

РАСЧЁТ ОЖИДАЕМОГО ЭФФЕКТА В БОРЕКСИНО ОТ ВЗРЫВА ГОЛУБОГО СВЕРХГИГАНТА С ПЕРЕХОДОМ В ГИБРИДНУЮ ЗВЕЗДУ

Чуева Е.А.

Научный руководитель:

Литвинович Е.А.

2020 г.

Введение

- **Цель работы:** оценка числа событий обратного бета-распада в нейтринном детекторе Борексино от взрыва голубого сверхгиганта массой 50 солнечных с переходом в гибридную звезду.

Гибридная звезда – звезда, часть материи которой представляет собой кварк-глюонную плазму.

Выбранная модель

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

- Звезда-предшественница – голубой сверхгигант массой $50 M_{\odot}$
- Моделирование: (1) коллапс и отскок ядра → (2) аккреция материи на протонейтронную звезду → (3) переход в гибридную звезду (барионная масса – $2.092 M_{\odot}$, ядро из кварковой материи – $1.82 M_{\odot}$)
- Если бы не был рассмотрен переход в гибридную звезду, то сформировалась бы **чёрная дыра** (после этапа (2))

Предоставленные данные

- Предоставленные авторами статьи спектры нейтрино и антинейтрино записаны в ~1000 текстовых файлов
- Каждый текстовый файл содержит спектры электронных, мюонных и тау нейтрино и антинейтрино для энергий от 0.5 МэВ до 300 МэВ для определённого времени

```
t - bounce = 0.366786178645995E-01 s
```

E [MeV]	dE [MeV]	<ve> []	<vcb> []	<vx> []	<vxb> []
0.50000000000000E+00	0.13773654658701E+00	0.58640255116482E-02	0.10370796524975E-02	0.19788577909114E-02	0.18245401897896E-02
0.66032720329298E+00	0.18190237719806E+00	0.55988491119063E-02	0.94989743539034E-03	0.16624004630792E-02	0.15241513947714E-02
0.87206403081746E+00	0.24023017601508E+00	0.59478156850688E-02	0.10096531103240E-02	0.16647342553824E-02	0.15170039530772E-02
0.11516952051242E+01	0.31726104054924E+00	0.63301189804079E-02	0.10742263973495E-02	0.16583207512866E-02	0.15013081300180E-02
0.15209913476912E+01	0.41899219123940E+00	0.67323511398950E-02	0.11400079050401E-02	0.16370735123847E-02	0.14725562055708E-02
0.20087039257075E+01	0.55334388368543E+00	0.71176902697939E-02	0.12340706415333E-02	0.15896191532560E-02	0.14220192286667E-02
0.26528036910122E+01	0.73077603834655E+00	0.74213885364054E-02	0.14323264524762E-02	0.15027910394398E-02	0.13396920575414E-02
0.35034368843427E+01	0.96510259526981E+00	0.75179741409333E-02	0.16847051417447E-02	0.13652177897439E-02	0.12168397366948E-02
0.46268293595030E+01	0.12745669952506E+01	0.71602559332948E-02	0.18762148566945E-02	0.11732874991396E-02	0.10503239863980E-02
0.61104425821490E+01	0.16832625187668E+01	0.59980237777237E-02	0.18478093774450E-02	0.93640809652340E-03	0.84669540356231E-03
0.80697829223056E+01	0.22230080628503E+01	0.39497963249286E-02	0.15072214932432E-02	0.67823010896091E-03	0.62375791157669E-03
0.10657394376535E+02	0.29358253940794E+01	0.17912588365668E-02	0.94339907739050E-03	0.43134082080398E-03	0.40723639098681E-03
0.14074734846095E+02	0.38772107436580E+01	0.50431619285760E-03	0.40964340660126E-03	0.22825487808799E-03	0.22427317898350E-03
0.18587860596025E+02	0.51204554538743E+01	0.79247987366045E-04	0.10826667677322E-03	0.92843725728126E-04	0.96778548855784E-04
0.24548140005146E+02	0.67623520588863E+01	0.60517725754521E-05	0.14956910679665E-04	0.26241813701636E-04	0.29793313765367E-04
0.32419609271285E+02	0.89307300454538E+01	0.24432016366801E-06	0.97545199300277E-06	0.46691393700609E-05	0.59541739546228E-05
0.42815099843918E+02	0.11794407988558E+02	0.10831028277249E-07	0.41475056071067E-07	0.50624423257999E-06	0.73776248502801E-06
0.56543950277289E+02	0.15576336883162E+02	0.57165024906058E-09	0.22043561686199E-08	0.41679306787129E-07	0.65014084300250E-07
0.74675017099479E+02	0.20570957943216E+02	0.20893784009620E-10	0.13960104435808E-09	0.40055123639032E-08	0.60008388916780E-08
0.98619890394309E+02	0.27167126255402E+02	0.56165497905795E-12	0.76444790669321E-11	0.43318461462531E-09	0.62803272643530E-09
0.13024279282627E+03	0.35878385003474E+02	0.37400079075401E-13	0.43084449630733E-12	0.44662278623499E-10	0.61727670028819E-10
0.17200571827208E+03	0.47382947256026E+02	-0.10656972760870E-14	-0.14837059253212E-14	0.50076991165787E-13	0.31789823970554E-11
0.22716010979400E+03	0.62576498090701E+02	-0.13847407522379E-17	0.28215113445272E-14	0.11576290766698E-11	0.16052647443570E-11
0.30000000000000E+03	0.82641927952203E+02	0.76048113820585E-20	0.19232287926564E-15	0.11633888319988E-11	0.67438489460282E-12

Рисунок 1. Вид текстового файла

Отличие между вспышкой сверхновой (рис.2) и переходом в гибридную звезду (рис.3)

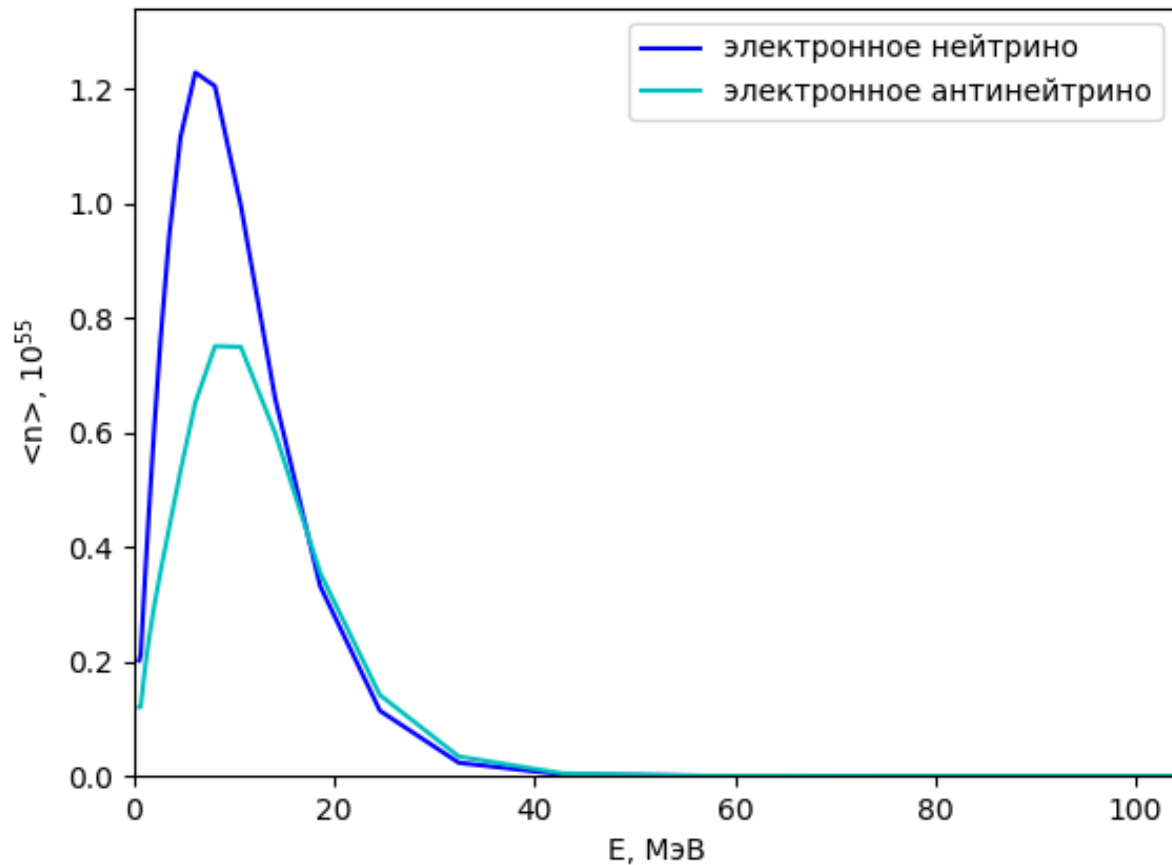


Рисунок 2. Преобладание электронного нейтрино.

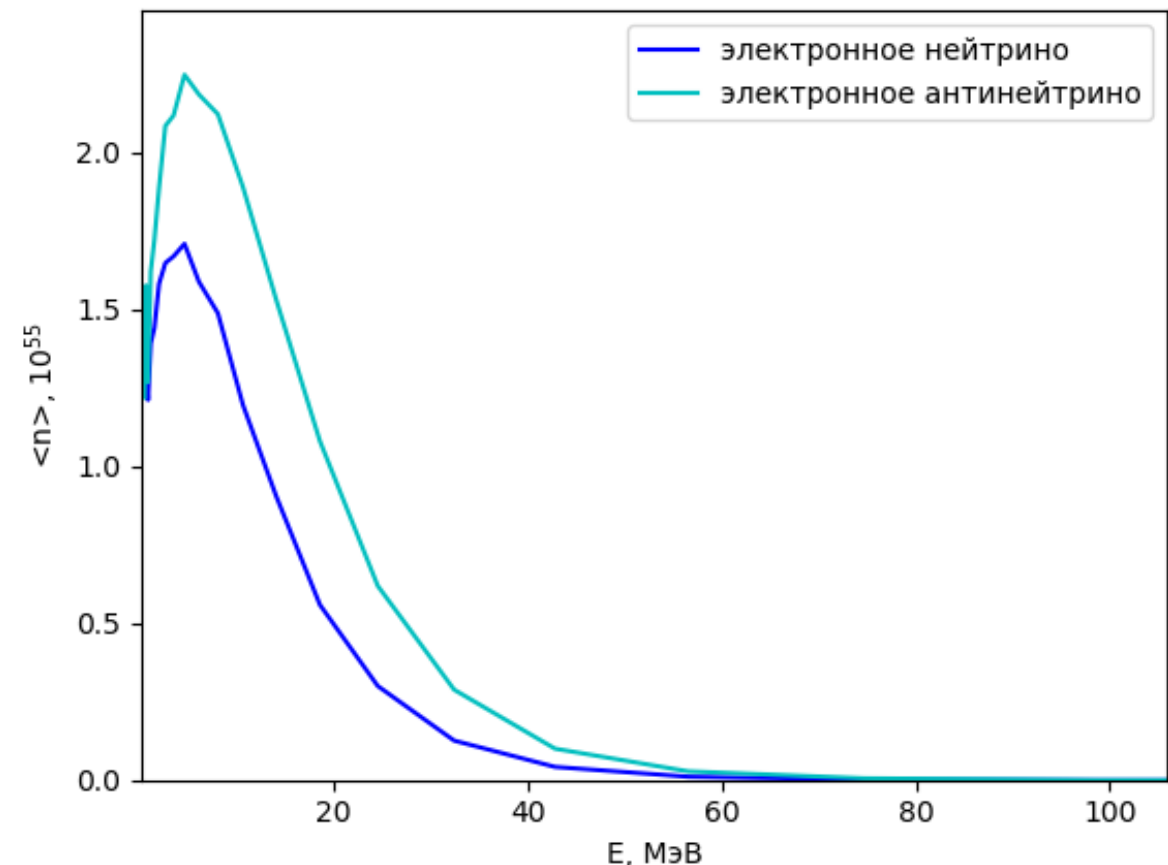
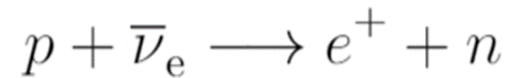


Рисунок 3. Преобладание электронного антинейтрино.

Расчёт событий в Борексине (1)

- Регистрация антинейтрино происходит по реакции обратного бета распада (ОБР):



$$E_{\text{thres}} = 1.806 \text{ МэВ.}$$

Для анализа предоставленных спектров написана программа, выполняющая следующие функции:

1) подсчёт значений сечений ОБР для заданных энергий (на основе табличных данных из A. Strumia, F. Vissani, Phys. Let. B 564, (2003) 42)

Графический результат работы модуля 1 программы представлен на рис.4

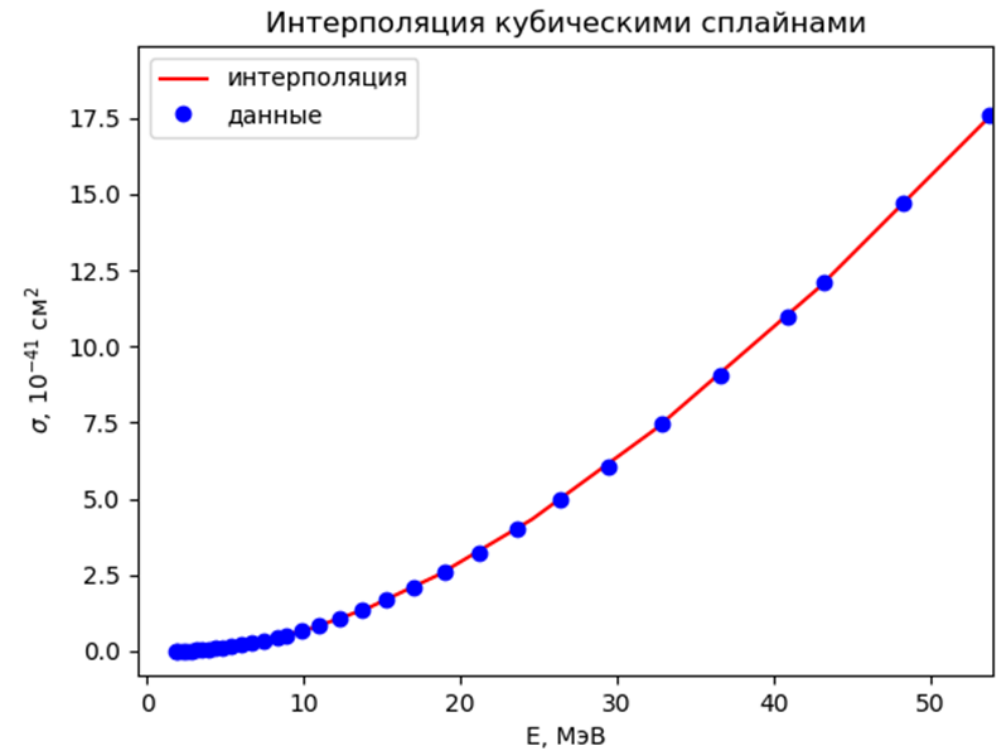


Рисунок 4

Расчёт событий в Борексино (2)

2) чтение данных из текстовых файлов, отбор регистрируемого спектра и расчёт числа событий от ОБР в детекторе Борексино по формуле:

$$N = N_p \int_{E_{\text{thres}}}^{50} dE_\nu \frac{d\Phi}{dE_\nu} \sigma(E_\nu)$$

Выбранные параметры: масса сцинтиллятора Борексино 300 т, расстояние до звезды – 10 кпк, количество мишеней-протонов (на 1 тонну): $N_p = (6.007 \pm 0.001) \cdot 10^{28}$

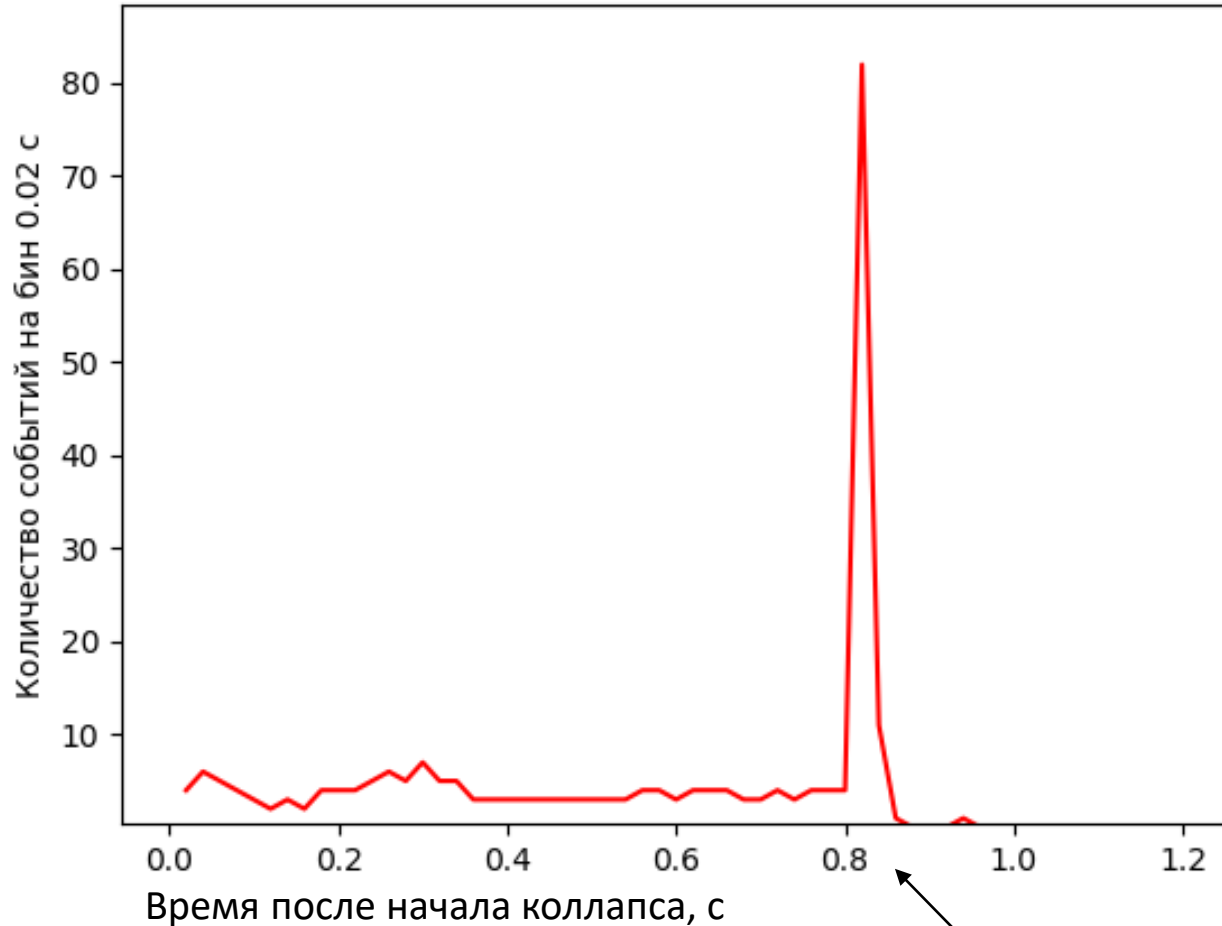
Верхний предел интегрирования связан с ухудшением разрешения детектора

3) запись полученного значения в специально созданный для этого текстовый файл

4) суммирование всех событий из текстового файла из пункта 3 и вывод полученного значения с погрешностью

5) построение гистограммы для числа событий в детекторе с биннингом в 0.02 с

Результаты



Число событий обратного бета-распада в детекторе Борексино от взрыва голубого сверхгиганта с переходом в гибридную звезду:

$$N = 258 \pm 36.$$

Рисунок 4

переход в гибридную звезду

Заключение

- Проведен анализ эмиссионных спектров нейтрино от взрыва голубого сверхгиганта в модели с переходом в гибридную звезду.
- Рассчитано ожидаемое число взаимодействий электронных антинейтрино от такой сверхновой по реакции обратного бета-распада в Борексино.
- В последующем планируется учесть осцилляции нейтрино и другие каналы регистрации.