

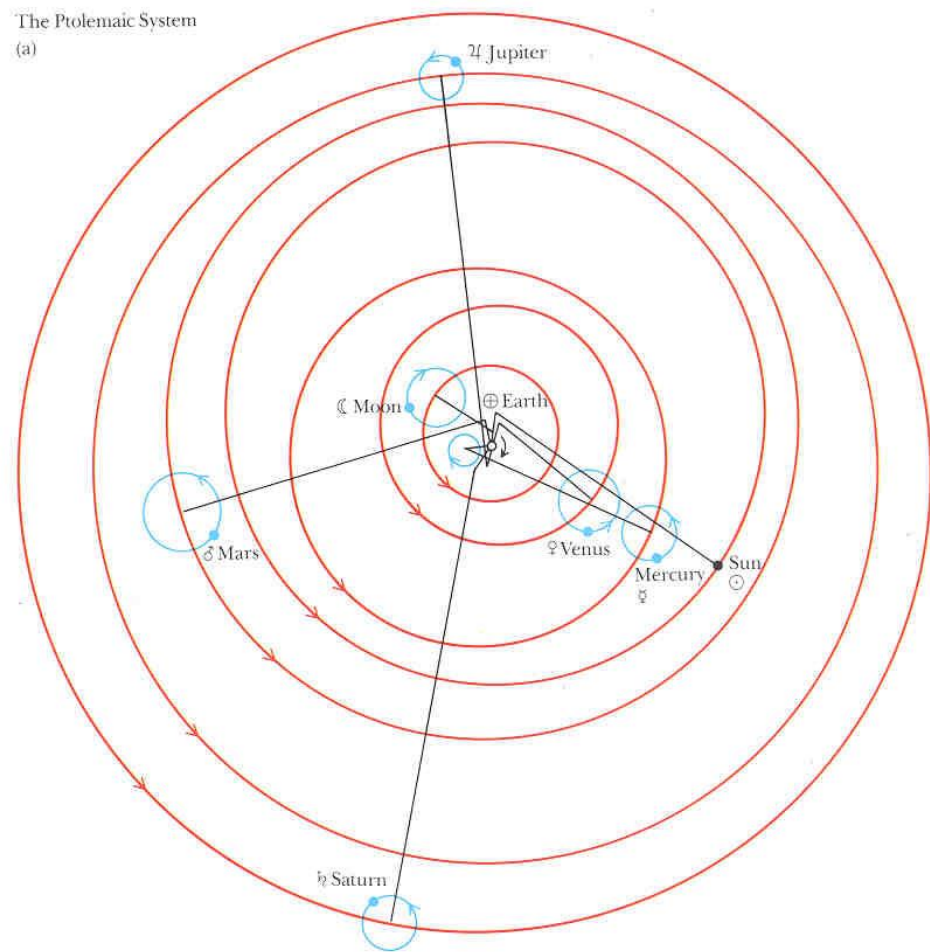
ЛЕКЦИЯ 9: КОСМОЛОГИЯ I O I

ВВЕДЕНИЕ В АСТРОФИЗИКУ. ВШЭ 2022/2023. БАКАЛАВРЫ, 4-Й МОДУЛЬ.

АНТОН БИРЮКОВ (АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА И ВШЭ), К.Ф.-М.Н

ГЕОЦЕНТРИЗМ И ГЕЛИОЦЕНТРИЗМ

The Ptolemaic System
(a)

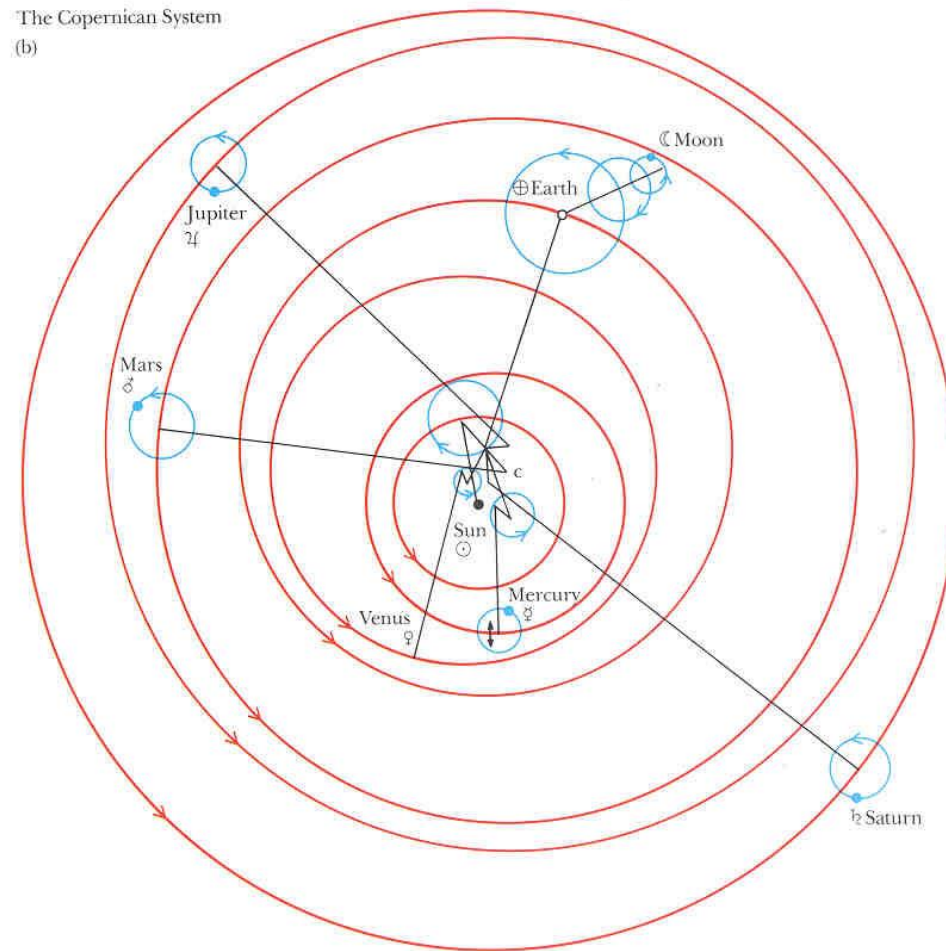


ГЕОЦЕНТРИЗМ И ГЕЛИОЦЕНТРИЗМ



Николай Коперник (1473 – 1543)
Остановивший небо. Сдвинувший
Землю

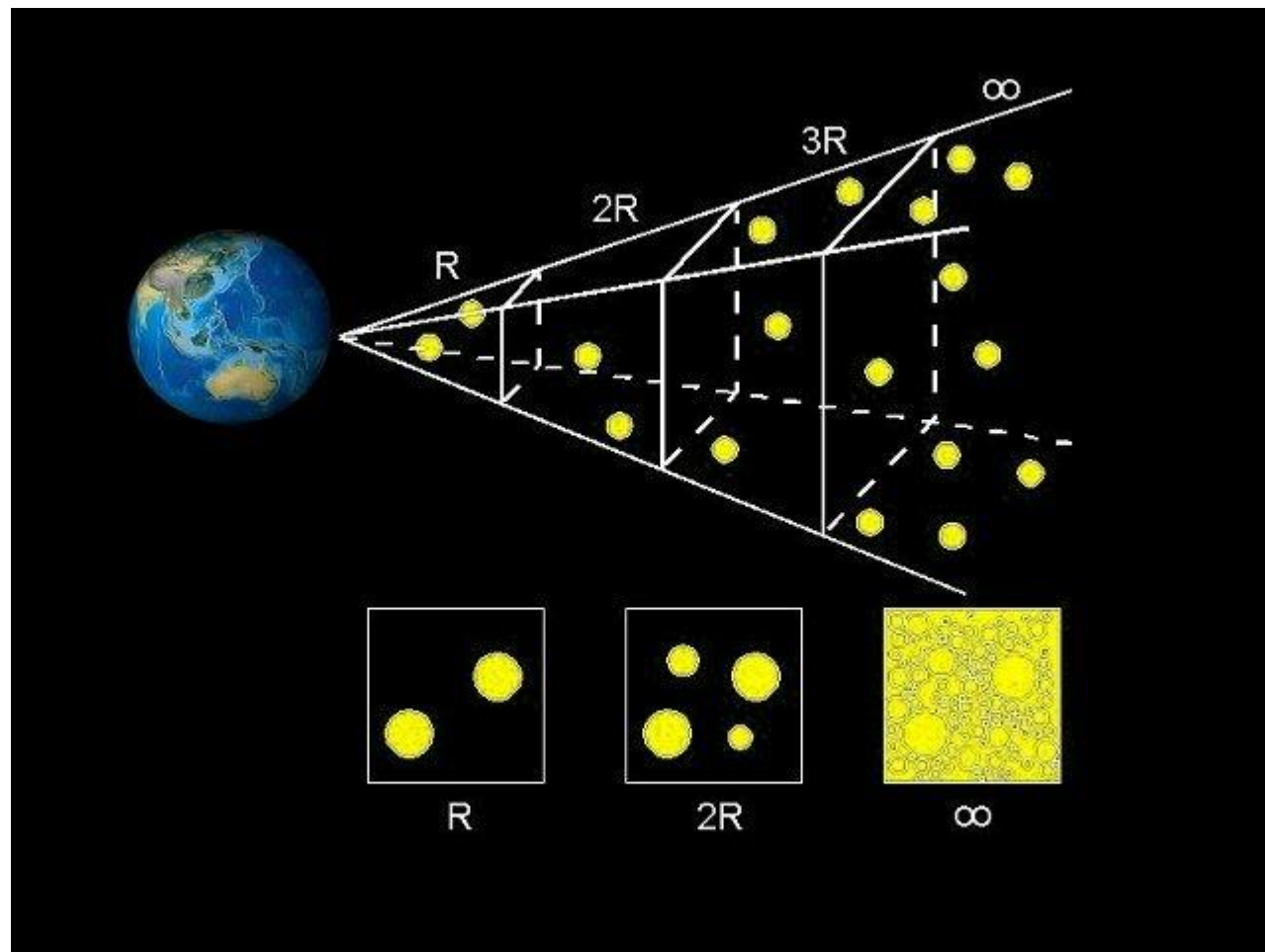
The Copernican System
(b)



ПАРАДОКС ОЛЬБЕРСА

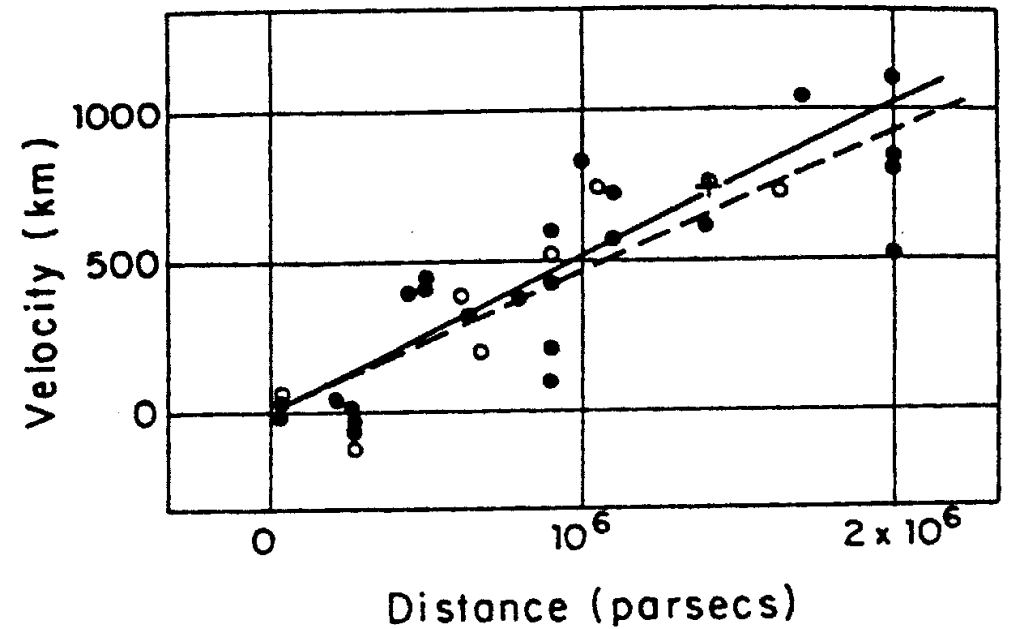
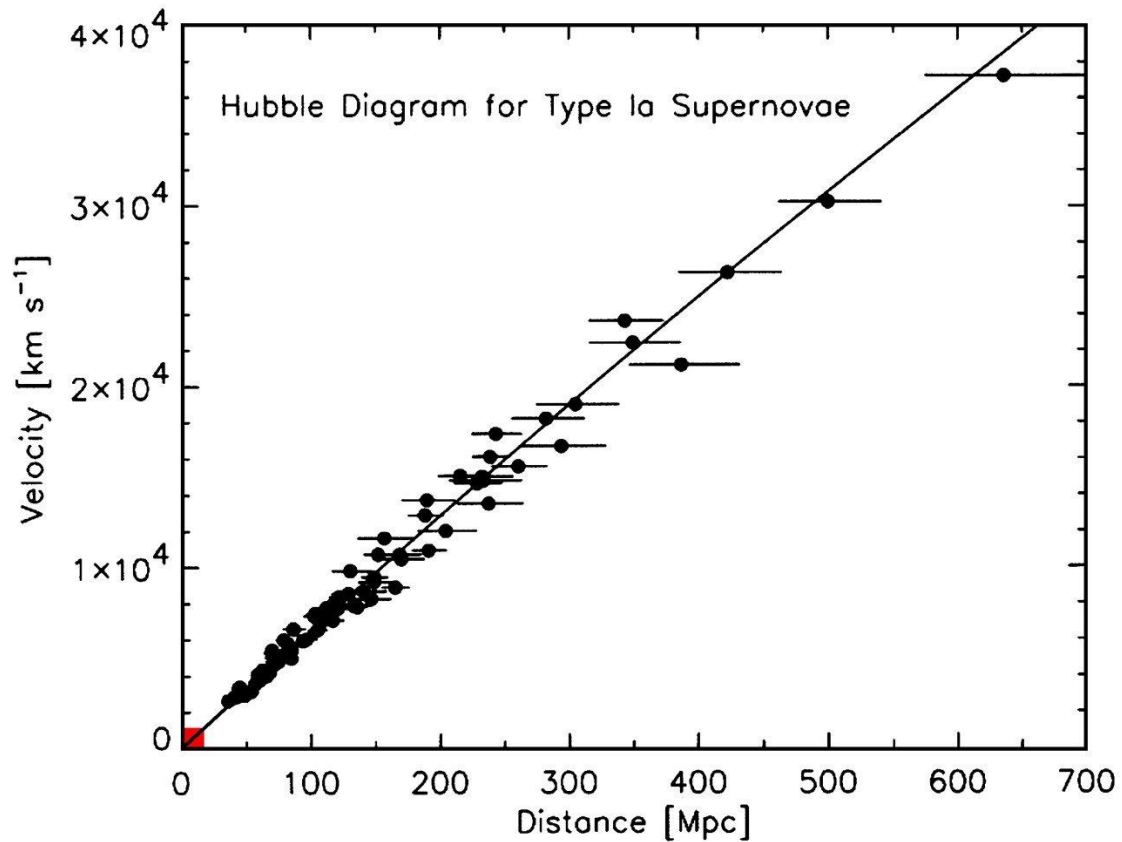


Генрих
Ольберс
(1758-1840)



В бесконечной и стационарной Вселенной каждый луч зрения должен упираться в источник света. А интенсивность сохраняется вдоль луча зрения...

РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ



Хаббл 1929 г.

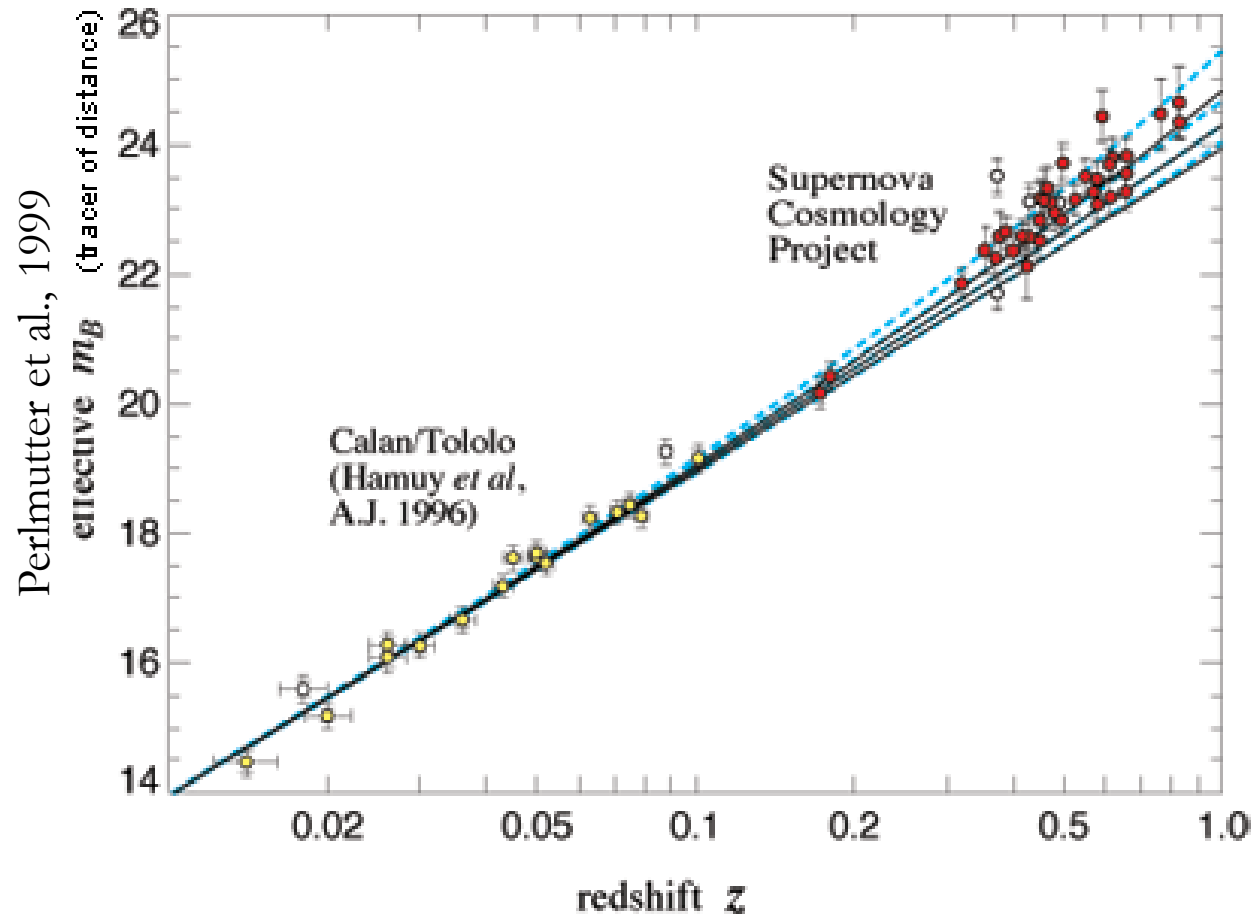
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2536799100>

ЗАКОН ХАББЛА

$$v = H \cdot d$$

$$H_0 \approx 67.5 \pm 0.5 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$$

-- параметр Хаббла



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

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

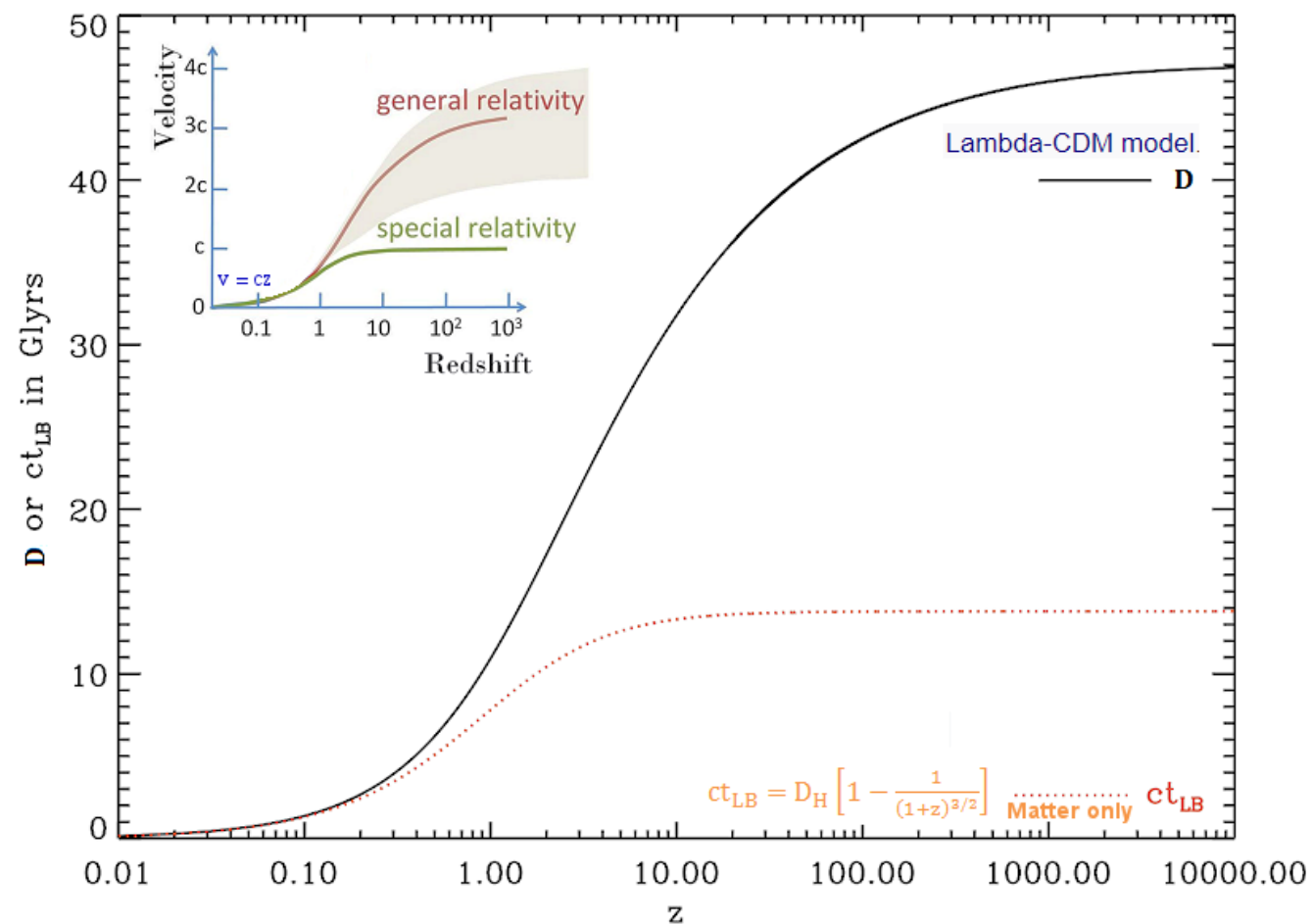
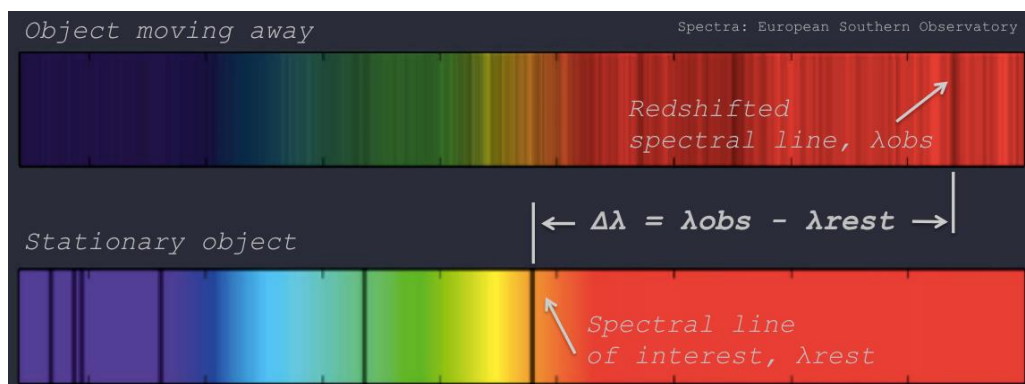
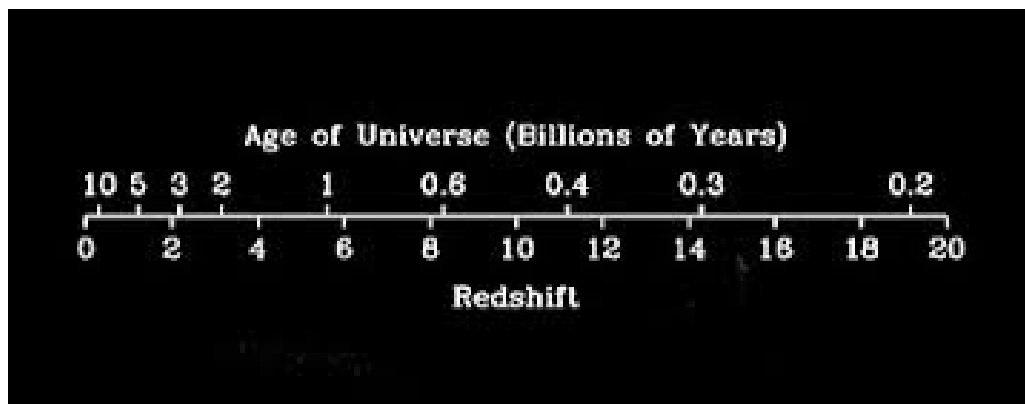
$$H = \dot{a}/a$$

Релят. материя:	$\rho_r(z) = \rho_r(0)(1+z)^4,$	} \Rightarrow
Нерелят. материя:	$\rho_m(z) = \rho_m(0)(1+z)^3,$	
Кривизна:	$\rho_c(z) = \rho_c(0)(1+z)^2,$	
Вакуум:	$\rho_\Lambda(z) = const$	

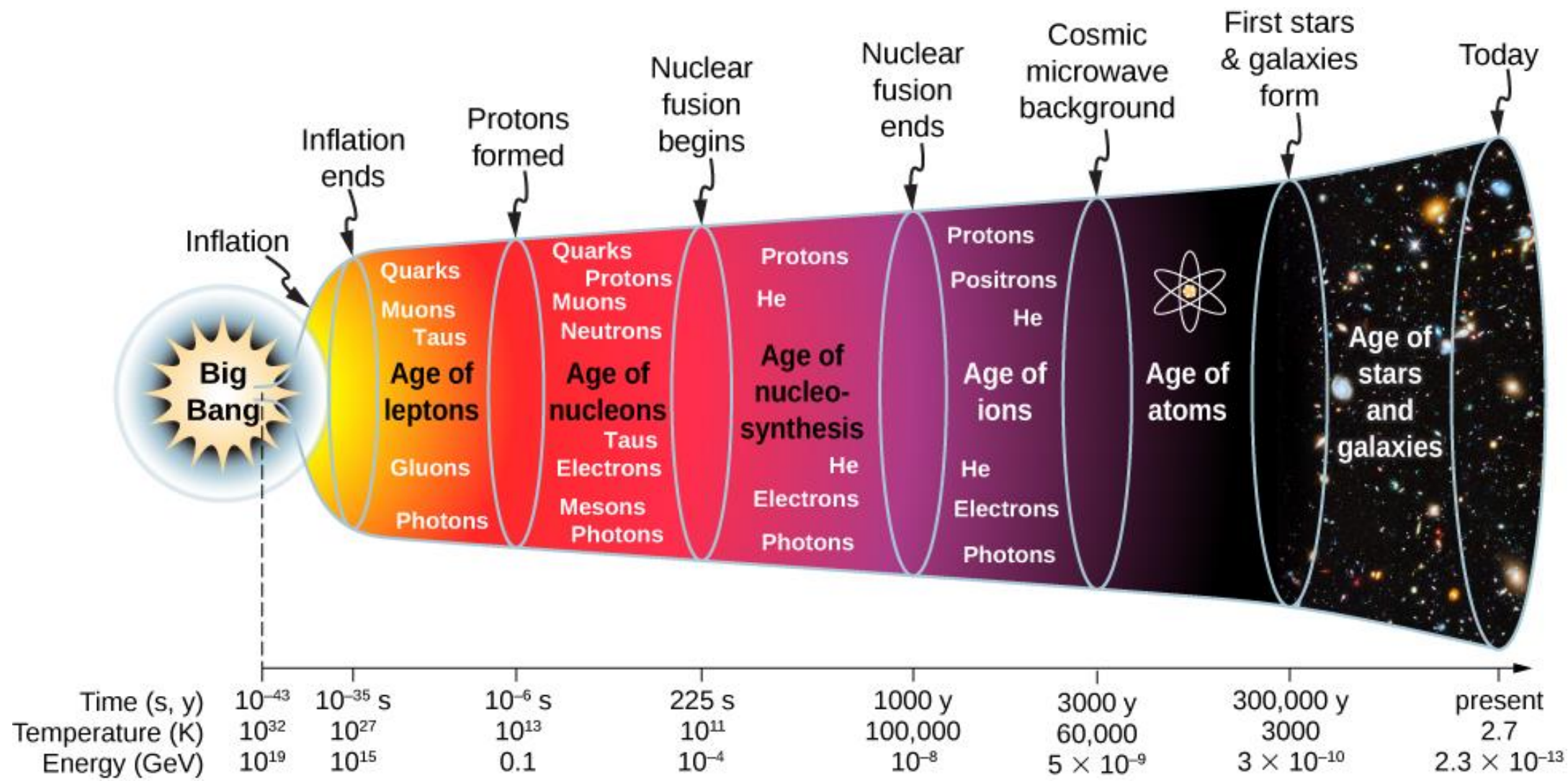
$$H^2(z) = H_0^2 \left(\Omega_r(1+z)^4 + \Omega_m(1+z)^3 + \Omega_c(1+z)^2 + \Omega_\Lambda \right)$$

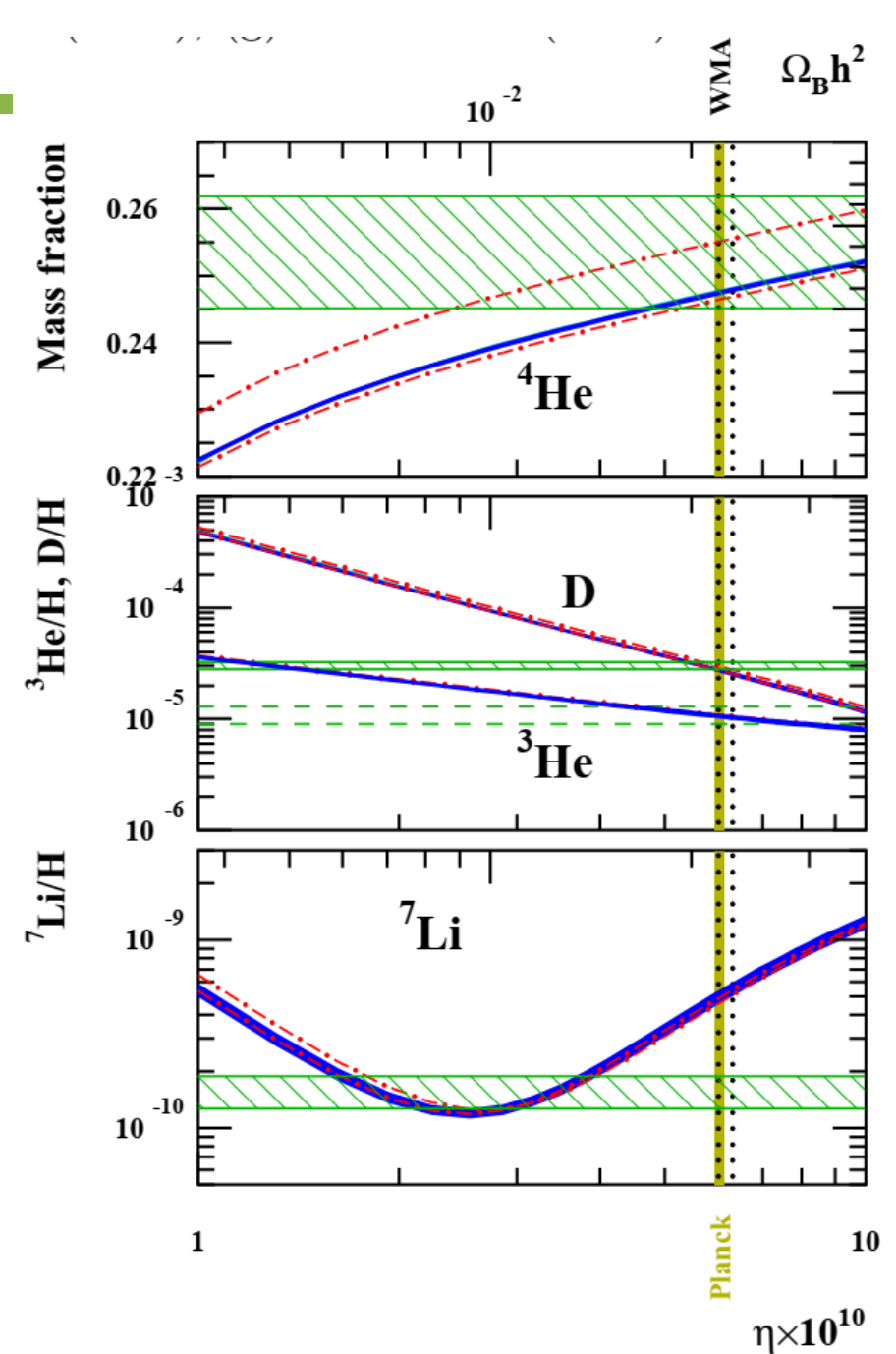
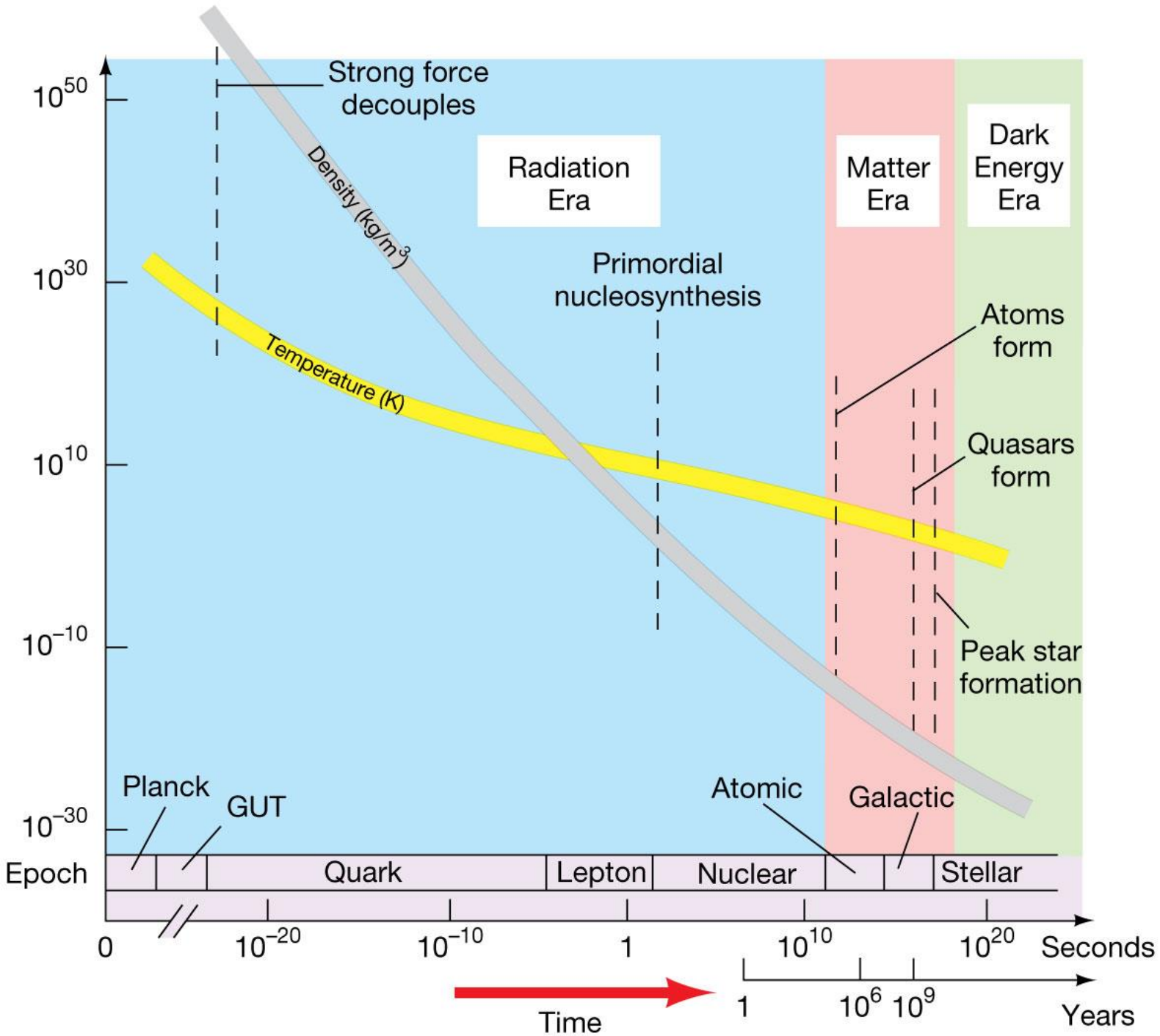
КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

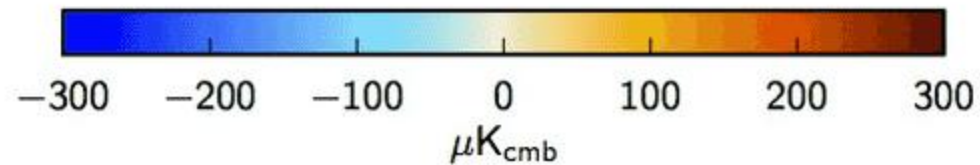
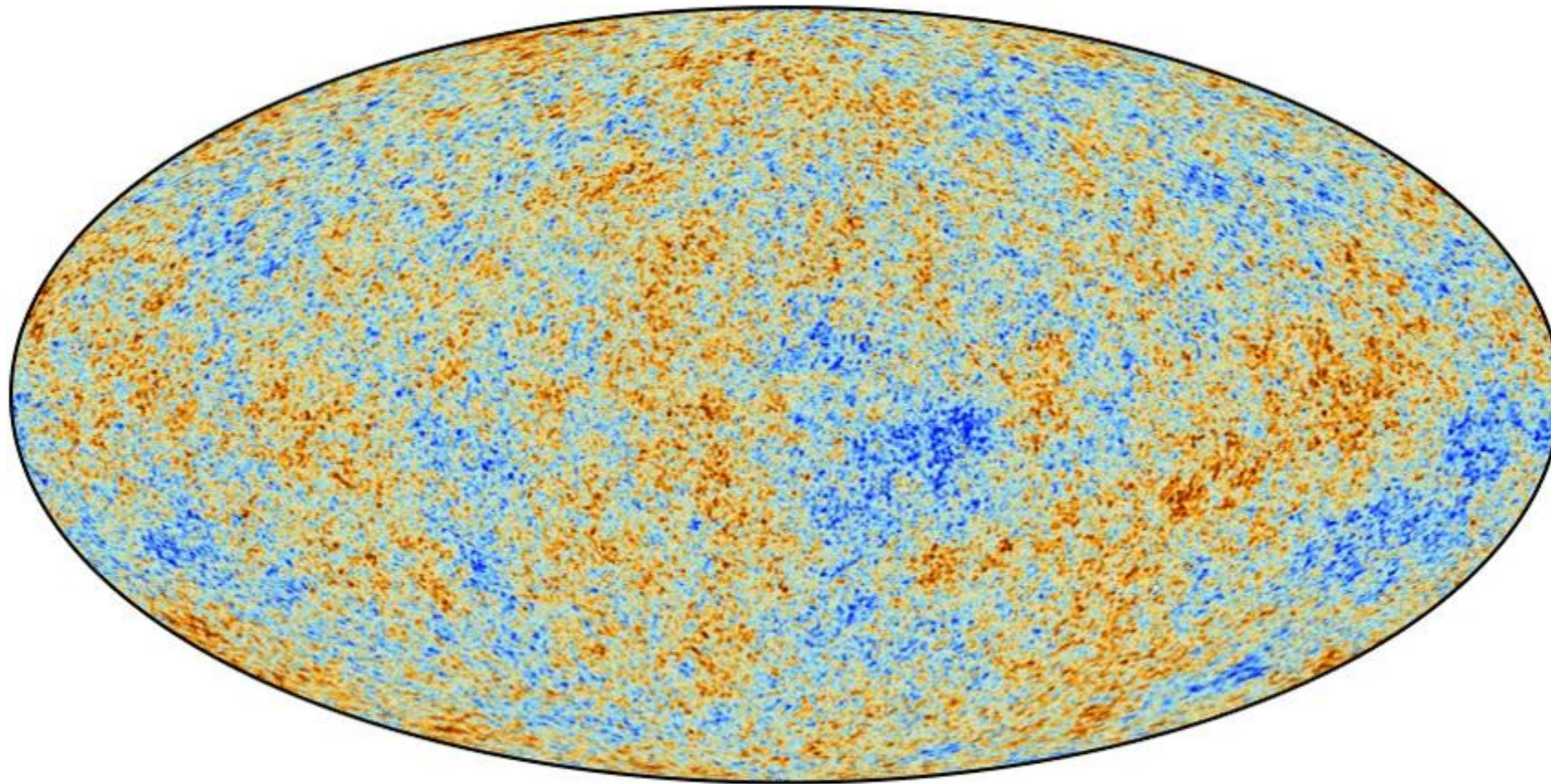


КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ВСЕЛЕННОЙ



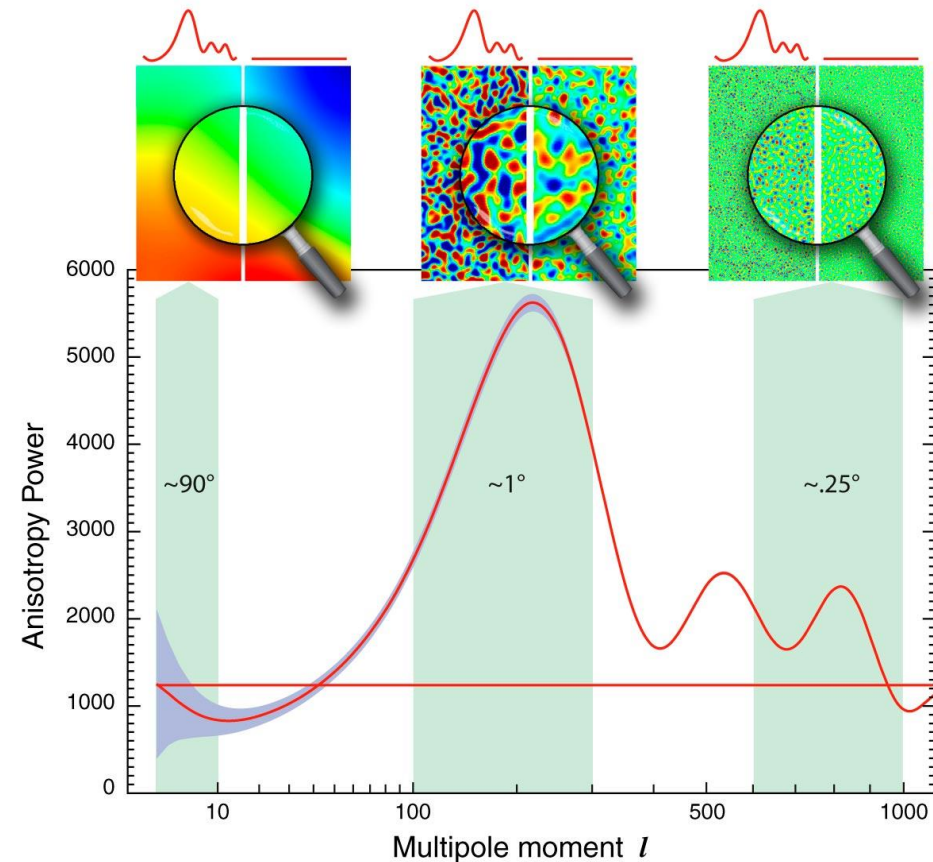
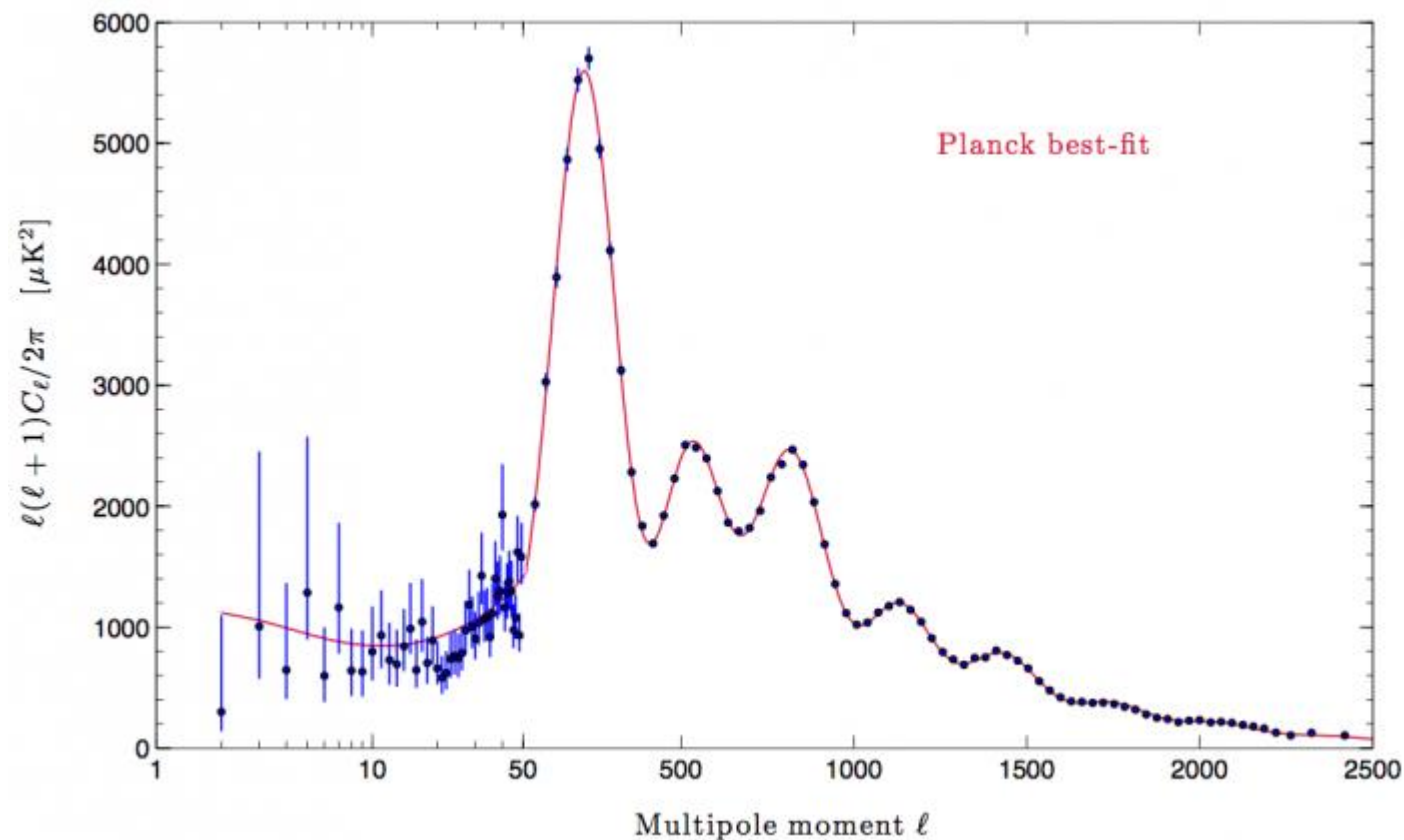


COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



Средняя температура:
 $T_{\text{CMB}} = 2.73 \text{ K}$

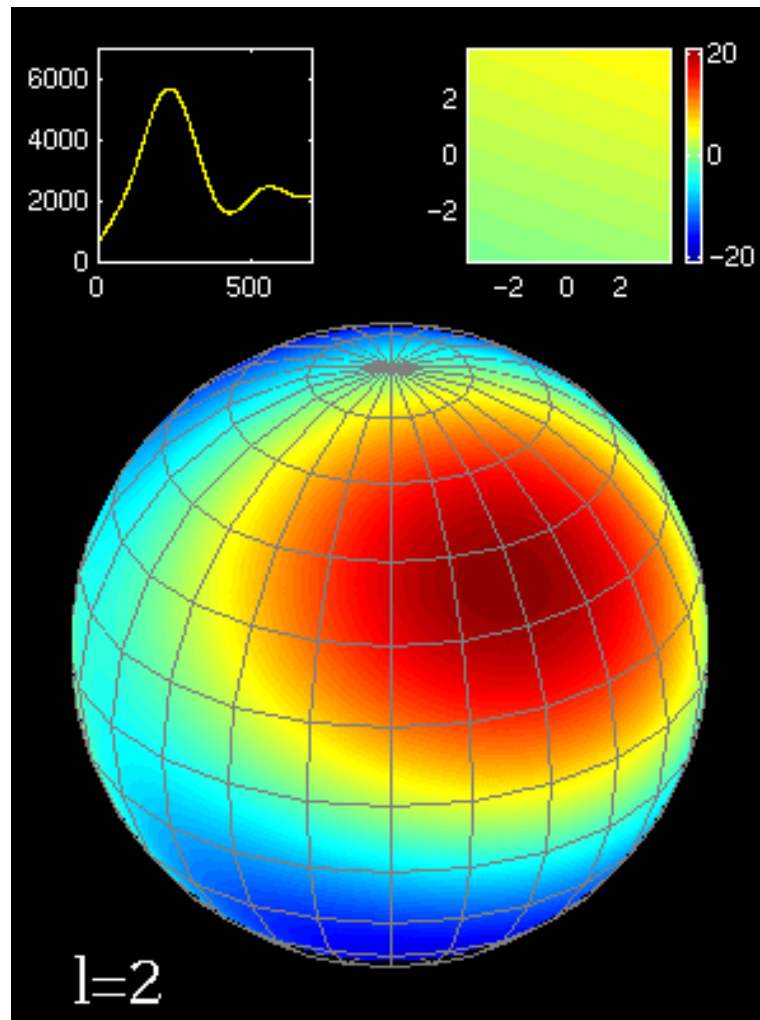
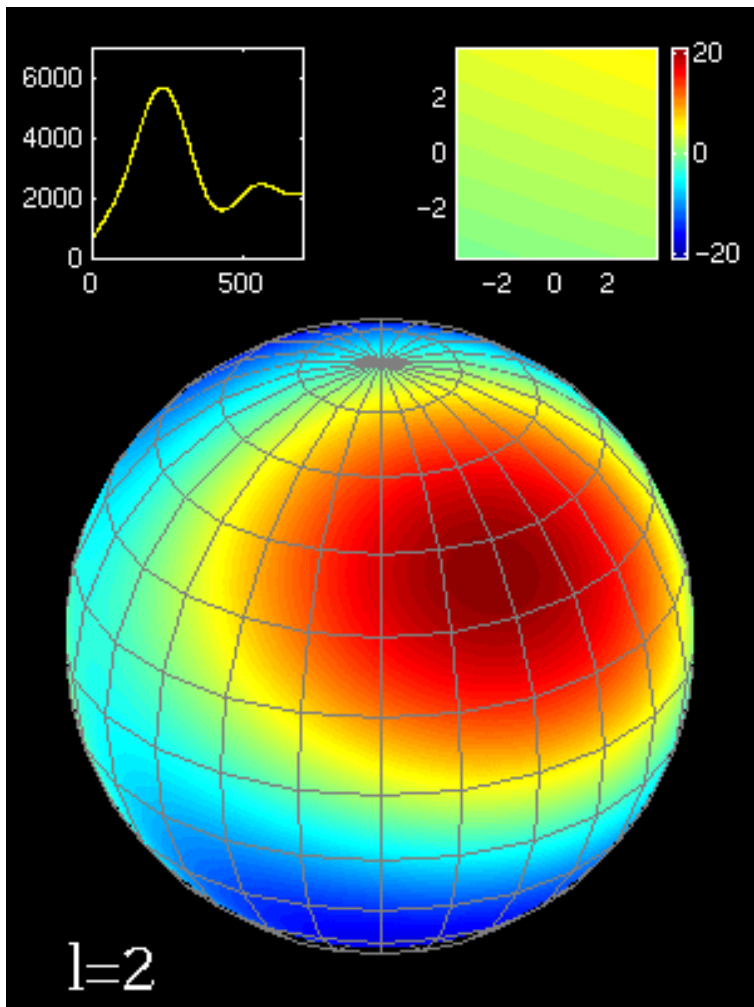
СПЕКТР НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



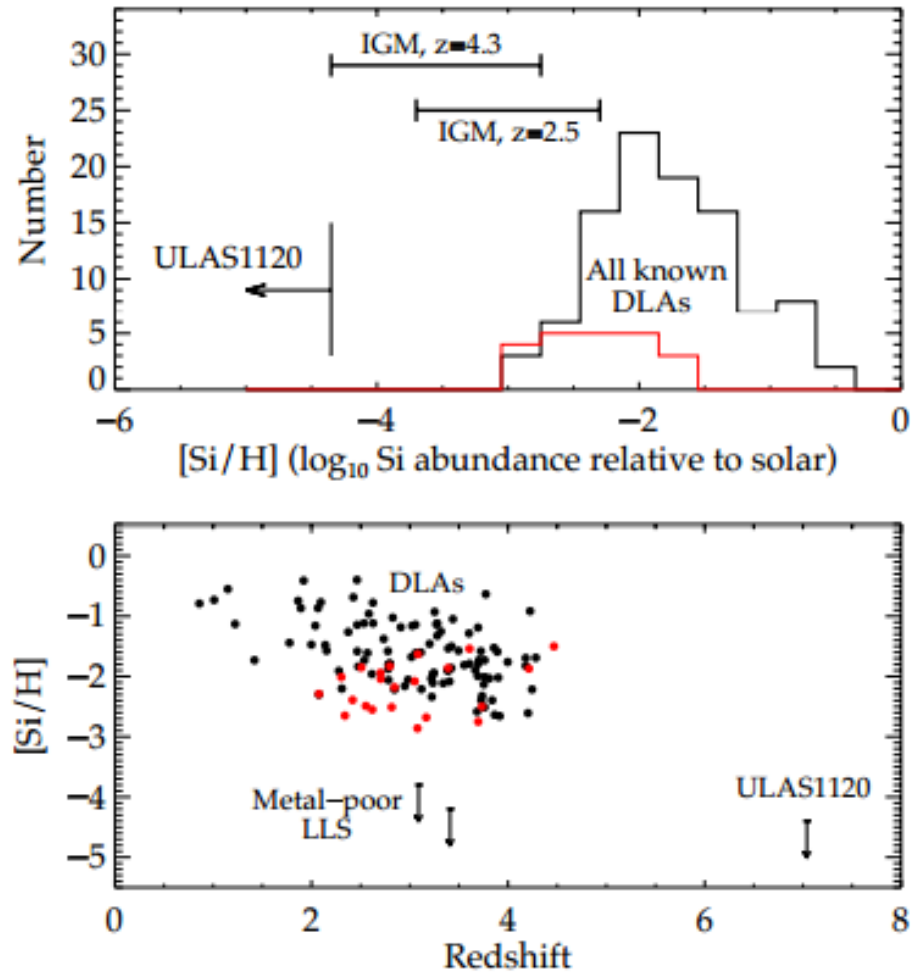
$$T(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{\infty} \left(n_{l,0} P_{l,0}(\cos \theta) a_{l,0} + \sum_{m=1}^l 2n_{l,m} P_{l,m}(\cos \theta) (a_{l,m}^R \cos m\phi - a_{l,m}^I \sin m\phi) \right)$$

$C_l = \text{Var}(|a_{l,m}|)$ – эта величина рассчитывается теоретически.

СПЕКТР НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



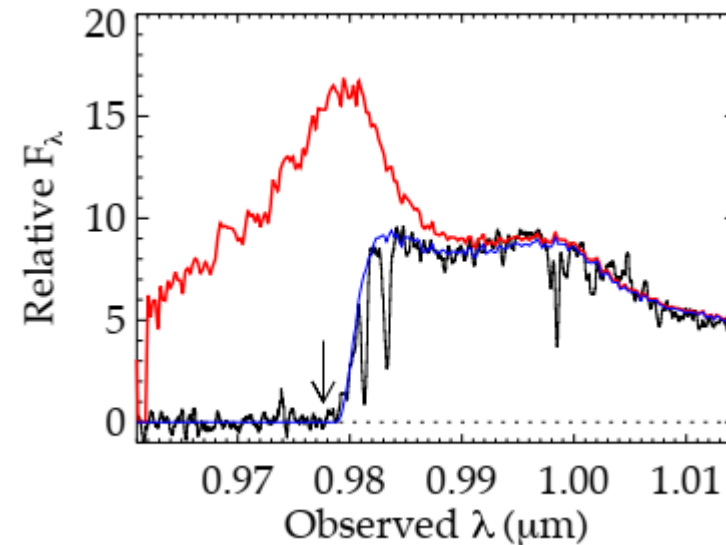
ГАЗ МАЛОЙ МЕТАЛЛИЧНОСТИ НА $Z = 7$



772 млн лет после Большого Взрыва.

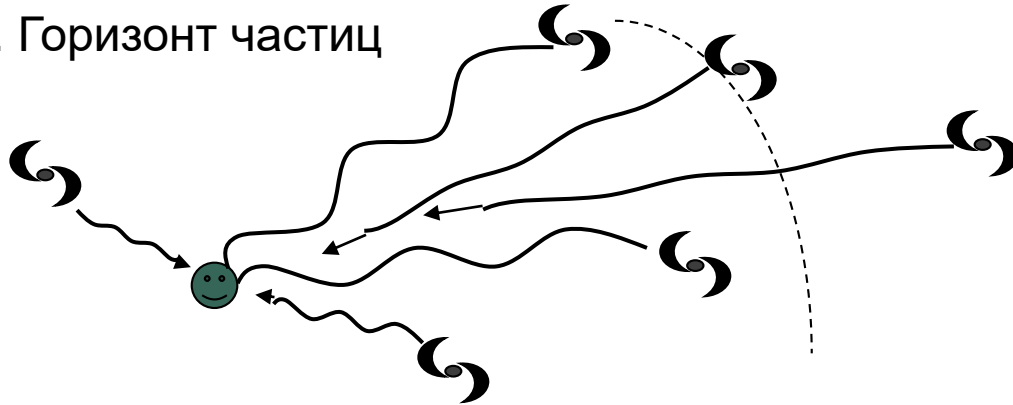
Т.о., мы видим, что меняется химический состав вселенной.

В итоге, вся вселенная предстает **эволюционирующей**



КОСМИЧЕСКИЕ ГОРИЗОНТЫ

1. Горизонт частиц



Этот горизонт соответствует самому далекому объекту, который мы сейчас видим.

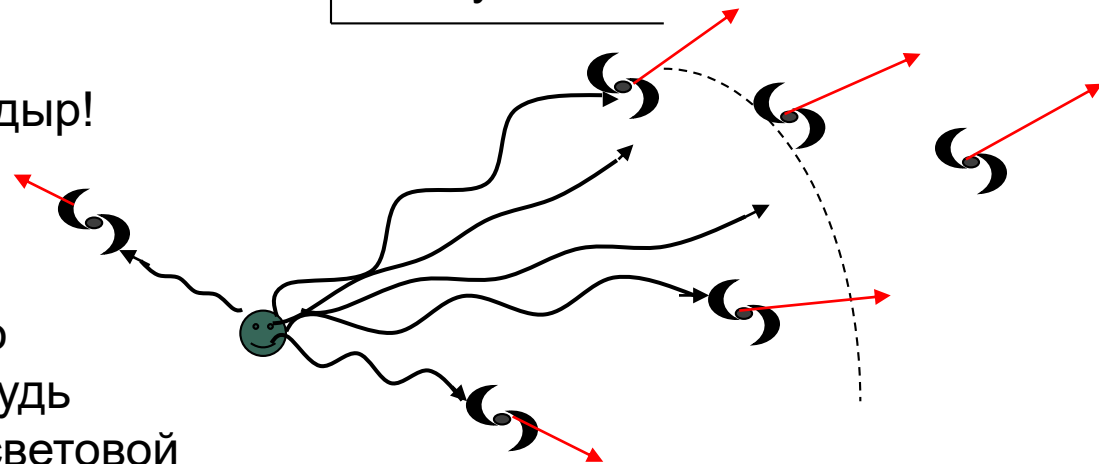
Сколько свет прошел за время жизни вселенной.

В реальных случаях важно помнить, что мы должны считать не от момента «ноль», а от момента, скажем, образования первых звезд или галактик, или испускания какого-то вида частиц.

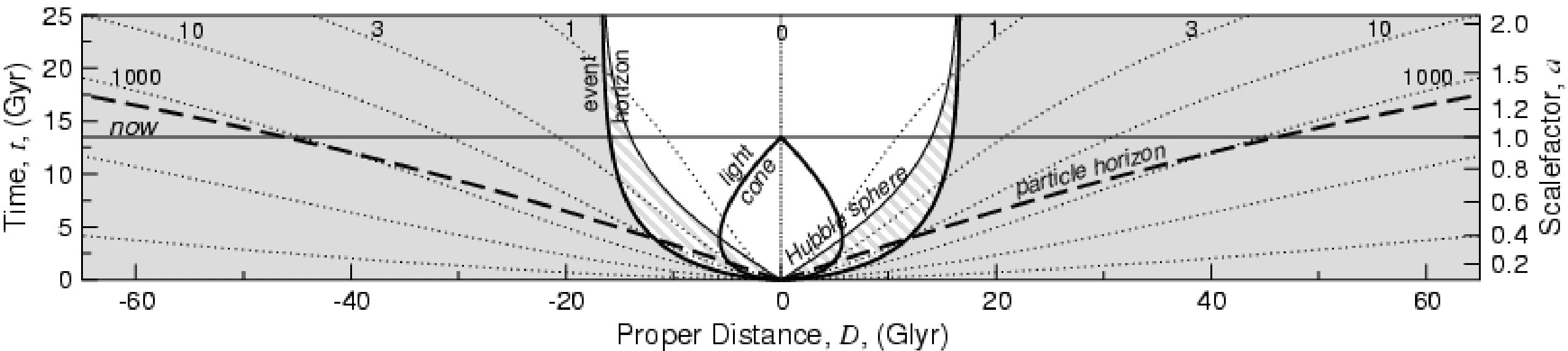
2. Горизонт событий

Он не совсем похож на
Горизонт событий у черных дыр!

Можно сказать, что горизонт событий – это расстояние до самого далекого объекта, до которого когда-нибудь в будущем сможет прийти наш световой сигнал, посланный сейчас.



ГОРИЗОНТЫ И ЭВОЛЮЦИЯ



Рисунки соответствуют стандартной на сегодняшний день космологической модели.

ЧТО ДАЛЬШЕ?

$\sim 5 \times 10^9$ лет – Сольются Млечный путь и Туманность Андромеды

$10^{11} - 10^{12}$ лет – Сольётся местная группа галактик. Красные карлики начнут превращаться в белые. Светимость галактик начнёт уменьшаться (света во вселенной станет меньше)

10^{14} лет -- Звздообразование прекратится полностью. Останутся только вырожденные остатки звёздной эволюции.

10^{43} лет -- Распадаются протоны. Остаются только ЧД.

10^{100} лет -- ЧД испаряются, остаются только фотоны и лептоны.