

# Сигнал от темной материи, захваченной астрофизическими объектами

Товстун А.А.

23 января 2023 г.

## Способы обнаружения темной материи (ТМ)

- Прямые (низкофоновые эксперименты по обнаружению рассеяния)
- В ускорителях
- Косвенный метод — детектирование потоков нейтрино

# Задача

Цель — получить ограничения исходя из нейтринного сигнала от аннигиляции частиц ТМ для неупругих сценариев. Для этого считается на небесном теле (обычно Солнце) скорость захвата  $C$  и определяется число частиц и аннигиляционные потоки исходя из уравнения

$$\frac{dN}{dt} = C - E \cdot N - \Gamma N^2$$

$E$  — темп испарения,  $\Gamma$  — аннигиляции

$$dN_{Ann} = \int d^3\vec{v} d^3\vec{v}_1 d^3\vec{r} f_\chi(\vec{v}, \vec{r}) f_\chi(\vec{v}_1, \vec{r}) |\vec{v} - \vec{v}_1| d\sigma_{Ann}$$

# Неупругие сценарии

Неупругий процесс забирает часть энергии частицы, поэтому захват усиливается.

Рассматривалось неупругое рассеяние с эмиссией фотона, электрона или возбуждением уровней. (Не дает существенного усиления)

$$\chi + N \rightarrow \chi + N + \gamma$$

$$\chi + H \rightarrow \chi + H^*$$

$$\chi + H \rightarrow \chi + p + e^-$$

# Неупругая темная материя

Неупругая темная материя, состоящая из двух состояний  $m_1$  и  $m_2$  с небольшой разницей масс  $\delta m$

$$m_1 \approx m_2 \approx m$$

$$m_2 - m_1 = \delta m$$

Рассеяние на ядрах происходит с переходом

$$\chi + N \rightarrow \chi^* + N'$$

# Термализация

В двухкомпонентной ТМ происходит нетривиальная термализация. Для ее расчета рассматривается движение в сферическом потенциале.

$$H = \frac{v_r^2}{2} + \left( \phi(r) + \frac{L^2}{2r^2} \right) = \frac{v_r^2}{2} + U_{eff}(L, r)$$

В уравнении Больцмана

$$\frac{df}{dt} = C(\vec{r}, \vec{v}) + St[f(\vec{r}, \vec{v}')](\vec{r}, \vec{v})$$

идет переход к параметрам  $E, L$  - энергия и момент импульса.

# Термализация

Мы будем решать линейное уравнение в матричном виде.

$$\frac{\partial \tilde{f}_i}{\partial t} = \sum_j S_{ij} \tilde{f}_j - \sum_j S_{ji} \tilde{f}_i - E_i \tilde{f}_i$$

где индексы  $ij$  пробегают все состояния фазового пространства  $E, L$ .

Приближенное решение с шагом  $\tau$ :

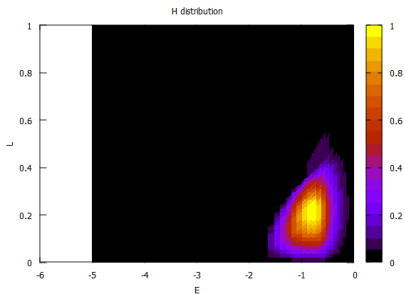
$$\vec{\tilde{f}}(t_n) = (1 + \tau A)^n \vec{\tilde{f}}(t_0), \vec{\tilde{f}}(t_0) = \vec{C}$$

Реальное распределение  $f$  — получается интегрированием функции  $\tilde{f}$  по времени.

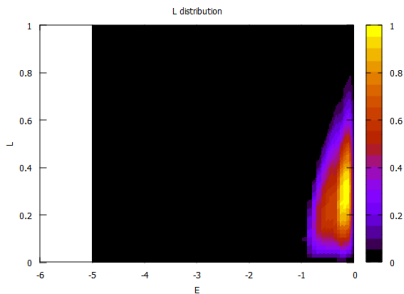
$$f(t) = \int_0^t \tilde{f} dt$$

# Пример

Пример моделирования:  $m = 100\text{GeV}$ ,  $\delta m = 10^{-4}\text{GeV}$



захват тяжелой компоненты

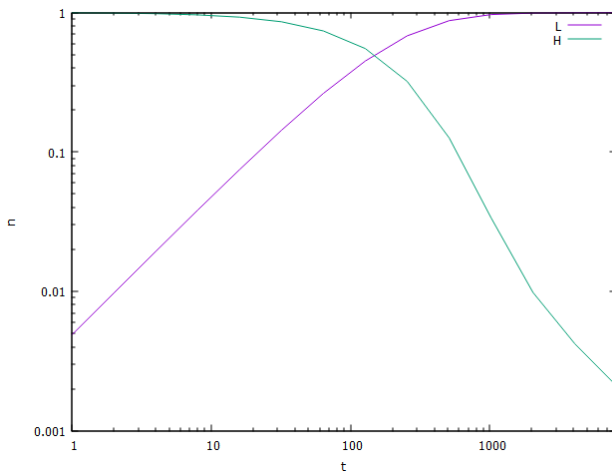


захват легкой компоненты



# Пример

Соотношение между компонентами (в качестве начального условия тяжелой в гало нет)



- Показано, что для неупругих процессов вклад незначителен.
- Написана часть программы, которая находит захват, интеграл столкновений и считает эволюцию
- Осталось: Найти итоговое распределение и потоки частиц.

Скорость захвата определяется интегралом

$$C = \int d^3\vec{v} d^3\vec{v}_i d^3\vec{r} f_{0\chi}(\vec{v}, \vec{r}) f_i(\vec{v}_i, \vec{r}) |\vec{v} - \vec{v}_i| d\sigma$$

где  $f_i$  — функция распределения ядер типа  $i$ ,  $f_{0\chi}$  — распределение частиц пришедших из гало (с плотностью  $0.3 \text{ GeV}/\text{cm}^3$ ). Предполагается гауссово распределение скоростей со сдвигом из-за движения тела. Интеграл столкновений в координатах  $E, L$  следующий

$$dN = \int dE dL \frac{T_{in}}{T_{in} + T_{out}} d\tau f_{0\chi}(E, L) f_i d^3\vec{v}_i(\vec{v}_i, \vec{r}) |\vec{v} - \vec{v}_i| d\sigma$$

Сетка по  $E, L$  — прямоугольная, неравномерная (число разбиений по  $L$  зависит от  $E$ )