

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

Физический факультет

Кафедра физики частиц и космологии

АНТИЗВЕЗДЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Курсовая работа
студентки 2 курса 211 группы
Бабарькиной Марии Дмитриевны

Научный руководитель:
доктор физ.-мат. наук, член-корр. РАН
Горбунов Дмитрий Сергеевич

Москва 2022

Содержание

1	Введение	3
1.1	Барионная асимметрия	3
1.2	Антизвезды как решение проблемы	3
1.3	Цель и задачи работы	4
2	Основная часть	5
2.1	Данные телескопа FERMI Large Area Telescope	5
2.2	Кандидаты на антизвезды	5
3	Заключение	7
3.1	Выводы	7
	Список литературы	8

1 Введение

1.1 Барионная асимметрия

Исходя из общепринятой теории Большого взрыва изначально во Вселенной образовалось равное количество материи и антиматерии. Но в современной Вселенной, во всяком случае видимой ее части, мы не наблюдаем антивещества. В стандартной космологической модели считается, что в современной Вселенной не осталось первичной антиматерии, так как количество барионов сильно превосходит количество антибарионов. Барионную асимметрию в ранней Вселенной можно охарактеризовать отношением разности и суммы плотностей числа кварков и антикварков:

$$\frac{n_q - n_{\bar{q}}}{n_q + n_{\bar{q}}} \sim \eta_B \sim 10^{-10}. \quad (1)$$

Это число показывает преобладание барионов: в процессе расширения и охлаждения Вселенной антикварки и кварки аннигилируют, а избыточные кварки остаются.

Преобладание материи над антиматерией (возможность генерации барионной асимметрии) было объяснено механизмом Сахарова:

- Несохранение барионного числа
- Нарушение C- и CP-симметрий
- Нарушение термодинамического равновесия

На данный момент нет четкого объяснения, откуда же взялась барионная асимметрия, потому что большинство теорий сходятся к тому, что изначально было равное количество вещества и антивещества.

1.2 Антизвезды как решение проблемы

Как уже было сказано выше, все, что мы наблюдаем, преимущественно состоит из частиц: фотонов, протонов, нейтронов. Отношение антипротонов к протонам равно примерно 10^{-4} ; такое малое количество можно объяснить вторичным происхождением. Однако на Международной Космической Станции было зафиксировано несколько ядер антигелия. Пока что эти результаты не подтверждены, но возможные варианты объяснения происхождения этих ядер подталкивают нас на мысли о том, что скопления антивещества – антизвезды, как минимум, возможны и даже могут находиться вполне близко к нам.

К сожалению, у нас есть некоторые ограничения для наблюдения антизвезд: при контакте материи и антиматерии происходит аннигиляция с характерным спектром, но из-за большого количества высокоэнергетических гамма-лучей лучи от аннигиляции могут теряться, тем самым не давая нам обнаружить антизвезды. Так как зафиксировать процесс аннигиляции мы можем, наблюдая гамма-лучи, то логично будет рассмотреть источники гамма-лучей в качестве потенциальных кандидатов на антизвезды.

1.3 Цель и задачи работы

Цель работы: проследить динамику развития вопроса о возможности существования антизвезд: подтвердить или опровергнуть на основе имеющихся сейчас данных возможность их существования.

Задачи:

- 1) выявить установленные ранее источники в обновленном каталоге
- 2) перепроверить источники с точки зрения их соответствия критериям после уточнения данных в обновленном каталоге
- 3) провести сравнительный анализ графиков спектров источников и аннигиляции $p - \bar{p}$

2 Основная часть

2.1 Данные телескопа FERMI Large Area Telescope

Отправной точкой моего исследования стала статья о возможных антизвездах в нашей Галактике [2].

Исследования проводились с помощью телескопа Ферми, а именно его 10-летнего каталога 4FGL-DR2, содержащего 5787 источников, сейчас же появилась его новая 12-летняя версия 4FGL-DR3. Данный каталог содержит уже 6658 источников. В обоих каталогах содержатся различные параметры (спектральные параметры, кривые блеска и другие).

2.2 Кандидаты на антизвезды

Кандидаты на антизвезды были выбраны, на основании следующих критериев:

- 1) источник не должен принадлежать к известным классам источников гамма-излучения
- 2) угловой размер источника должен быть много меньше разрешения детектора LAT при низких энергиях 100 МэВ - 3,5°
- 3) исключаются источники, которые считаются в каталоге потенциально ложными (находятся рядом с яркими объектами, например)
- 4) исключаются высокоэнергетические источники (больше 1 ГэВ)

Обсудим эти критерии. С первым пунктом все понятно – нам нужны неизвестные источники. Требование второго необходимо, чтобы рассматривать объект как точечный источник. Третий пункт тоже весьма очевиден – мы не учитываем источники, чьи данные обладают большой неточностью. Последний пункт дает нам энергетическую оценку – мы не рассматриваем энергии больше 1 ГэВ, так как при больших энергиях вероятности процессов $p - \bar{p}$ и $p - p$, в которых продукты реакции по большей части пионы, становятся примерно равны, поэтому отсечение высоких энергий позволяет различить аннигиляцию и распад энергетического пиона.

В итоге на основании этих критериев по старому каталогу было получено 14 кандидатов на антизвезды. Но в обновленном каталоге осталось лишь 9 источников. Уменьшение их количества связано с тем, что некоторые источники из старого каталога были либо удалены, либо объединены с другими источниками. [3].

Посмотрим на перечень этих источников. В таблице приведены следующие характеристики: имя источника, координаты, флаги и тип спектра. Флаги показывают возможные проблемы при обнаружении источника.

Имя источника	l, °	b, °	Флаги	Тип спектра
4FGL J0948.0-3859	268.2886	11.2367	0016	LogParabola
4FGL J1348.5-8700	303.7389	-24.2311	0003	PowerLaw
4FGL J1710.8+1135	32.2292	27.5278	0002	LogParabola
4FGL J1756.3+0236	28.9325	13.4405	0000	LogParabola
4FGL J1759.0-0107	25.8680	11.1090	0000	PowerLaw
4FGL J1806.2-1347	15.5042	3.4754	8193	LogParabola
4FGL J2047.5+4356	83.9095	0.3159	2064	LogParabola
4FGL J2237.6-5126	339.7673	-55.0333	0000	PowerLaw
4FGL J2330.5-2445	35.8377	-71.6912	4096	PowerLaw

При перепроверке этих источников из обновленного каталога на их соответствие критериям оказалось, что некоторые из них перестали подходить. По оценке значения флагов были исключены 3 источника:

Имя источника	l, °	b, °	Флаги	Тип спектра
4FGL J0948.0-3859	268.2886	11.2367	0016	LogParabola
4FGL J1348.5-8700	303.7389	-24.2311	0003	PowerLaw
4FGL J1710.8+1135	32.2292	27.5278	0002	LogParabola
4FGL J1756.3+0236	28.9325	13.4405	0000	LogParabola
4FGL J1759.0-0107	25.8680	11.1090	0000	PowerLaw
4FGL J2237.6-5126	339.7673	-55.0333	0000	PowerLaw

Из таблицы мы видим, что у кандидатов на антизвезды наблюдается два типа спектра:

$$\text{powerlaw} \quad A(E) = kE^{-\alpha}, \quad \alpha > 0 \quad (2)$$

$$\text{logparabola} \quad \phi(E) = \phi_0 \left(\frac{E}{E_0} \right)^{-\alpha - \beta \log\left(\frac{E}{E_0}\right)}, \quad \alpha > 0 \quad (3)$$

Можно заметить, что в зависимости, выраженной формулой (2), не наблюдается характерного для аннигиляции пика. Исходя из этого, мы можем предположить, что источники с типом спектра *PowerLaw* не могут считаться кандидатами на антизвезды. Таким образом, остается 3 возможных кандидата:

Имя источника	l, °	b, °	Флаги	Тип спектра
4FGL J0948.0-3859	268.2886	11.2367	0016	LogParabola
4FGL J1710.8+1135	32.2292	27.5278	0002	LogParabola
4FGL J1756.3+0236	28.9325	13.4405	0000	LogParabola

3 Заключение

3.1 Выводы

Исходя из ранее предложенных критериев я проанализировала каталог 4FGL-DR3 и выявила, что по сравнению с прошлым кандидатов на антизвезды стало меньше, а именно 3:

- 1) оказалось, что ряд источников из старого каталога отсутствует в обновленном в результате уточнения данных
- 2) при проверке оставшихся источников выяснилось, что некоторых из них уже не соответствуют критериям
- 3) после качественного сравнения внешнего вида графиков спектров можно предположить, что часть источников не сопоставляются с аннигиляцией

Несмотря на то, что со временем некоторые источники перестали отвечать предложенным критериям, пока что вероятность существования антизвезд исключить нельзя.

Список литературы

- [1] Рубаков Валерий Анатольевич, Горбунов Дмитрий Сергеевич «Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория»
- [2] Simon Dupourqué, Luigi Tibaldo, and Peter von Ballmoos «Constraints on the antistar fraction in the Solar system neighborhood from the 10-years Fermi Large Area Telescope gamma-ray source catalog», arXiv:2103.10073
- [3] Abdollahi S. et al. Incremental Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog