

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное учреждение

высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет

«МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

УДК 524.35

ОТЧЁТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ПОИСК ВОЗМОЖНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В РАСПАДЕ ИЛИ АННИГИЛЯЦИИ ЧАСТИЦЫ СКРЫТОЙ МАССЫ

Научный руководитель

к.ф.-м.н., в.н.с.

_____ К. М. Белоцкий

Выполнил

_____ Р. К. Барак

Оглавление

1	Введение	2
2	Поиск возможности подавления выхода фотона в распаде частицы скрытой массы	2
2.1	Проблема с моделями распада частицы скрытой массы	2
2.2	Используемые модели	4
2.3	Результаты моделирования	4
3	Заключение	8
	Список используемых источников	9

1 Введение

Происхождение аномального избытка высокоэнергетичных (порядка 100 ГэВ и выше) позитронов в космических лучах ("эффект ПАМЕЛЫ"[1]) является интересной и актуальной проблемой в космологии и физике элементарных частиц. Существует несколько гипотез, с помощью которых пытаются объяснить этот эффект: пульсары, взрывы сверхновых звёзд и распад или аннигиляция частиц скрытой массы. Так как проблема скрытой массы во вселенной является одной из основных современных проблем физики, именно третья гипотеза представляет особый интерес. В [2] было выдвинуто несколько простых моделей для описания распада частицы скрытой массы. Оказалось, что такие модели хорошо согласуются с данными экспериментов PAMELA и AMS-02 [3] по позитронному излучению, но появляются трудности при сравнении с данными по космическому изотропному гамма-излучению (по данным Fermi-LAT [4]). Были предприняты разные попытки подавления гамма-излучения для решения этой проблемы в [5],[3],[2].

Целью данной научной работы является моделирование и анализ различных моделей распада частицы скрытой массы в различных программных пакетах и MC-генераторах (таких как CompHEP, CalcHEP, MadGraph и другие). Это может помочь выделить возможные области как кинематических, так и модельных параметров, где есть подавление выхода фотонов (FSR).

2 Поиск возможности подавления выхода фотона в распаде частицы скрытой массы

2.1 Проблема с моделями распада частицы скрытой массы

Как было уже сказано в введении, распад или аннигиляция частицы скрытой массы является одной из возможных версий для объяснения так называемой позитронной аномалии. К сожалению, все существующие ныне модели этого распада не могут объяснить противоречие, которое образуется при сравнении с результатами экспериментов по измерению изотропно

космического гамма фона (IGRB). На двух ниже стоящих рисунках показано сравнение данных, взятых из экспериментов и из результатов моделей распада частицы скрытой массы в случаях позитронного излучения и изотропного космического гамма фона.

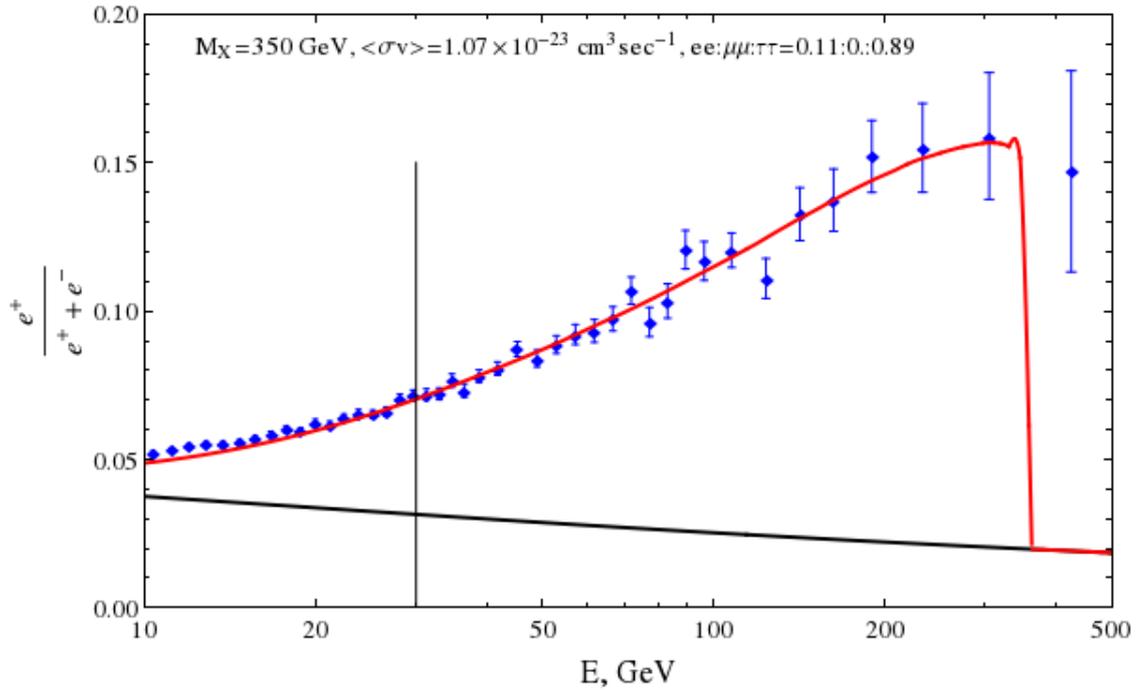


Рисунок 1 – Результаты экспериментов PAMELA и AMS-02 вместе с фитом модели распада частицы скрытой массы по позитронному излучению

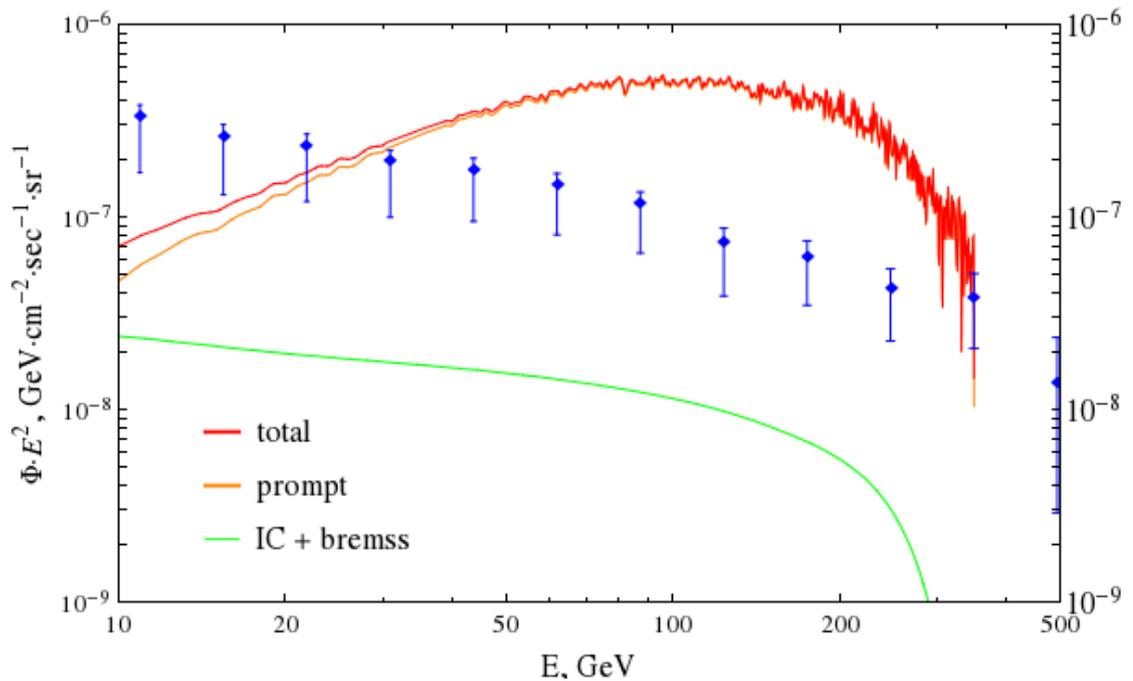


Рисунок 2 – Результаты эксперимента Fermi-LAT вместе с фитом модели распада частицы скрытой массы по изотропному космическому гамма фону

Для приближения к результатам из эксперимента Fermi-LAT нам нужно выявить и изучить возможные области подавления фотонов в рассматриваемых нами моделях распада.

2.2 Используемые модели

Следуя теоретическим выкладкам в [6] и упрощению модели в [2] были рассмотрены четыре следующих распада частицы скрытой массы:

- распад частицы скрытой массы на два позитрона

$$X \rightarrow e^+ + e^+ \quad (1)$$

- распад частицы скрытой массы на два позитрона и фотон

$$X \rightarrow e^+ + e^+ + \gamma \quad (2)$$

- распад частицы скрытой массы на электрон и позитрон

$$X \rightarrow e^+ + e^- \quad (3)$$

- распад частицы скрытой массы на электрон, позитрон и фотон

$$X \rightarrow e^+ + e^- + \gamma \quad (4)$$

Как было упомянуто выше, нас интересуют именно области подавления фотона (FSR), так как это необходимо для устранения противоречия с избытком изотропного гамма-фона при распаде частиц темной материи. Это означает, что отношение ширины трехчастичного к двухчастичному распаду должно стать минимальным [7]:

$$\frac{\Gamma(X \rightarrow e^+, e^\pm, \gamma)}{\Gamma(X \rightarrow e^+, e^\pm)} = \min. \quad (5)$$

2.3 Результаты моделирования

Были промоделированы процессы (1)-(4) с помощью MC-генератора comrHEP и рассмотрено соотношение (5) для случаев с двумя позитронами, и позитроном и электроном. Также было рассмотрено соотношение (5)

между этими двумя случаями. Так как целью нашей работы является максимально детальное изучение возможных для подавления областей фотонов, были рассмотрены распределения по косинусам угла между фотоном и позитроном, и по энергии фотона. Данные полученные MC-генератором CompuNER были обработаны в пакете MATLAB.

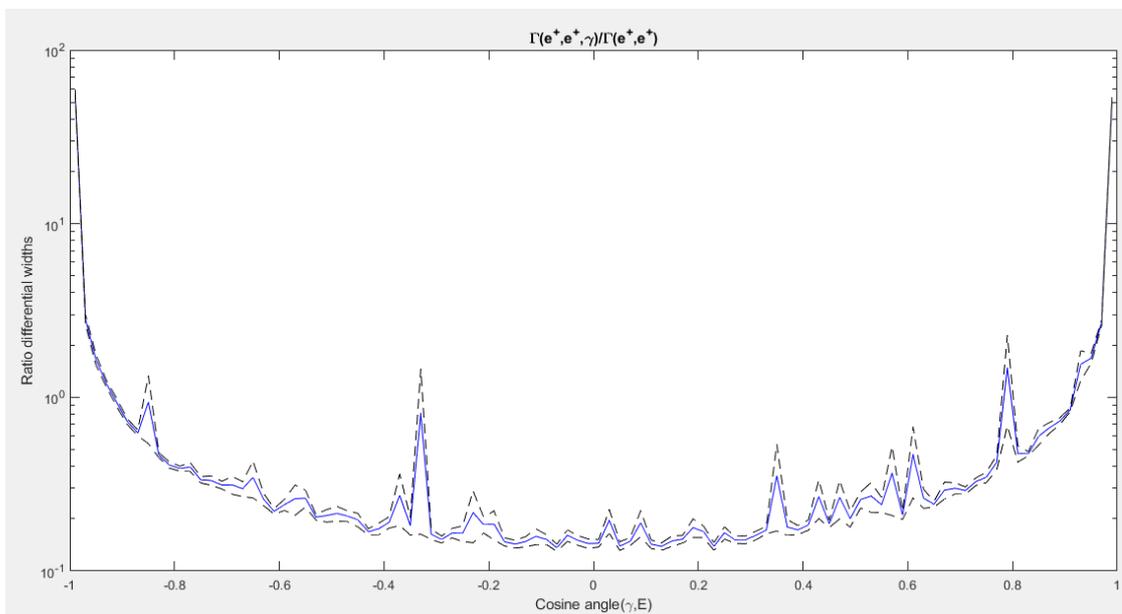


Рисунок 3 – Распределение по косинусу угла между позитроном и фотоном в случае соотношения (5) при распаде частицы скрытой массы на позитроны

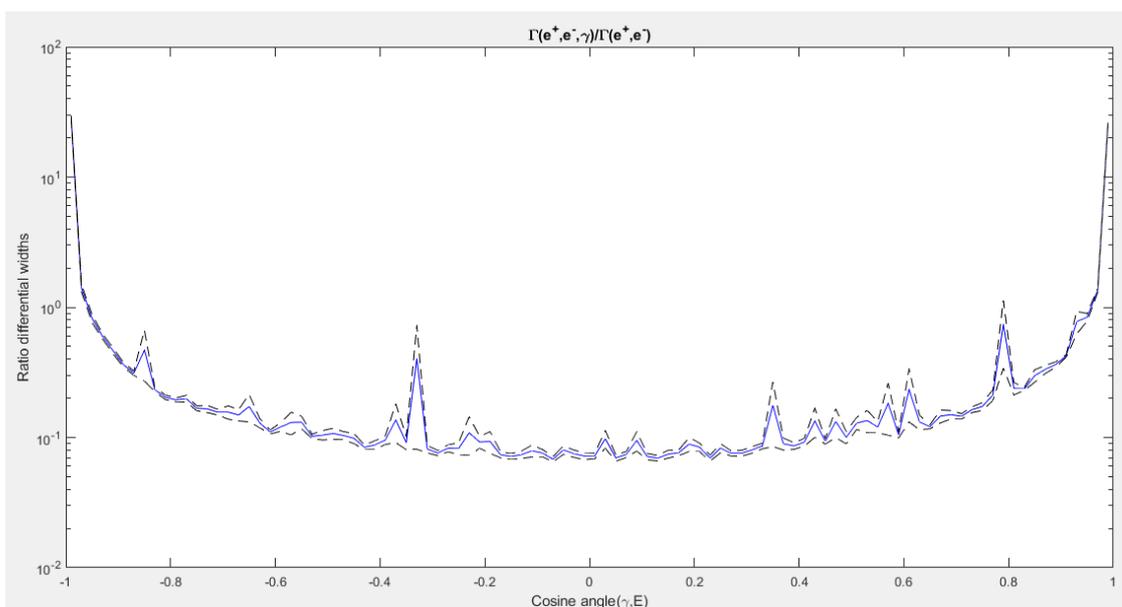


Рисунок 4 – Распределение по косинусу угла между позитроном и фотоном в случае соотношения (5) при распаде частицы скрытой массы на позитрон и электрон

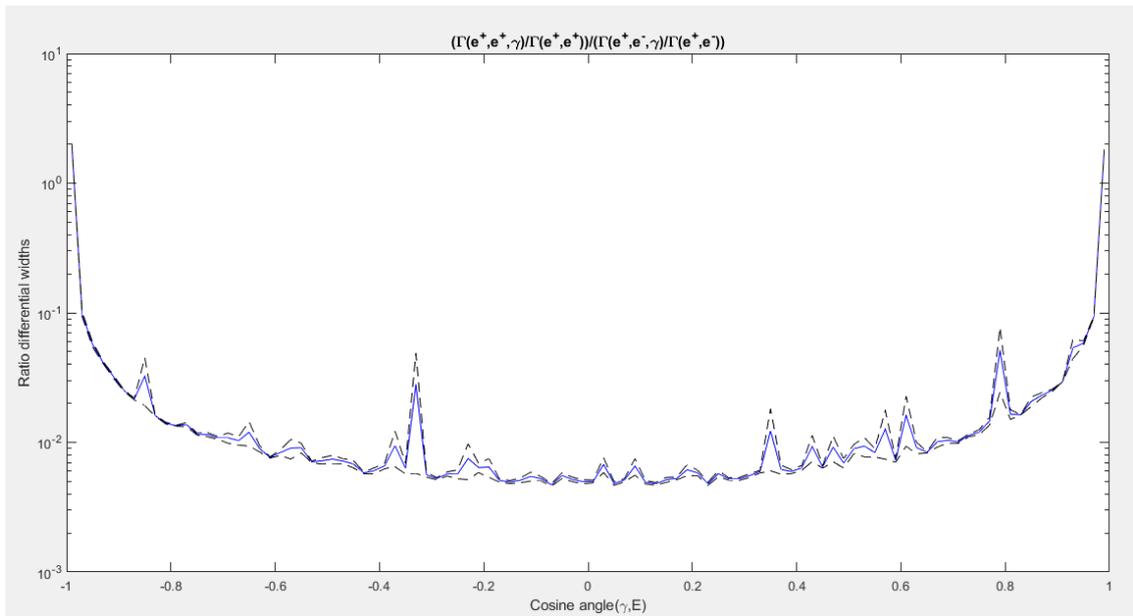


Рисунок 5 – Распределение по косинусу угла между позитроном и фотоном в случае соотношения $\frac{\Gamma(X \rightarrow e^+, e^+, \gamma) * \Gamma(X \rightarrow e^+, e^-)}{\Gamma(X \rightarrow e^+, e^-, \gamma) * \Gamma(X \rightarrow e^+, e^+)}$

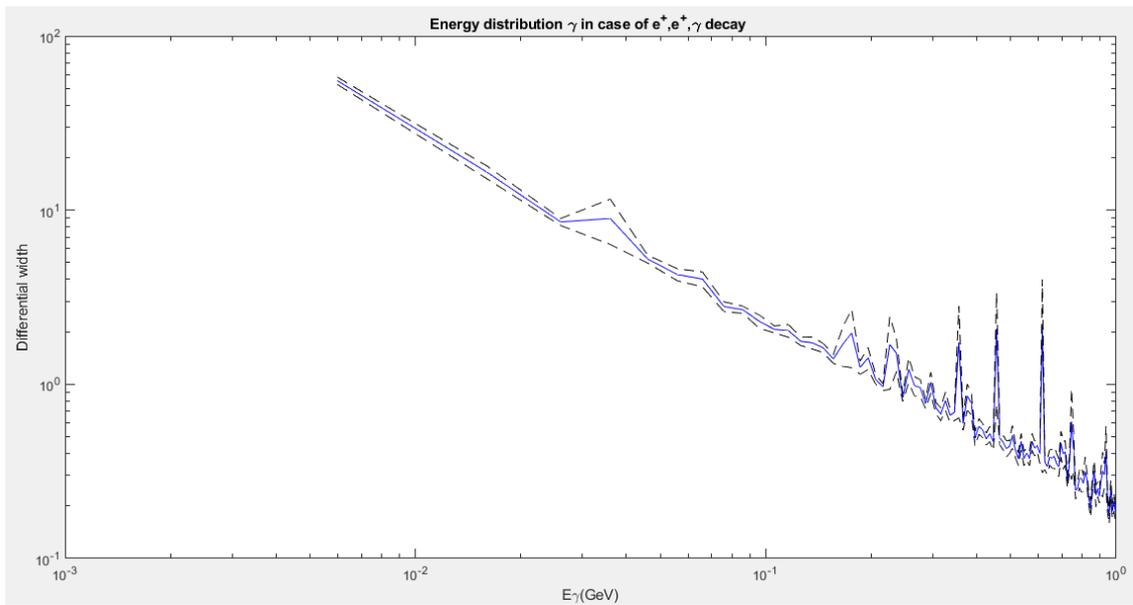


Рисунок 6 – Распределение по энергии фотона при распаде частицы скрытой массы на позитроны и фотон

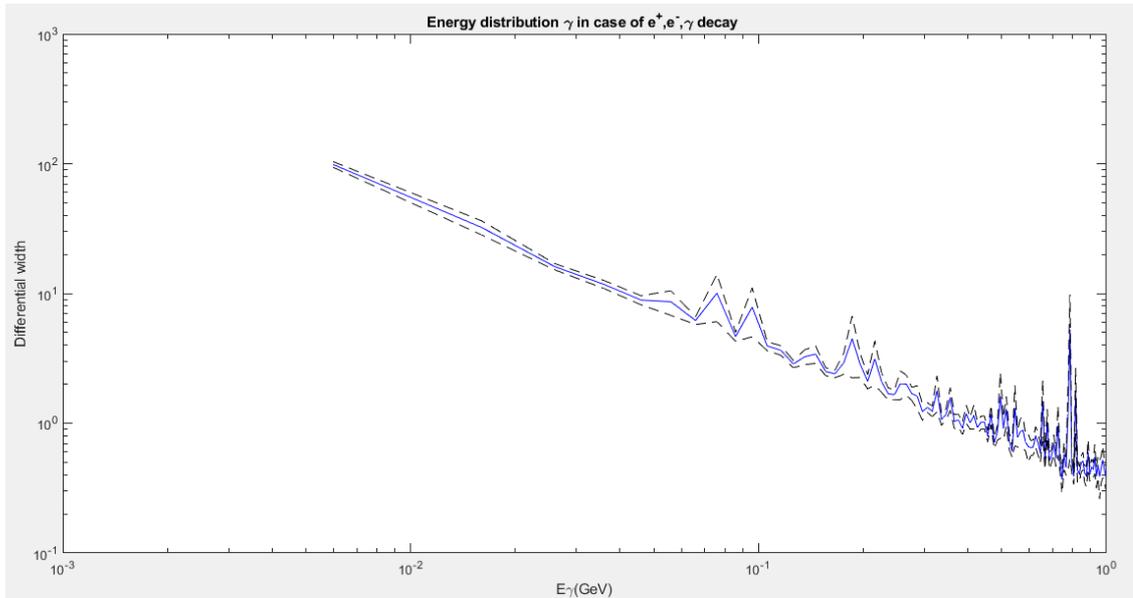


Рисунок 7 – Распределение по энергии фотона при распаде частицы скрытой массы на электрон, позитрон и фотон

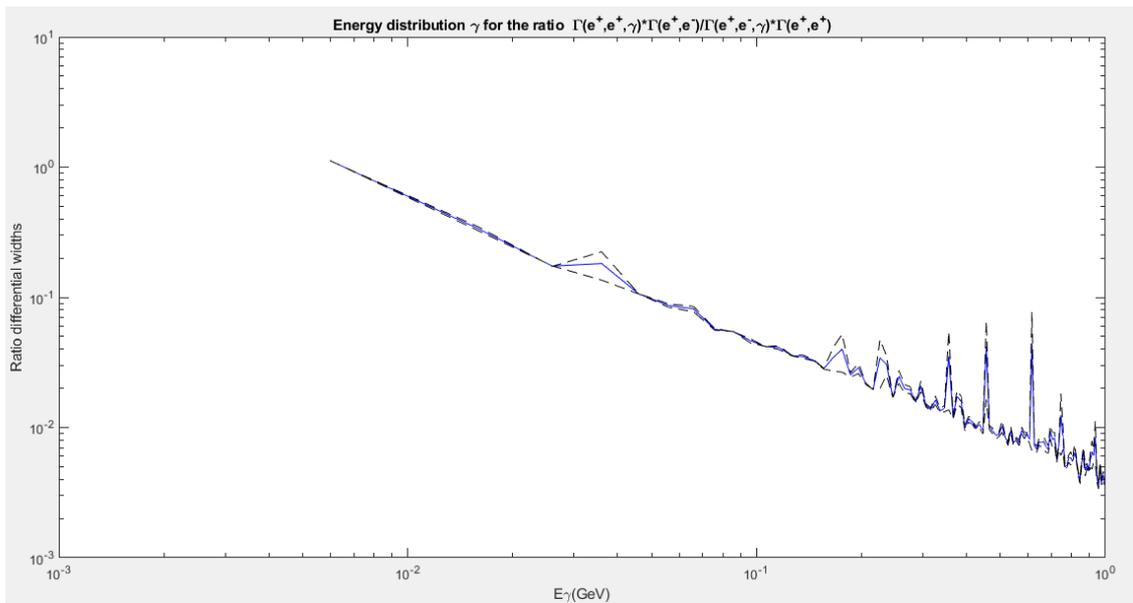


Рисунок 8 – Распределение по энергии фотона для соотношения $\frac{\Gamma(X \rightarrow e^+, e^+, \gamma) * \Gamma(X \rightarrow e^+, e^-)}{\Gamma(X \rightarrow e^+, e^-, \gamma) * \Gamma(X \rightarrow e^+, e^+)}$

Из рисунков 3,4 и 5 видно, что минимум, а значит и область наибольшего подавления фотона (FSR), распространяется примерно на отрезок, где величина косинуса изменяется от 0.2 до -0.2 (величина угла изменяется от 78.5 до 101.5 градусов). Из рисунков 6,7 и 8 видно, что при больших значениях энергии наблюдается подавление фотонов.

3 Заключение

В этой работе были рассмотрены несколько простых моделей распада частицы скрытой массы для поиска возможных областей подавления фотона. Это нужно для разрешения противоречий между моделями распада частицы скрытой массы и результатами экспериментов по измерению изотропно космического гамма фона (IGRB). Была выявлена некоторая область подавления фотонов и замечено подавление фотонов при высоких энергиях. Следующим шагом является проверка этих результатов с помощью других МС-генераторов и научное объяснение выявленных эффектов.

Список используемых источников

1. An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5–100 GeV / O. Adriani [и др.] // *Nature*. — 2009. — Апр. — Т. 458, № 7238. — С. 607–609.
2. Cosmic Gamma Ray Constraints on the Indirect Effects of Dark Matter / K. M. Belotsky [и др.] // *Particles*. — 2020. — Апр. — Т. 3, № 2. — С. 336–344.
3. Indirect effects of dark matter / K. M. Belotsky [и др.] // *International Journal of Modern Physics D*. — 2019. — Окт. — Т. 28, № 13. — С. 1941011.
4. Fermi-LAT kills dark matter interpretations of AMS-02 data. Or not? / K. Belotsky [и др.] // *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. — 2017. — Янв. — Т. 2017, № 01. — С. 021–021.
5. The DAMPE excess and gamma-ray constraints / K. Belotsky [и др.] // *Physics of the Dark Universe*. — 2019. — Дек. — Т. 26. — С. 100333.
6. High-energy positrons and gamma radiation from decaying constituents of a two-component dark atom model / K. Belotsky [и др.] // *International Journal of Modern Physics D*. — 2015. — Нояб. — Т. 24, № 13. — С. 1545004.
7. *Шлепкина Е. ВОЗМОЖНЫЕ ЭФФЕКТЫ В КОСМИЧЕСКОМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИИ ОТ РАСПАДА ИЛИ АННИГИЛЯЦИИ ЧАСТИЦ СКРЫТОЙ МАССЫ.* — Москва : НИЯУ МИФИ, 2020.