

Нейтрино в нестандартных моделях вспышек сверхновых

Шарофеев Андрей
Научный руководитель:
Троицкий С.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова

18 мая 2020 года

Постановка задачи

- ▶ Один из наиболее точных методов изучения сверхновых - их нейтринный сигнал.
- ▶ Явление сверхновой - крайне редкое явление.

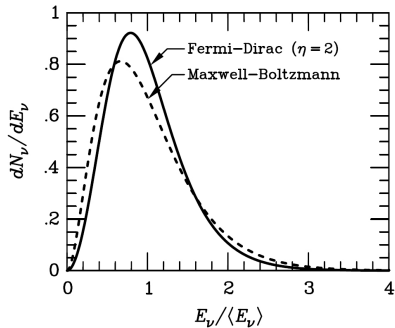
Формула спектра нейтринного сигнала

$$\frac{dF_\nu}{dE_\nu} = \frac{c}{H_0} \int_0^{z_{max}} R_{SN}(z) \frac{dN_\nu(E'_\nu)}{dE'_\nu} \frac{dz}{\sqrt{\Omega_M(1+z)^3 + \Omega_\Lambda}}, \quad (1)$$

где $R_{SN}(z)$ - это частота взрывов сверхновых на красном смещении z ;

$dN_\nu(E')$ - количество нейтрино, испущенное одной сверхновой.

Рис. 1: Спектр нейтрино от сверхновой. Сравнение различных распределений



Распределение сверхновых во Вселенной

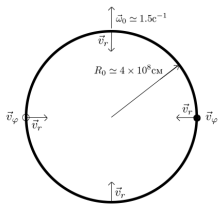
Распределение сверхновых задаётся эмпирической формулой

$$R_{SN}(z) = R_{-4} 10^{-4} \text{ год}^{-1} \text{ Мпк}^{-3} \begin{cases} (1+z)^\beta, & \text{если } z < 1 \\ 2^{\beta-\alpha} (1+z)^\alpha, & \text{если } 1 < z < 4.5 \\ 2^{\beta-\alpha} 5.5^{\alpha-\gamma} (1+z)^\gamma, & \text{если } 4.5 < z, \end{cases} \quad (2)$$

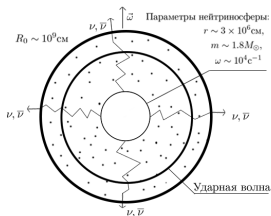
где $\alpha = 3.28$, $\beta = -0.26$, $\gamma = -7.8$, $R_{-4} \approx 1.2$.

Двойной коллапс

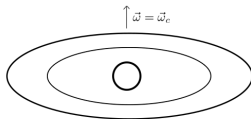
Рис. 2: Первые этапы эволюции системы в модели двойного коллапса



1. Начальная стадия, полная масса $2M_{\odot}$.



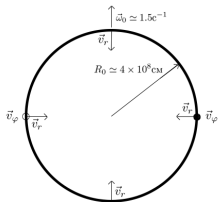
2. После первого коллапса ($t \sim 1c$).



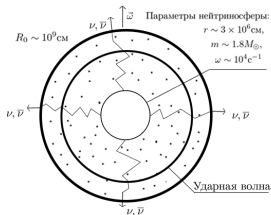
3. Двумерная квазистатическая конфигурация ($t \gg 1c$)

Номировка сигналов

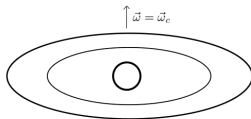
Рис. 3: Последние этапы эволюции двойной системы



1. Начальная стадия, полная масса $2M_{\odot}$.



2. После первого коллапса ($t \sim 1c$).



3. Двумерная квазистатическая конфигурация ($t \gg 1c$)

Первая вспышка двойного коллапса

Аппроксимация численных расчётов даёт следующие потоки нейтрино и антинейтрино соответственно

$$\Phi_{\nu_e} = 0.02329 \times 10^{53} (E'_{\nu_e})^5 (1 + e^{E'_{\nu_e}/6.32381})^{-1} \quad (3)$$

$$\Phi_{\bar{\nu}_e} = 0.00129 \times 10^{53} (E'_{\bar{\nu}_e})^5 (1 + e^{E'_{\bar{\nu}_e}/6.28215})^{-1} \quad (4)$$

$$\Phi_{\bar{\nu}_e} = \Phi_{\nu_\mu} = \Phi_{\bar{\nu}_\mu} = \Phi_{\nu_\tau} = \Phi_{\bar{\nu}_\tau} \quad (5)$$

Полное энергосодержание нейтрино в ходе первой вспышки равняется $E_{I\nu_e} = 3.14 \times 10^{52}$ эрг, для всех остальных типов нейтрино эта энергия равна $E_{I\nu_{\mu,\tau}} = E_{I\bar{\nu}_{\mu,\tau}} = 1.70 \times 10^{51}$ эрг.

Нормировка сигналов

Пусть коэффициент α есть нормировочный множитель первой вспышки, β - второй вспышки. Мы получили систему линейных уравнений

$$\begin{cases} \alpha/\beta = E_I/(E^{tot} - E_I) \\ \alpha E_I + \beta(E^{tot} - E_I) = E^{tot}. \end{cases} \quad (6)$$

В итоге мы получили нормировочные коэффициенты для двух вспышек в модели двойного коллапса

$$\alpha(\Phi_{\nu_e} + 6\Phi_{\bar{\nu}_e}) + \beta \sum_{i=1}^6 \frac{dN_{\nu_i}(E'_{\nu_i})}{dE'_{\nu_i}} \quad (7)$$

Результаты расчётов

Тогда используя формулы рассчитываем необходимые нам спектры и потоки нейтрино.

Модель	Поток нейтрино, $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	
	Стандартный коллапс	Двойной коллапс
ν_e	26.56	54.85
$\bar{\nu}_e$	17.00	19.22
ν_μ	14.17	16.25
$\bar{\nu}_\mu$	14.17	16.25
ν_τ	14.17	16.25
$\bar{\nu}_\tau$	14.17	16.25
Сумма	100.22	139.06

Таблица 1: Сравнительная таблица потоков на Земле, рассчитанный по разным моделям

Результаты расчётов

