

ОЖИДАЕМЫЙ ЭФФЕКТ ОТ ВСПЫШКИ ГОЛУБОГО СВЕРХГИГАНТА С ПЕРЕХОДОМ В ГИБРИДНУЮ ЗВЕЗДУ В НЕЙТРИННЫХ ДЕТЕКТОРАХ

Студент: Чуева Е.А.

Научный руководитель: Литвинович Е.А.

Введение

Цель работы: изучение возможного эффекта от взрыва голубого сверхгиганта в нейтринных детекторах Борексино, JUNO, Hyper-Kamiokande; получение числа событий обратного бета-распада с учётом эффективности регистрации детектора с помощью Монте-Карло моделирования для обеих массовых иерархий (для 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

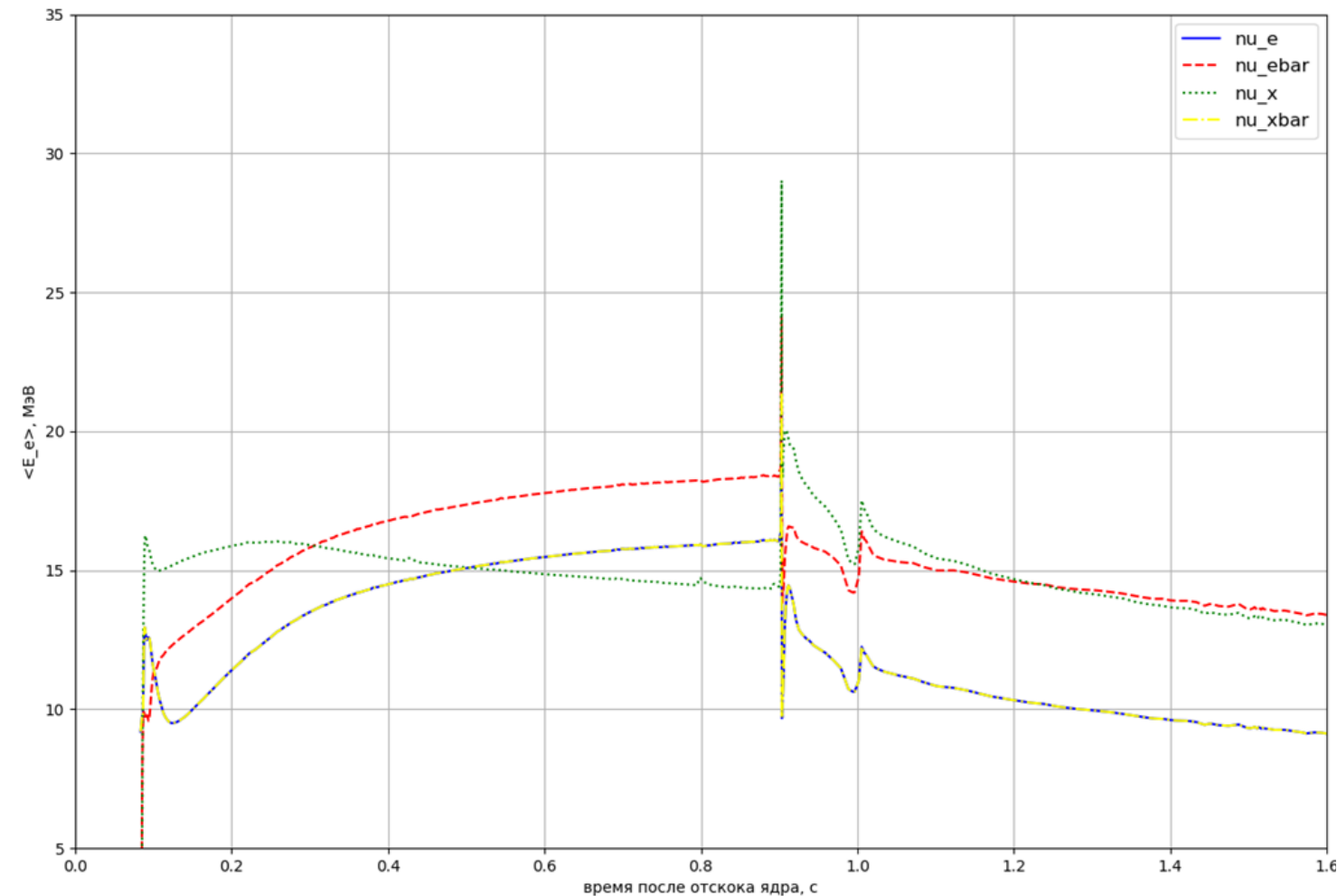


Рис.1. Средняя энергия нейтрино во время взрыва голубого сверхгиганта

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)

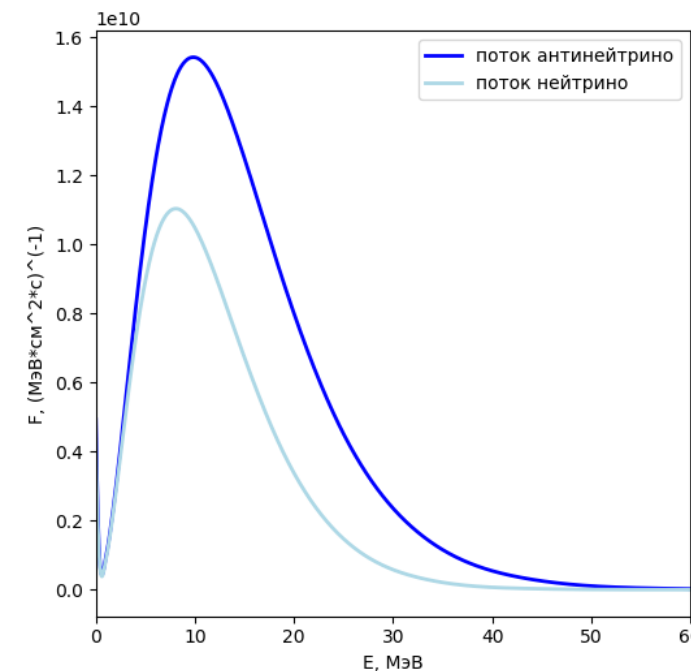
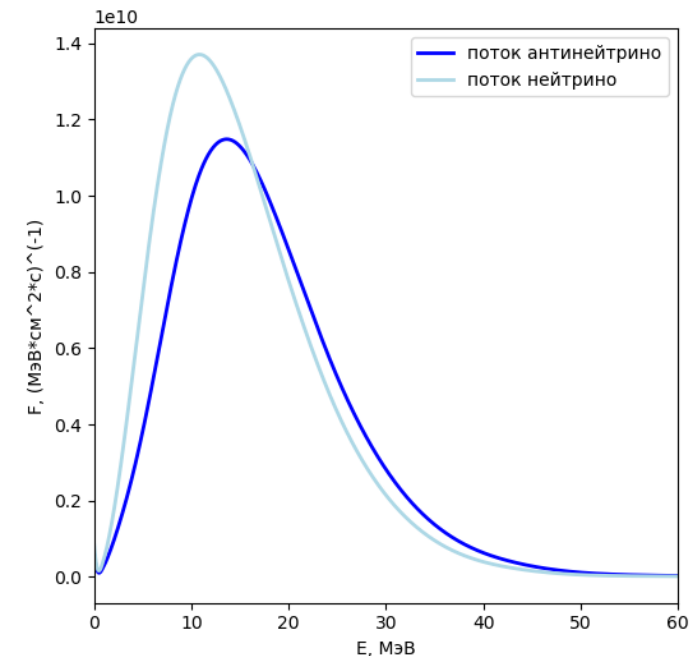


Рис.2. Спектр нейтрино во время процесса, аналогичного вспышке сверхновой II типа (сверху), и во время перехода в гибридную звезду (снизу)

Выполненная ранее работа

- Учёт МСВ-эффект для каждого из изначальных 1074 файлов для обеих массовых иерархий
- Получены нейтринные спектры на Земле (расстояние до звезды – 10 кпк) для всех флейворов нейтрино (для мюонного и тау нейтрино/антинейтрино – суммарный)
- Произведена теоретическая оценка числа событий обратного-бета распада в Борексино
- Произведено Монте-Карло моделирование для детектора Борексино в случае нормальной массовой иерархии

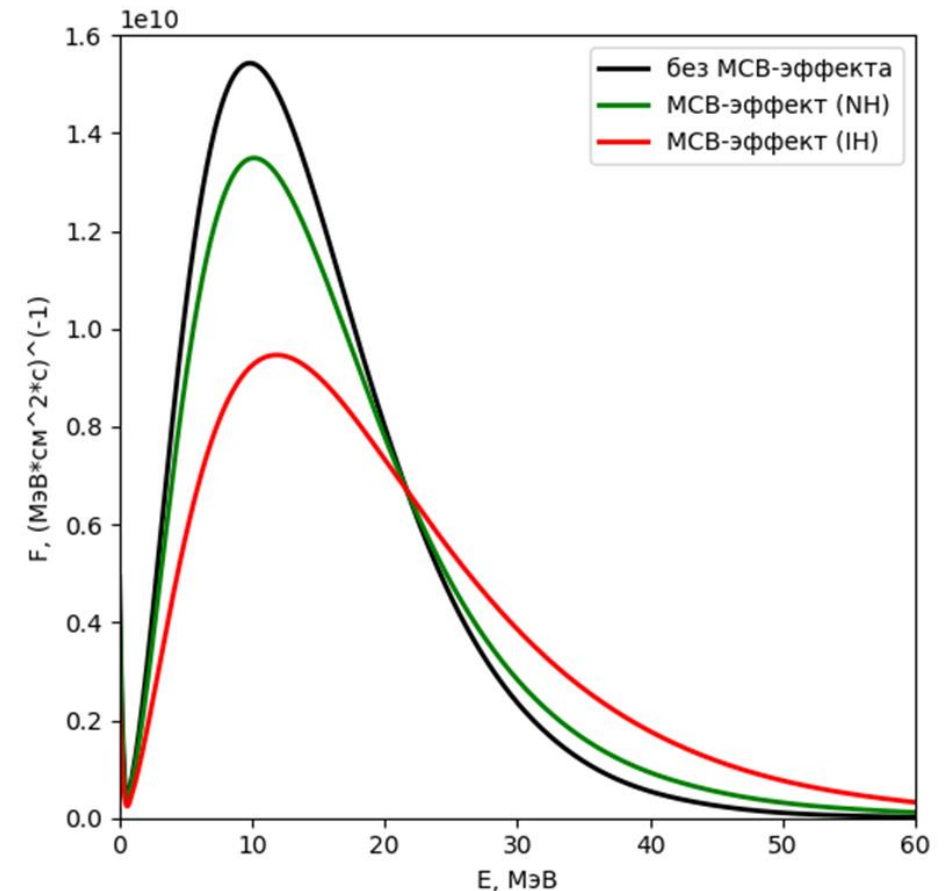


Рис.3. Спектры электронного антинейтрино

Теоретическая оценка числа событий в Борексино, JUNO, Hyper-Kamiokande

Основной канал для регистрации нейтрино от вспышек сверхновых в сцинтилляционных и Черенковских детекторах – реакция обратного бета-распада: $p + \bar{\nu}_e \longrightarrow e^+ + n$

	BOREXINO (2007-2021)	JUNO (2022-)	Hyper-Kamokande (2027-)
	300 т органического сцинтиллятора	20 кт органического сцинтиллятора	258 кт чистой воды
E _{trsh}	<E _{пор} =1.8 МэВ	<E _{пор} =1.8 МэВ	5 МэВ

$$N_{\text{int}} = N_p \int_{E_{\text{trsh}}}^{100} \sigma(E) \Phi(E) dE$$

Сечение обратного бета-распада интерполировано из табличных данных статьи Strumia A., Vissani F. Precise quasielastic neutrino/nucleon cross-section //Phys. Lett. B. — 2003.)

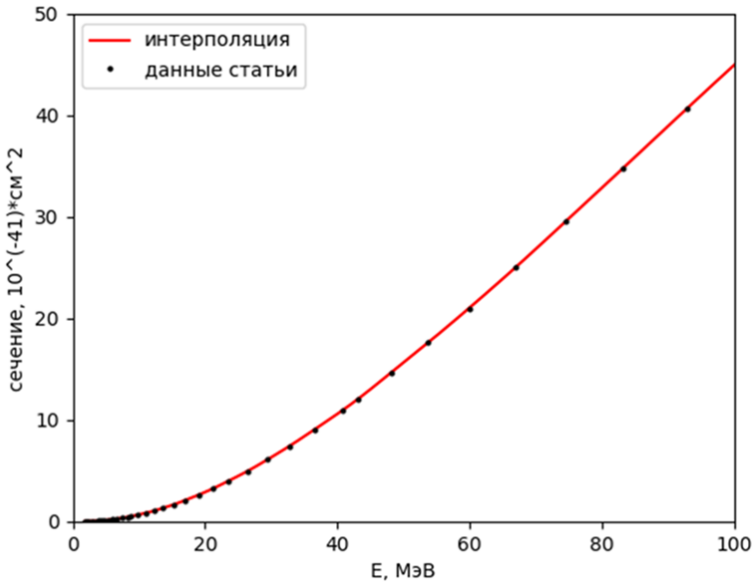


Рис.4. Сечение обратного бета-распада

Результат теоретической оценки

Расстояние до звезды – 10 кпк

	BOREXINO	JUNO	Hyper-Kamiokande
Нормальная массовая иерархия	95	755	> 76 000
Обратная массовая иерархия	75	596	> 60 000



Рис.5. Скорость счёта числа событий на примере детектора Борексино. Пик – переход в гибридную звезду

Монте-Карло моделирование

Модификация имеющегося Монте-Карло моделирования для детектора Борексино:

- добавлен новый источник антинейтрино – от вспышки голубого сверхгиганта
- добавлена функция «розыгрыша» энергии позитрона
- учтена кинетическая энергия нейтрона

Параметры моделирования:

- источник антинейтрино: вспышка голубого сверхгиганта
- моделирование полной конфигурации детектора Борексино
- сферически симметричная задача: независимость моделирования от формы нейлоновой сферы
- моделирование 5000 событий для каждого из 40 спектров (позволяет получить предсказание эффективности регистрации с точностью 1.4 %)

Результаты Монте-Карло моделирования

- Произведено Монте-Карло моделирование для обратной массовой иерархии (ранее было произведено для нормальной массовой иерархии)
- Произведён отбор событий: диапазон 1-50 МэВ для позитронов, 1-3 МэВ для нейтронов (соответствует захвату нейтрона на водороде)
- Получена эффективность регистрации детектора – 87 % для обеих массовых иерархий
- Число событий с учётом эффективности составило 82.7 ± 1.3 (NH), 65.3 ± 1.1 (IH)

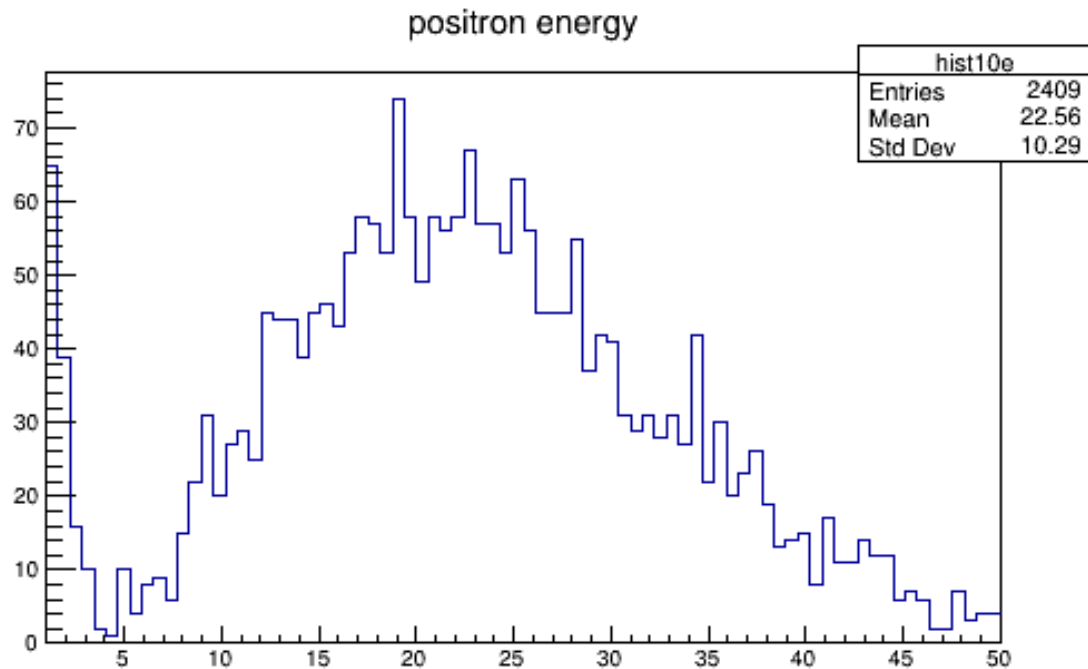


Рис.6. Энергетический спектр мгновенных событий, соответствующих поглощению позитрона и испусканию аннигиляционных гамма-квантов

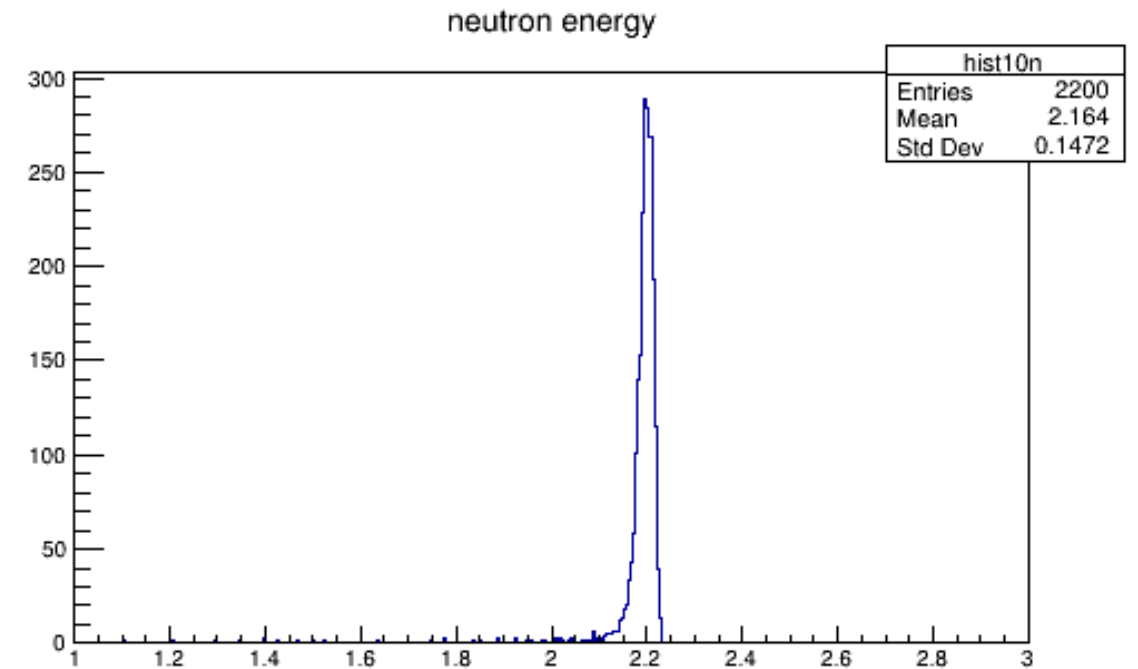


Рис.7. Энергетический спектр задержанных событий, соответствующих захвату нейтрона

Заключение

Рассмотрена модель голубого сверхгиганта с переходом в гибридную звезду, на основе выполненной работы были произведены:

- Теоретическая оценка числа событий обратного бета-распада для обеих массовых иерархий для детекторов JUNO, Hyper-Kamiokande
- Произведено Монте-Карло моделирование для Борексино для обратной массовой иерархии: получено значение эффективности регистрации детектора (87 %) и значение числа событий с учётом эффективности - 65.3 ± 1.1 (IH), 82.7 ± 1.3 (NH).