

The answer to Life, the Universe, and Everything



The answer to Life, the Universe, and Everything



Douglas Adams, "The Hitchhiker's Guide to the Galaxy"

- Устройство Вселенной в больших масштабах
- Происхождение и эволюция Вселенной в целом
- Возникновение структуры во Вселенной
- Связь с физикой фундаментальных взаимодействий

также

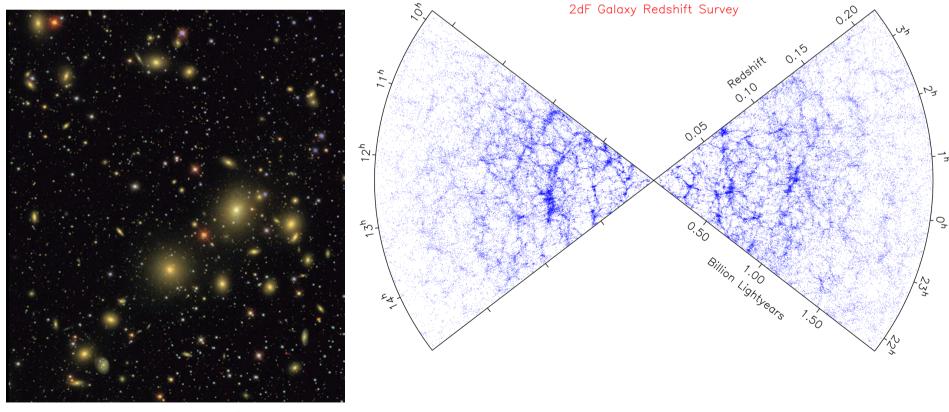
- Большой Взрыв
- Реликтовое излучение
- Тёмная материя и тёмная энергия
- Инфляция и множественность вселенных

ВВЕДЕНИЕ В КОСМОЛОГИЮ лекция 1

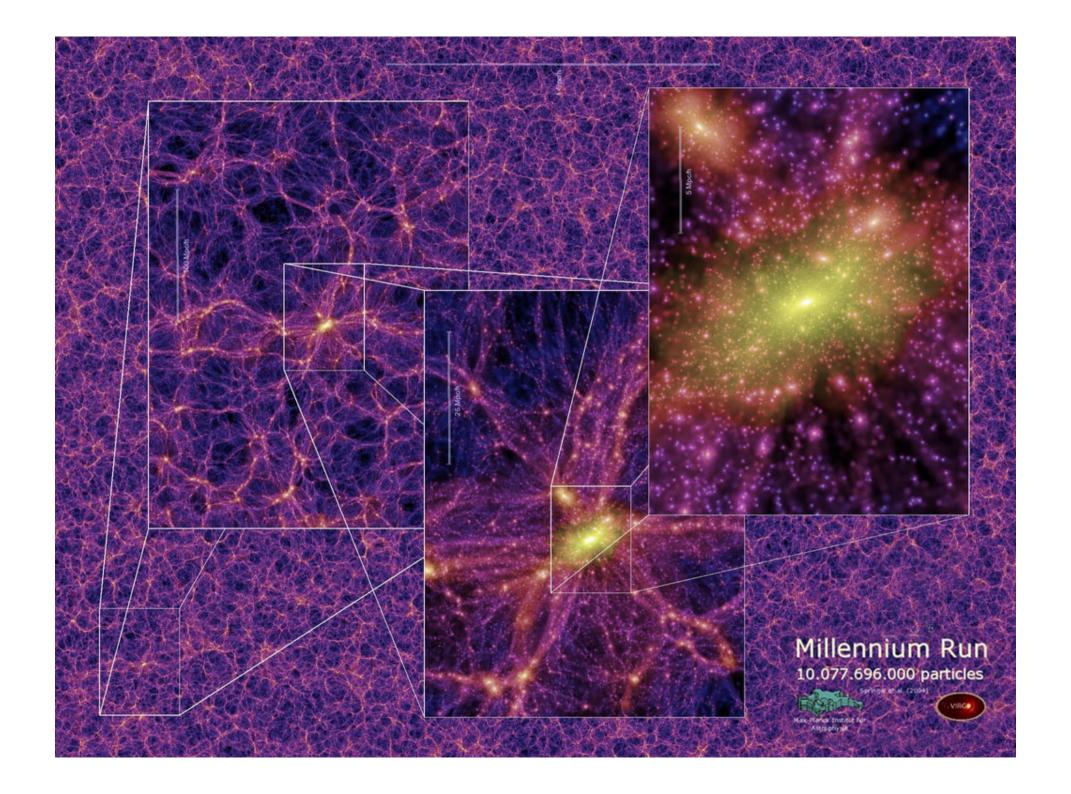
- Наблюдаемые объекты во Вселенной
- Измерение расстояний
- Космологический принцип и метрика FLRW
- Красное смещение и постоянная Хаббла

Наблюдаемые объекты во Вселенной

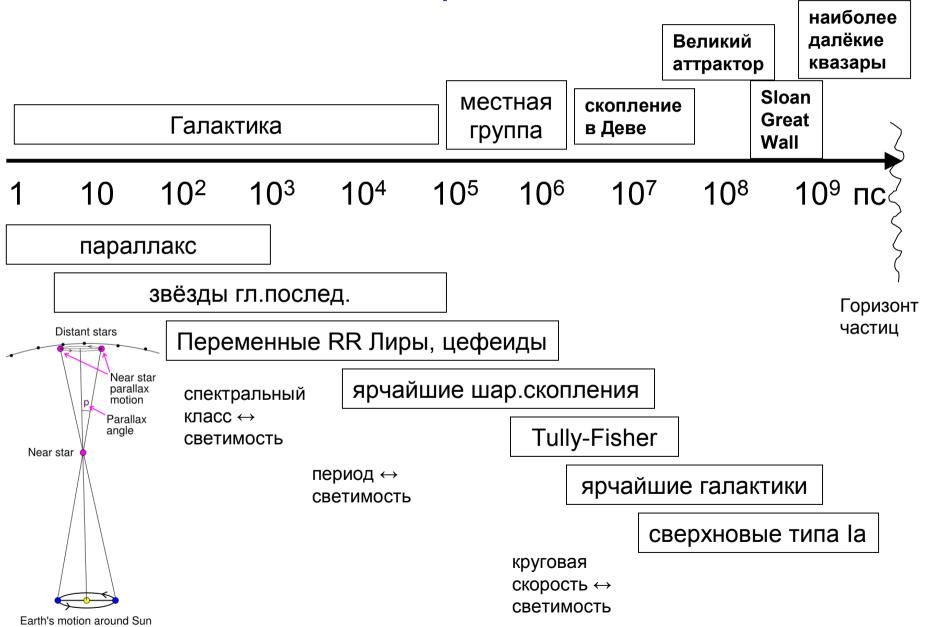
- галактики: М~10⁹–10¹³ М_⊙, R~1–100 кпс
- группы и скопления галактик: N~10–1000, M~10¹³–10¹5 M_☉, R~1–10 Мпс
- сверхскопления, филаменты, «стены» (walls), войды (voids); R<100 Мпс



Hubble Ultra deep field



«Лестница расстояний»



Космологический принцип

Пространство в больших масштабах

- однородно
- изотропно

Метрика Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера

$$ds^{2} = dt^{2} - a^{2}(t) \left(\frac{dr^{2}}{1 - kr^{2}} + r^{2}(d\theta^{2} + \sin^{2}\theta \, d\phi^{2}) \right)$$

a(t) — масштабный фактор

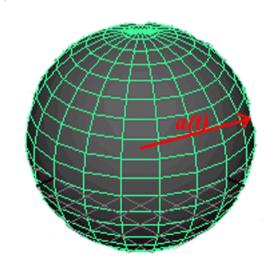
k — параметр кривизны:

k = 0 – плоское пространство,

 $k = \pm 1$ — пространство постоянной

положит./отрицат. кривизны

r — сопутствующие координаты



Космологическое красное смещение

Уравнение движения гребня волны, испущенного в момент t_1 в точке r_1 и принятого в момент t_0 в точке r=0:

$$ds^{2} = dt^{2} - a^{2}(t)\frac{dr^{2}}{1 - kr^{2}} = 0$$

$$\int_{t_1}^{t_0} \frac{c \, dt}{a(t)} = \int_0^{r_1} \frac{dr}{\sqrt{1 - kr^2}} \equiv f(r_1) = \begin{cases} \arcsin r_1, & k = +1 \\ r_1, & k = 0 \\ \arcsin r_1, & r = -1 \end{cases}$$
 (1)

Следующий гребень испущен в момент $t_1 + \delta t_1$ и принят в момент $t_0 + \delta t_0$:

$$\int_{t_1 + \delta t_1}^{t_0 + \delta t_0} \frac{c \, dt}{a(t)} = f(r_1) \tag{2}$$

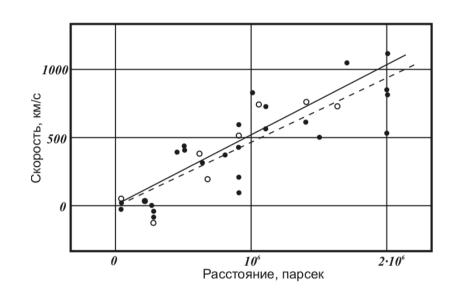
вычитая (2) из (1), получим
$$\frac{c\delta t_1}{a(t_1)} - \frac{c\delta t_0}{a(t_0)} = 0$$
, или $z \equiv \frac{\lambda_0 - \lambda_1}{\lambda_1} = \frac{a(t_0)}{a(t_1)} - 1$.

Иначе говоря, масштабный фактор $a(t) = \frac{a(t_0)}{1+z}$.

Закон Хаббла

$$\mathbf{v} = H_0 l$$

 $H_0 \approx 70 \text{ км/c/M}$ пк



Связь с метрикой FLRW:

Физическое расстояние между объектами: l = a(t) R, где R – безразмерное координатное расстояние.

$$v = \frac{dl}{dt} = \frac{da}{dt}R = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)aR = Hl, \quad H(t) = \frac{\dot{a}}{a}$$

Отклонения от Хаббловского закона – пекулярные скорости галактик $v \sim 1000~{
m km/c}$ для членов крупных скоплений

Парадокс Ольбера

Решение:

- 1) конечный возраст Вселенной
- 2) космологическое красное смещение