

# Астрофизические лаборатории для исследования Вселенной

*М. Ревнивцев*

*Институт Космических  
Исследований РАН*



+

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

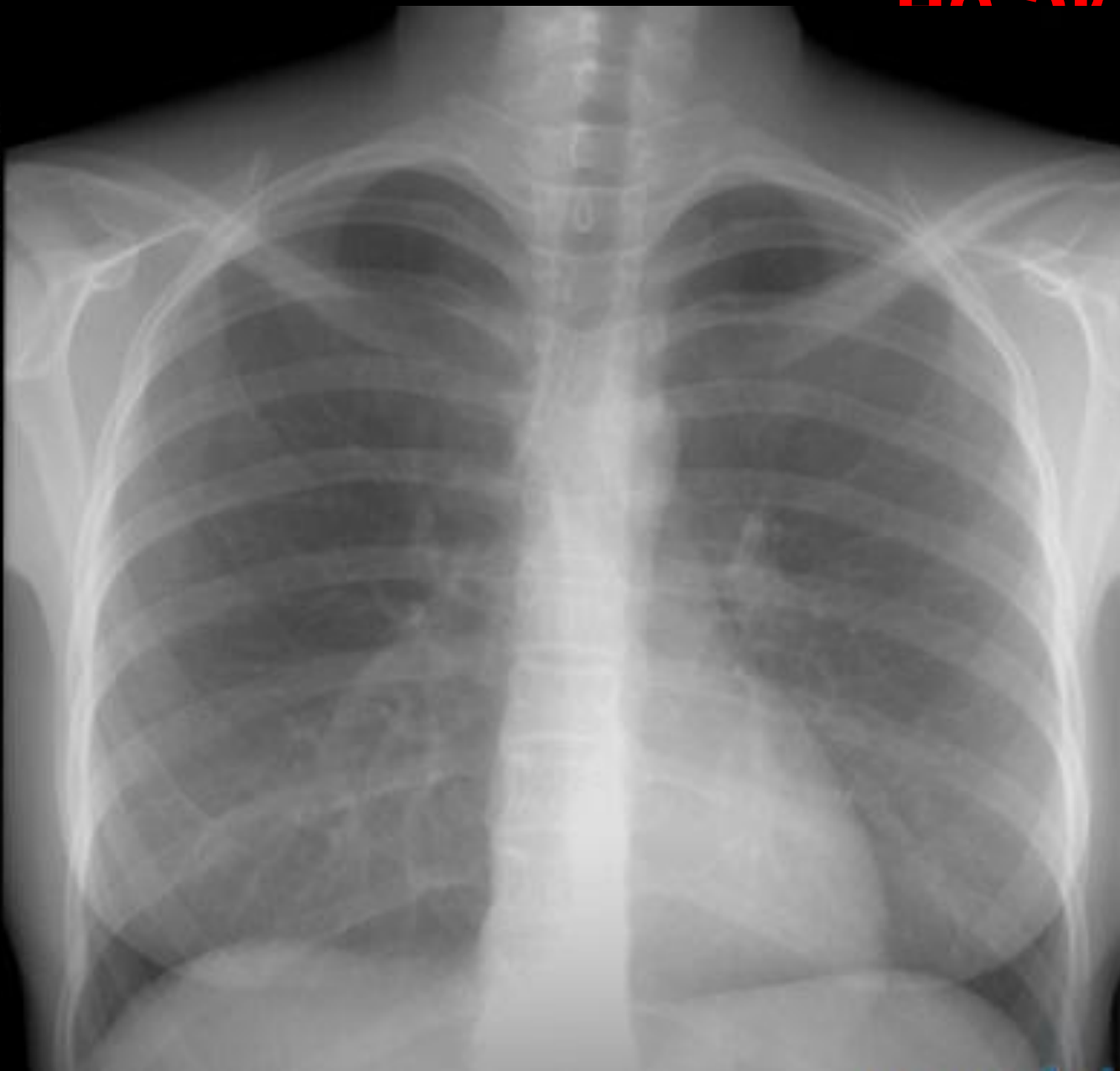
—

Безконтактные методы  
исследования, нет влияния на  
постановку эксперимента

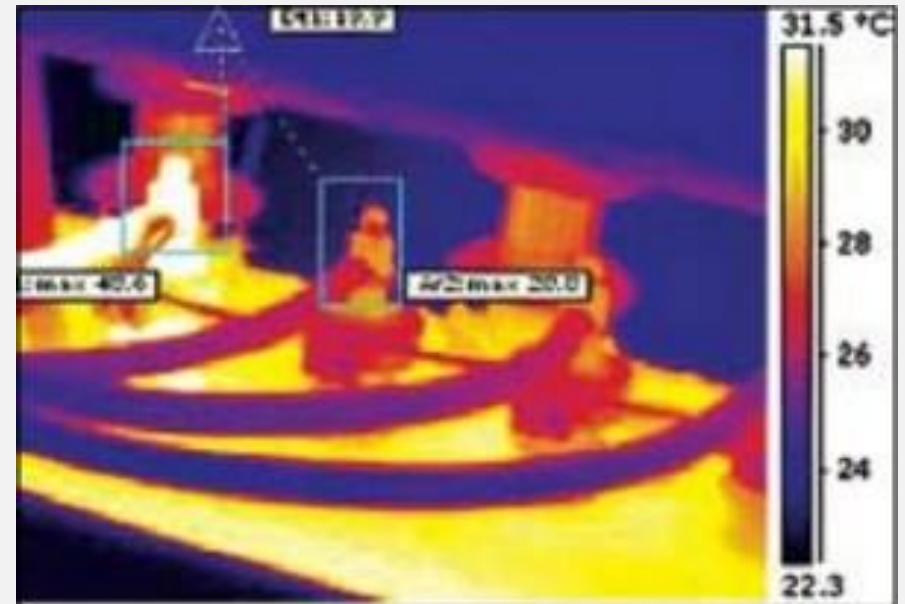
+ безопасно

# Бесконтактные методы – на элизотика

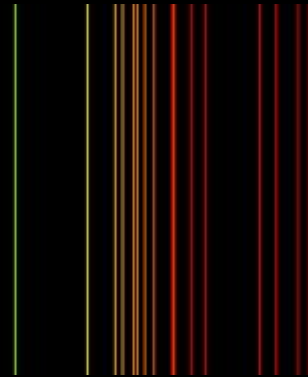
PATIENT: 3941 399820171 1



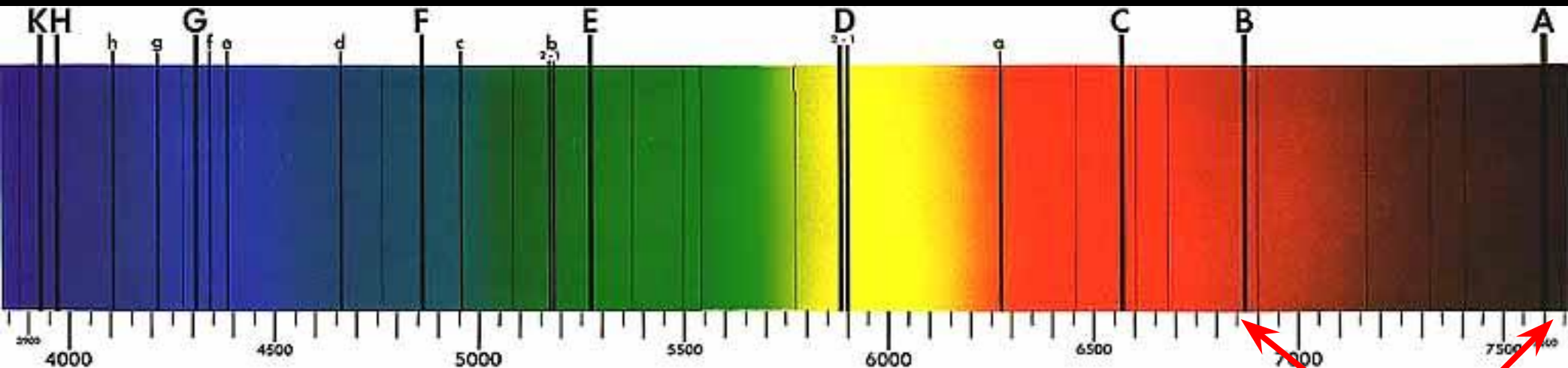
# Бесконтактные методы – не экзотика



# Бесконтактные методы – не экзотика



Спектр Солнца



Ca

H

Fe

Na

H

O<sub>2</sub>

# Измерения масс небесных тел

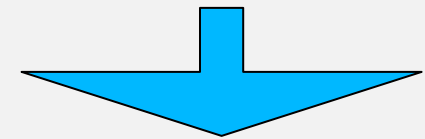
$$\frac{a^3}{(P/2\pi)^2} = G(M + m),$$



расстояние

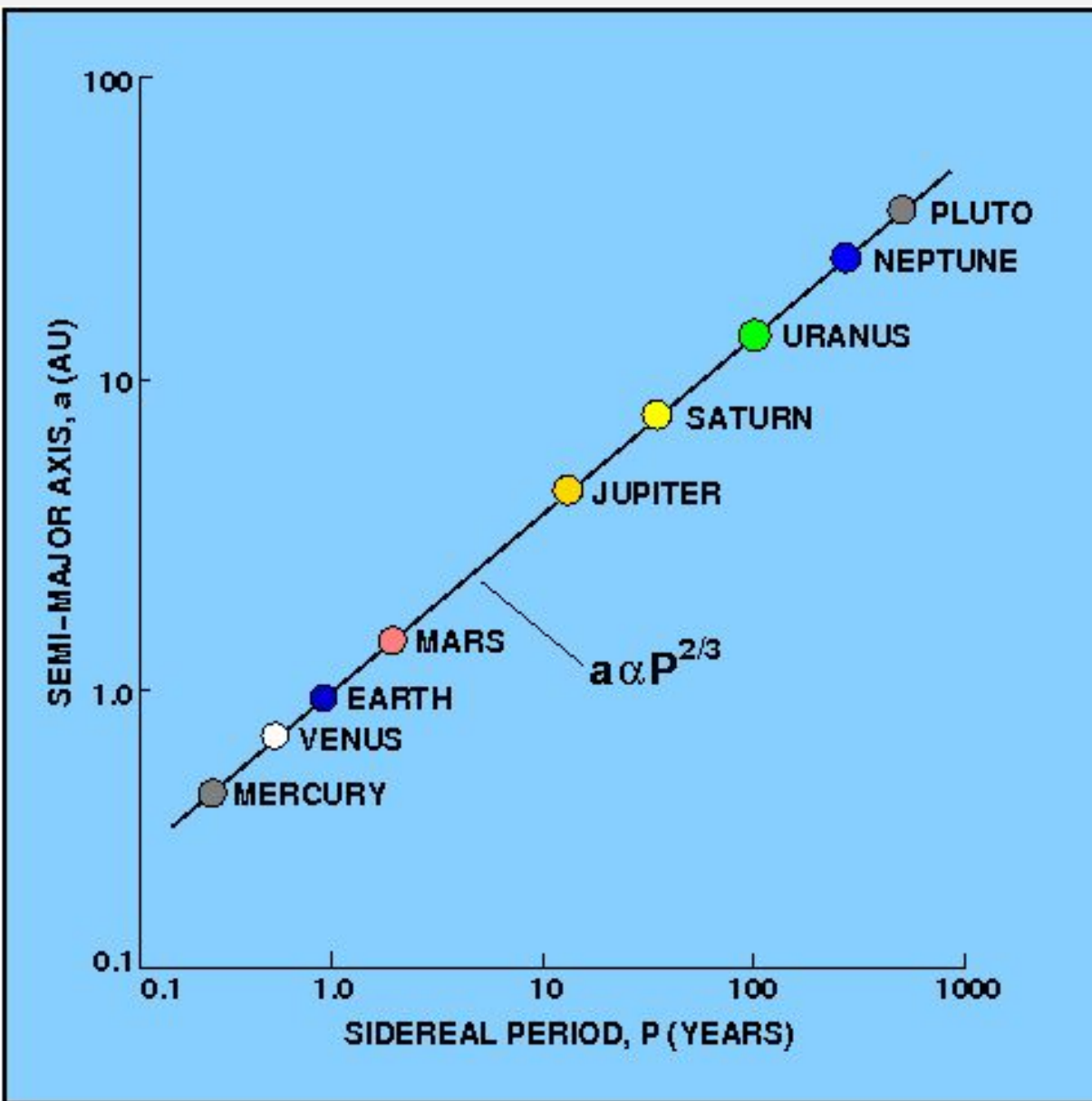
+

период  
обращения



Масса  
центрального  
тела

# Измерения масс небесных тел

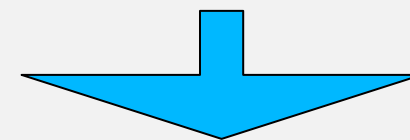


$$\frac{a^3}{(P/2\pi)^2} = G(M + m),$$

расстояние

+

период  
обращения



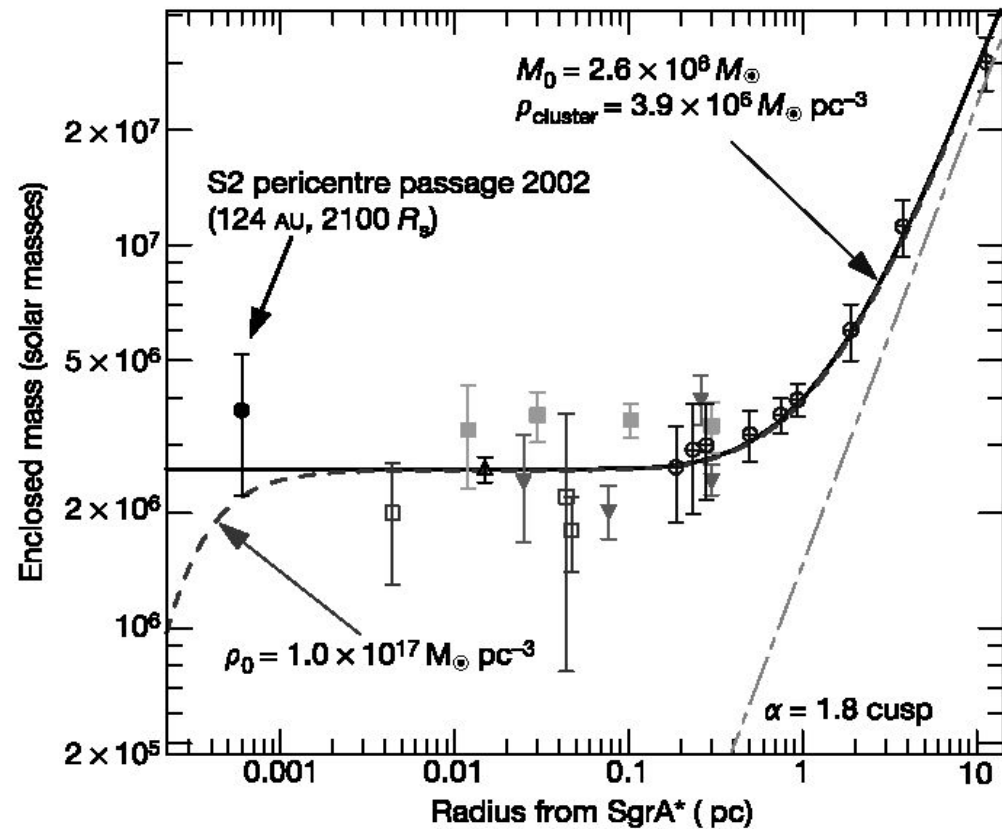
Масса  
центрального  
тела



# Сверхмассивная черная дыра в нашей Галактике: Стрелец А\*

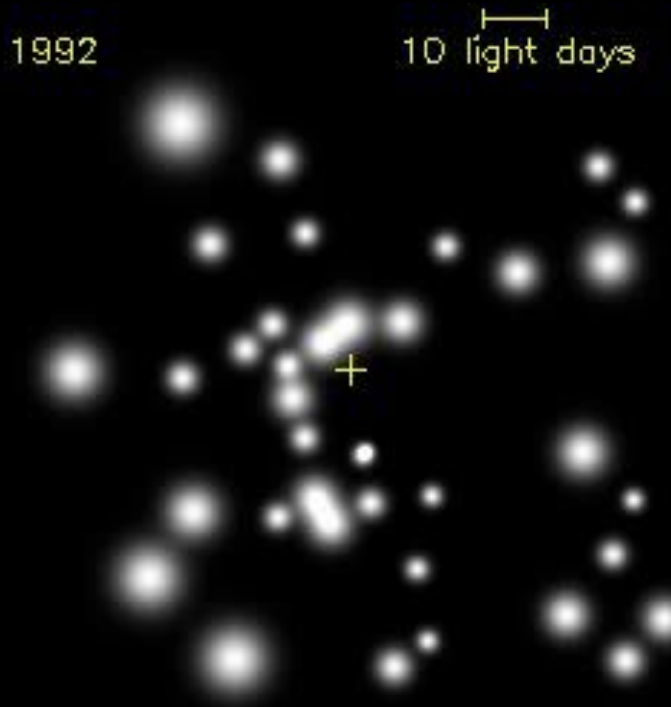
Черные дыры

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





# Непосредственное измерение траекторий звезд



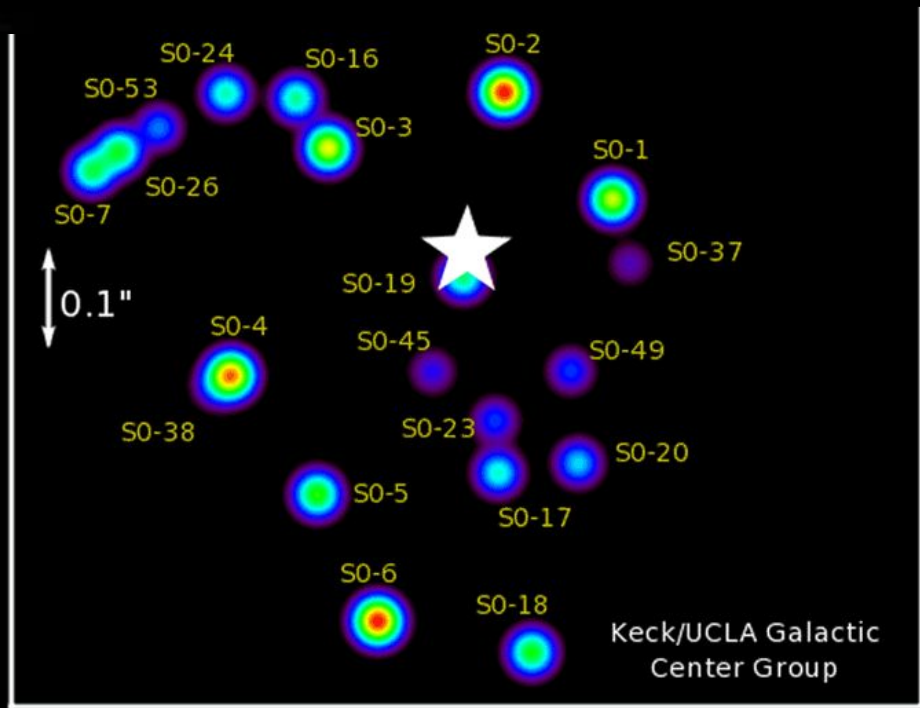
Телескоп  
VLT (8м)

вокруг  
Sgr A\*

Внутри размера  
~солнечной системы  
~3 миллиона  
Солнечных масс

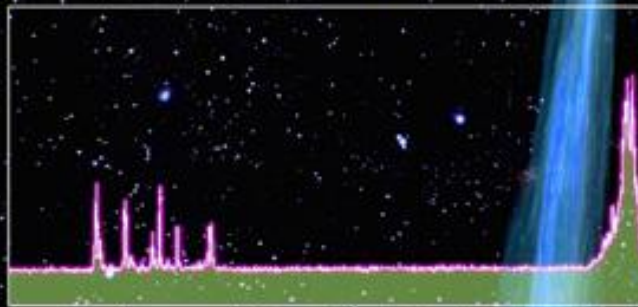
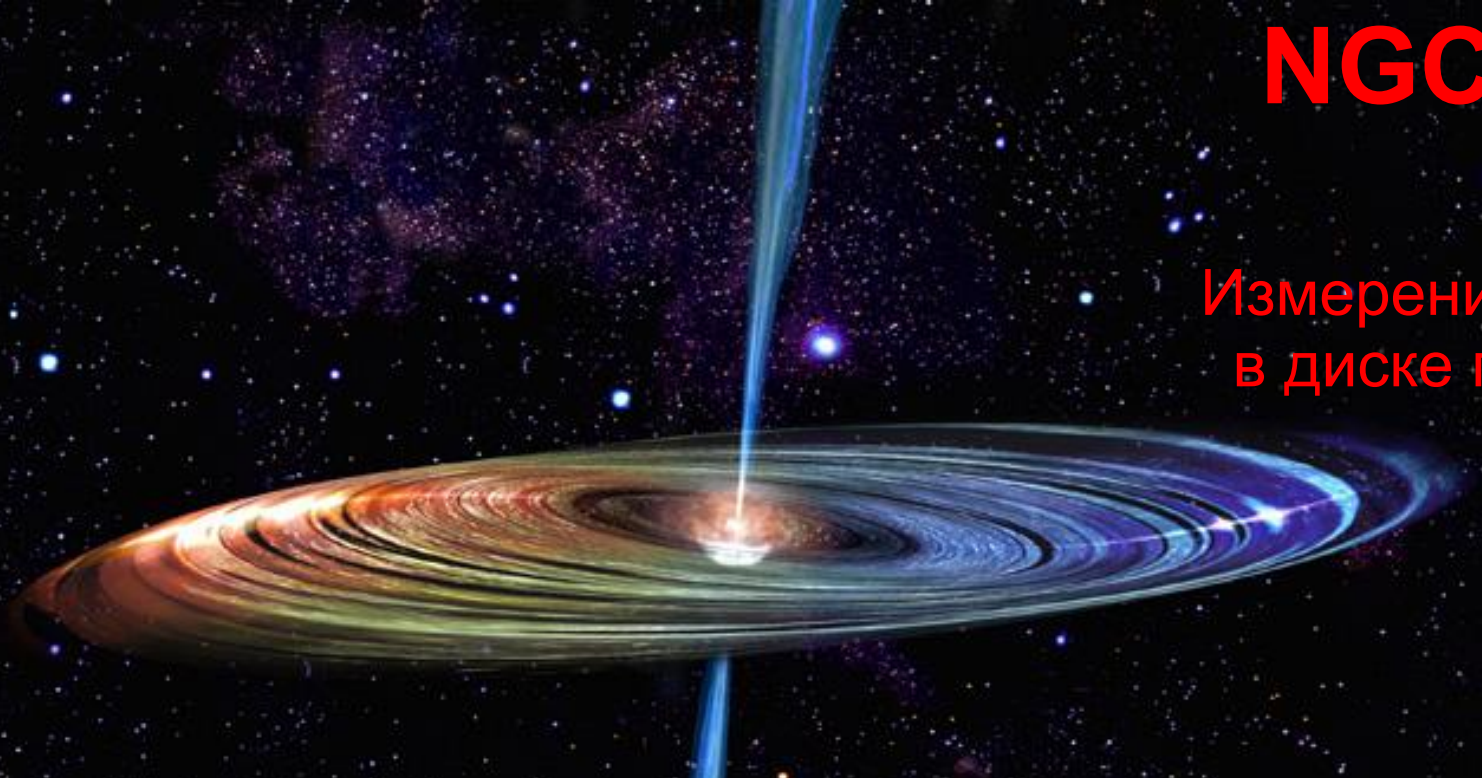
1995.5

Телескоп  
Кекк (10м)



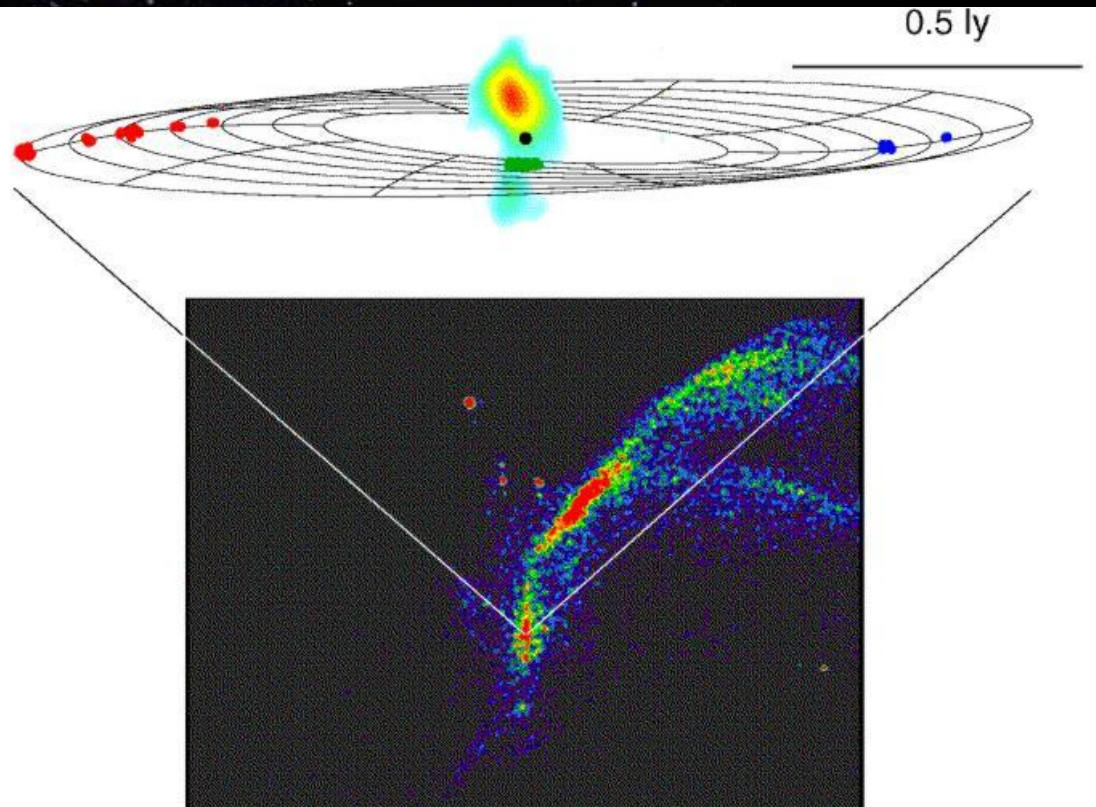
# NGC 4268

Измерение скоростей  
в диске по мазерам



1000

0



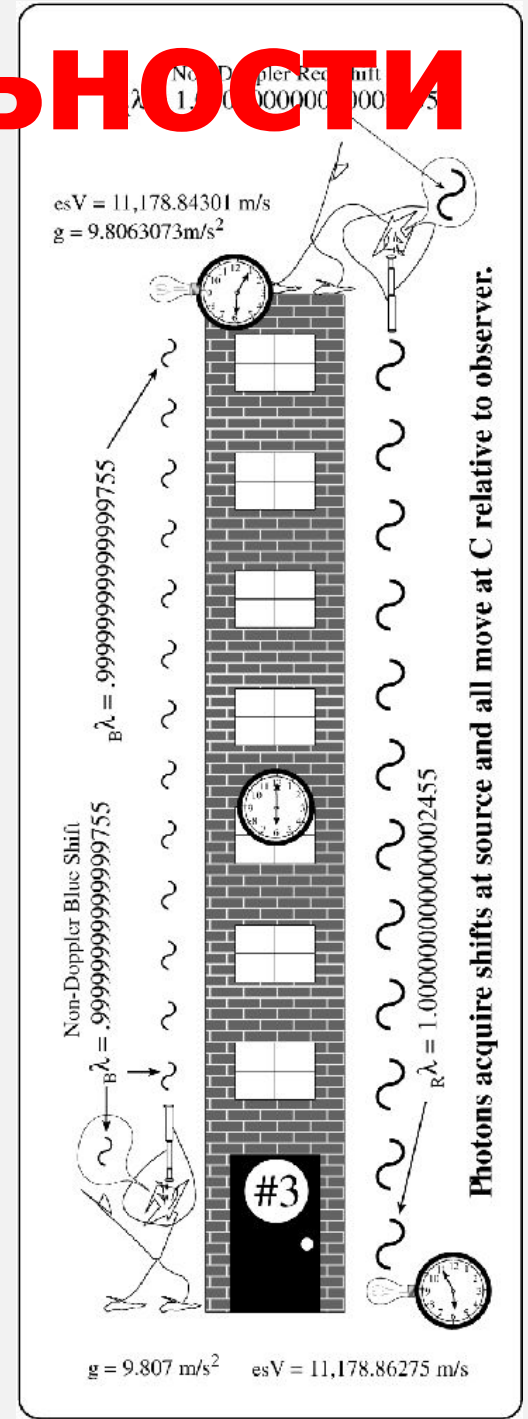


# Проверка общей теории относительности



## Эксперимент Паунда и Ребки

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

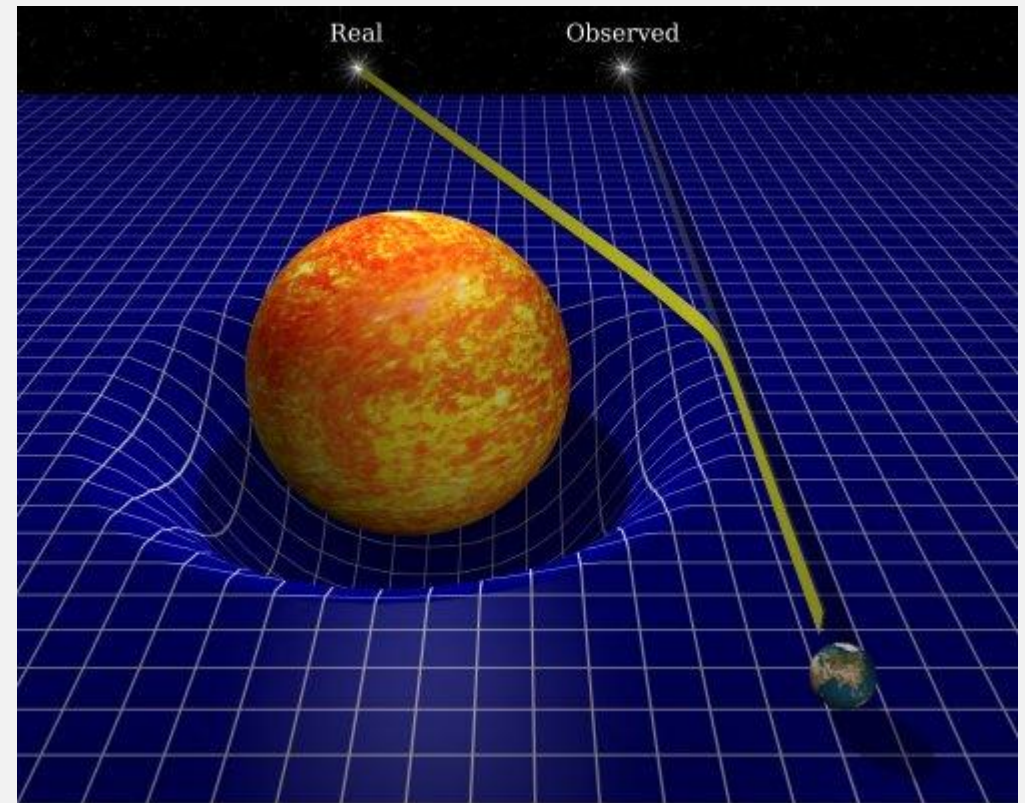
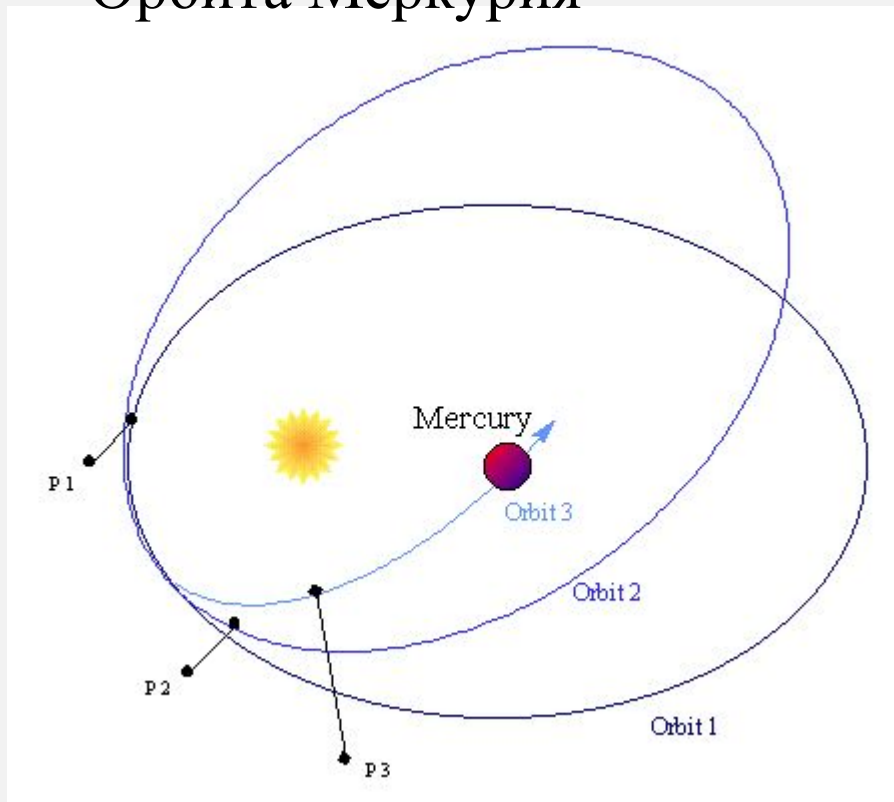




# Тесты в Солнечной системе

## Отклонение света

### Орбита Меркурия



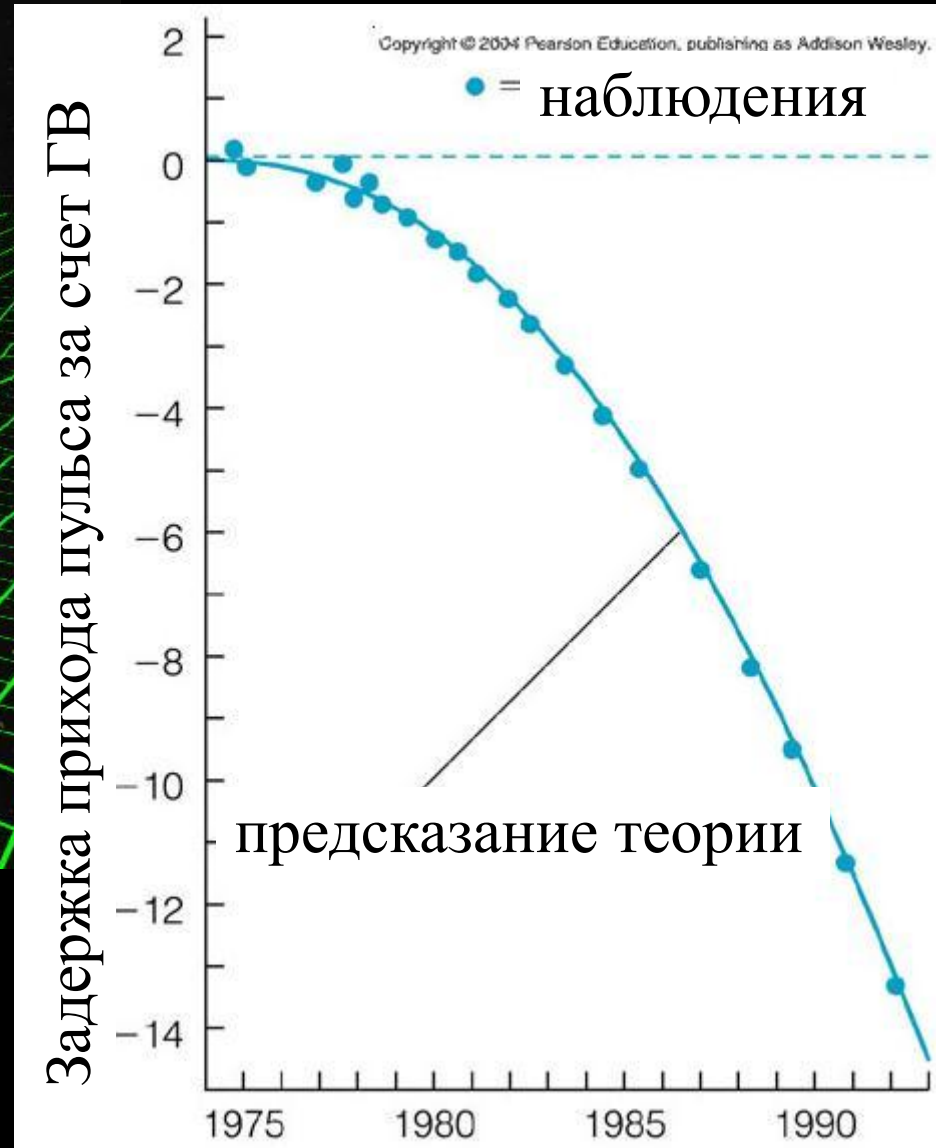
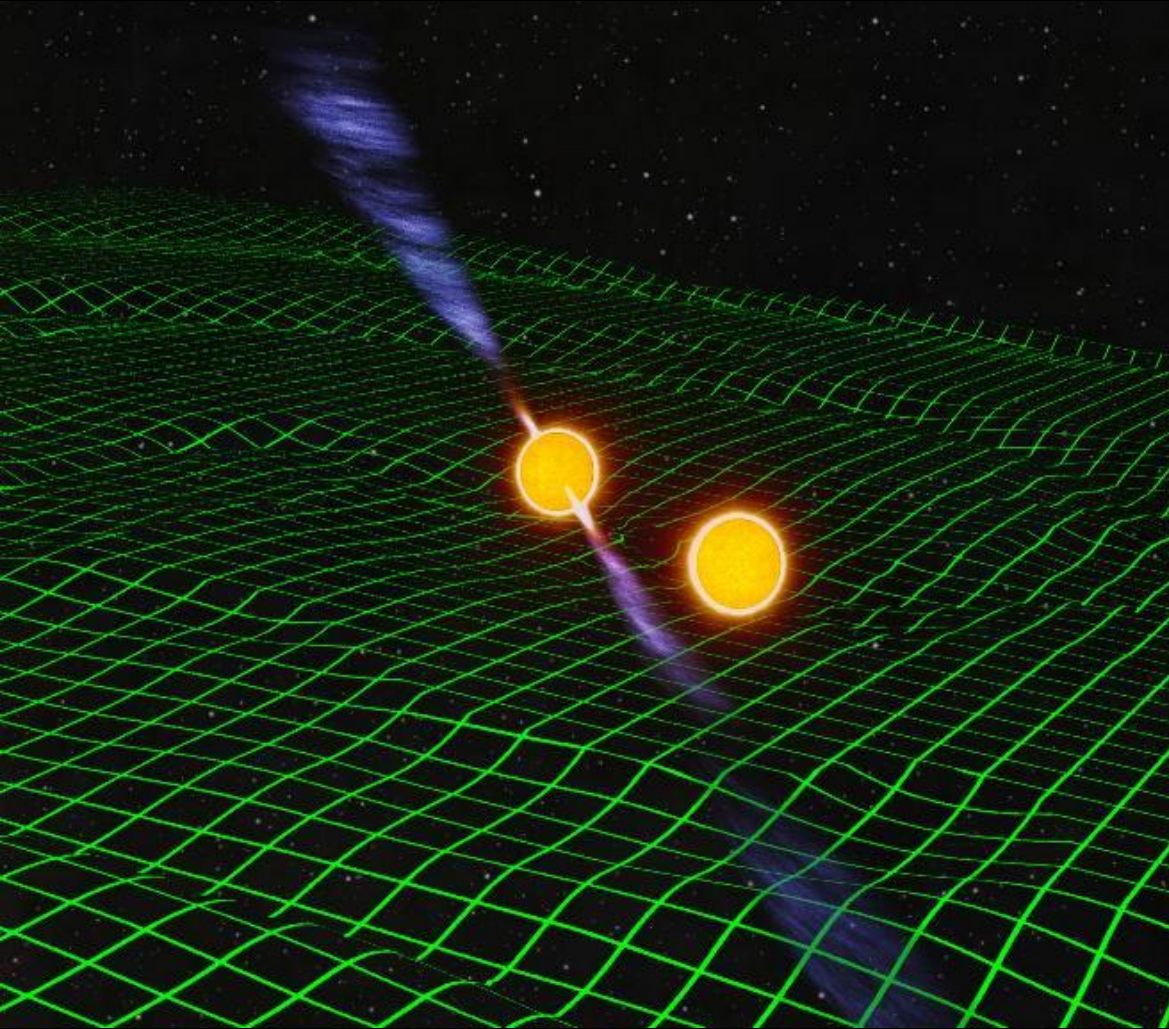
20 May 1947  
25 Feb 1952  
30 Jun 1973

Brazil  
Sudan  
Mauritania

$2.01 \pm 0.27$   
 $1.70 \pm 0.10$   
 $1.66 \pm 0.19$

расчет = 1.75 угл.секунд

# Гравитационные волны





# Лучший случай - PSR J0737-3039

## Две нейтронные звезды

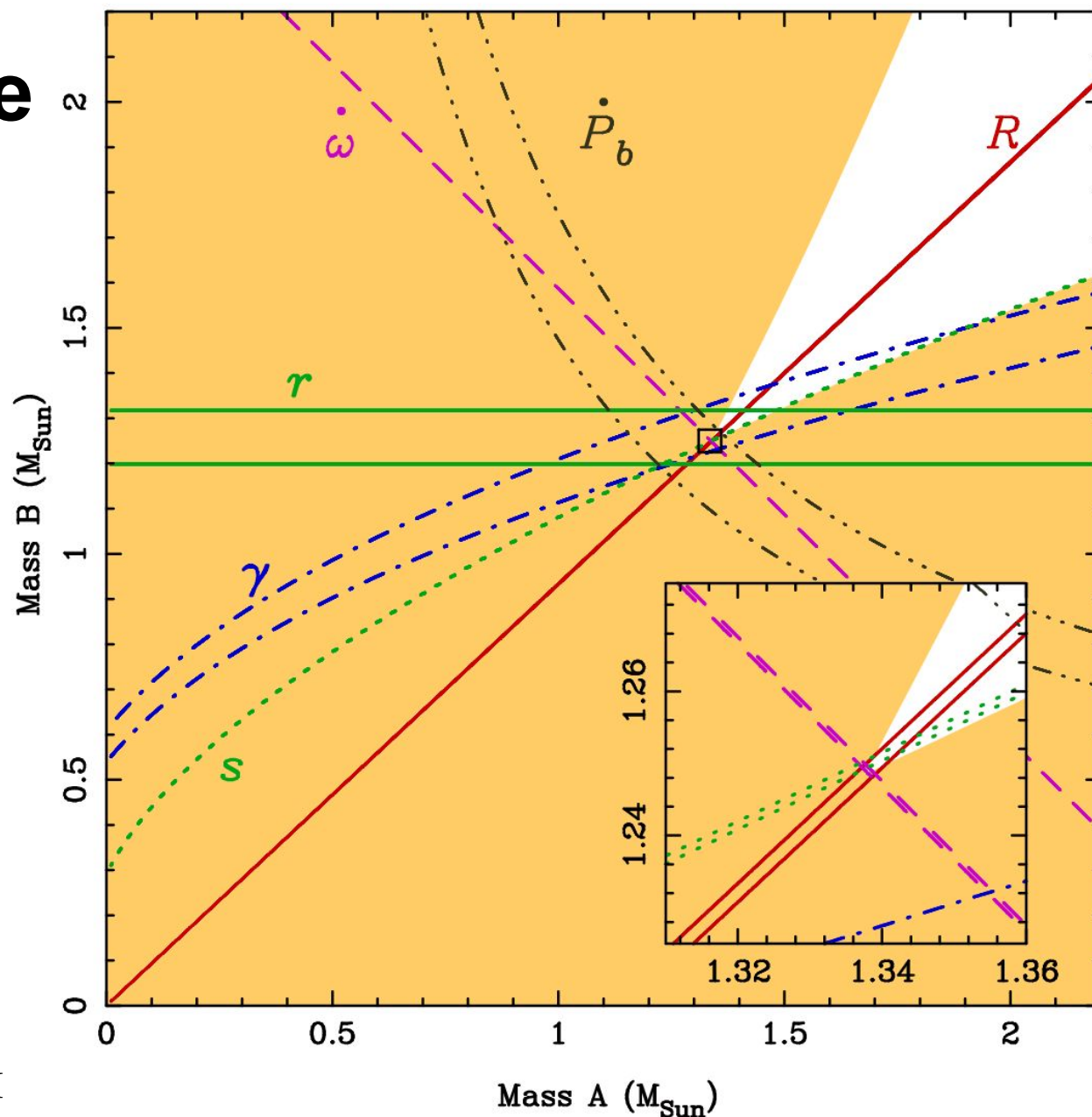
R-отношение масс (орбиты)

W-прецессия орбиты

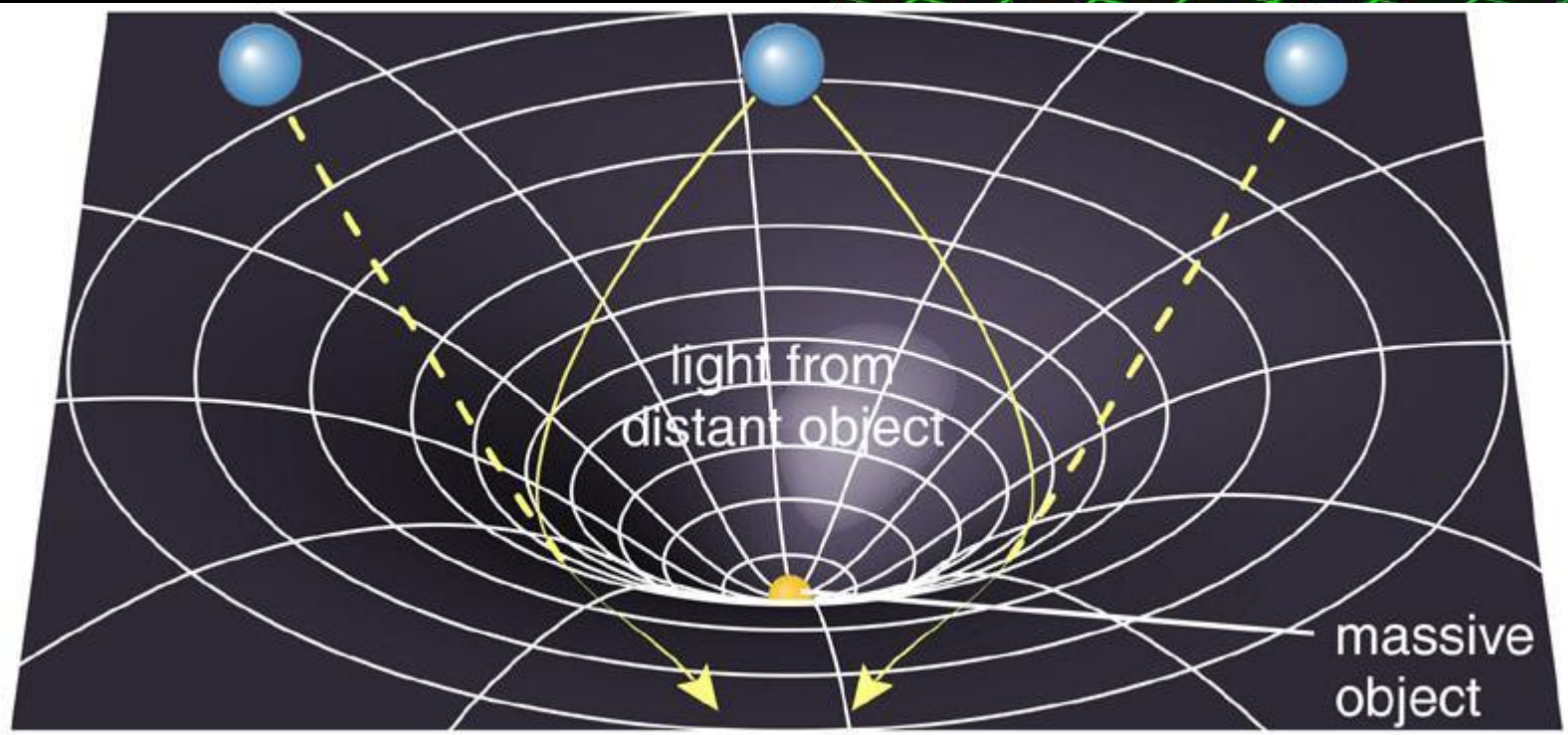
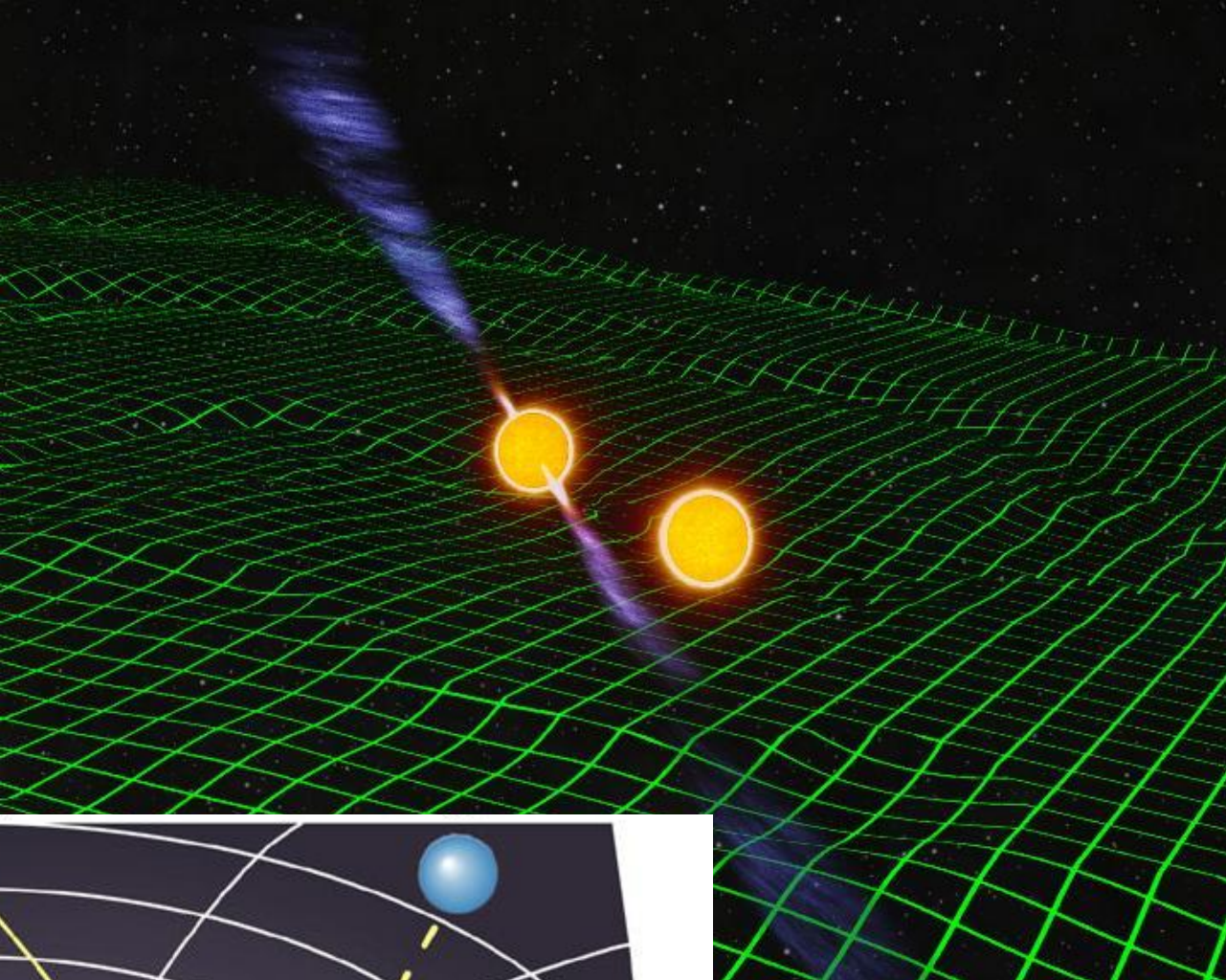
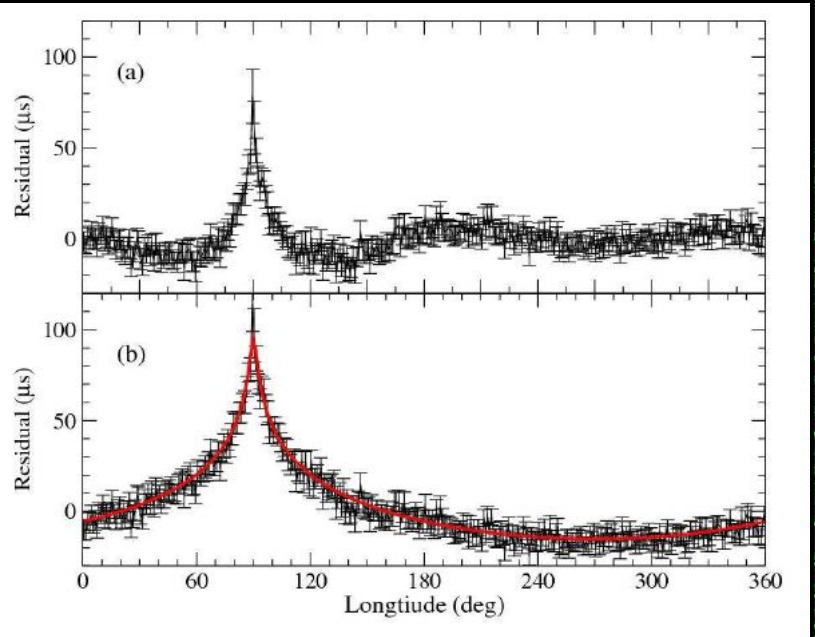
$\dot{P}_b$ -торможение за счет ГВ

$r, s$  – задержка сигнала времени вблизи одной НЗ

$u$  – грав.замедление времени



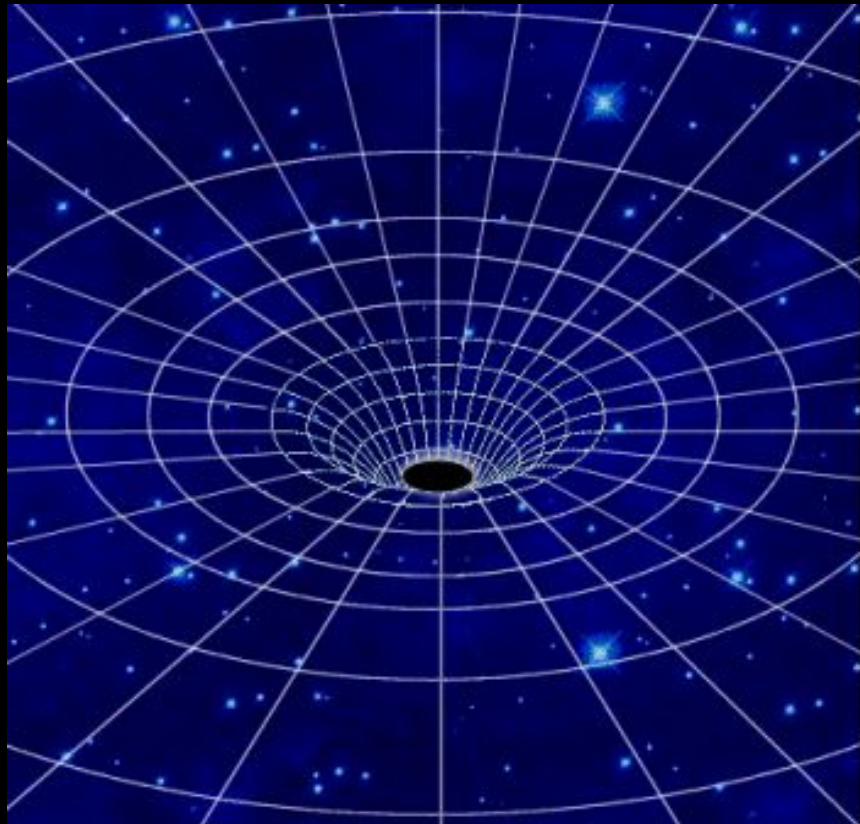




Timing parameter	PSR J0737–3039A	PSR J0737–3039B
Right Ascension $\alpha$	07 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> 51 <sup>s</sup> .24927(3)	–
Declination $\delta$	–30°39′40″.7195(5)	–
Proper motion in the RA direction (mas yr <sup>-1</sup> )	–3.3(4)	–
Proper motion in Declination (mas yr <sup>-1</sup> )	2.6(5)	–
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 $d(\text{DM})$ (pc)		$\sim 500$
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 – аккреция на компактный объект

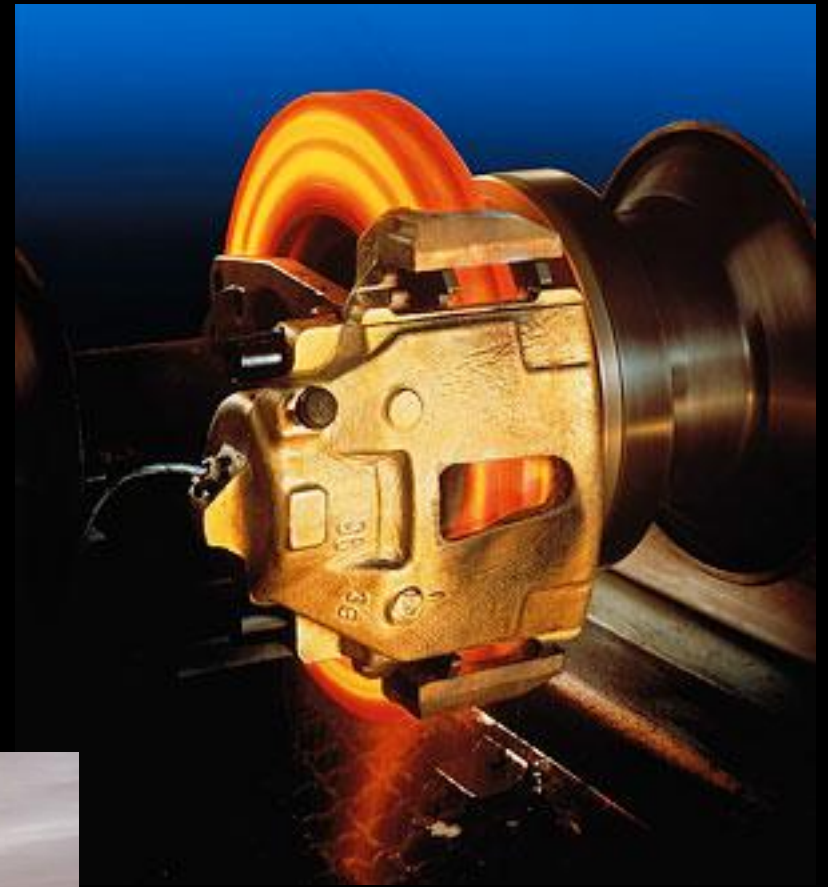
Простейший пример аккреции



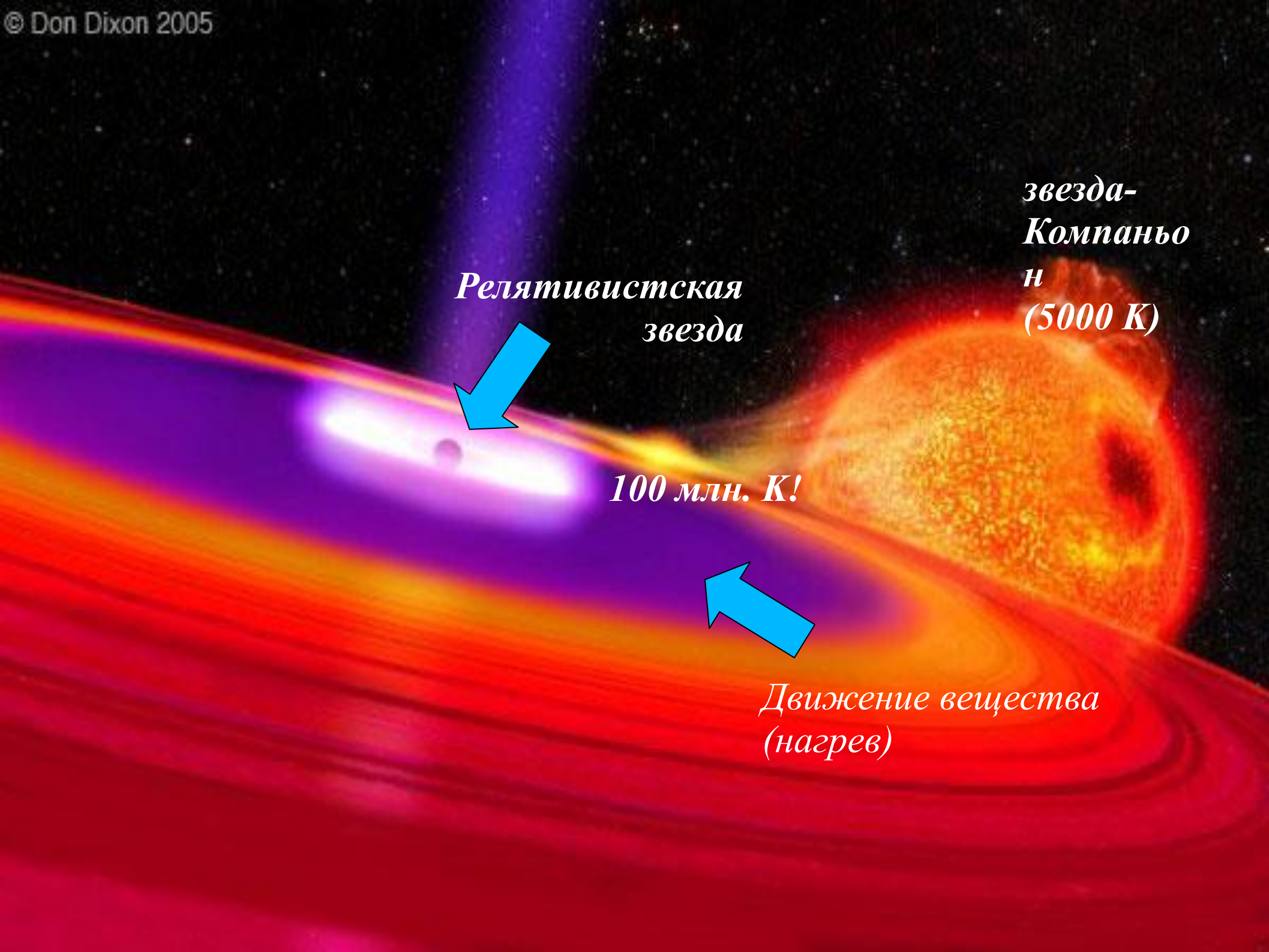
Здесь потенциальная энергия гравитационного поля

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

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







*Релятивистская  
звезда*

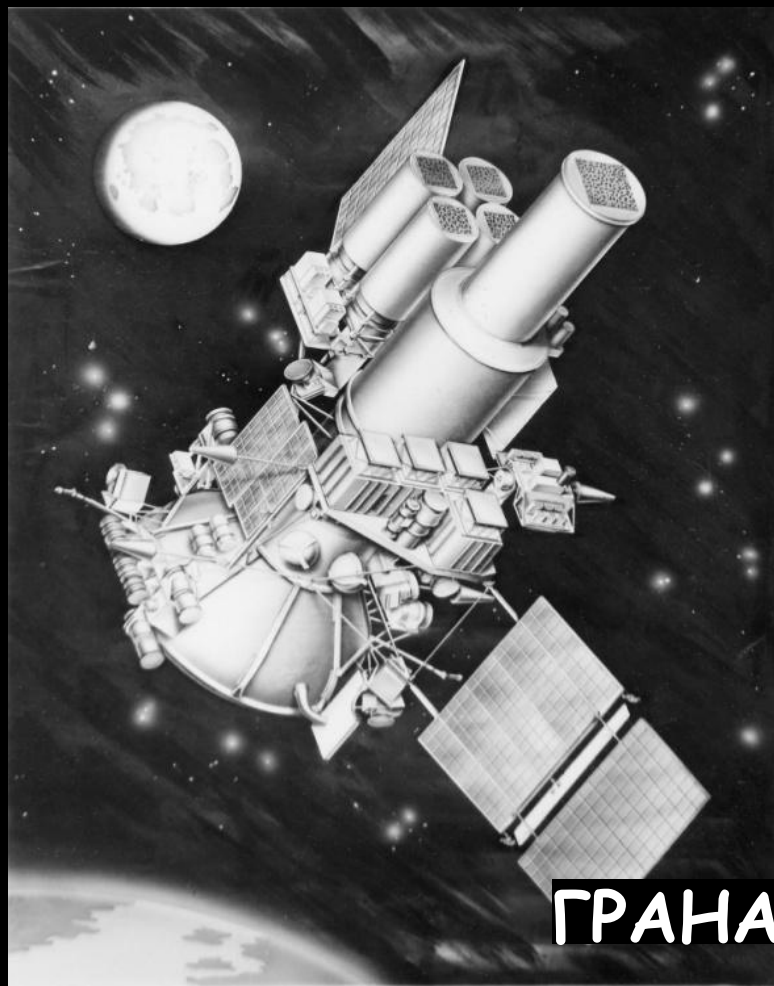
*звезда-  
Компаньон  
(5000 K)*

*100 млн. K!*

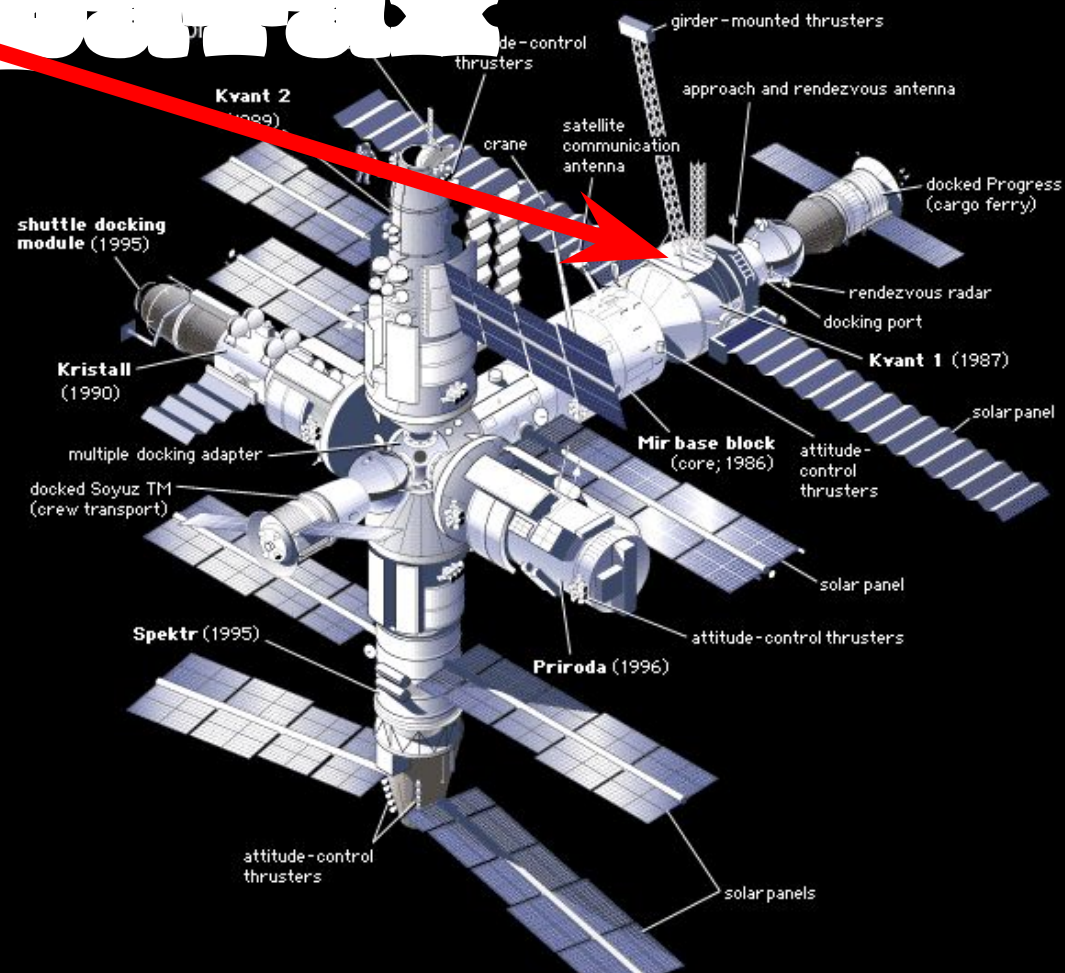
*Движение вещества  
(нагрев)*



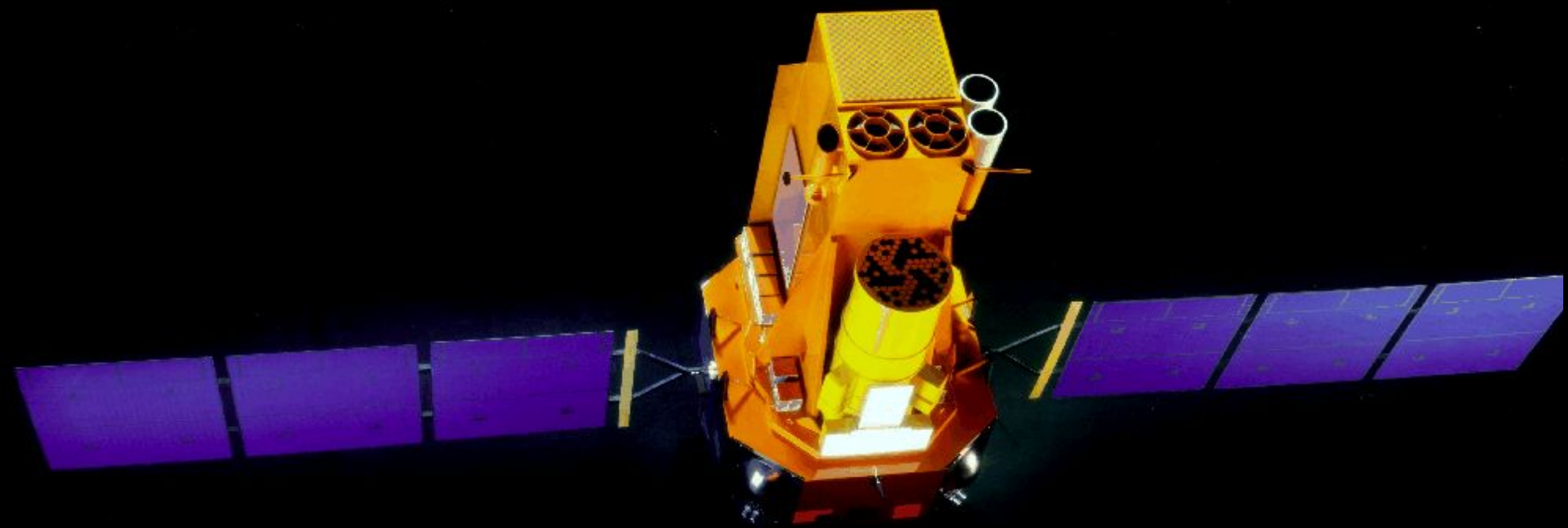
# ТАКЖЕ ОННОТОНУ ОТКРЫВАЮЩИХ И НА СОБОТОНАХ/РОСОНОК НАК АУДИОПОНАК



**ГРАНАТ (1989-1999)**



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



**ИНТЕГРАЛ (ЕКА/РКА)  
(2002- .... )**

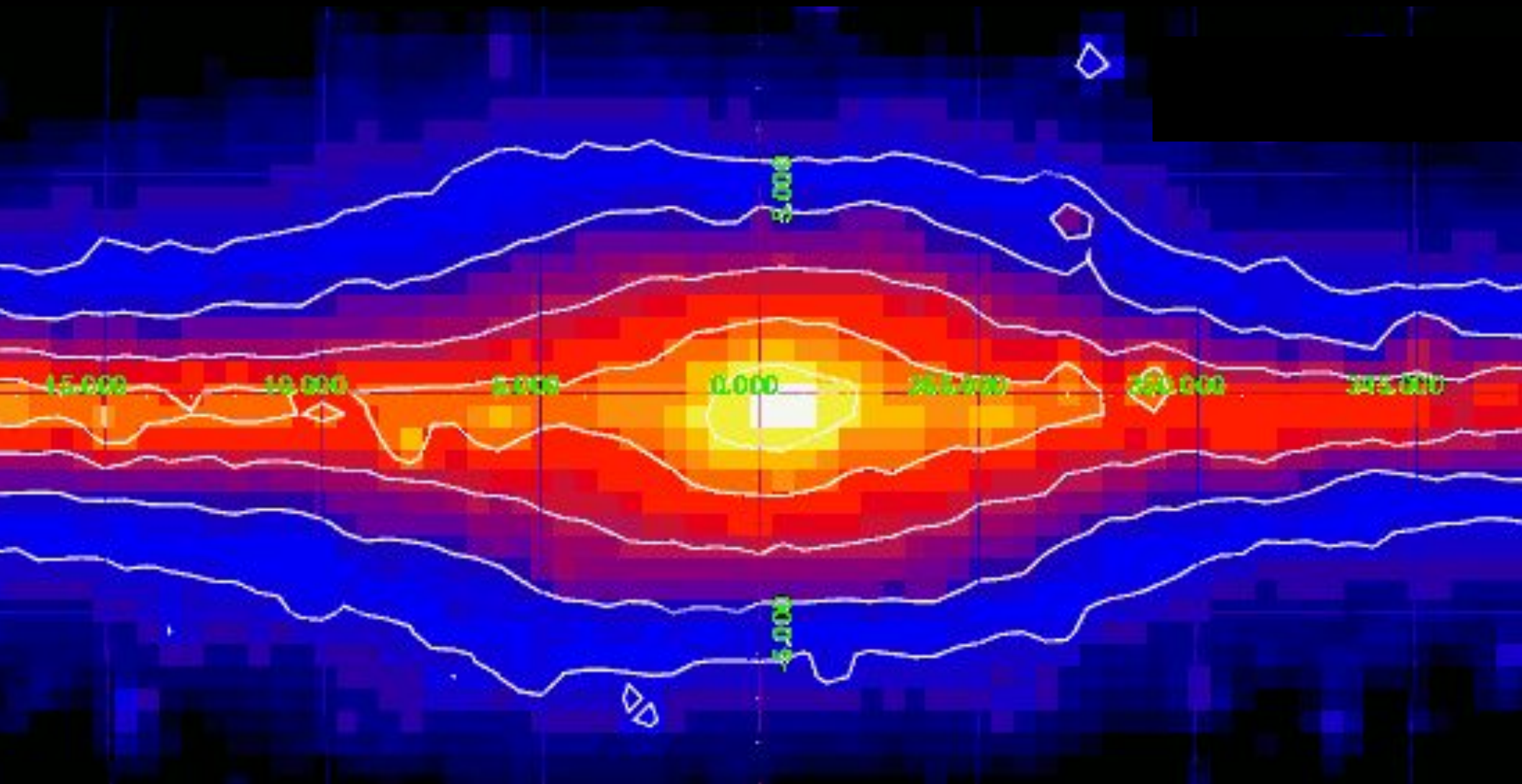


# Черные дыры и нейтронные звезды в нашей Галактике по результатам обзора обсерватории ИНТЕГРАЛ





# Распределение звезд

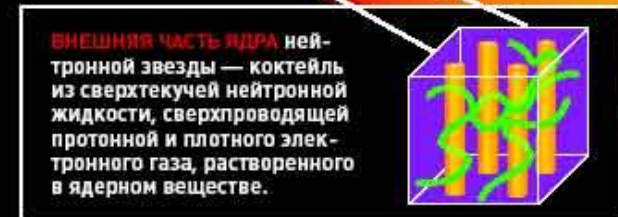
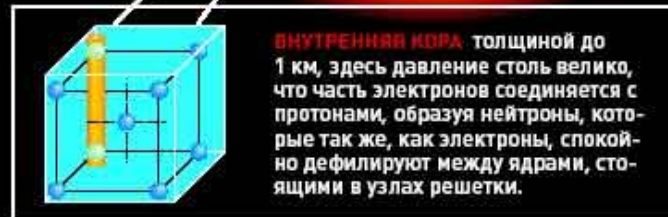
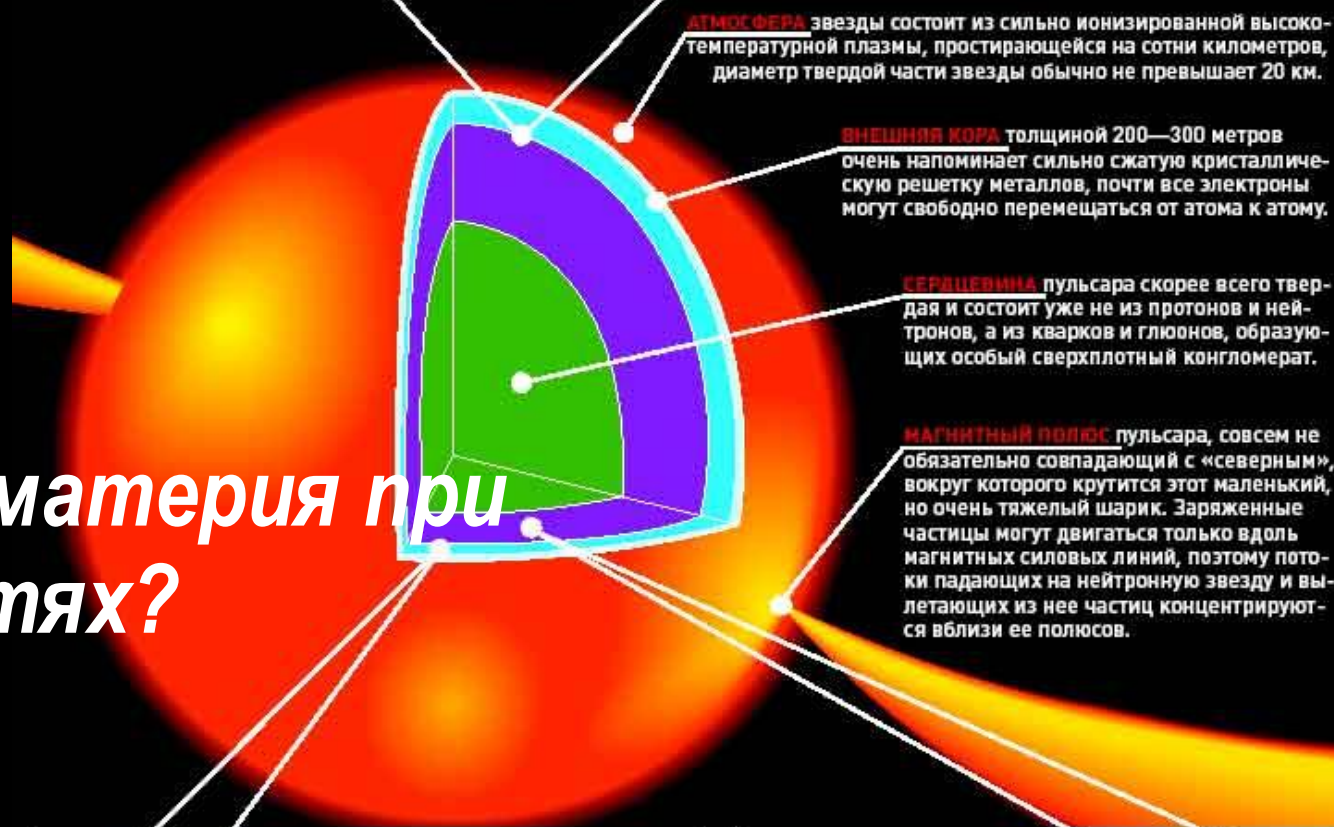
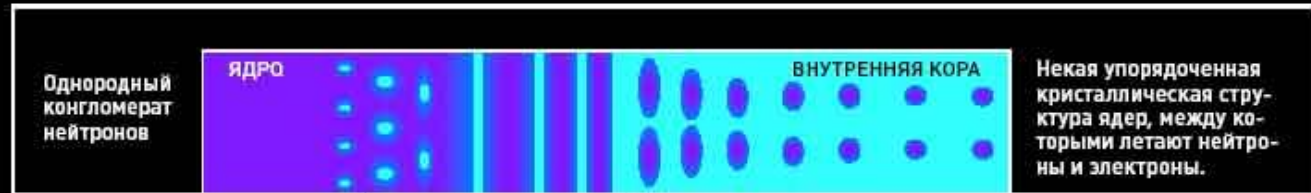


# Сверхвысокие плотности

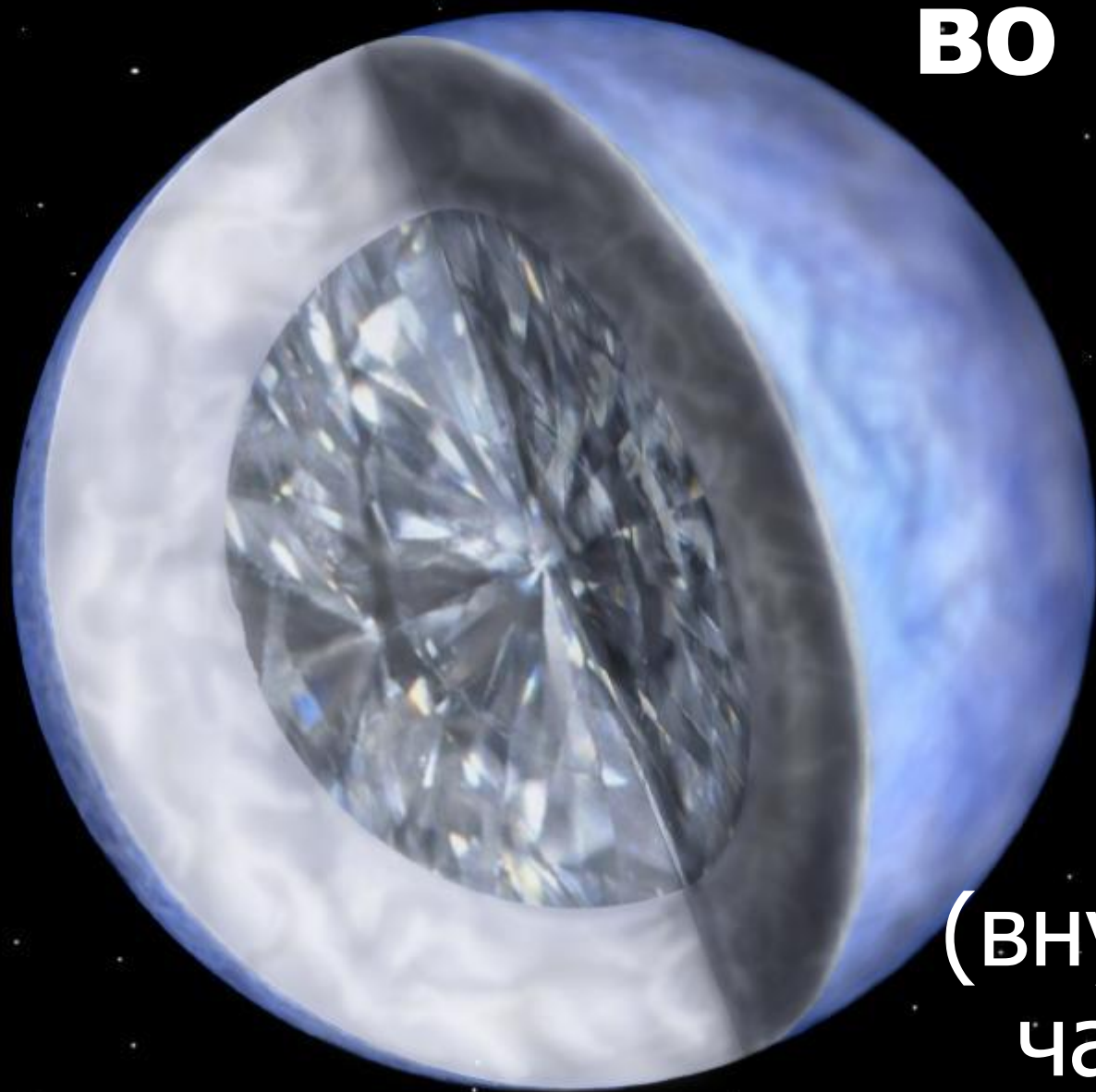
Белый карлик: плотность  
~тонны/см<sup>3</sup>

Нейтронная звезда:  
плотность **СОТНИ**  
**МИЛЛИОНОВ ТОНН/СМ<sup>3</sup>!**

Как ведет себя материя при  
таких плотностях?



# Белые карлики – самые большие алмазы во Вселенной

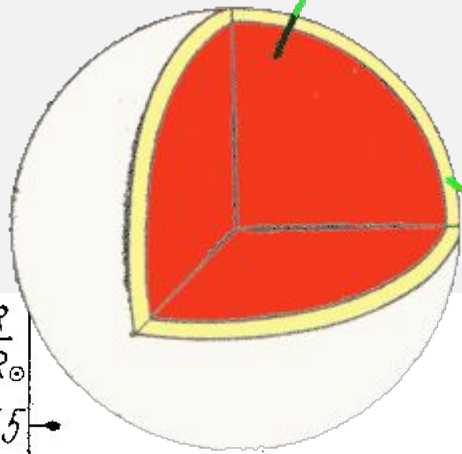


(внутренняя часть  
часто – углерод)

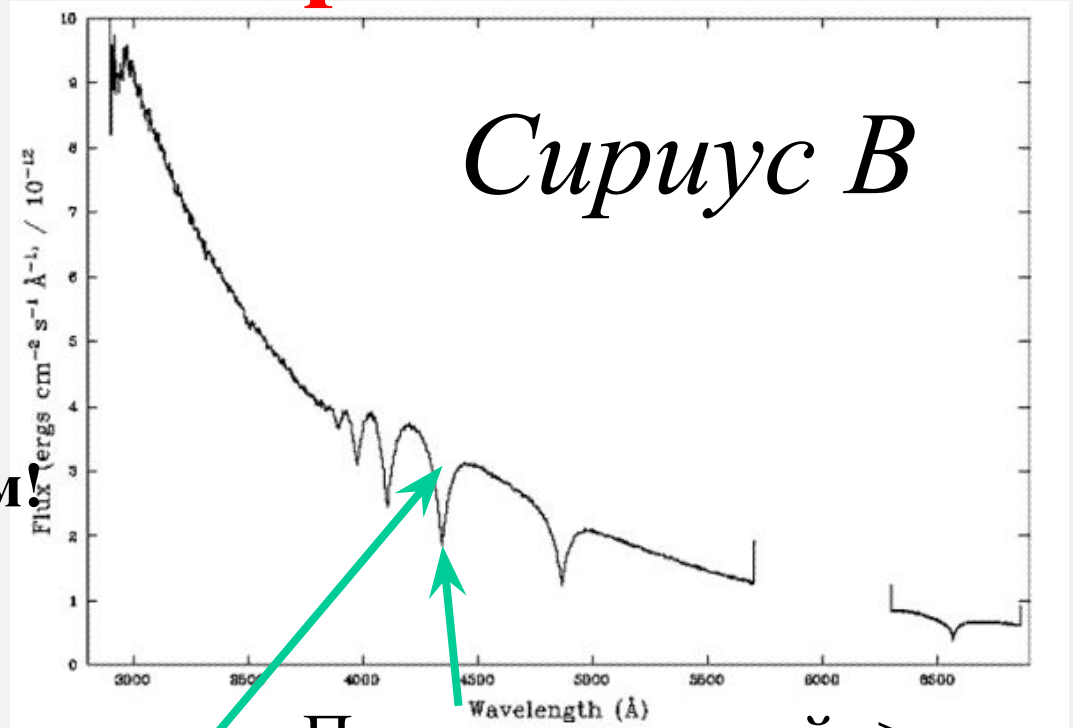
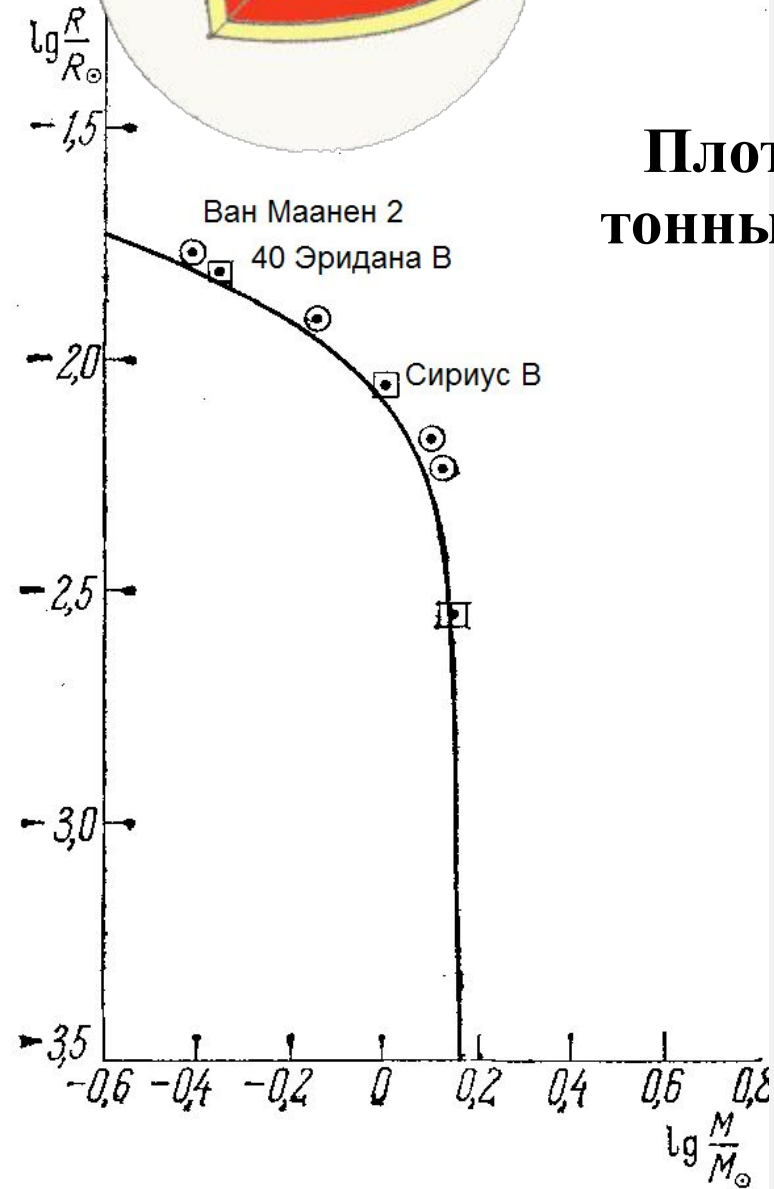


# Белые карлики

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

$\sim 100$  миллиардов  $g!$

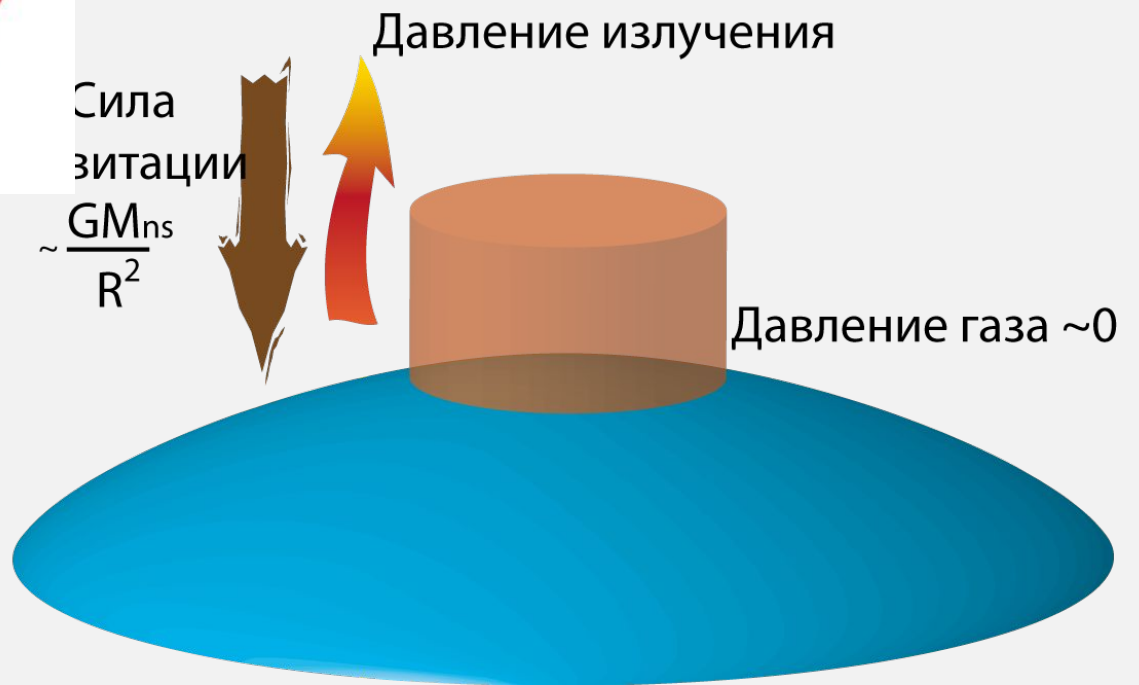
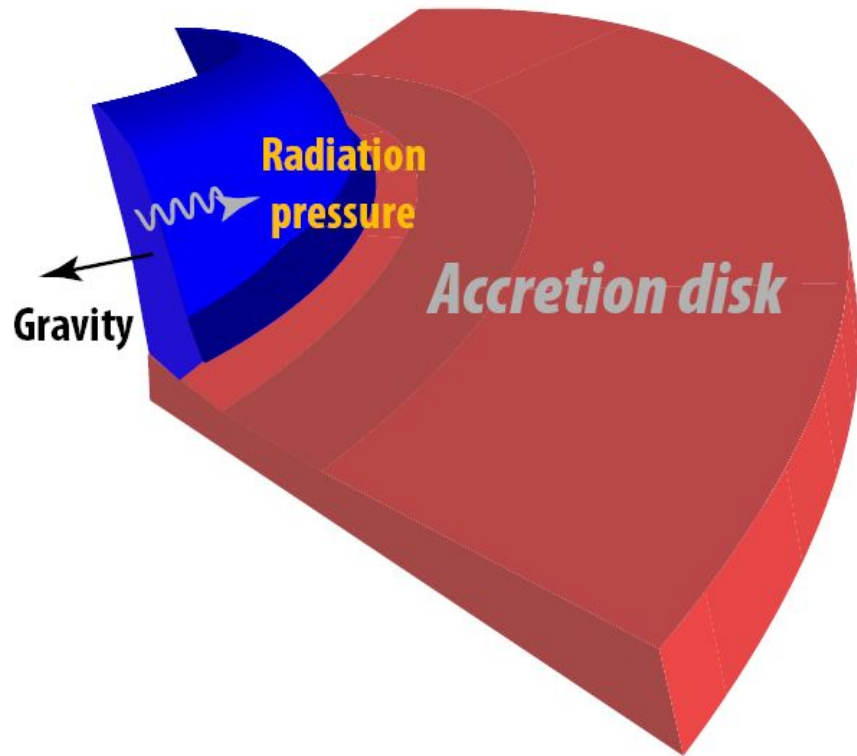
(иначе –разрушение )



Пulsирующее  
излучение -  
"маяк"

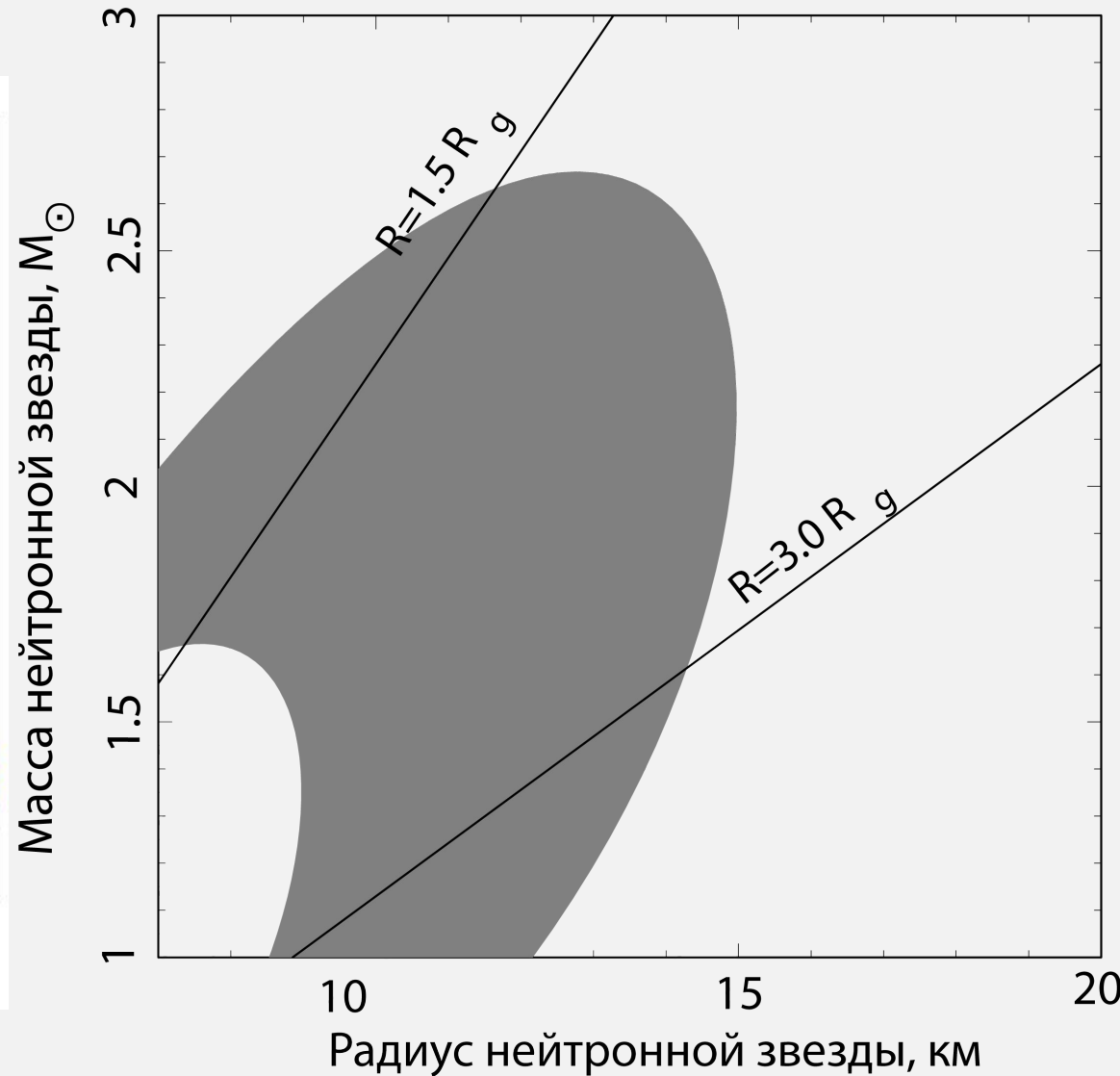
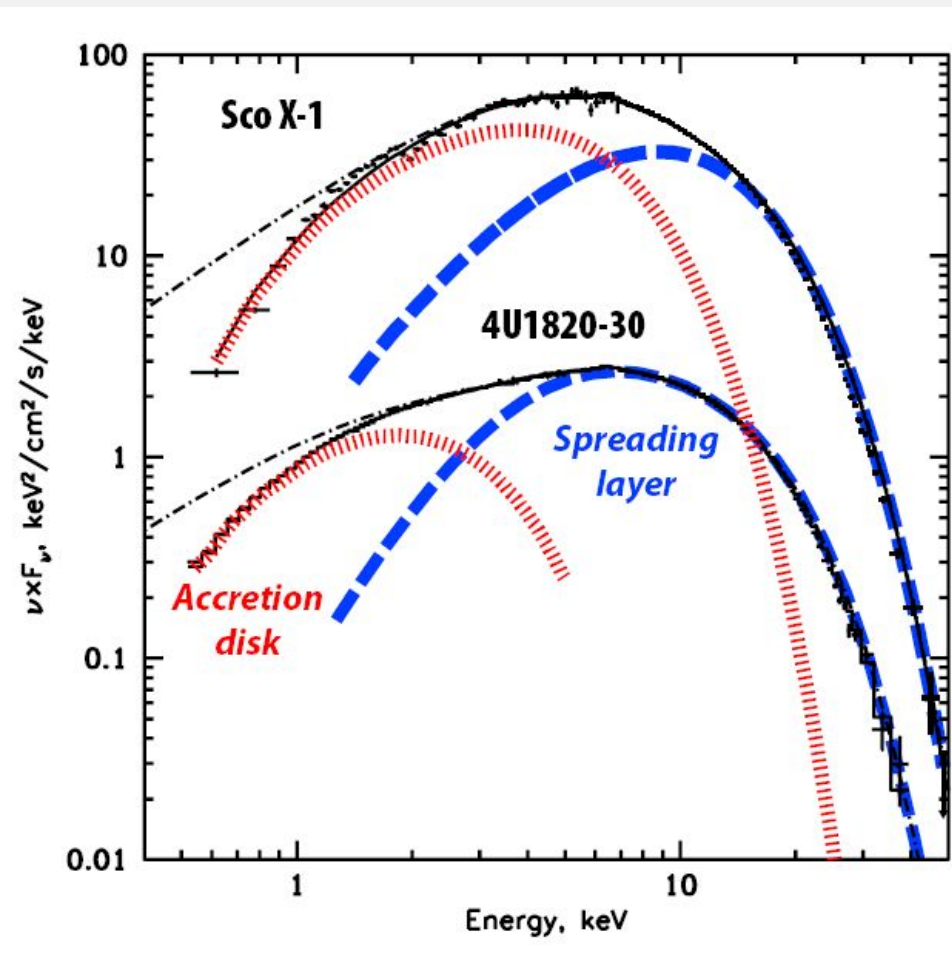
# Измерение радиусов НЗ

*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



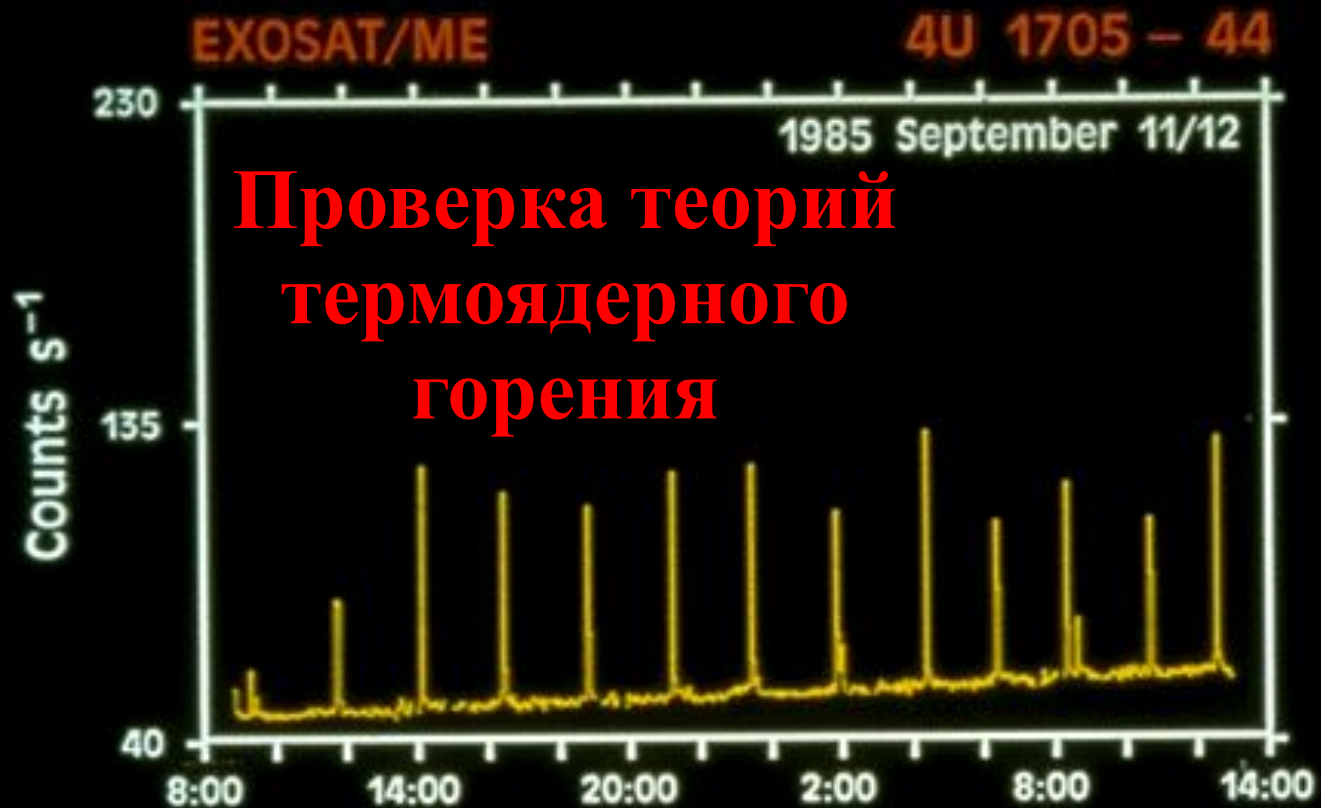
Термоядерный взрыв на поверхности НЗ  
(рентгеновские барстеры)





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

За взрыв сгорает  
около массы Луны

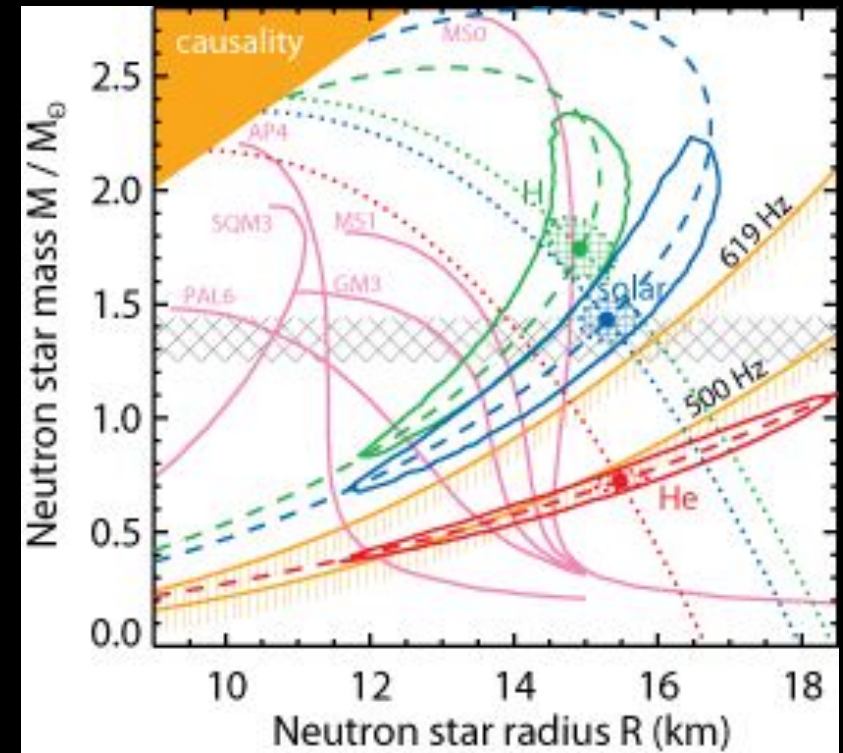


В Галактике известны  
системы в которых такие  
взрывы происходят  
каждые 3-4 часа!

# Состояние вещества при сверхядерных плотностях

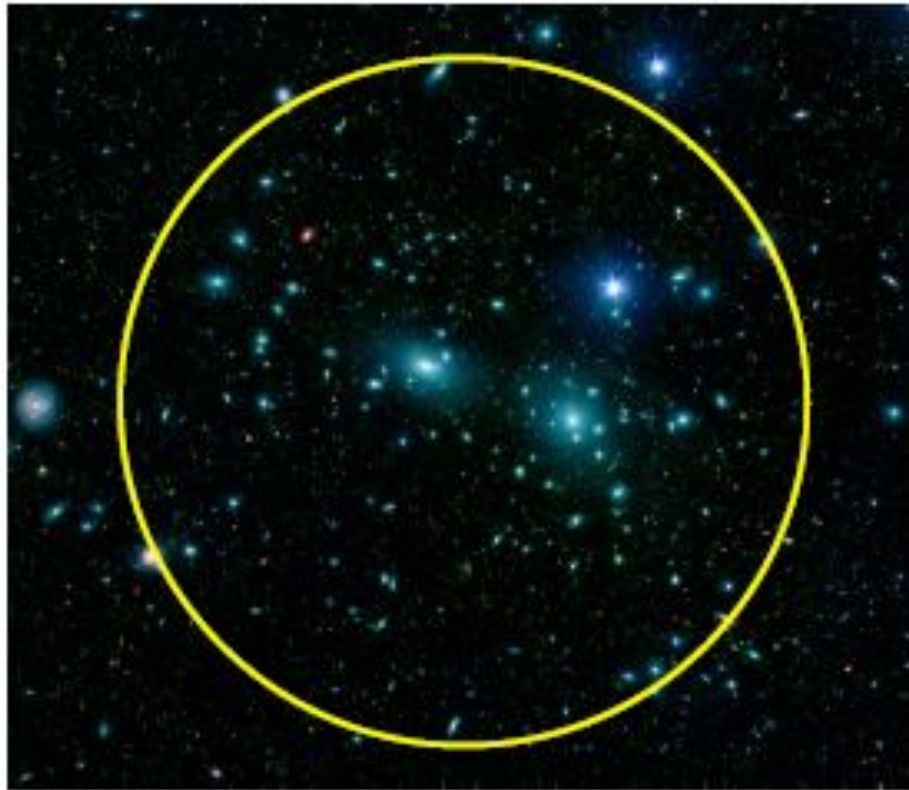


Кварковые звезды,  
основное состояние  
материи?





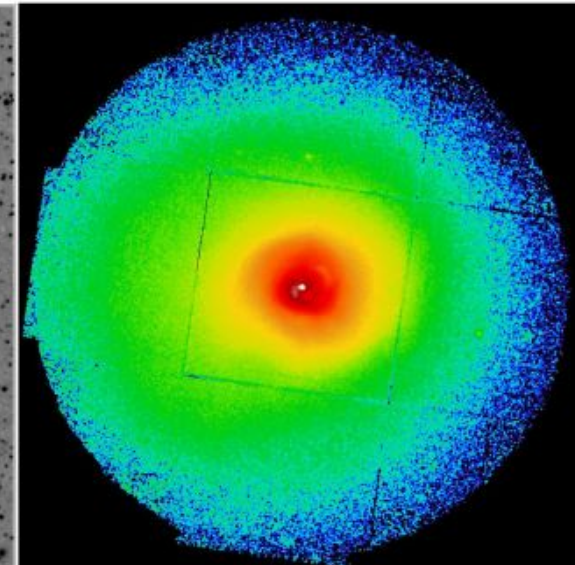
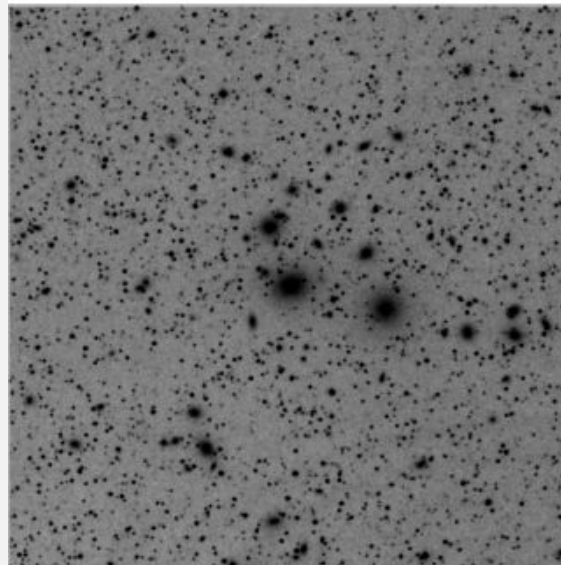
# Темная материя



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

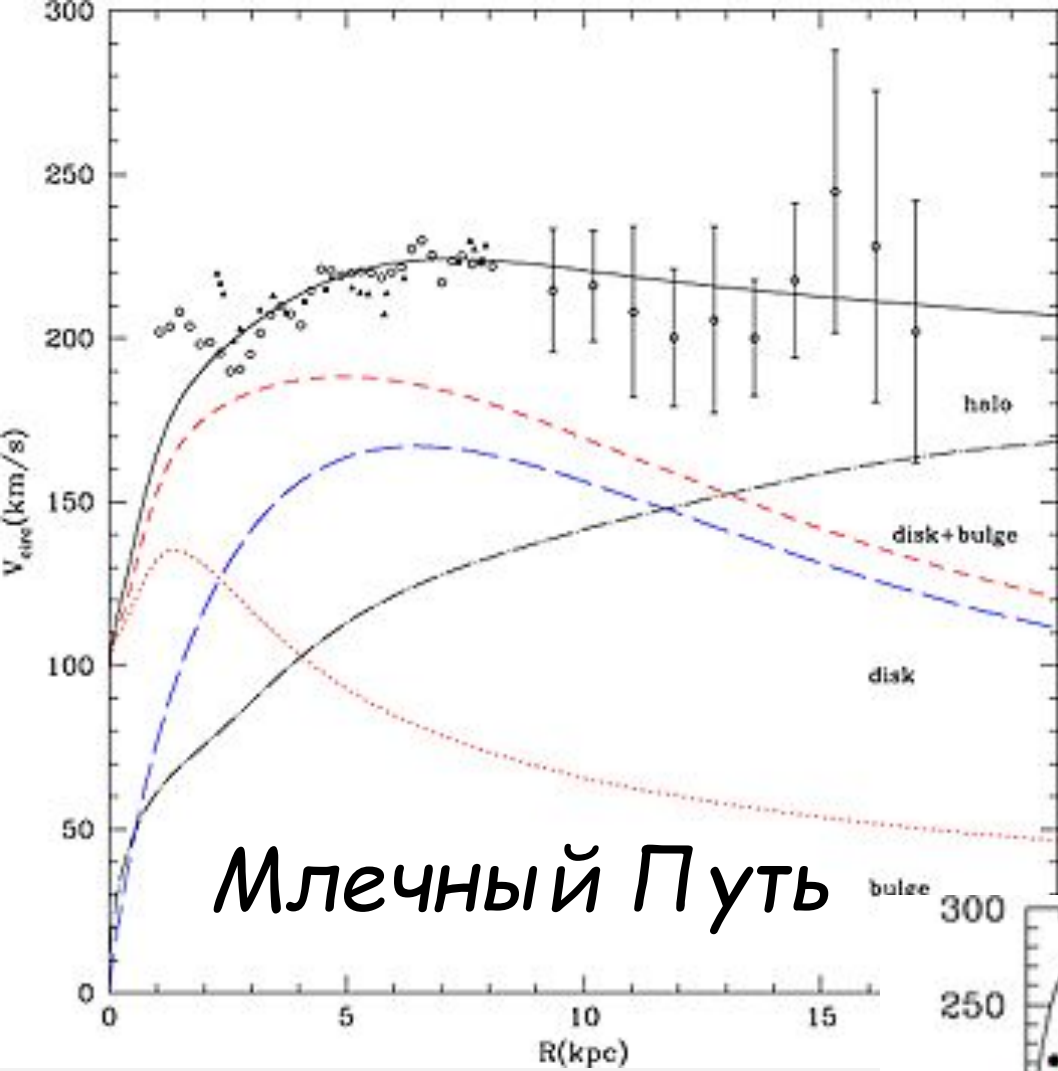
Оптика

Рентген



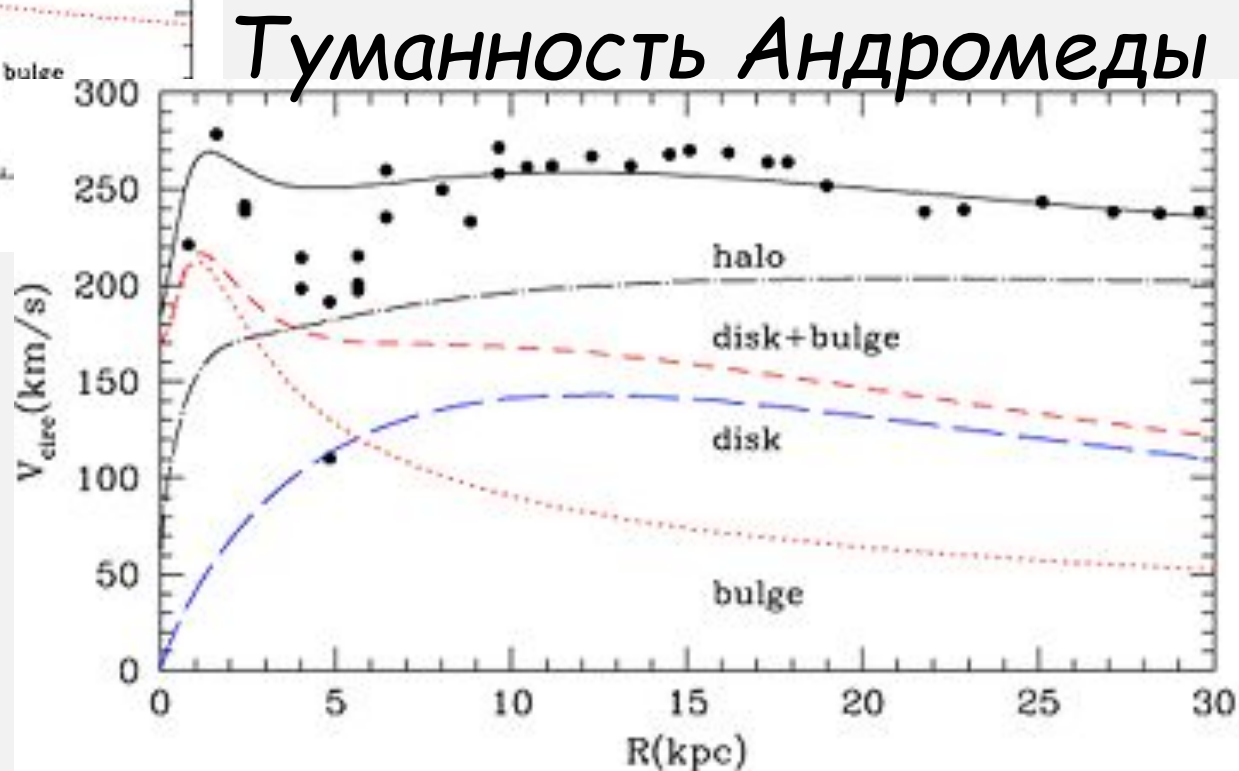
**Вид скоплений в разных диапазонах энергий**





Млечный Путь

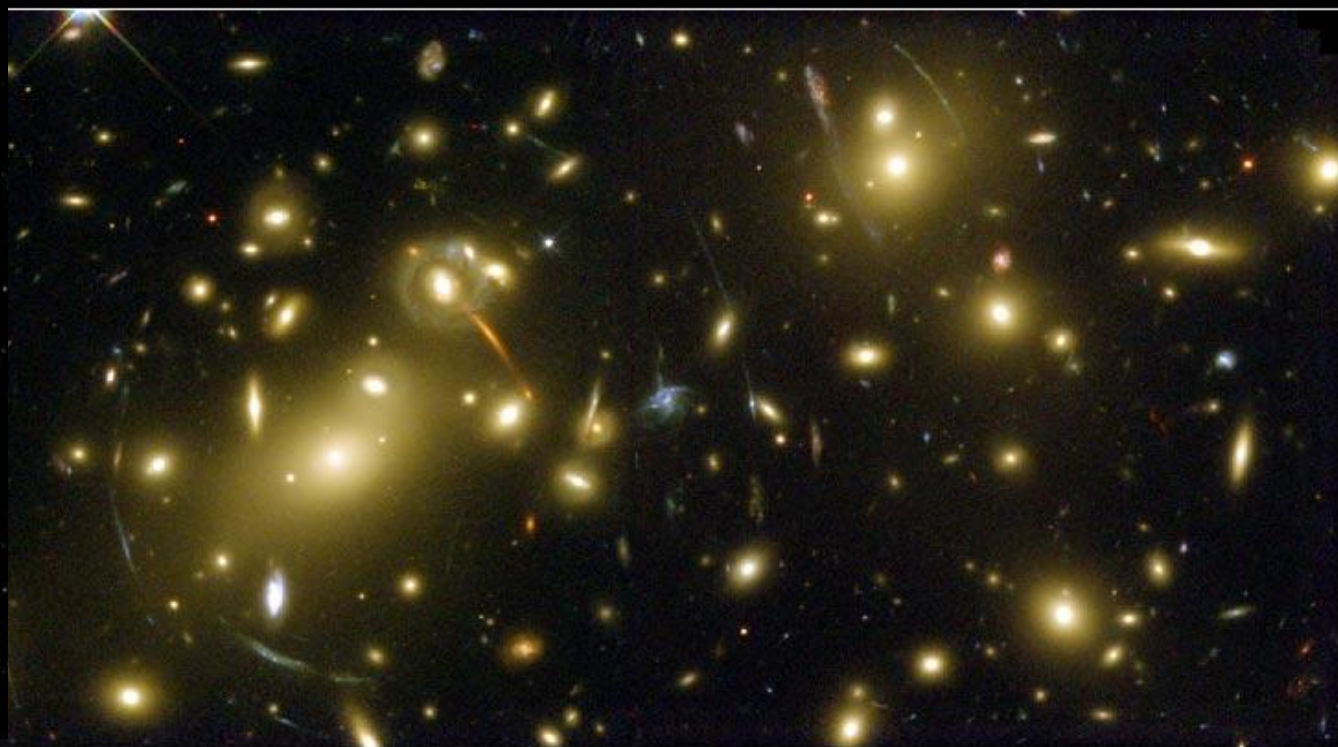
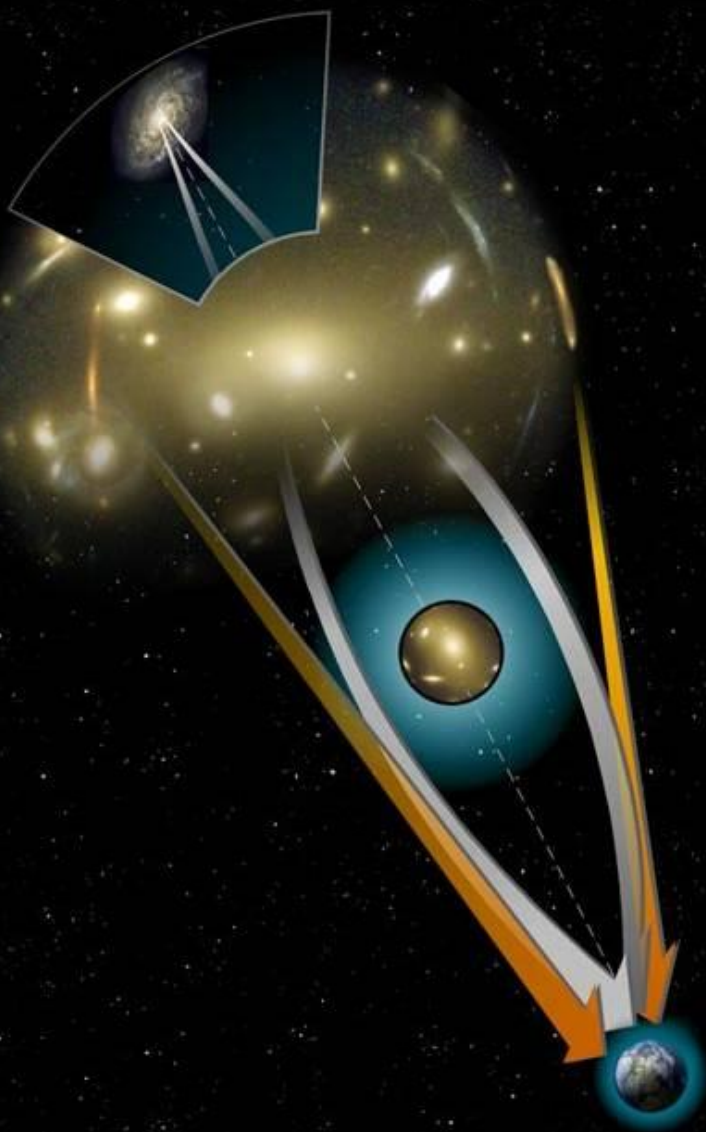
Свидетельства о темной материи из кривых вращения галактик



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



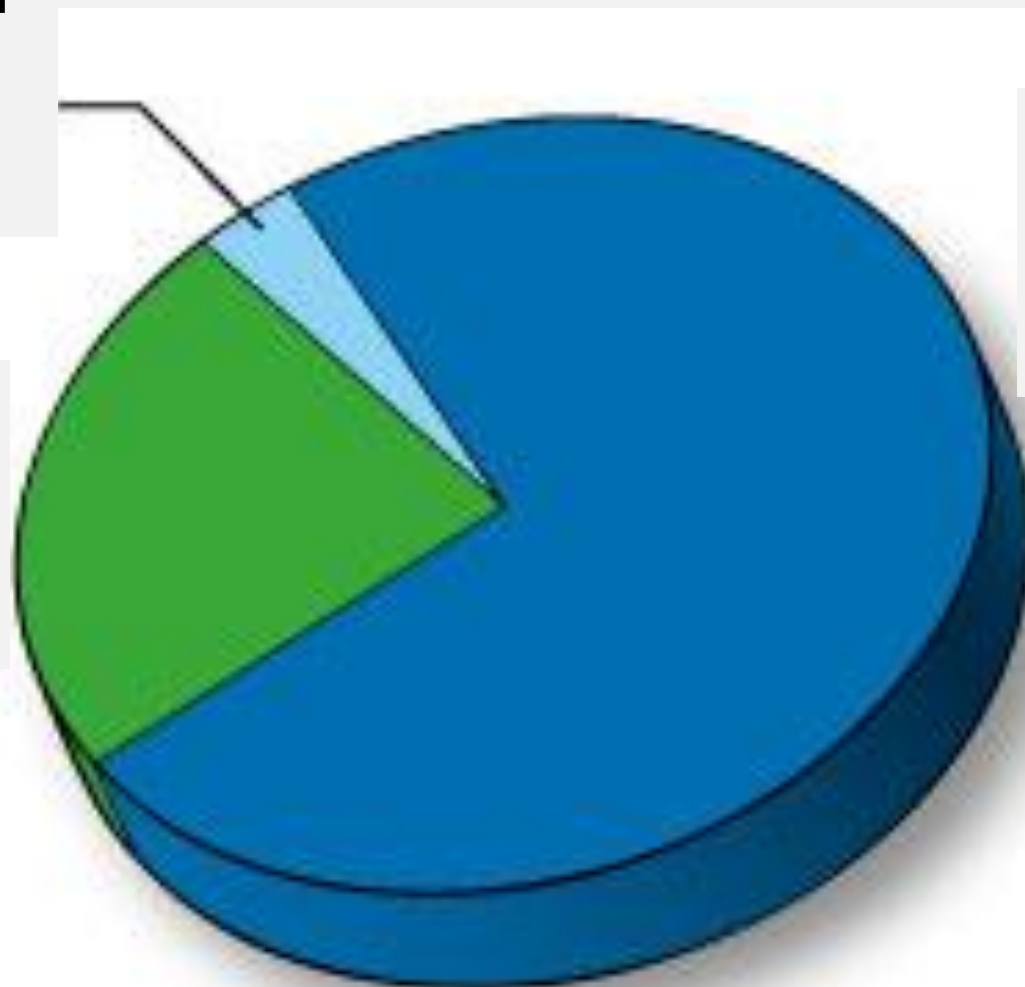
# Столкновения отделили темную материю от обычной



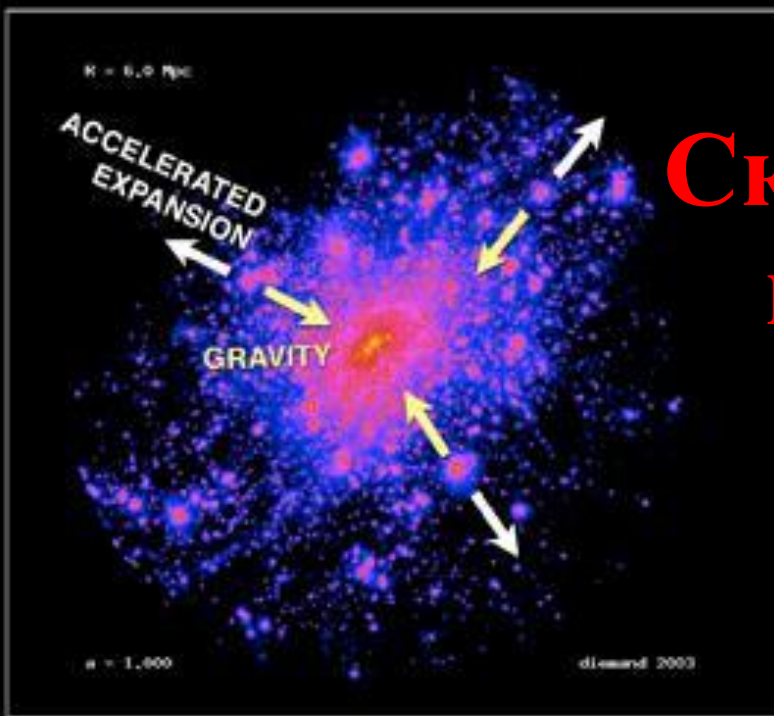


**Обычная  
материя  
4.6%**

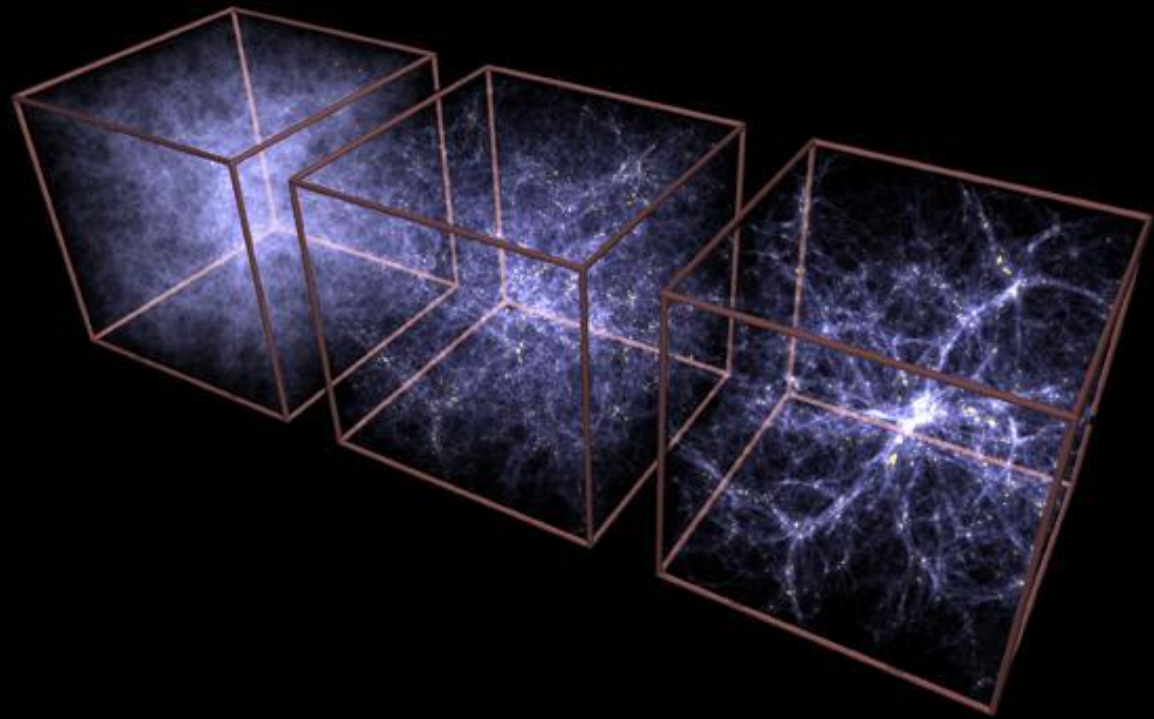
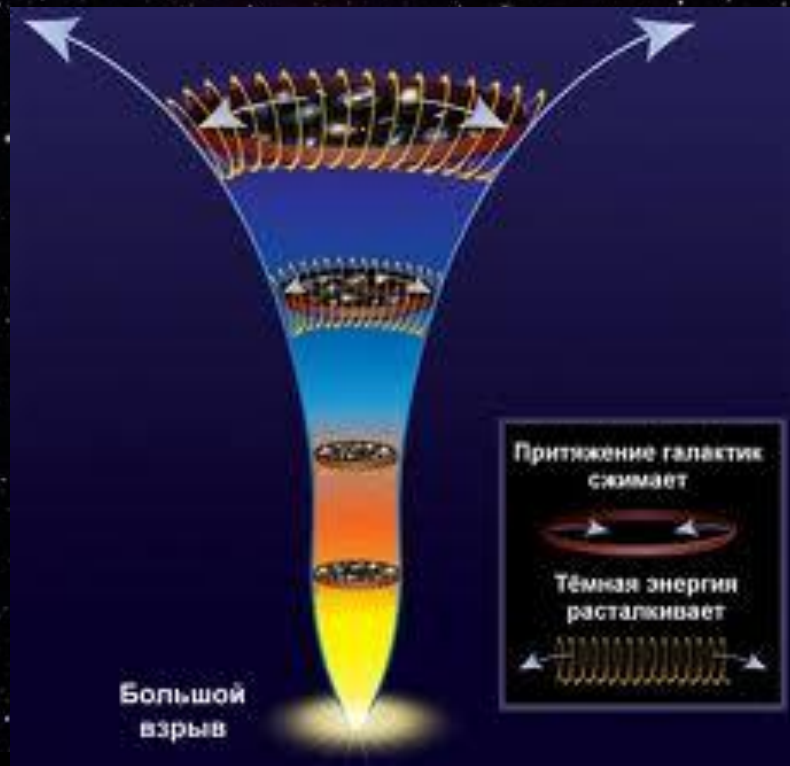
**Темная  
материя  
23%**



**Темная  
энергия  
72%**



# Скорость роста структур – измерение параметров Вселенной



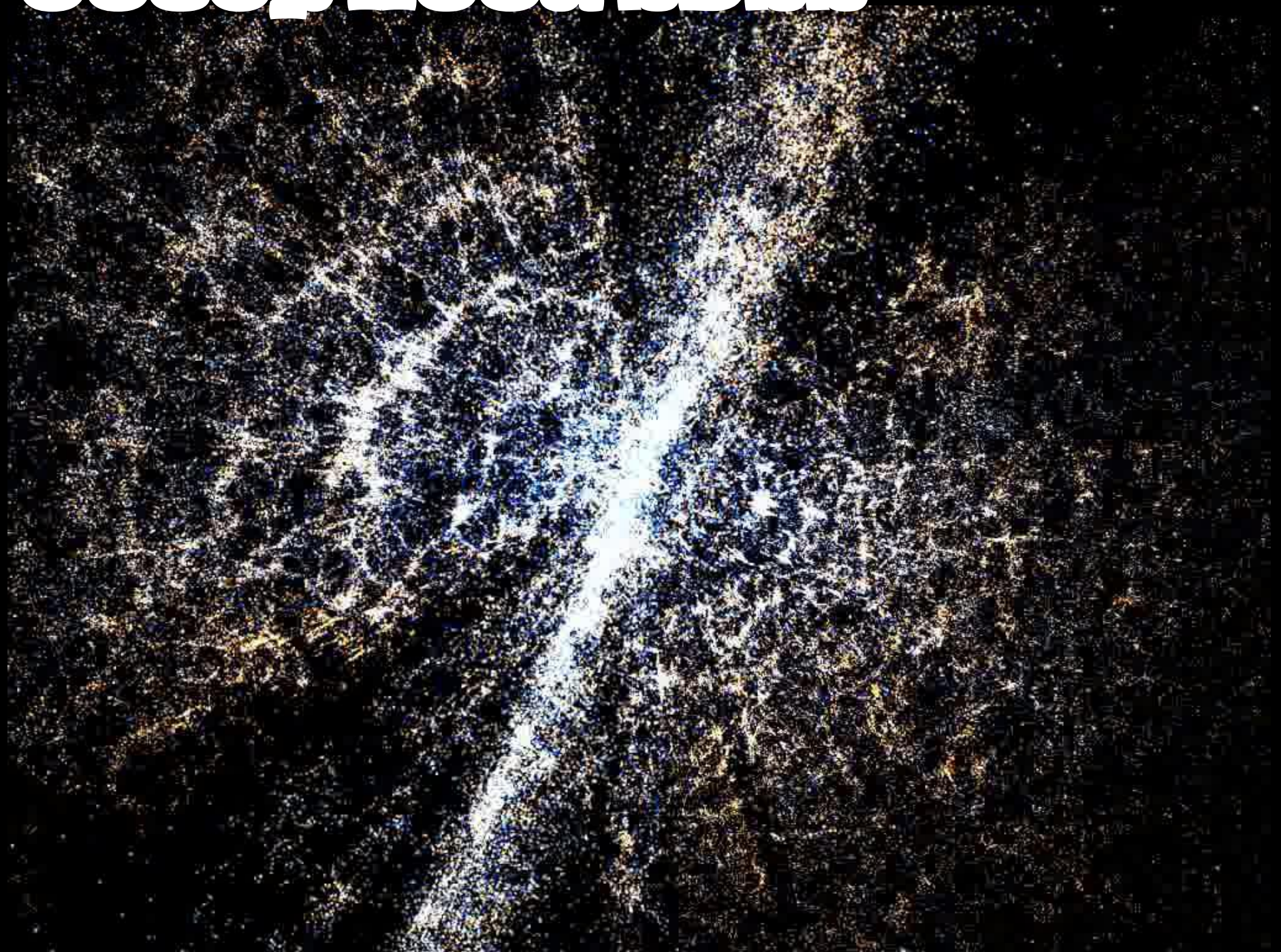






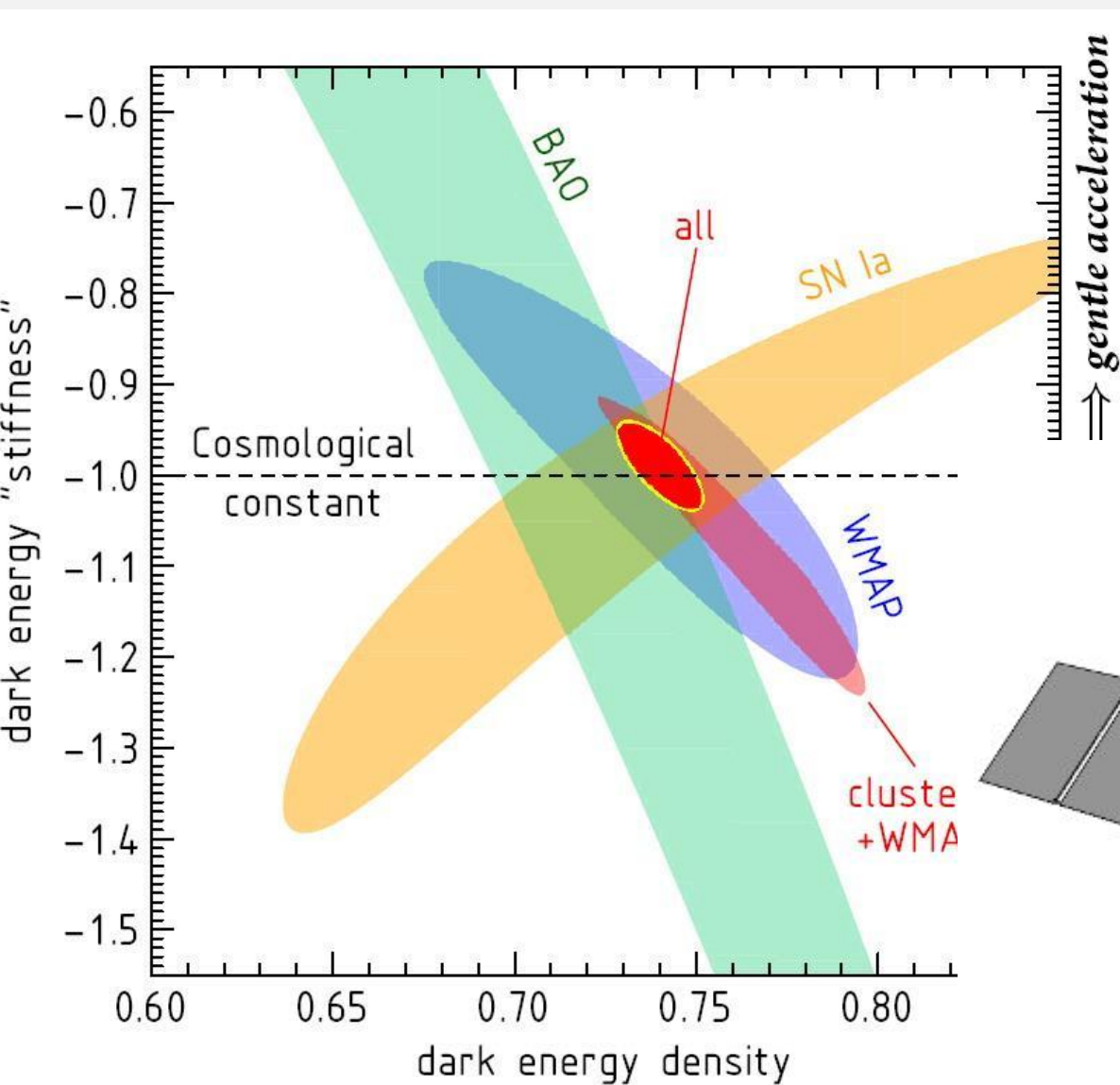


# ИНОКОНТОРНО ПАКЕТНИК. ОБЩЕЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

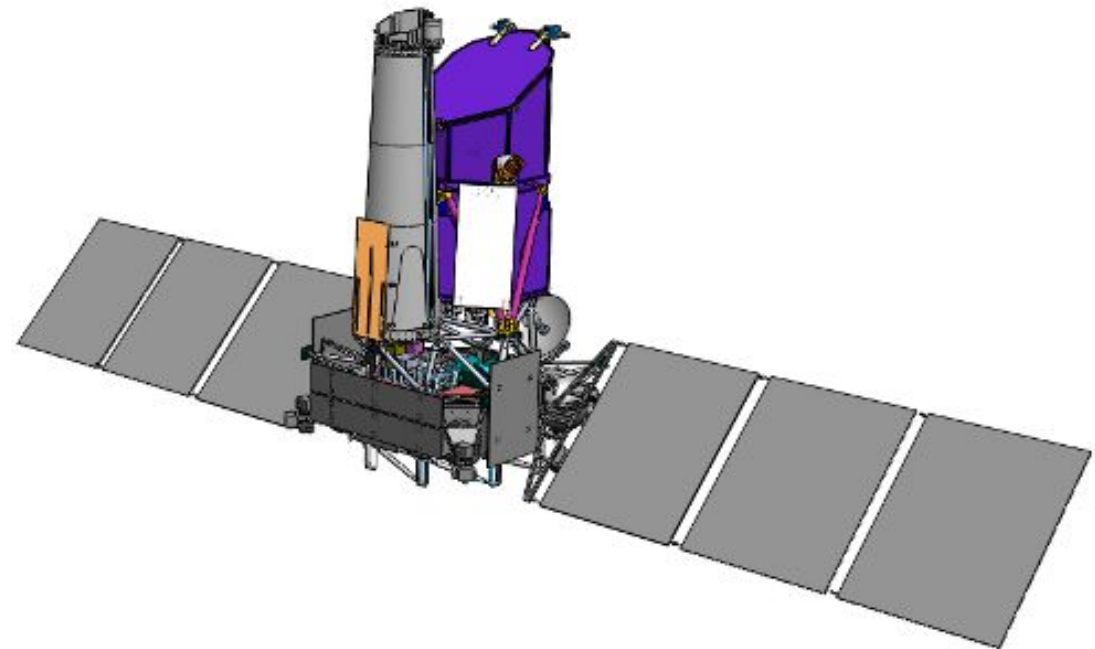




# Свидетельства существования темной энергии из подсчета скоплений галактик



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**