

РАСЧЁТ ОЖИДАЕМОГО ЭФФЕКТА В БОРЕКСИНО ОТ ВЗРЫВА ГОЛУБОГО СВЕРХГИГАНТА С ОБРАЗОВАНИЕМ ГИБРИДНОЙ ЗВЕЗДЫ

Чуева Е.А.

Научный руководитель:

Литвинович Е.А.

Введение

Цель работы: выбор энергетического и временного разбиения спектров от взрыва голубого сверхгиганта, сечения и кинематических характеристик обратного бета-распада, необходимых для последующего Монте-Карло моделирования, теоретическая оценка отклика детектора Борексино

Модель взрыва голубого сверхгиганта взята из:

Quark deconfinement as a supernova explosion engine for massive blue supergiant stars / T. Fischer [et al.] // Nature Astron. – 2018.

Используемая модель

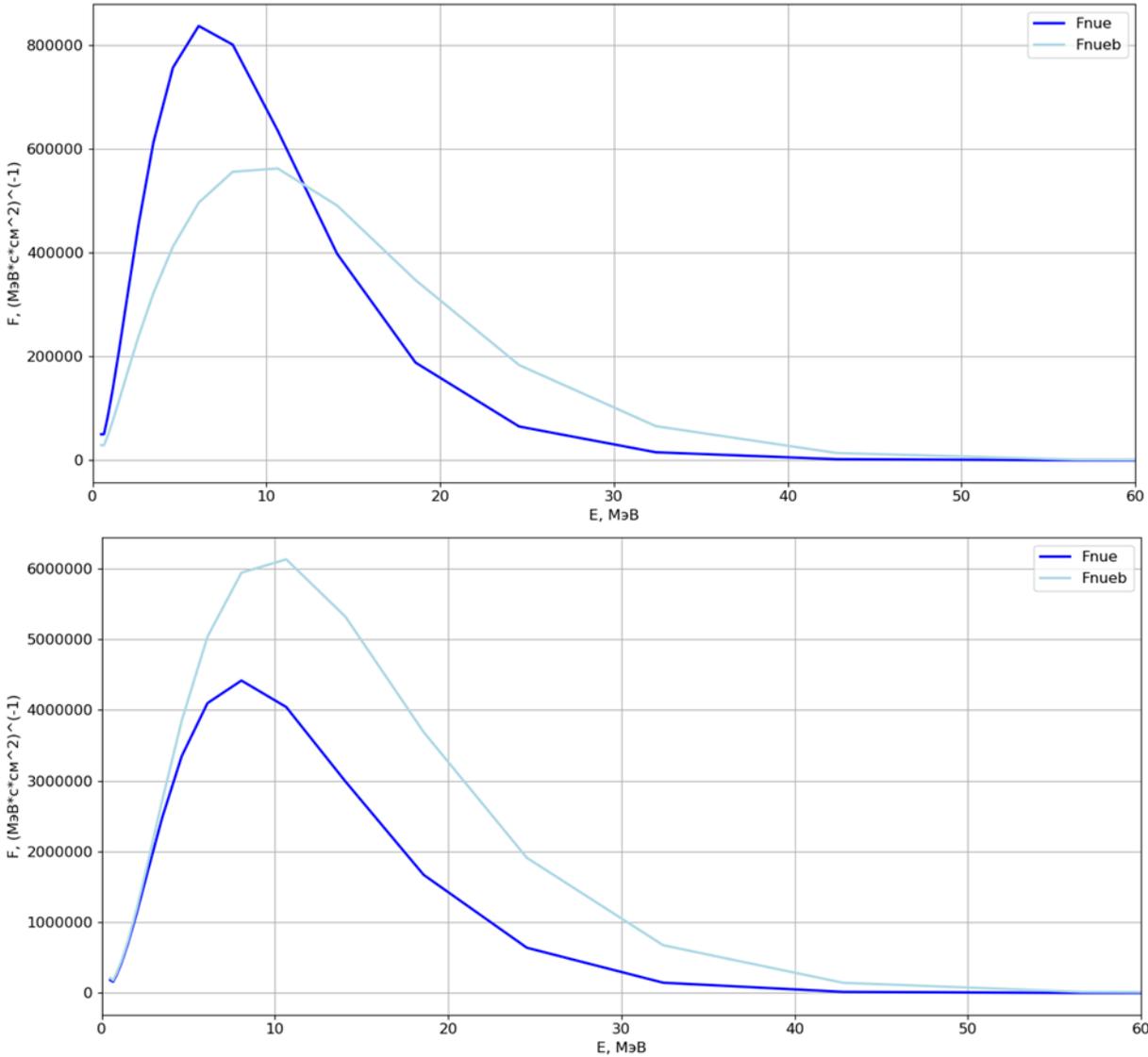


Рис.1. Спектр нейтрино во время процесса, аналогичного вспышке сверхновой II типа (сверху), и во время перехода в гибридную звезду (снизу)

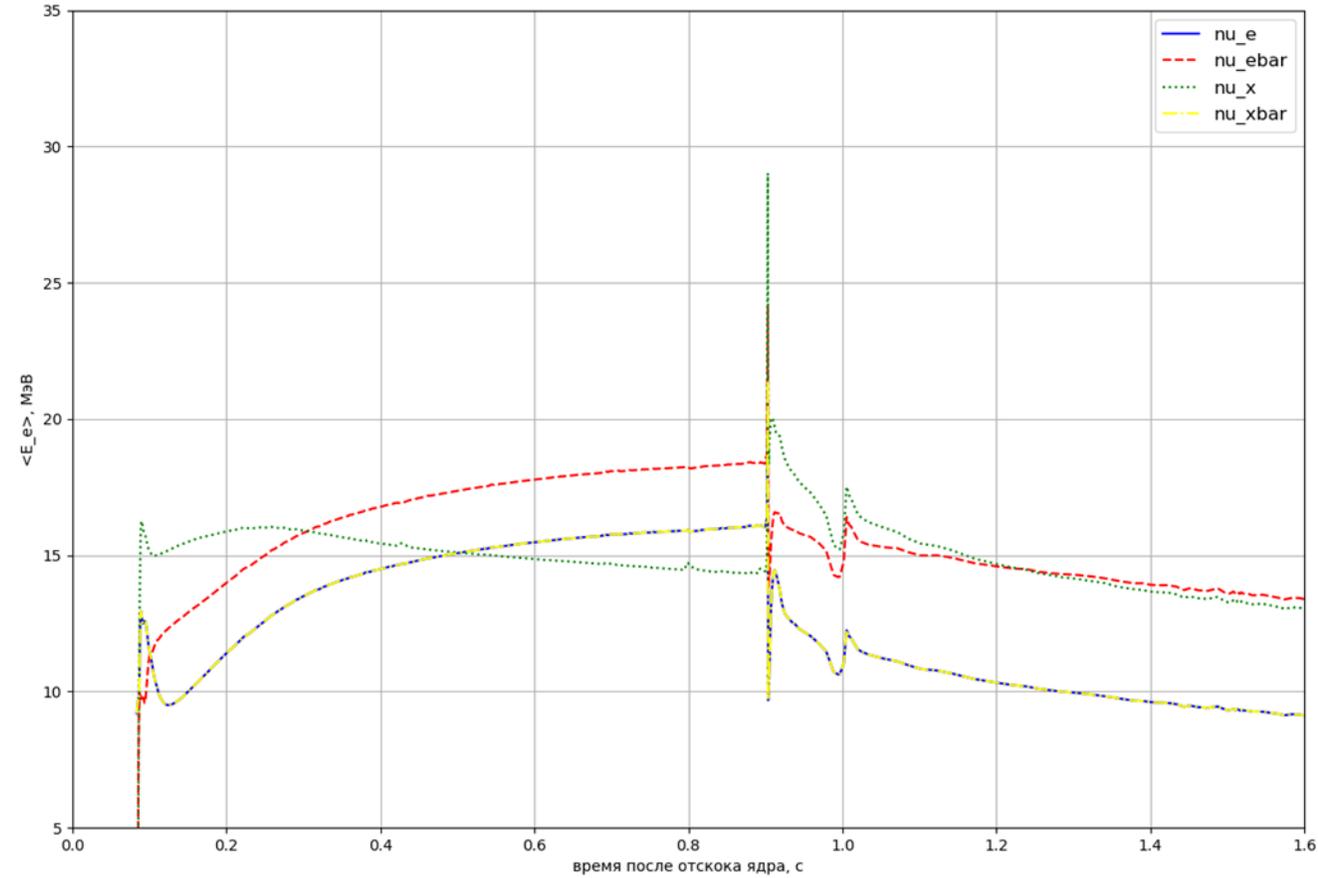


Рис.2. Средняя энергия нейтрино во время взрыва голубого сверхгиганта

Звезда-предшественница – голубой сверхгигант
массой $50 M_{\odot}$

- Отличия данного взрыва от вспышки сверхновой II типа:
- переход в кварковую материю
 - преобладание потока электронного антинейтрино, а не электронного нейтрино (во время перехода в гибридную звезду)

Используемые в дальнейших расчётах спектры – спектры после учёта МСВ-эффекта, который возникает при прохождении нейтрино плотных слоёв материи звезды

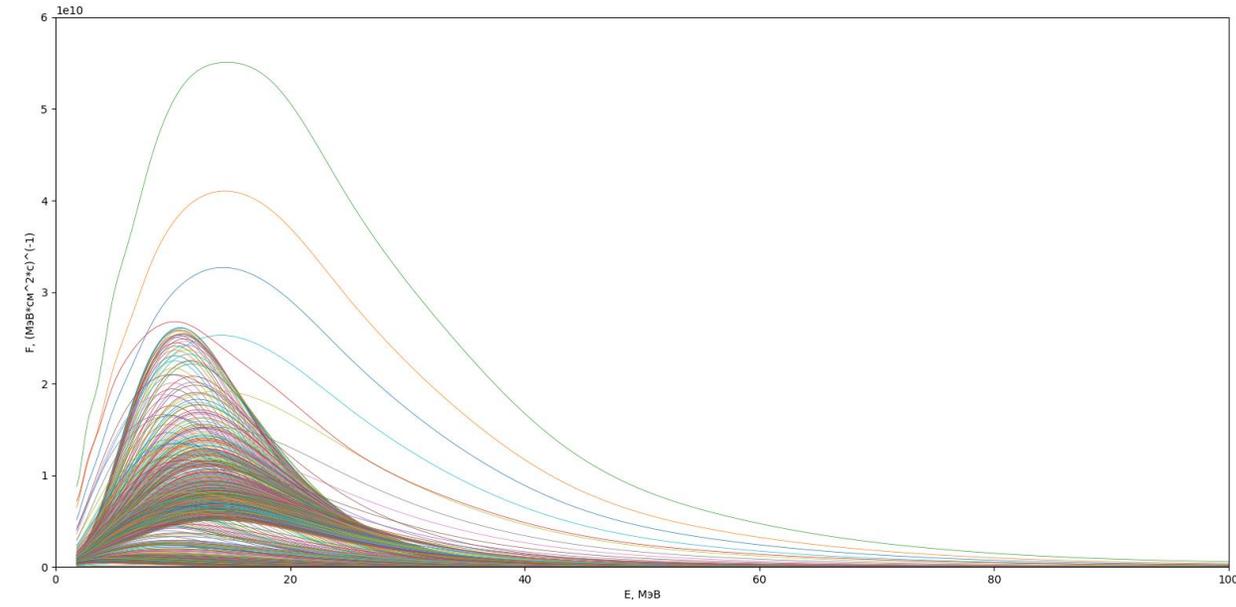


Рис.3. Спектры электронного антинейтрино после учёта МСВ-эффекта для нормальной массовой иерархии

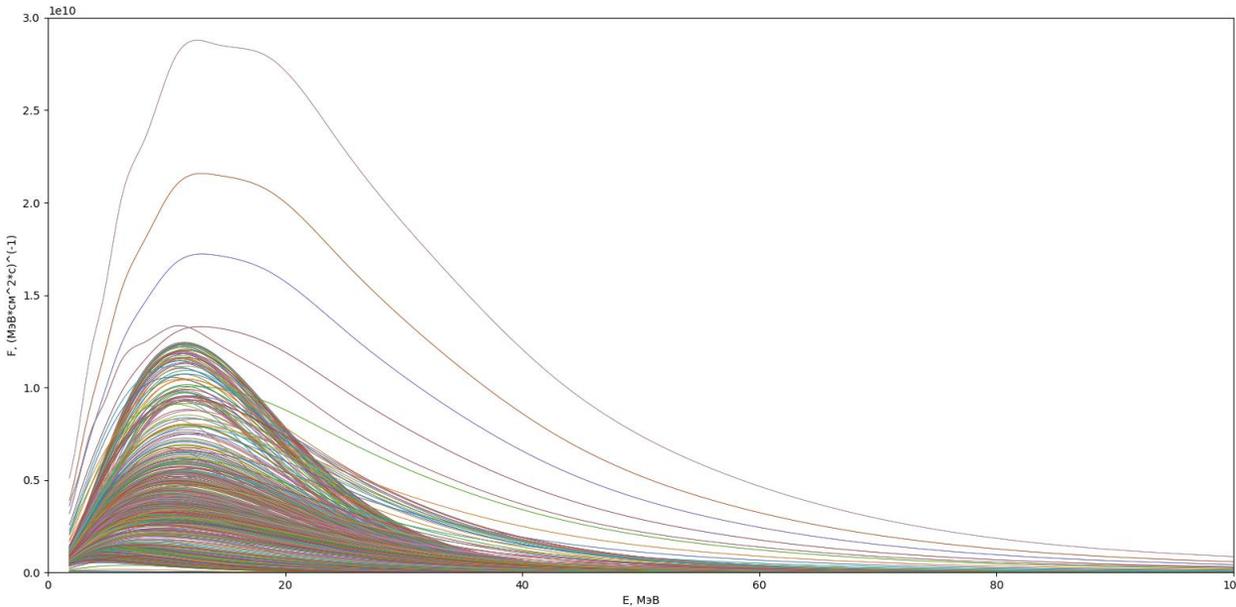


Рис.4. Спектры электронного антинейтрино после учёта МСВ-эффекта для обратной массовой иерархии

Обратный бета-распад

Основной канал для регистрации нейтрино от вспышек сверхновых – реакция обратного бета-распада $p + \bar{\nu}_e \rightarrow e^+ + n$

Диапазон возможных энергий позитрона в системе покоя протона: $E_{1,2} = E_\nu - \delta - \frac{1}{m_p} E_\nu^{CM} (E_e^{CM} \pm p_e^{CM})$, $\delta = \frac{m_n^2 - m_p^2 - m_e^2}{2m_p}$

Средняя энергия позитронов, которая будет использована при Монте-Карло моделировании:

$$\langle E_e \rangle \approx (E_1 + E_2)/2 = E_\nu - \delta - \frac{E_\nu^{CM} E_e^{CM}}{m_p}$$

Средняя энергия нейтронов: $\langle E_n \rangle = E_\nu + m_p - \langle E_e \rangle$

Кинетическая энергия нейтронов при энергии нейтрино до 100 МэВ может достигать до 8 МэВ, поэтому её необходимо учитывать при моделировании.

Сечение ОБР было найдено методом интерполяции табличных данных из статьи Strumia A., Vissani F. Precise quasielastic neutrino/nucleon cross-section // Phys. Lett. B. — 2003.

Дальнейший энергетический шаг был выбран 50 кэВ, что обусловлено энергетическим разрешением детектора

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right) = 5\% \text{ при } 1 \text{ МэВ}$$

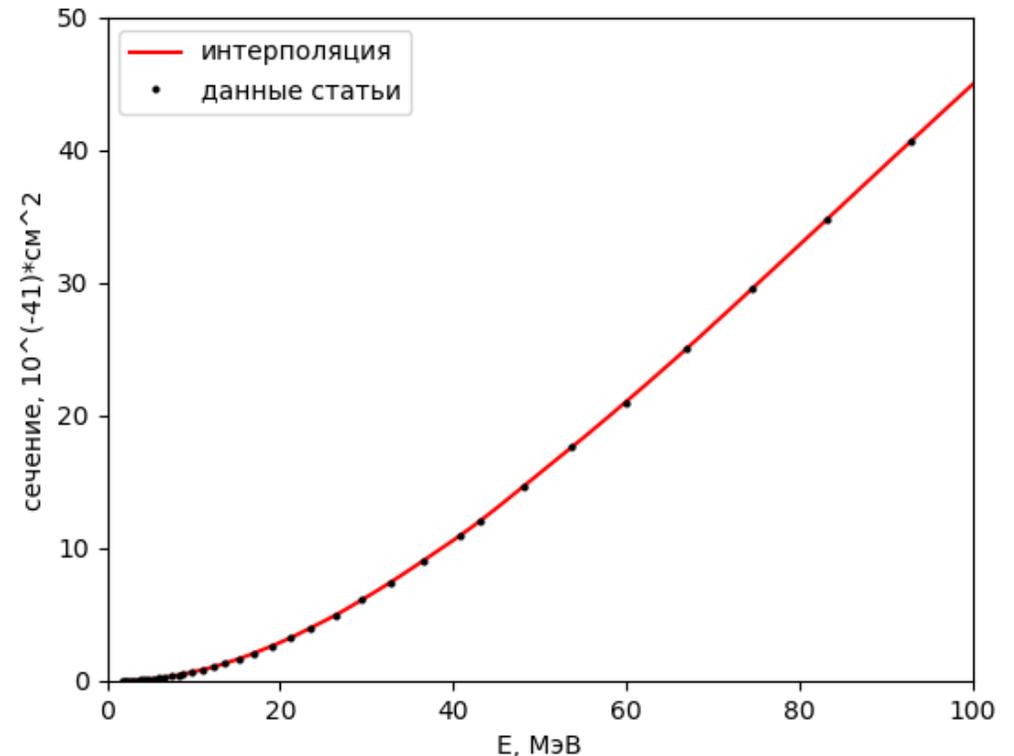


Рис.5. Сечение обратного бета-распада

Временное разбиение

Авторами статьи были предоставлены спектры для 1074 различных моментов времени моделирования взрыва голубого сверхгиганта в диапазоне 0-10 с.

Разбиение по времени должно быть выбрано с учётом:

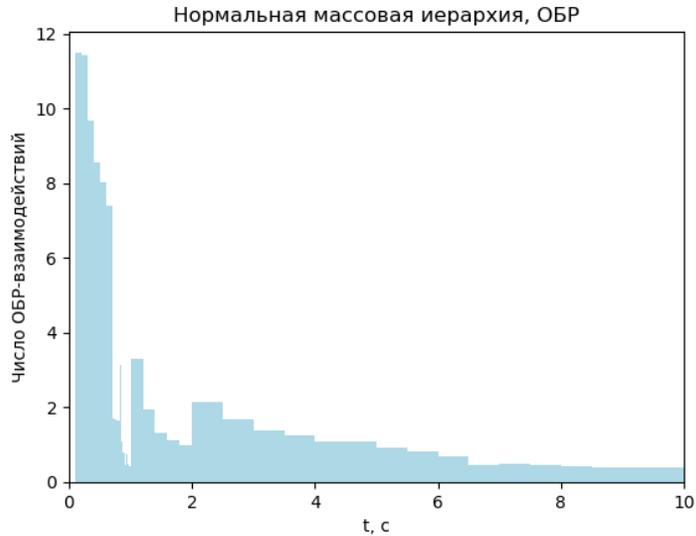
- необходимости сокращения количества файлов
- необходимости сохранения всплеска антинейтрино, который приходится на переход в гибридную звезду

Был выбран следующий биннинг:

1. 0.0-0.7 с: 100 мс (7 файлов)
2. 0.7-1.0 с: 25 мс (12 файлов, время соответствует переходу в гибридную звезду)
3. 1.0-2 с: 200 мс (5 файлов)
4. 2.0-10.0 с: 500 мс (16 файлов)

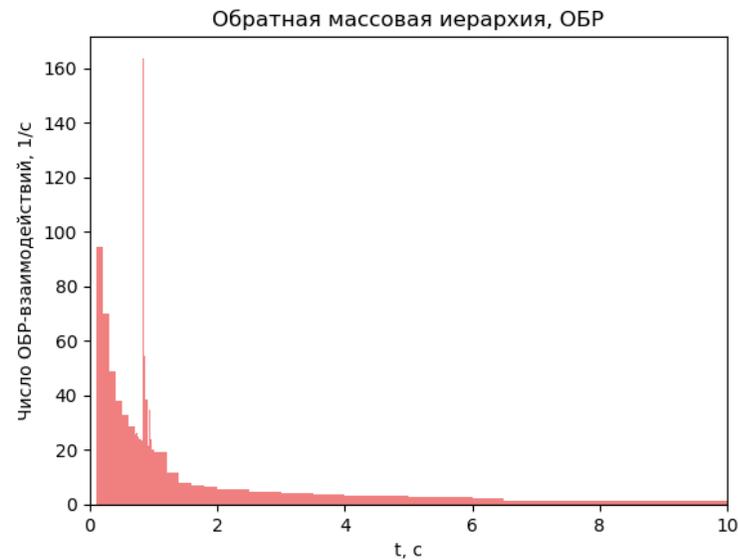
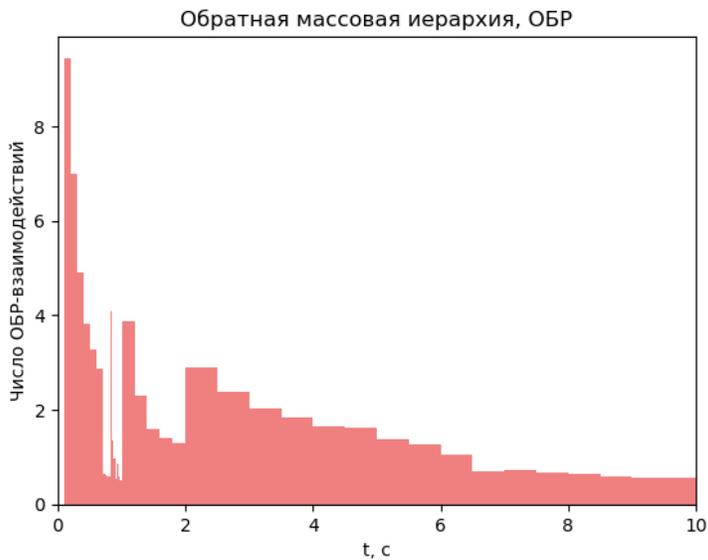
Всего – 40 временных диапазонов (файлов)

Теоретические оценки отклика Борексино



$$N_{int} = N_p \int_{1.806}^{100} F(E)\sigma(E)dE$$

Общее число взаимодействий:
Нормальная массовая иерархия – 95
Обратная массовая иерархия – 75



На таком же расстоянии (12 кпк)
стандартная сверхновая даёт только
55 событий

Рис.6. Число и скорость
взаимодействий для обеих массовых
иерархий

Заключение

Результаты работы:

- был рассмотрен основной канал регистрации нейтрино от вспышек сверхновых в рамках модели взрыва голубого сверхгиганта с переходом в гибридную звезду
- выбраны временное и энергетическое разбиения, которые необходимы для Монте-Карло моделирования
- произведена теоретическая оценка числа событий обратного бета-распада для обеих массовых иерархий