

ВВЕДЕНИЕ В АСТРОФИЗИКУ

(ВЕСНА 2022. ВШЭ)

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ: АНТОН БИРЮКОВ, К.Ф.-М.Н.

НЕМНОГО О СЕБЕ

- Антон Владимирович Бирюков
- Интересы: астрофизика нейтронных звёзд, приборы и методы астрономии высокого временного разрешения (в том числе в прикладных задачах), астрообразование.
- 2006 г. – Физический факультет МГУ (астроном)
- 2011 г. – к.ф.-м.н. («Циклическая и монотонная компоненты в эволюции периодов одиночных радиопульсаров», рук. д.ф.-м.н. Г.М. Бескин, САО РАН)
- 2011 г. + – Лаборатория космических проектов ГАИШ МГУ, снс.
- 2014 г. + – Лаборатория исследования быстропеременных объектов во Вселенной К(П)ФУ

НЕМНОГО О СЕБЕ

- Антон Владимирович Бирюков
- Интересы: астрофизика нейтронных звёзд, приборы и методы астрономии высокого временного разрешения (в том числе в прикладных задачах), астрообразование.
- Подробнее о работе (публикации и пр.): <https://istina.msu.ru/profile/anton.biryukov/>
-  ant.biryukov@gmail.com

КУРС «ВВЕДЕНИЕ В АСТРОФИЗИКУ» (4-Й МОДУЛЬ)

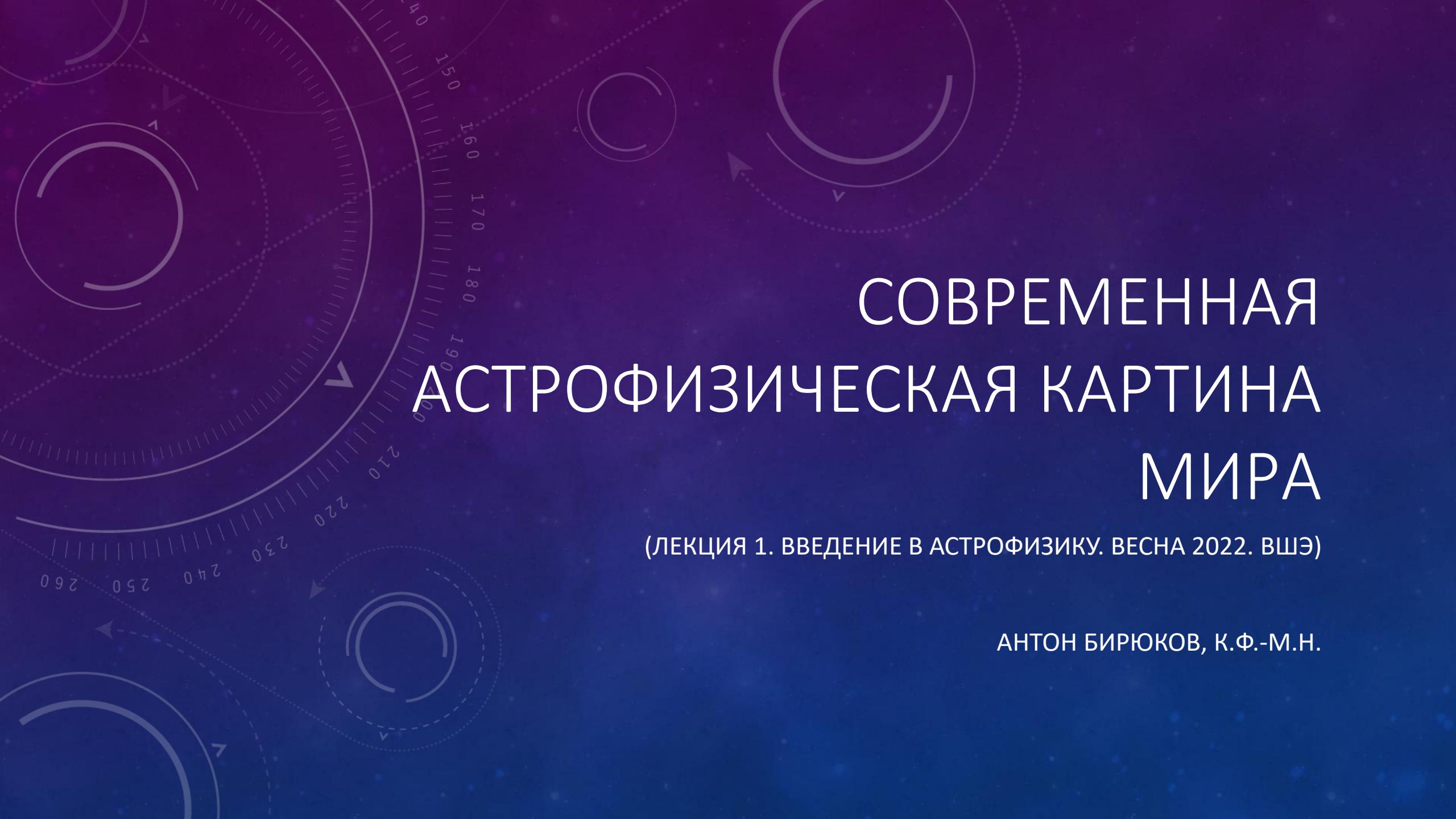
- Лекции по пятницам, 13:00-14:20, Б-814
- (Семинары по пятницам, 14:40-16:00 или 16:20-17:40)
- 8 занятий:

1. Современная астрофизическая картина мира
2. Приборы и методы астрофизики
3. Солнечная система
4. Экзопланеты
5. Солнце и звёзды
6. Компактные остатки звёздной эволюции
7. Галактика и галактики
8. Введение в космологию

Все материалы: <https://github.com/ant-biryukov/hse2020-astro-BSc>

ЛИТЕРАТУРА

- Основная:
 - А.В. Засов, К.А. Постнов «Общая астрофизика» (2011)
https://mipt.ru/upload/medialibrary/d26/general_astrophysics.pdf
 - К.А. Постнов «Лекции по общей астрофизике для физиков»
<http://www.astronet.ru/db/msg/1176797>
- Дополнительная:
 - Я.Б. Зельдович, С.И. Блинников, Н.И. Шакура «Физические основы строения и эволюции звёзд»
<http://www.astronet.ru/db/msg/1169513>
 - К.В. Холшевников, В.Б. Титов «Задача двух тел»
<http://www.astro.spbu.ru/sites/default/files/TwoBody.pdf>
- Также полезно просмотреть материалы к лекциям С. Б. Попова для МГУ и ВШЭ
<http://xray.sai.msu.ru/~polar/html/presentations.html>

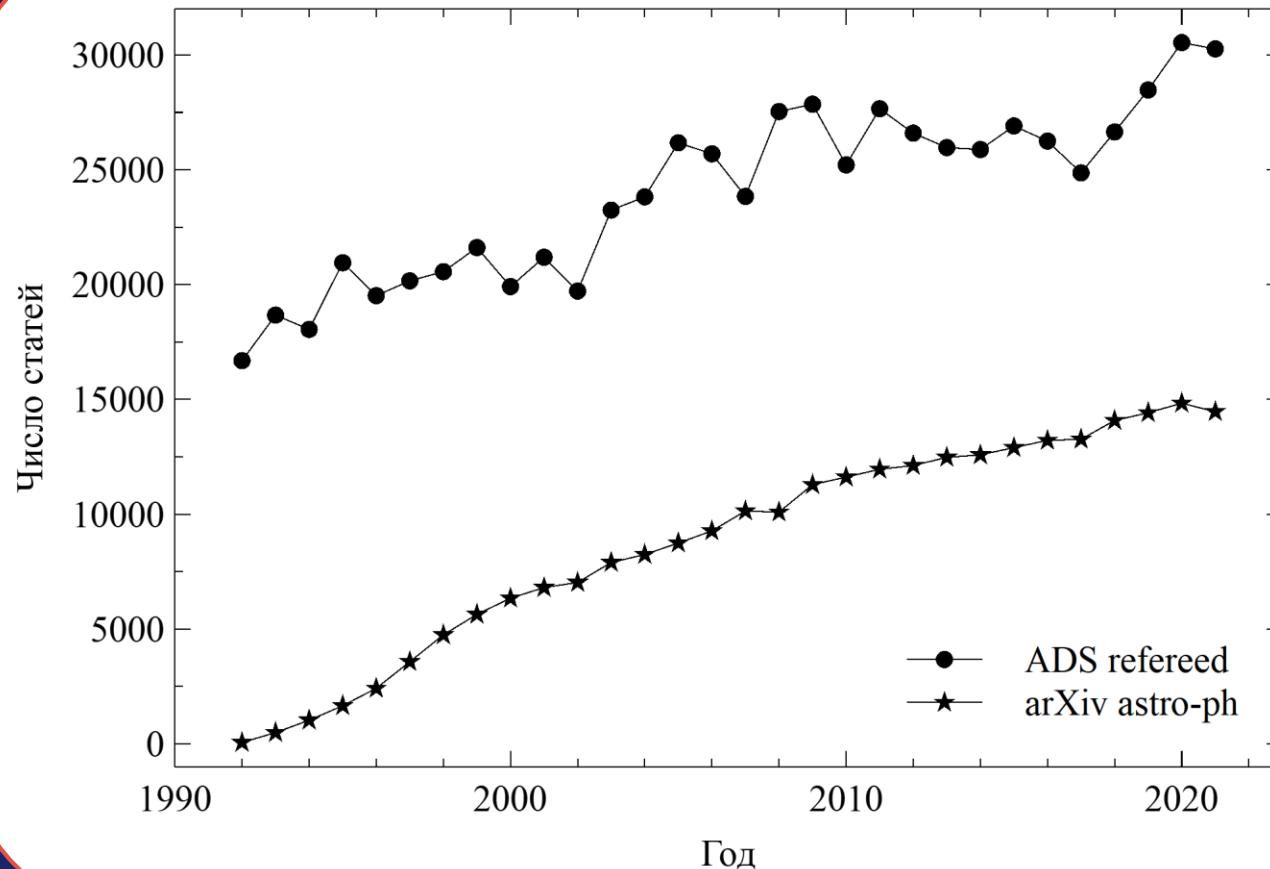


СОВРЕМЕННАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

(ЛЕКЦИЯ 1. ВВЕДЕНИЕ В АСТРОФИЗИКУ. ВЕСНА 2022. ВШЭ)

АНТОН БИРЮКОВ, К.Ф.-М.Н.

АСТРОФИЗИКА И АСТРОФИЗИКИ



Cornell University

arXiv.org > astro-ph

Astrophysics

<https://arxiv.org/list/astro-ph/new>



astrophysics data system

<https://ui.adsabs.harvard.edu/>

Только ~60 тыс. из ~340 тыс. реферируемых работ по астрономии/астрофизике, опубликованные за последние 10 лет ни разу не цитировались.

ИСТОРИЯ ВСЕЛЕННОЙ

масштабный фактор

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) dl^2$$

$$dl^2 = \frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

Метрика Фридмана-Робертсона-Уокера (FRW)

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + k \left(\frac{c}{a}\right)^2 = \frac{8\pi}{3} G\rho + \frac{\Lambda}{3}c^2$$

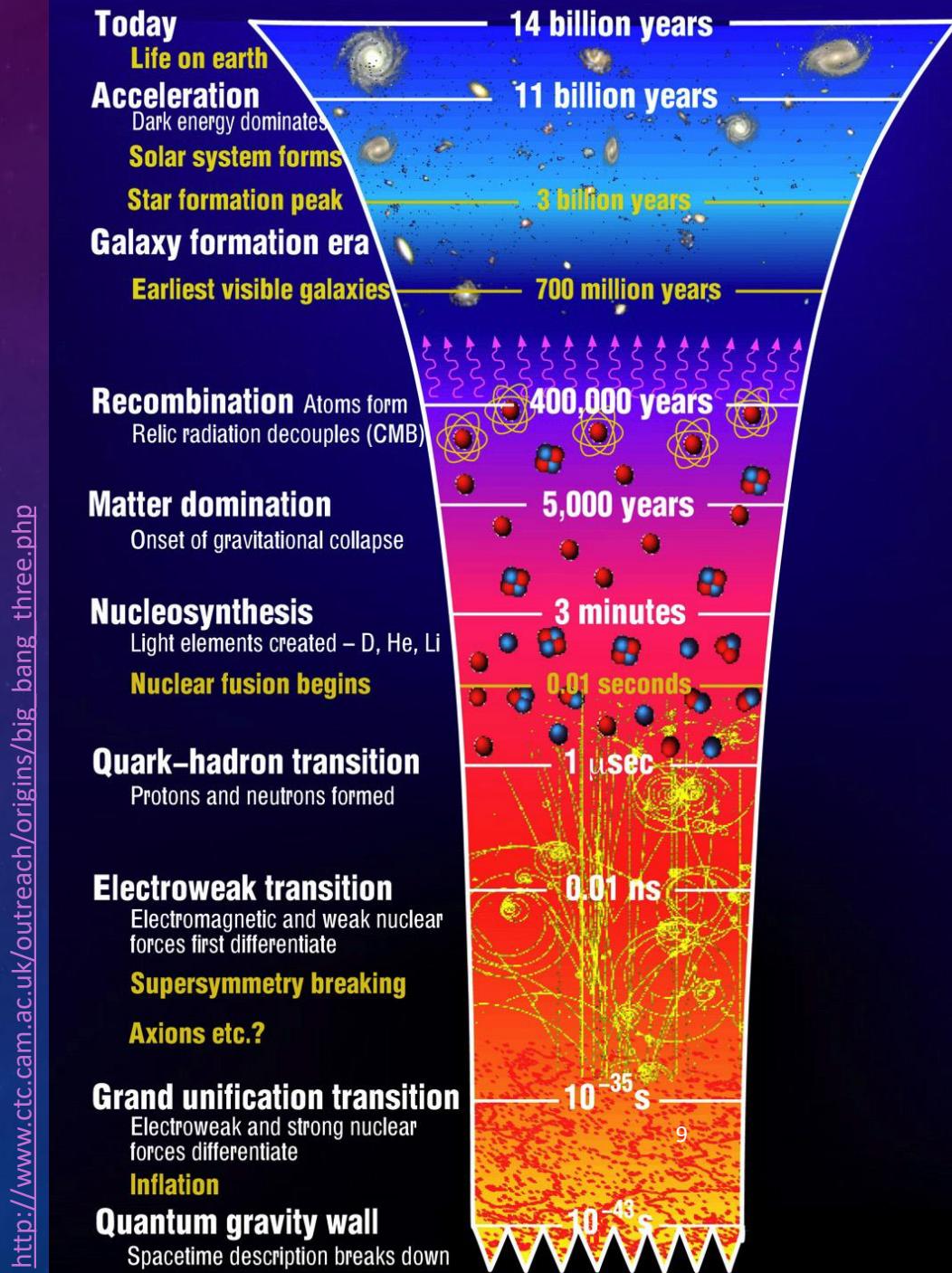
Уравнение Фридмана

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G} \approx 2 \cdot 10^{-29} h^2 \text{ г см}^{-3}$$

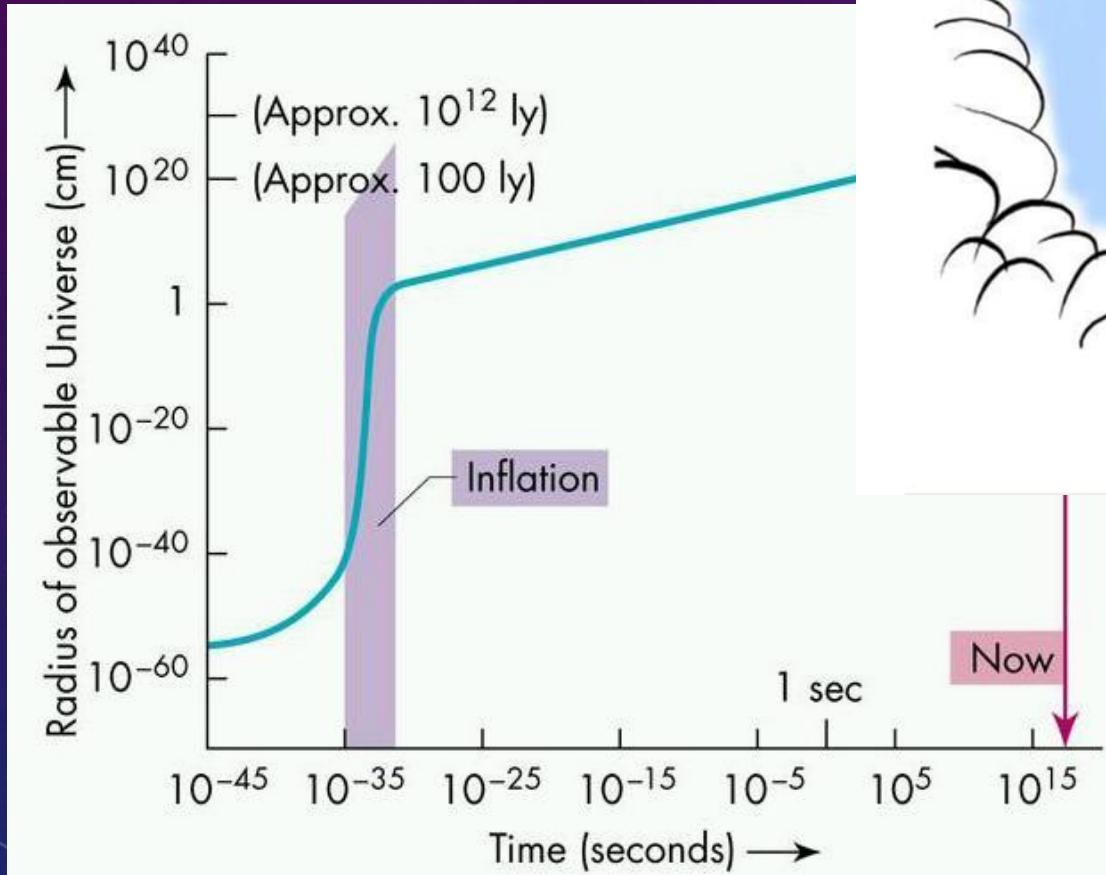
dz

$$\tau = -\frac{1}{H_0} \int_0^\infty \frac{dz}{\sqrt{\Omega_m(1+z)^5 + \Omega_c(1+z)^3 + \Omega_\Lambda(1+z)^2}}$$

Возраст Вселенной



ВСЕЛЕННАЯ



$$6 \cdot 10^{-35} m.$$

$$5 \cdot 10^{-44} c.$$

$$2 \cdot 10^{-8} \text{ кг.}$$

$$E_{\pi} = m_p \cdot c^2 \approx 10^{19} \text{ ГэВ.}$$

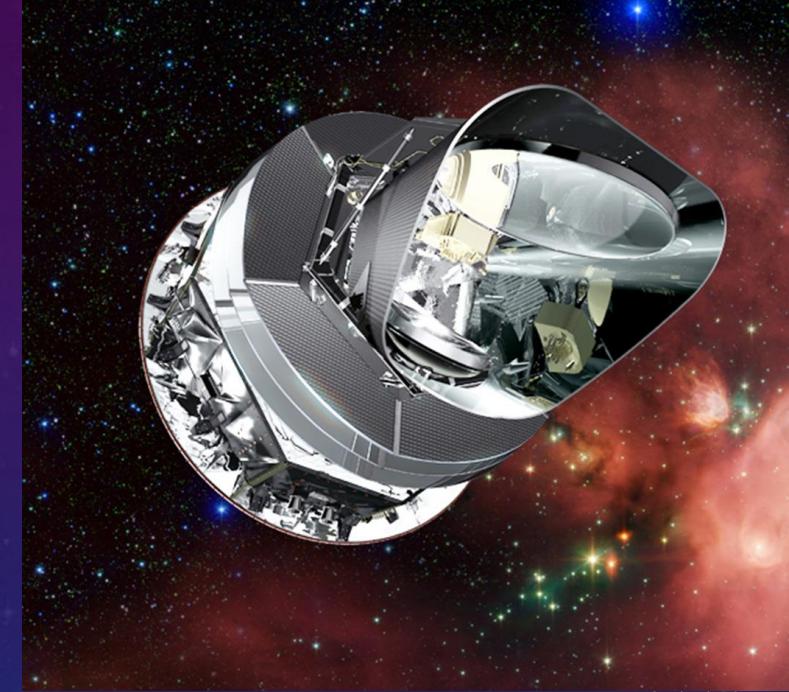
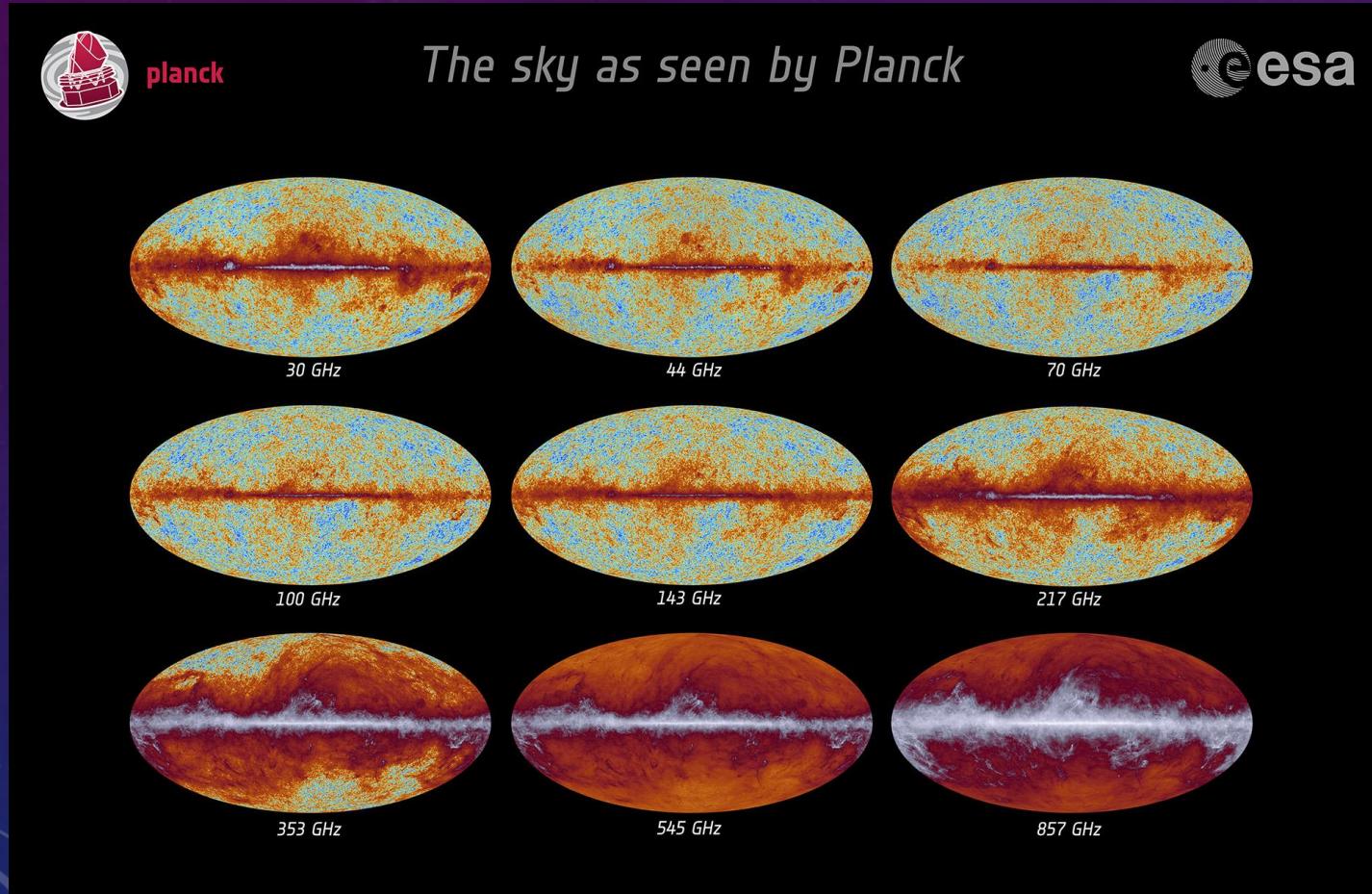
$$T_{\pi} = \frac{m_{\pi} c^2}{k} \approx 1,4 \cdot 10^{32} \text{ K.}$$

10

Планковские величины

$\emptyset = 2M$, 2009 - 2013

PLANCK



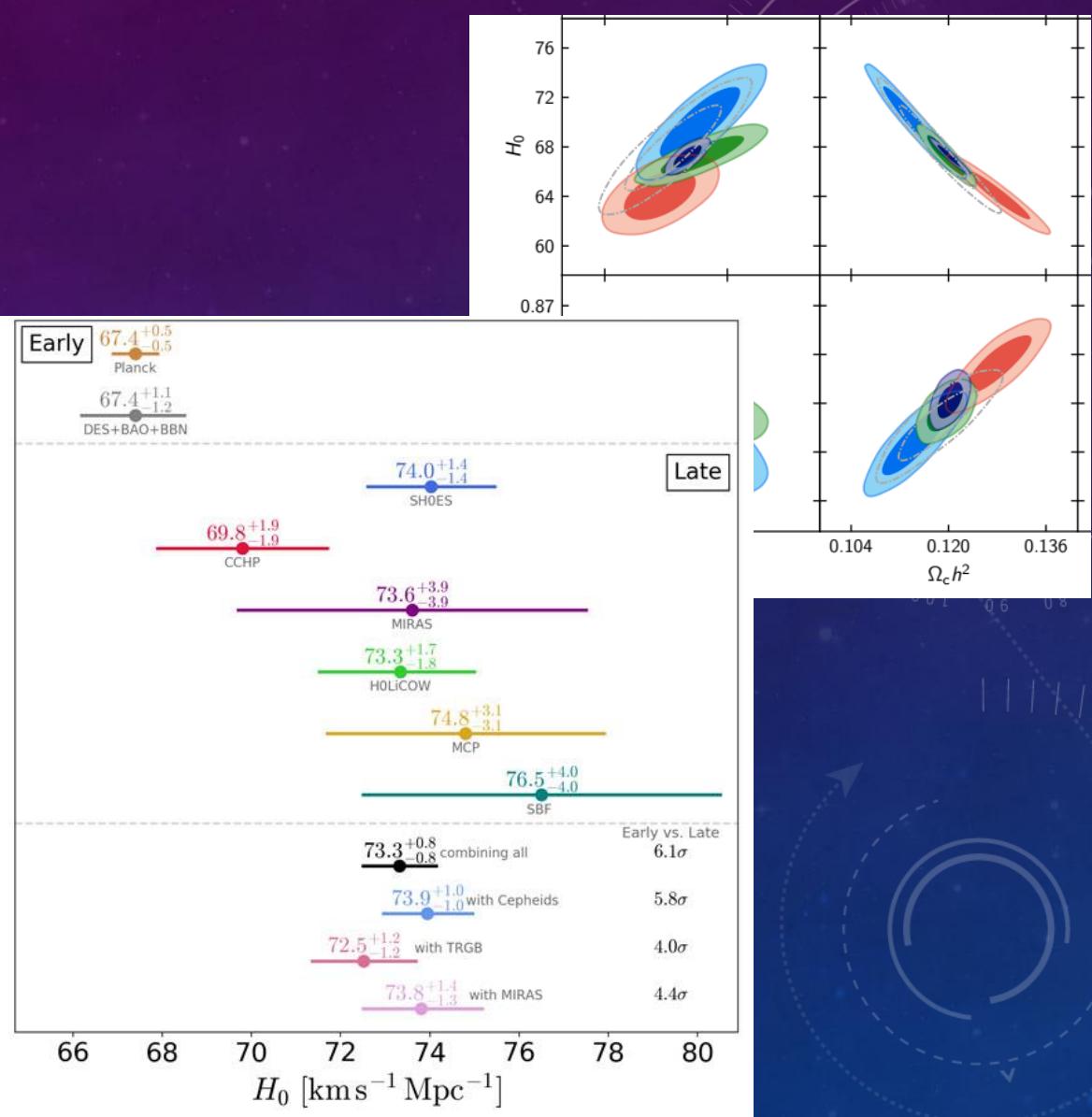
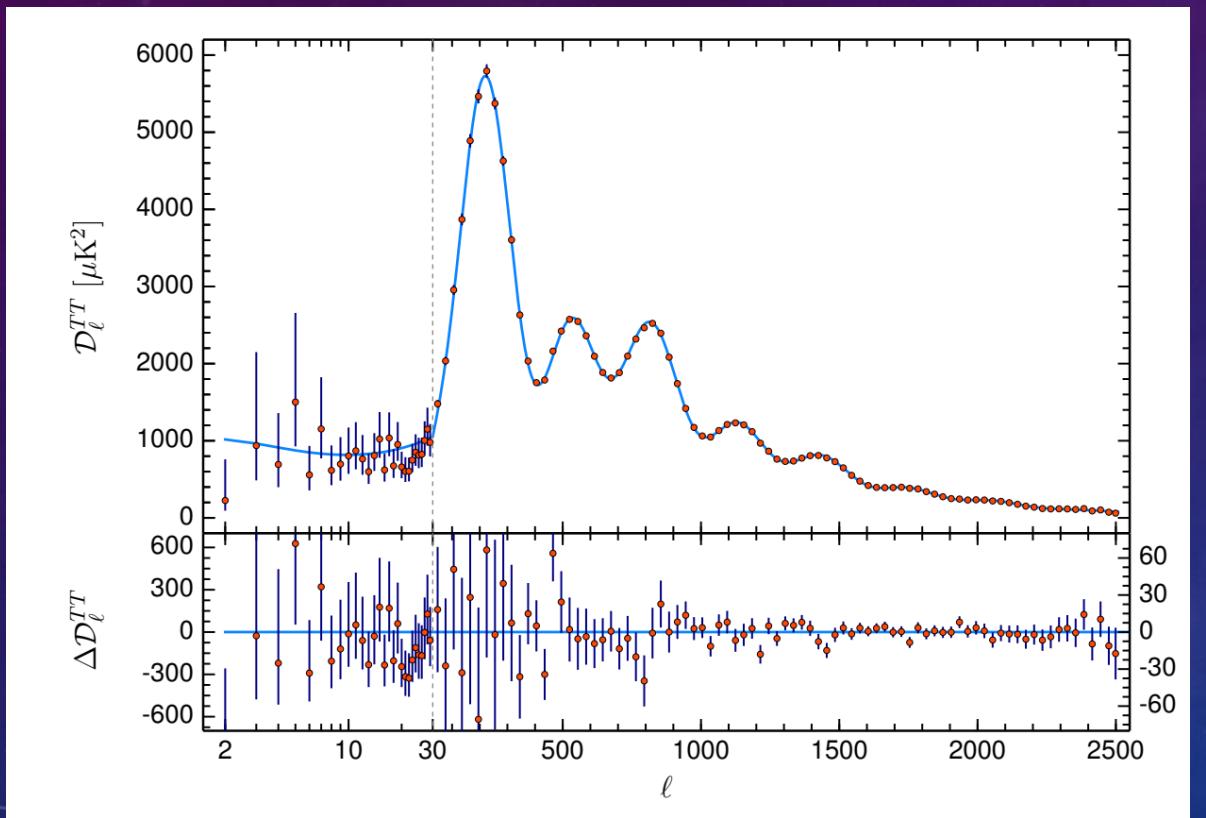
https://www.nasa.gov/mission_pages/planck/



11

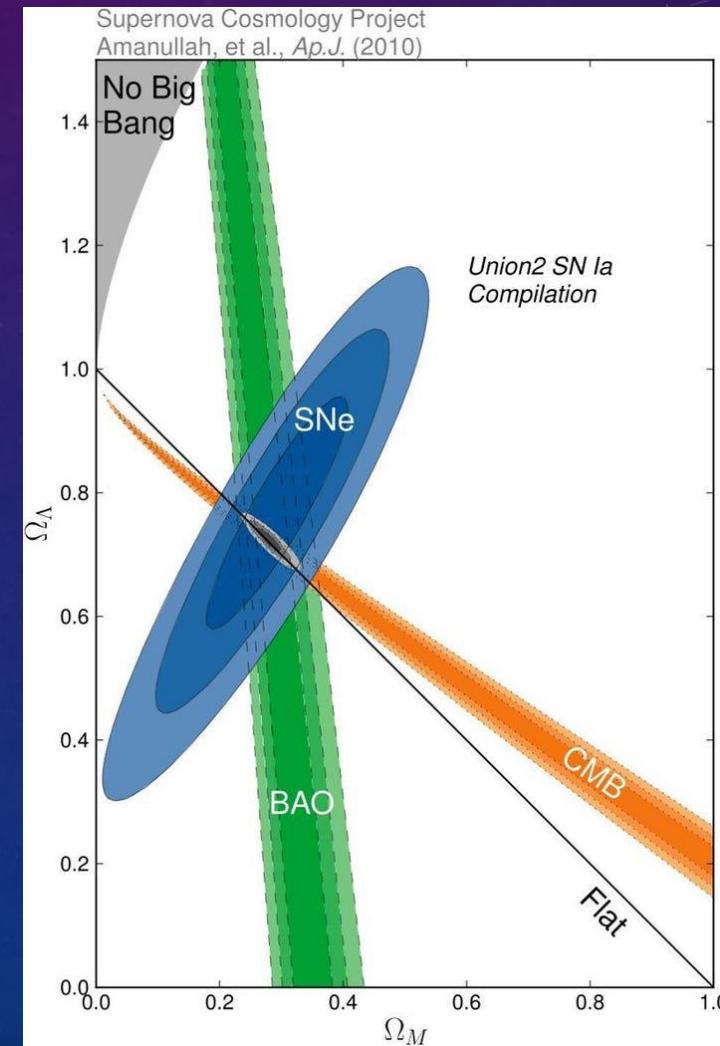
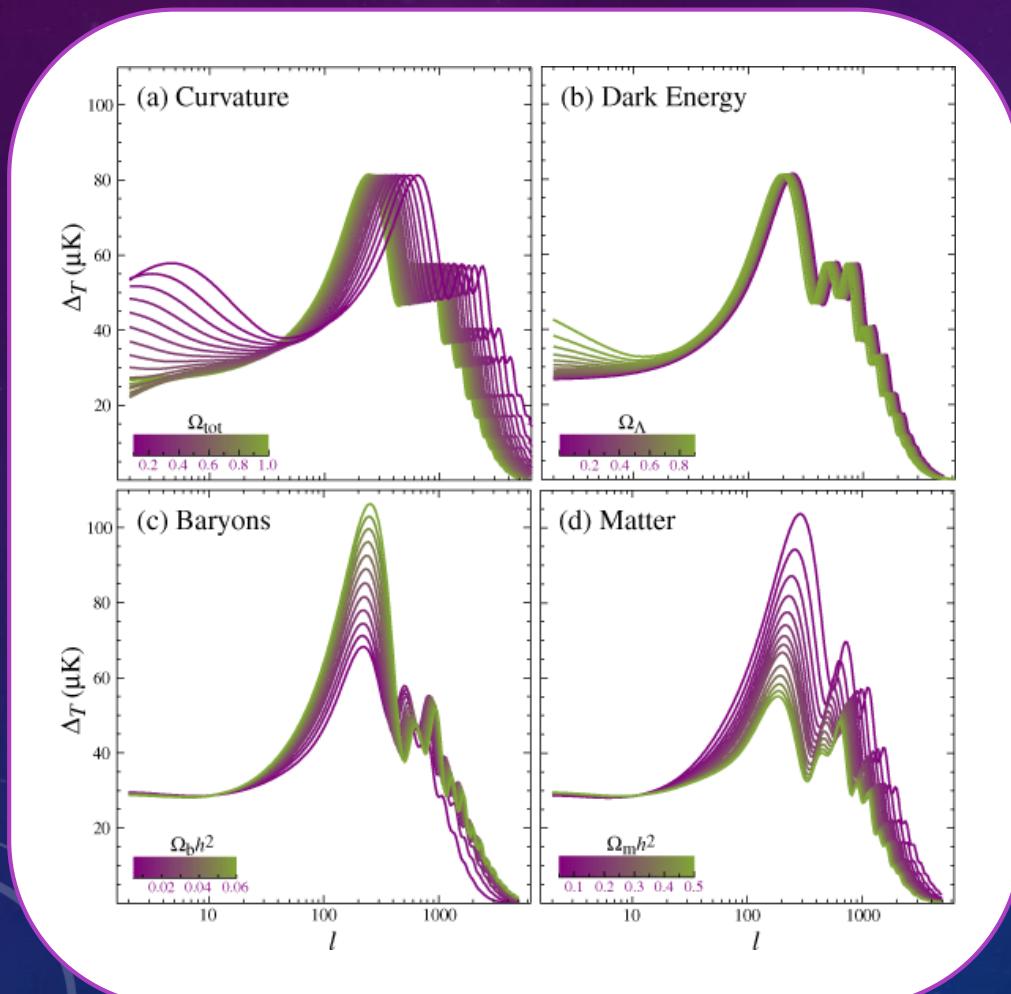
Tauber et al. 2010, A&A, 520, A2

РЕЛИКТОВЫЙ ФОН

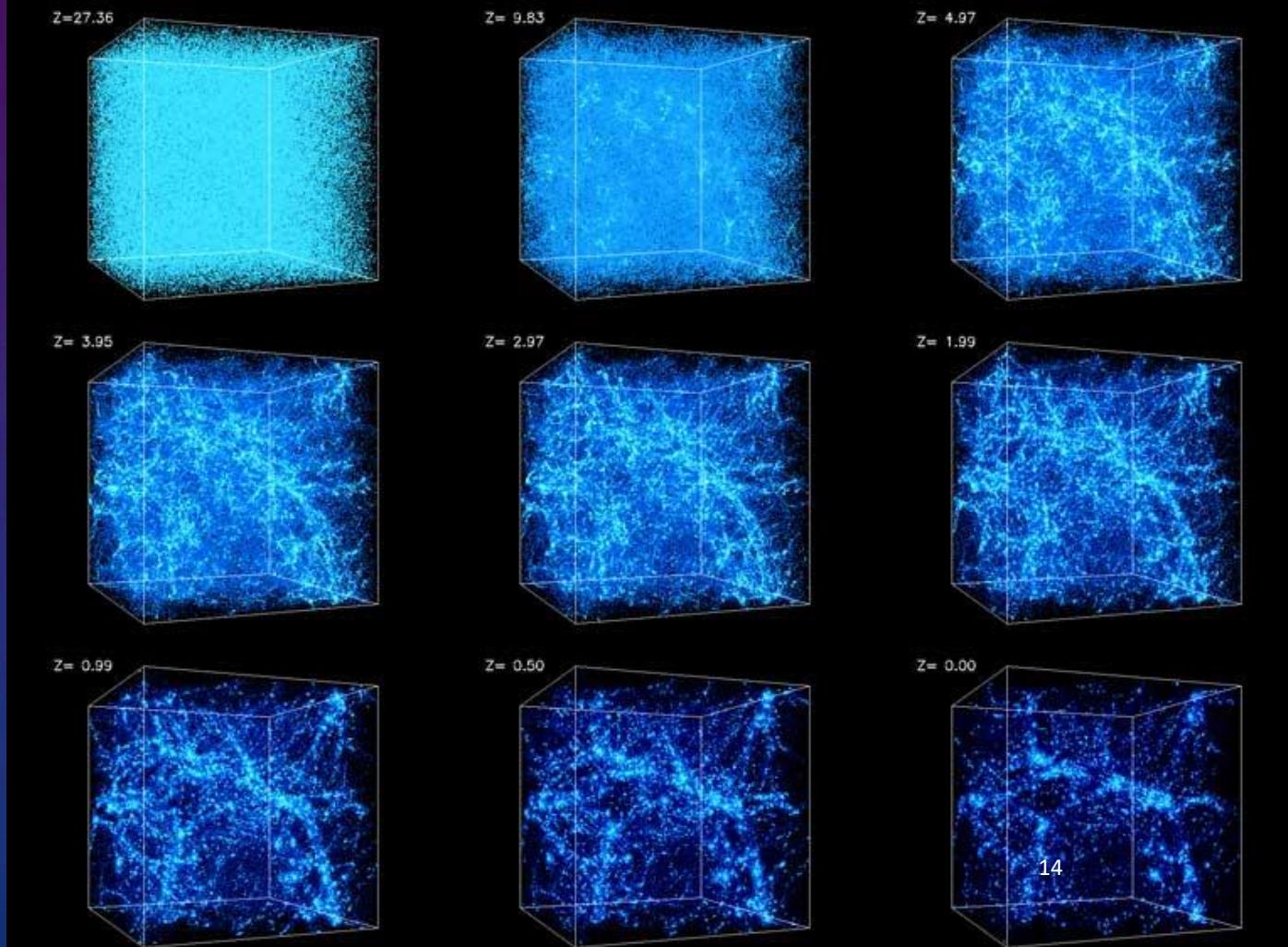
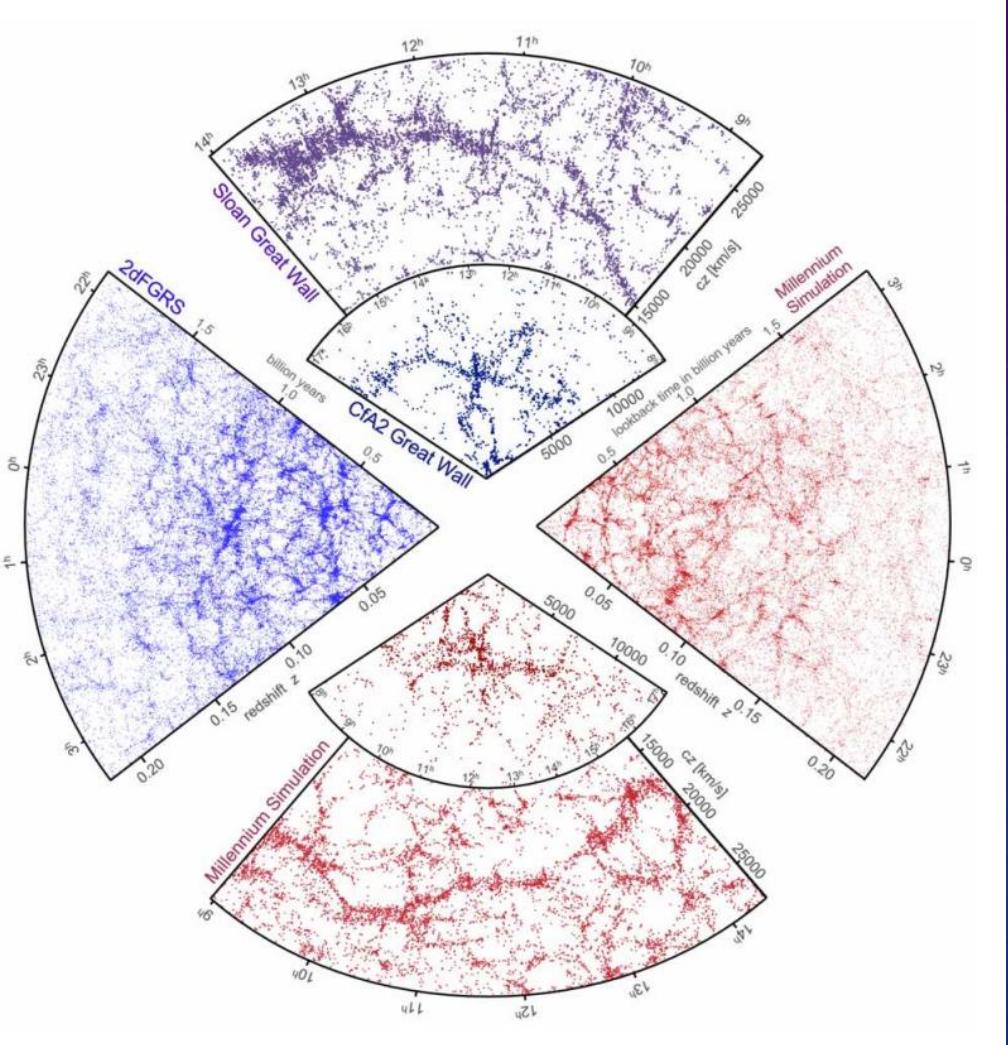


РЕЛИКТОВЫЙ ФОН

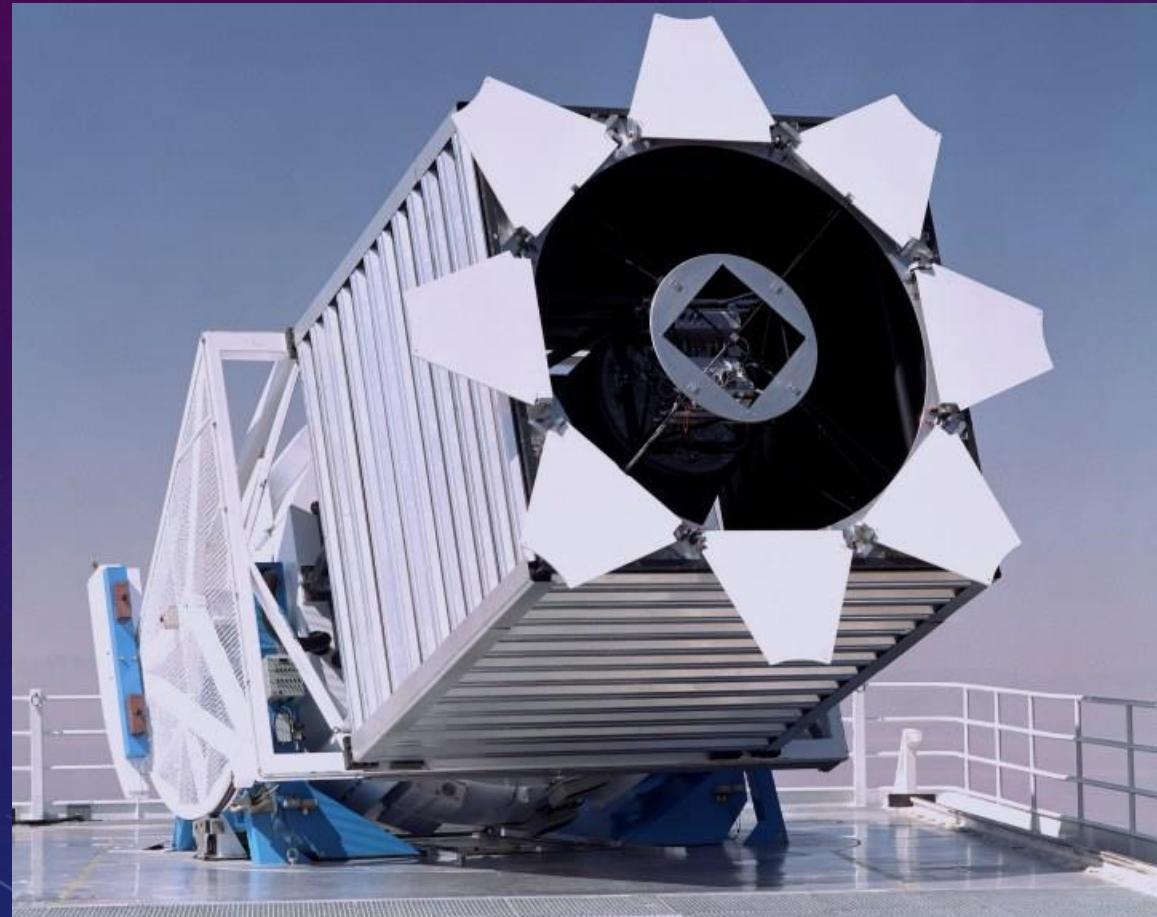
Parameter	TT+lowE 68% limits	TE+lowE 68% limits	EE+lowE 68% limits	TT,TE,EE+lowE 68% limits	TT,TE,EE+lowE+lensing 68% limits	TT,TE,EE+lowE+lensing+BAO 68% limits
$\Omega_b h^2$	0.02212 ± 0.00022	0.02249 ± 0.00025	0.0240 ± 0.0012	0.02236 ± 0.00015	0.02237 ± 0.00015	0.02242 ± 0.00014
$\Omega_c h^2$	0.1206 ± 0.0021	0.1177 ± 0.0020	0.1158 ± 0.0046	0.1202 ± 0.0014	0.1200 ± 0.0012	0.11933 ± 0.00091
$100\theta_{MC}$	1.04077 ± 0.00047	1.04139 ± 0.00049	1.03999 ± 0.00089	1.04090 ± 0.00031	1.04092 ± 0.00031	1.04101 ± 0.00029
τ	0.0522 ± 0.0080	0.0496 ± 0.0085	0.0527 ± 0.0090	$0.0544^{+0.0070}_{-0.0081}$	0.0544 ± 0.0073	0.0561 ± 0.0071
$\ln(10^{10} A_s)$	3.040 ± 0.016	$3.018^{+0.020}_{-0.018}$	3.052 ± 0.022	3.045 ± 0.016	3.044 ± 0.014	3.047 ± 0.014
n_s	0.9626 ± 0.0057	0.967 ± 0.011	0.980 ± 0.015	0.9649 ± 0.0044	0.9649 ± 0.0042	0.9665 ± 0.0038



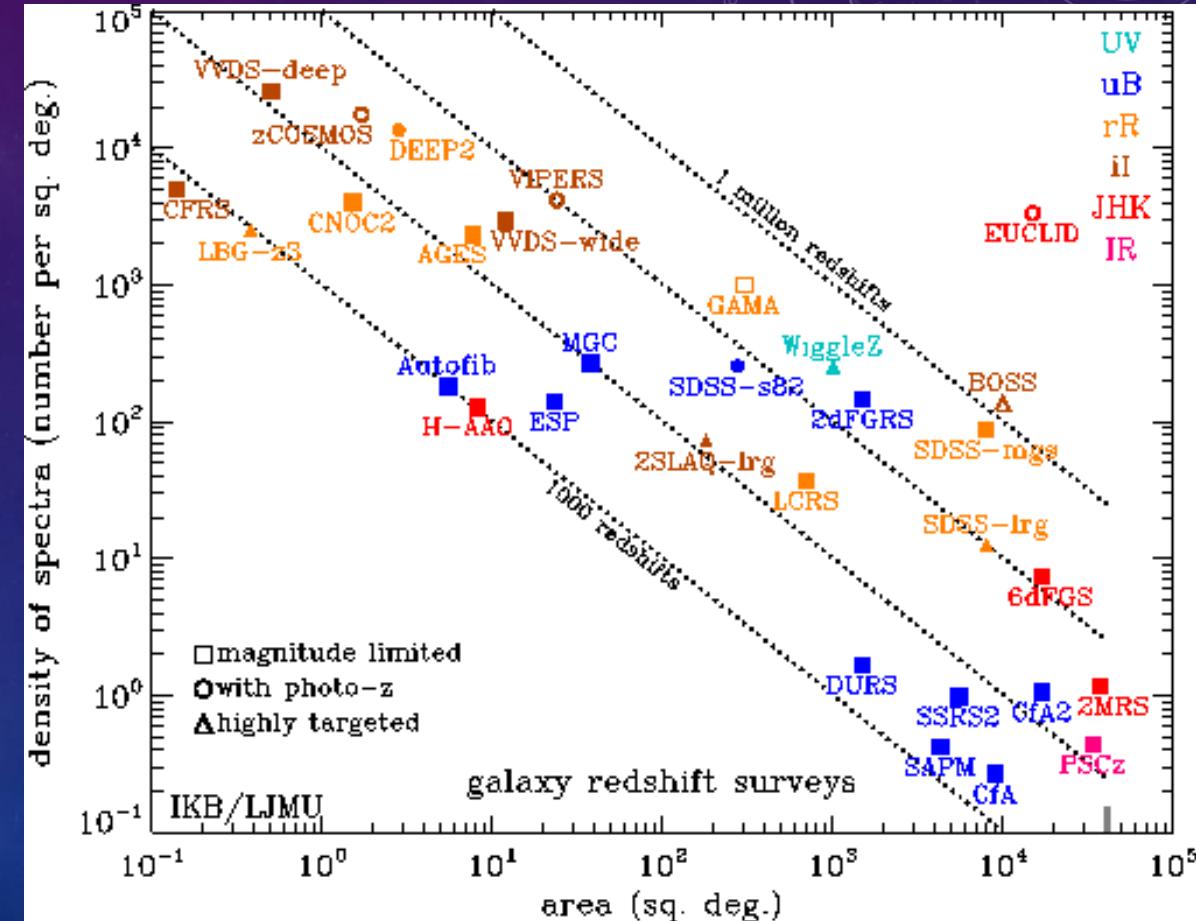
КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА



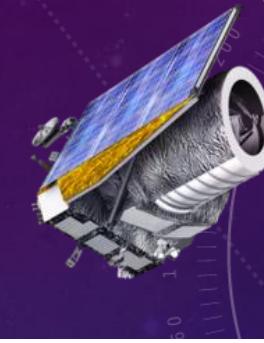
ОБЗОРЫ



sdss.org



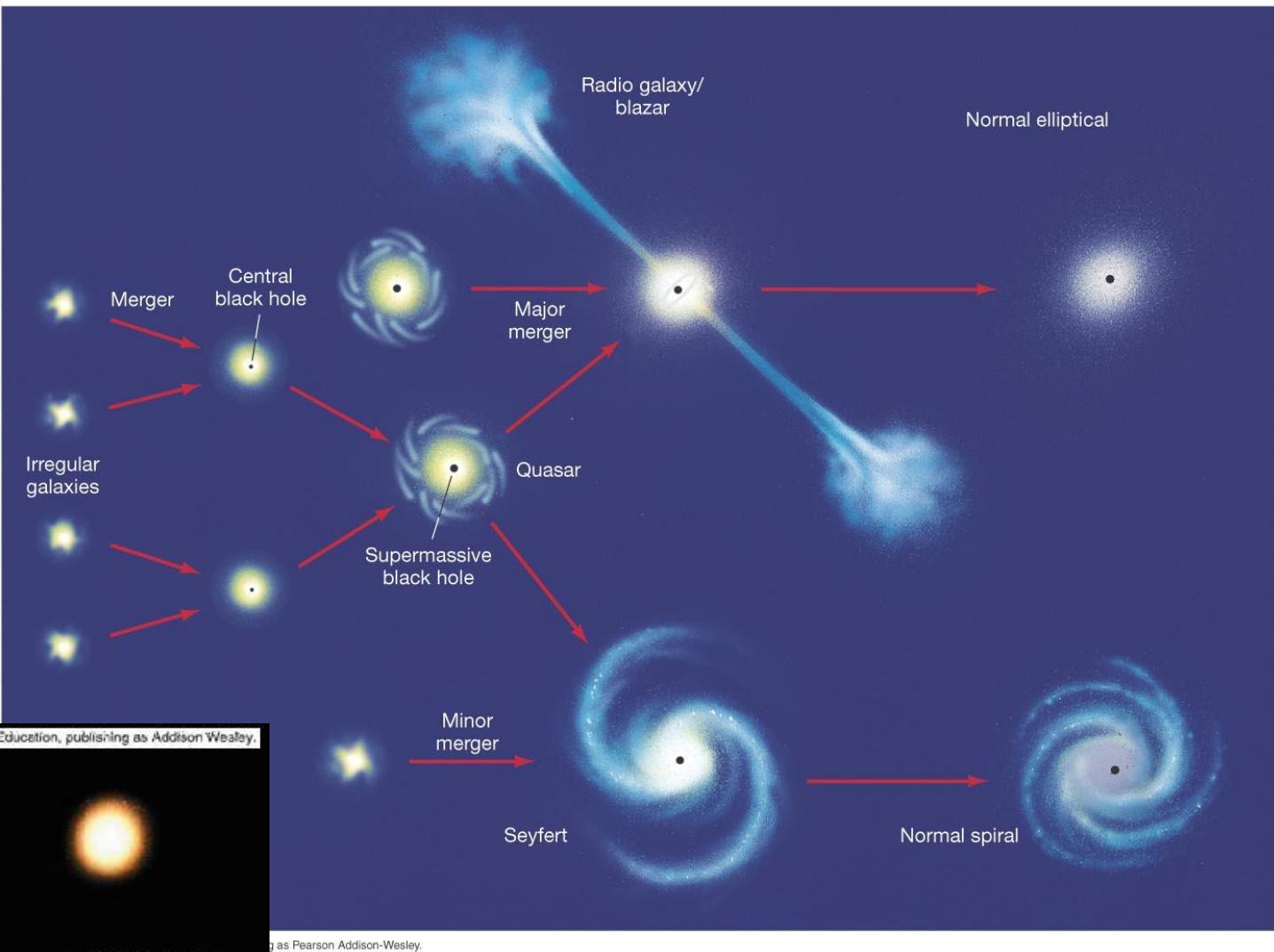
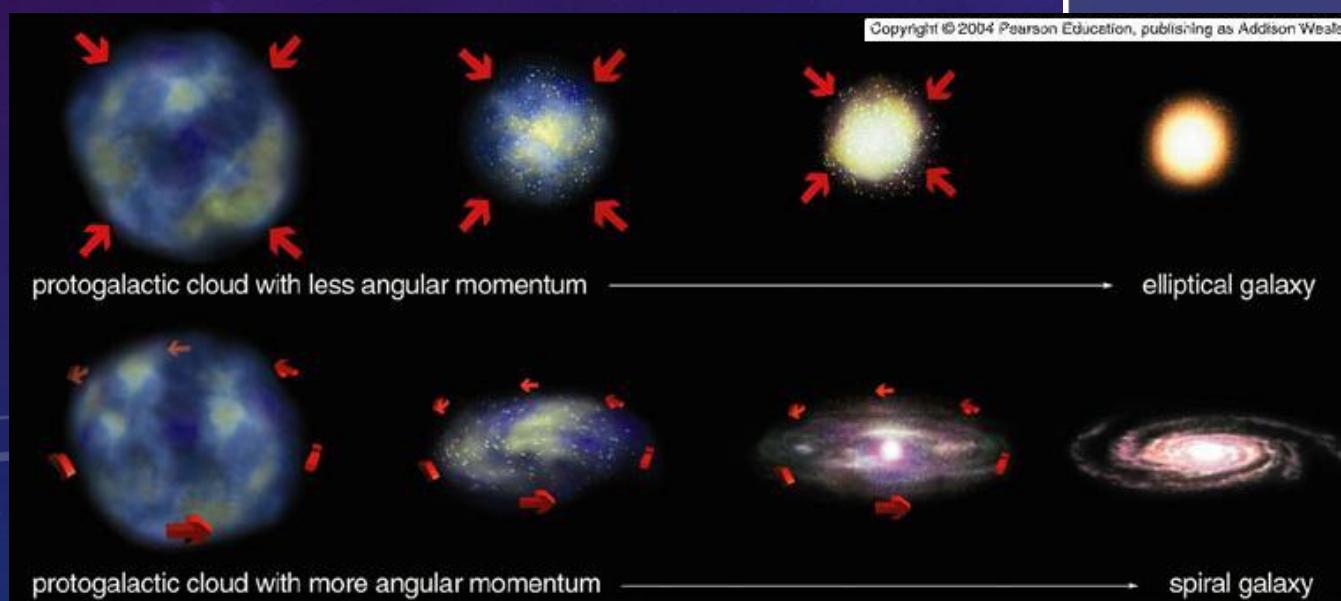
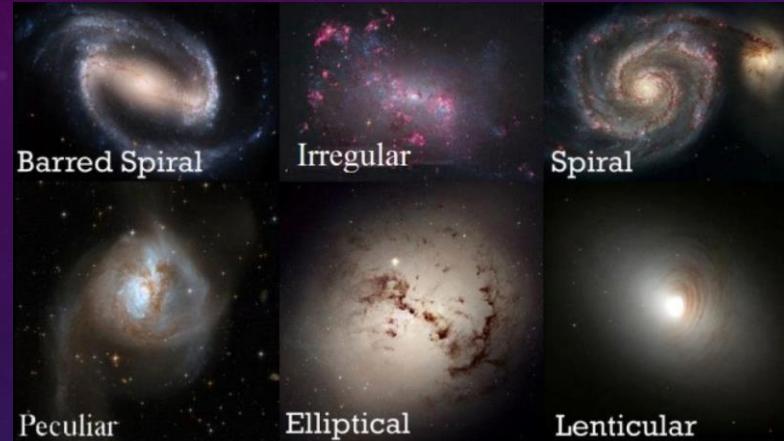
<https://www.astro.ljmu.ac.uk/~ikb/research/galaxy-redshift-surveys.html>



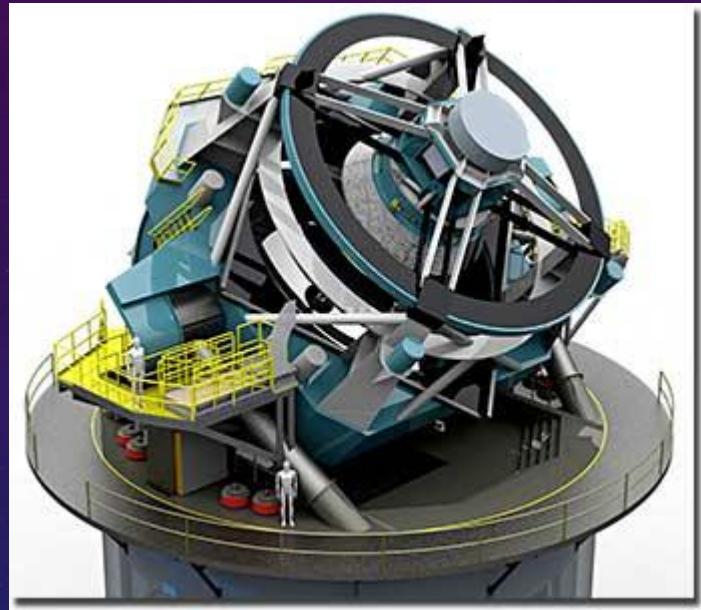
Euclid (ESA)

Старт:
октябрь 2022?

ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК



SYNOPTIC SURVEY TELESCOPE

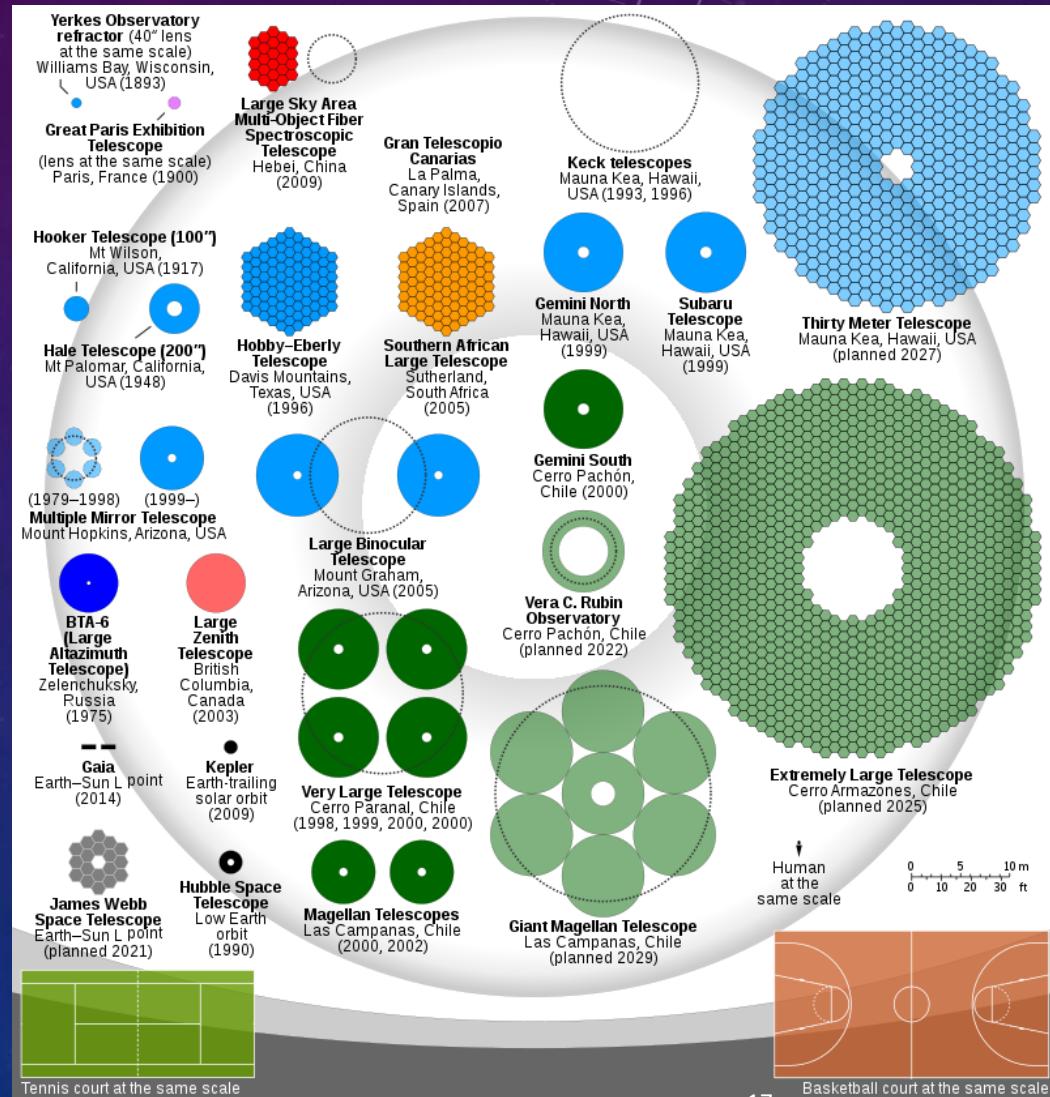


Phys.org

LSST (Vera Rubin Observatory),
Ø8.5m, FOV = 9.5 sq. deg
3.2 Gpix, 30 Tb/ночь

<https://www.lsst.org/>

Первый свет:
октябрь 2022?



Wikipedia.org

ГАЛАКТИКА

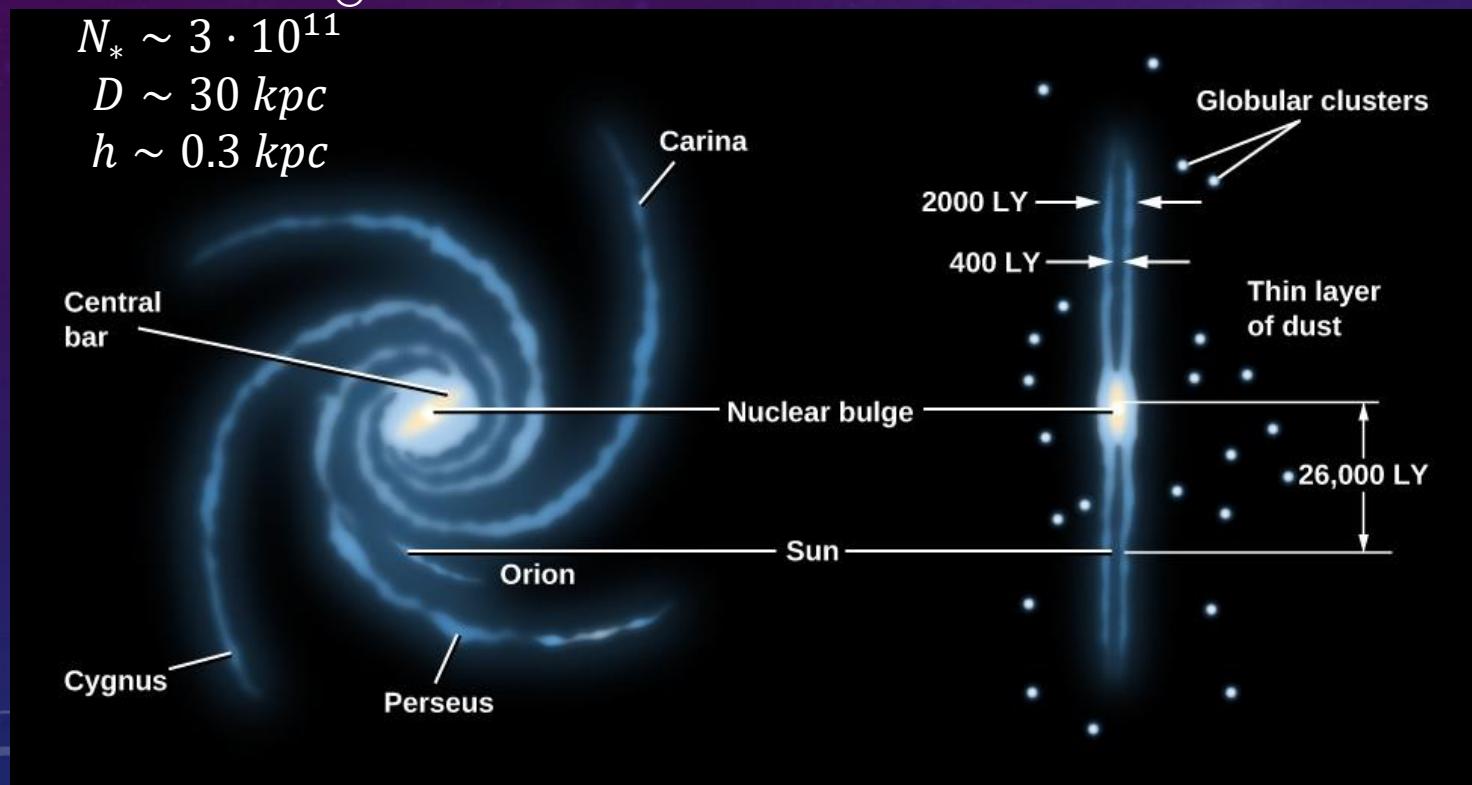
$$M \sim 5 \cdot 10^{11} M_{\odot}$$

$$L \sim 2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$$

$$N_* \sim 3 \cdot 10^{11}$$

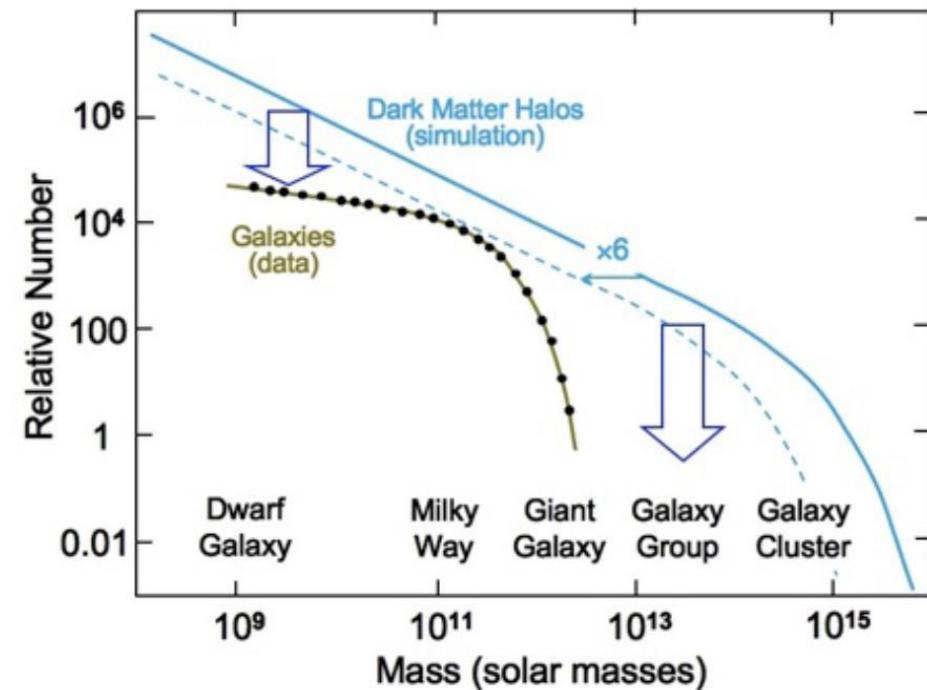
$$D \sim 30 \text{ kpc}$$

$$h \sim 0.3 \text{ kpc}$$

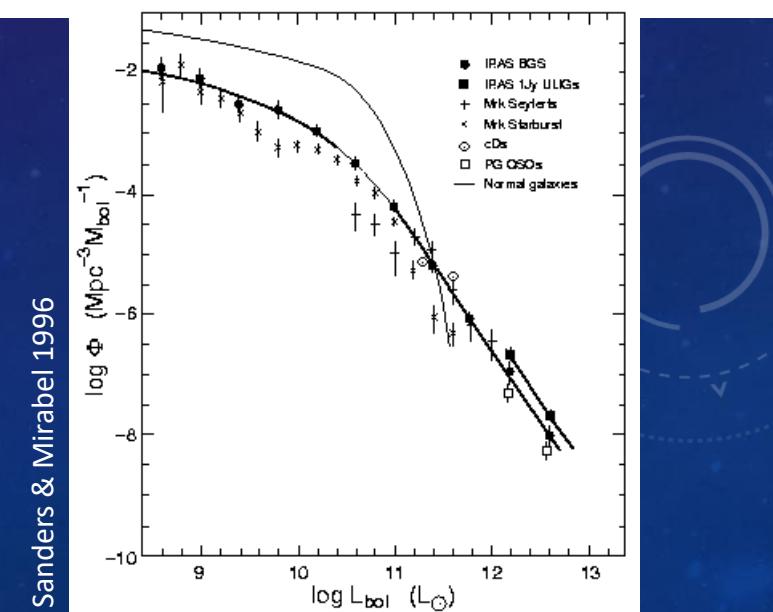


<https://courses.lumenlearning.com/astronomy/chapter/the-architecture-of-the-galaxy/>

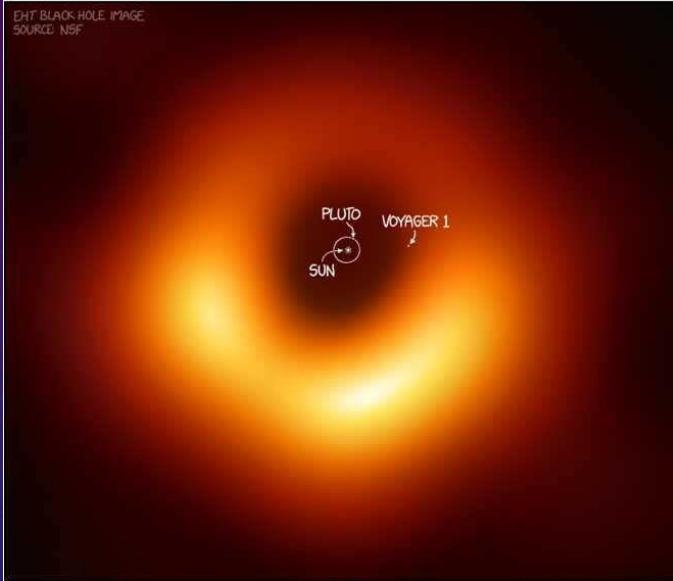
Halo and Galaxy Mass Distributions



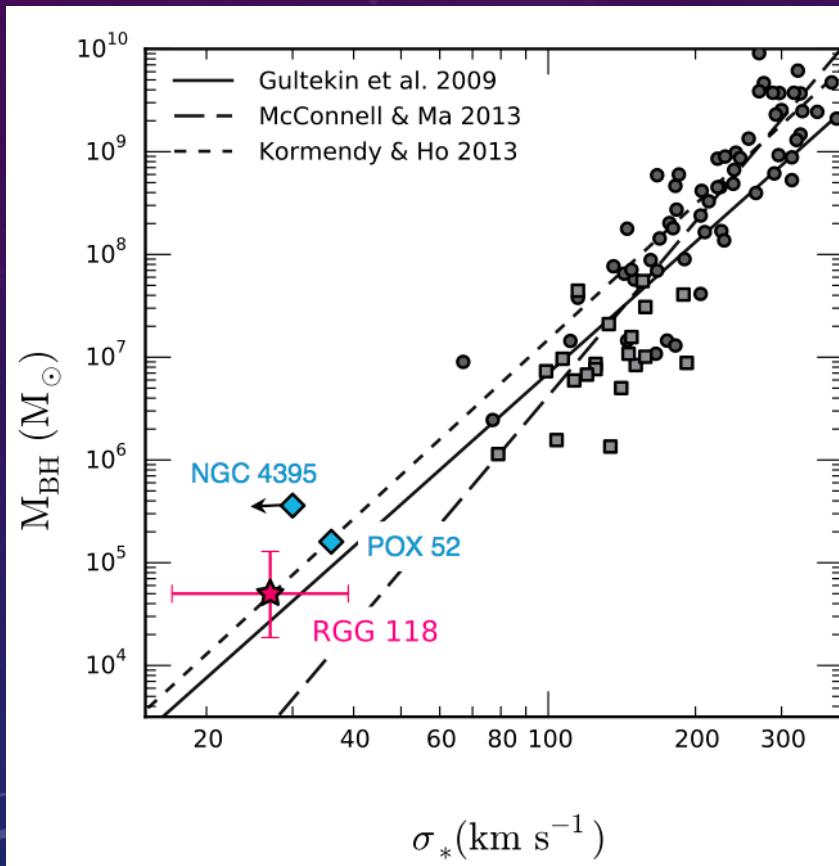
by J. Green



SIZE COMPARISON:
THE M87 BLACK HOLE
AND
OUR SOLAR SYSTEM



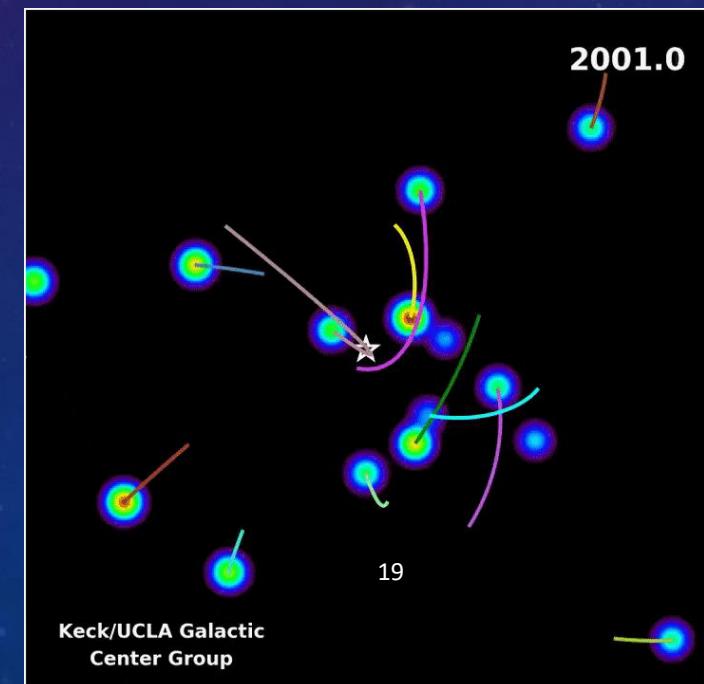
СВЕРХМАССИВНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ



Baldassare et al. 2015

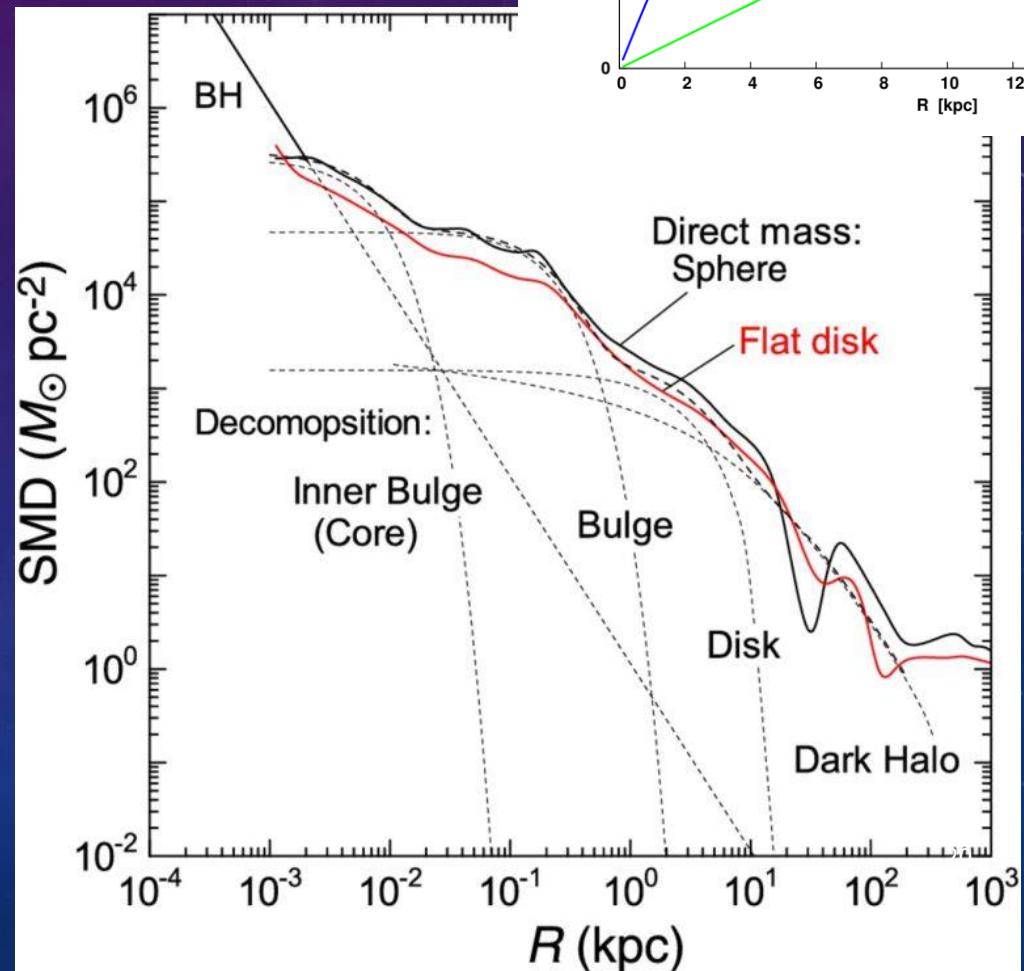
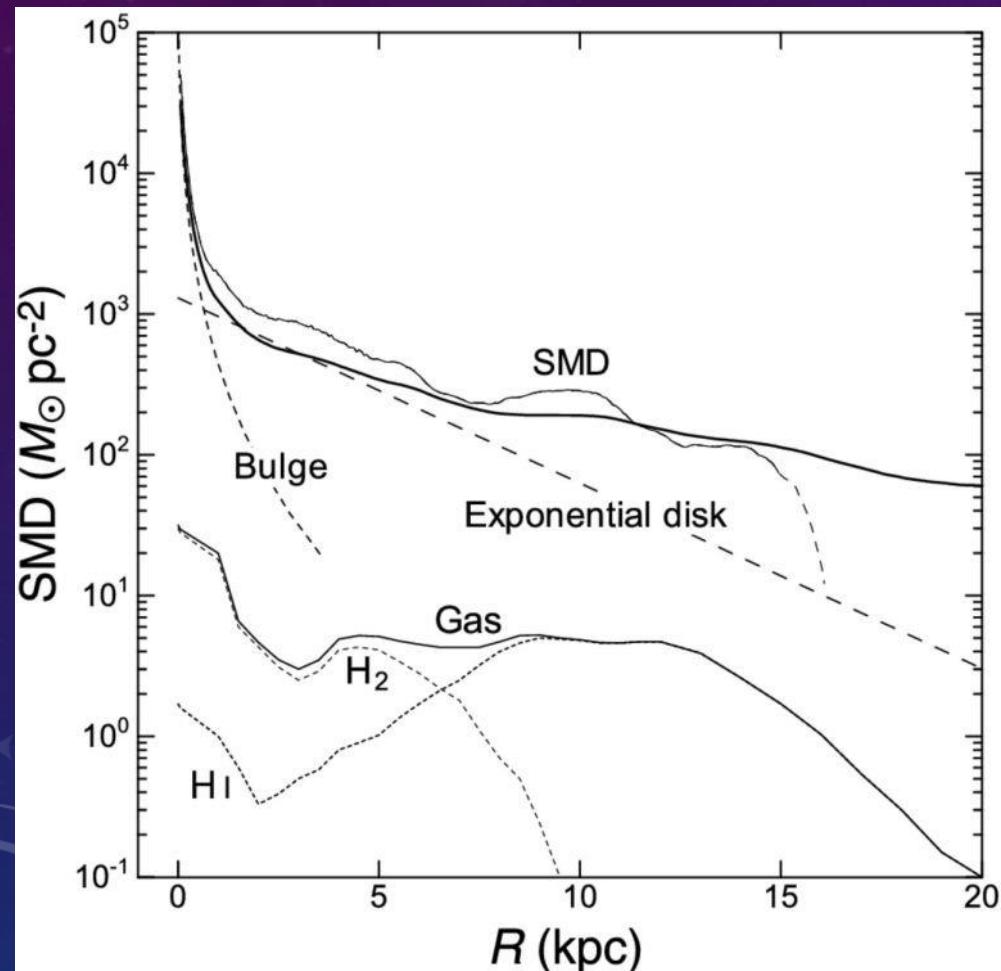


<https://eventhorizontelescope.org/>

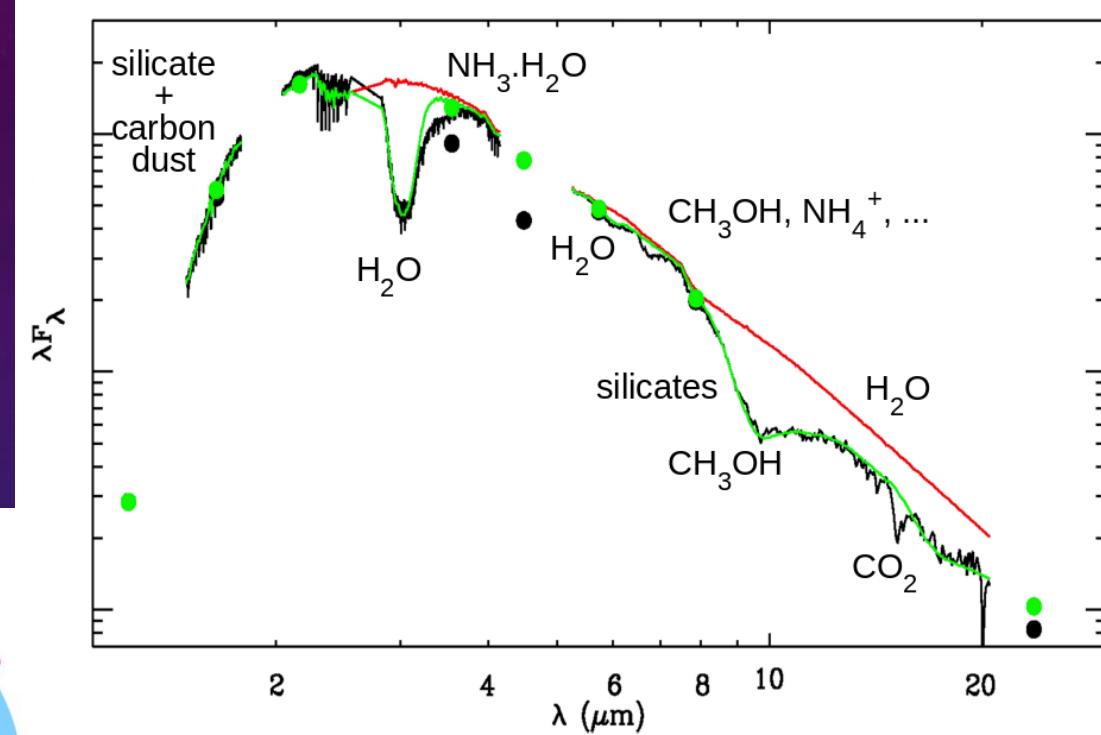
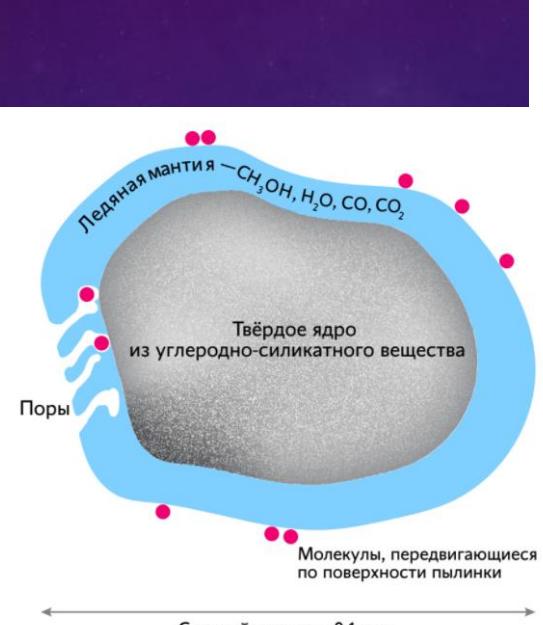
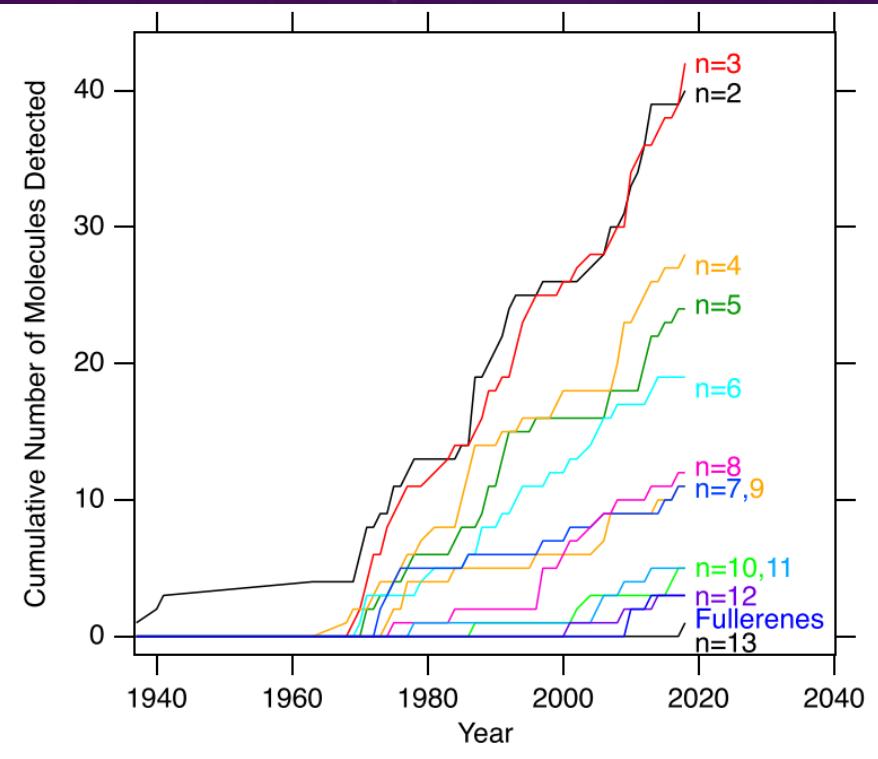


Keck/UCLA Galactic
Center Group

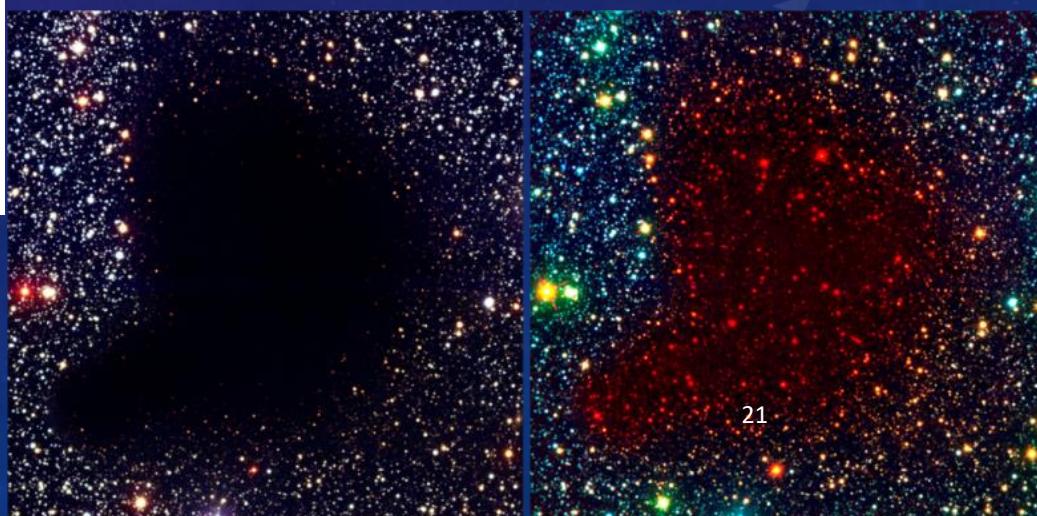
ГАЗ И ЗВЕЗДЫ



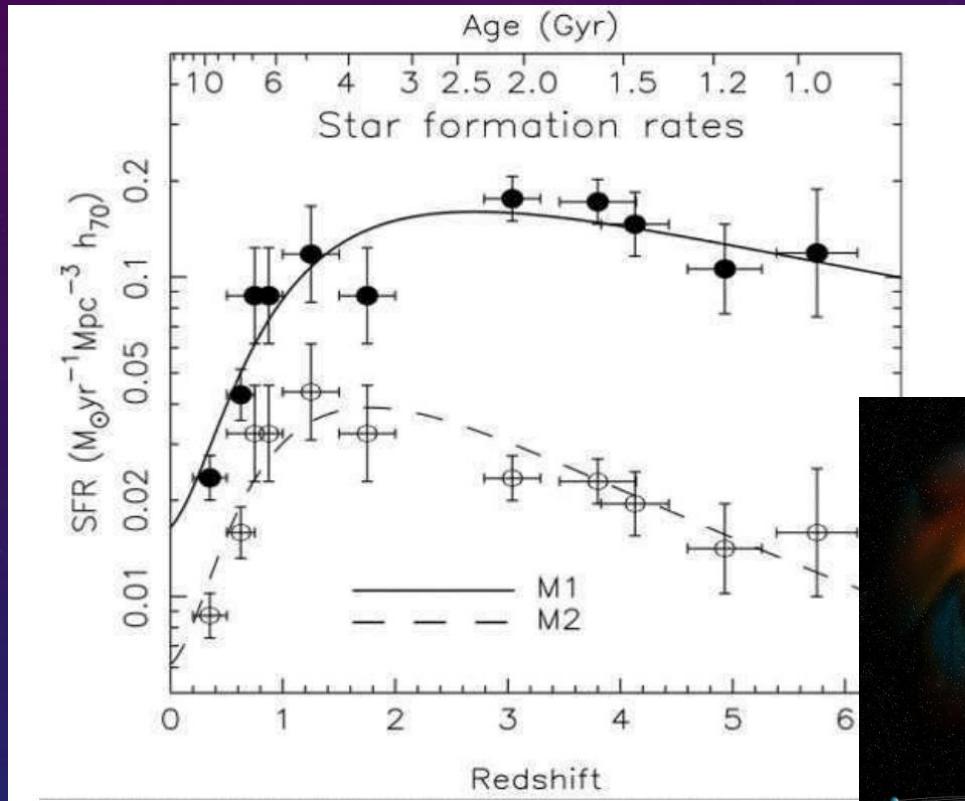
МЕЖЗВЁЗДНАЯ СРЕДА



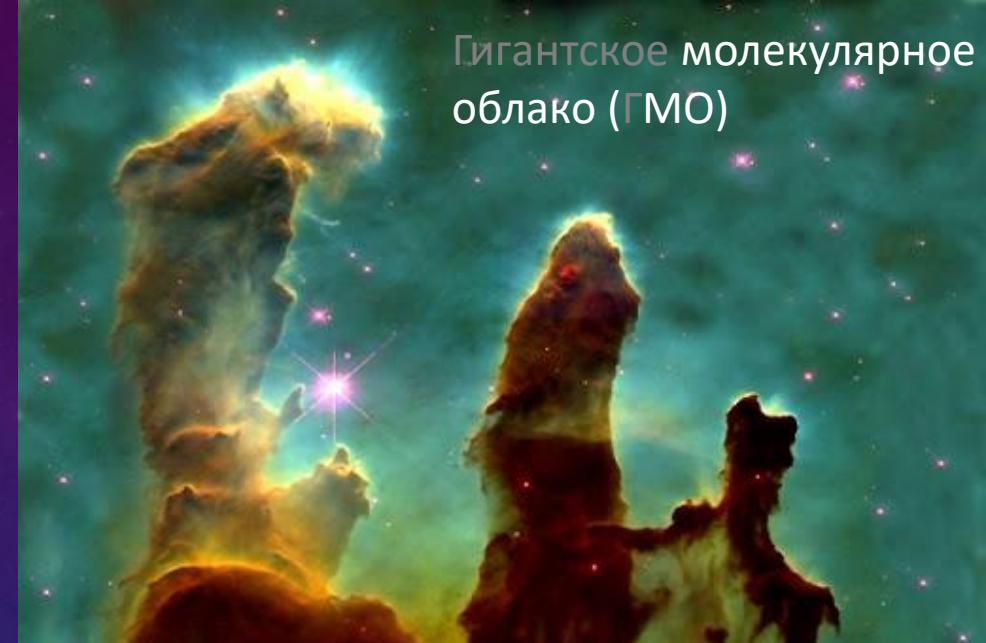
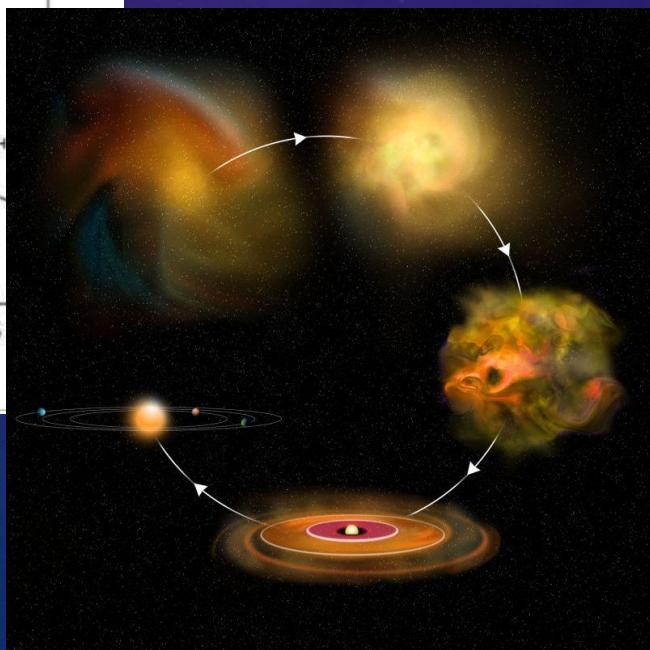
<https://www.ifa.hawaii.edu/research/ISM.shtml>



ЗВЁЗДООБРАЗОВАНИЕ



arXiv:astro-ph/0406546



Гигантское молекулярное облако (ГМО)

$$\left. \begin{array}{l} n \sim 100 \text{ см}^{-3} \\ \rho_0 \sim 10^{-22} \text{ г см}^{-3} \end{array} \right\} t_{ff} \sim \frac{1}{\sqrt{G\rho_0}} \approx 10^7 \text{ лет}$$

Джинсовская длина:

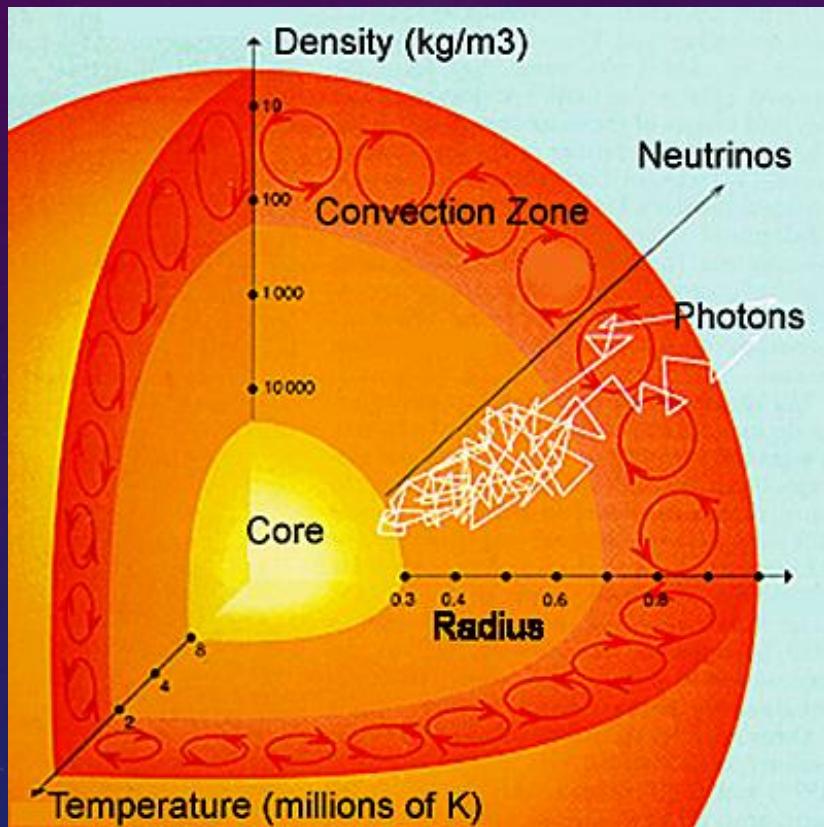
$$\lambda_J = c_s \left(\frac{\pi}{G\rho_0} \right)^{-\frac{1}{2}} \sim 100 \text{ пк}$$

Джинсовская масса:

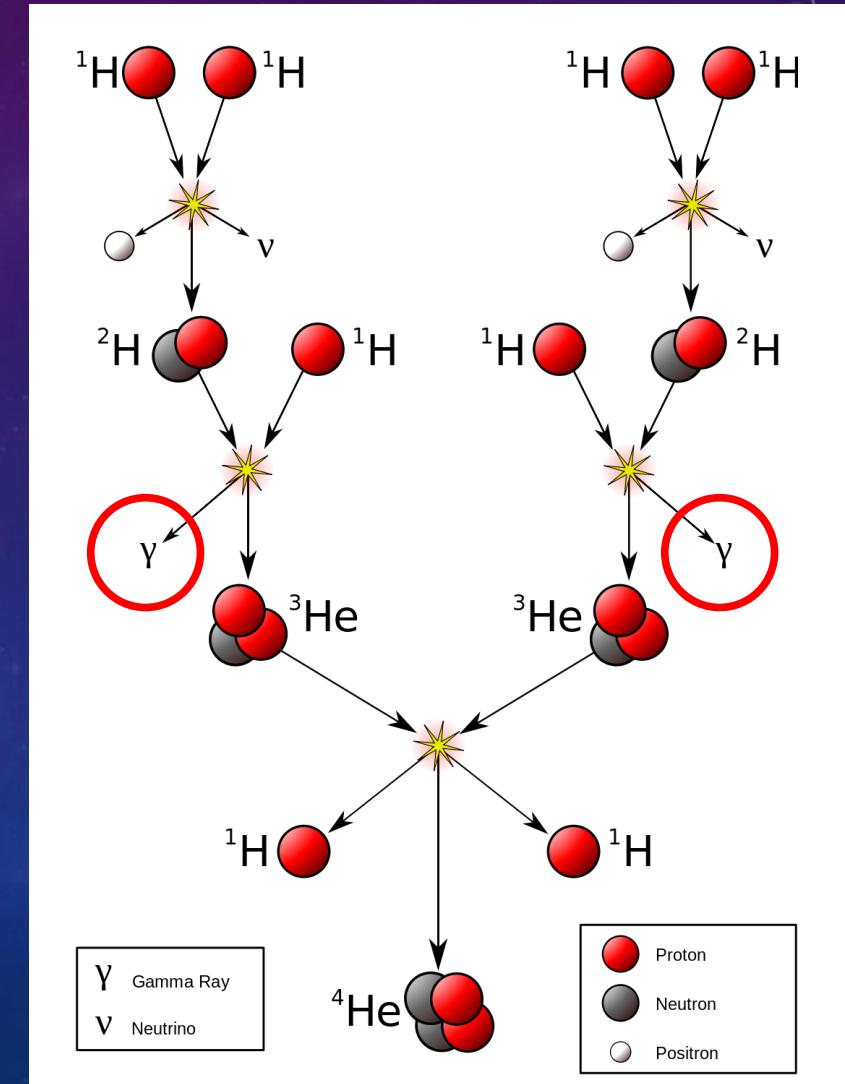
$$M_J = \rho_0 \lambda_J^3 \sim 5^{22} \cdot 10^4 M_\odot$$

В 90% звёзд Вселенной прямо сейчас горит водород.

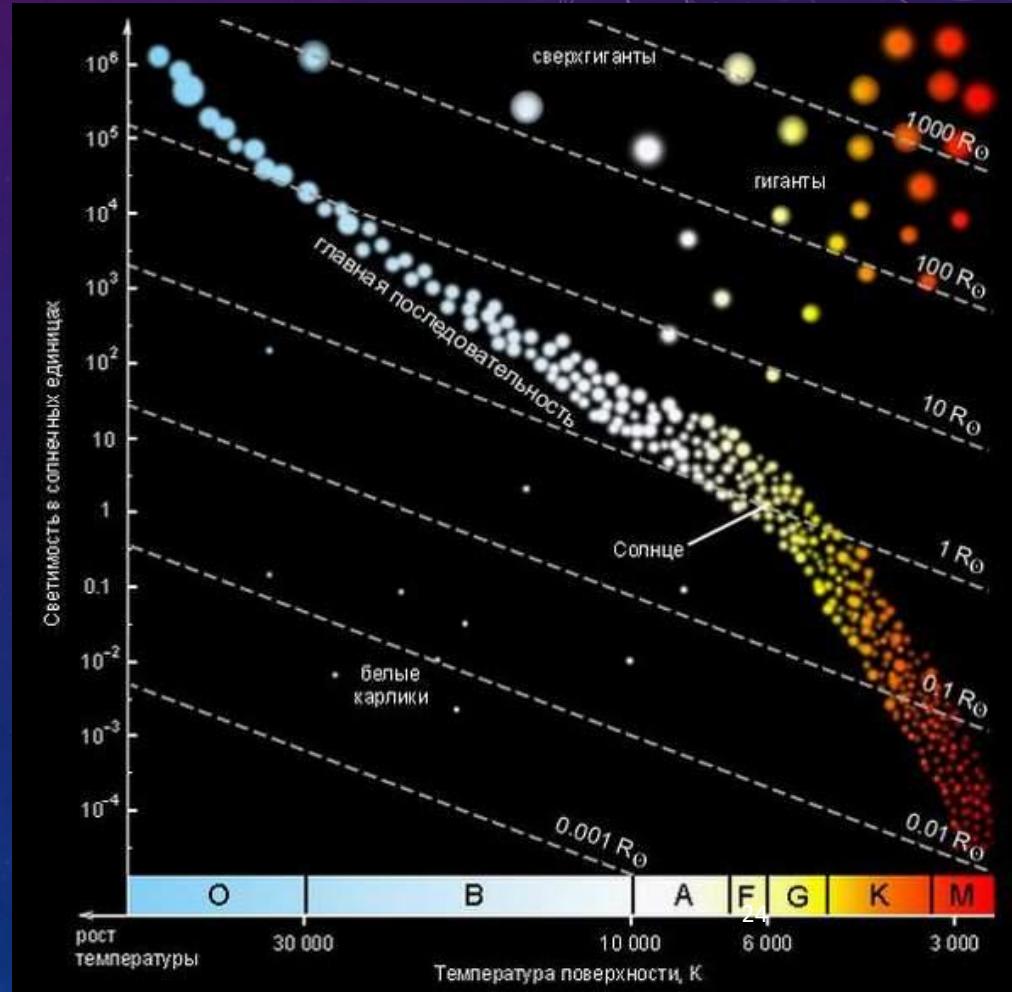
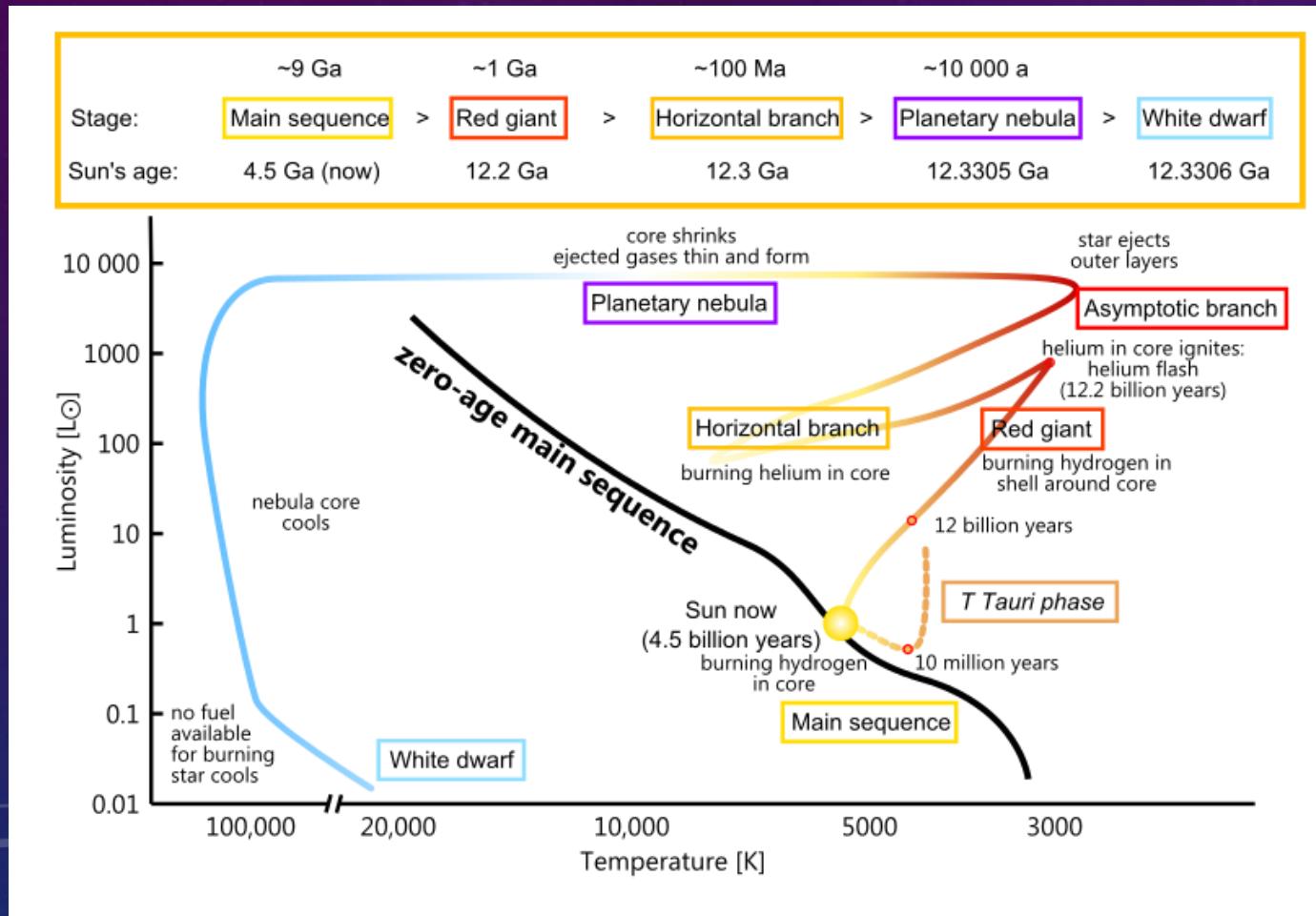
ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ



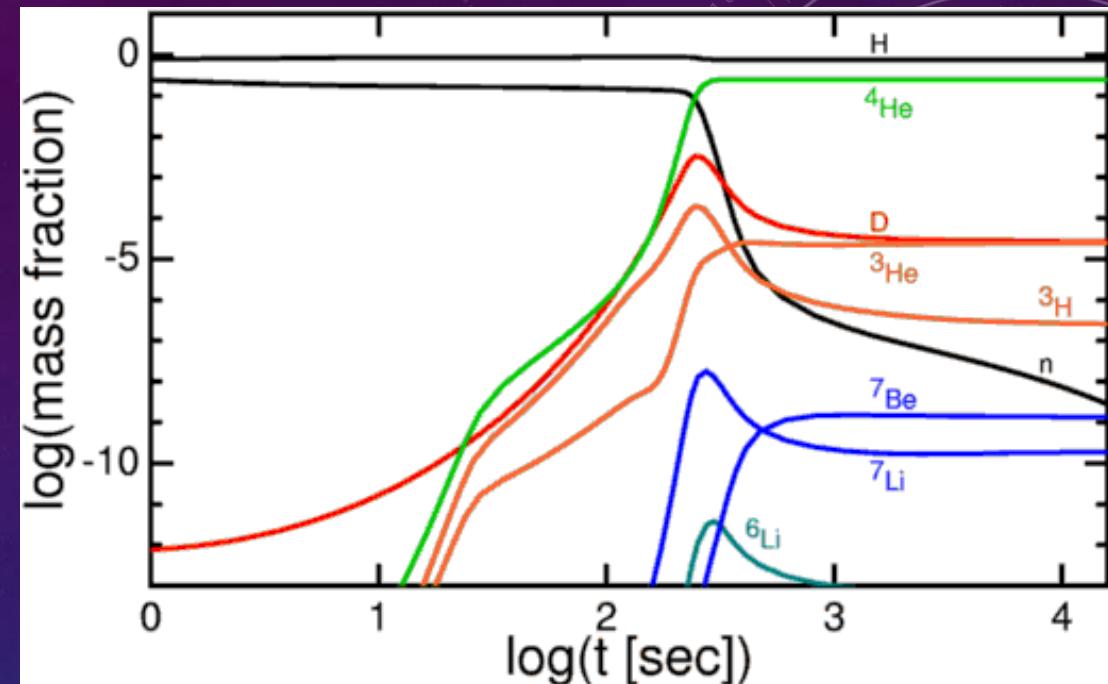
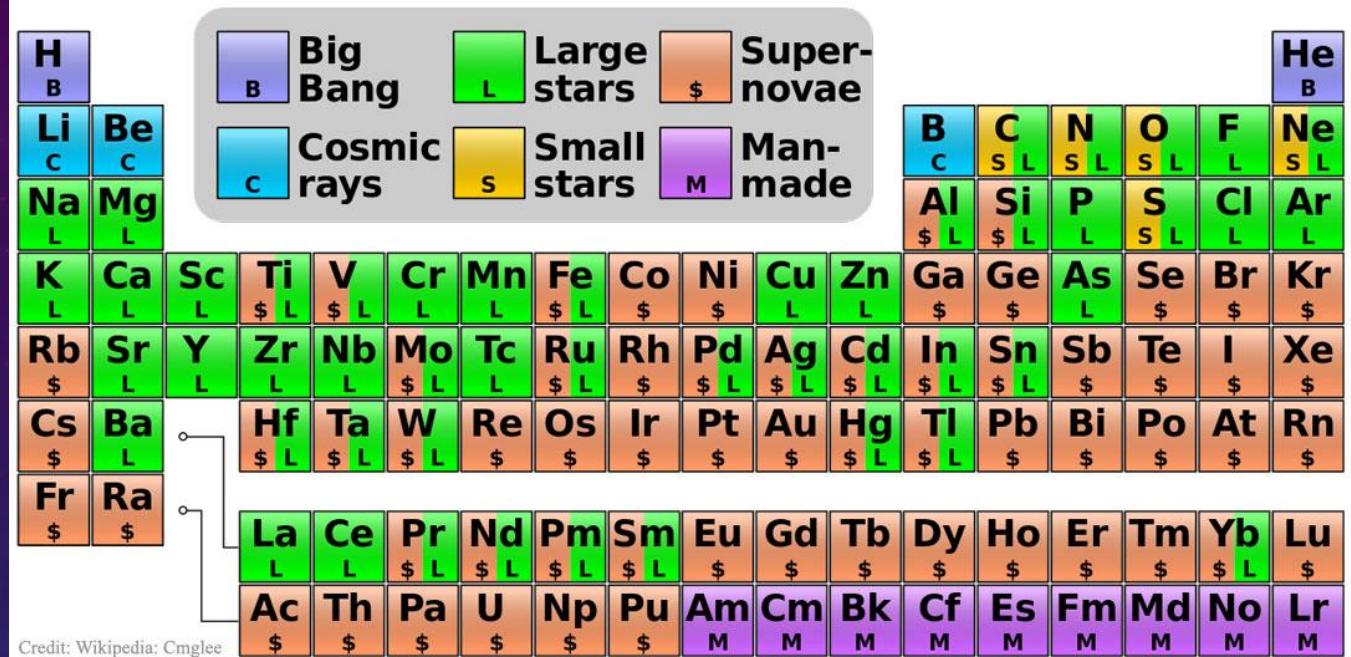
Состав: водород ($\frac{3}{4}$), гелий (почти $\frac{1}{4}$), углерод, кислород и т. д. (менее 1%)



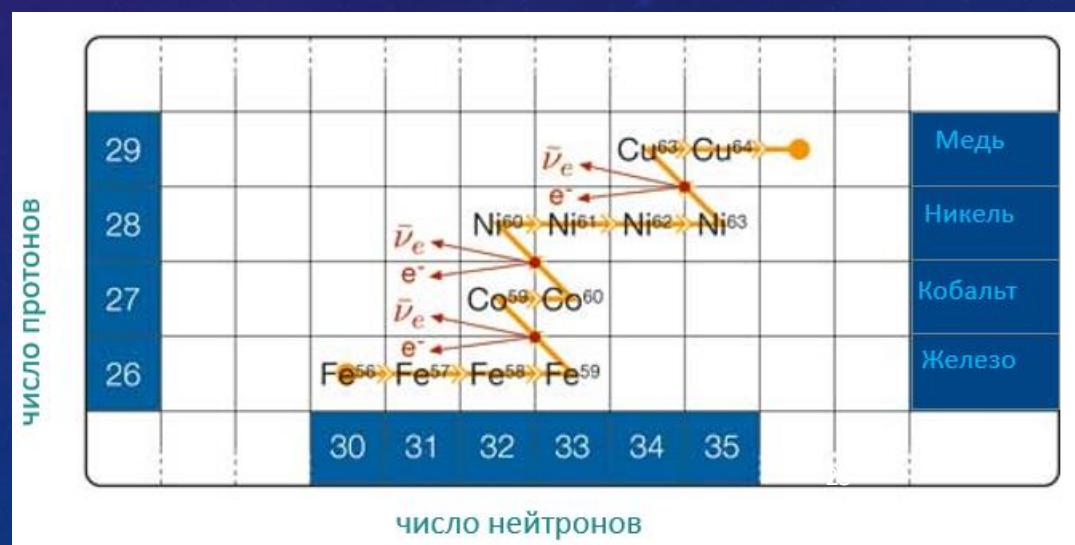
ЗВЁЗДЫ



НУКЛЕОСИНТЕЗ

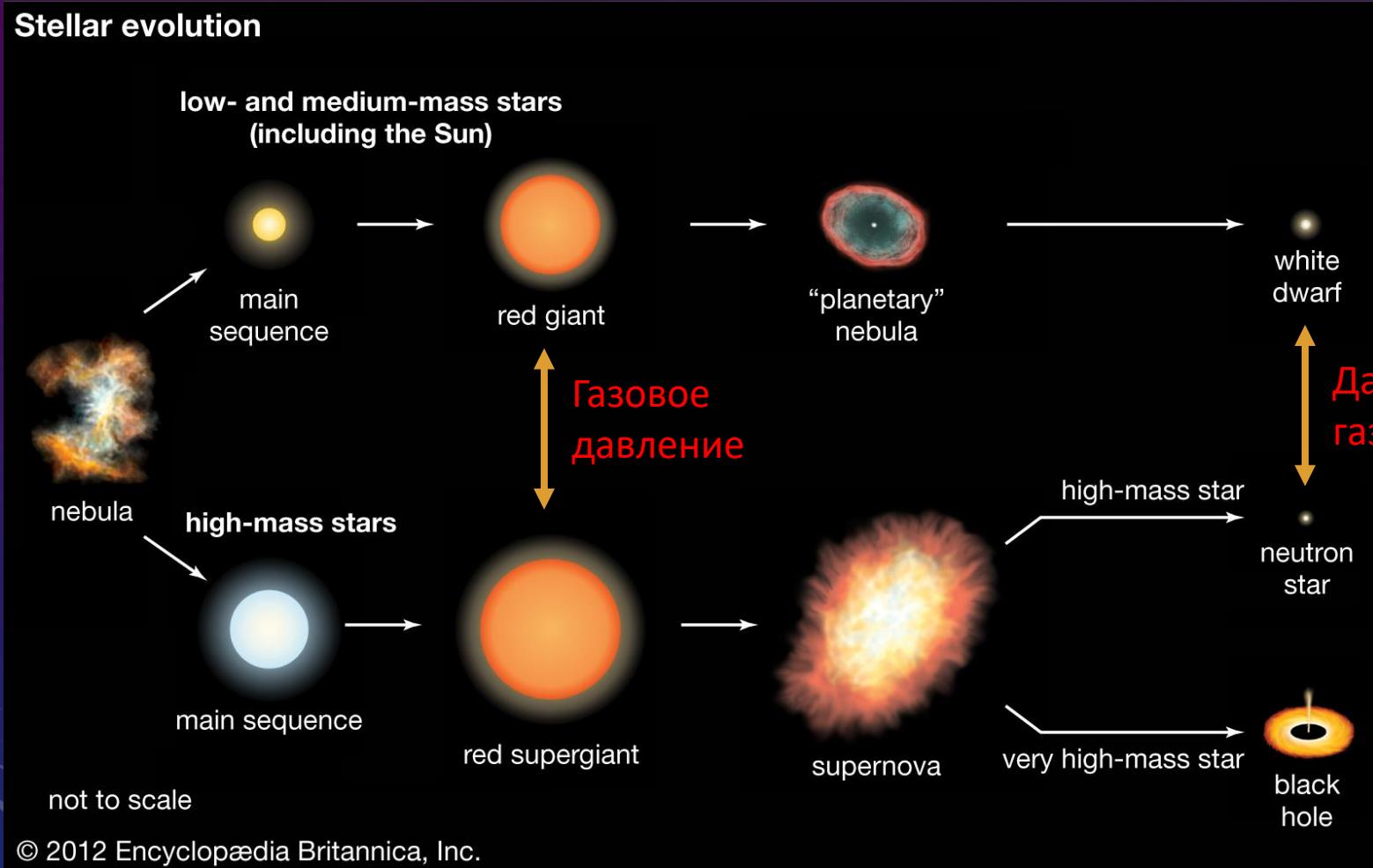


<http://www.astro.ucla.edu/~wright/BBNS.html>



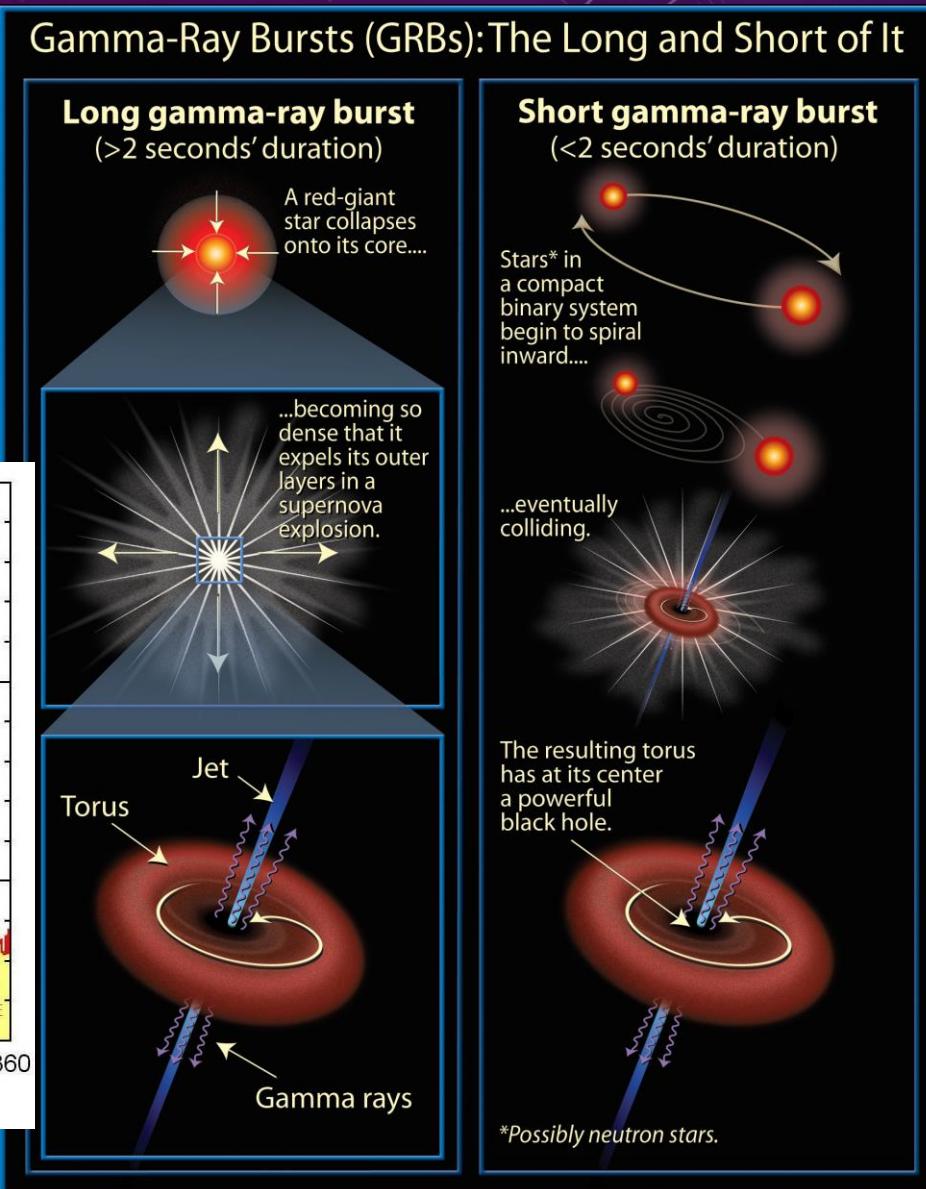
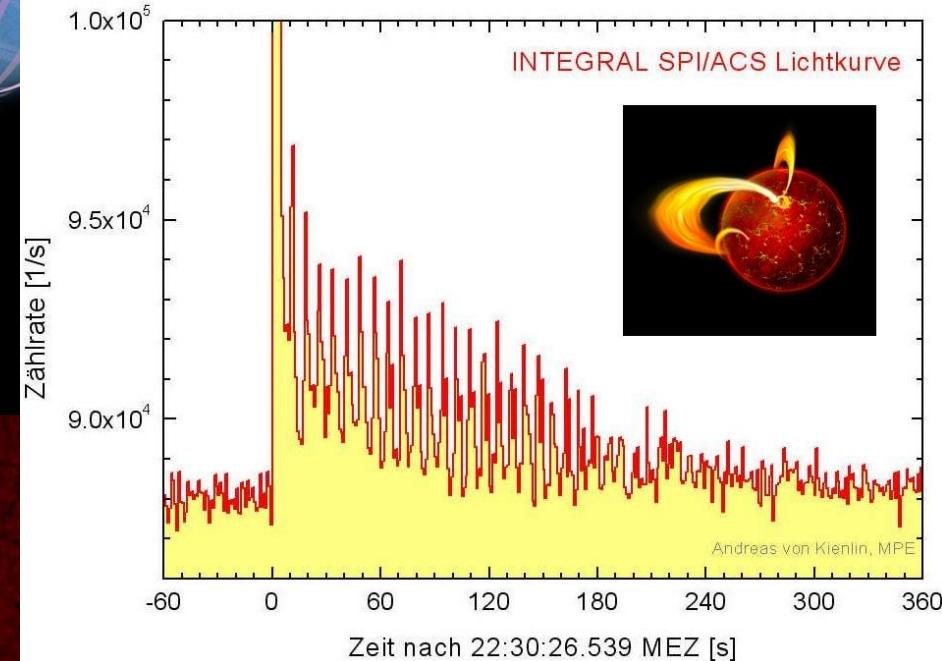
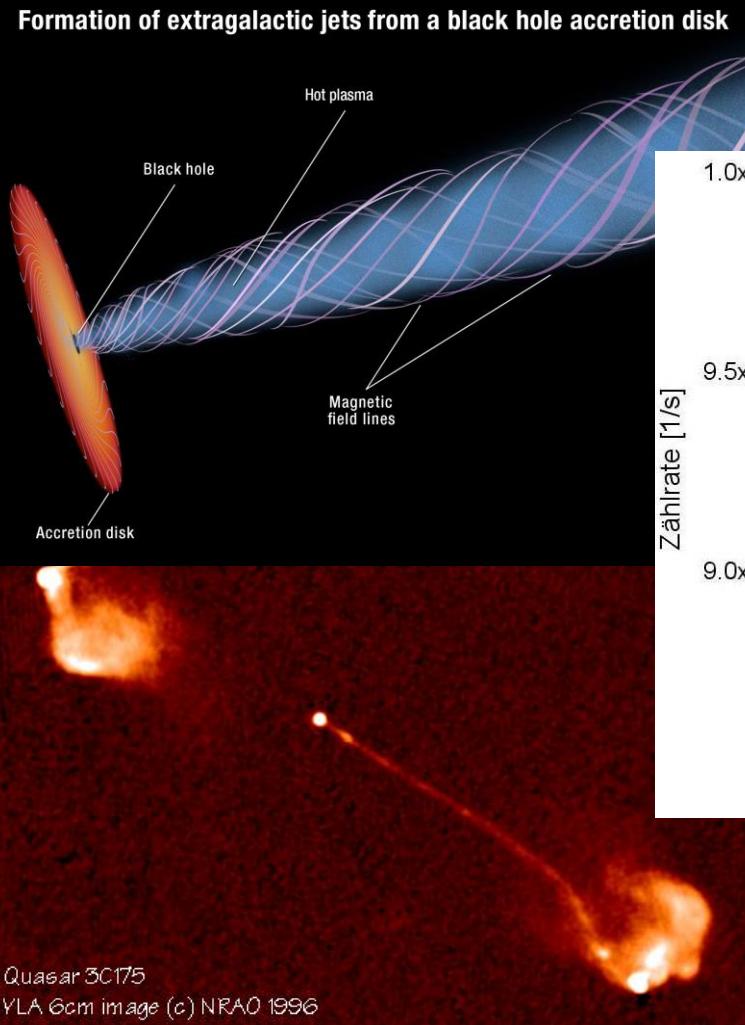
ЗВЁЗДНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Stellar evolution

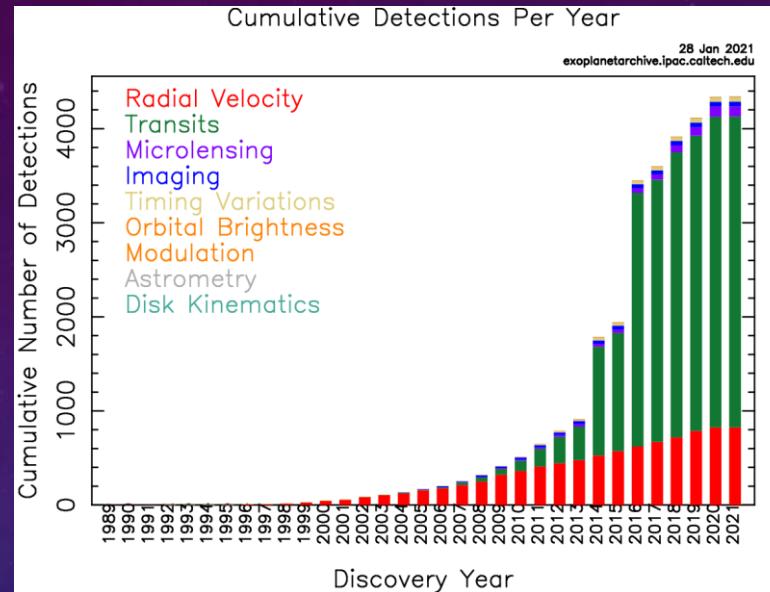
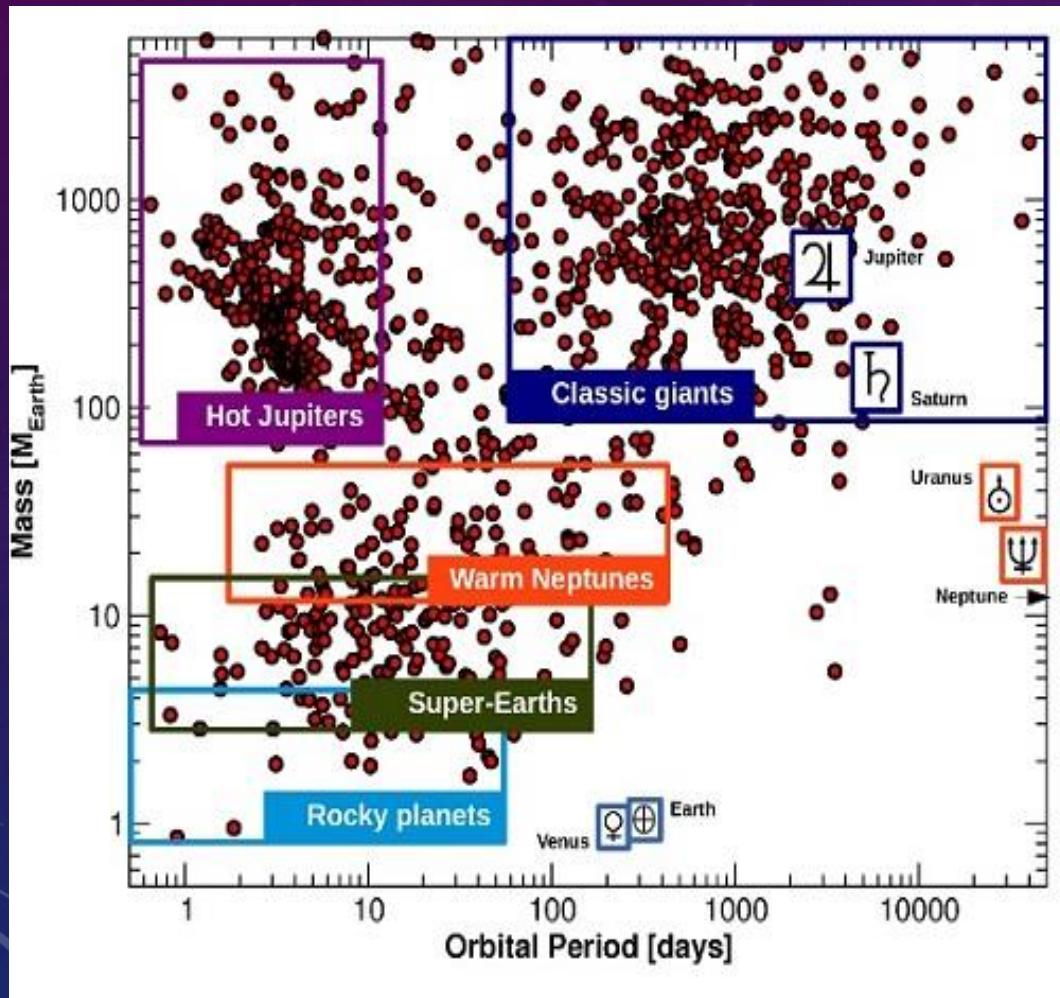


$$t_{MS} \approx 10^{10} \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{-2} \text{ лет}$$

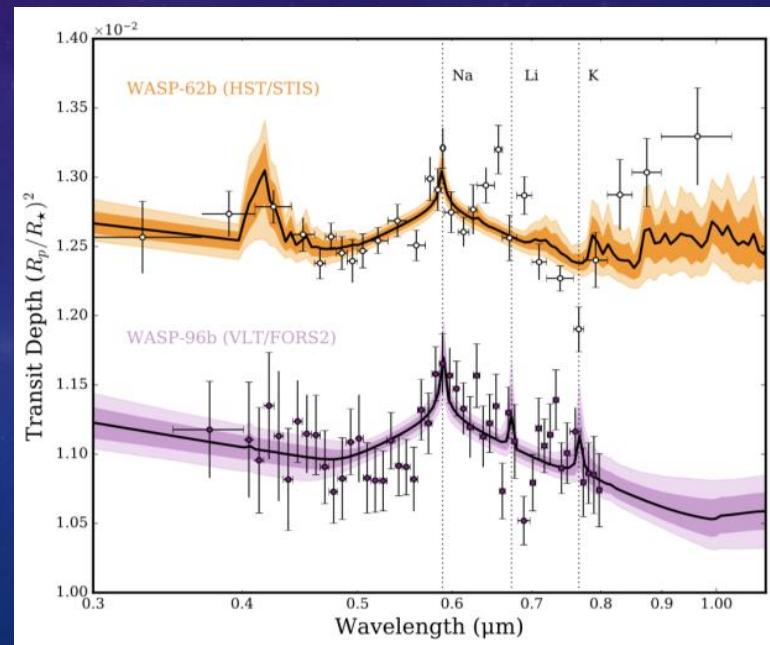
КОМПАКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ



ПЛАНЕТЫ

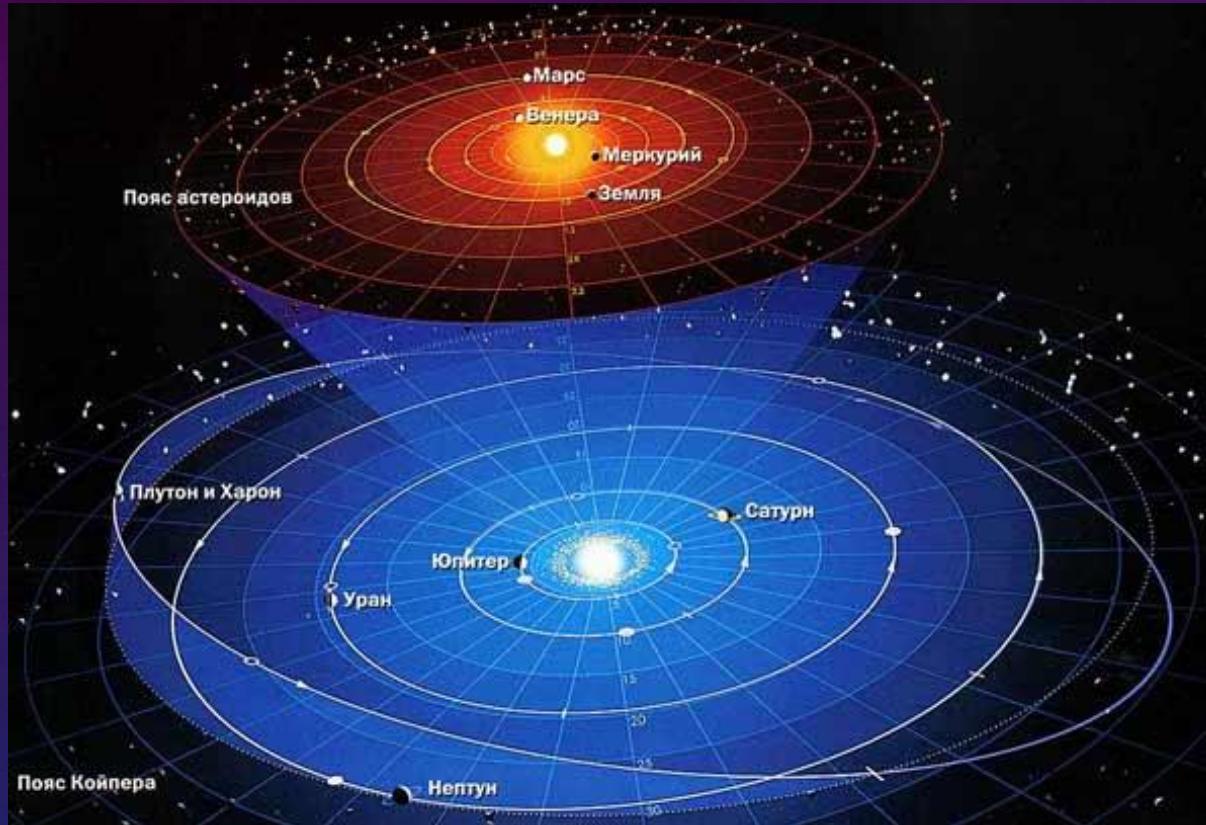


<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>



<https://wasp-planets.net/2020/11/13/wasp-62b-in-james-webbs-continuous-viewing-zone-has-a-clear-atmosphere/>

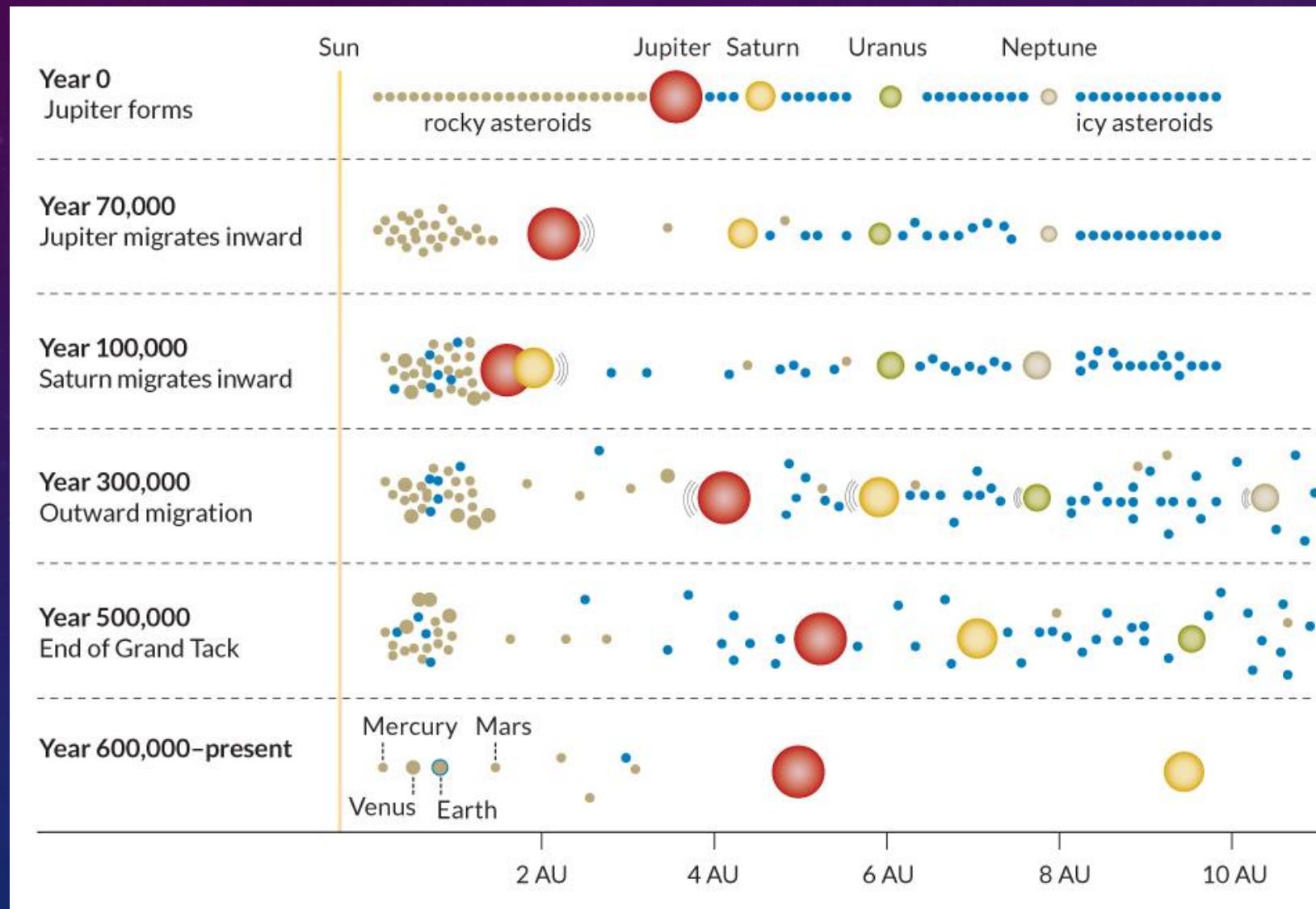
СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА



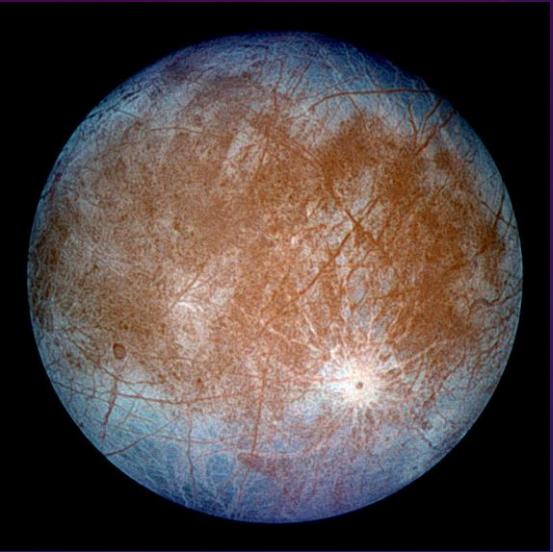
Планеты СС:

- 8 больших ($M: 0.055 - 318$; $R: 0.38 - 11.2$)
- 5+ карликовых
- 600 тыс. малых (астероидов)
- 20 тыс. с именами
- 100 млн. всего «замеченных»

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА: ФОРМИРОВАНИЕ



НАДЕЖДЫ НА ЖИЗНЬ



Спутники больших планет.

Поверхность – лед.

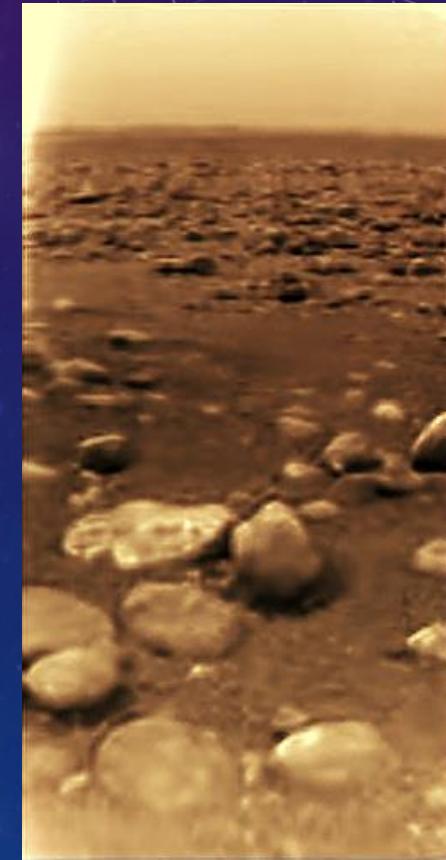
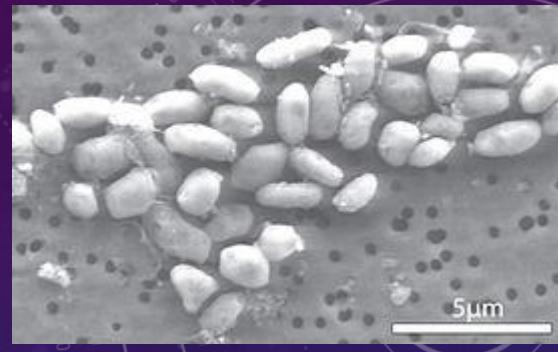
Разогреваются приливными взаимодействиями?

Европа: под слоем льда (10-30 км) находится жидкий водяной океан (глубиной до ~ 100 км)?



JUICE (ESA) – старт в июне 2022 г.?

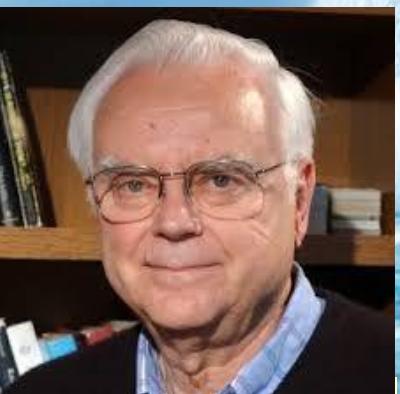
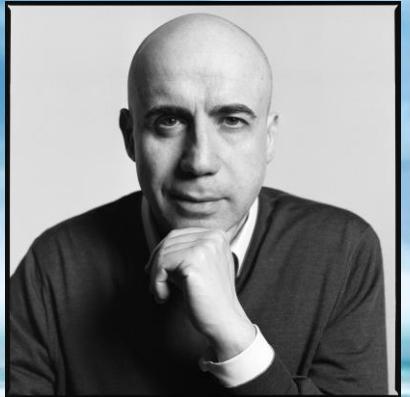
GFAJ-1: А как хорошо начиналось... :-(



Спасибо! ☺

РАЗУМНАЯ ЖИЗНЬ?

<https://breakthroughinitiatives.org/>



$$N = R \times f_s \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

R average rate of star formation

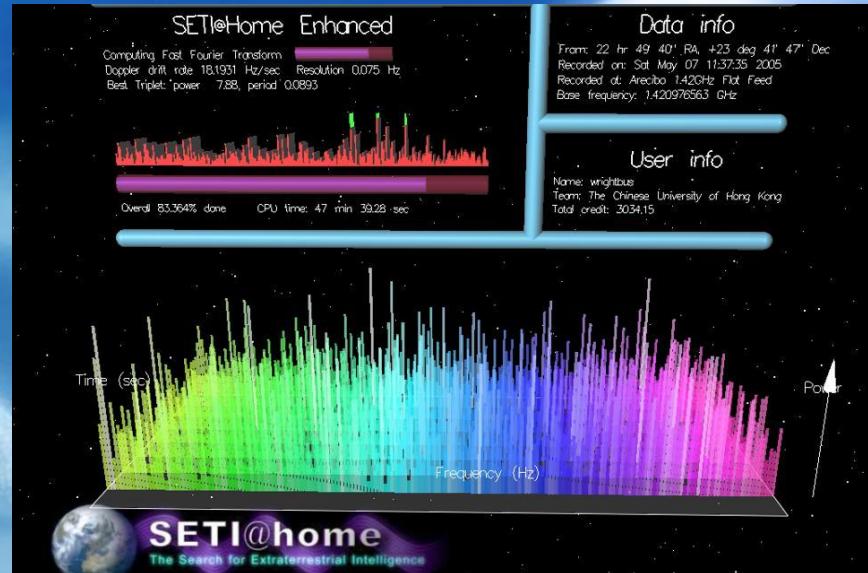
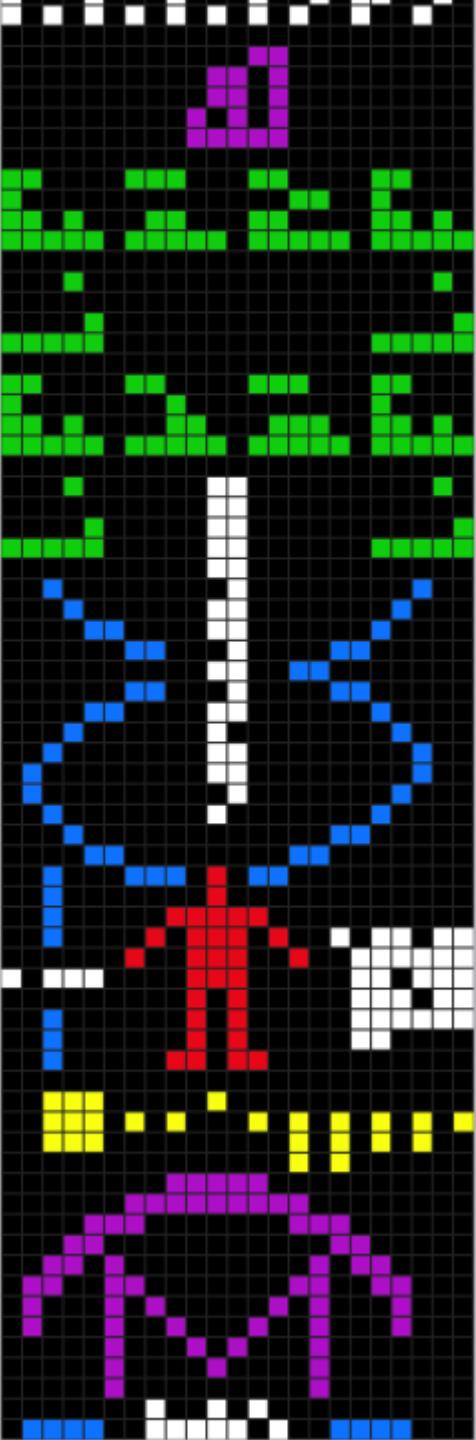
f_s fraction of good stars that have planetary systems

n_e number of planets around these stars within an “ecoshell”

f_l fraction of those planets where life develops

f_i fraction of living species that develop intelligence

f_c fraction of intelligent species with communications technology

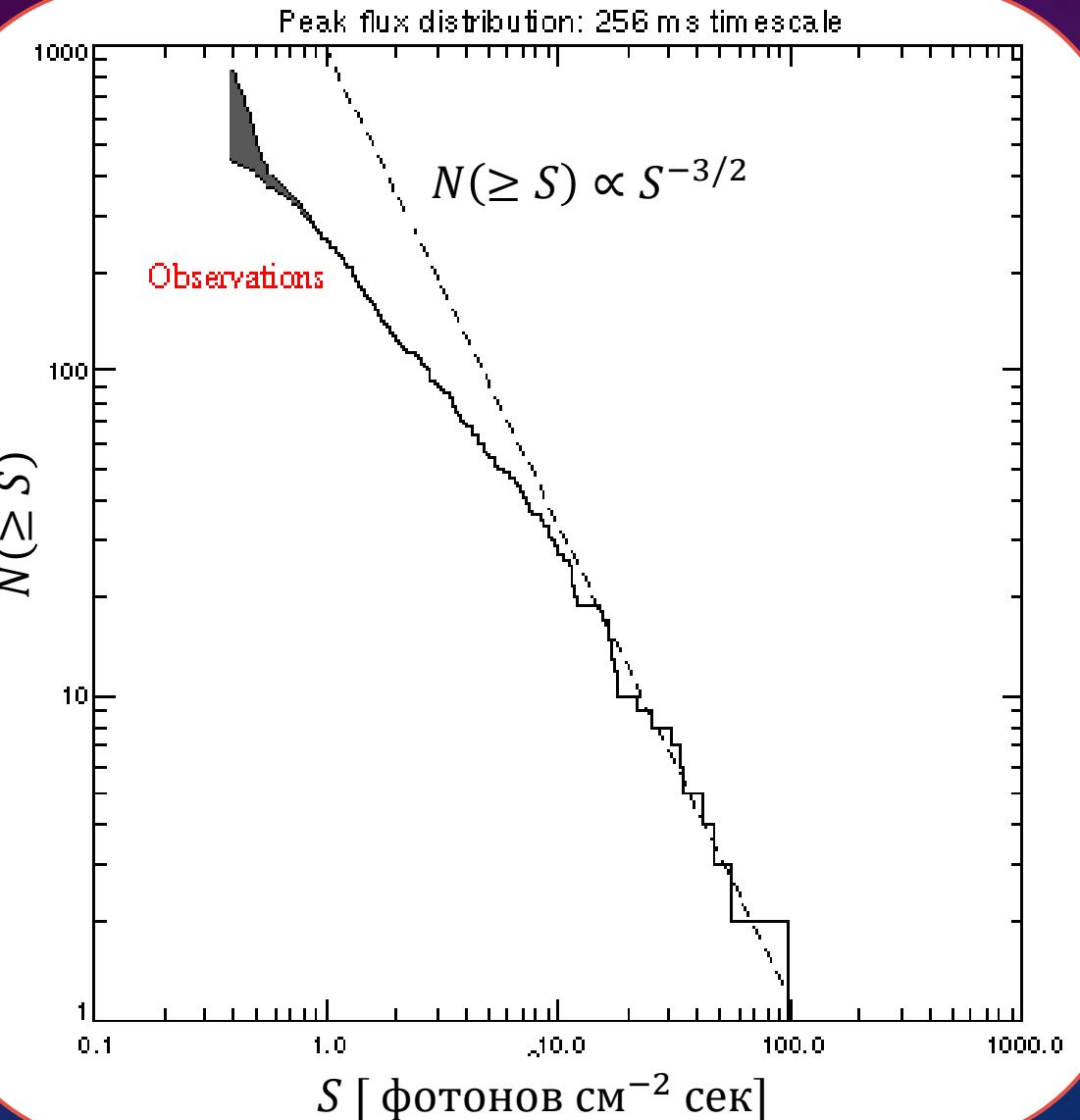


<https://boinc.berkeley.edu/projects.php>



<https://www.seti.org/>

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ



Перед вами так называемая зависимость logN-logS для космологических гамма-всплесков. По горизонтальной оси отложен поток всплеска в максимуме. По вертикальной – количество всплесков с потоком больше и равном данному.

Пунктирной линией показано теоретическое приближение для данной зависимости.

Задание:

(а) Выведете теоретическое соотношение $N(\geq S) \propto S^{-3/2}$. Какому пространственному распределению гамма-всплесков оно соответствует?

(б) Дайте качественную интерпретацию отклонению наблюдаемой зависимости logN-logS от теоретической $N \propto S^{-3/2}$ в области малых потоков.