

# 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

+

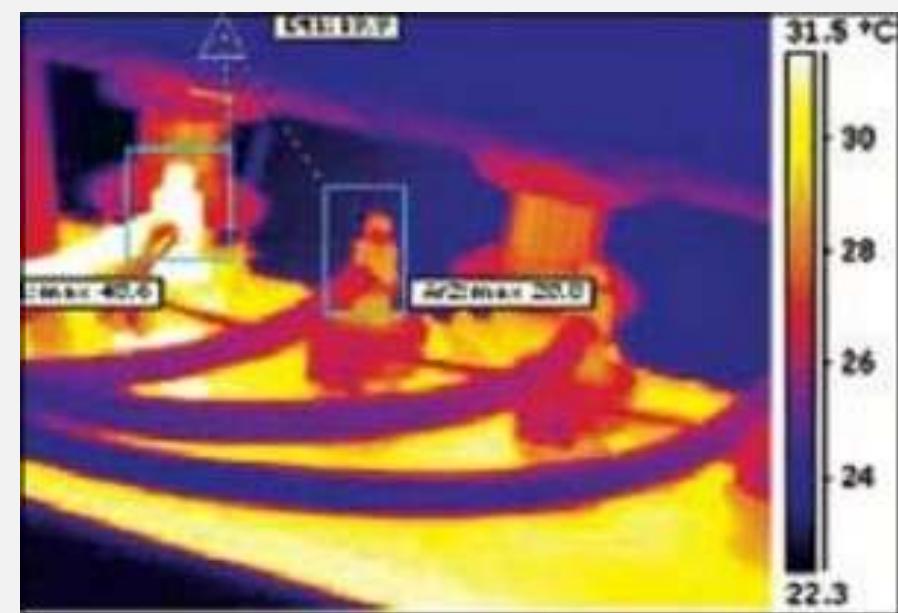
безопасно

# Бесконтактные методы – не экзотика

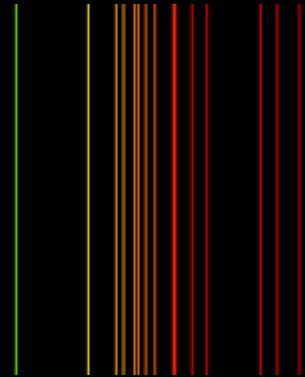
PATIENT: 3941 199820M71



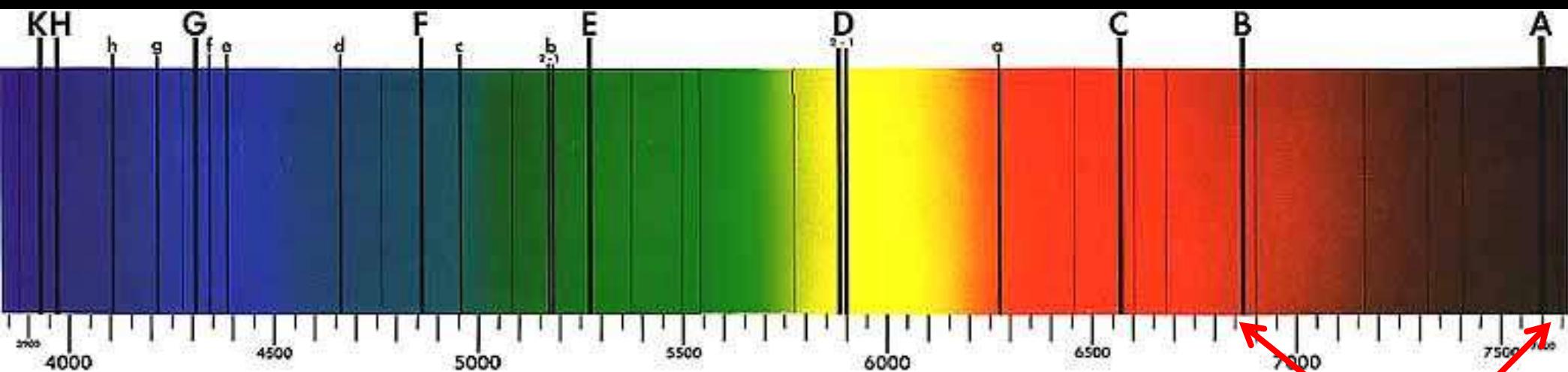
# Бесконтактные методы – не экзотика



# Бесконтактные методы – не экзотика



Спектр Солнца



Ca

H

Fe

Na

H

O<sub>2</sub>

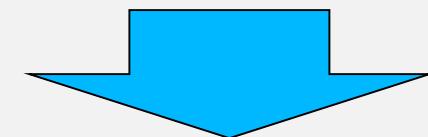
# Измерения масс небесных тел

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

расстояние

+

период  
обращения



Масса  
центрального  
тела



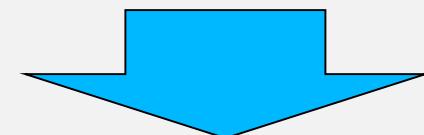
# Измерения масс небесных тел

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

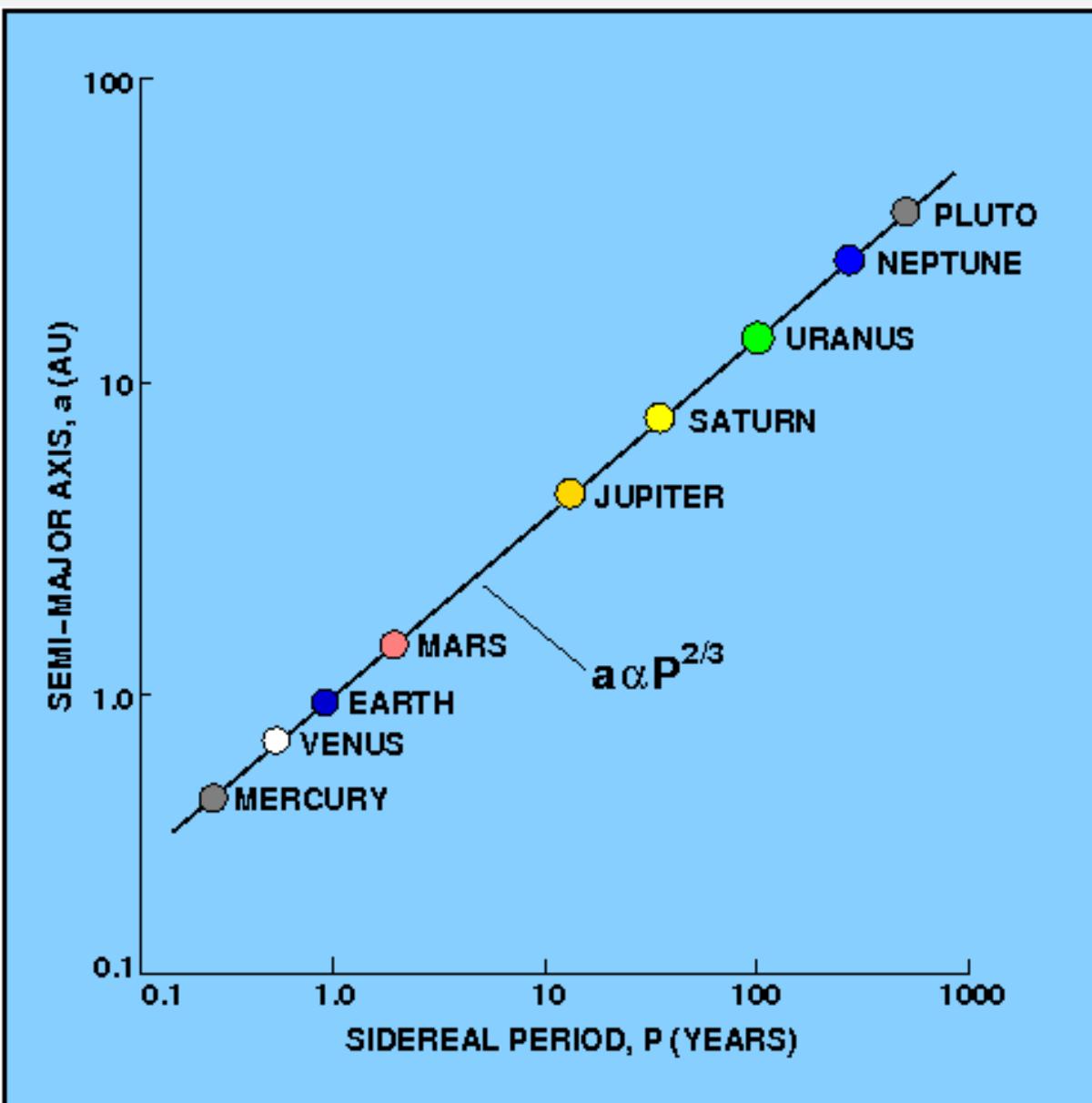
расстояние

+

период  
обращения



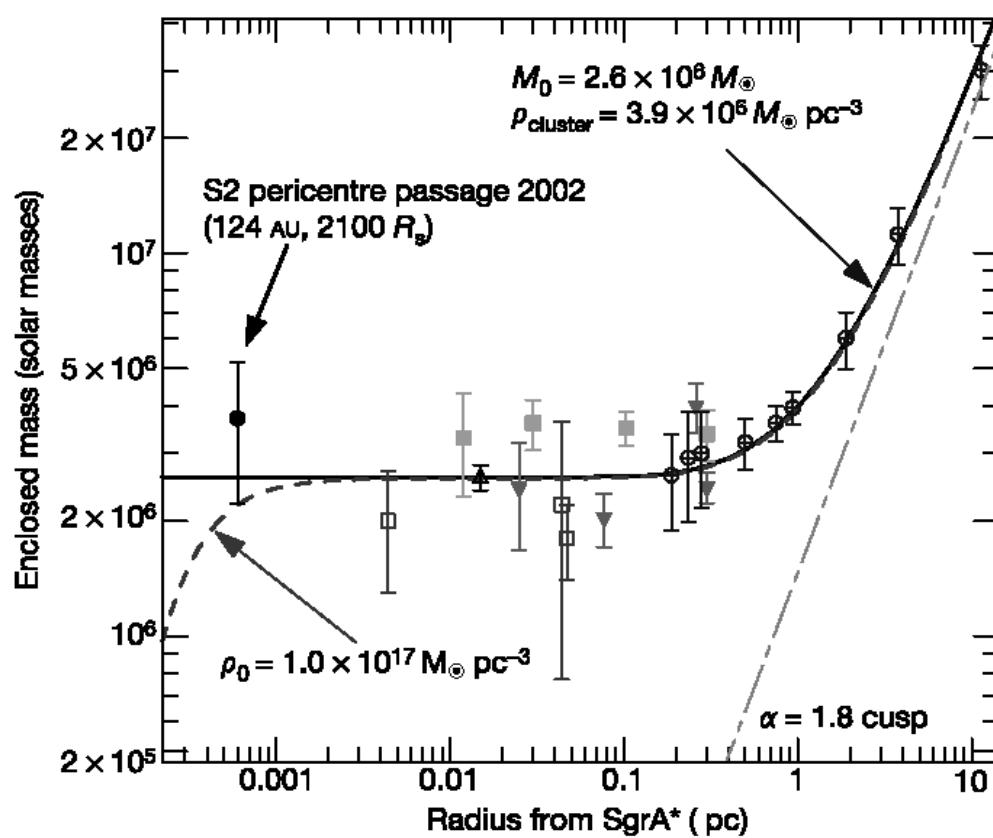
Масса  
центрального  
тела



# 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

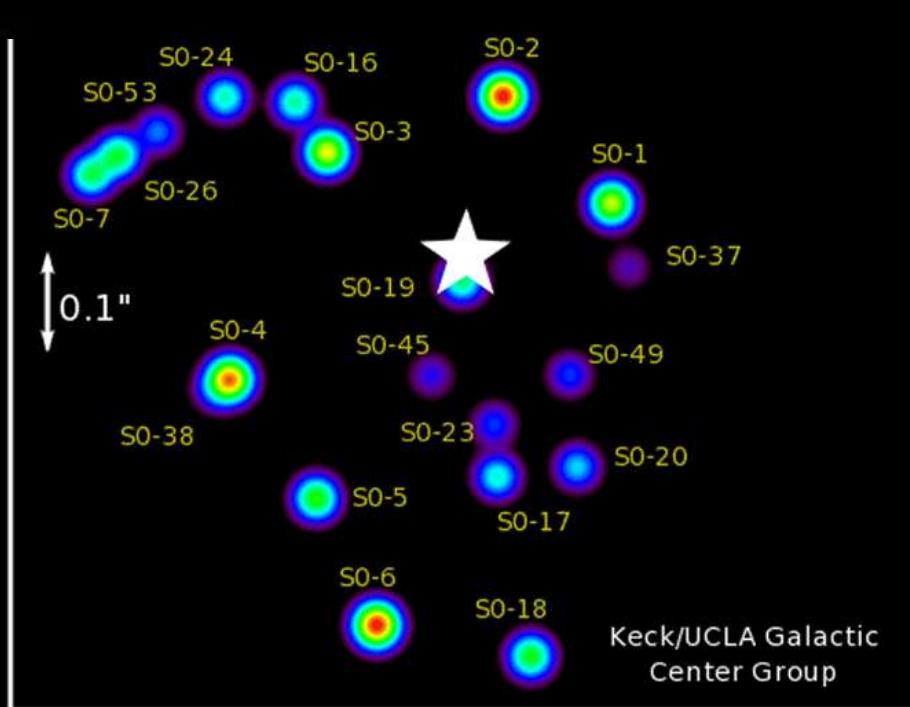
Телескоп  
VLT (8м)

вокруг  
*Sgr A\**

1995.5

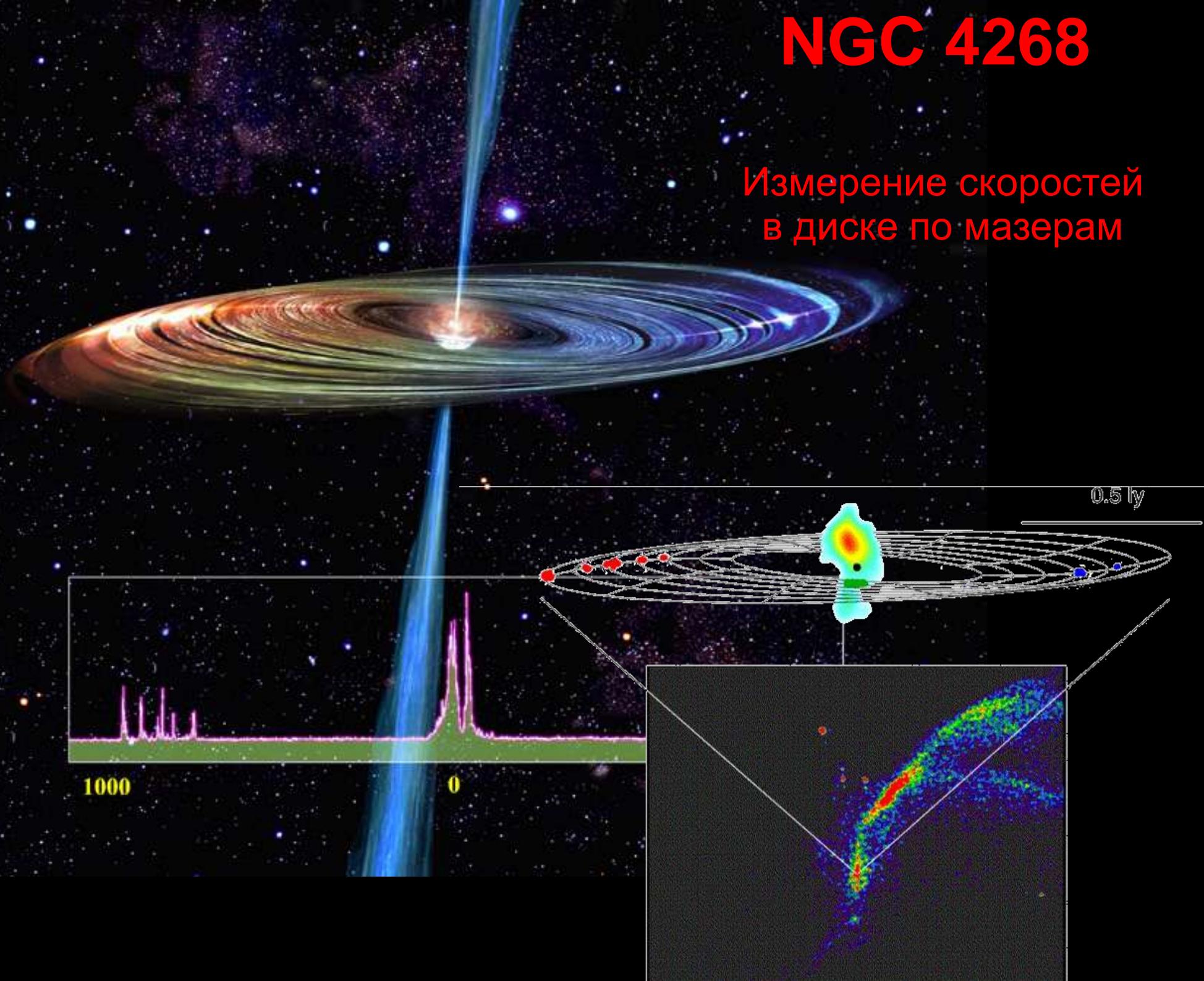
Внутри размера  
~солнечной системы  
~3 миллиона  
Солнечных масс

Телескоп  
Keck (10м)



# NGC 4268

Измерение скоростей  
в диске по мазерам

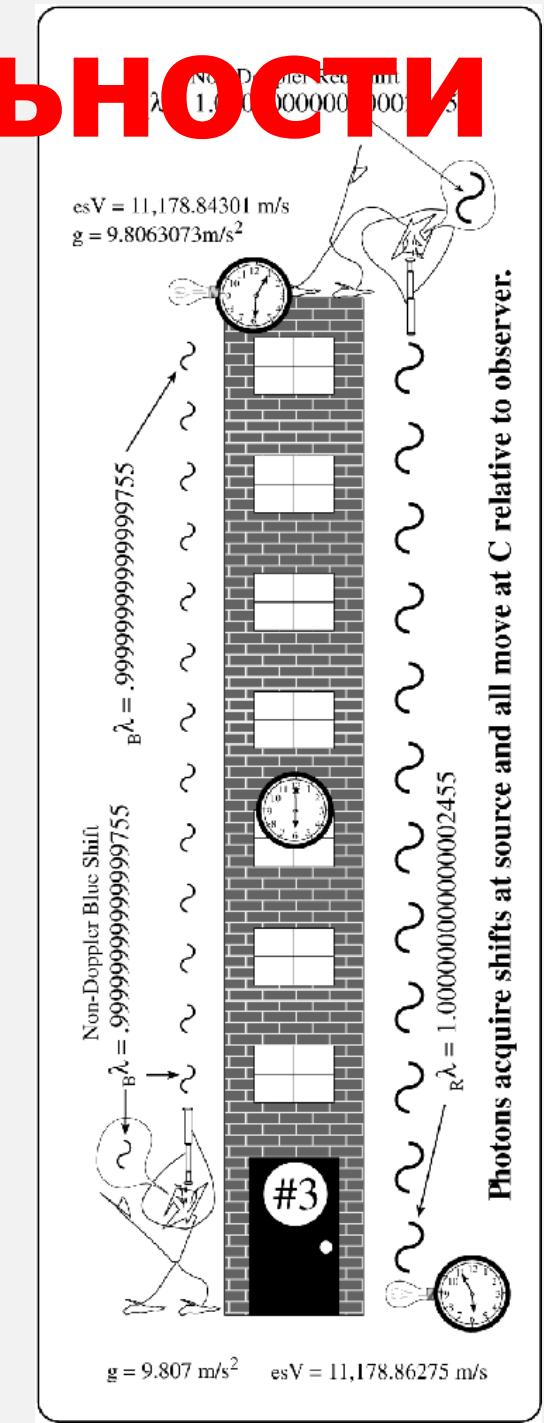


# Проверка общей теории относительности



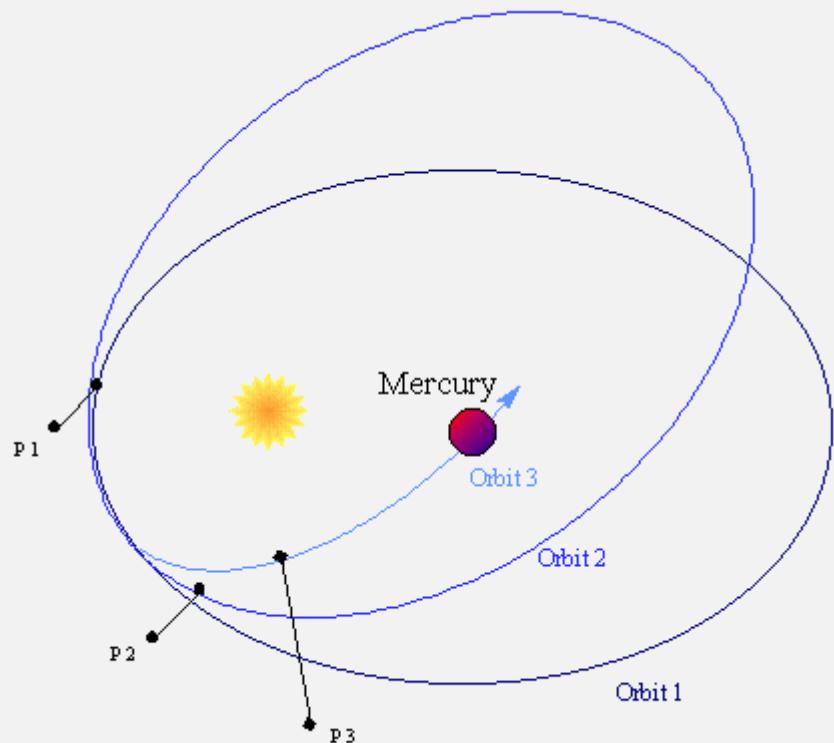
## Эксперимент Паунда и Ребки

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

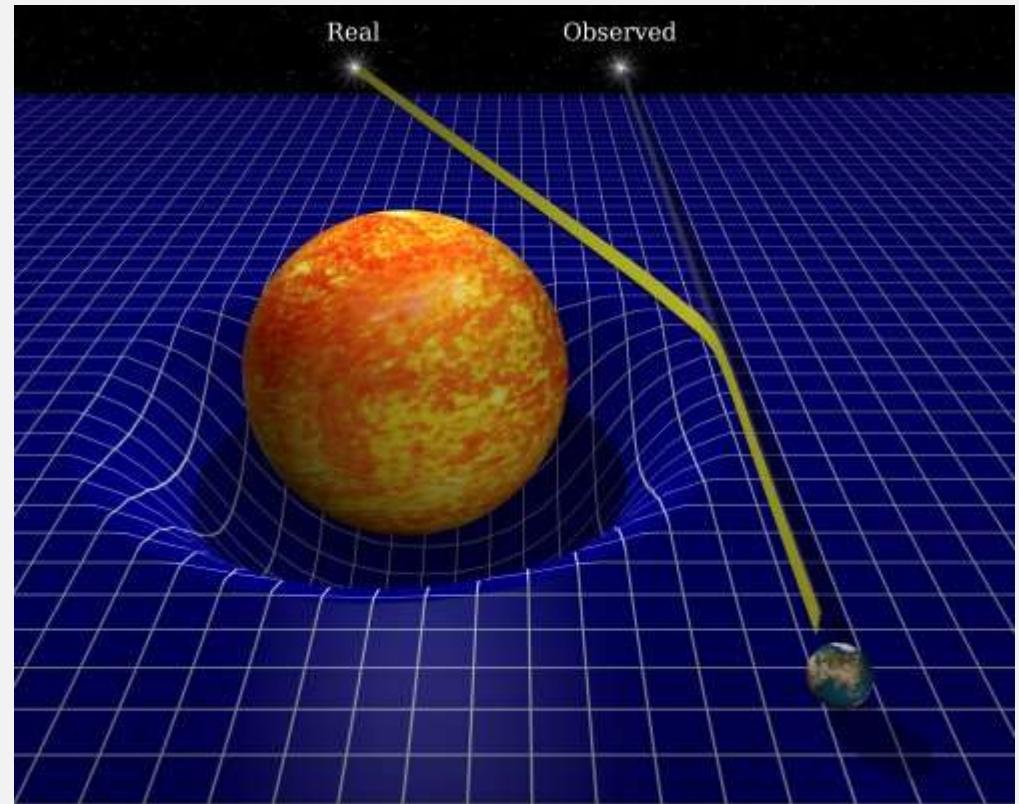


# Тесты в Солнечной системе

Орбита Меркурия



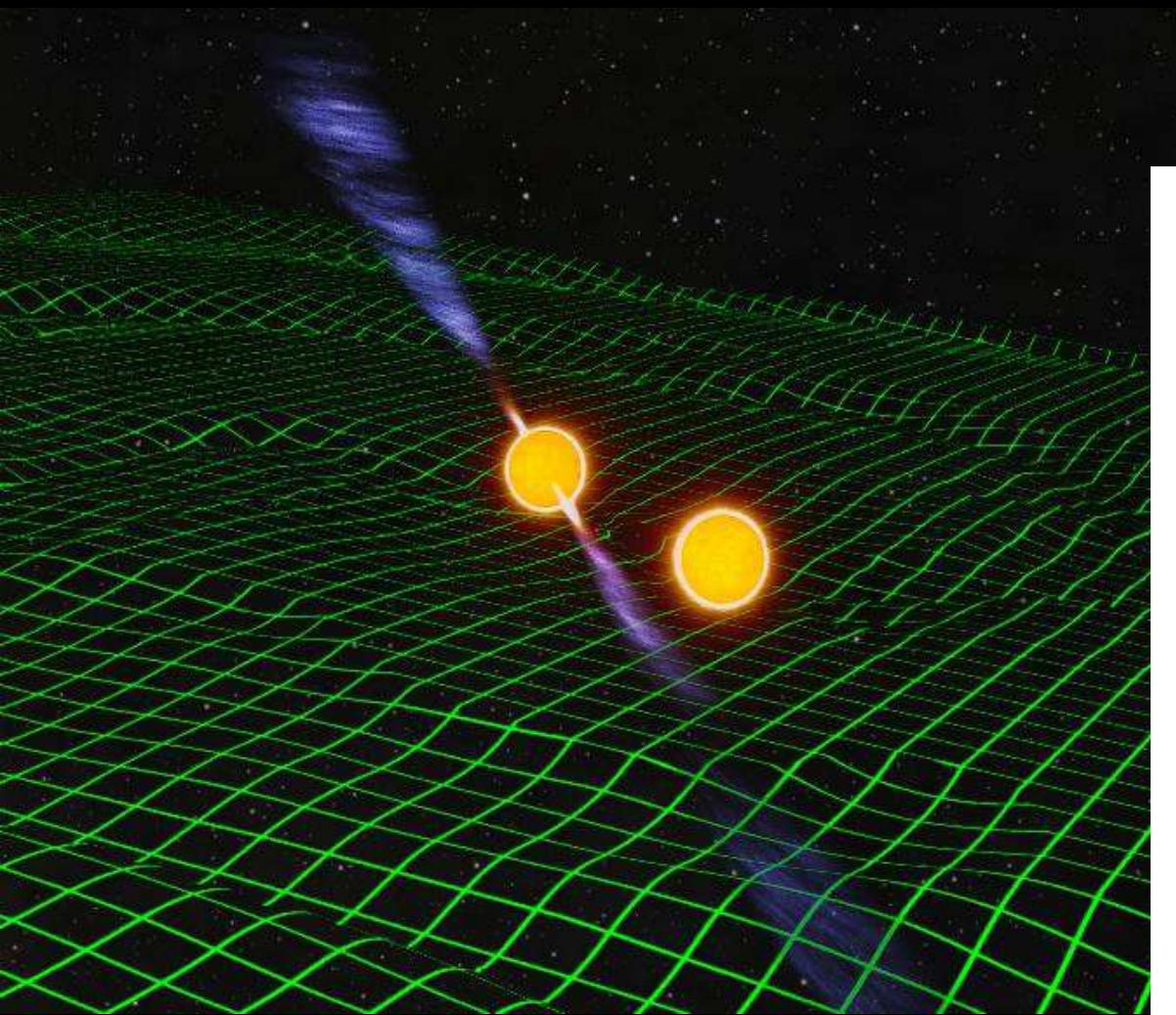
Отклонение света



20 May 1947	Brazil	$2.01 \pm 0.27$
25 Feb 1952	Sudan	$1.70 \pm 0.10$
30 Jun 1973	Mauritania	$1.66 \pm 0.19$

расчет = 1.75 угл.секунд

# Гравитационные волны



Задержка прихода пульса за счет ГВ



# Лучший случай - PSR J0737-3039

## Две нейтронные звезды

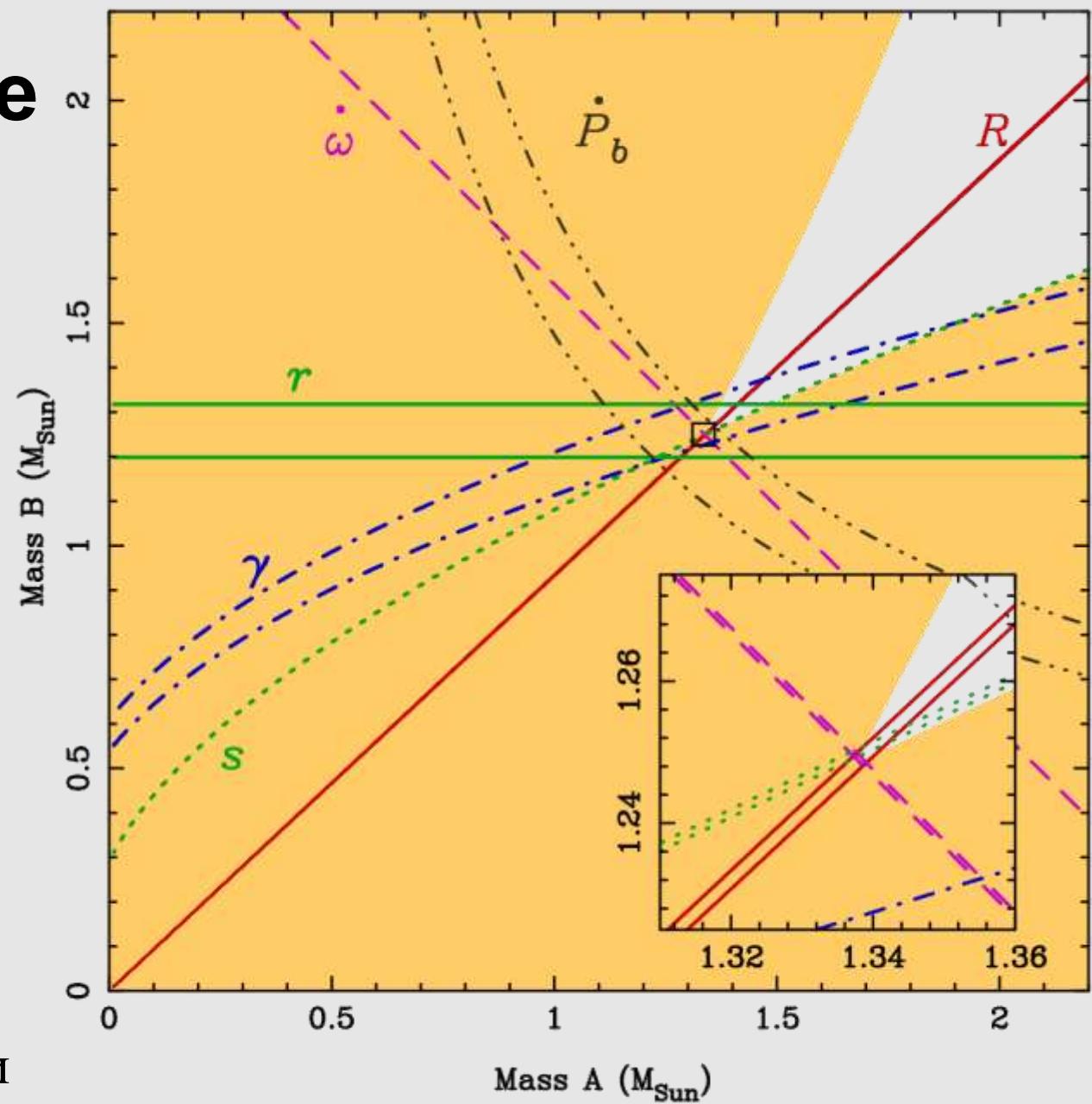
R-отношение масс  
(орбиты)

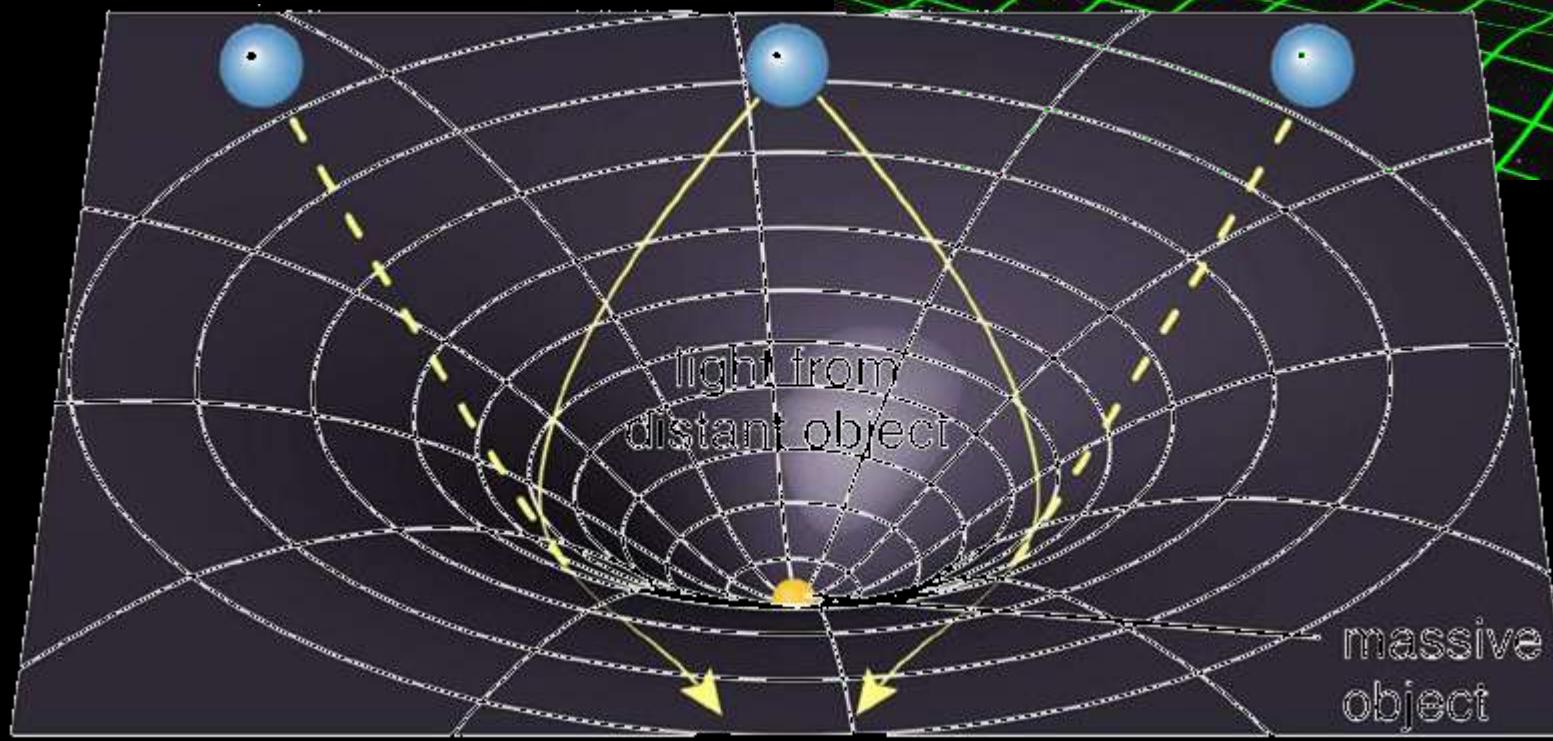
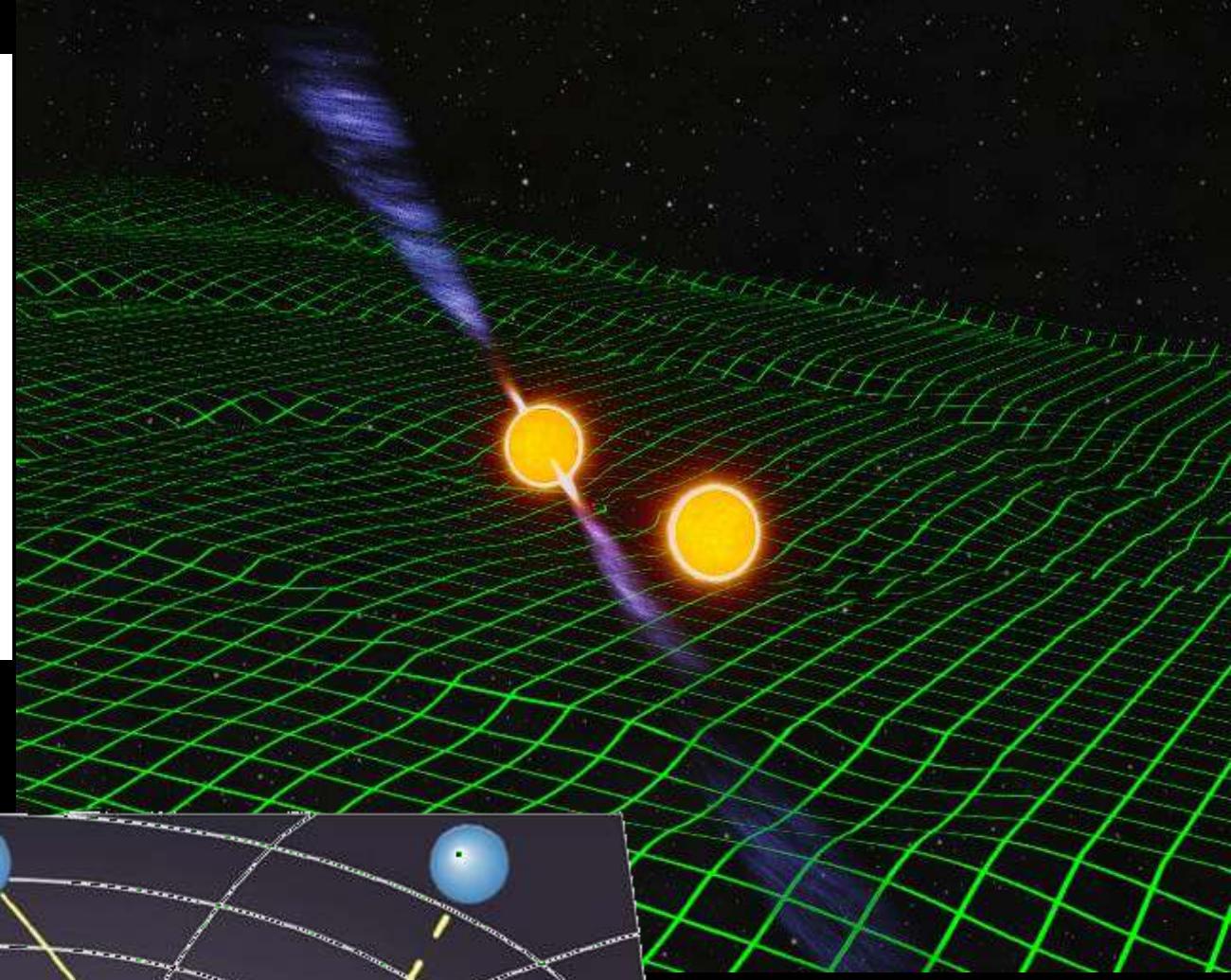
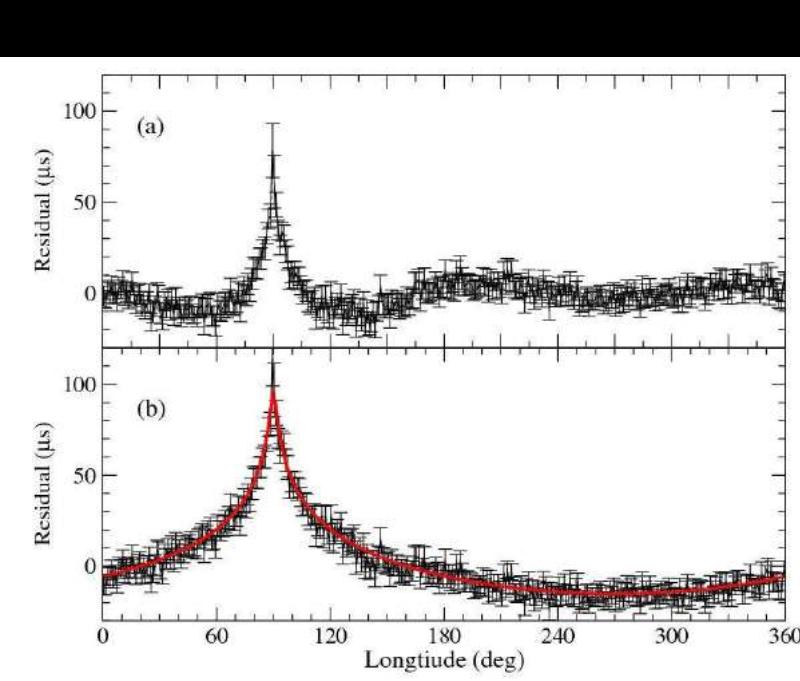
W-прецессия орбиты

Pb-торможение за счет ГВ

r,s – задержка сигнала времени вблизи одной НЗ

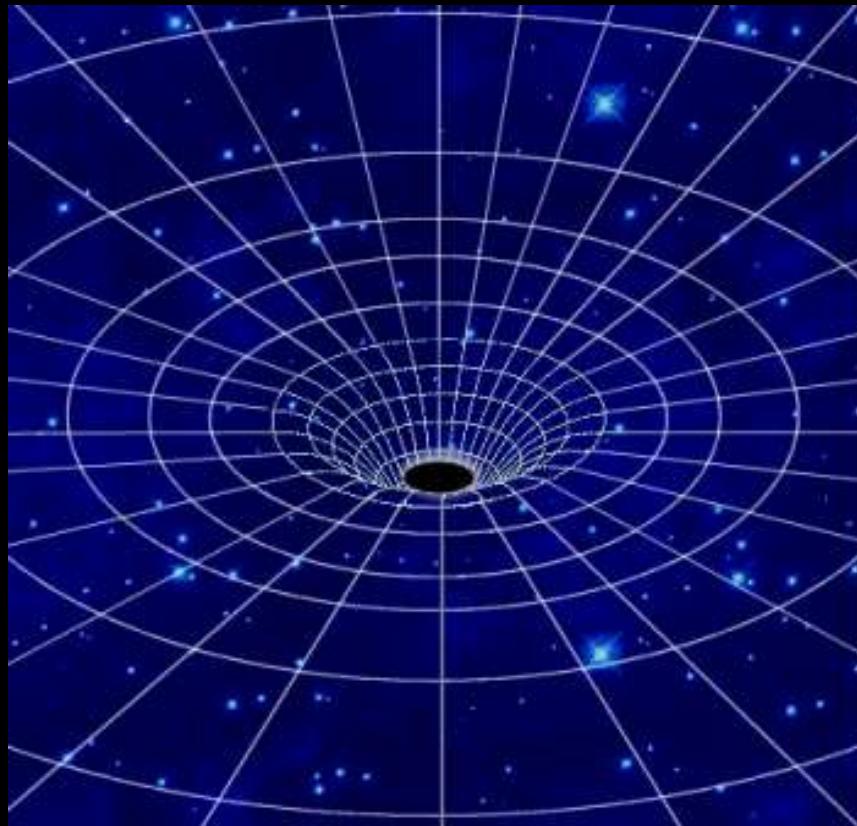
y- грав.замедление времени





Timing parameter	PSR J0737–3039A	PSR J0737–3039B
Right Ascension $\alpha$	07 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> 51 <sup>s</sup> .24927(3)	—
Declination $\delta$	-30°39'40''.7195(5)	—
Proper motion in the RA direction (mas yr <sup>-1</sup> )	-3.3(4)	—
Proper motion in Declination (mas yr <sup>-1</sup> )	2.6(5)	—
Parallax, $\pi$ (mas)	3(2)	—
Spin frequency $\nu$ (Hz)	44.054069392744(2)	0.36056035506(1)
Spin frequency derivative $\dot{\nu}$ (s <sup>-2</sup> )	-3.4156(1) $\times 10^{-15}$	-0.116(1) $\times 10^{-15}$
Timing Epoch (MJD)	53156.0	53156.0
Dispersion measure DM (cm <sup>-3</sup> 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 $\omega$ (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 $\gamma$ (ms)	0.3856(26)	—
Shapiro delay parameter $s$	0.99974(-39, +16)	—
Shapiro delay parameter $r$ ( $\mu$ 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 $\sigma$ ( $\mu$ sec)	54	2169
Total proper motion (mas yr <sup>-1</sup> )		4.2(4)
Distance $d$ (DM) (pc)		~ 500
Distance $d(\pi)$ (pc)		200 – 1000
Transverse velocity ( $d = 500$ pc) (km s <sup>-1</sup> )		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 – акреция на компактный объект

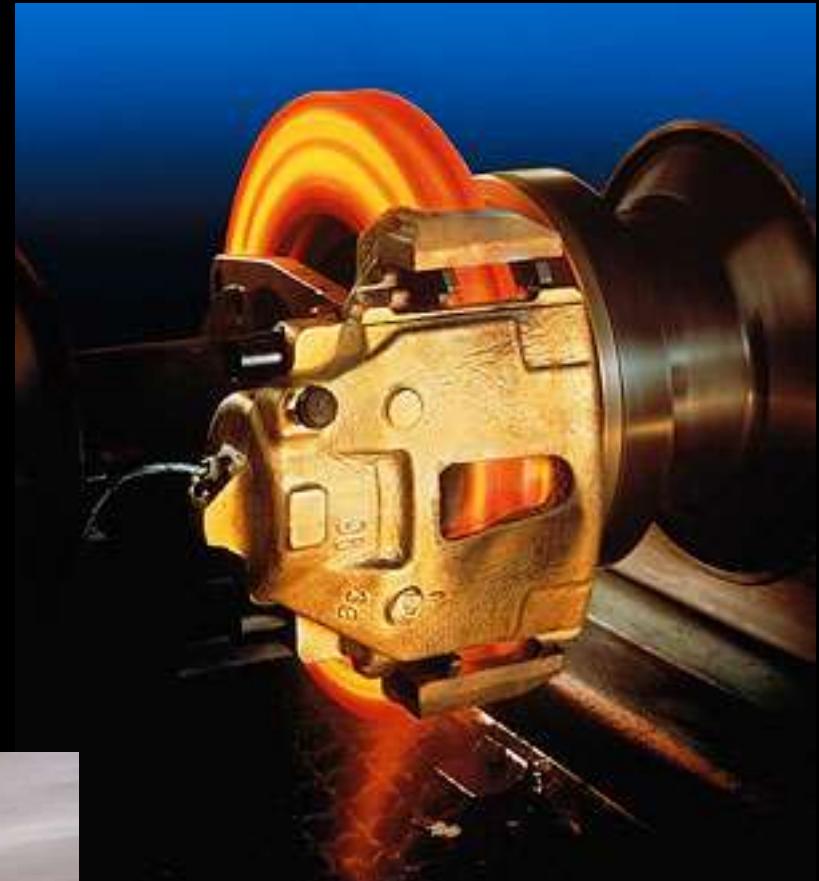
Простейший пример акреции



Здесь потенциальная энергия гравитационного поля  
переводится в кинетическую энергию воды

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

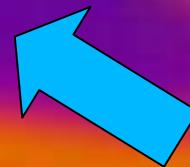
нагрев тормозных колодок,  
покрышек, дороги...



Релятивистская  
звезда



100 млн. K!

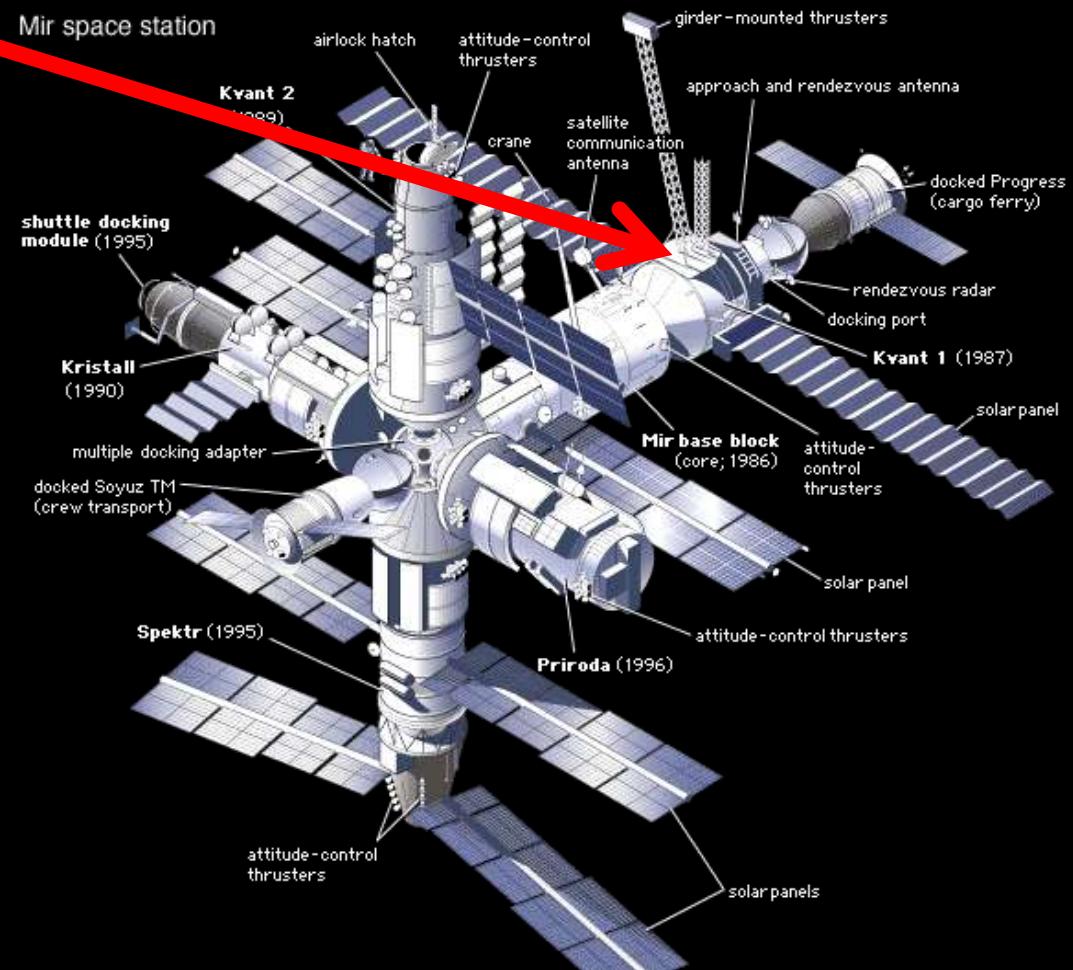
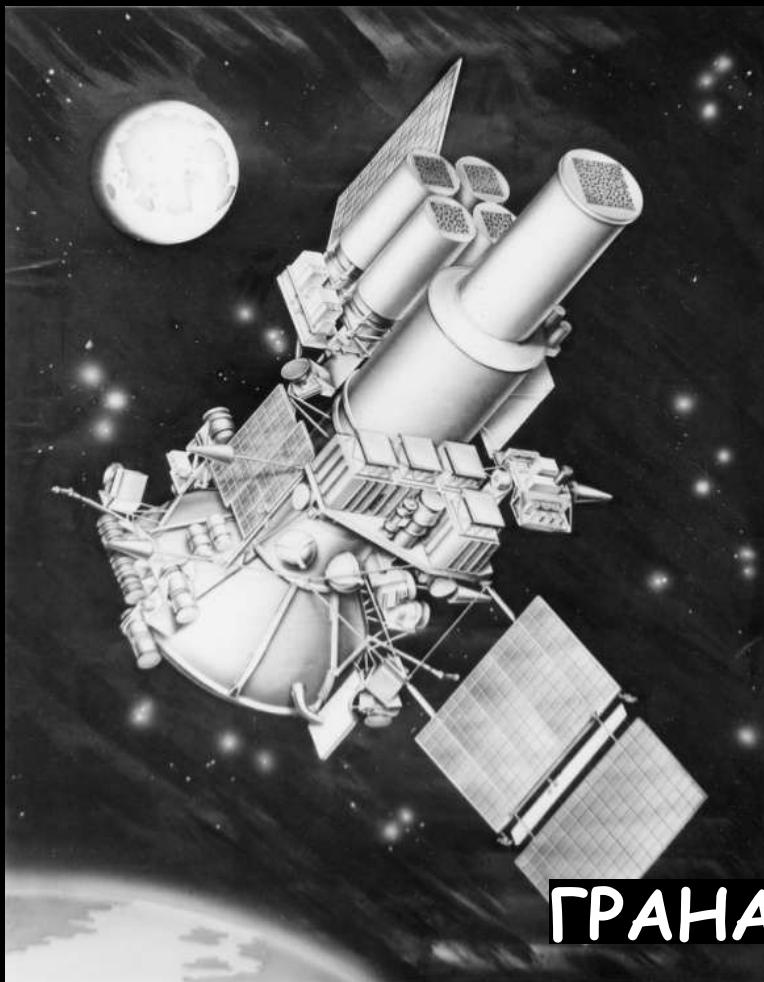


Движение вещества  
(нагрев)

звезды-  
Компаньон  
(5000 K)

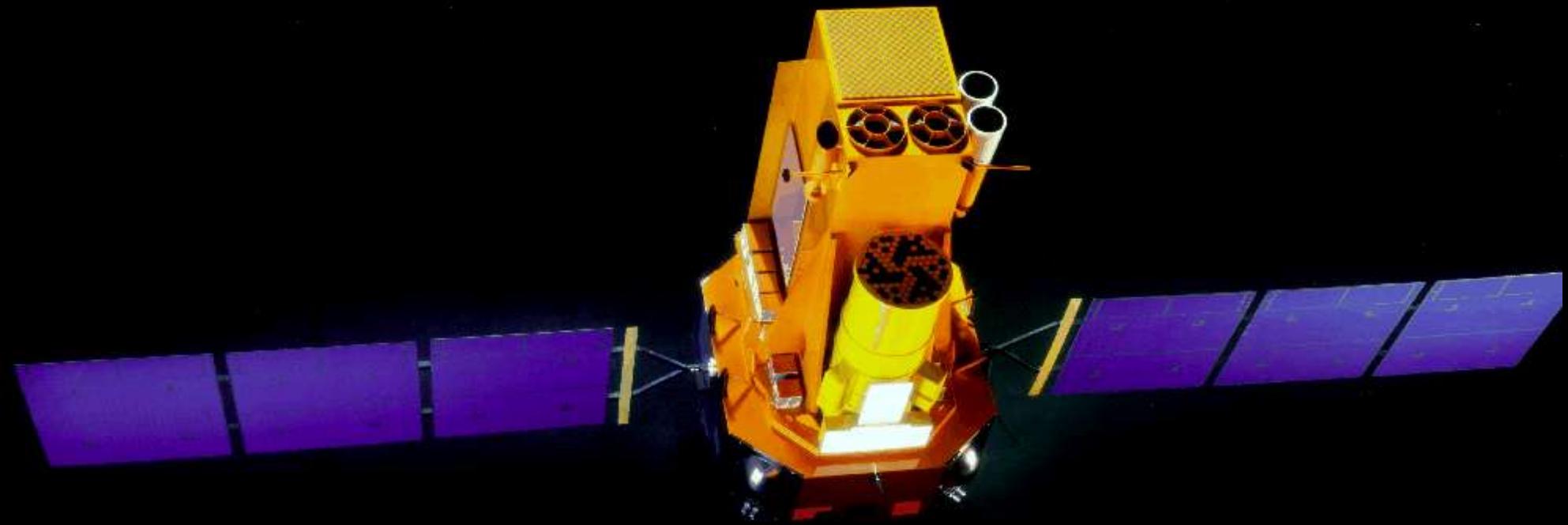
# Такие системы открывались и на советских/российских аппаратах

**МИР-КВАНТ (1987-2001)**



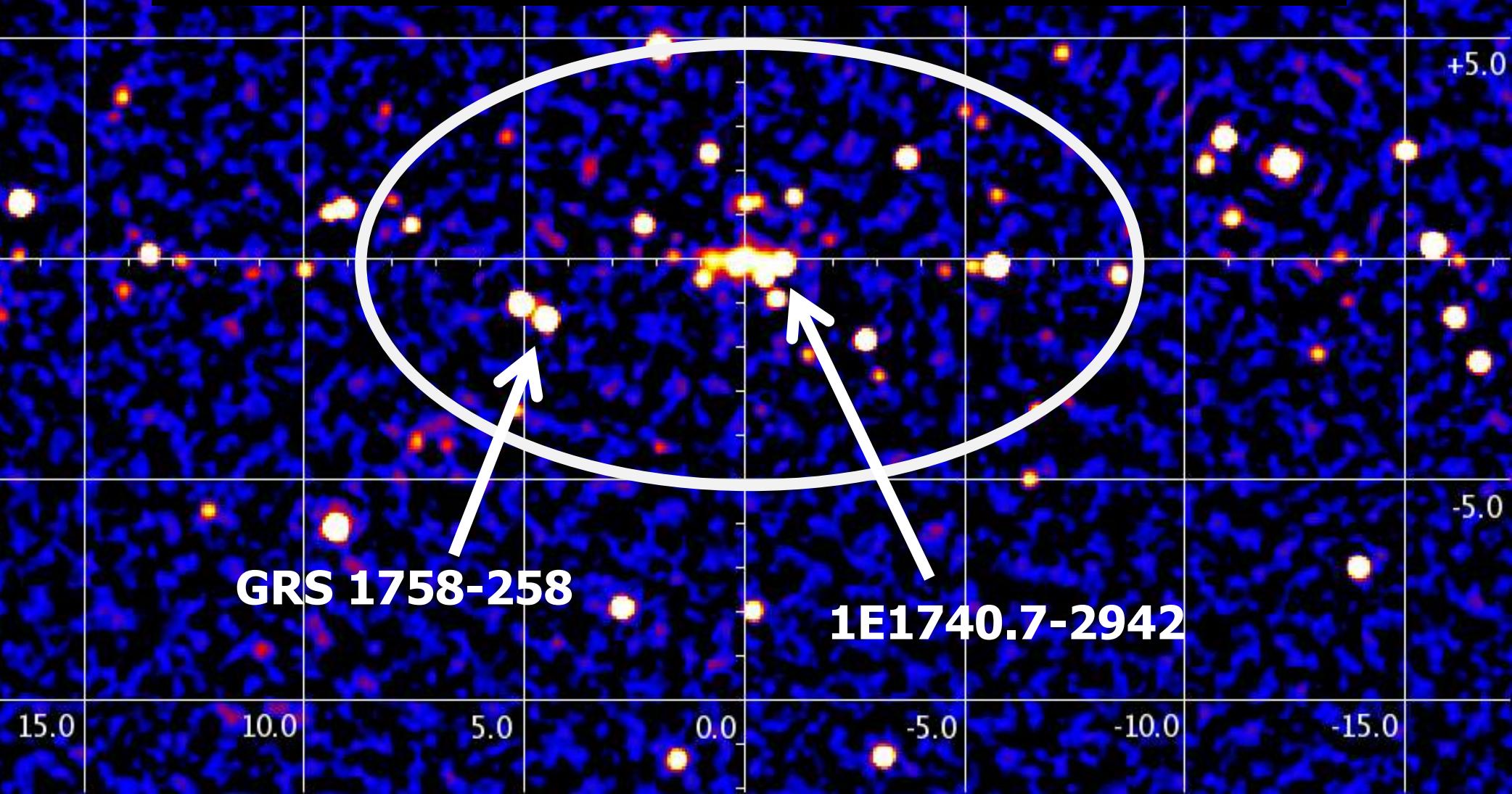
**ГРАНАТ (1989-1999)**

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

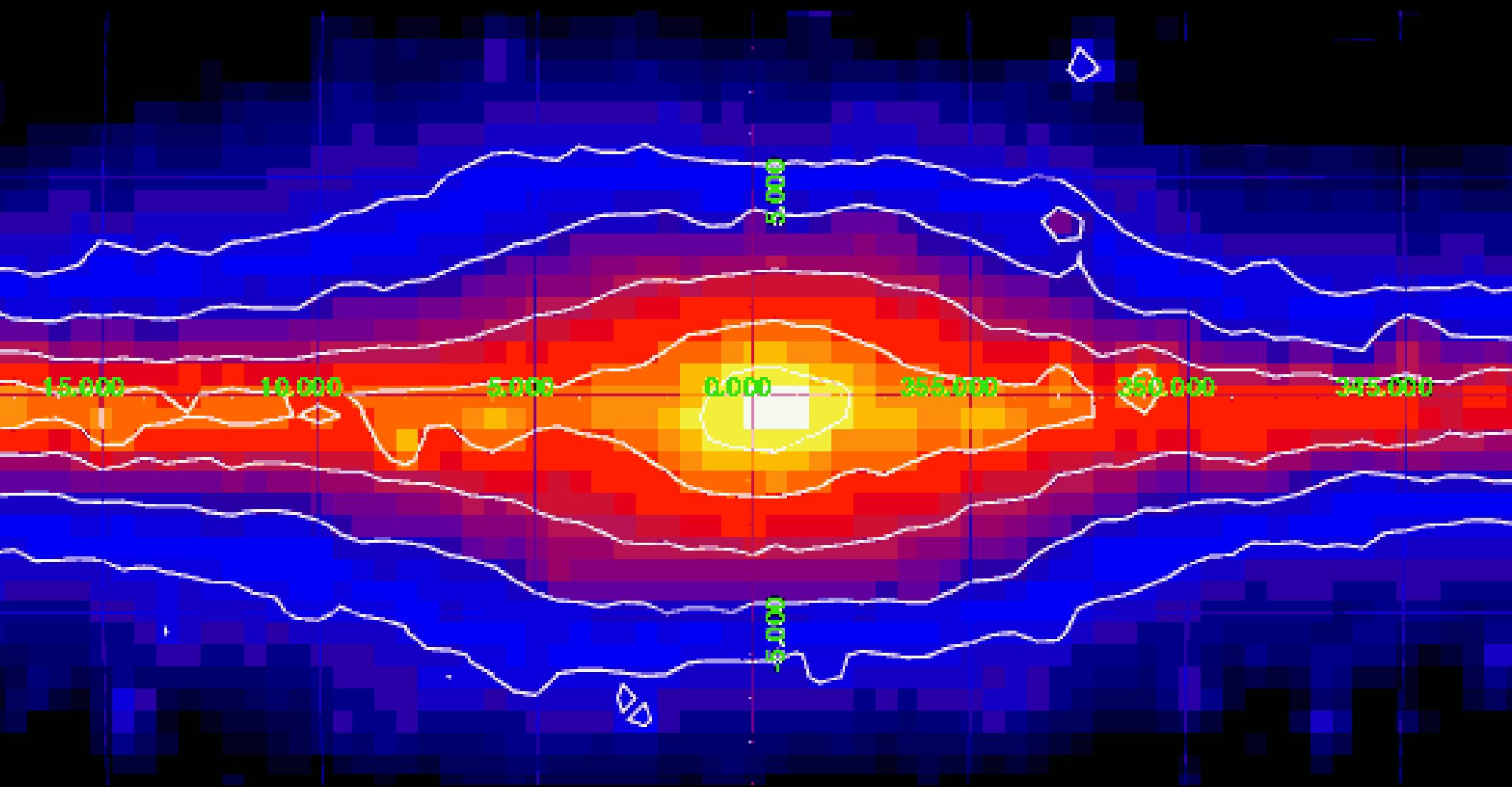


**ИНТЕГРАЛ (ЕКА/РКА)  
(2002-....)**

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

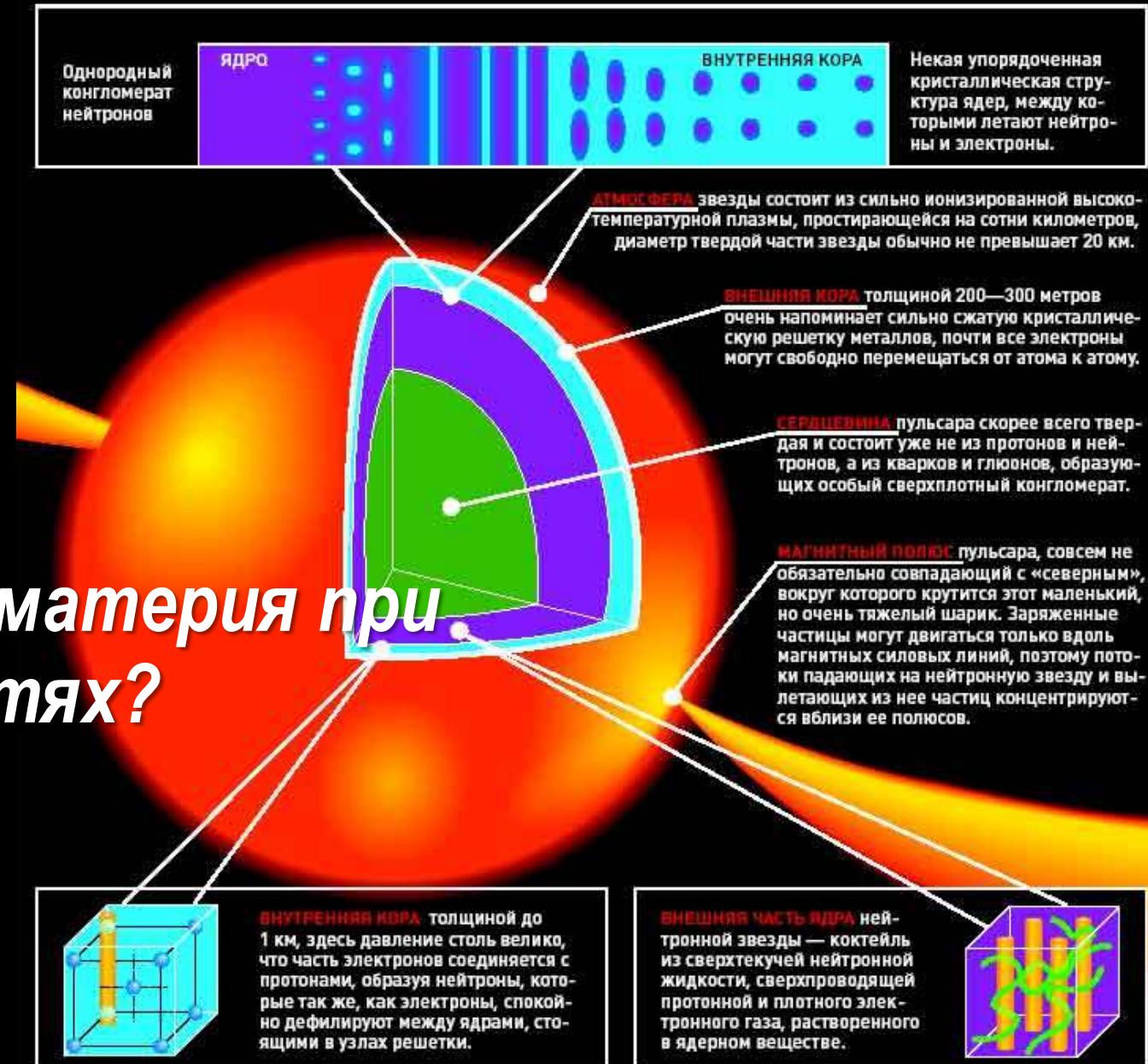


# Распределение звезд



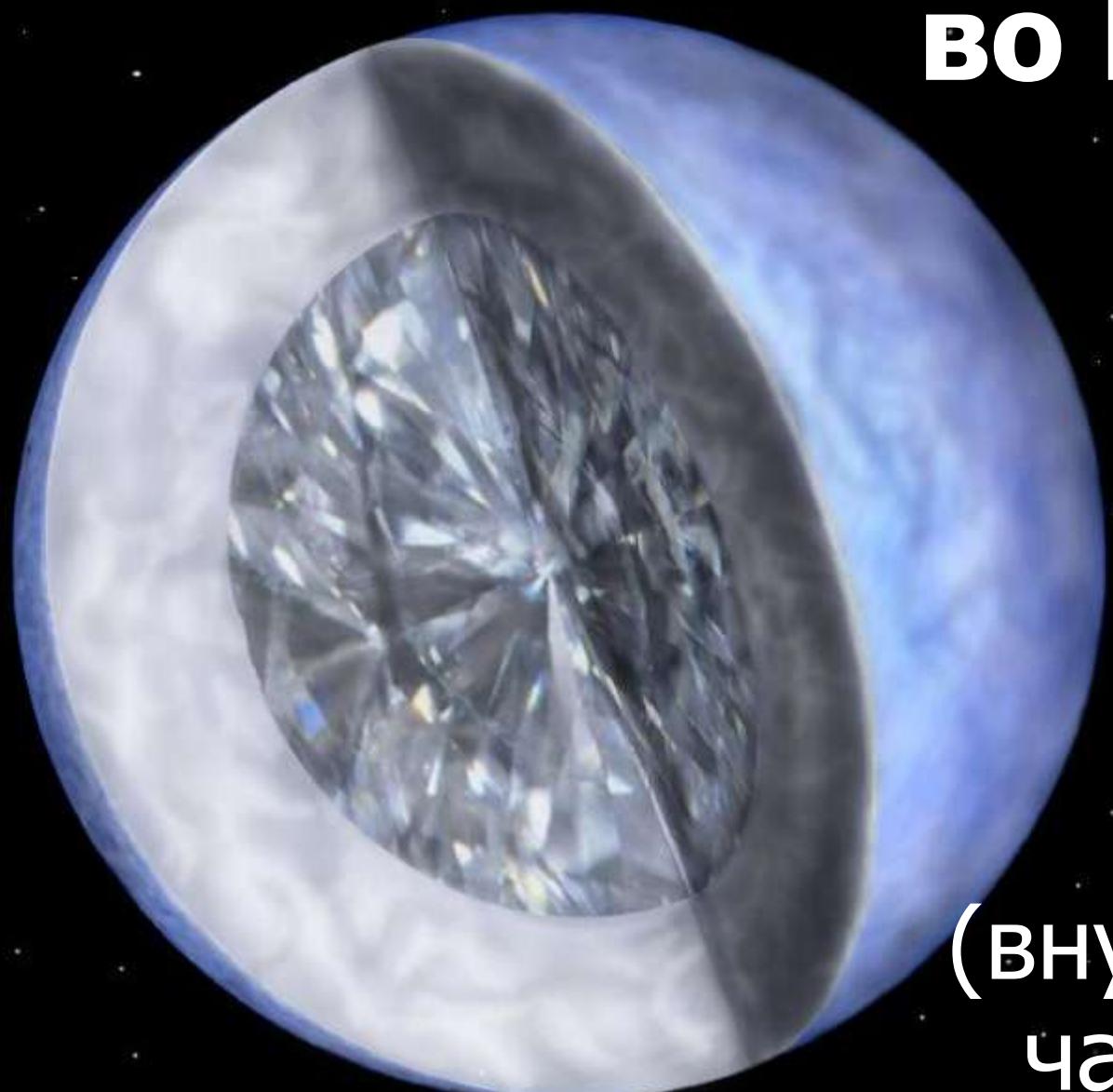
# Сверхвысокие плотности

Белый карлик: плотность  
~тонны/см<sup>3</sup>



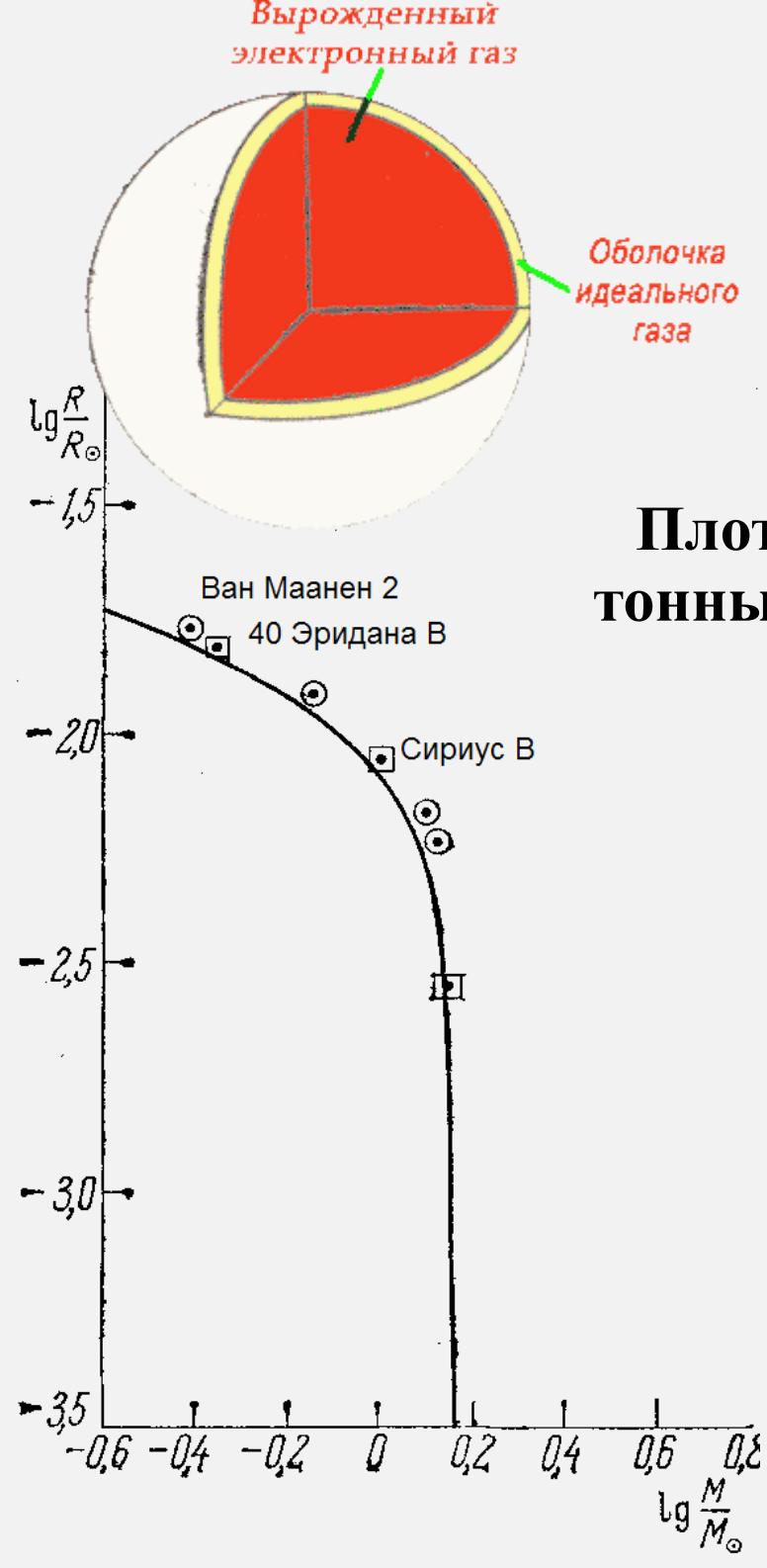
Как ведет себя материя при таких плотностях?

# Белые карлики – самые большие алмазы во Вселенной

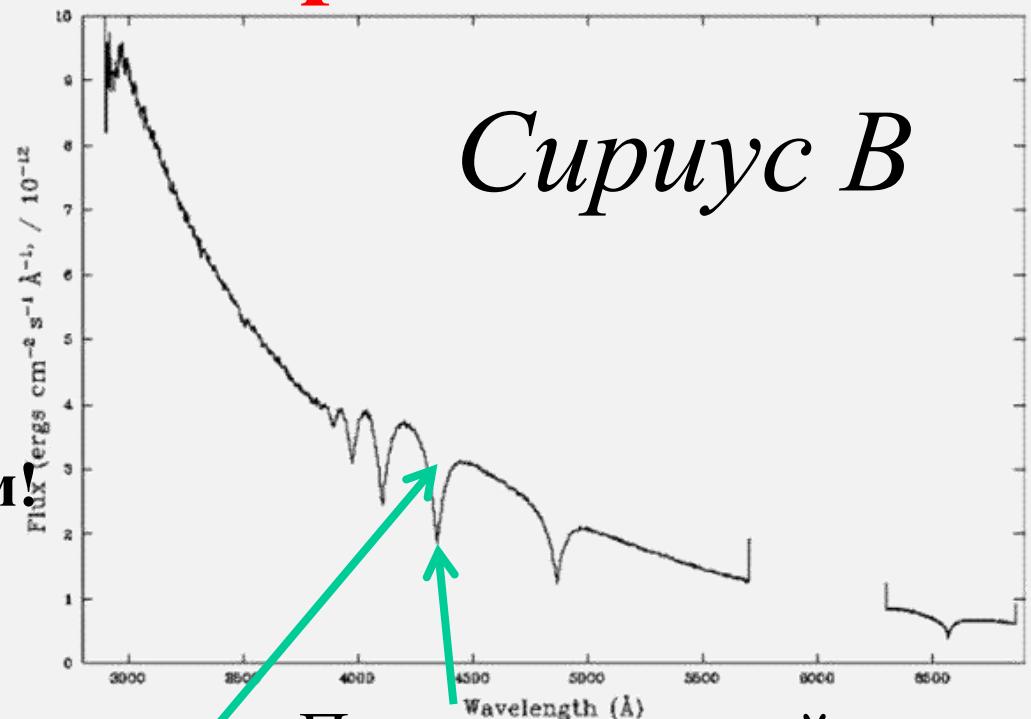


(внутренняя часть  
часто – углерод)

# Белые карлики



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

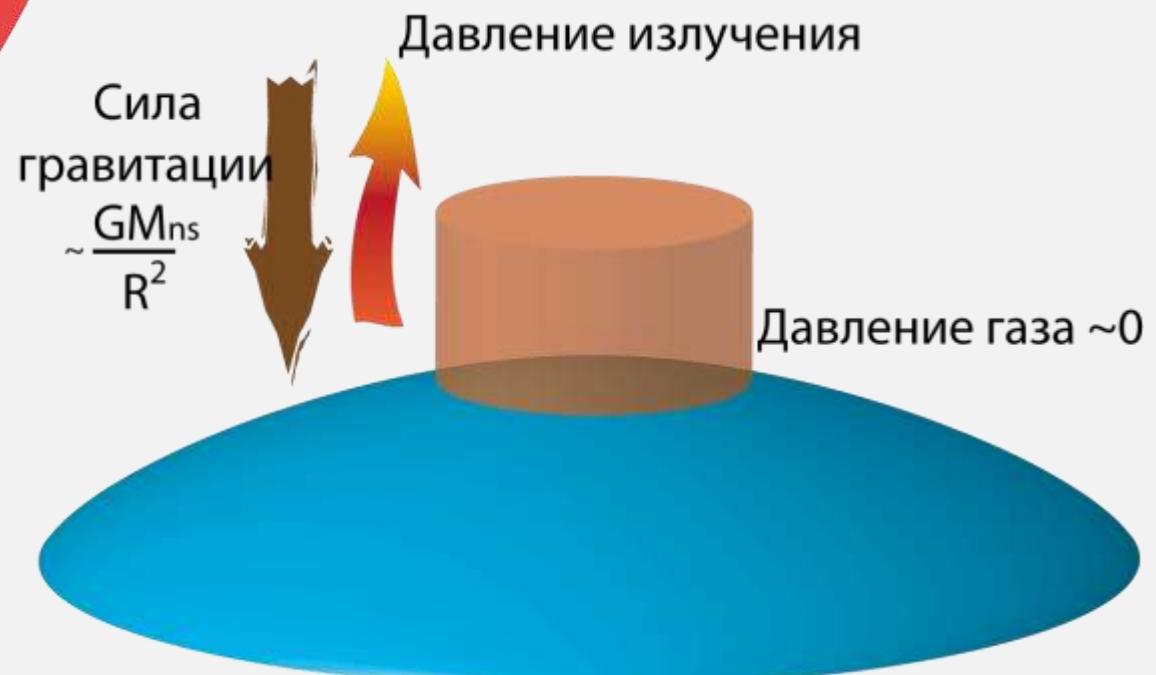
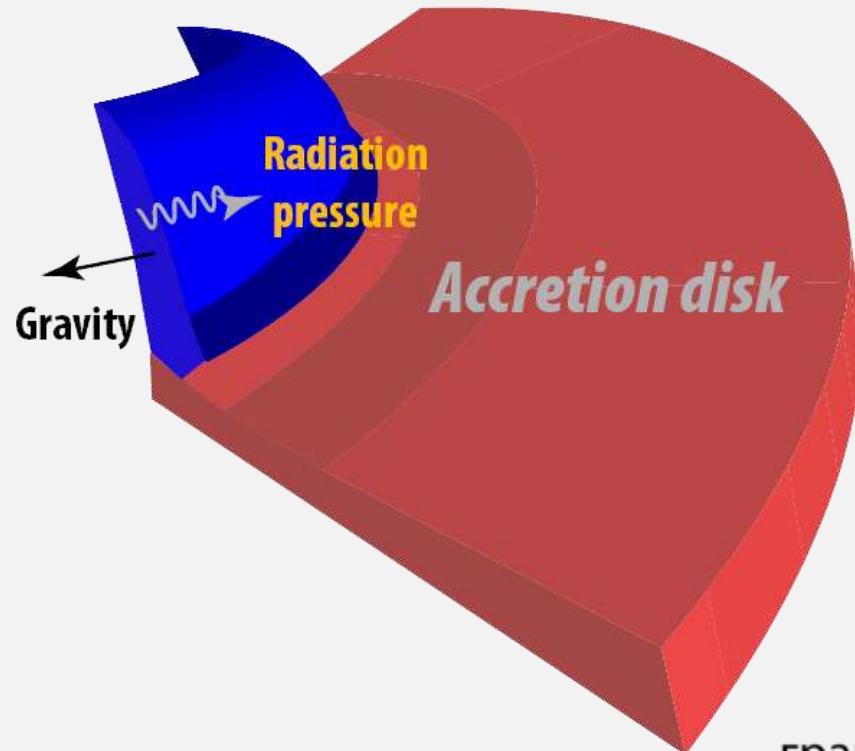
~100 миллиардов  $g$ !  
(иначе – разрушение)



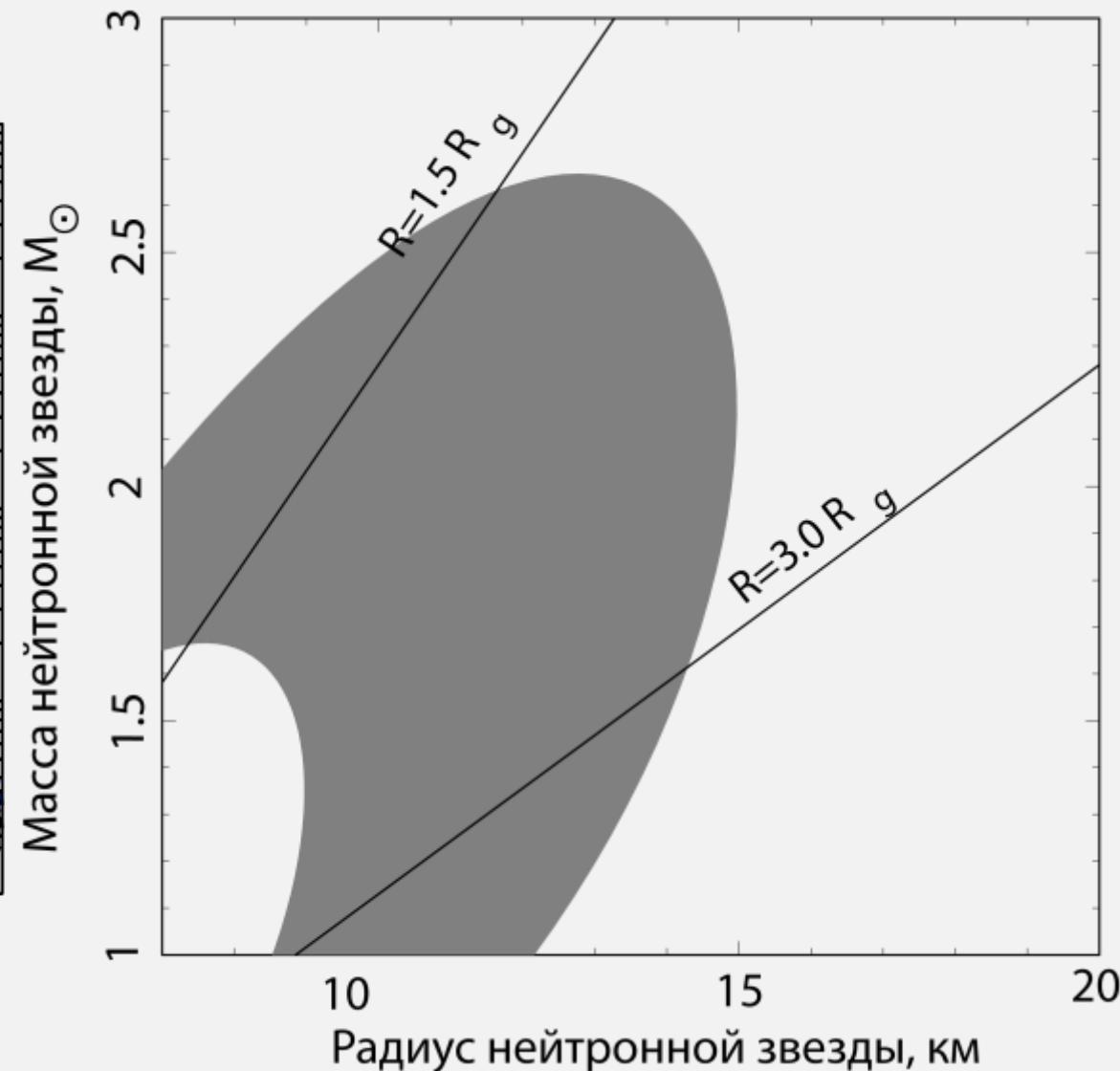
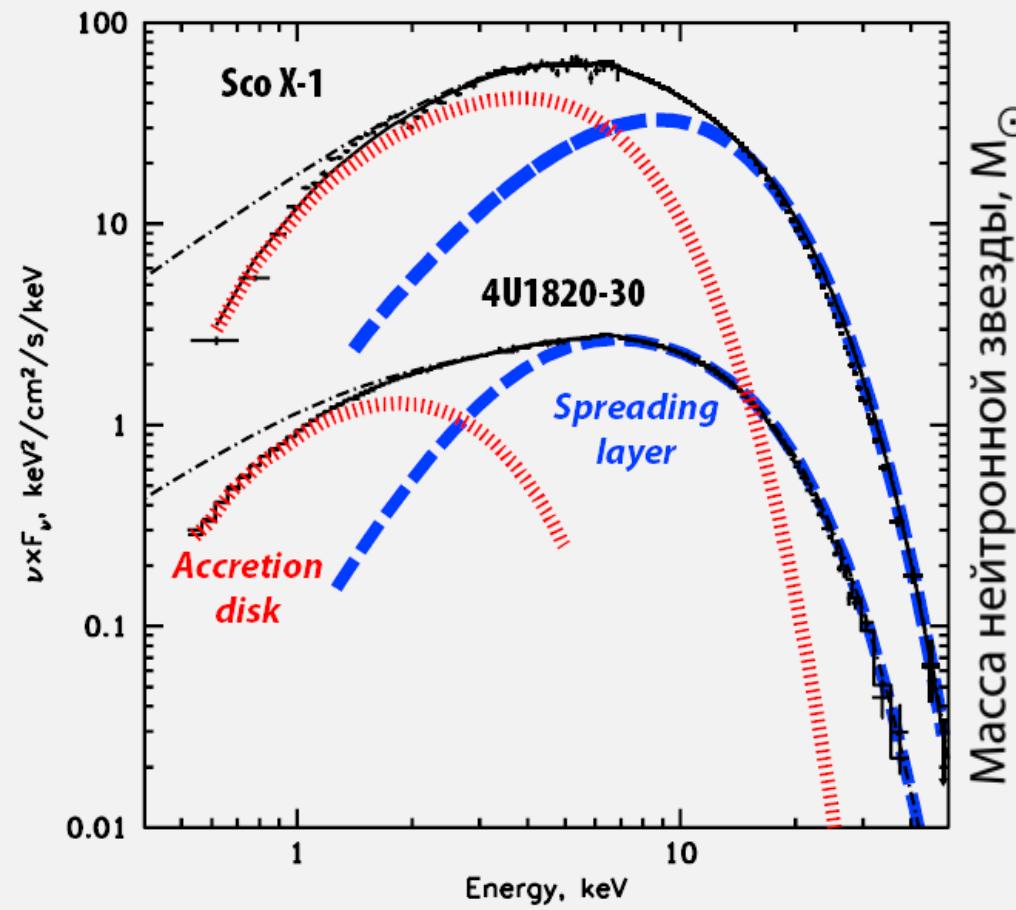
Пульсирующее излучение –  
“маяк”

# Измерение радиусов НЗ

*Spreading layer*



# Измерение радиусов НЗ -состояние материи при сверхядерных плотностях



# Термоядерное горение



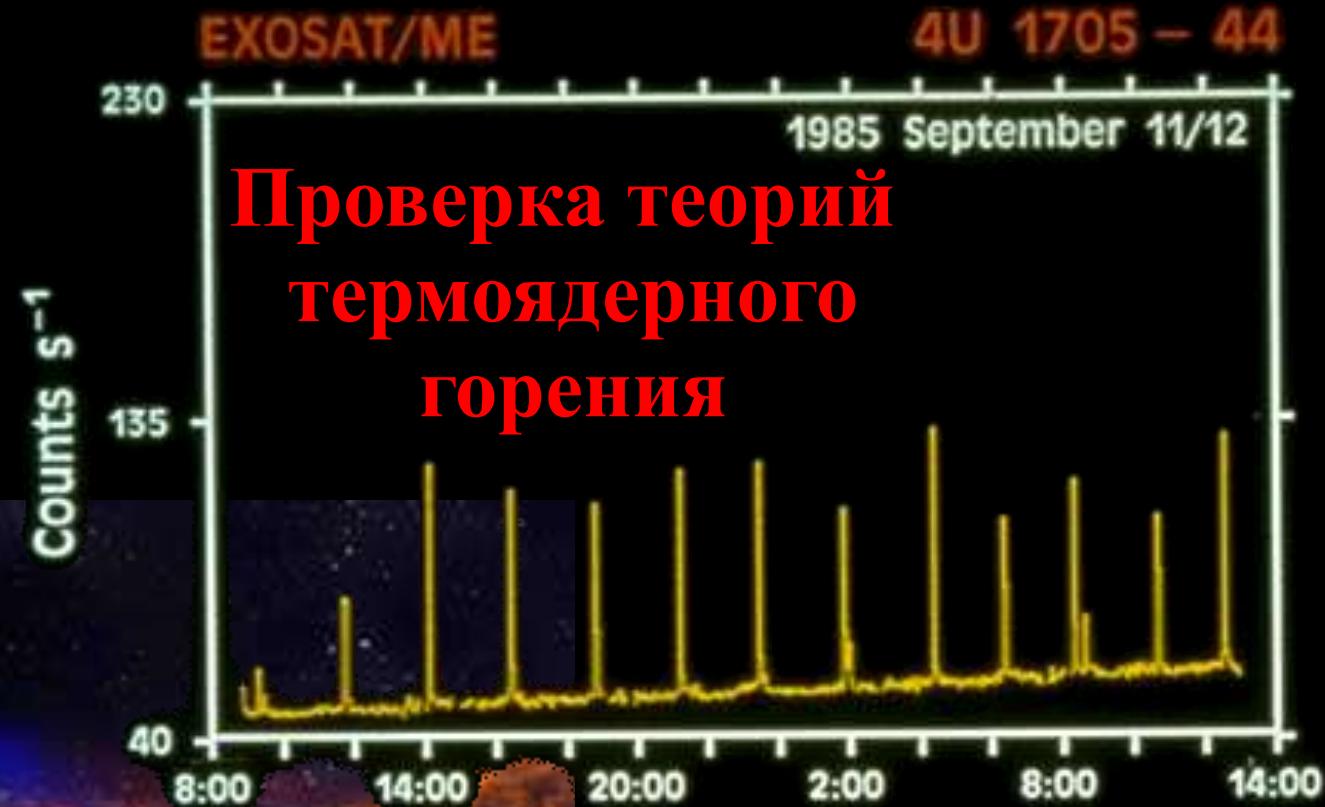
Первое испытание термоядерного  
устройства - 1951 г

# Термоядерный взрыв на поверхности НЗ (рентгеновские барстеры)



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

За взрыв сгорает  
около массы Луны

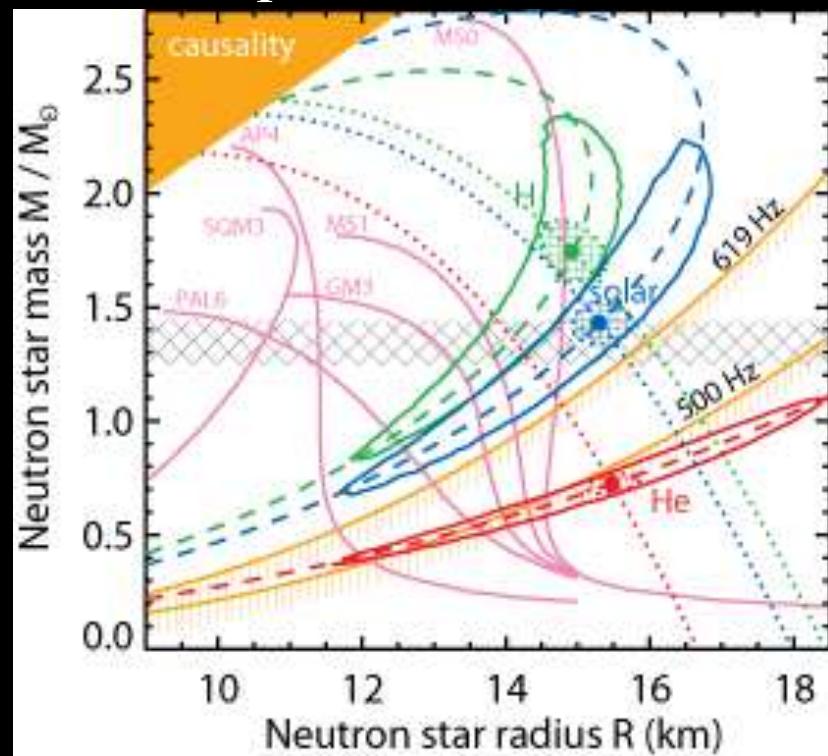


В Галактике известны  
системы в которых такие  
взрывы происходят  
каждые 3-4 часа!

# Состояние вещества при сверхядерных плотностях



Кварковые звезды,  
основное состояние  
материи?



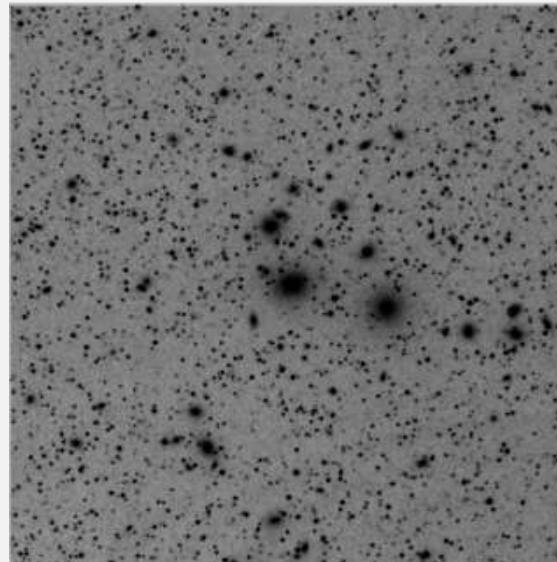
# Темная материя



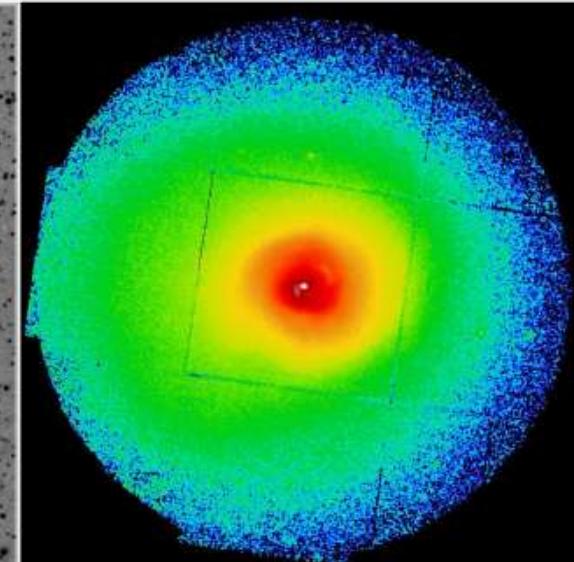
**Скорости движения галактик в связанных системах дают оценку массы скопления гораздо больше видимой массы**

**Вид скоплений в разных диапазонах энергий**

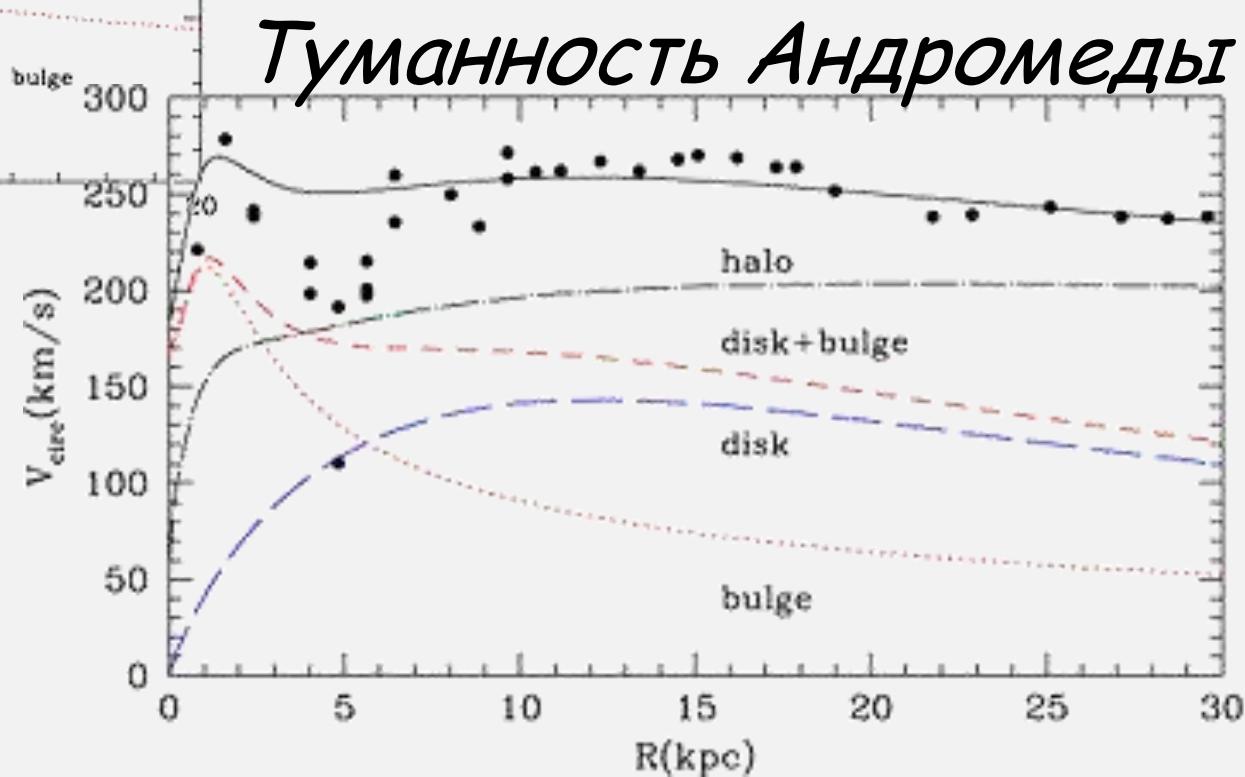
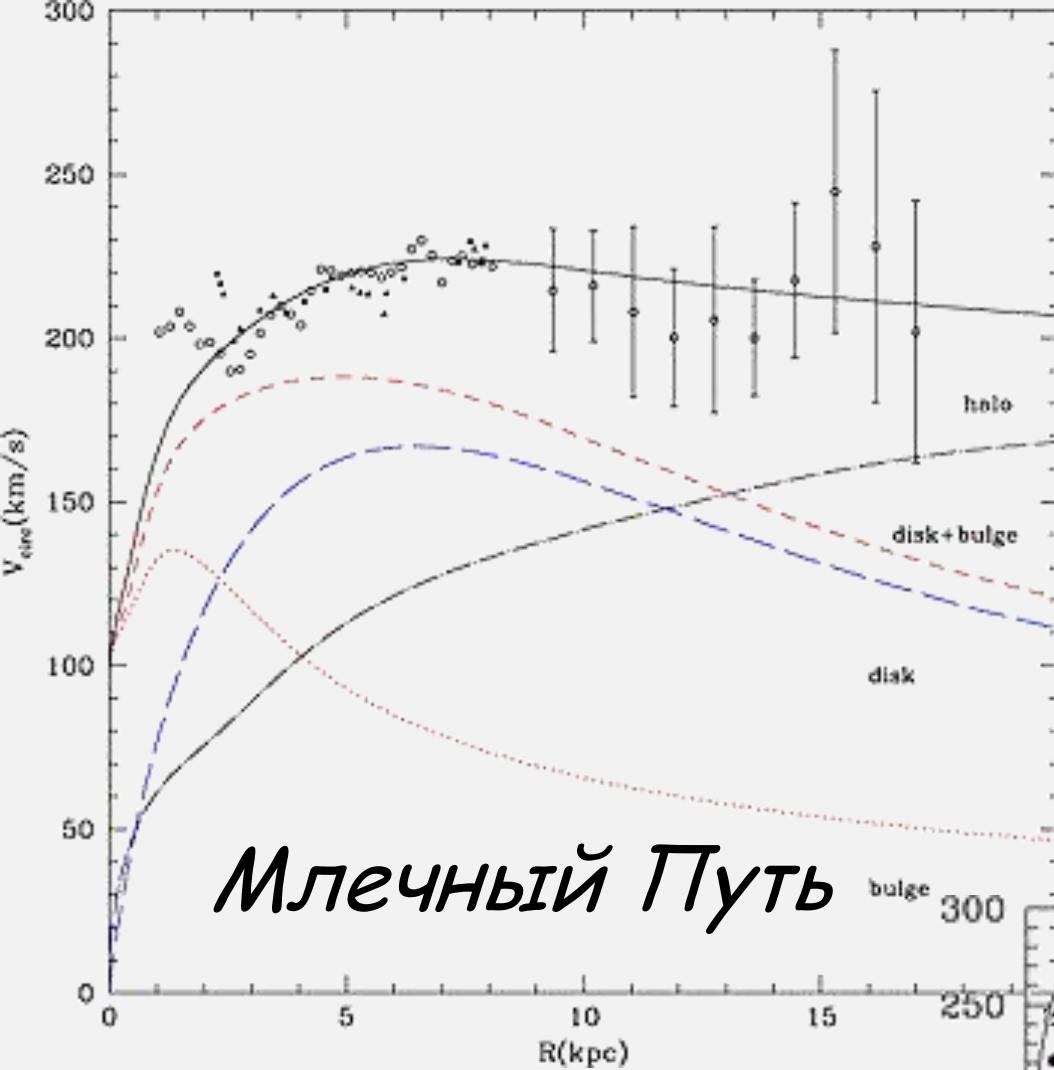
Оптика



Рентген



# Свидетельства о темной материи из кривых вращения галактик



# Линза – скопление галактик A2218

Основная масса – темная материя

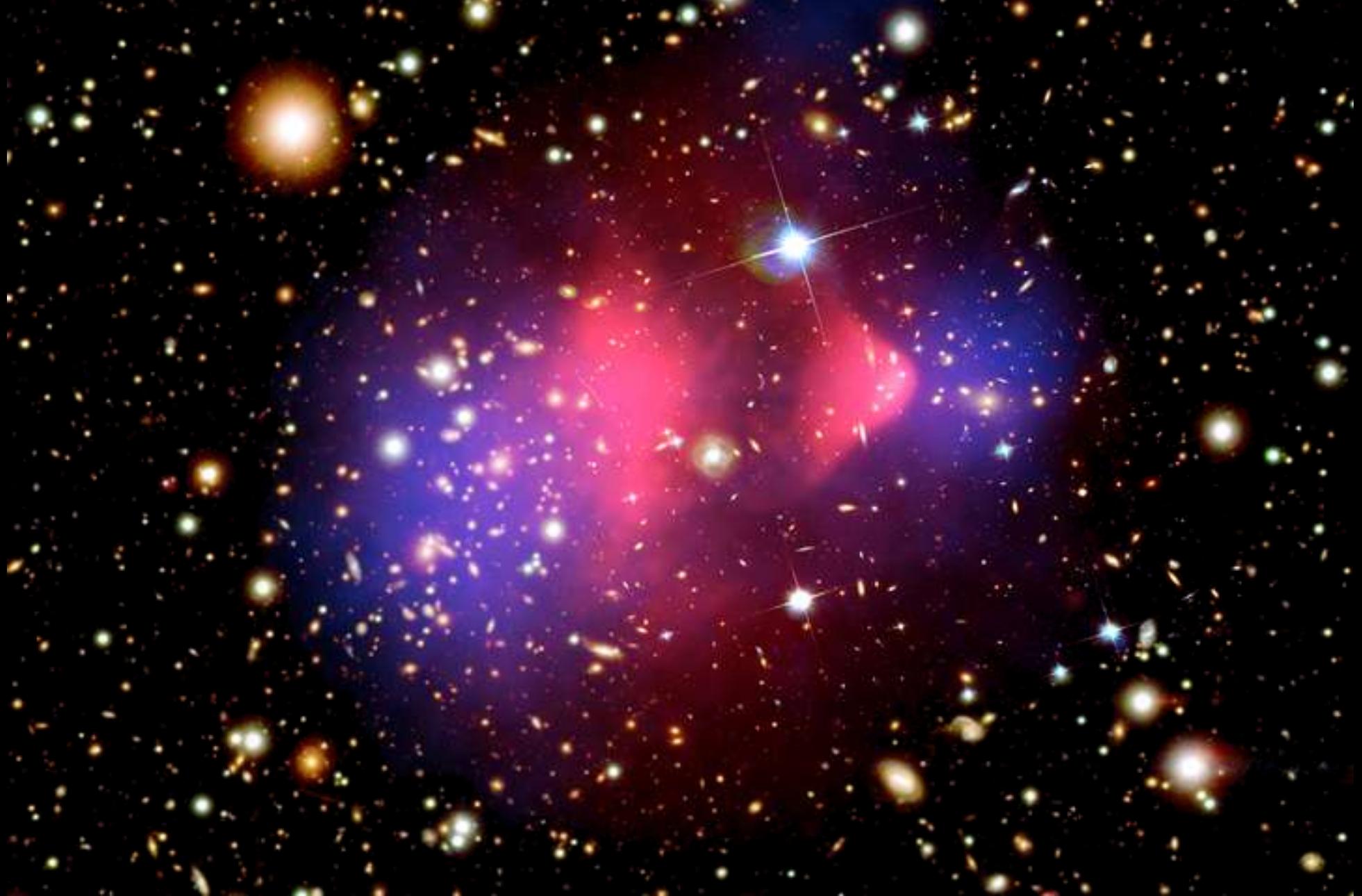


Galaxy Cluster Abell 2218

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

HST • WFPC2

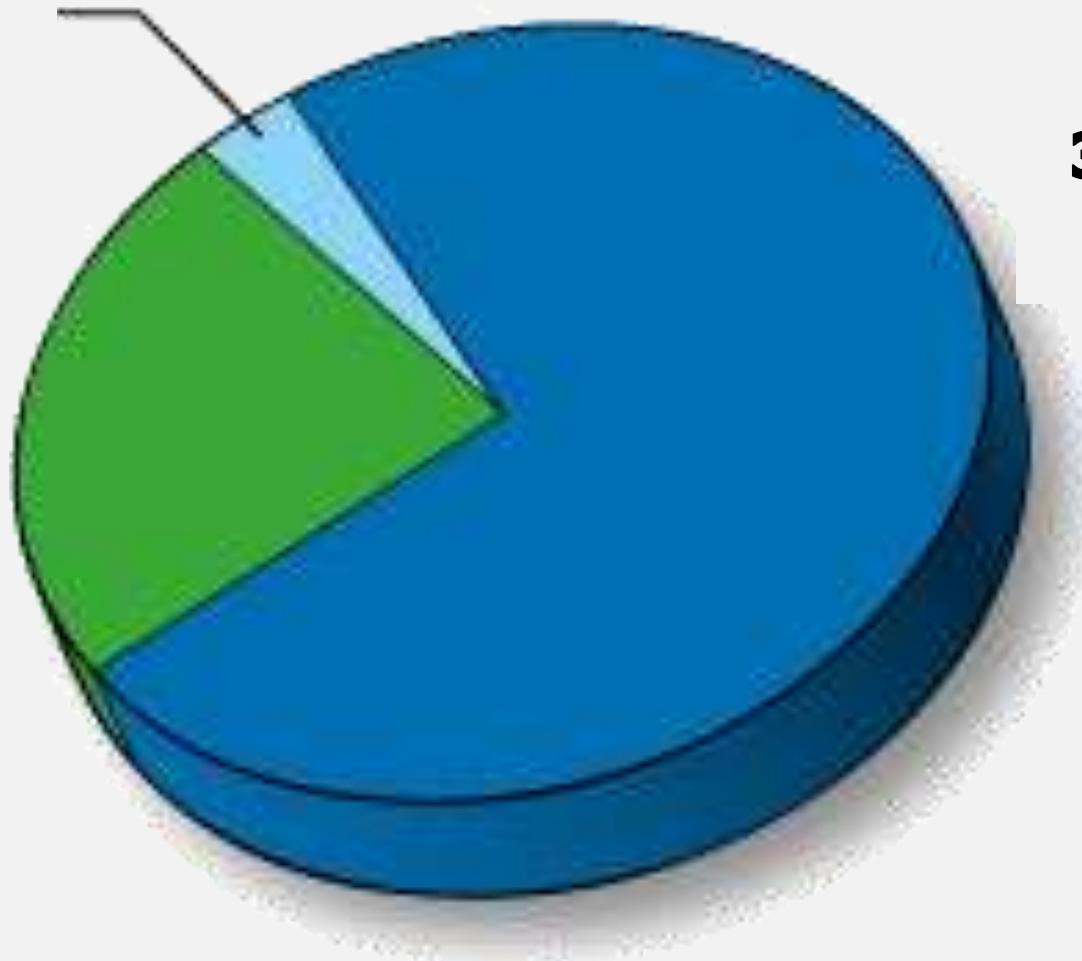
**Столкновения отделили  
темную материю от обычной**

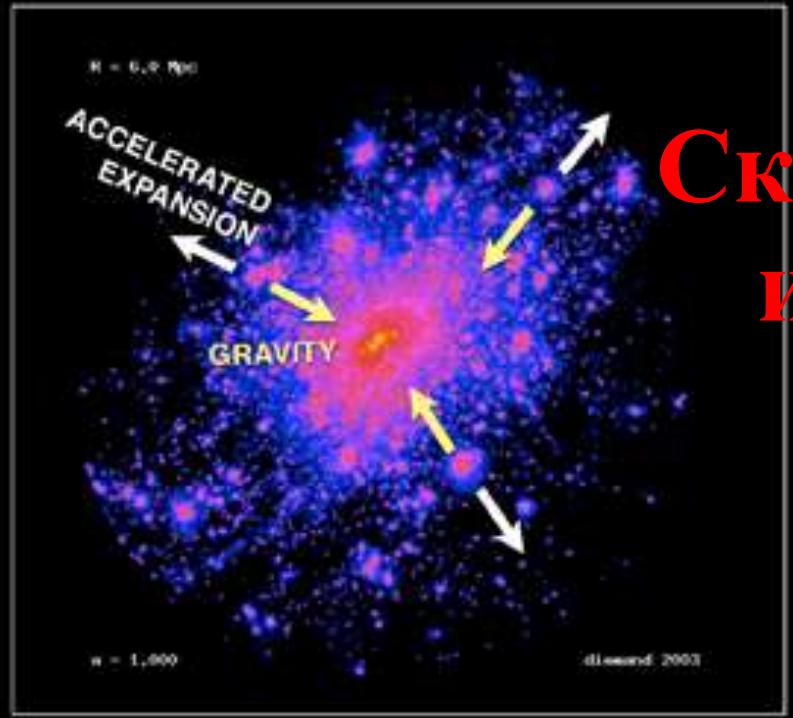


**Обычная  
материя**  
**4.6%**

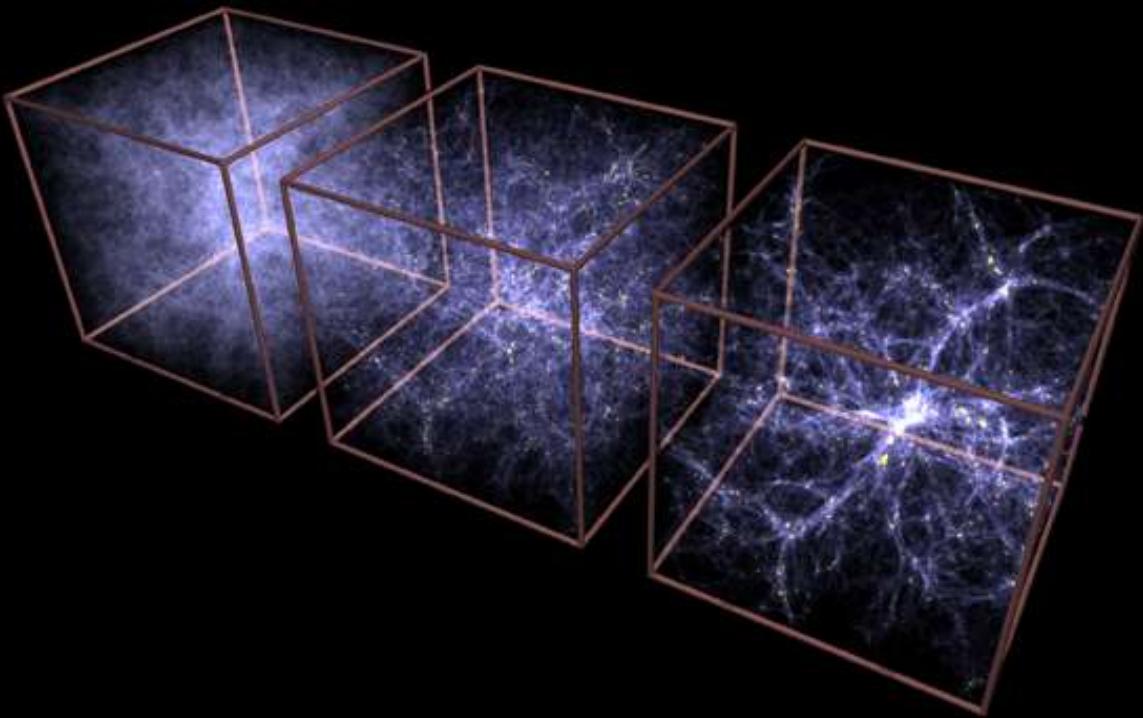
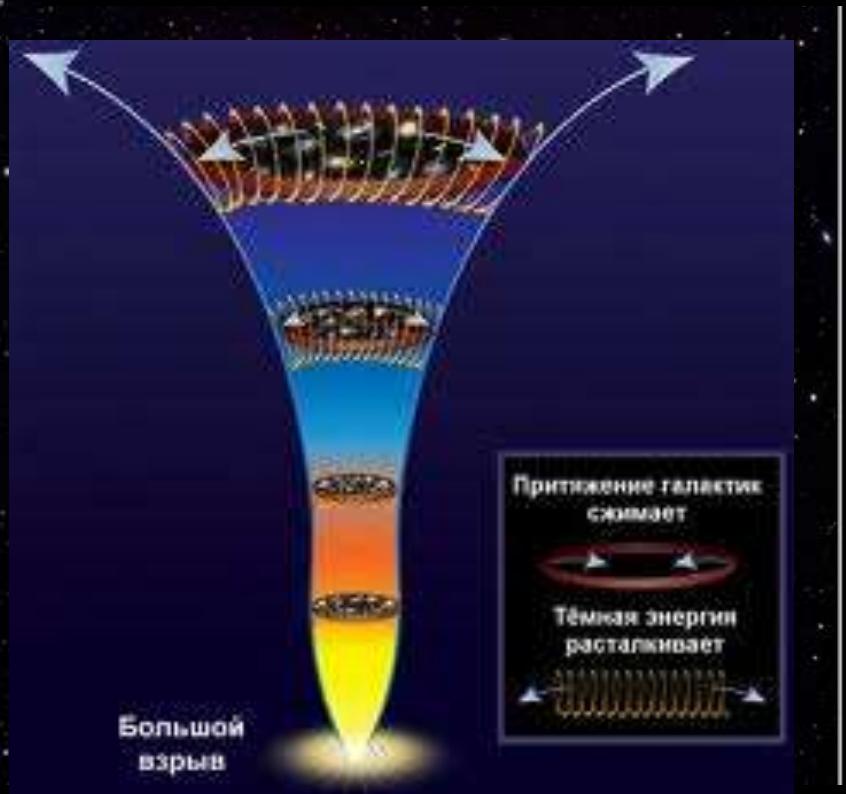
**Темная  
энергия**  
**72%**

**Темная  
материя**  
**23%**

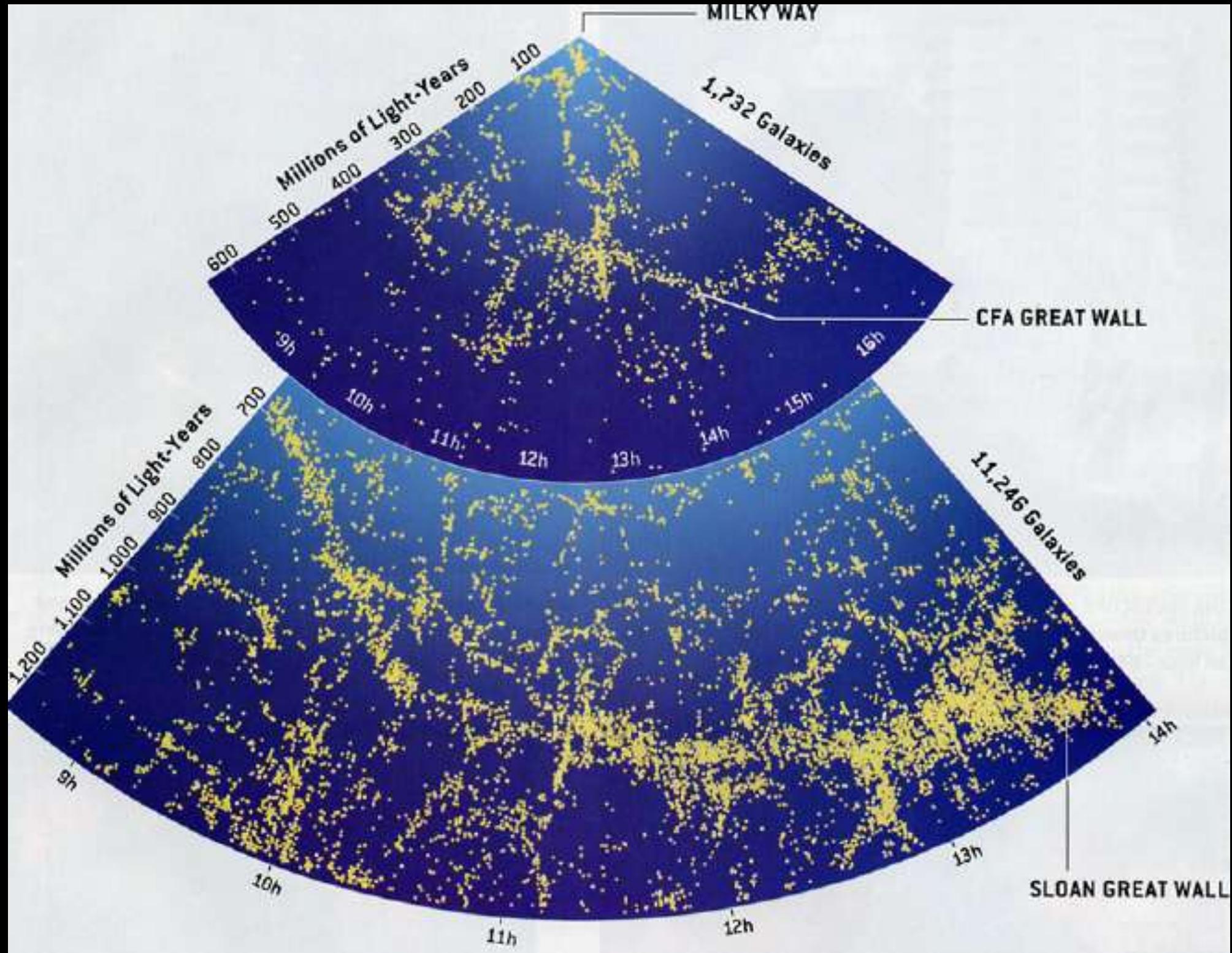




# Скорость роста структур – измерение параметров Вселенной



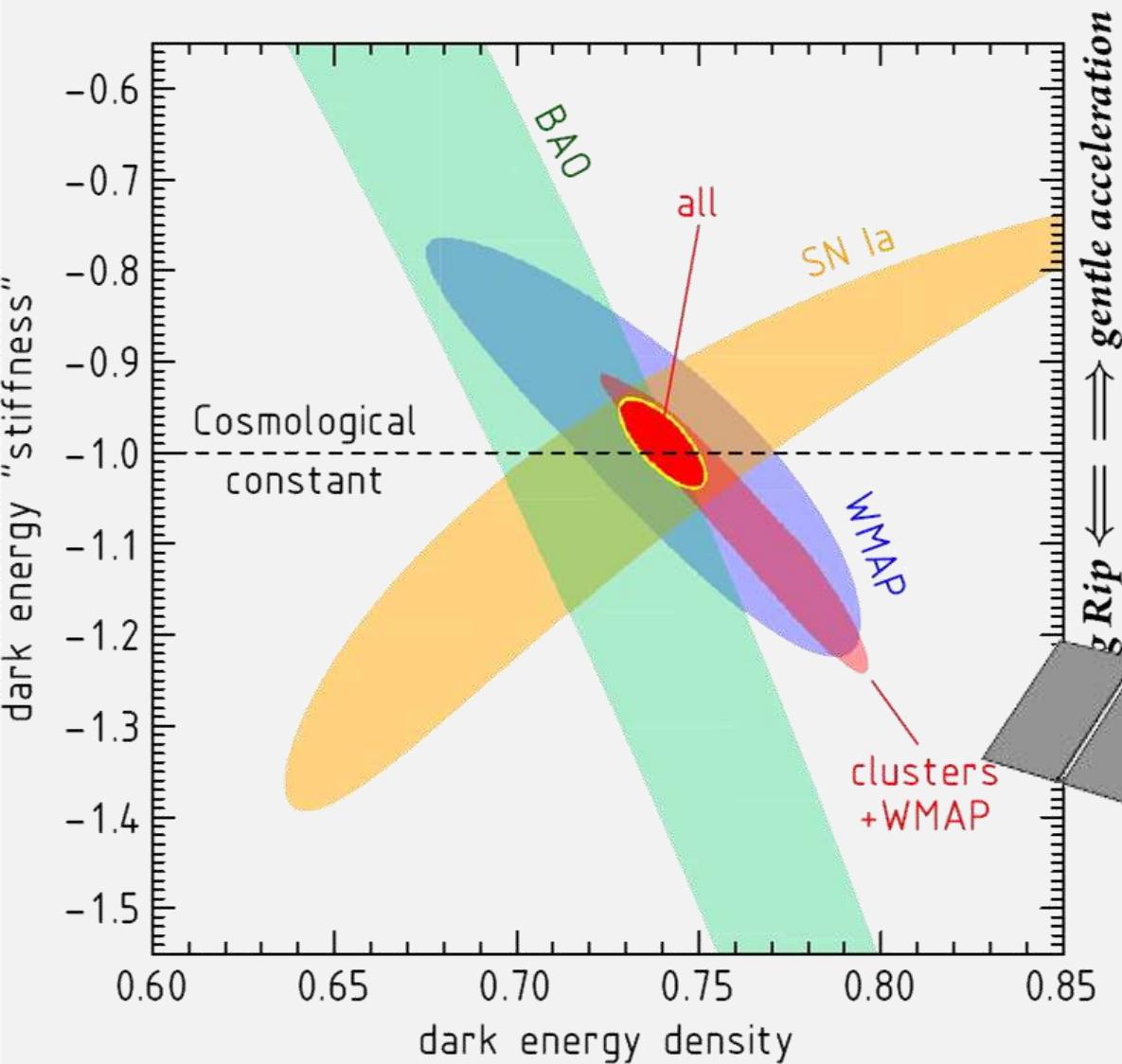




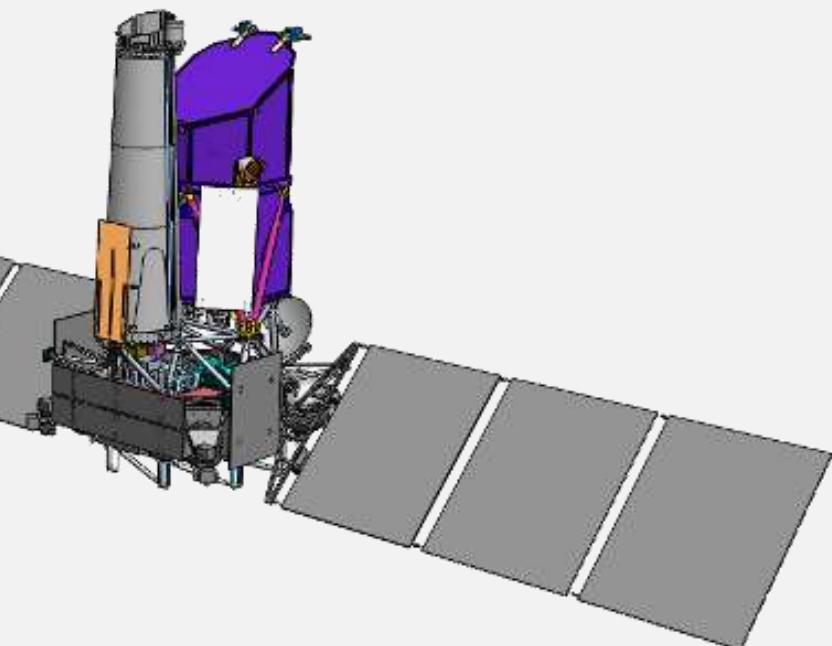
# Множество галактик. Обзор неба SDSS



# 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