

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

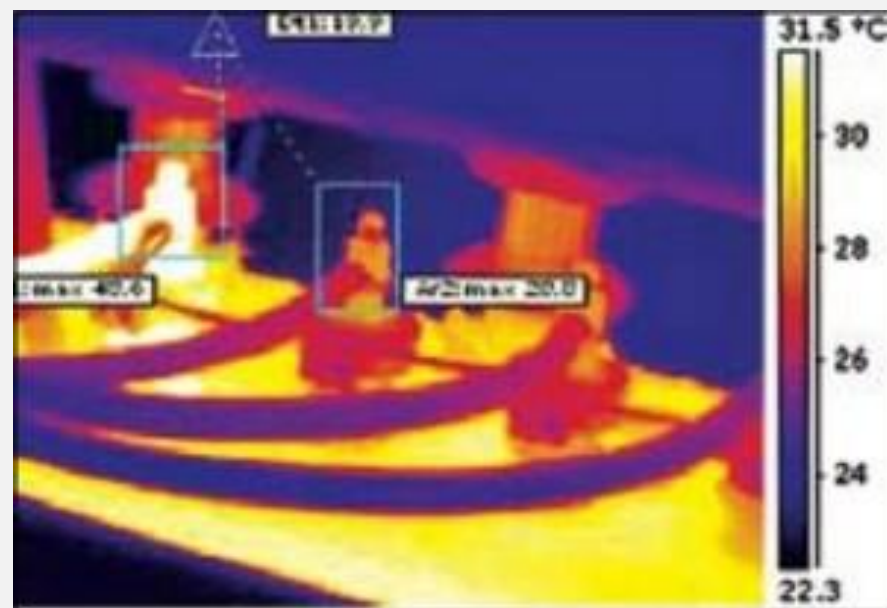
+ безопасно

Бесконтактные методы – на элизотика

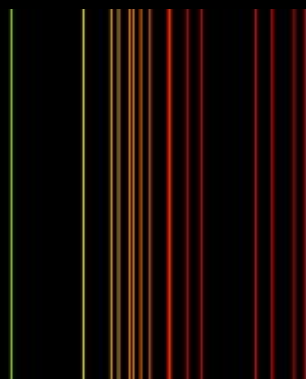
PATIENT: 3941 1999820171 1



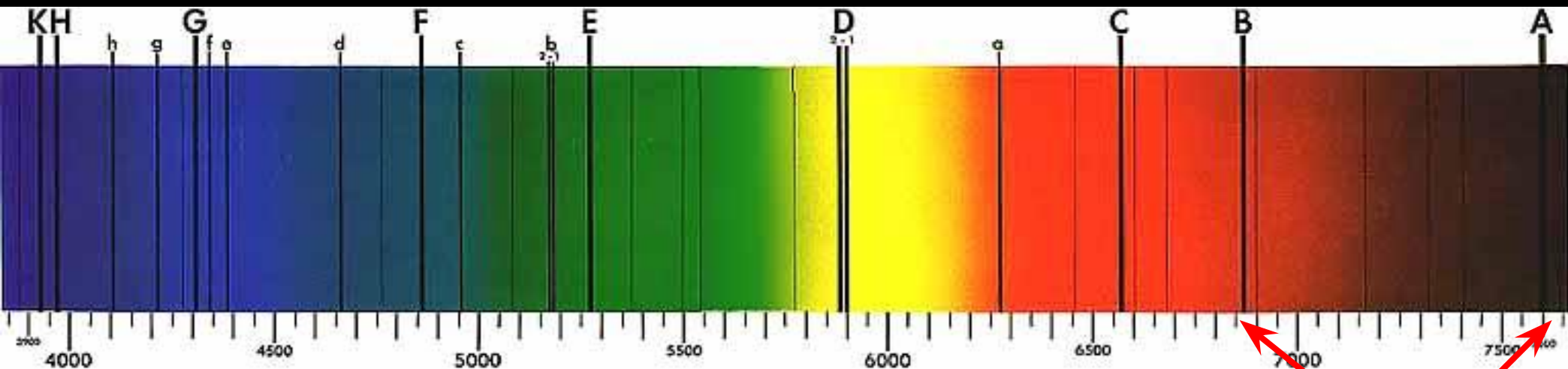
Бесконтактные методы – не экзотика



Бесконтактные методы – не экзотика



Спектр Солнца



Ca

H

Fe

Na

H

O₂

Измерения масс небесных тел

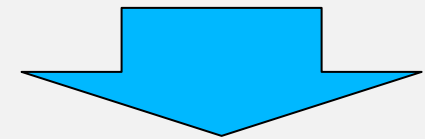
$$\frac{a^3}{(P/2\pi)^2} = G(M + m),$$



расстояние

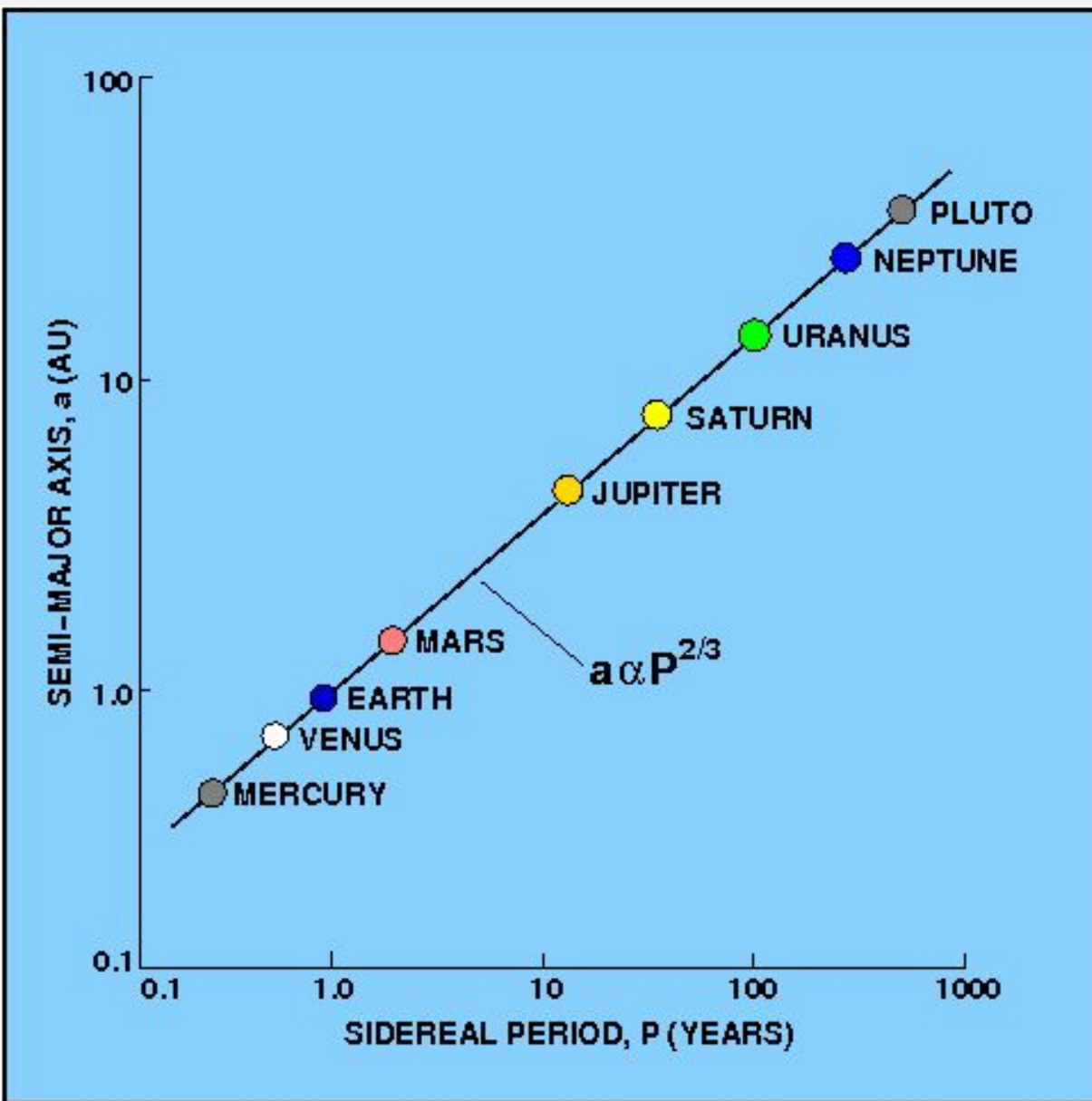
+

период
обращения



Масса
центрального
тела

Измерения масс небесных тел

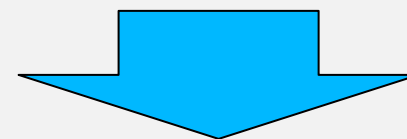


$$\frac{a^3}{(P/2\pi)^2} = G(M + m),$$

расстояние

+

период
обращения

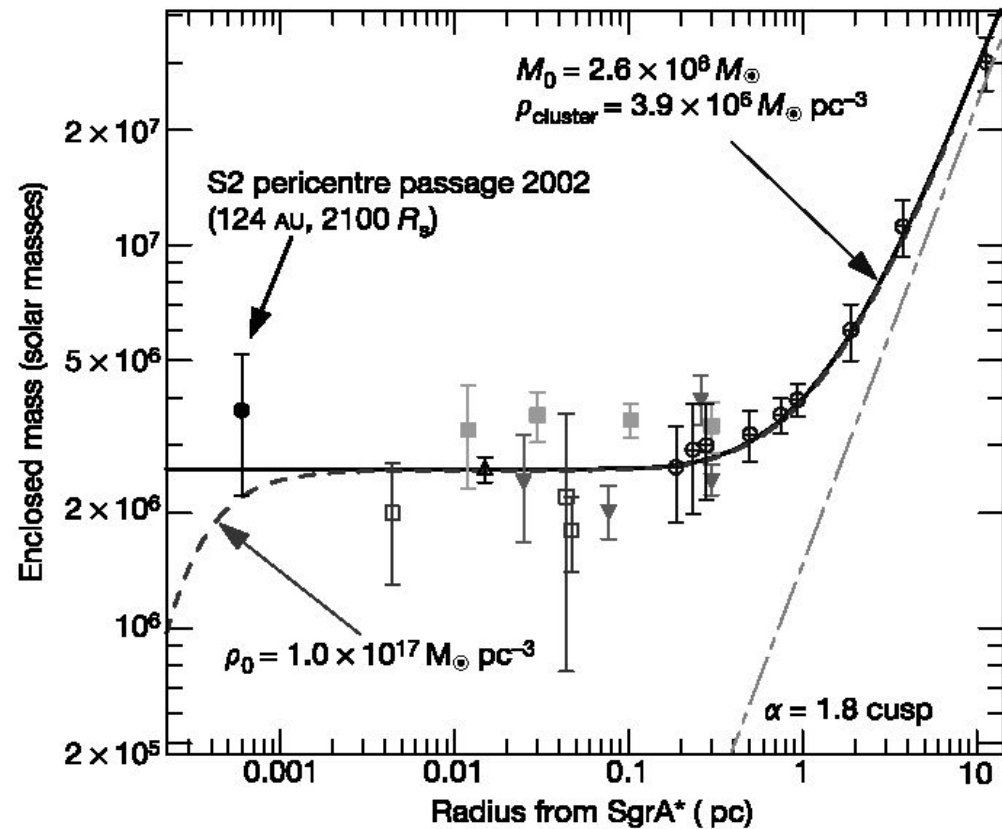


Масса
центрального
тела

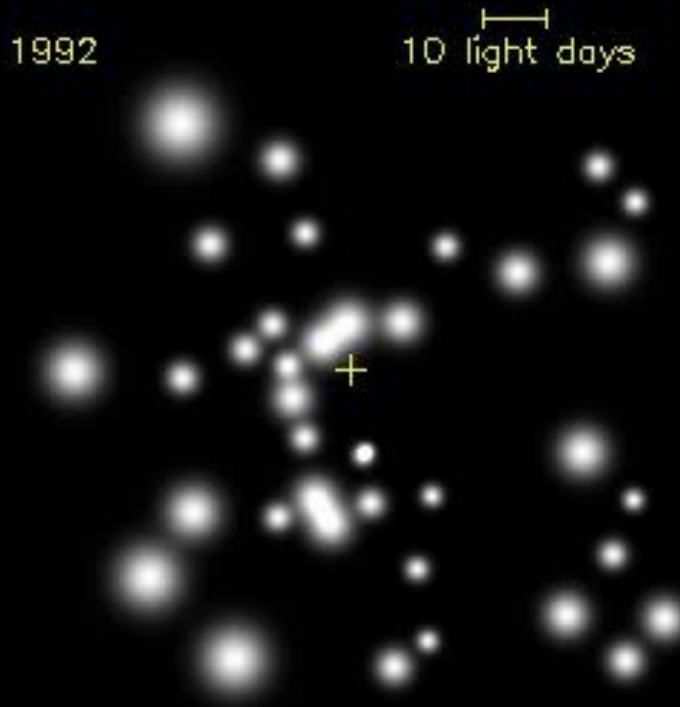
Сверхмассивная черная дыра в нашей Галактике: Стрелец А*

Черные дыры

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



Непосредственное измерение траекторий звезд



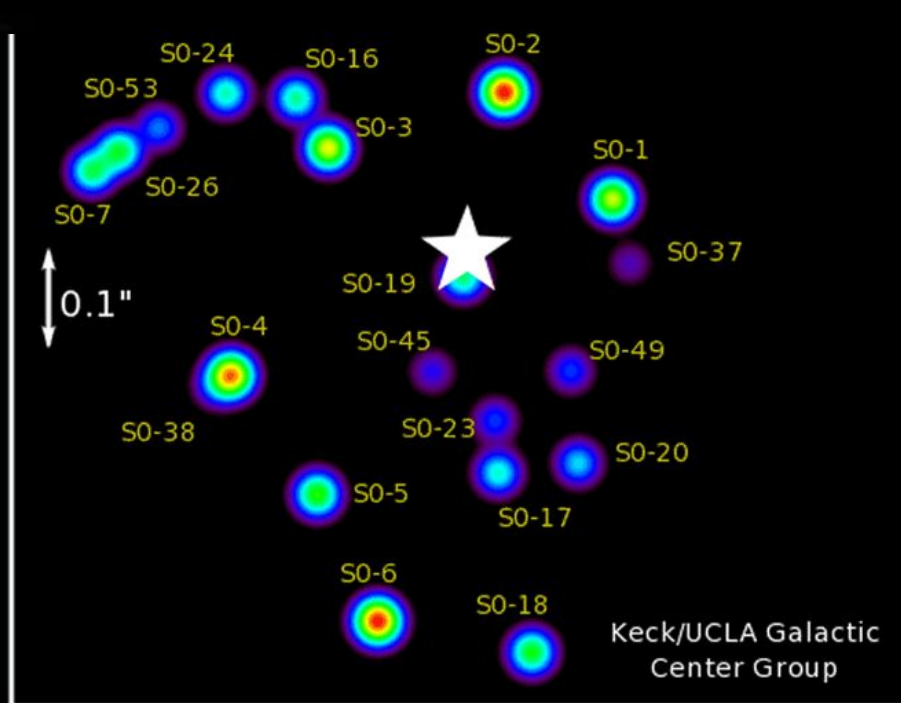
Телескоп
VLT (8м)

вокруг
Sgr A*

Внутри размера
~солнечной системы
~3 миллиона
Солнечных масс

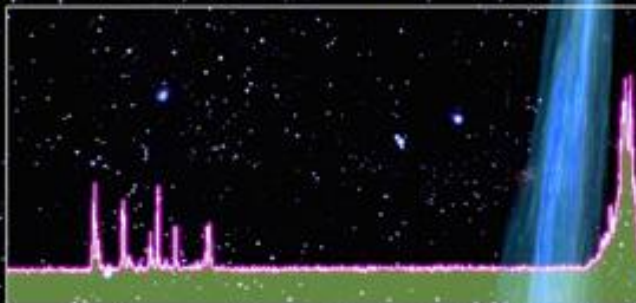
1995.5

Телескоп
Кекк (10м)

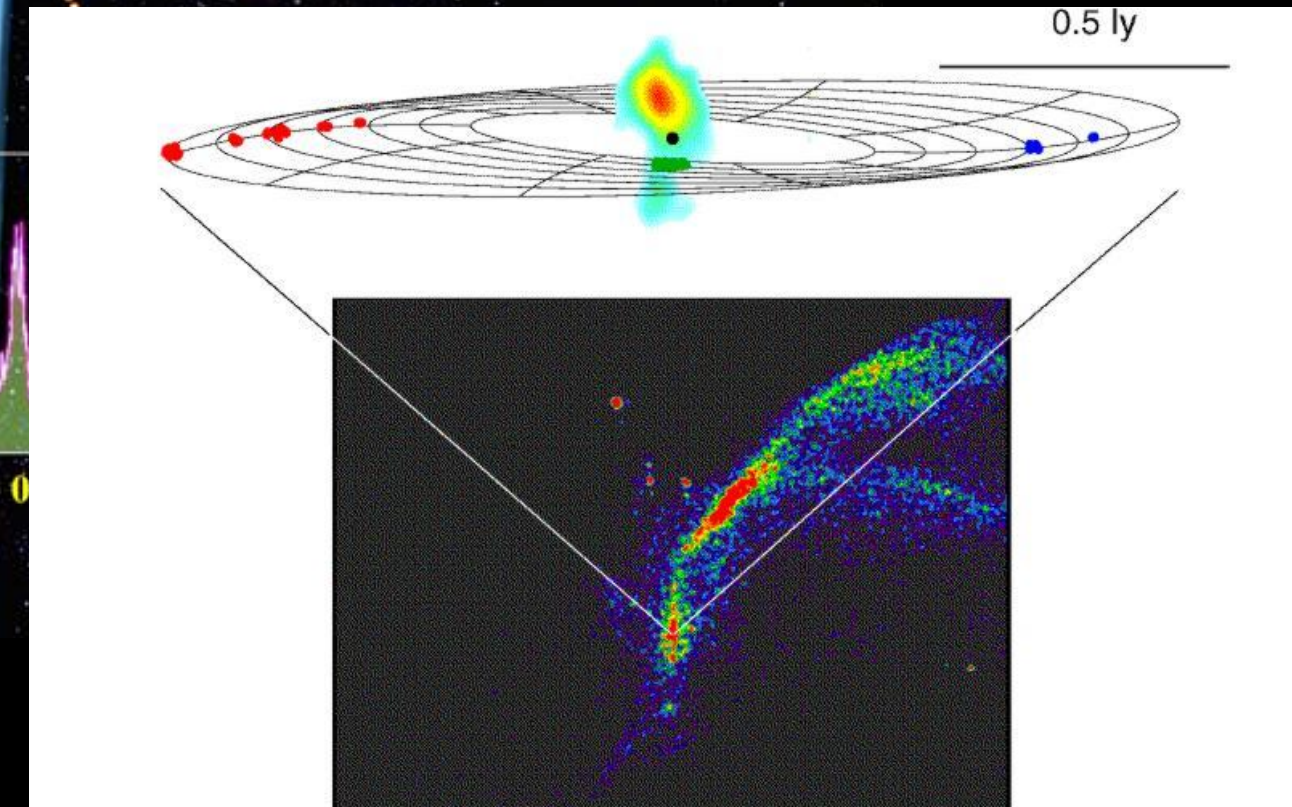


NGC 4268

Измерение скоростей
в диске по мазерам



1000

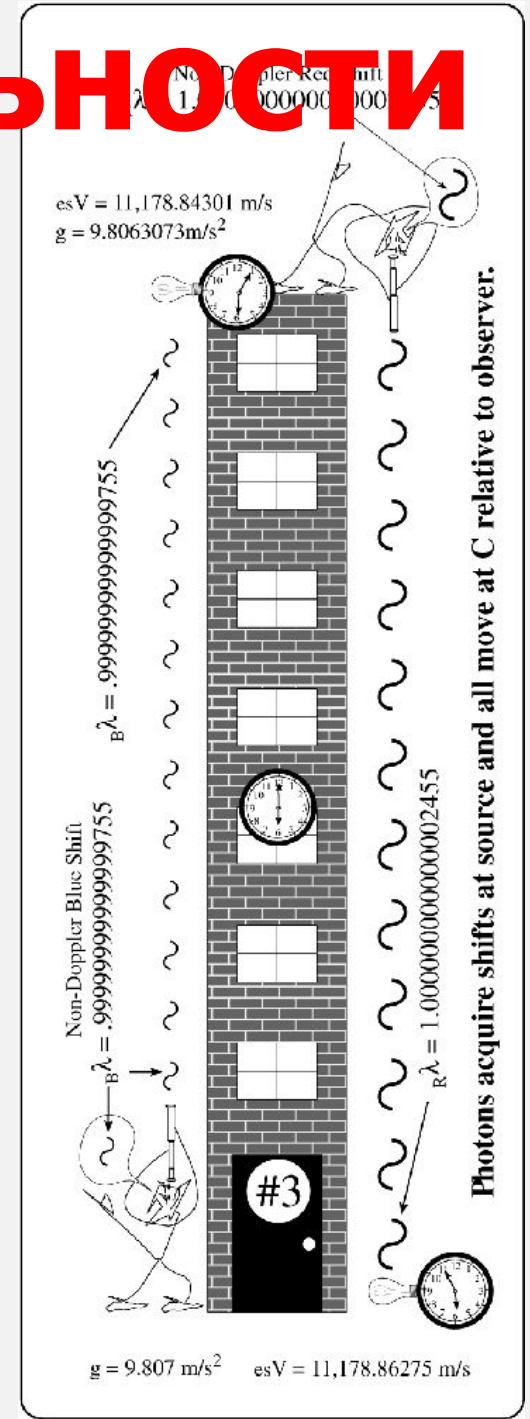


Проверка общей теории относительности



Эксперимент Паунда и Ребки

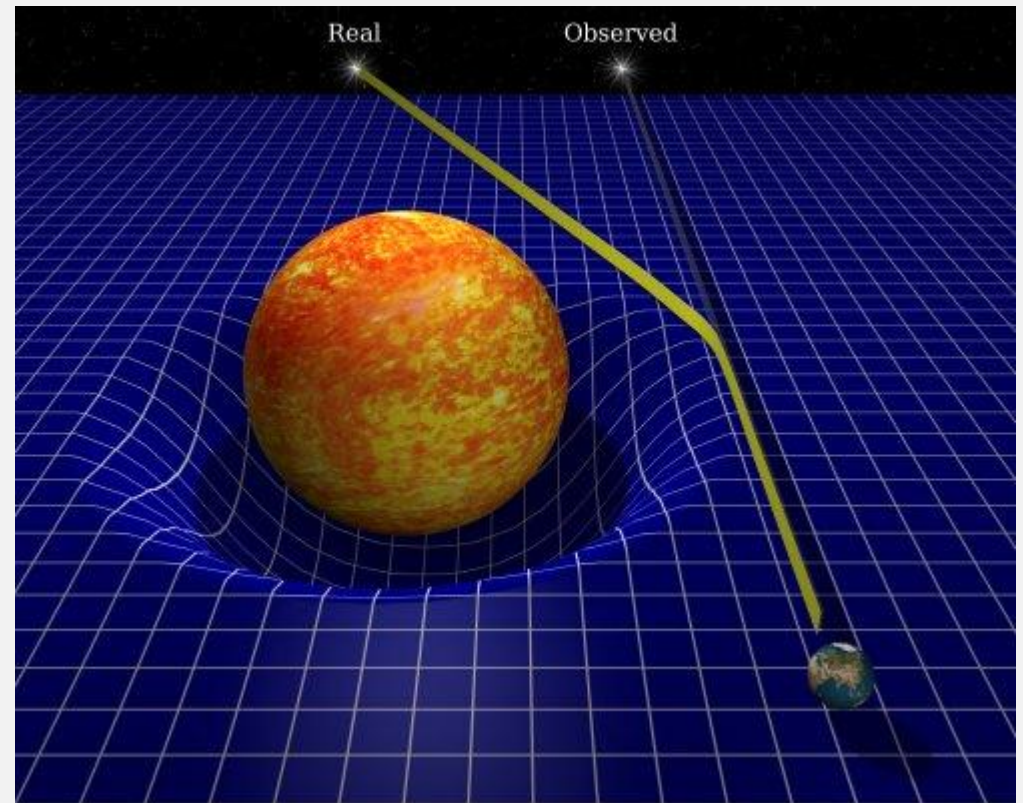
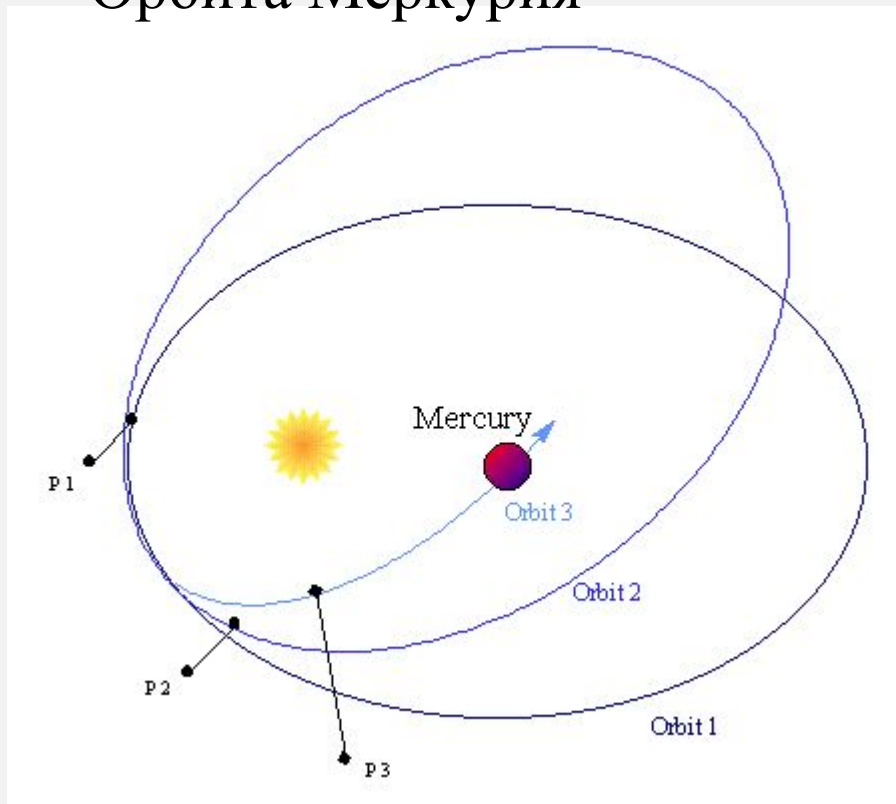
$$\Delta\phi = -\frac{gh}{c^2} = -2,46 \times 10^{-15}$$



Тесты в Солнечной системе

Отклонение света

Орбита Меркурия

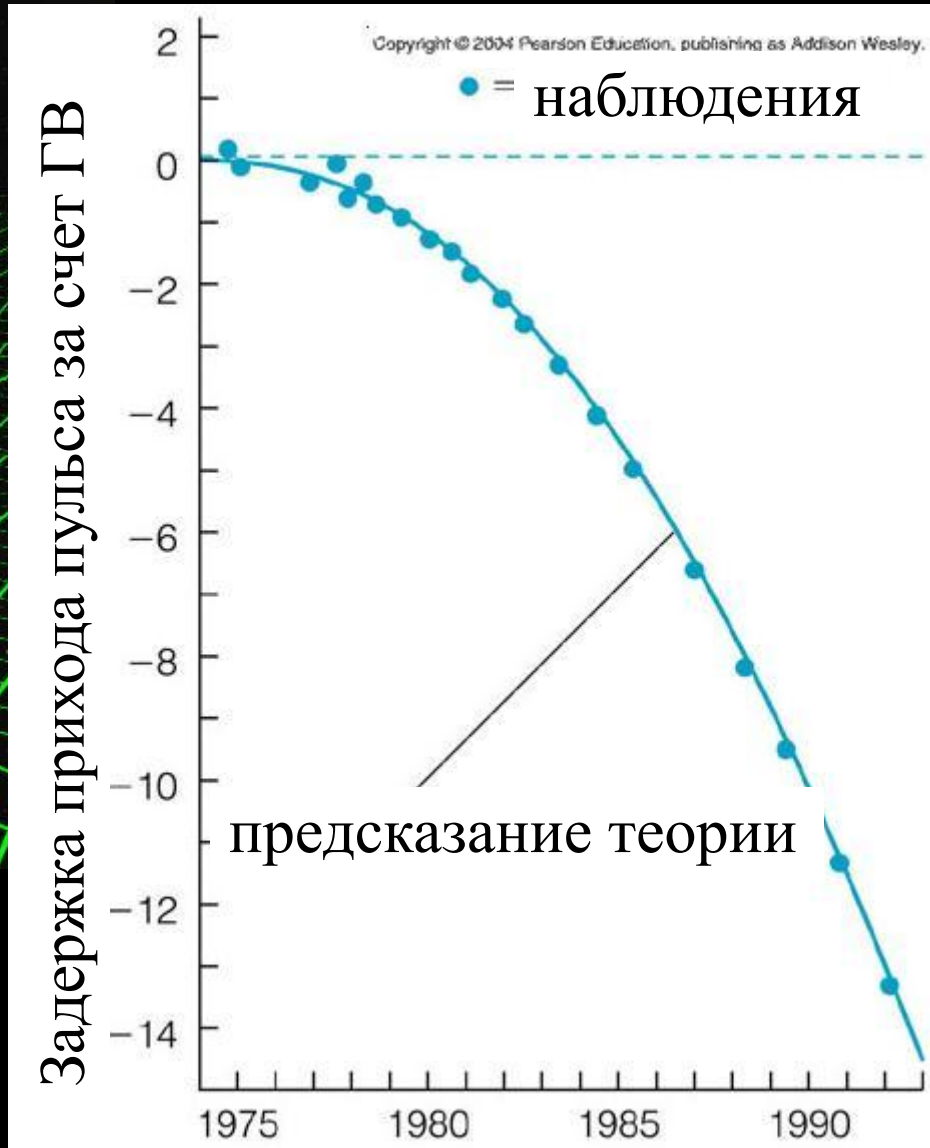
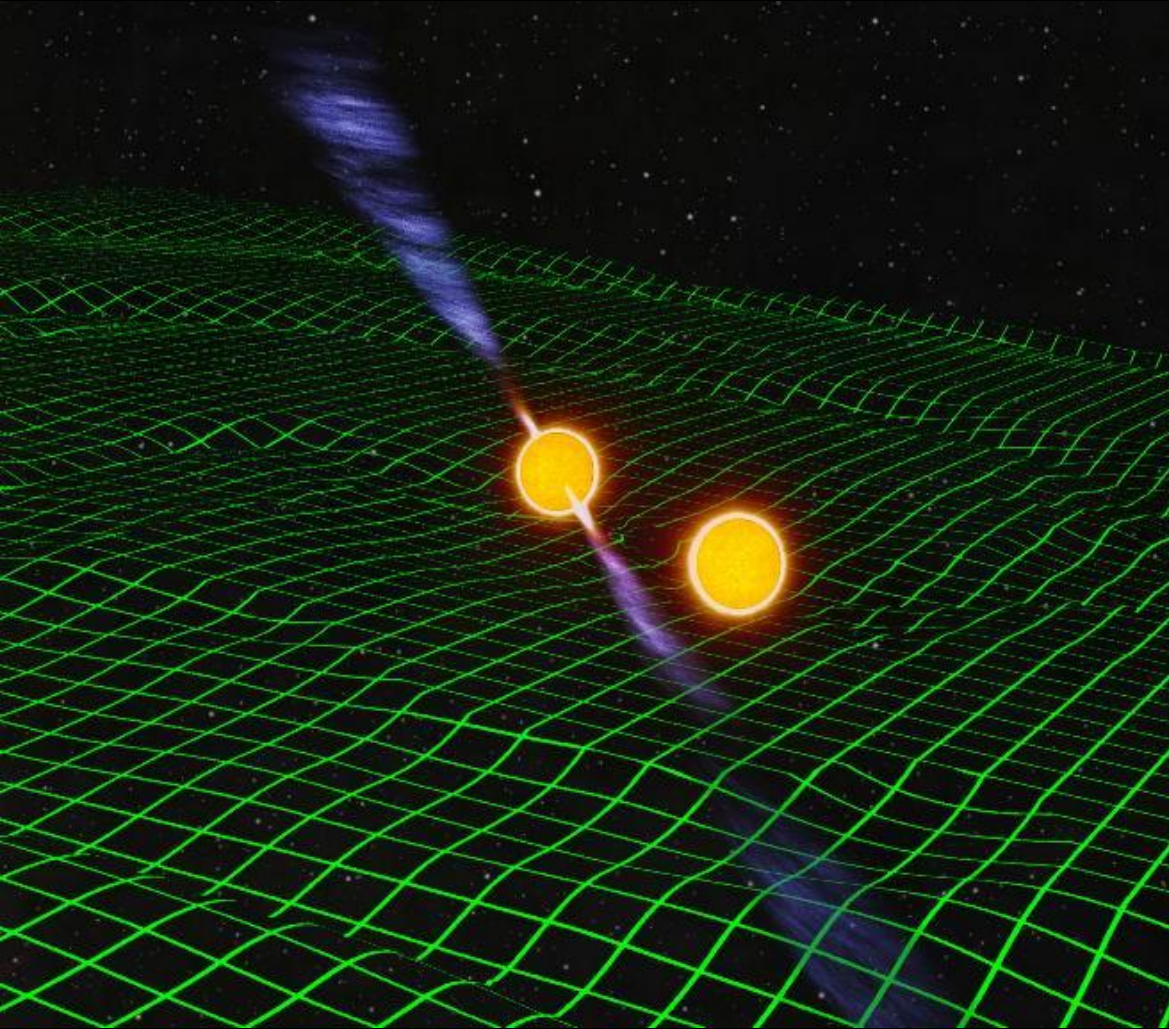


20 May 1947
25 Feb 1952
30 Jun 1973

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

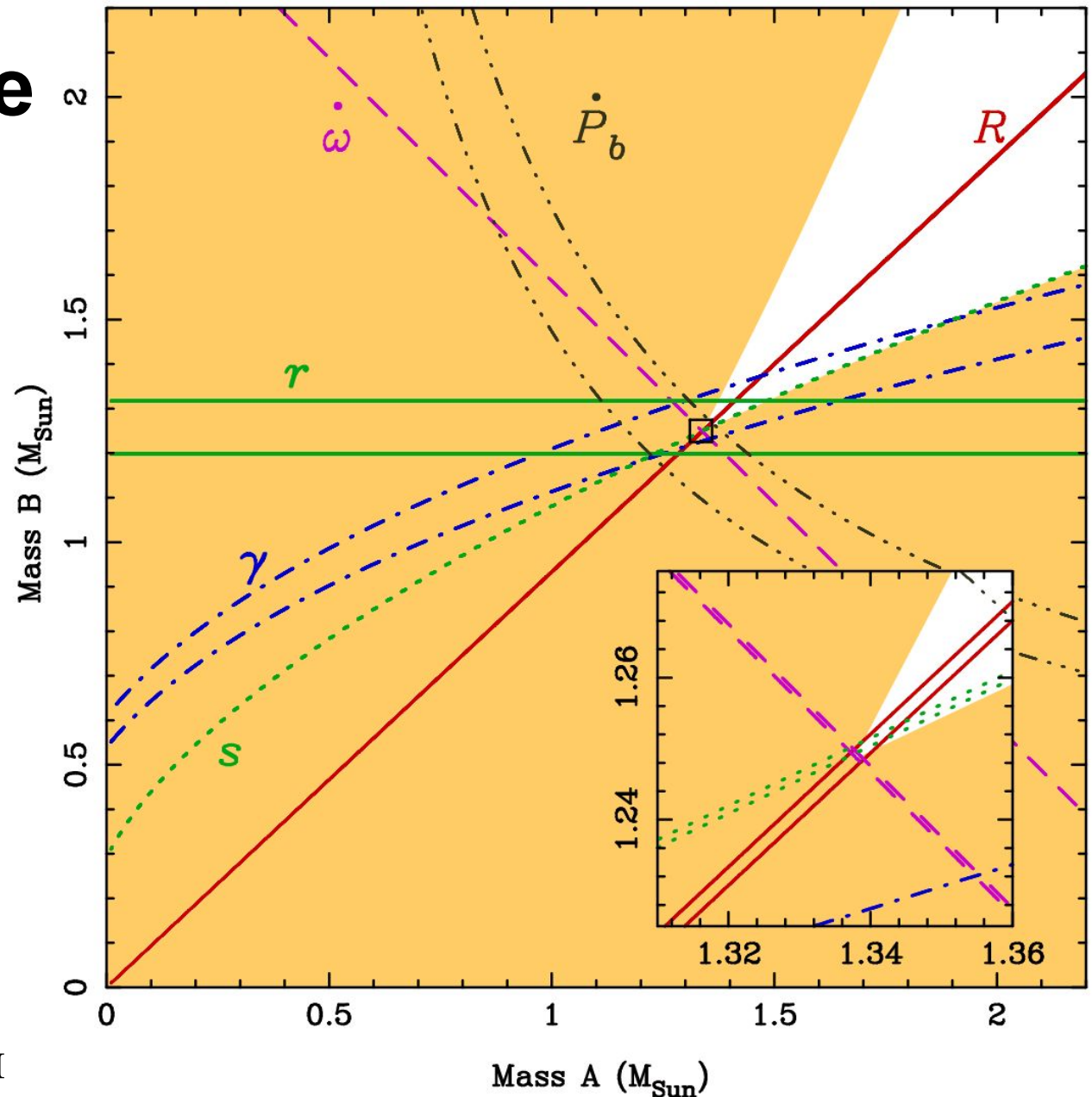
R-отношение масс (орбиты)

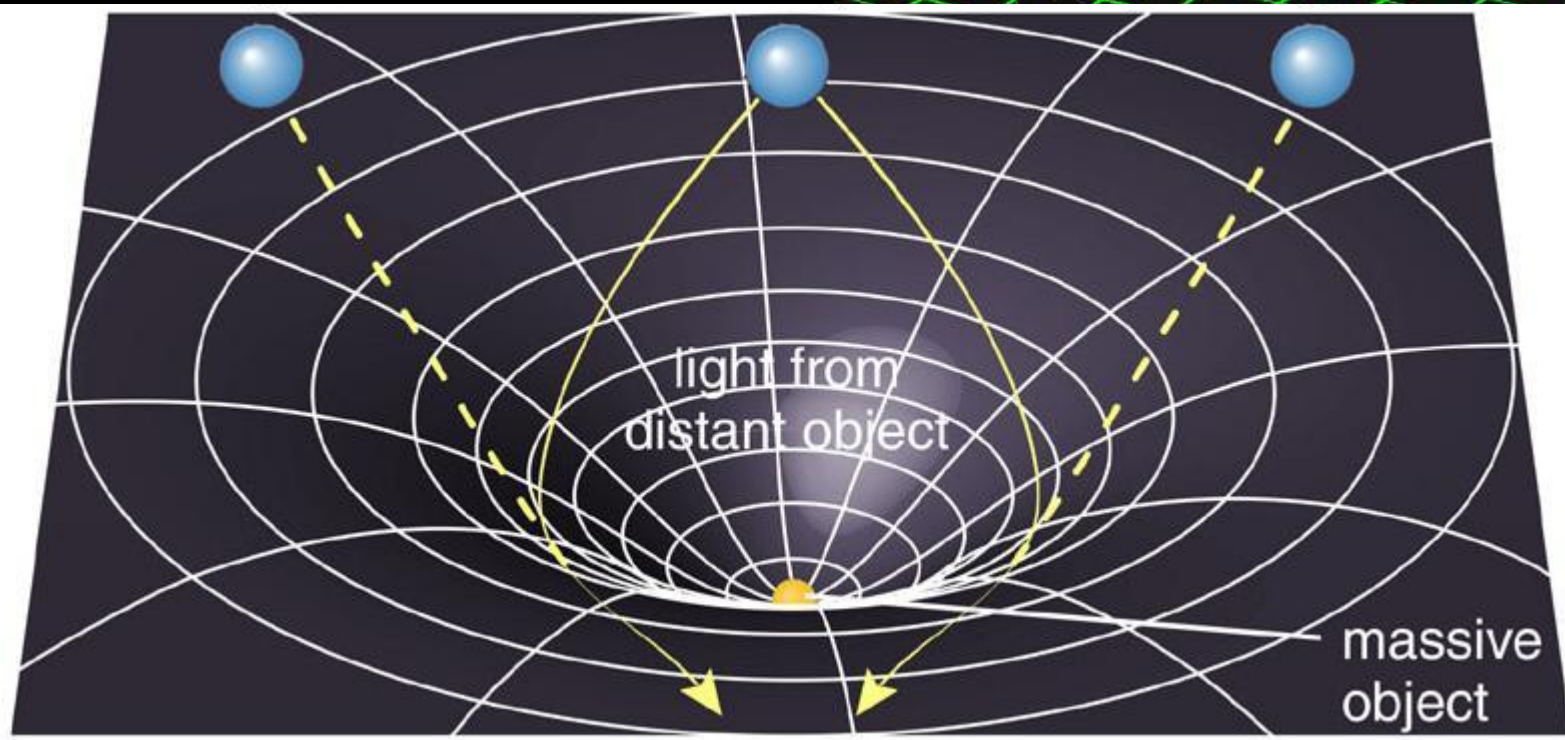
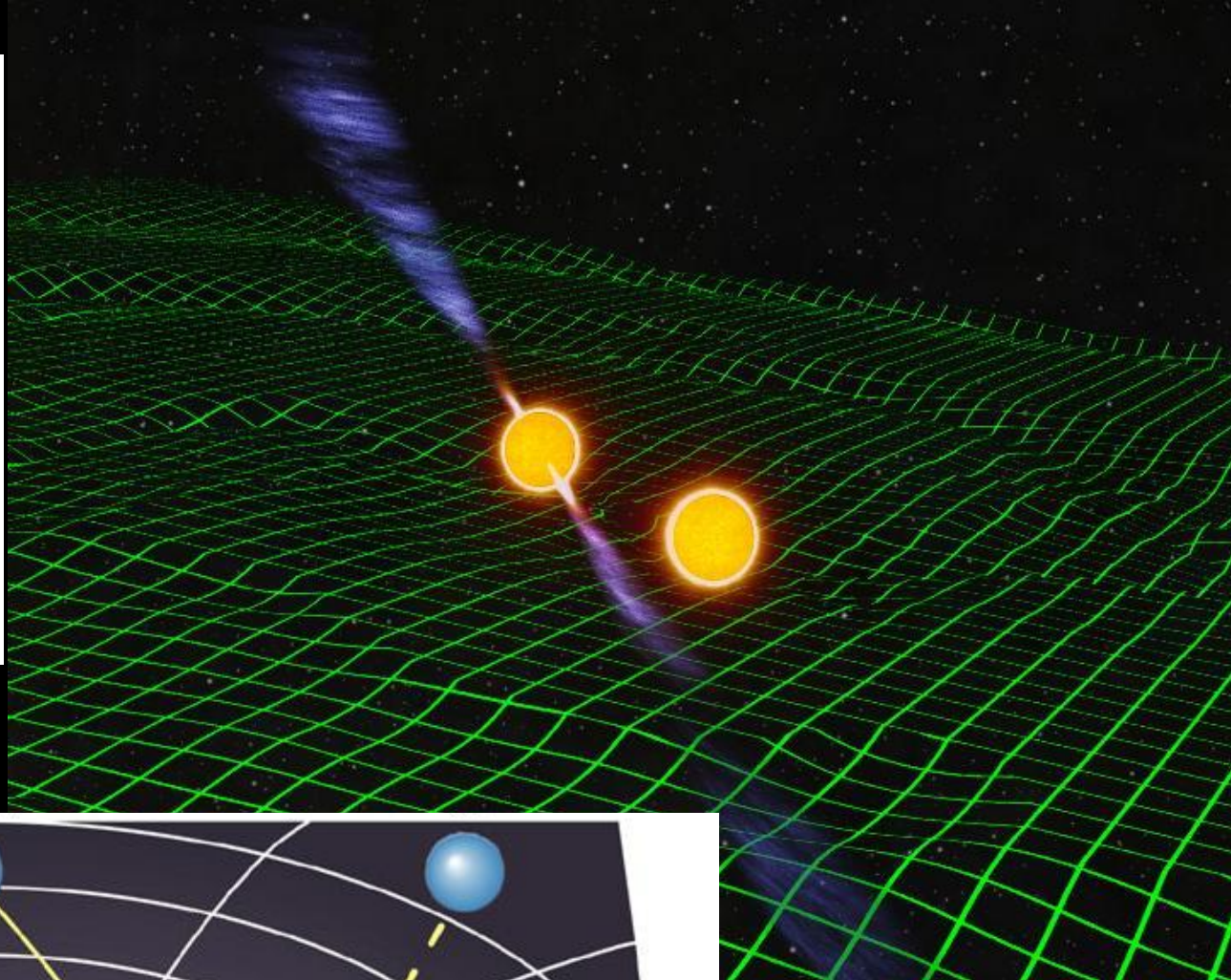
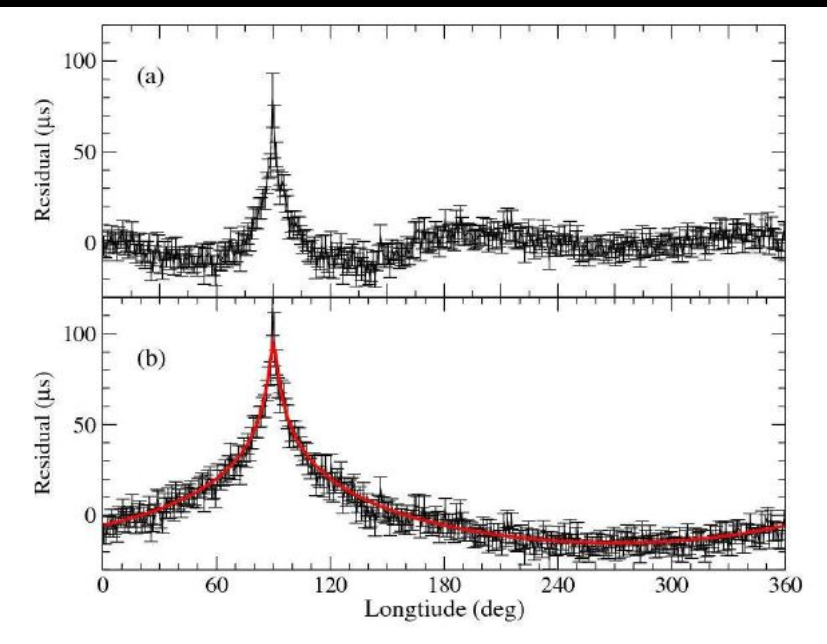
W-прецессия орбиты

\dot{P}_b -торможение за счет ГВ

r, s – задержка сигнала времени вблизи одной НЗ

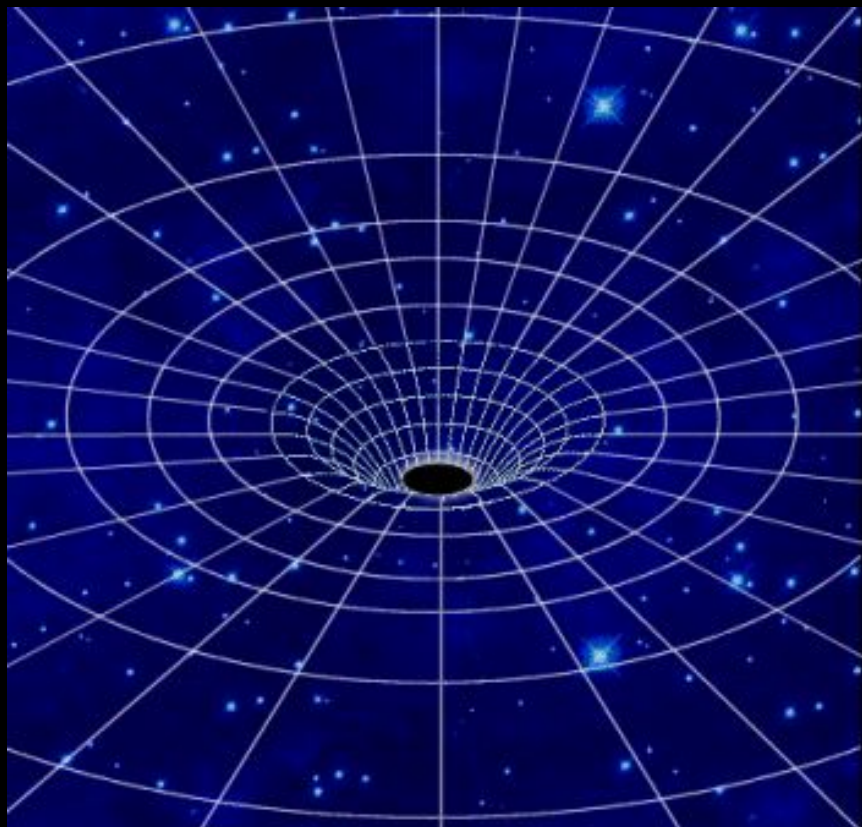
u – грав.замедление времени





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 (DM) (pc)		~ 500
Distance d (π) (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

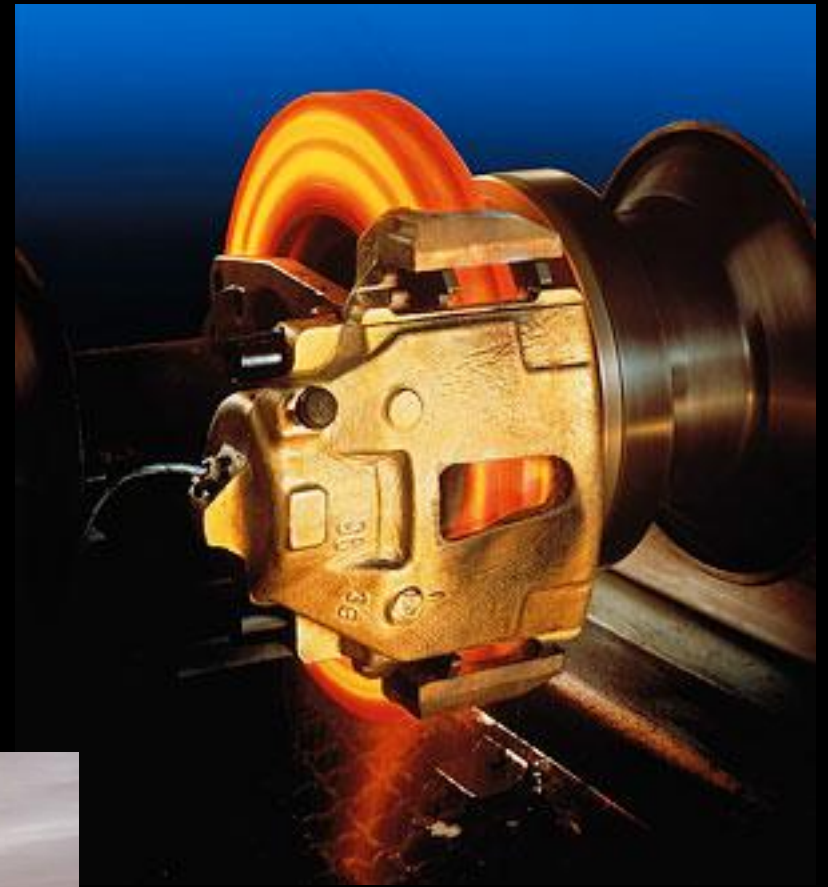
Простейший пример аккреции

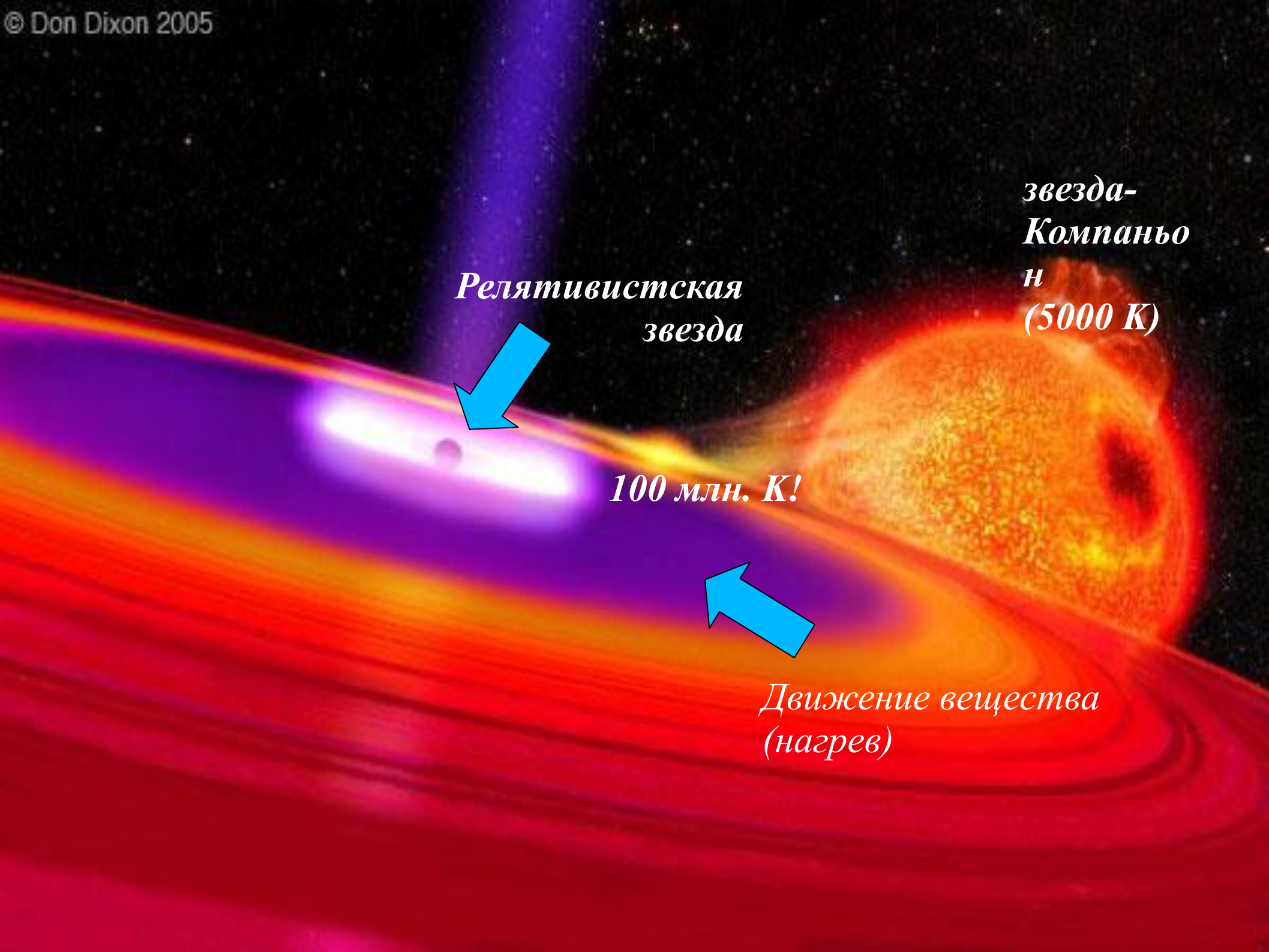


Здесь потенциальная энергия гравитационного поля

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

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





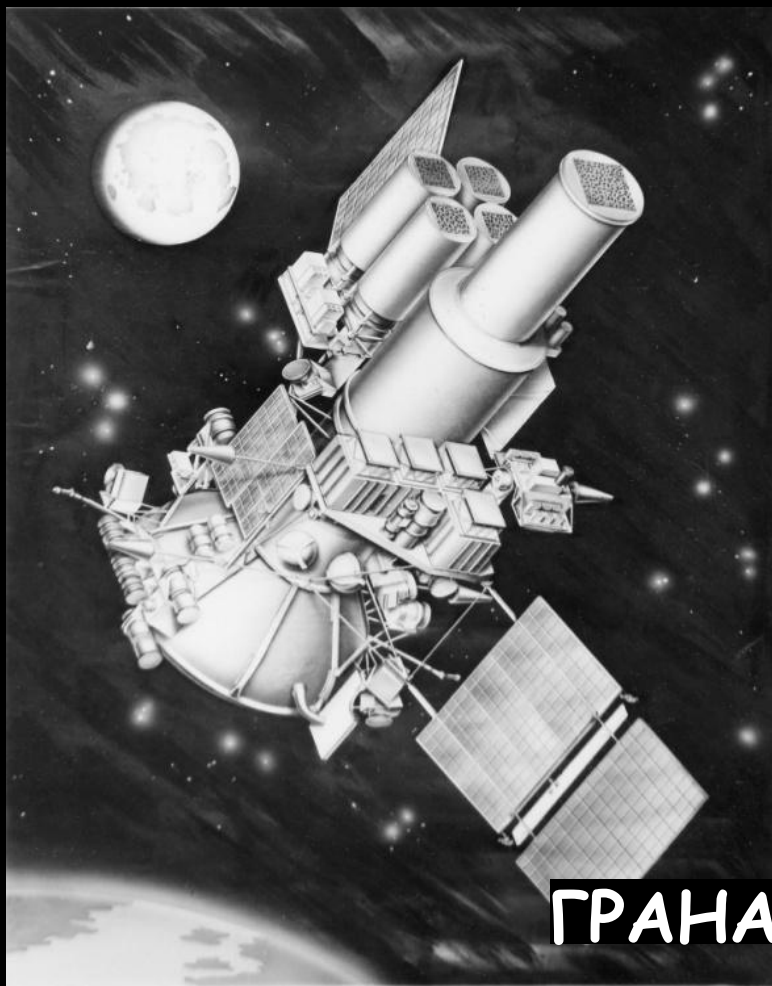
*Релятивистская
звезда*

*звезда-
Компаньон
(5000 K)*

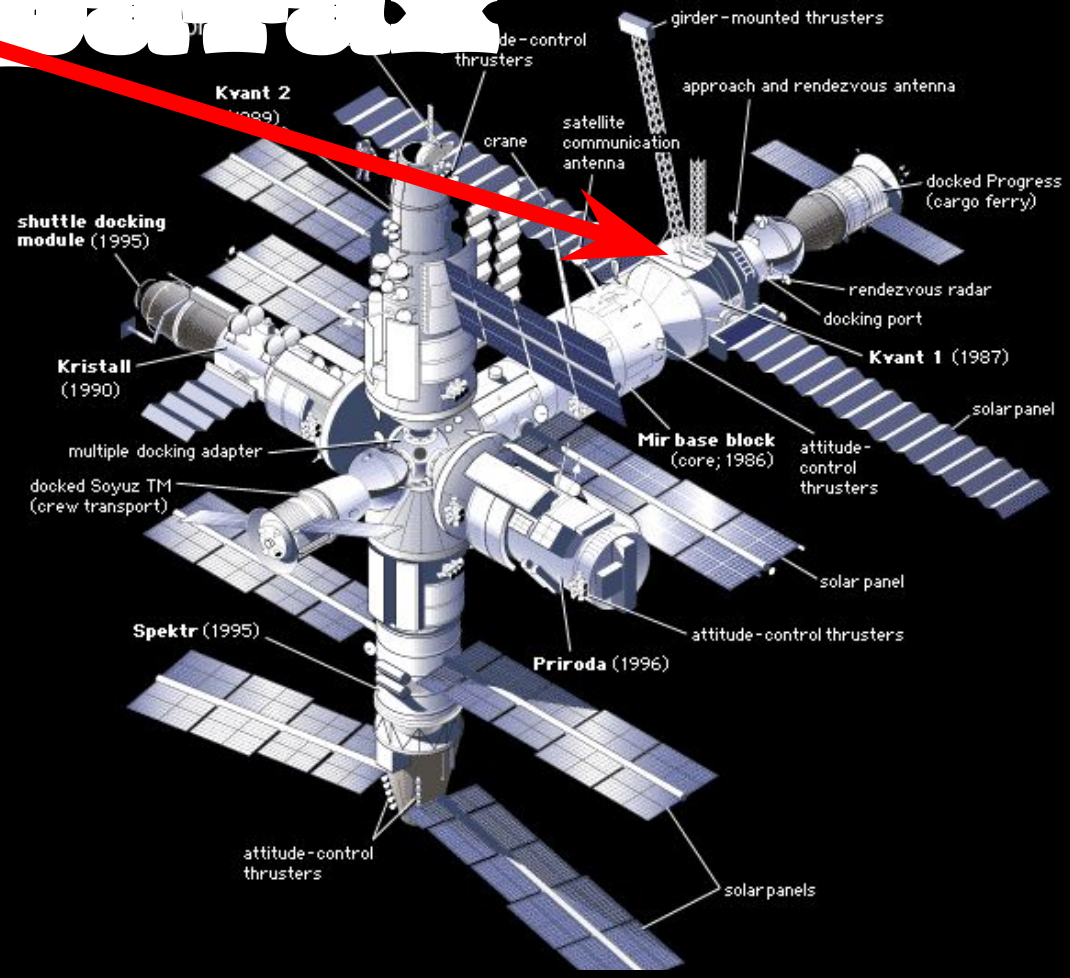
100 млн. K!

*Движение вещества
(нагрев)*

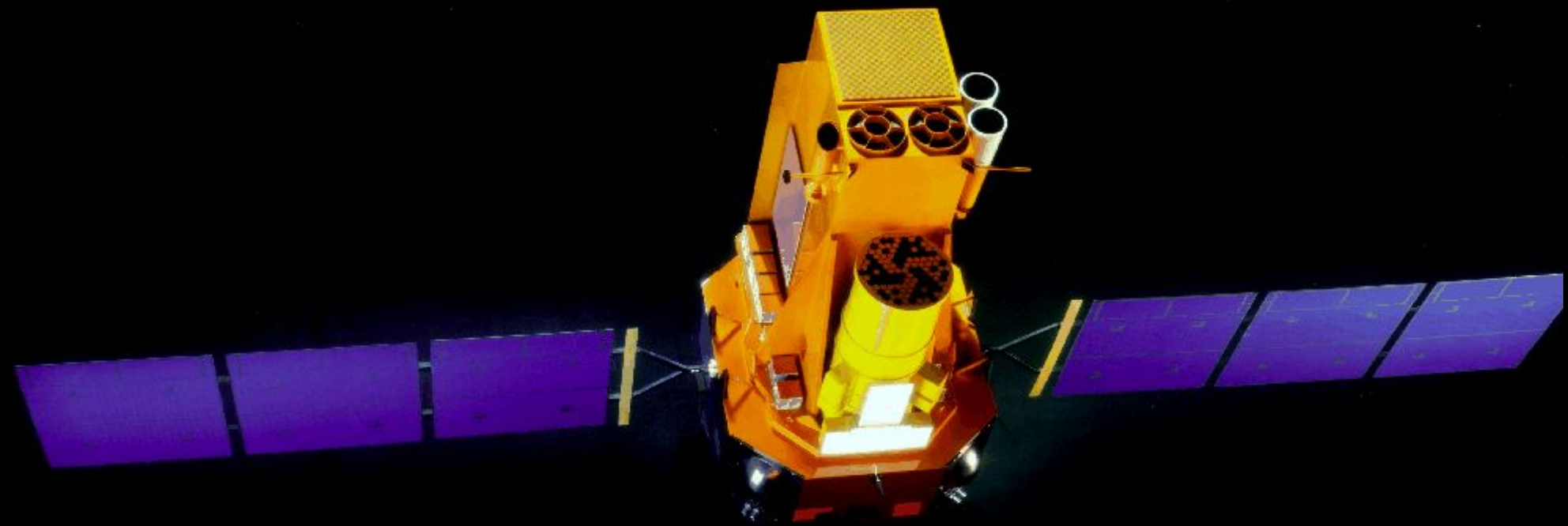
ТАКЖЕ ОННОТОНУ ОТКРЫВАЮЩИХ И НА СОБОТОНАХ/РОСОНИКА НАК АУДИОПЕТАК



ГРАНАТ (1989-1999)



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

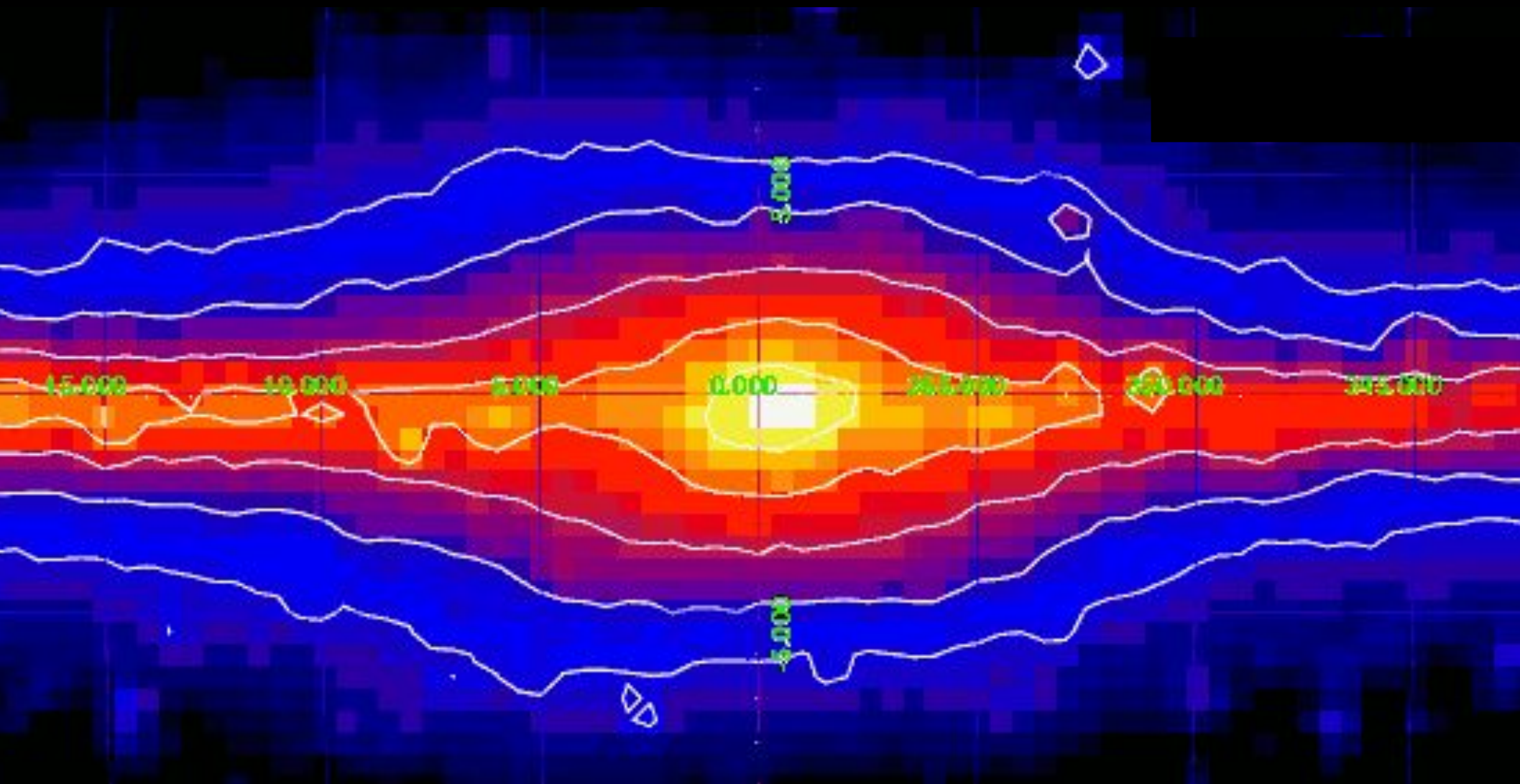


**ИНТЕГРАЛ (ЕКА/РКА)
(2002-)**

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



Распределение звезд

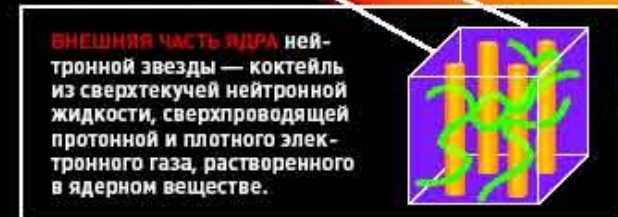
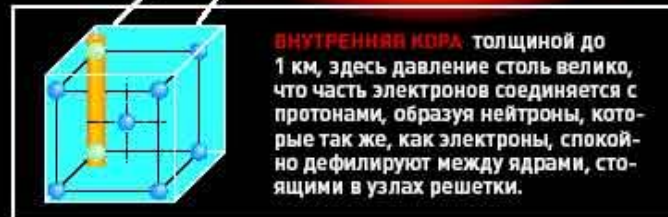
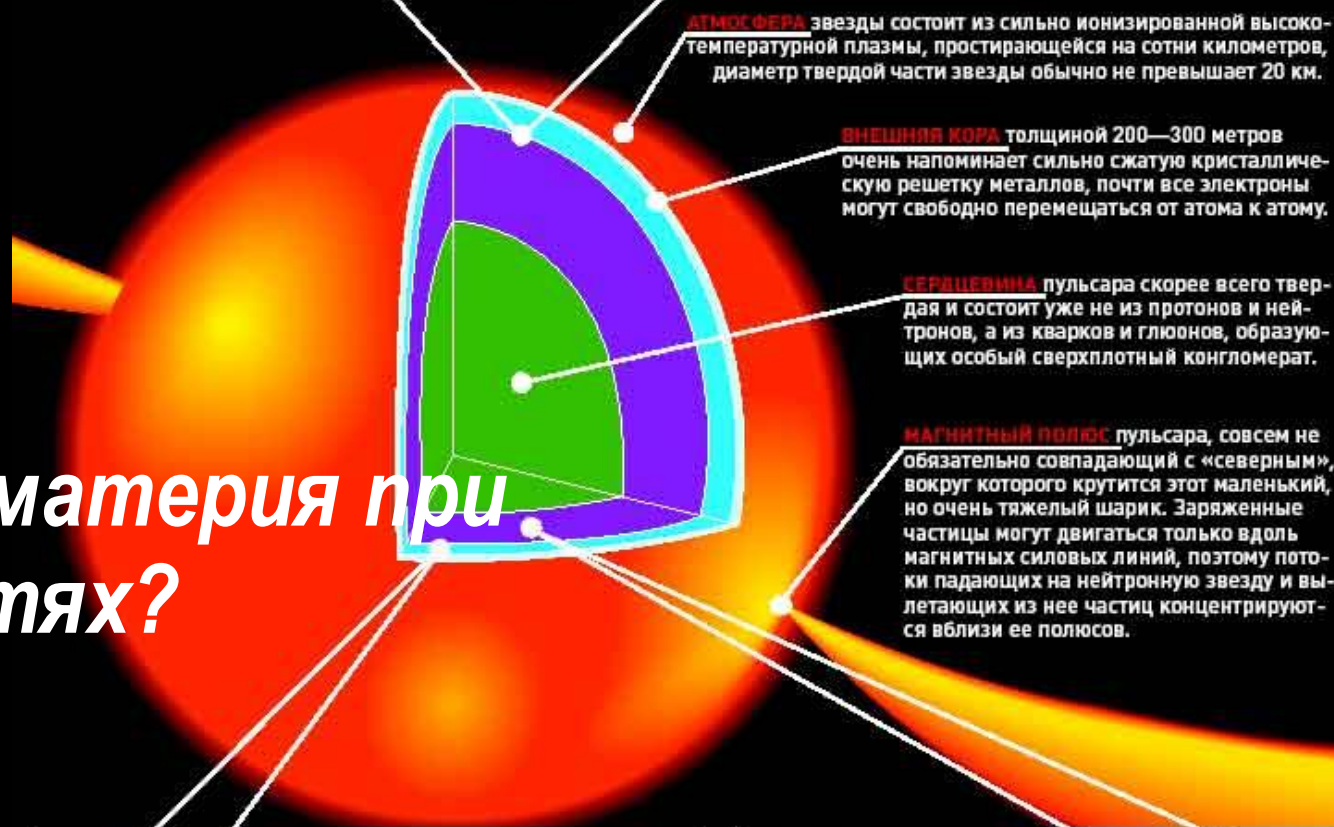
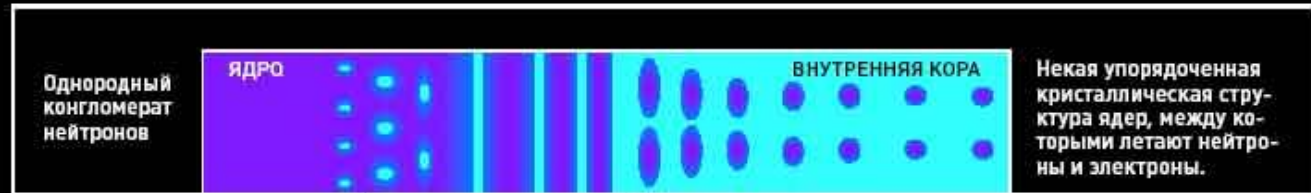


Сверхвысокие плотности

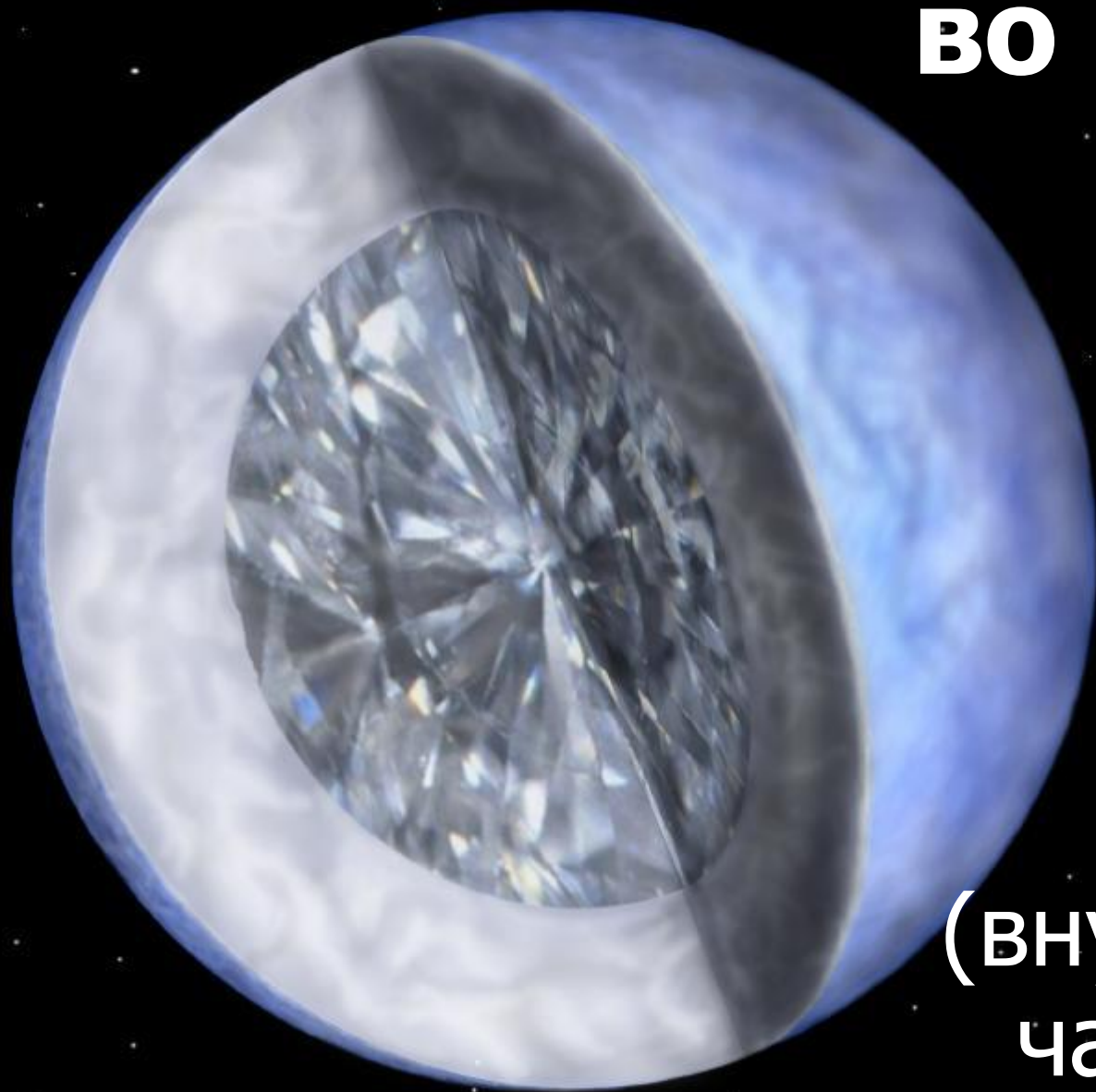
Белый карлик: плотность
~тонны/см³

Нейтронная звезда:
плотность **СОТНИ**
МИЛЛИОНОВ ТОНН/СМ³!

Как ведет себя материя при
таких плотностях?



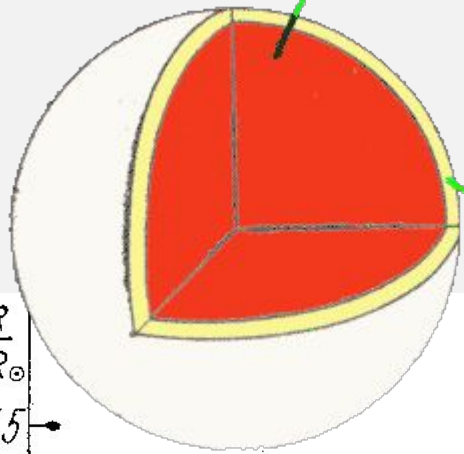
Белые карлики – самые большие алмазы во Вселенной



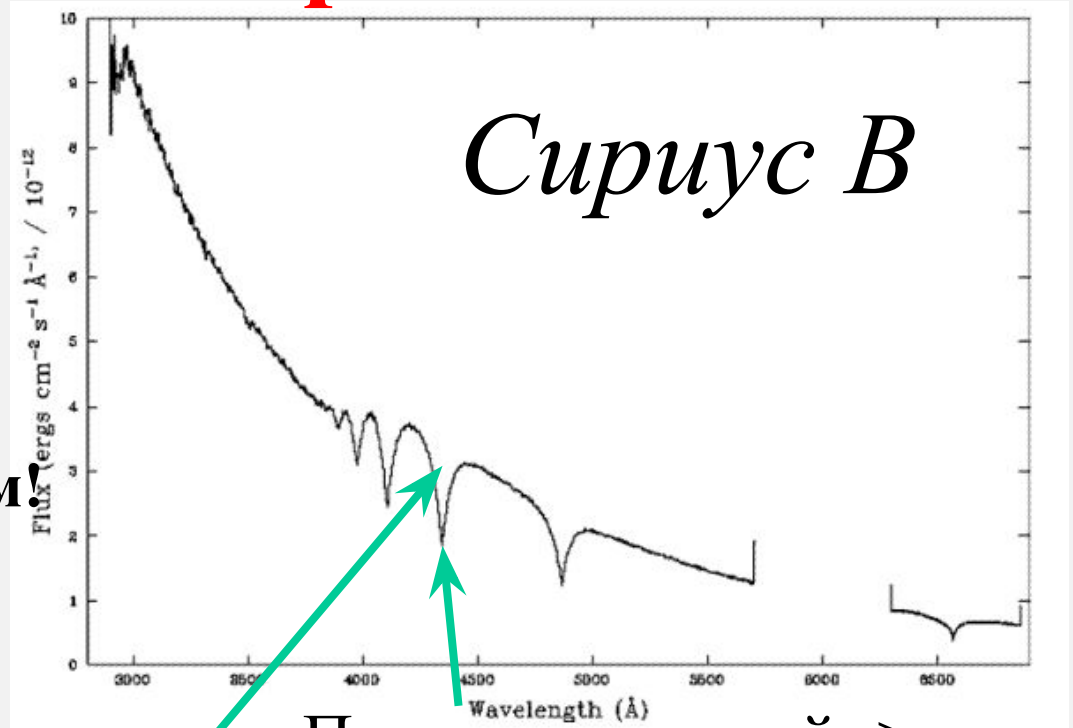
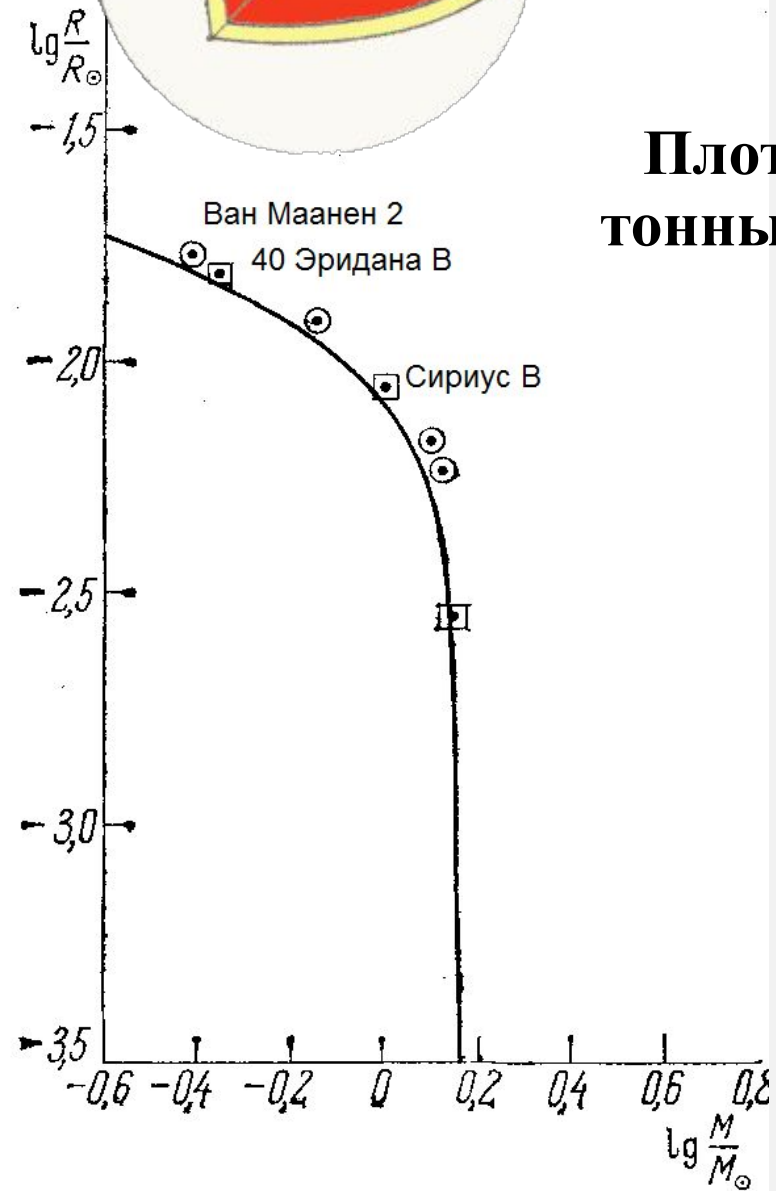
(внутренняя часть
часто – углерод)

Белые карлики

Вырожденный
электронный газ



Плотность
тонны/куб.см



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

Форма линий ->
сила тяжести
(давление)
на поверхности
($\log g \sim 8.556$)

Нейтронные звезды (открыты 1967)

Только нейтронные
звезды могут вращаться
с такой скоростью!

$v \sim 0.1c$ на поверхности!

Сила тяжести

~ 100 миллиардов $g!$

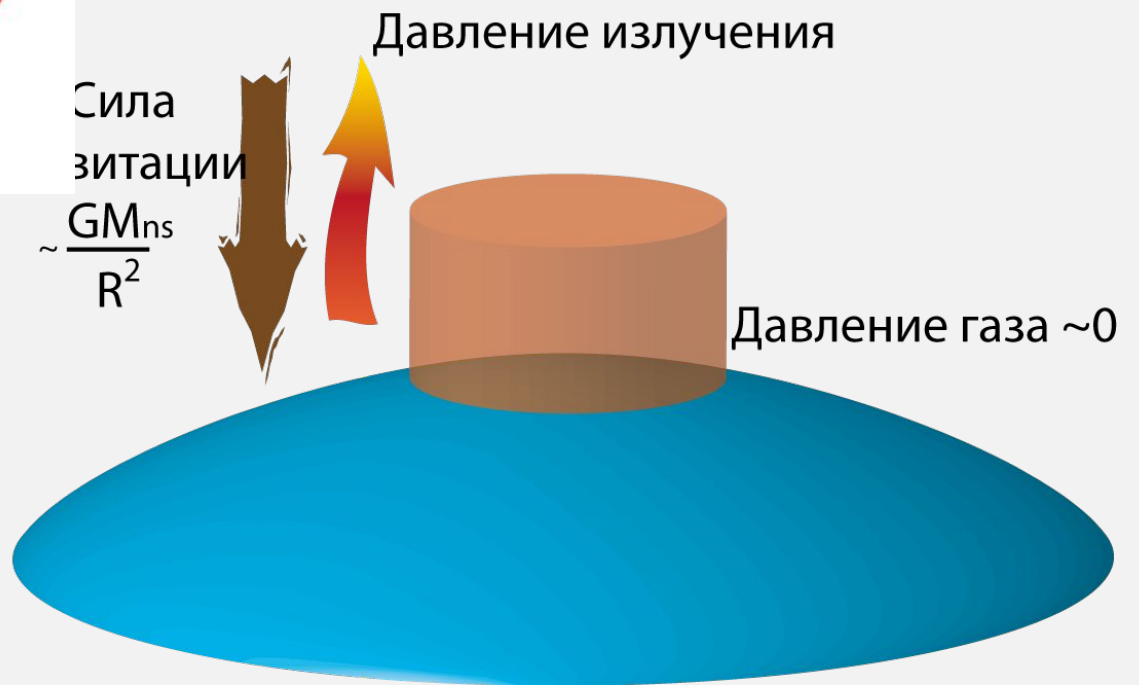
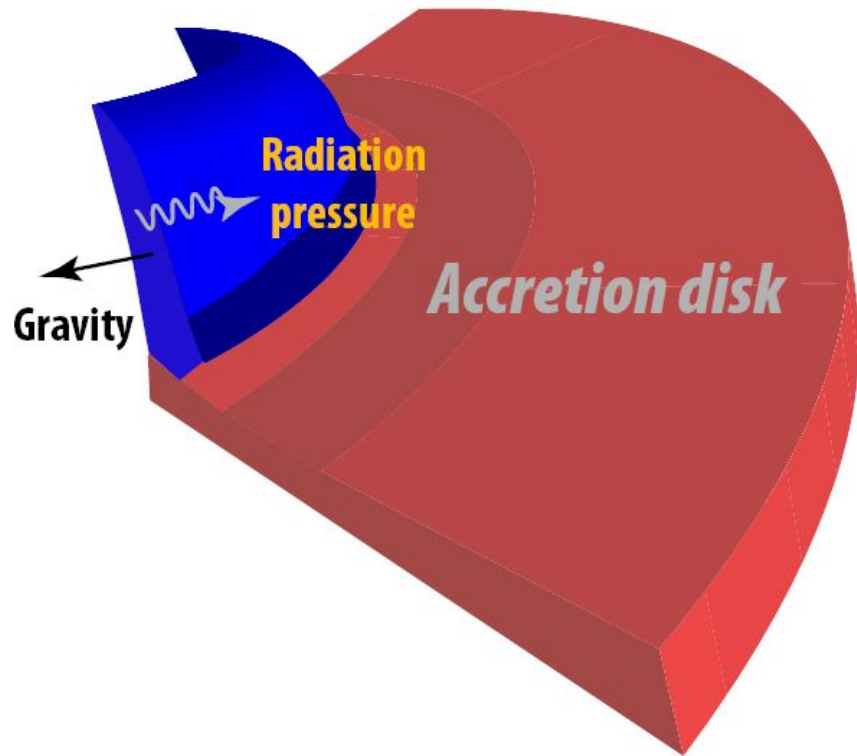
(иначе –разрушение)



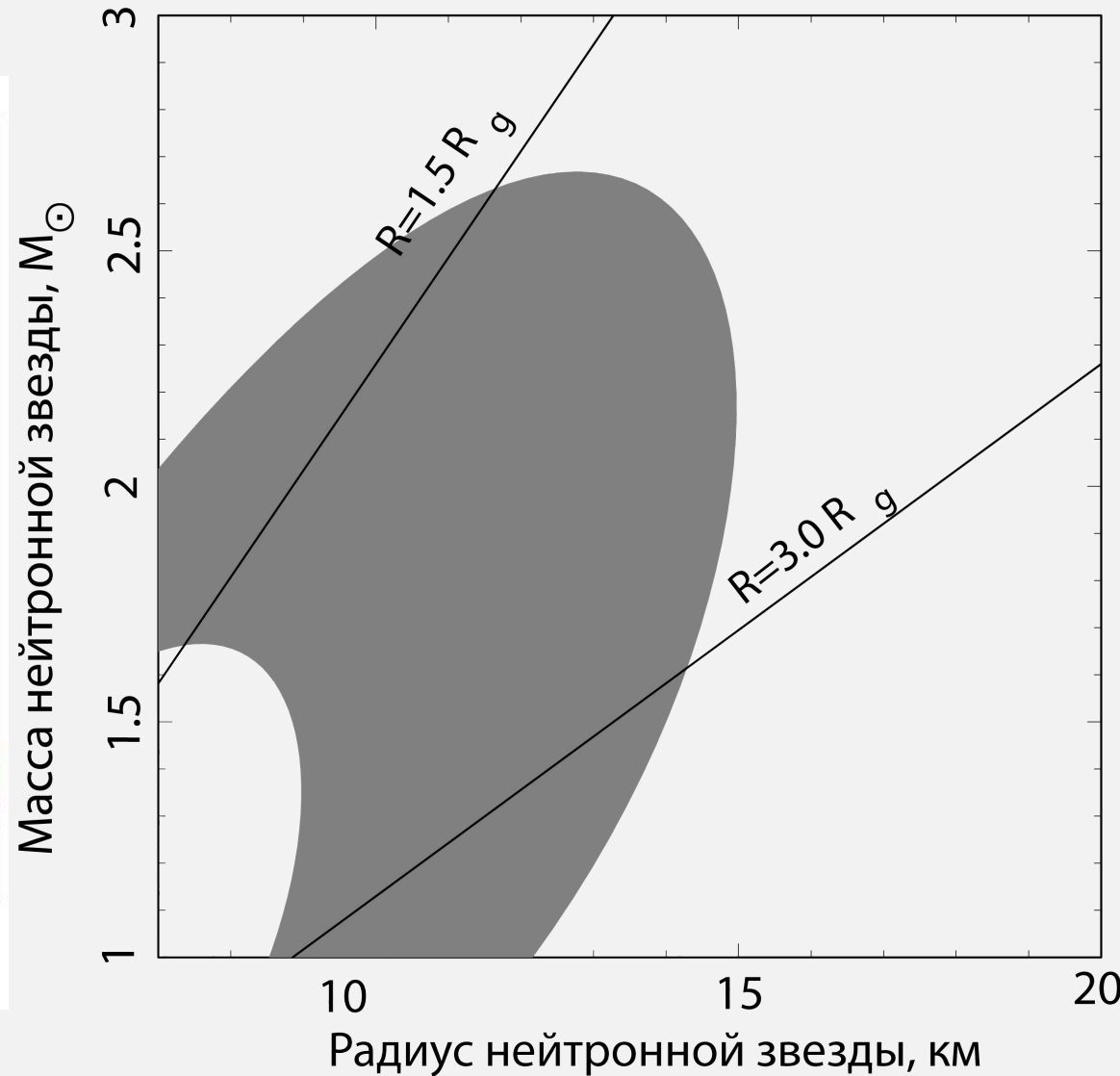
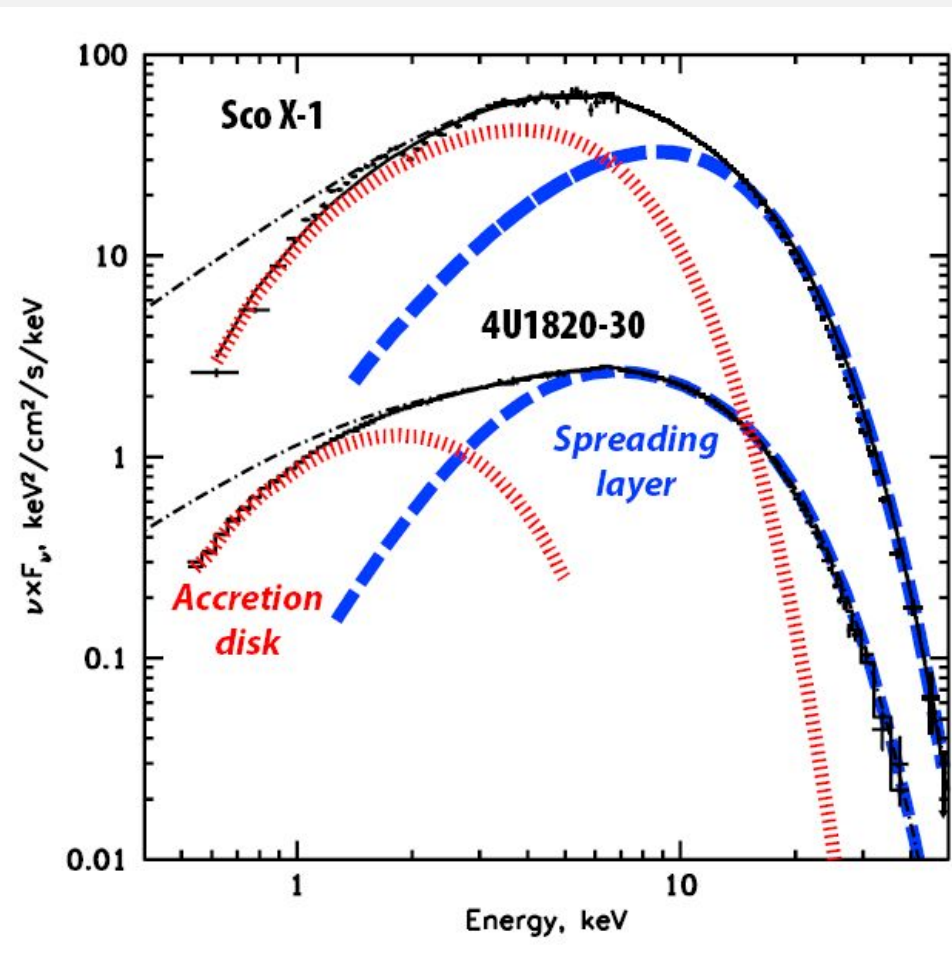
Пulsирующее
излучение -
"маяк"

Измерение радиусов НЗ


Spreading layer



Измерение радиусов НЗ -состояние материи при сверхядерных плотностях



Термоядерное горение

A photograph of a thermonuclear explosion, showing a large, bright, white and yellow mushroom cloud rising from the ground. The cloud is set against a dark blue sky with some lighter clouds. The base of the cloud is illuminated with a bright orange and yellow glow, suggesting intense heat and fire. The overall scene is dramatic and powerful.

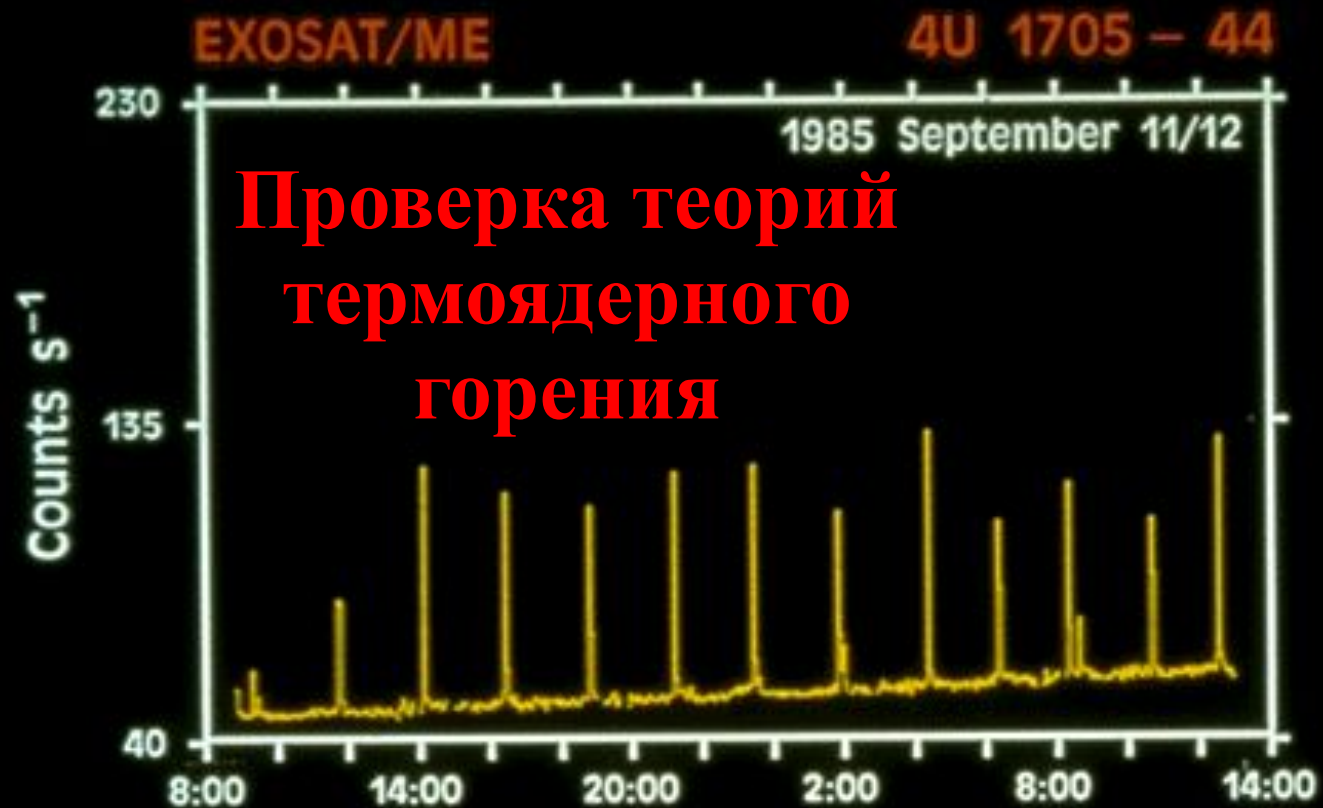
Первое испытание термоядерного
устройства - 1951 г

Термоядерный взрыв на поверхности НЗ
(рентгеновские барстеры)



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

За взрыв сгорает
около массы Луны

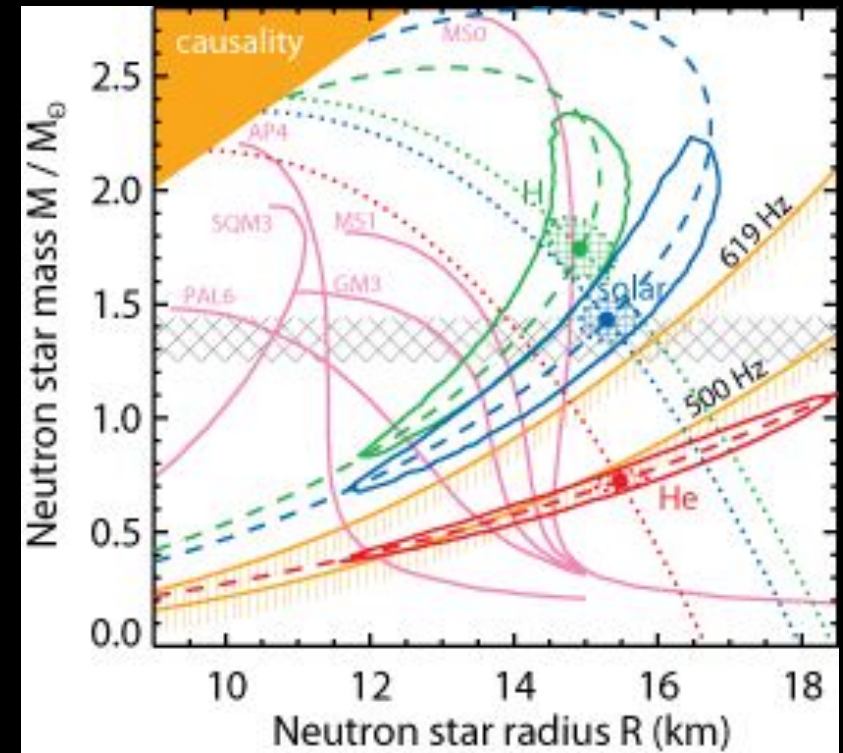


В Галактике известны
системы в которых такие
взрывы происходят
каждые 3-4 часа!

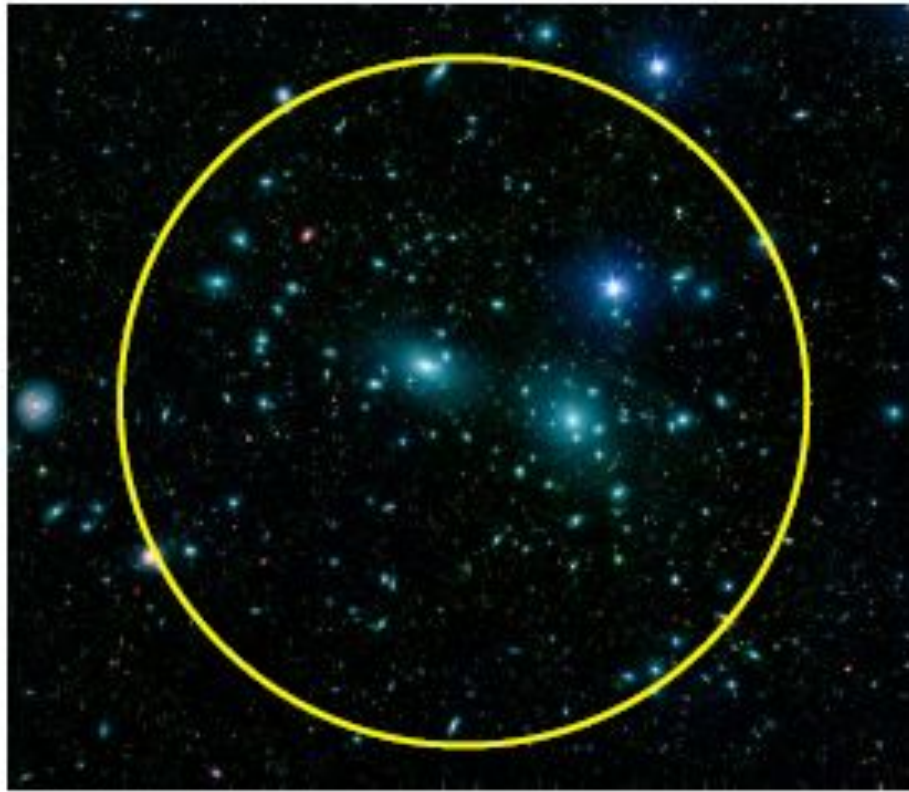
Состояние вещества при сверхядерных плотностях



Кварковые звезды,
основное состояние
материи?



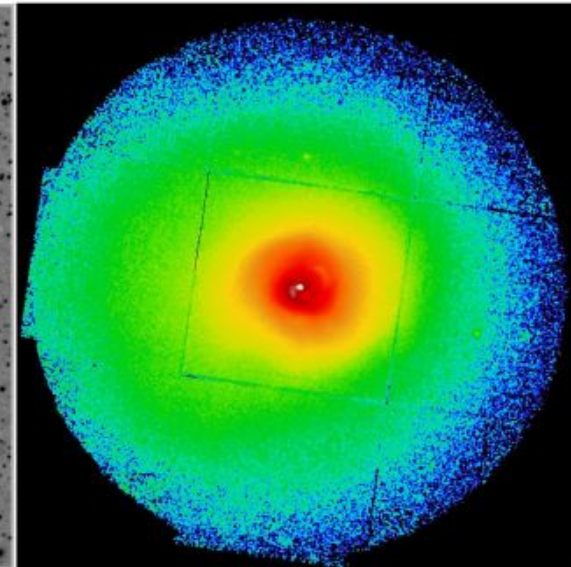
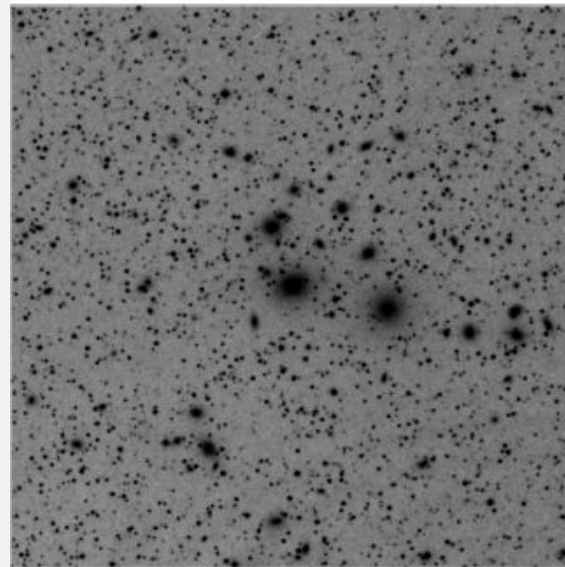
Темная материя



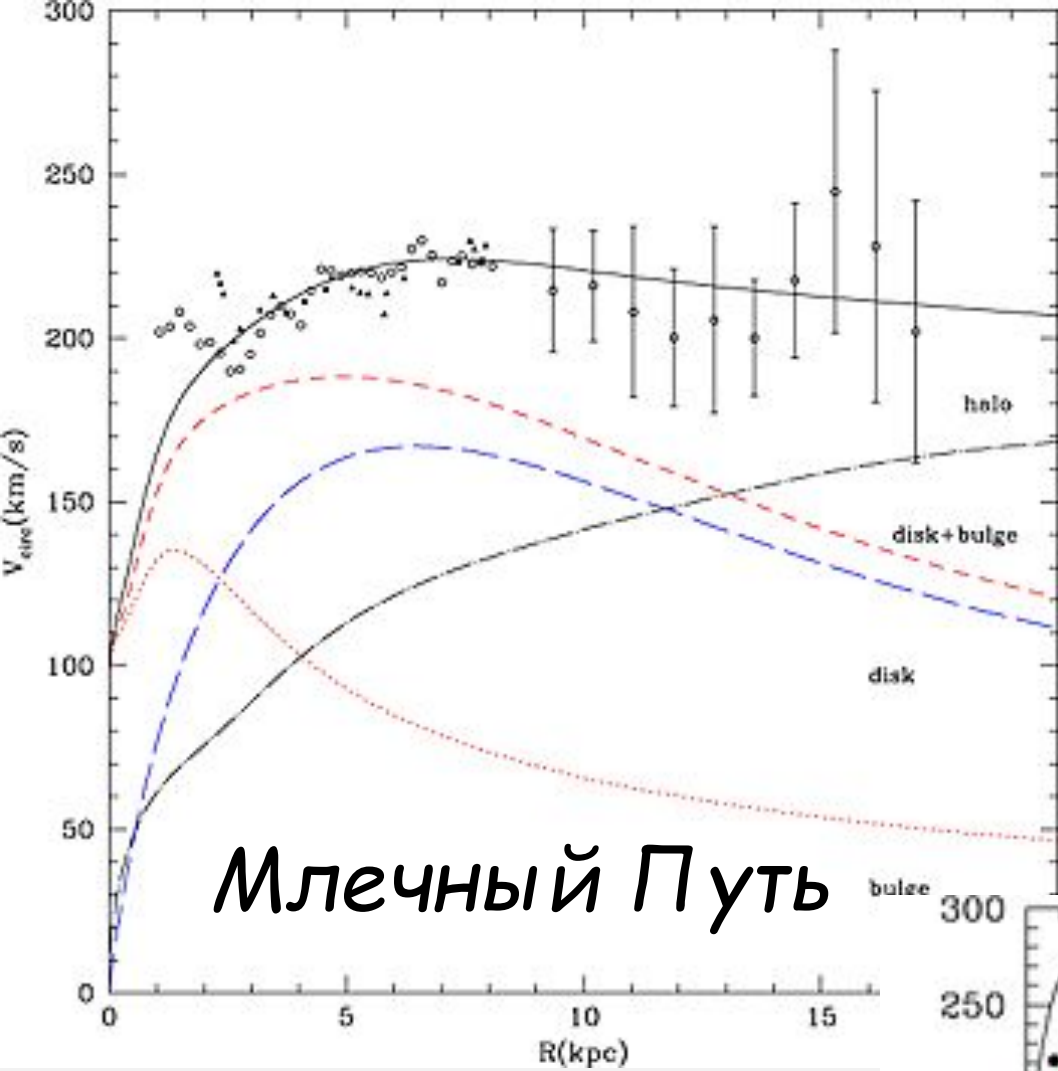
Скорости движения галактик в связанных системах дают оценку массы скопления гораздо больше видимой массы

Оптика

Рентген

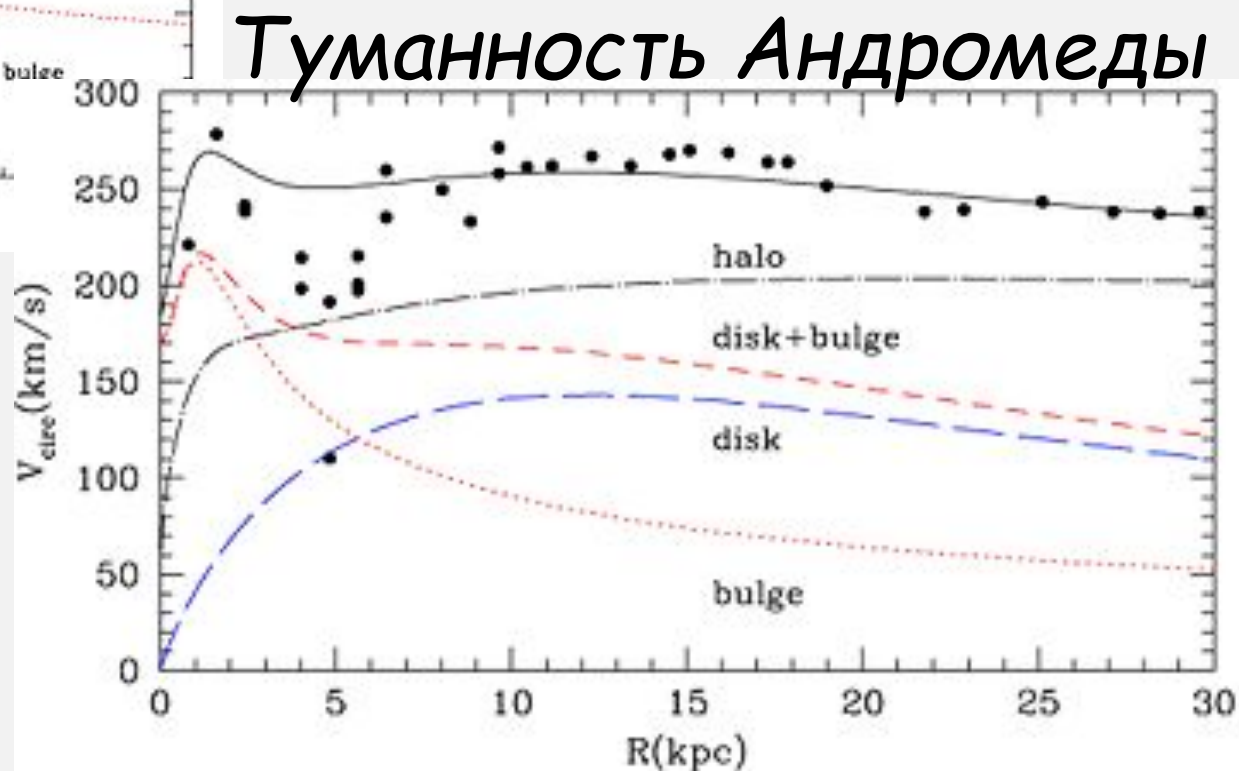


Вид скоплений в разных диапазонах энергий



Млечный Путь

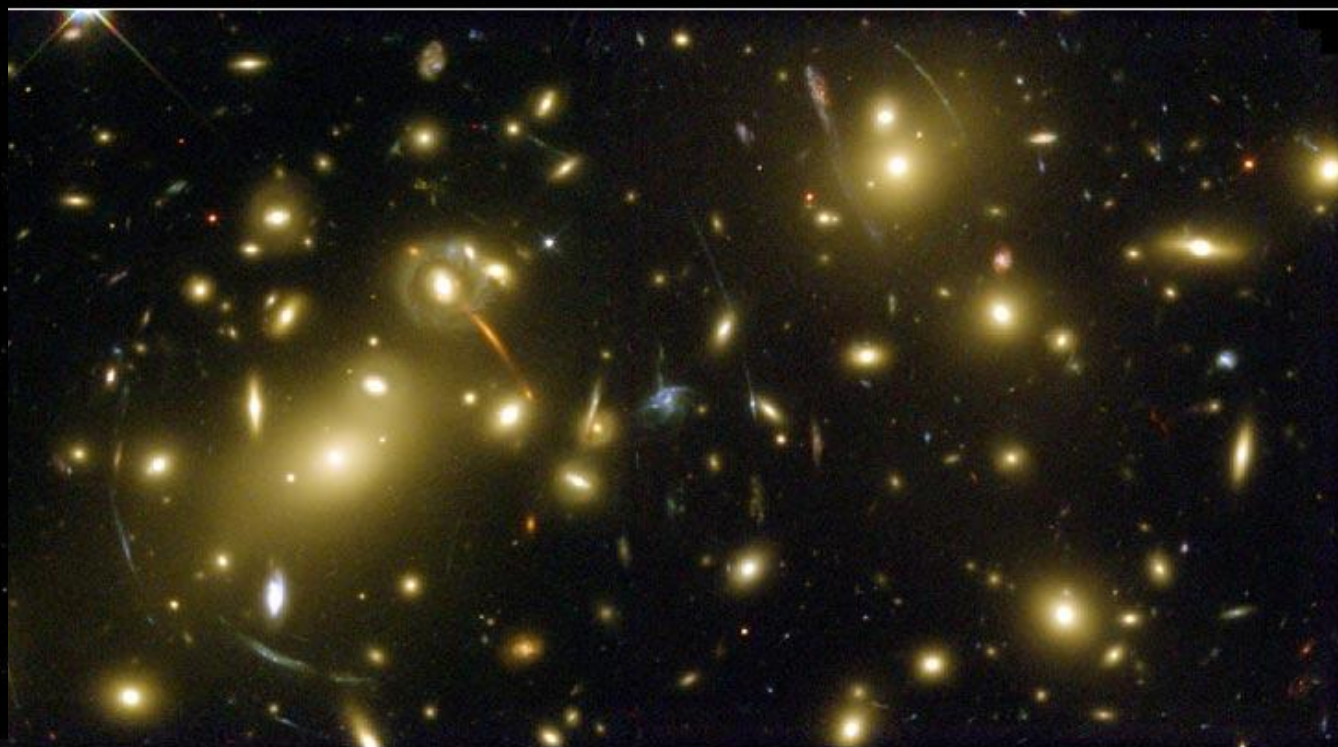
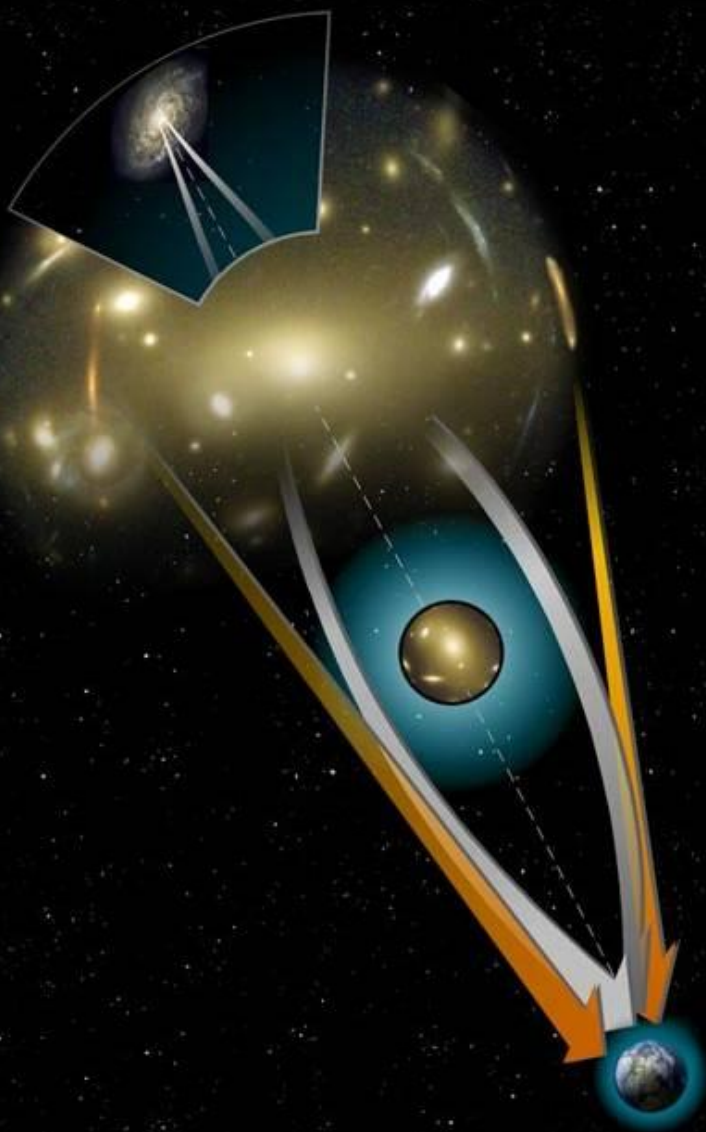
Свидетельства о темной материи из кривых вращения галактик



Туманность Андромеды

Линза – скопление галактик A2218

Основная масса – темная материя

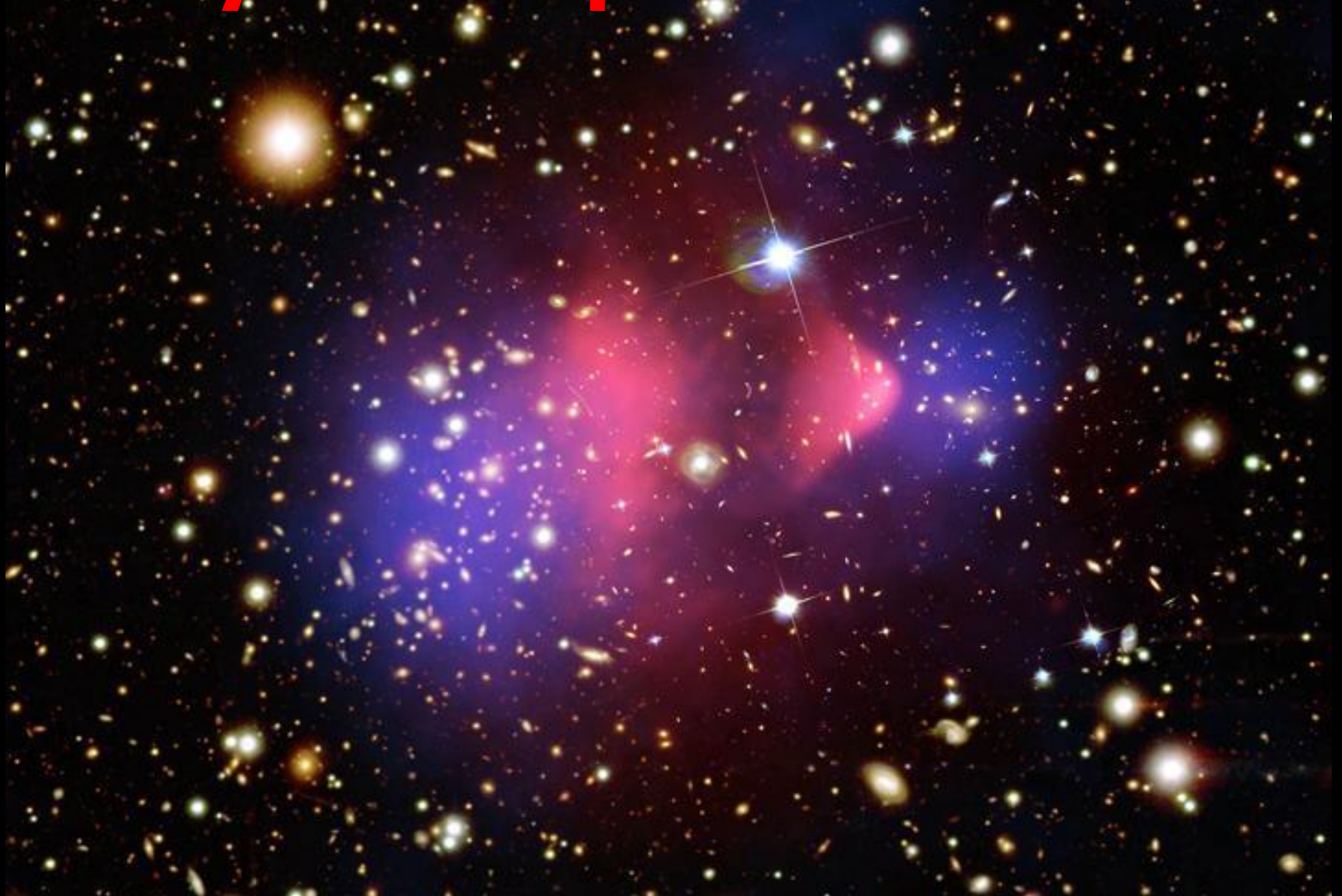


Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

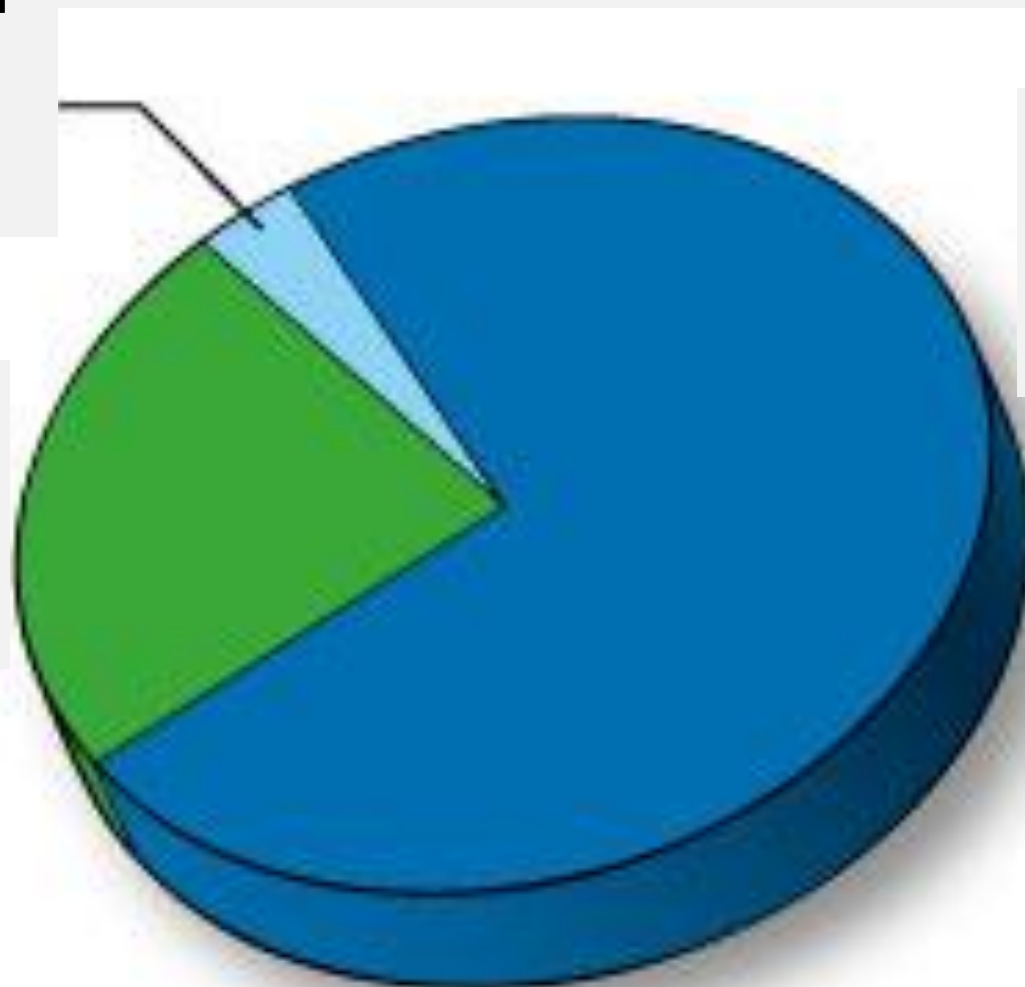
NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PRC00-08

Столкновения отделили темную материю от обычной

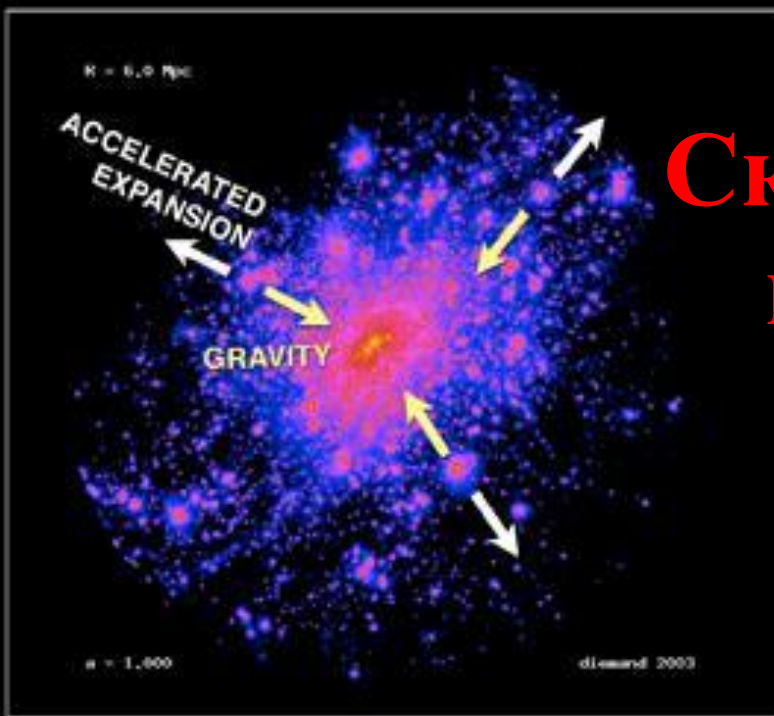


**Обычная
материя
4.6%**

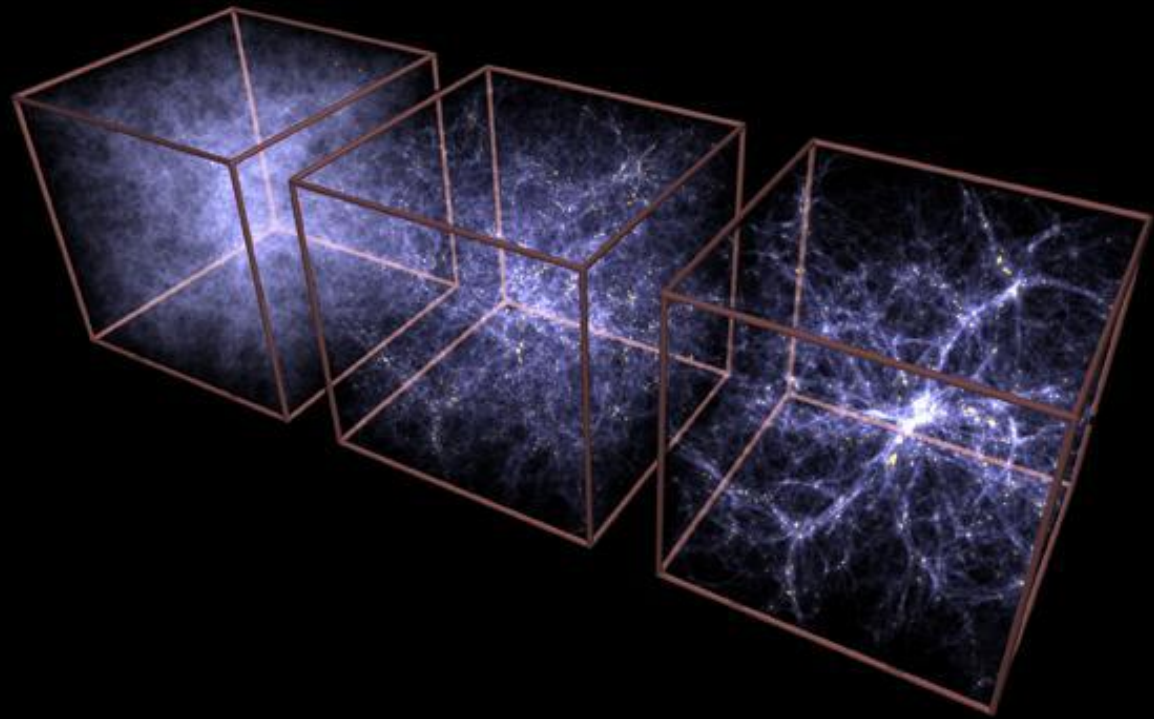
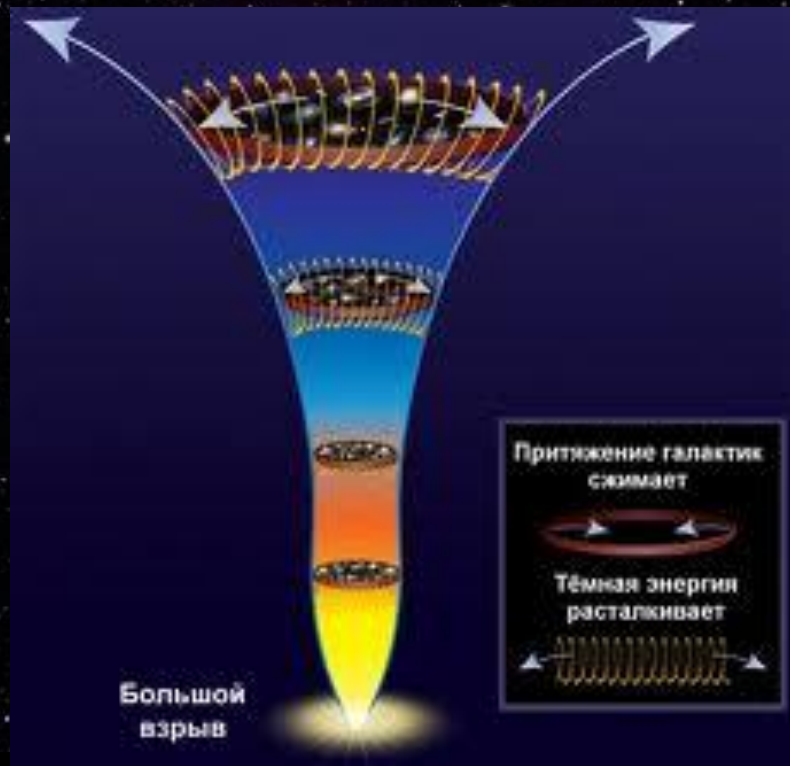
**Темная
материя
23%**

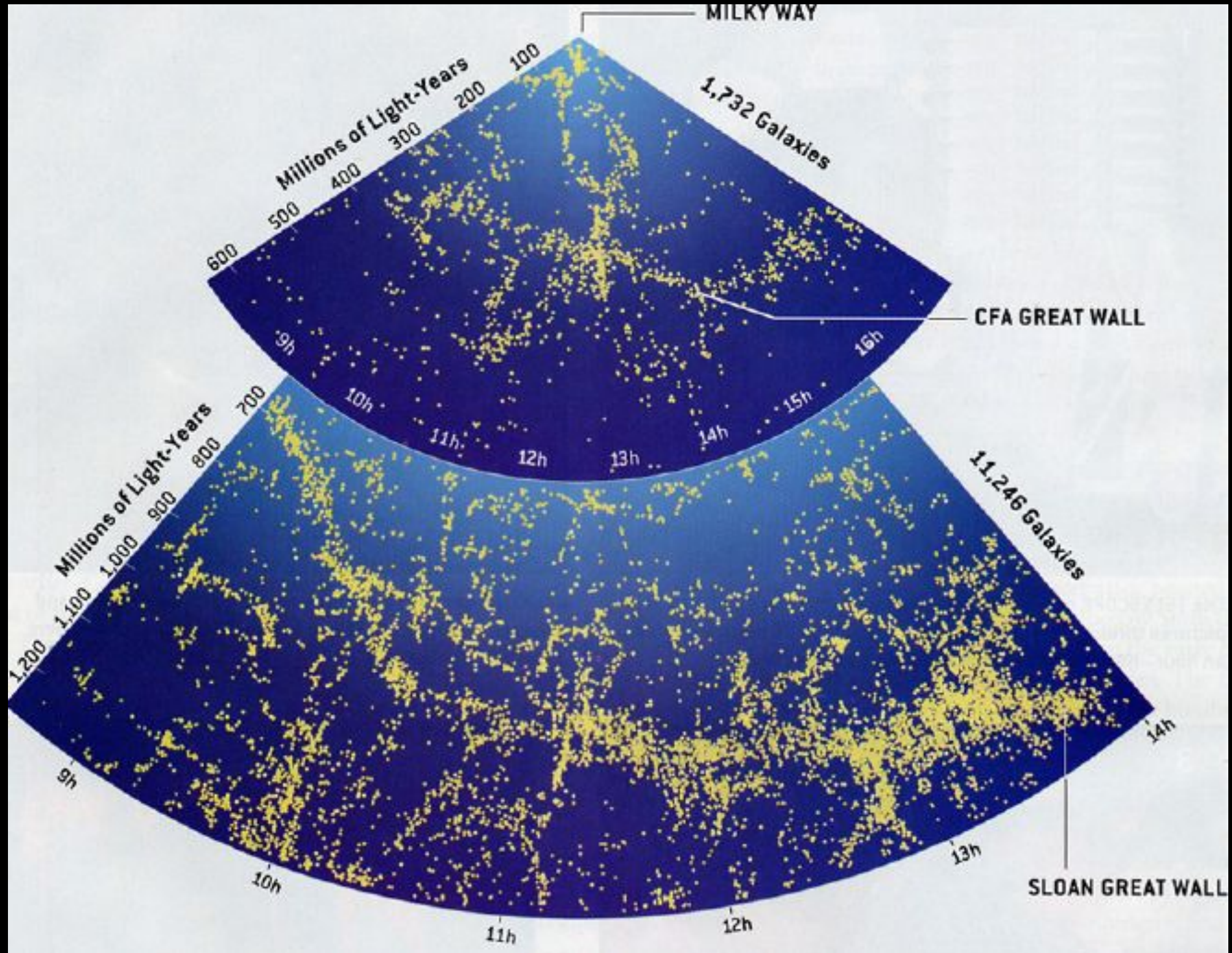


**Темная
энергия
72%**

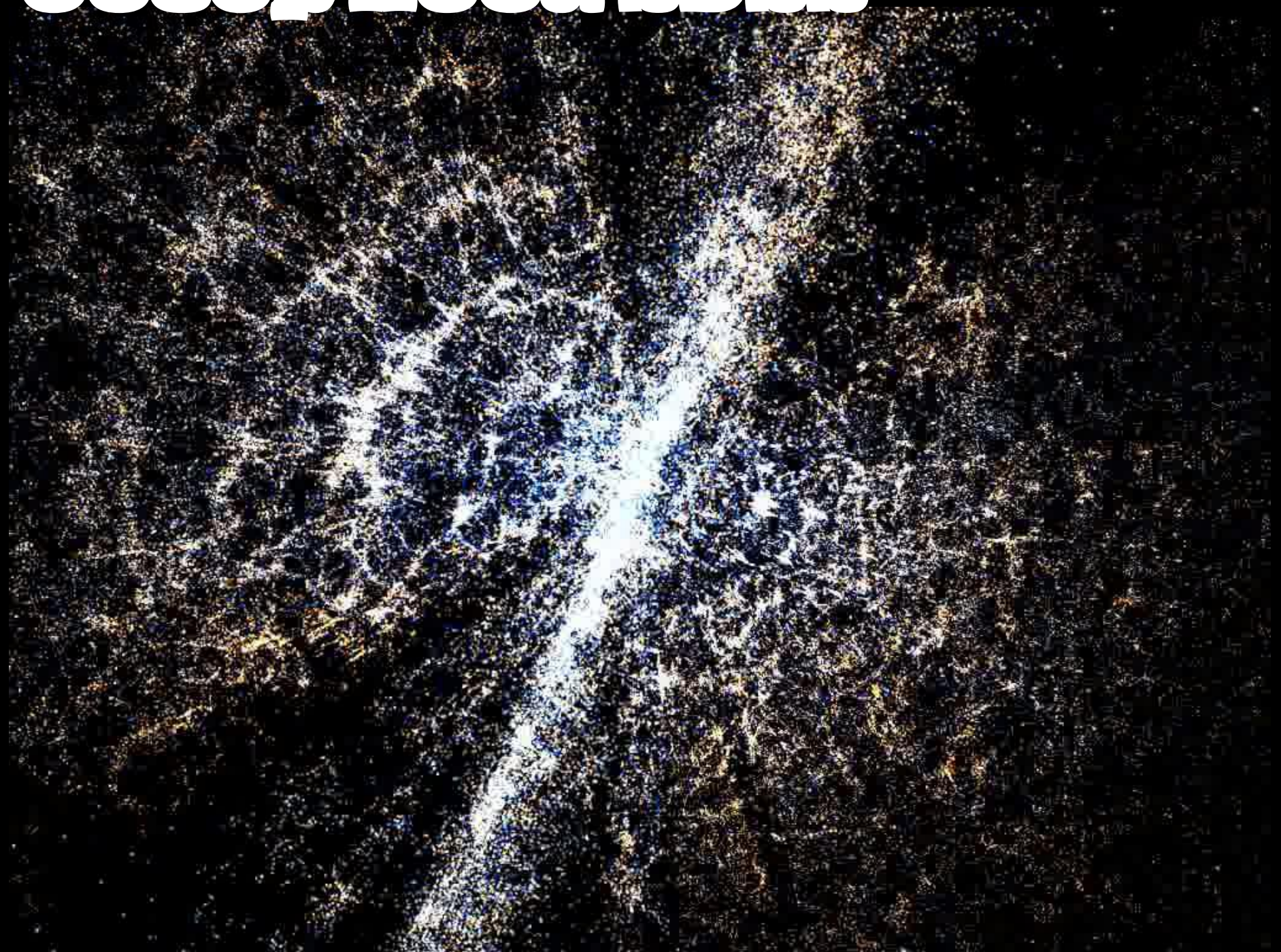


Скорость роста структур – измерение параметров Вселенной

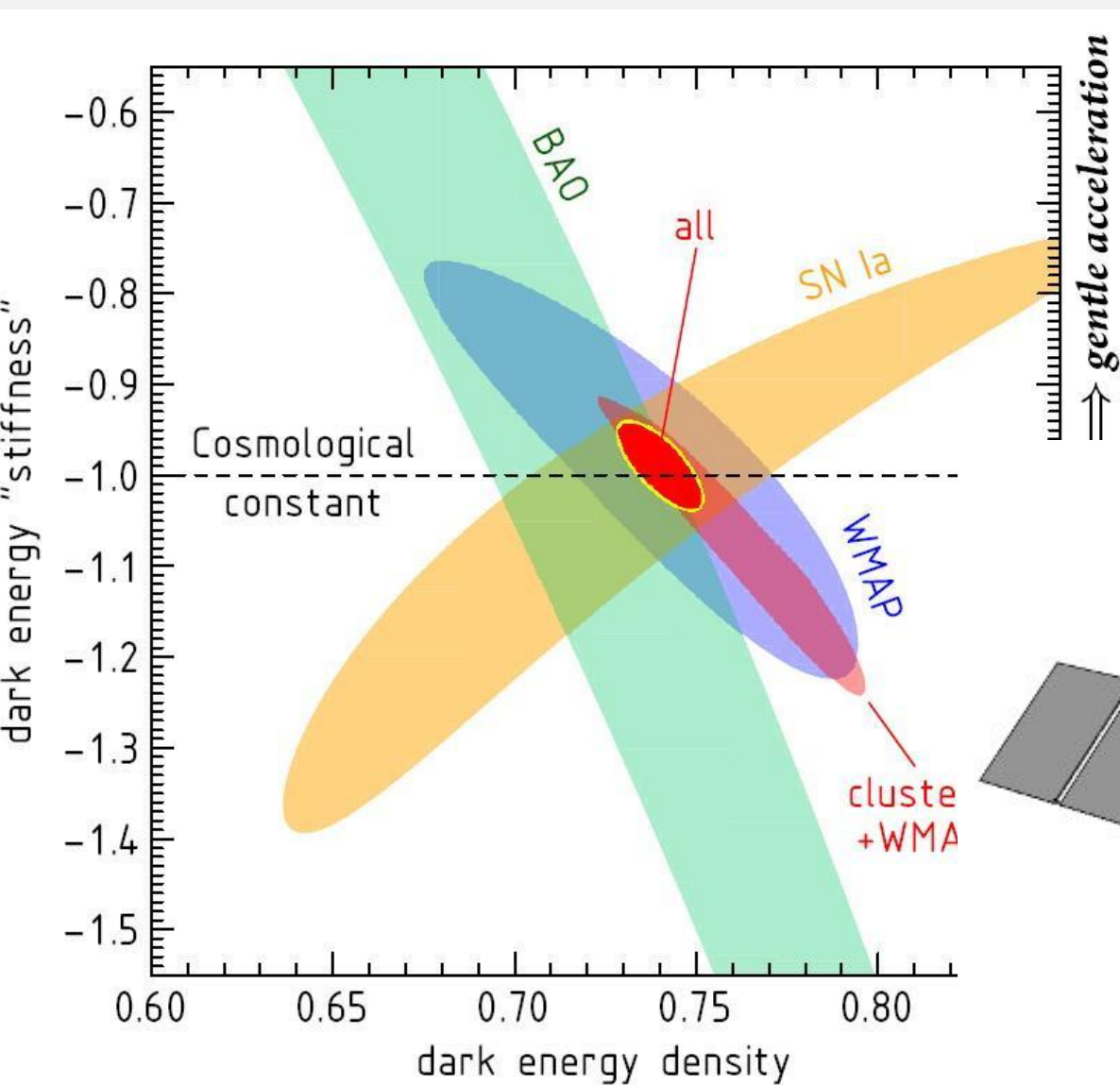




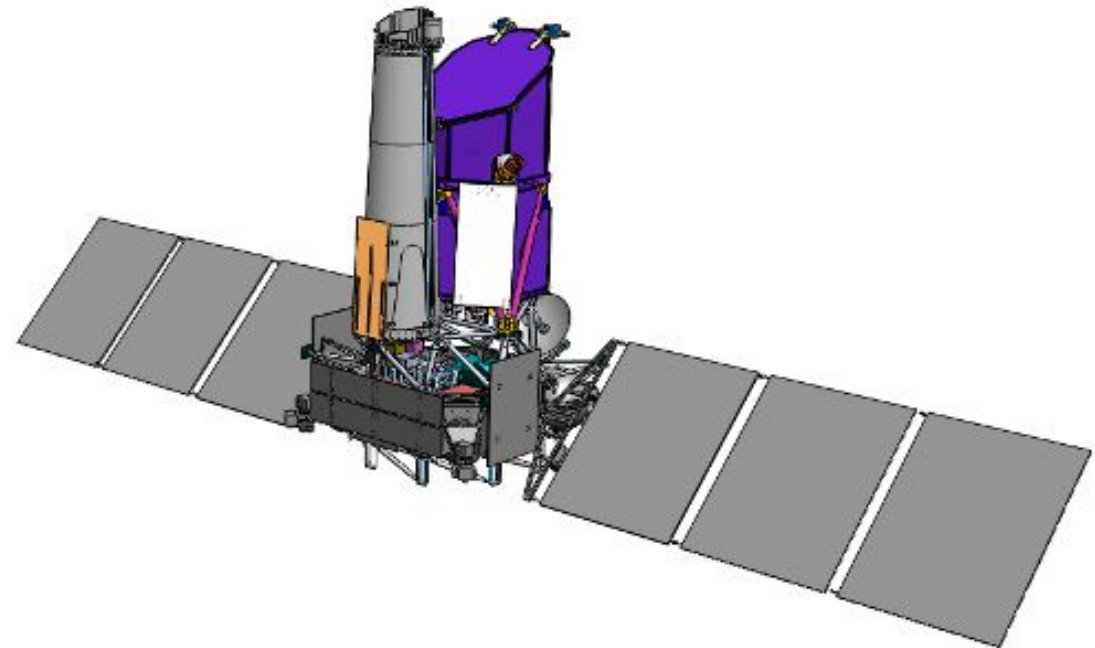
ИНОКОНТОРНО ПАКЕТНИК. ОБЩЕЕ ИССЛЕДОВАНИЕ



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**