

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»»
Кафедра № 40 «Физика элементарных частиц»

ПАРАМЕТР ХАББЛА В МОДЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ С НЕСТАБИЛЬНОЙ СКРЫТОЙ МАССОЙ

Научный руководитель
проф., д.ф.-м.н.

Хлопов М. Ю.

Научный консультант

Краснов М. А.

Студент

Корсакова М. Д.,
группа Б23-102

Цель: вывод выражения для параметра Хаббла $H(z)$ как функции красного смещения

Задачи:

1. Получить выражение для плотности нестабильной скрытой массы
2. Вывести выражение для плотности релятивистских продуктов распада
3. Получить выражение для параметра Хаббла $H(z)$ в рамках модели путём подстановки найденных выражений для плотностей в первое уравнение Фридмана.

ТЕОРИЯ

Первое уравнение Фридмана:

$$H^2(t) = \frac{8\pi G}{3} \rho_{\text{all}}(t)$$

$a(t)$

- масштабный фактор

$H(t) = \dot{a}/a$ - параметр Хаббла, характеризующий скорость расширения Вселенной

ρ_{all}

- суммарная плотность энергии всех компонент Вселенной

G

- гравитационная постоянная

Уравнение непрерывности:

$$\frac{d\rho}{dt} + 3H(\rho + p) = 0$$

ρ, p

- плотность и давление компоненты Вселенной

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

$$\frac{d\rho_{\text{udm}}}{dt} + 3H\rho_{\text{udm}} = -\Gamma\rho_{\text{udm}} \Rightarrow \rho_{\text{udm}}(z) = \rho_{\text{udm},0}(1+z)^3 \exp \left[-\Gamma \int_{z_1}^0 \frac{dz'}{H(z')(1+z')} \right]$$

$$\frac{d\rho_{\text{rel}}}{dt} + 4H\rho_{\text{rel}} = +\Gamma\rho_{\text{udm}} \Rightarrow \rho_{\text{rel}}(z) = -\rho_{\text{udm}}(z) + \rho_{\text{udm},0}(1+z)^4 \int_z^0 \exp \left[-\Gamma \int_{z_1}^{z'} \frac{dz'}{H(z')(1+z')} \right] \frac{dz_1}{(1+z_1)^2}$$

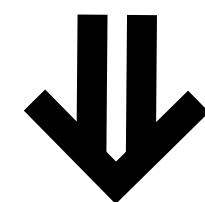
$\rho_{\text{udm}}(z)$ - плотность нестабильной скрытой массы

$\rho_{\text{rel}}(z)$ - плотность релятивистских продуктов распада

Γ - постоянная распада

$\Gamma \sim 10^{-28} \text{ c}^{-1}$

$$\rho_{all}(z) = \rho_{udm}(z) + \rho_r(z) + \rho_b(z) + \rho_\Lambda(z) + \rho_{rel}(z)$$



$$H(z) = \sqrt{\frac{8\pi G}{3} [\rho_{r,0}(1+z)^4 + \rho_{b,0}(1+z)^3 + \rho_{\Lambda,0} + \rho_{udm,0}(1+z)^4 \int_z^0 \exp \left[-\Gamma \int_{z_1}^{z'} \frac{dz'}{H(z')(1+z')} \right] \frac{dz_1}{(1+z_1)^2}]}$$

$$\rho_r(z) = \rho_{r,0}(1+z)^4 \quad \text{- плотность релятивистских частиц}$$

$$\rho_b(z) = \rho_{b,0}(1+z)^3 \quad \text{- плотность барионной материи}$$

$$\rho_\Lambda(z) = \rho_{\Lambda,0} = \text{const} \quad \text{- плотность тёмной энергии}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты:

1. Получены аналитические выражения для $\rho_{\text{udm}}(z)$, $\rho_{\text{rel}}(z)$ из уравнений непрерывности
2. Получено аналитическое выражение для параметра Хаббла из первого уравнения Фридмана

Задача на будущее: рассмотреть предельный случай мгновенного распада скрытой массы

Ожидается, что неявное выражение для параметра Хаббла сведётся к явному алгебраическому.