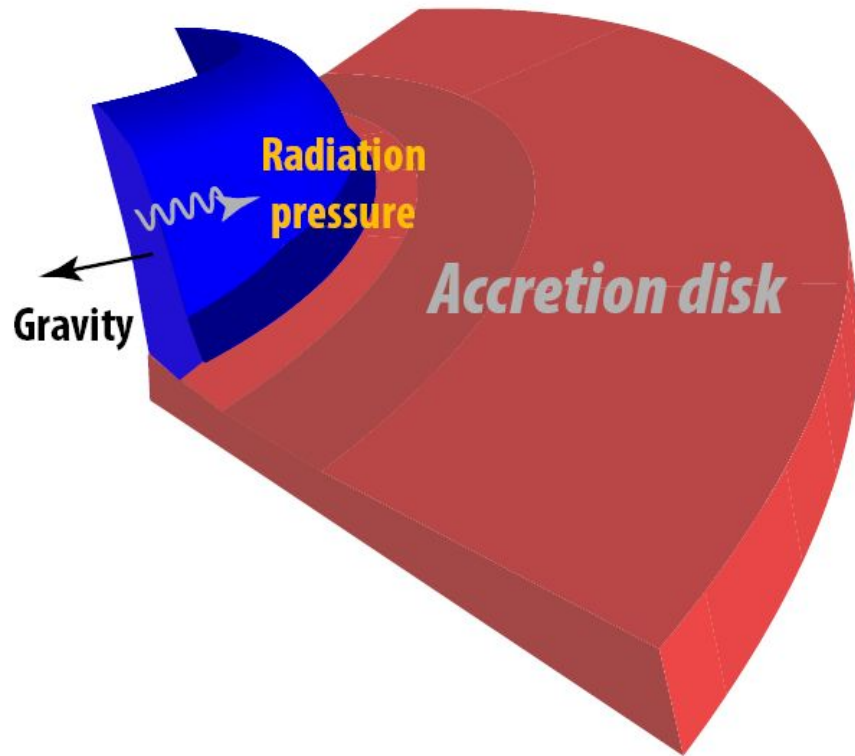
~ 100 миллиардов *g*!
(иначе –разрушение)



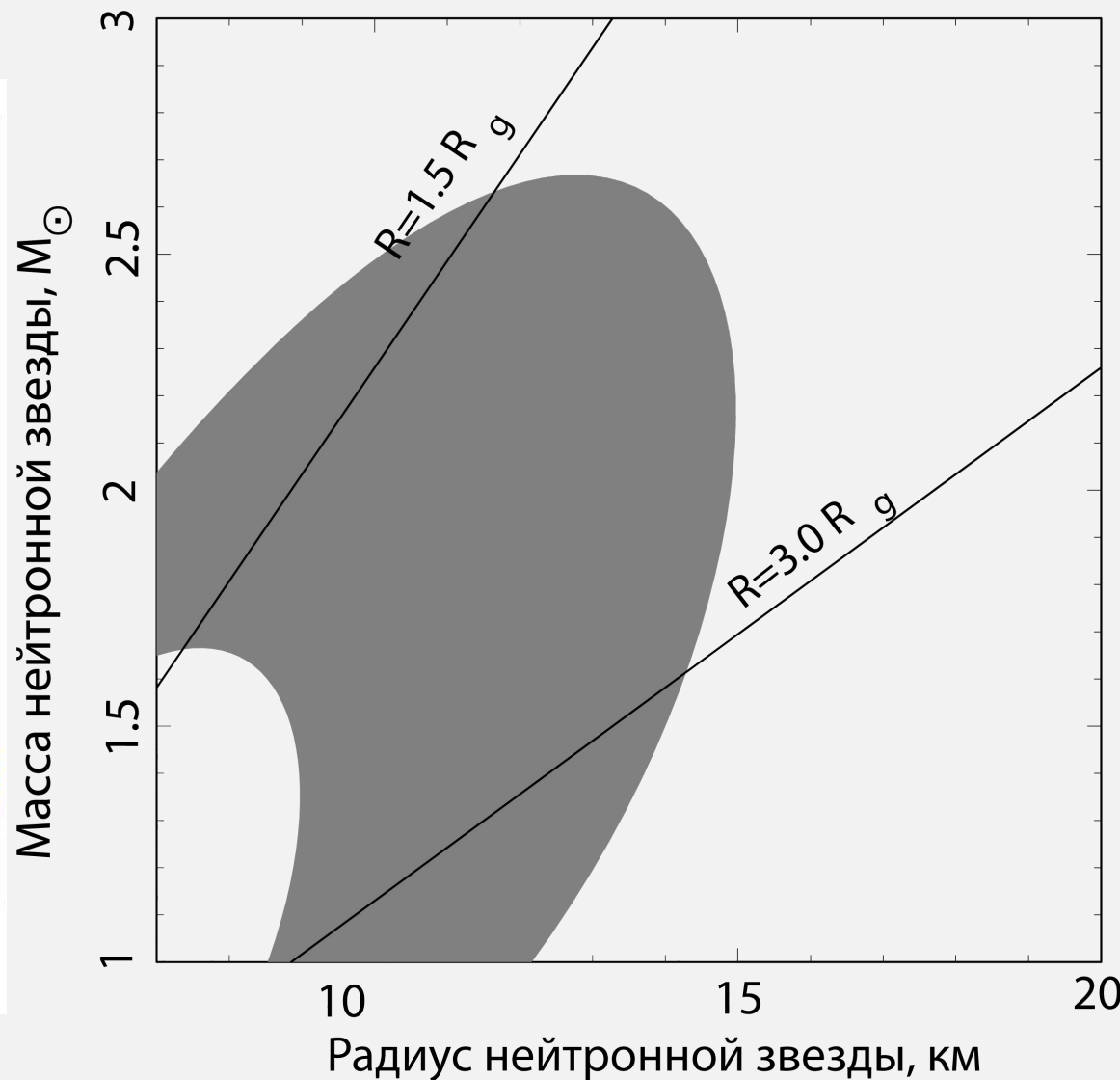
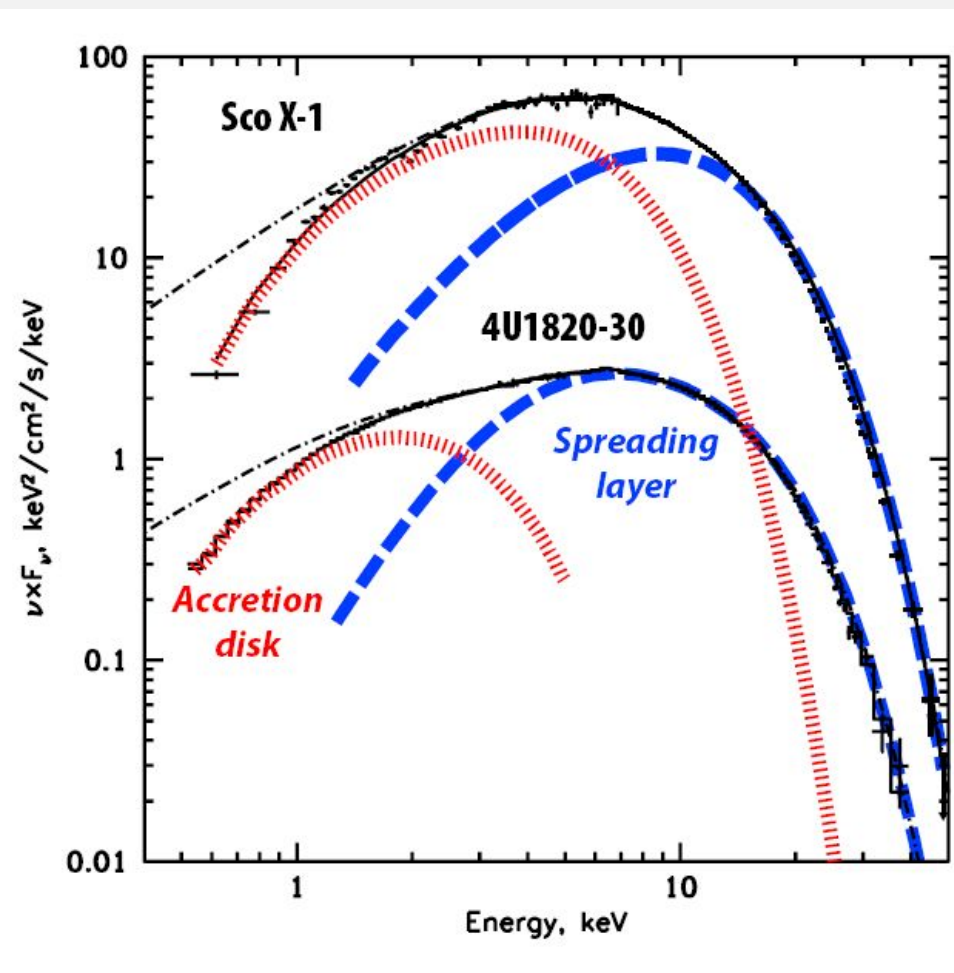
Пulsирующее
излучение -
"маяк"

Измерение радиусов НЗ

Spreading layer



Измерение радиусов НЗ -состояние материи при сверхядерных плотностях



Термоядерное горение

A photograph of a massive thermonuclear explosion, showing a large, bright, white and yellow mushroom cloud rising from the ground, with a dark, dense column of smoke and debris at its base. The sky is a deep blue, and the ground is visible at the bottom of the frame, showing a dark, flat landscape.

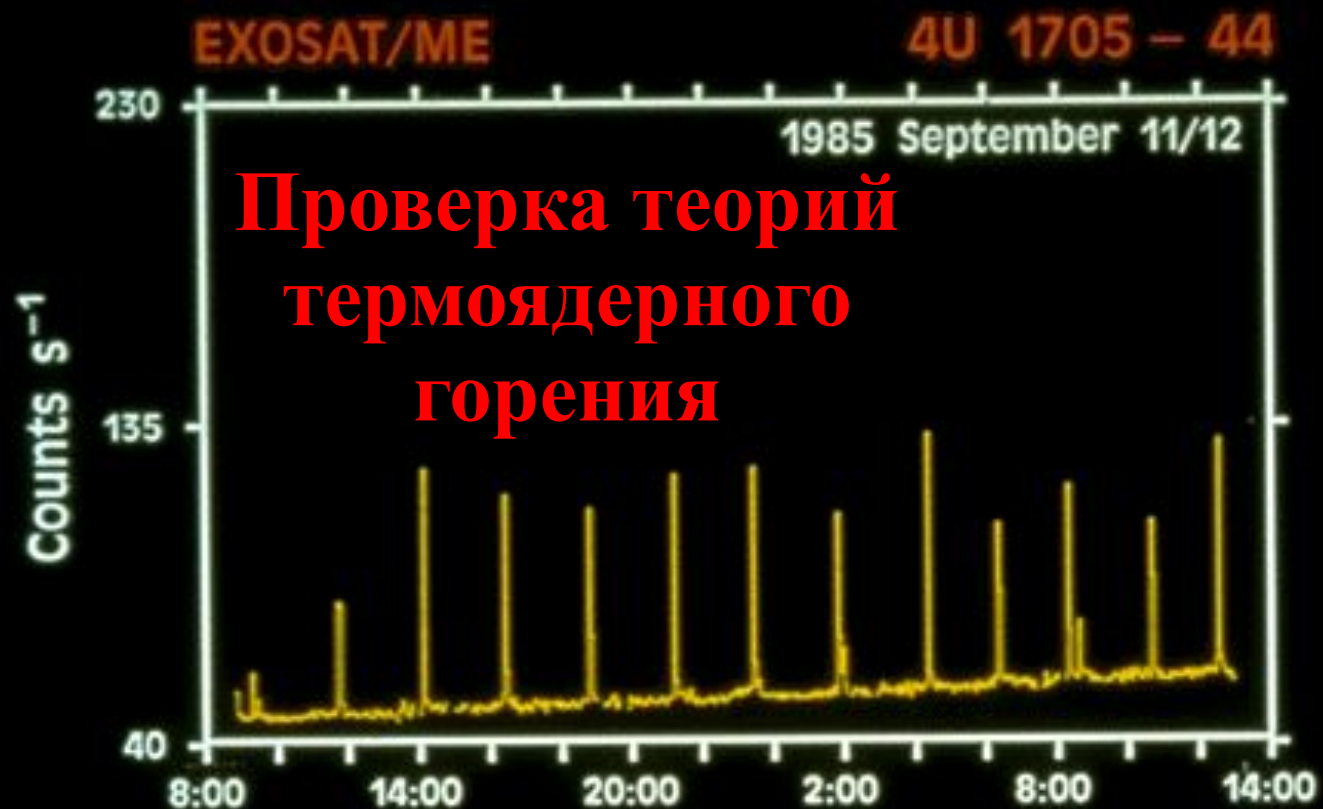
Первое испытание термоядерного
устройства - 1951 г

Термоядерный взрыв на поверхности НЗ (рентгеновские барстеры)



200-300 терабомб (10^{12})
по 10 Мтонн TNT
в секунду!

За взрыв сгорает
около массы Луны

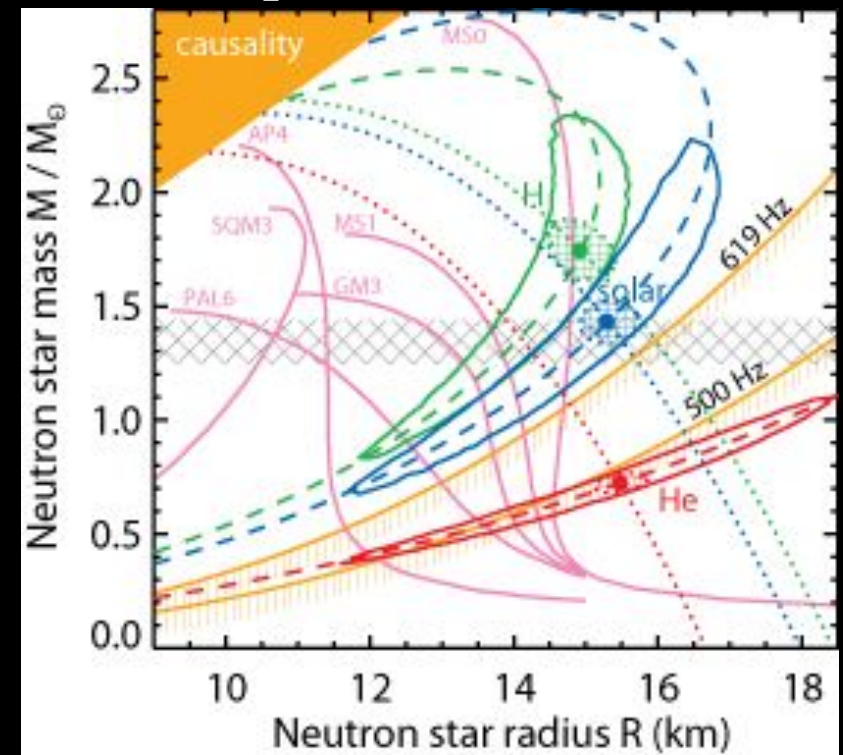


В Галактике известны
системы в которых такие
взрывы происходят
каждые 3-4 часа!

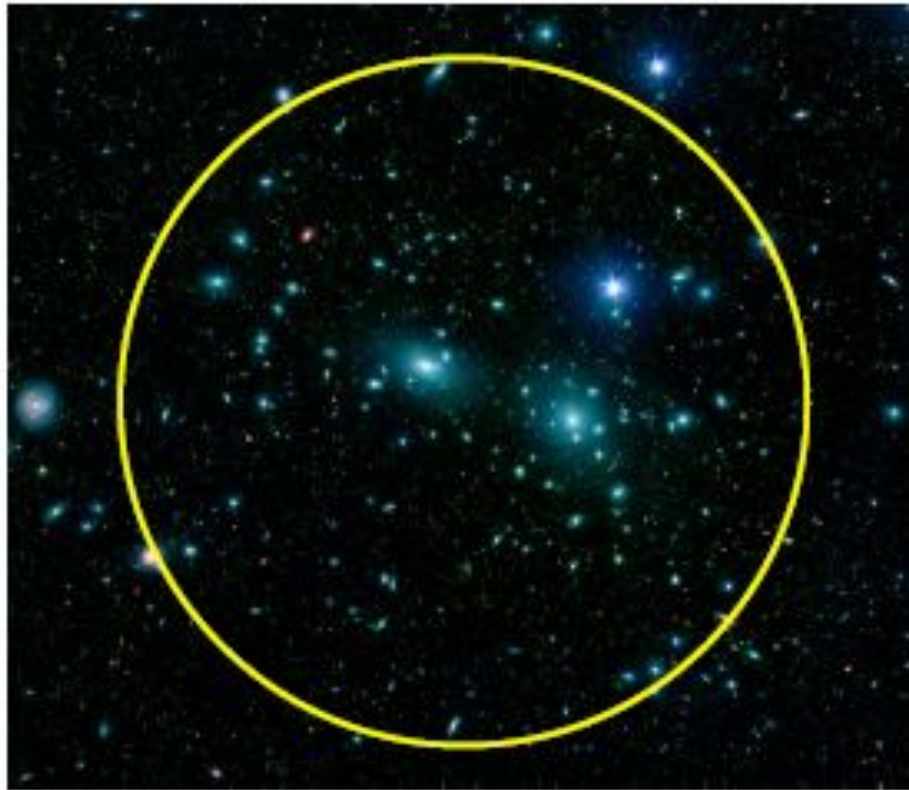
Состояние вещества при сверхядерных плотностях



Кварковые звезды,
основное состояние
материи?



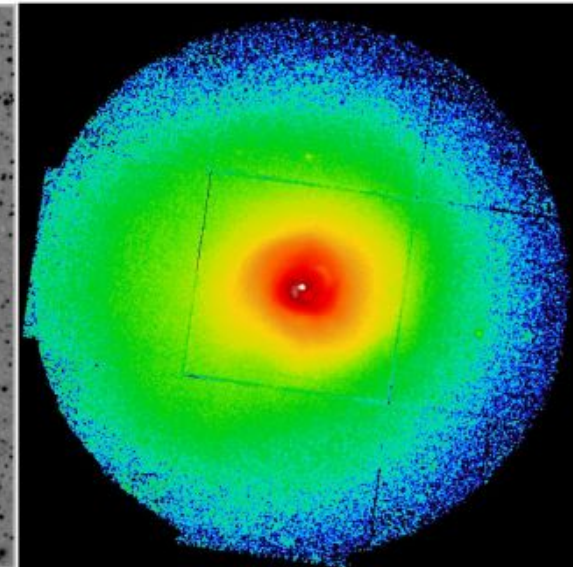
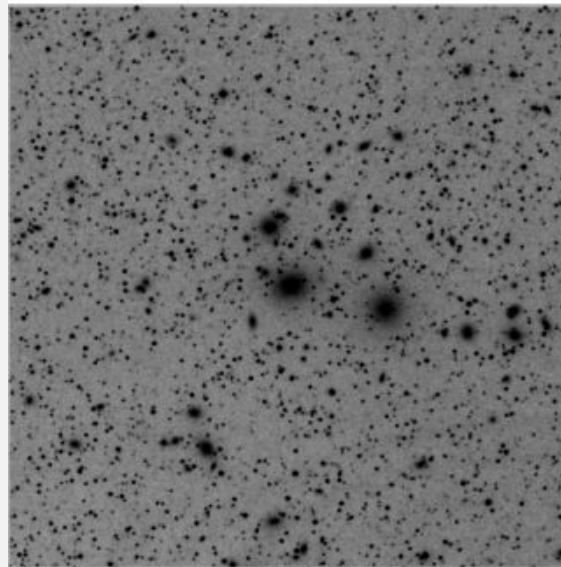
Темная материя



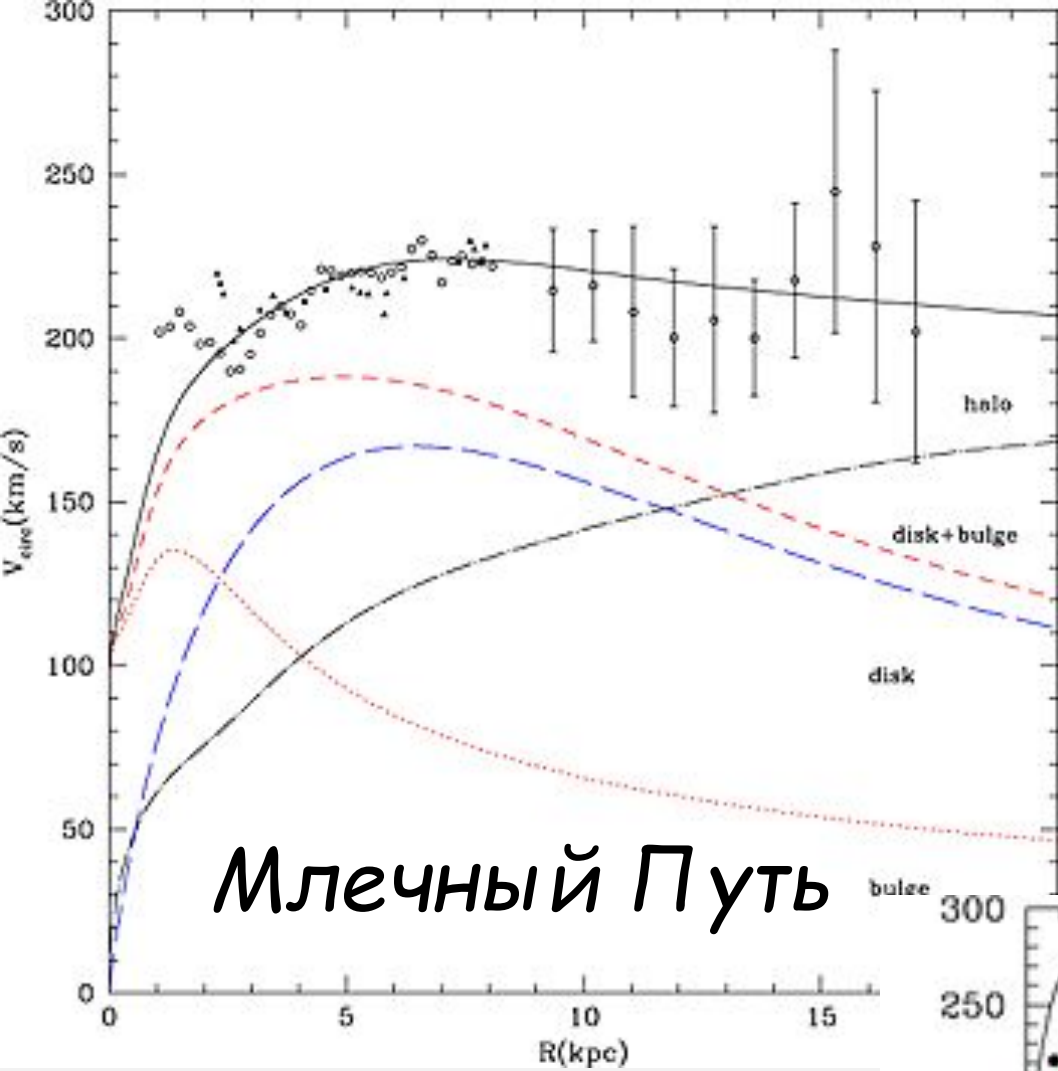
**Скорости движения галактик
в связанных системах дают
оценку массы скопления
гораздо больше видимой
массы**

Оптика

Рентген

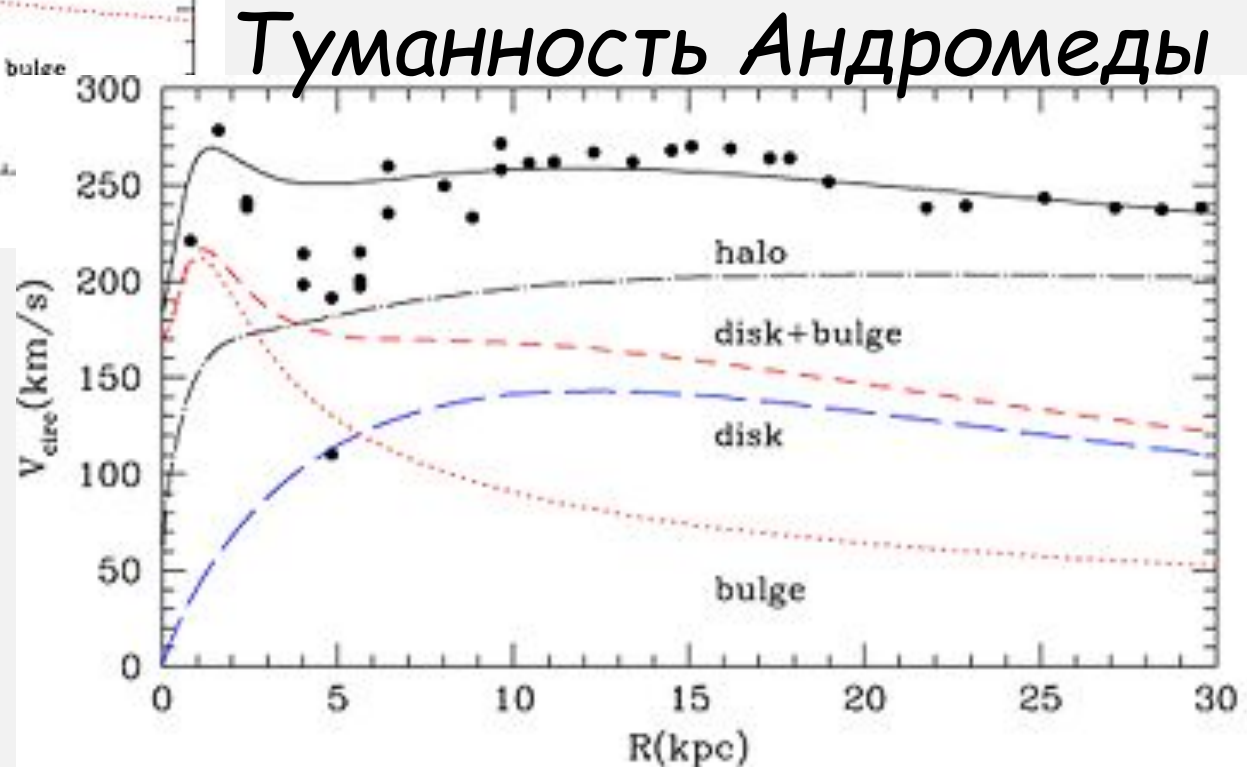


**Вид скоплений в
разных диапазонах
энергий**



Млечный Путь

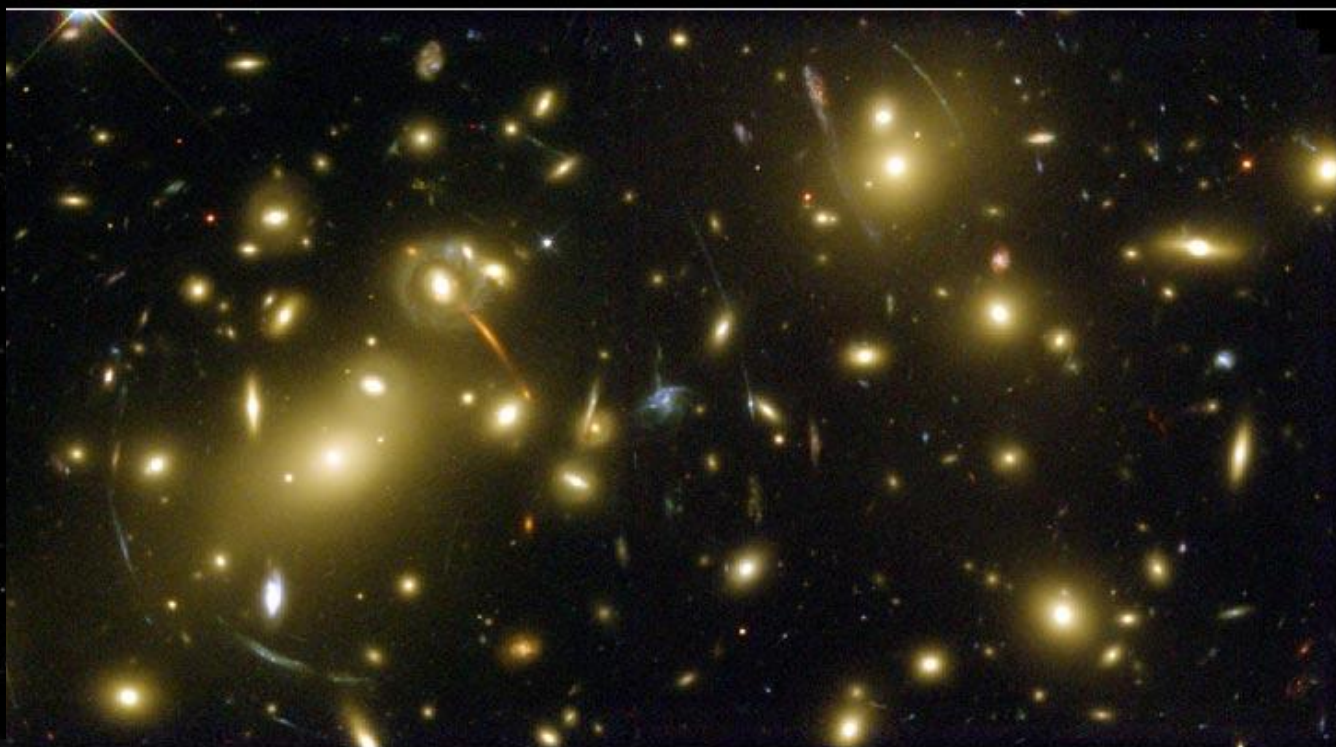
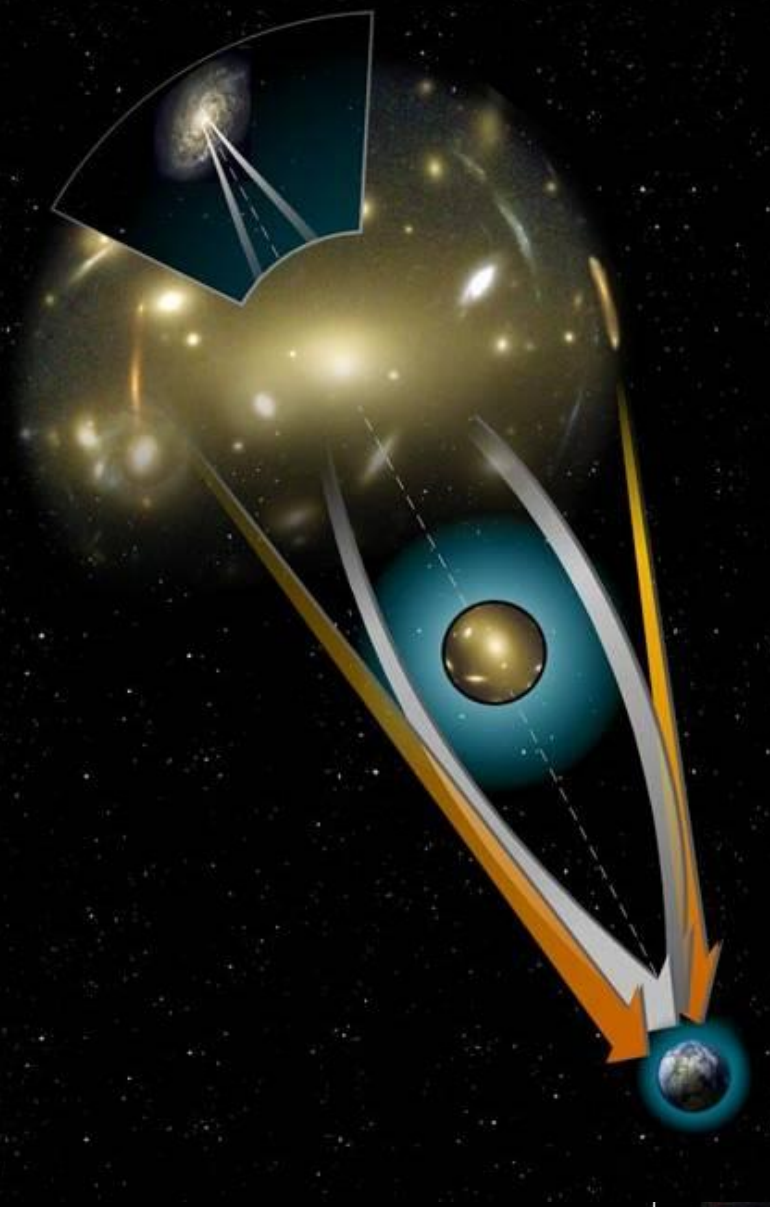
Свидетельства о темной материи из кривых вращения галактик



Туманность Андромеды

Линза — скопление галактик A2218

Основная масса — темная материя



Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

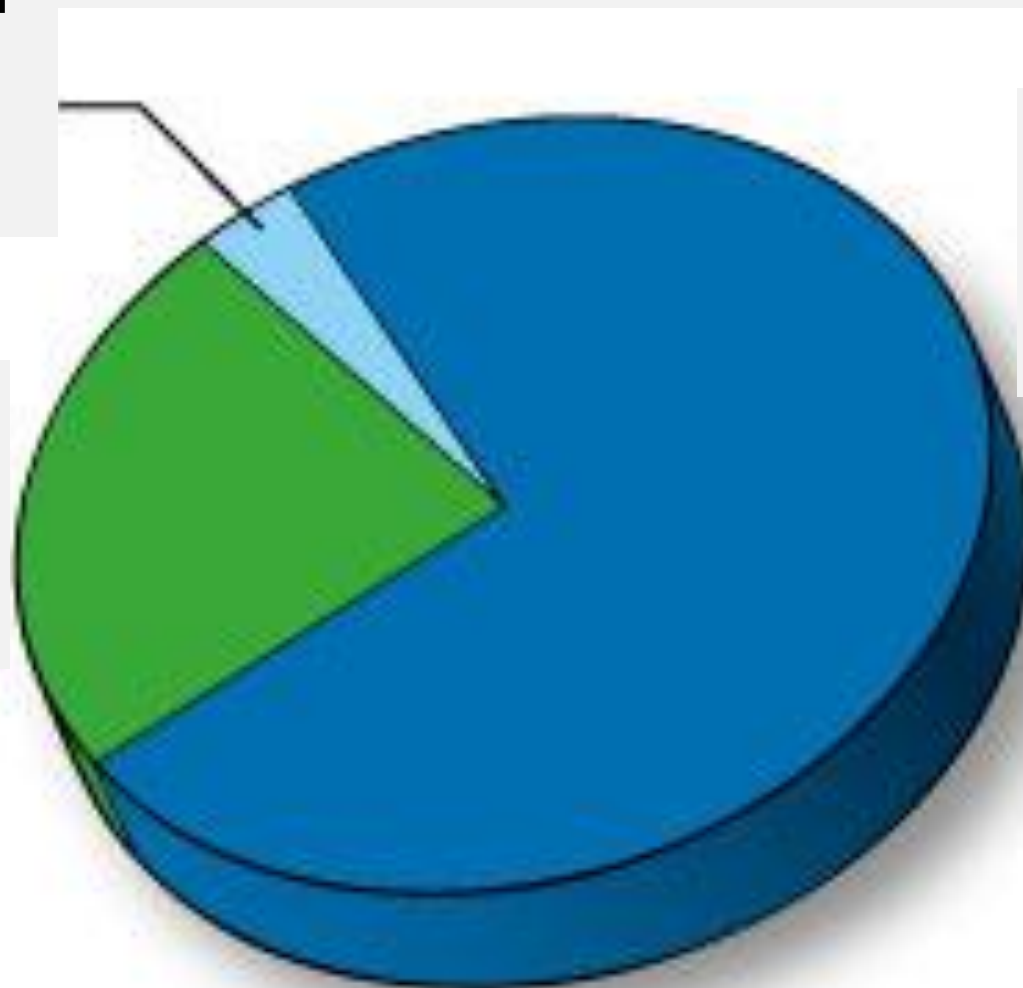
NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PRC00-08

Столкновения отделили темную материю от обычной

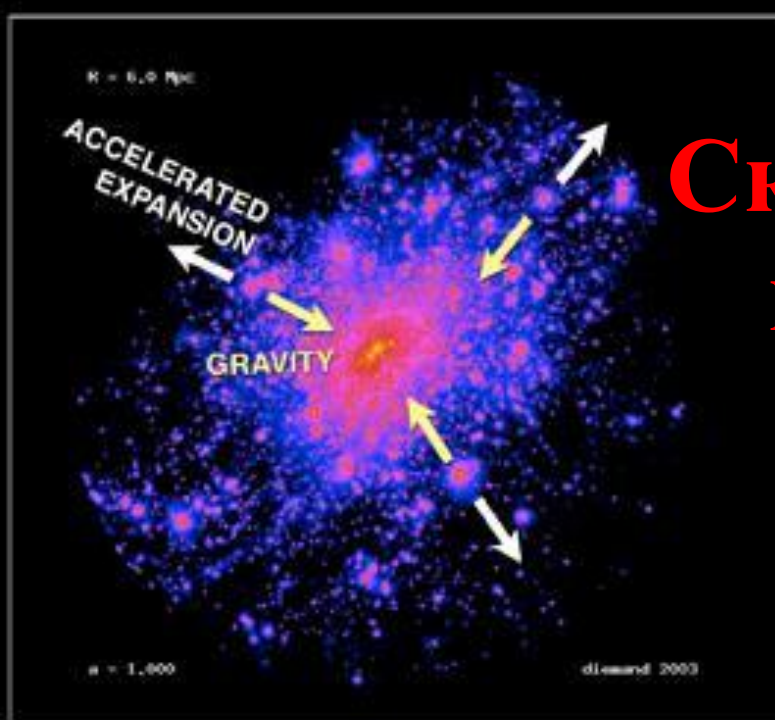


**Обычная
материя
4.6%**

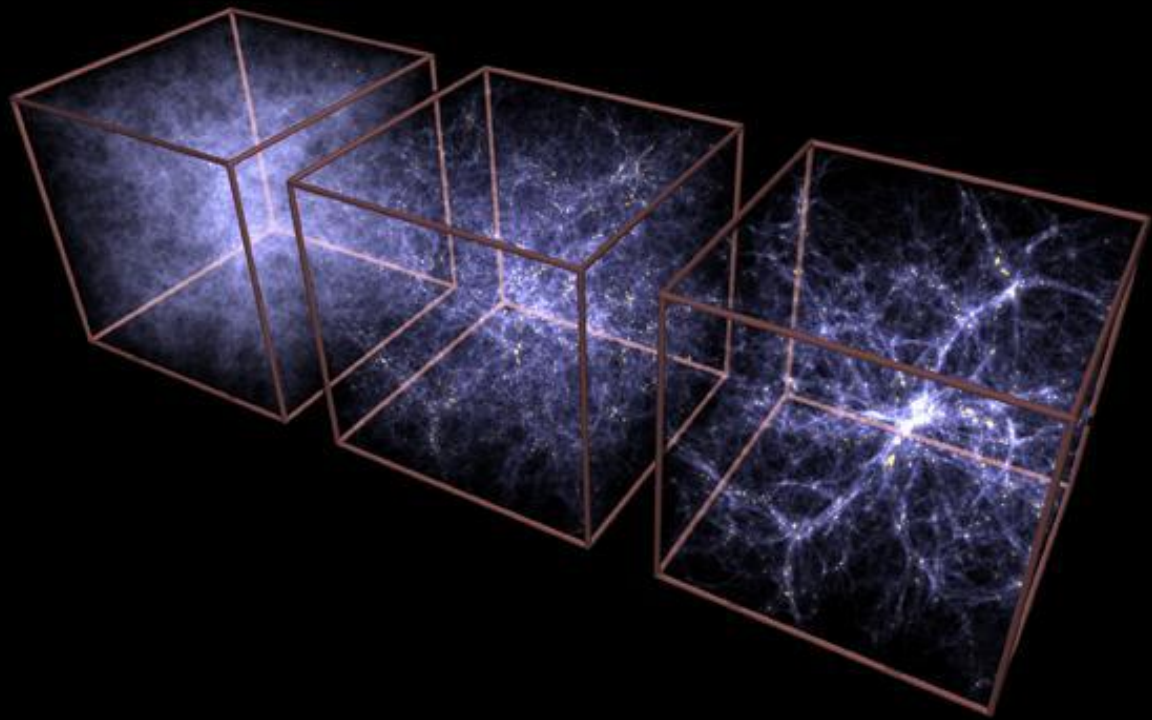
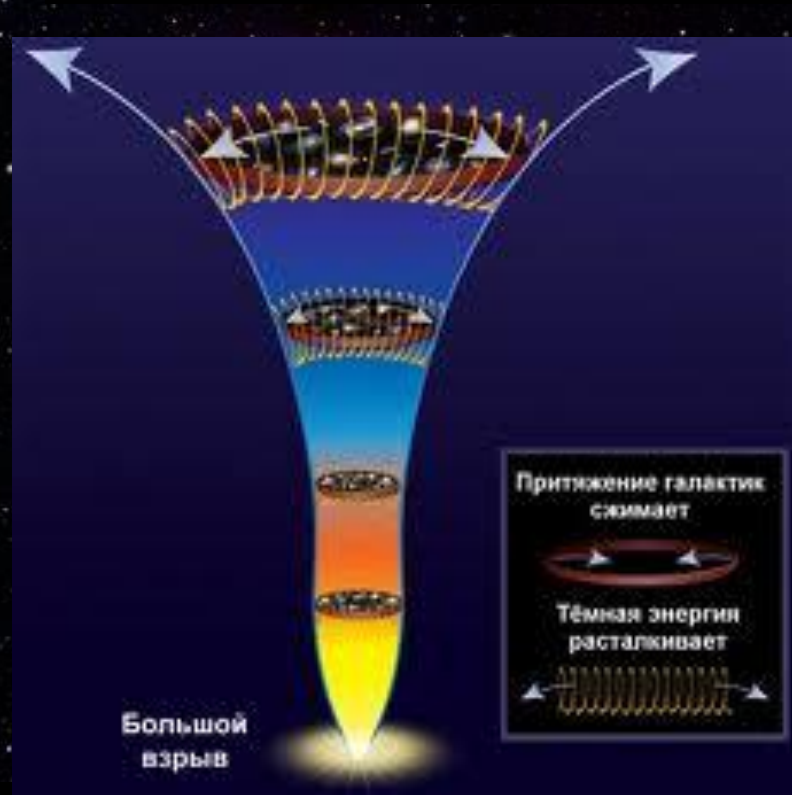
**Темная
материя
23%**

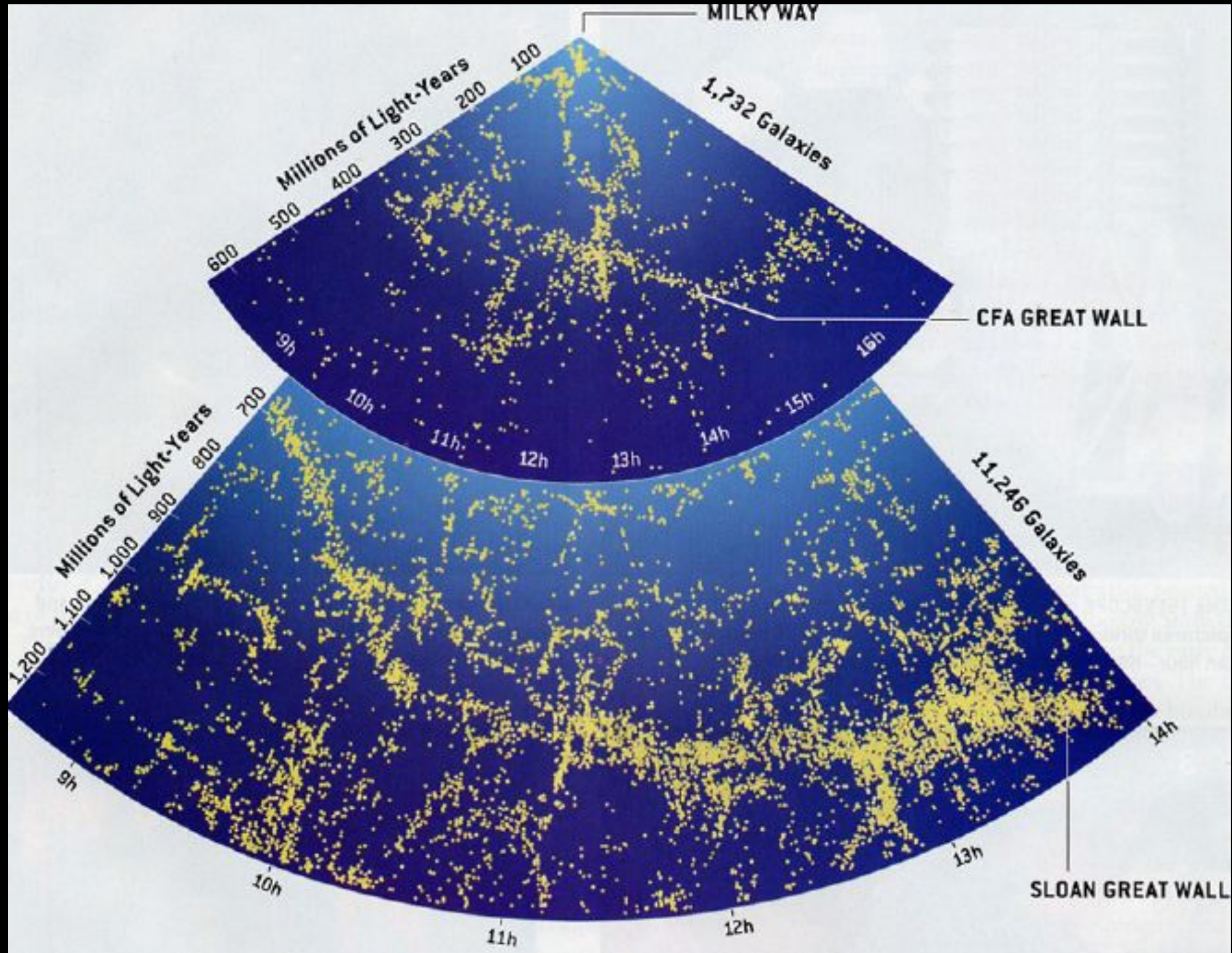


**Темная
энергия
72%**

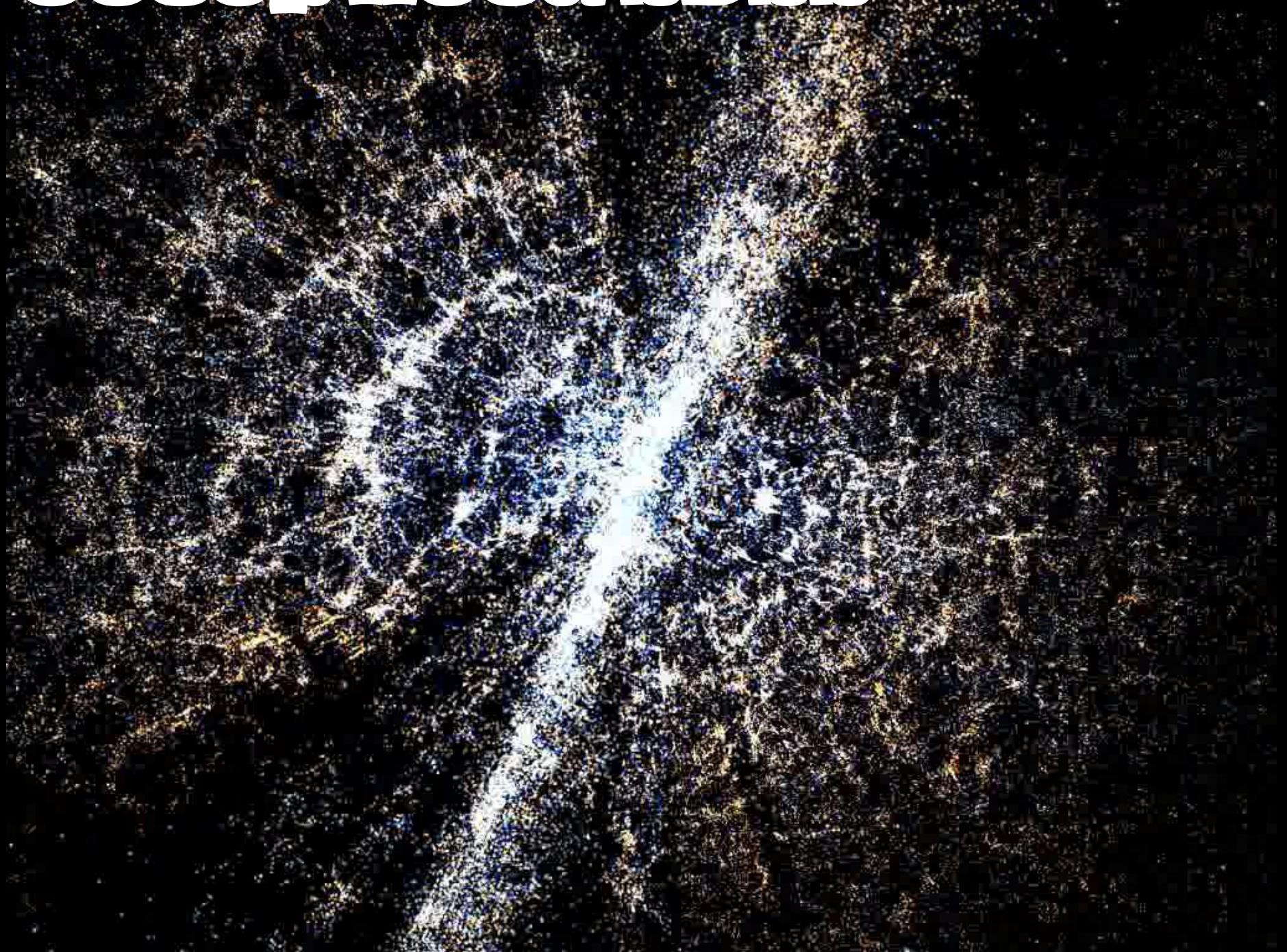


Скорость роста структур – измерение параметров Вселенной

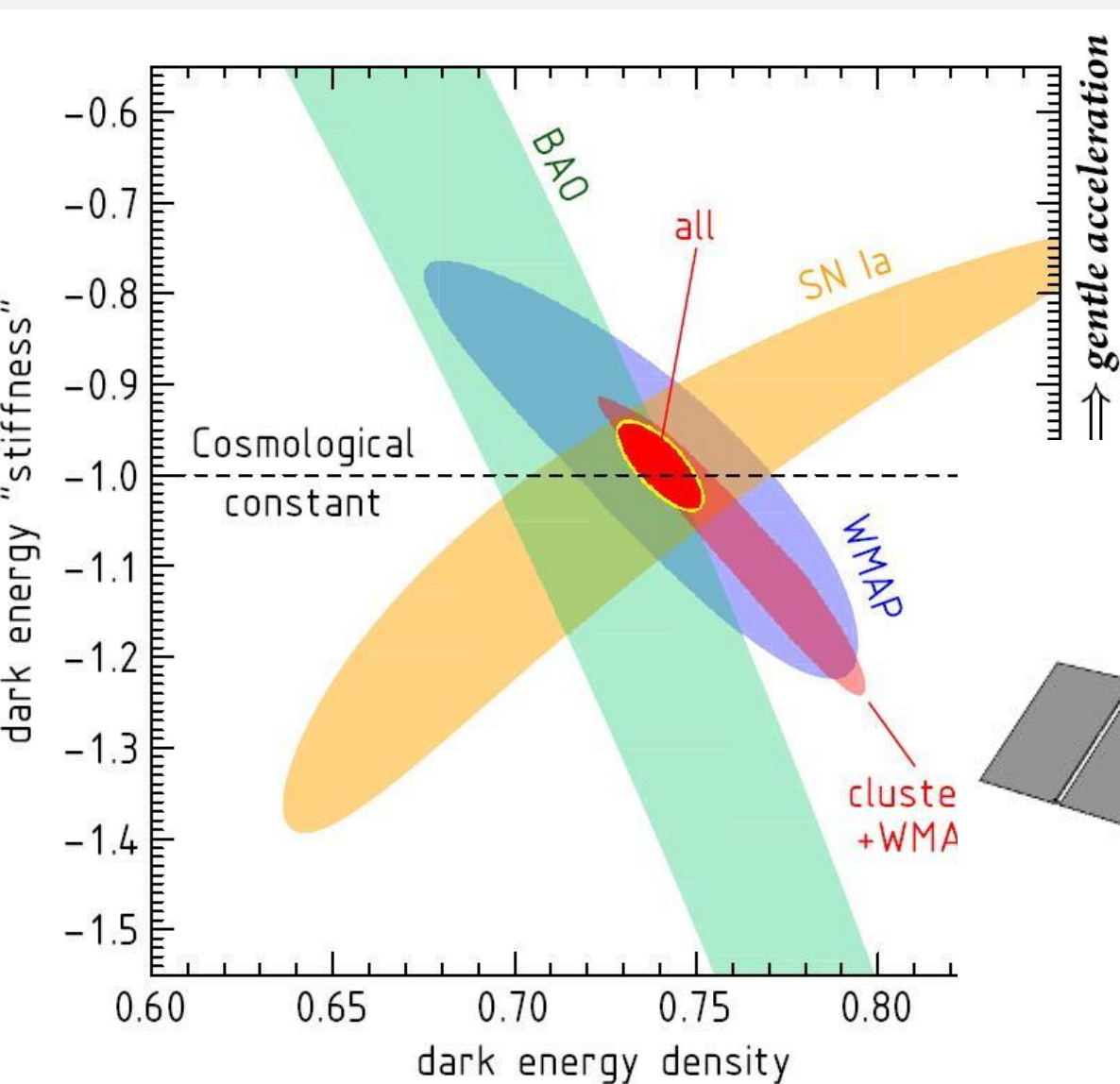




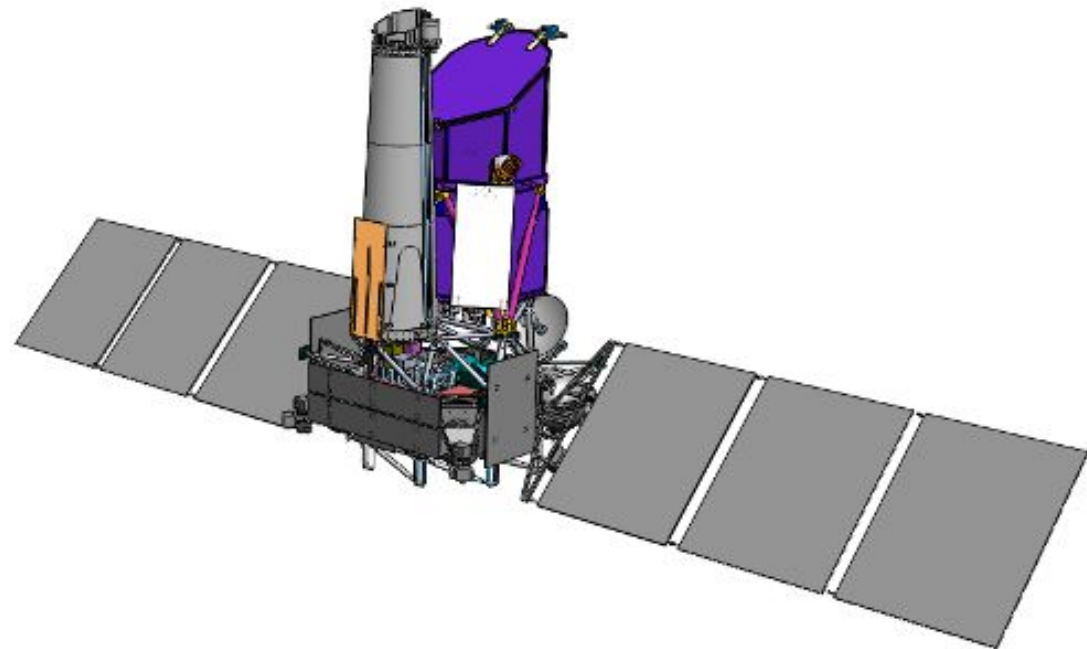
ПРОНЕКОТО ГЛАВНОЕ. ОБЩЕЕ ИЛИ ЧАСТНОЕ



Свидетельства существования темной энергии из подсчета скоплений галактик



Проект ФКП
“Спектр-РГ”



Заключение:

- 1) Вселенная – бесконечный набор физических лабораторий
- 2) Астрофизические исследования дают нам знания о процессах, которые нельзя (пока) наблюдать на Земле
- 3) Знания о Вселенной рано или поздно можно будет обернуть на пользу человечеству