Проникновение в галактический диск космических лучей, образованных локальными источниками в гало Галактики.

Докладчик, НИЯУ МИФИ: Кириченко А.О.

Научный руководитель,

д.ф.-м.н., проф. Хлопов М.Ю.

Научный консультант,

к.ф.-м.н., доцент Майоров А.Г.

Введение

- Для изучения свойств внегалактических источников рассматривается проникновение частиц высоких энергий в Галактику.
- Подход в данной работы направлен на рассмотрение проникновения частиц от источников в гало Галактики в галактический диск.
- Источники – шаровые скопления.
- Жесткость обрезания для такого источника будет значительно меньше.
- Применение:
  Гипотеза существования антивещества в гало Галактики в виде предполагаемого скопления антизвезд [1].
  Индикатор существования такого объекта – ядра антигелия в КЛ.
- **Цель:**
  Оценить энергию магнитного обрезания проникновения частиц в диск от источников в гало.

[1] M.Yu. Khlopov: An antimatter globular cluster in our Galaxy - a probe for the origin of the matter, Gravitation and Cosmology **4**, 69-72 (1998).

Инструменты исследования: Метод Бунемана-Бориса

- Существует подход частица-в-ячейке, часто используемый для решения дифференциальных уравнений Максвелла и гидродинамики.
- В физическом приложении его применяют для моделирования движения плазмы, в том числе для восстановления траектории заряженных частиц в электромагнитных полях.
- Метод Бориса является частным случаем применения данного подхода.
- Метод отличается относительно коротким временем вычислений по сравнению с другими алгоритмами с сопоставимой точностью
- В работе использована модификация метода с добавлением релятивистских поправок и применением алгоритма Бунемана для вращения частицы[1].

[1] V. Golubkov, A. Mayorov: Software for Numerical Calculations of Particle Trajectories in the Earth's Magnetosphere and Its Use in Processing PAMELA Experimental Data, Bull.Russ. Acad.Sci.Phys. 85, 383-385 (2021).

Инструменты исследования: Модель магнитного поля (МП) JF12

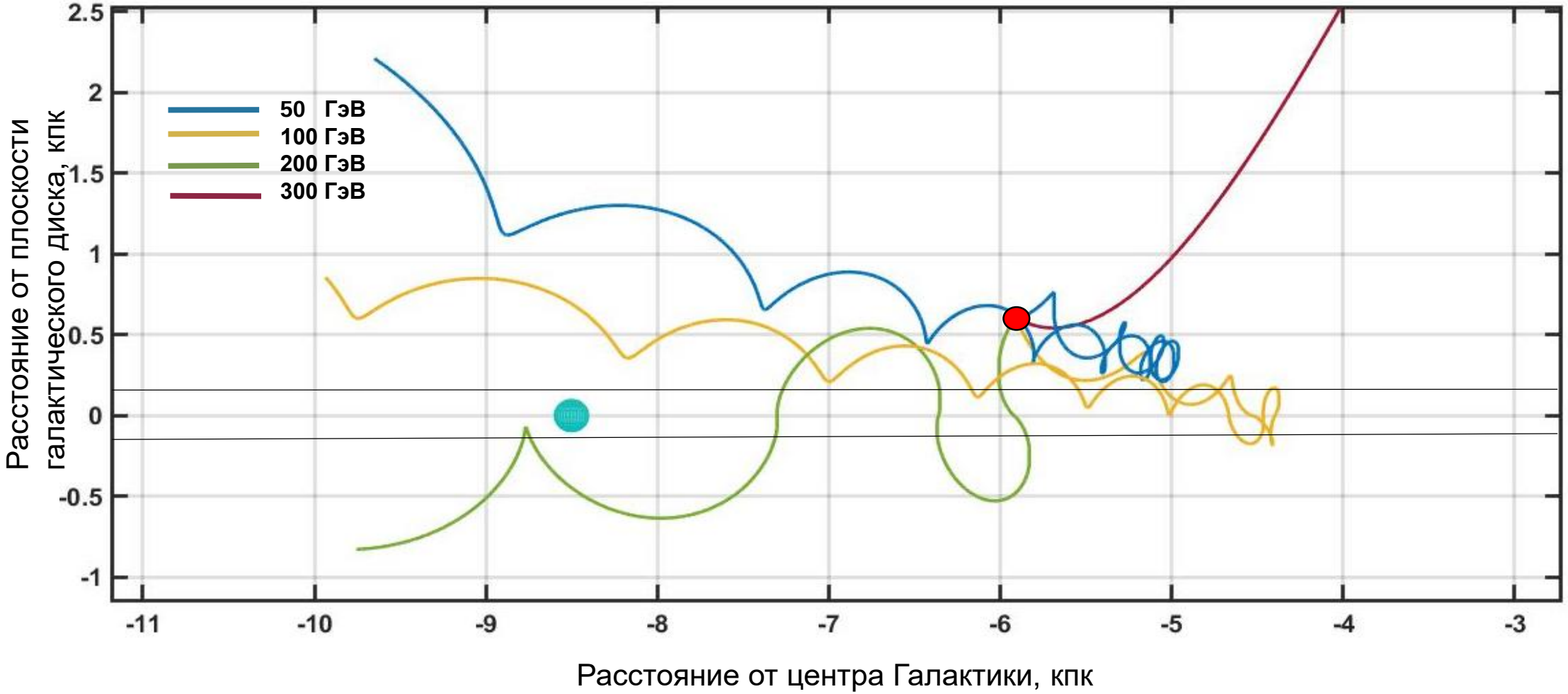
- Для моделирования МП в программном пакете Matlab была создана численная реализация широко известной **модели магнитных полей нашей Галактики JF12** [1].

- Модель JF12 отдельно рассматривает регулярную и нерегулярную компоненты МП. Регулярное поле при этом разбивается еще на три поля. Такое детальное описание обеспечивает хорошее приближение для реальных МП Галактики.

[1] R. Jansson and G. R. Farrar: A New Model of the Galactic Magnetic Field, ApJ 757, 14 (2012).

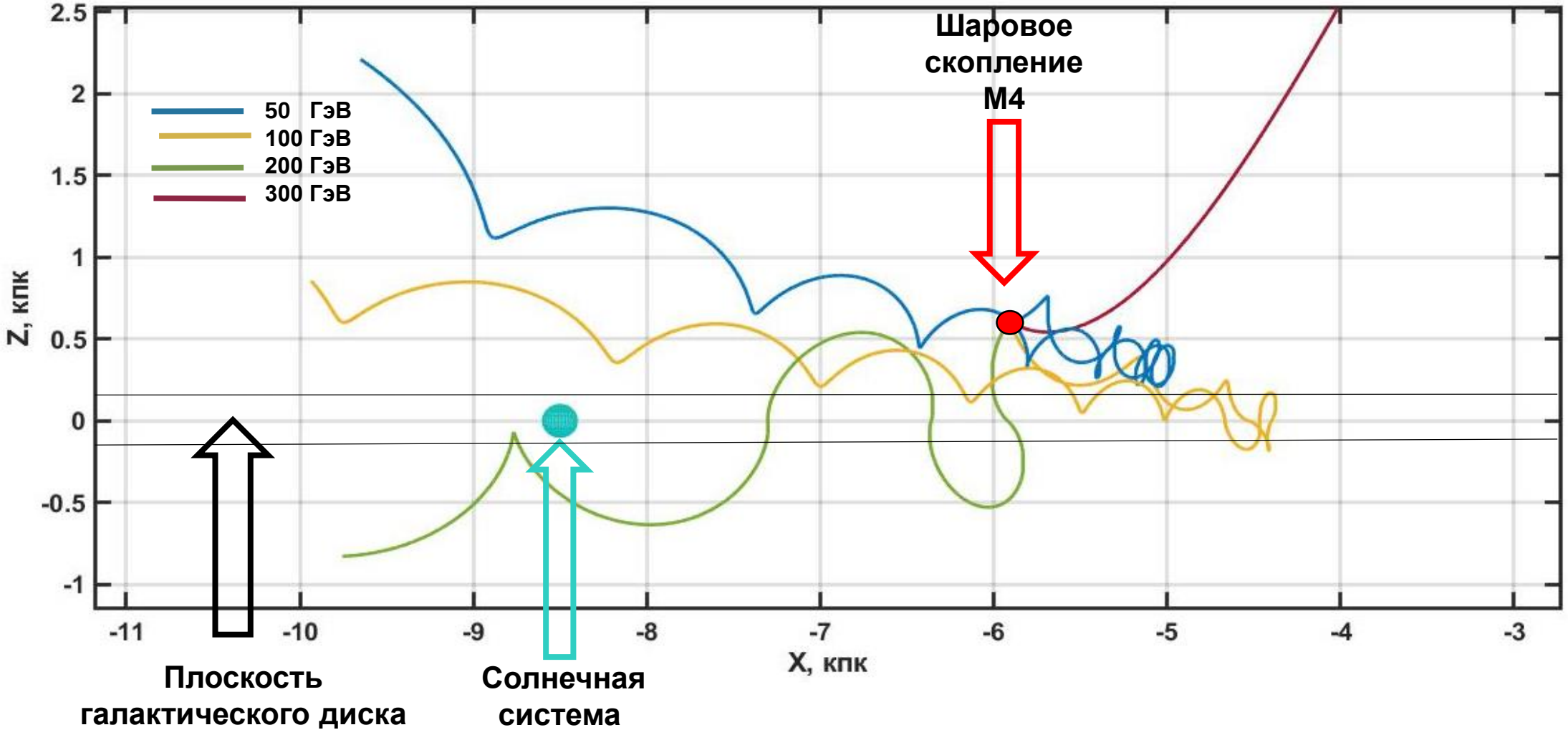
Моделирование частиц в регулярном магнитном поле

- Иллюстрация моноэнергетических траекторий антигелия от ШС М4 в регулярном поле.



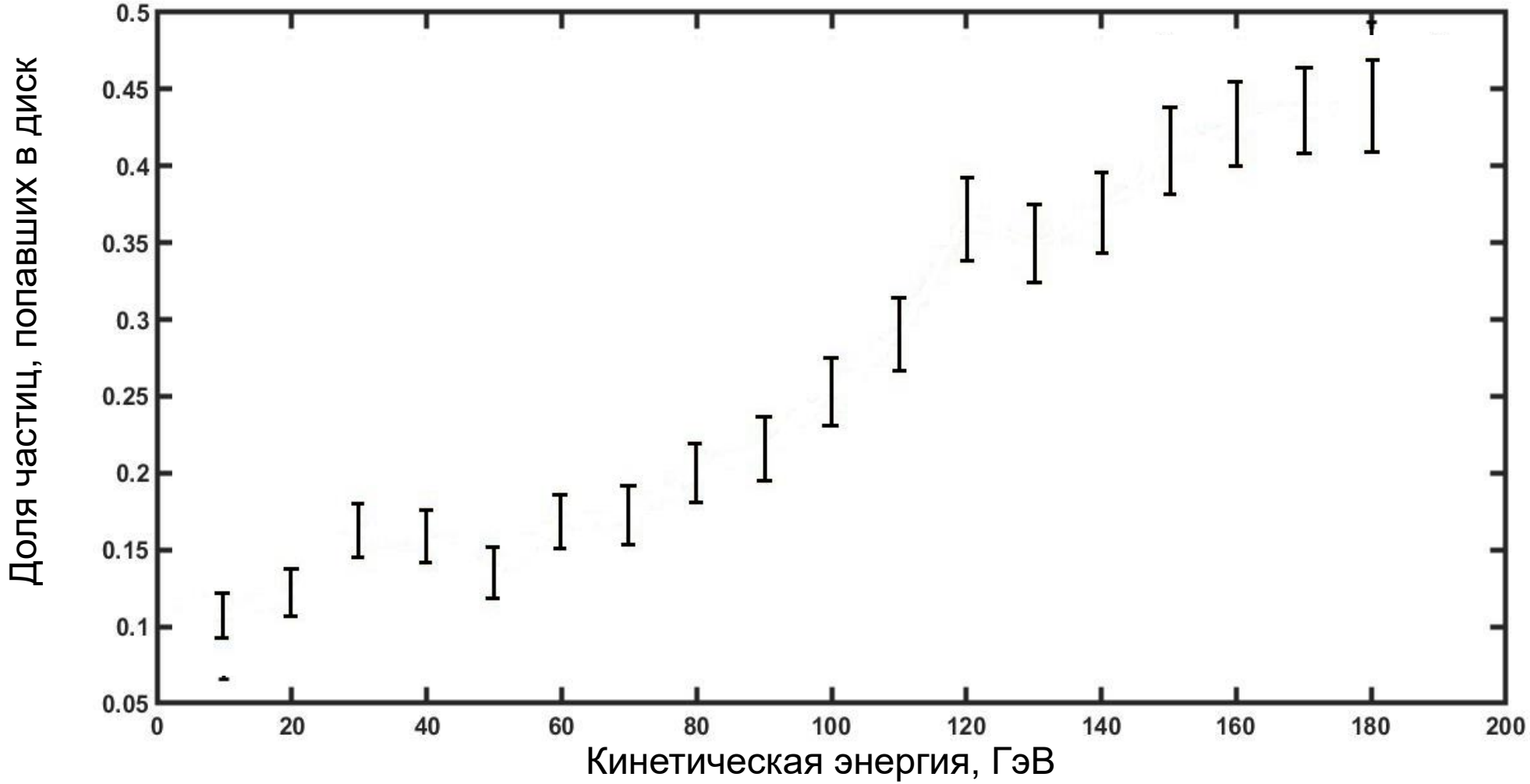
Моделирование движения частиц в регулярном магнитном поле

- Иллюстрация моноэнергетических траекторий антигелия в регулярном поле от ШС М4.



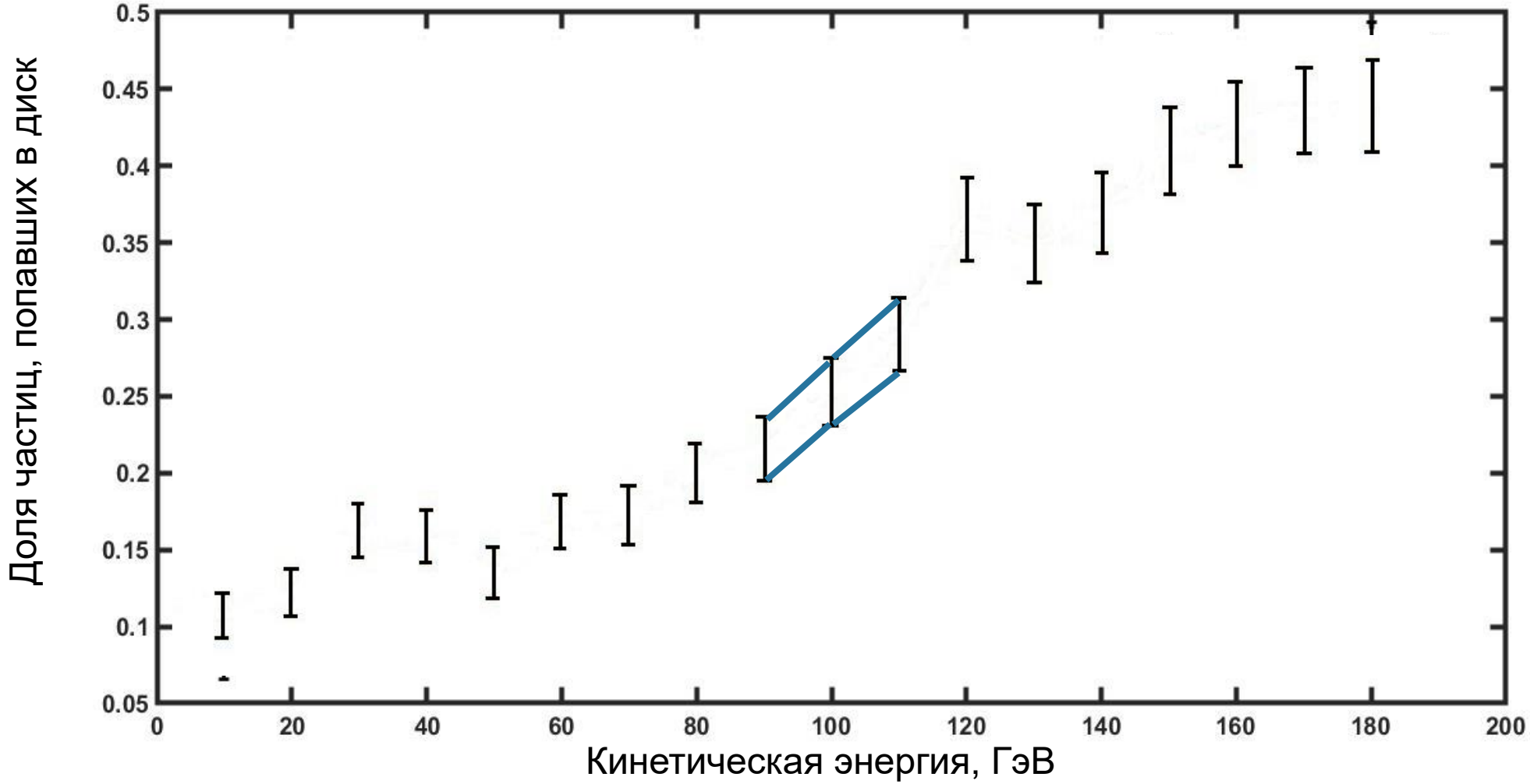
Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной компоненты

- Зависимость доли частиц антигелия от ШС М4, проникающих в галактический диск, от их энергии без нерегулярностей магнитных полей Галактики.



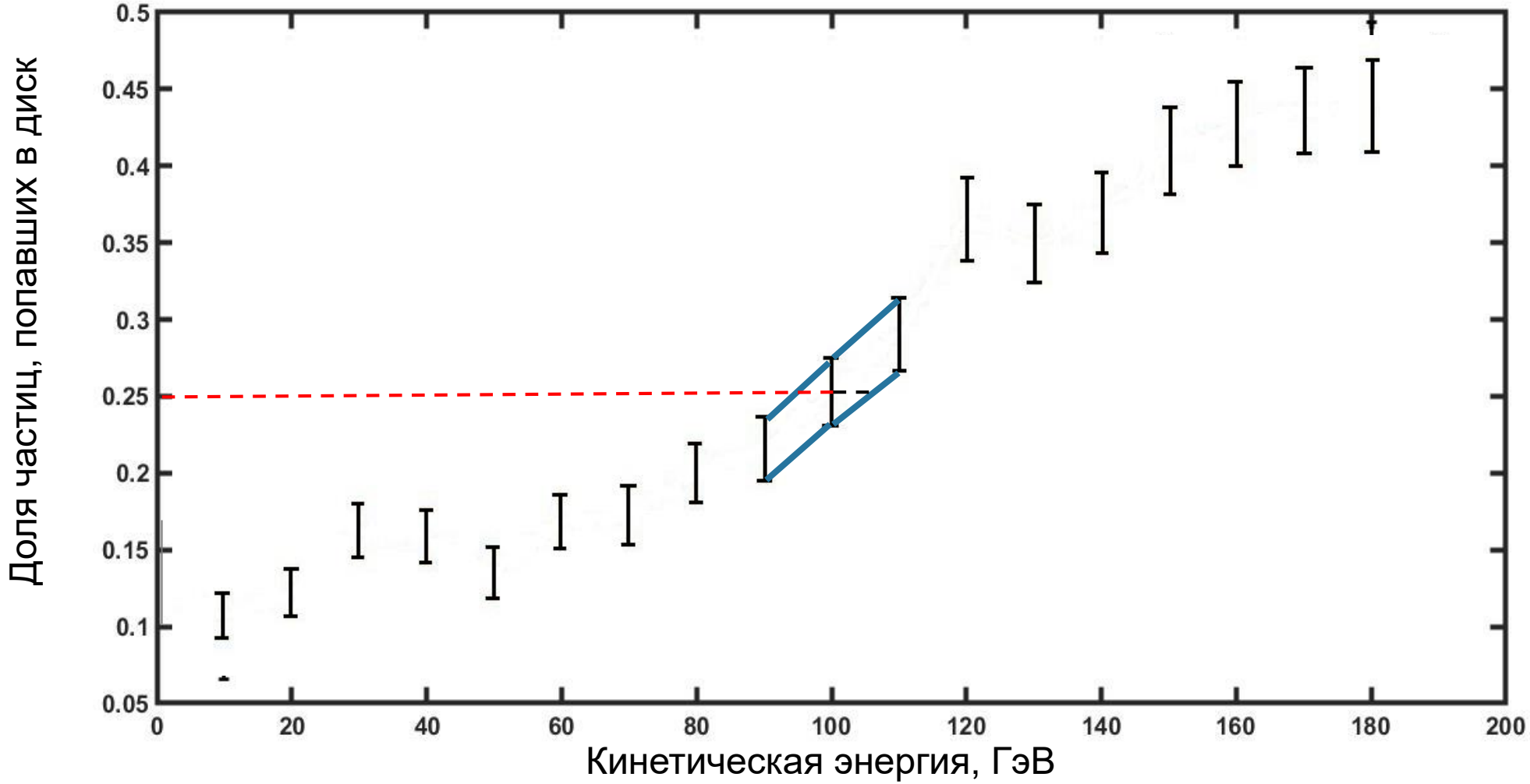
Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной компоненты

- Зависимость доли частиц антигелия от ШС М4, проникающих в галактический диск, от их энергии без нерегулярностей магнитных полей Галактики.



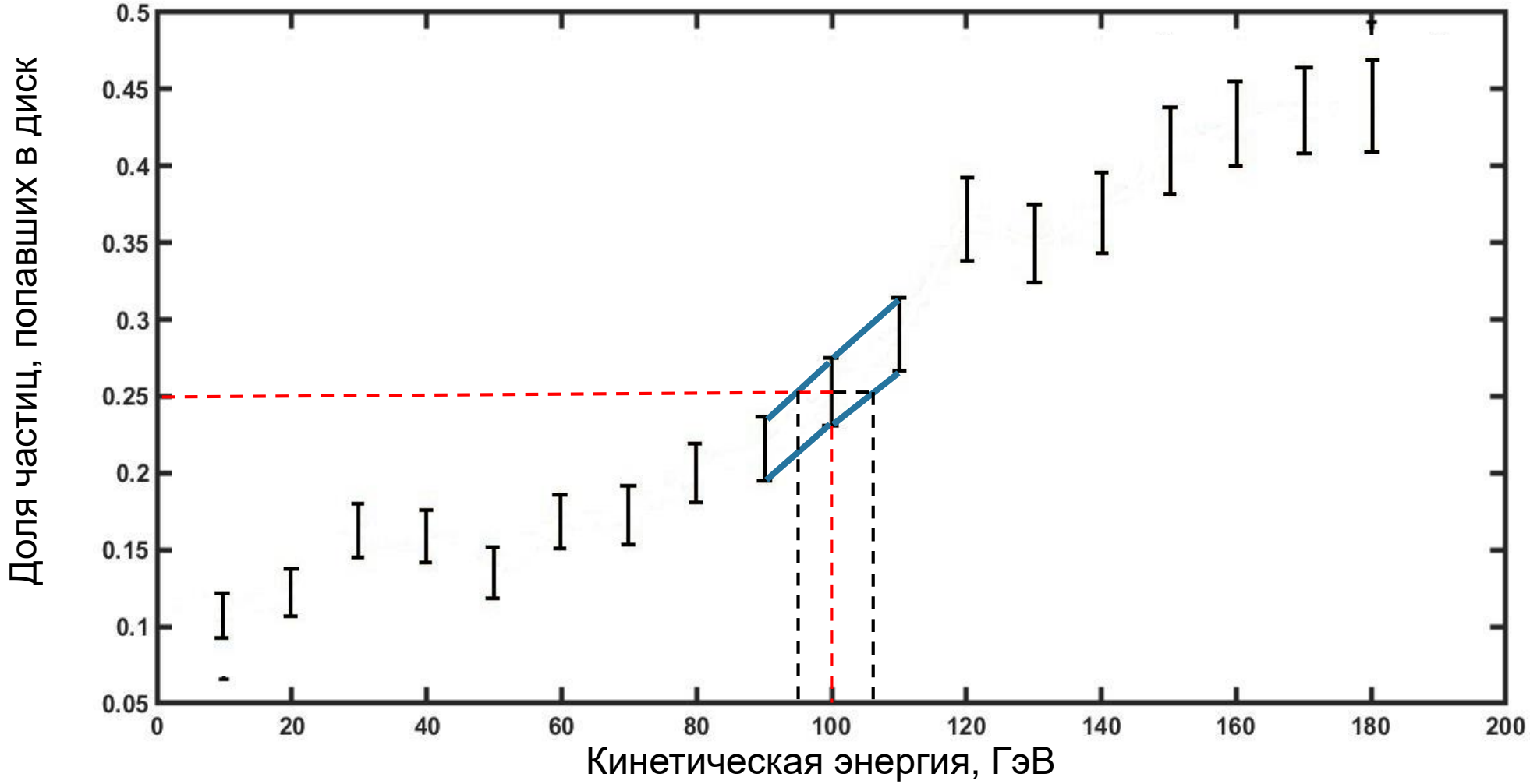
Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной компоненты

- Зависимость доли частиц антигелия от ШС М4, проникающих в галактический диск, от их энергии без нерегулярностей магнитных полей Галактики.



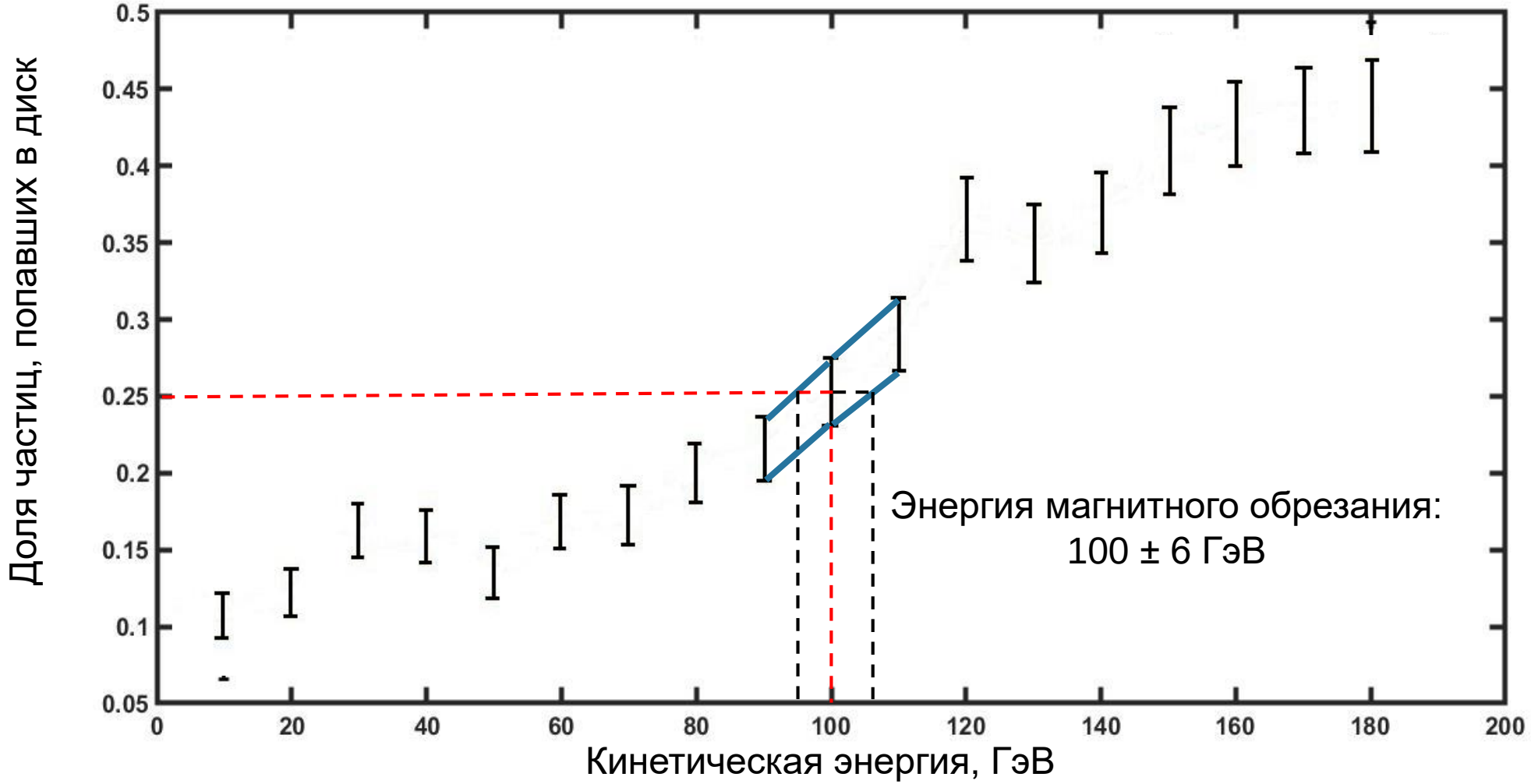
Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной компоненты

- Зависимость доли частиц антигелия от ШС М4, проникающих в галактический диск, от их энергии без нерегулярностей магнитных полей Галактики.

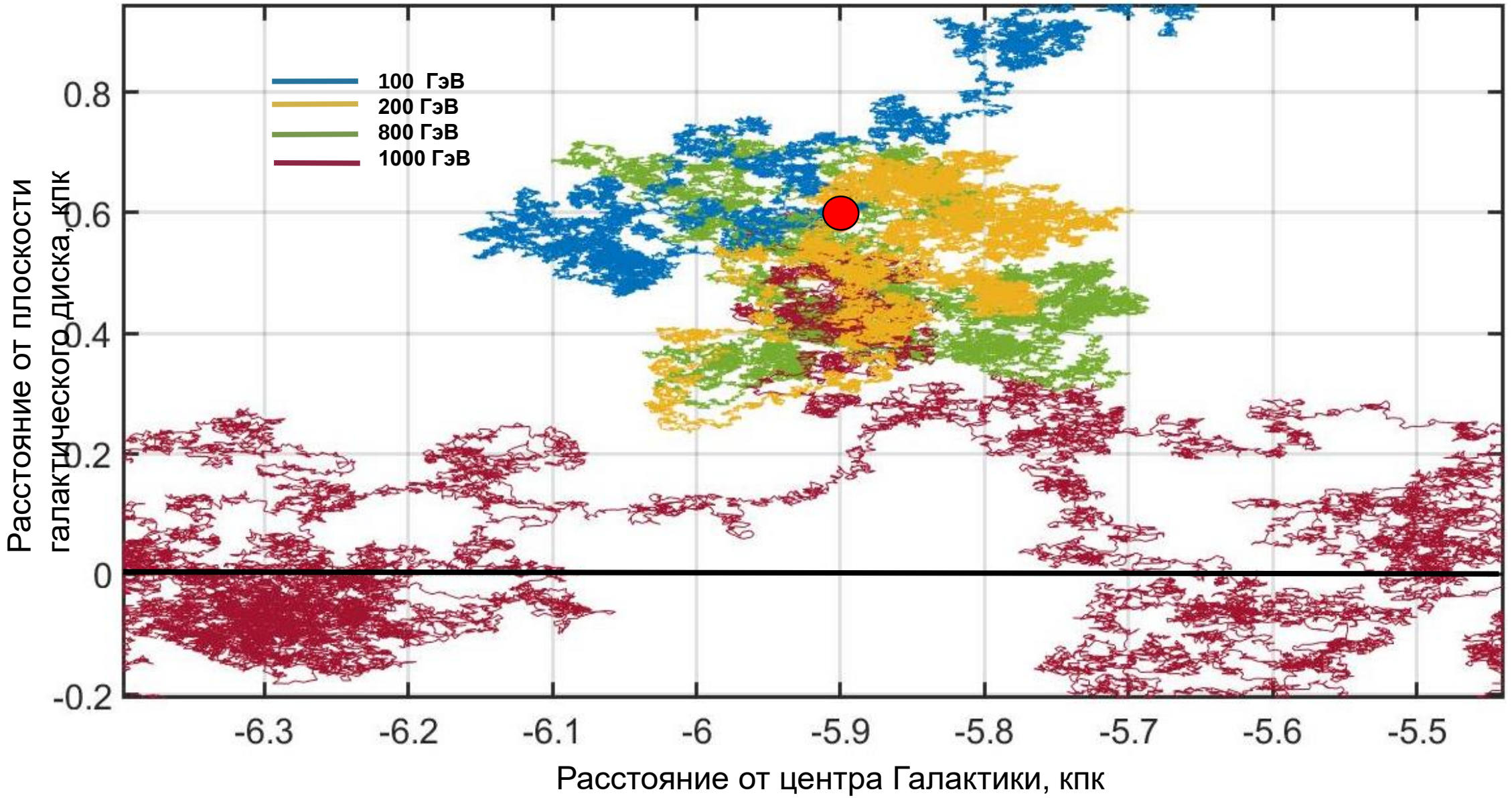


Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной компоненты

- Зависимость доли частиц антигелия от ШС М4, проникающих в галактический диск, от их энергии без нерегулярностей магнитных полей Галактики.

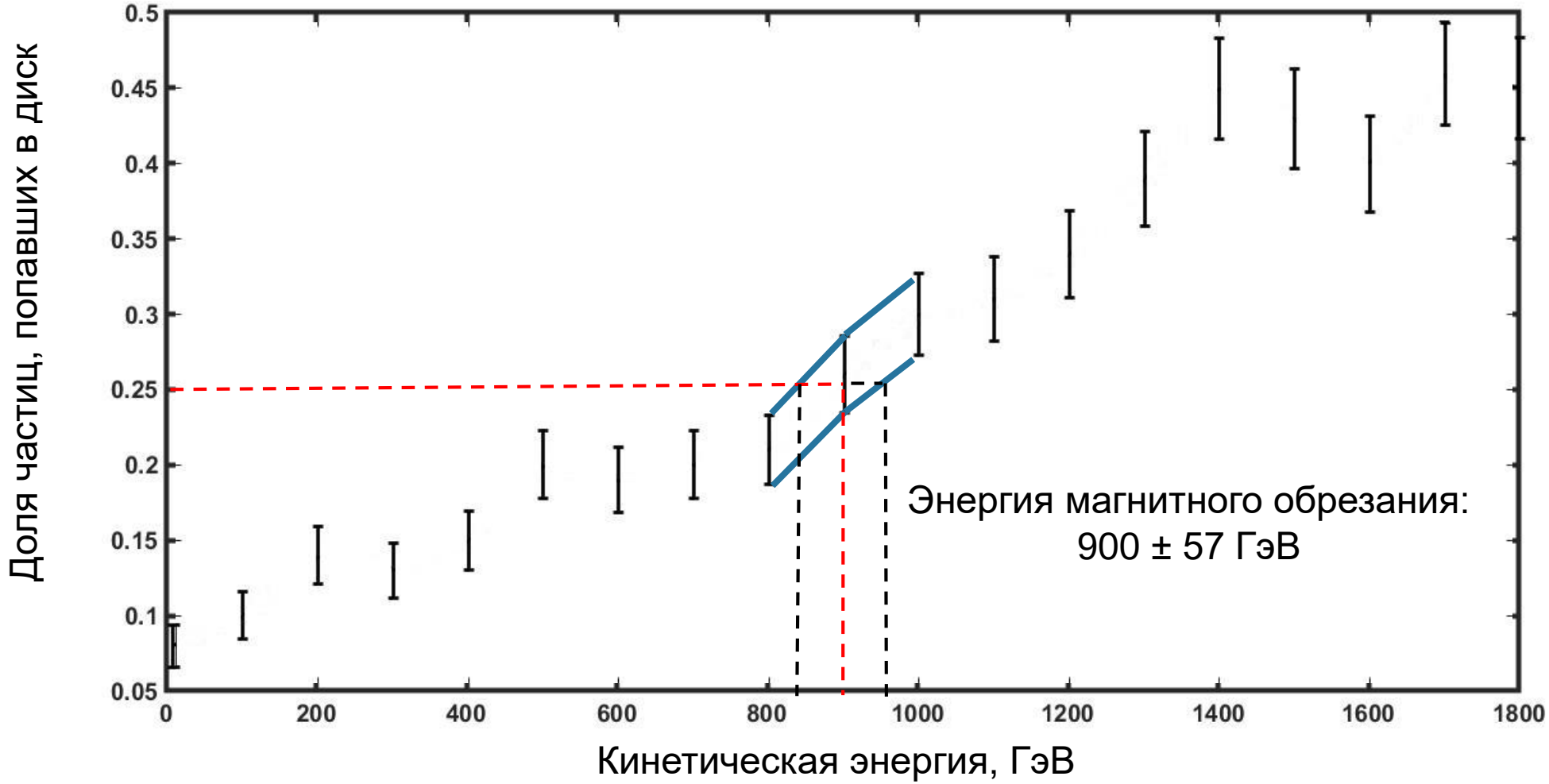


Моделирование движения антигелия с учетом нерегулярностей

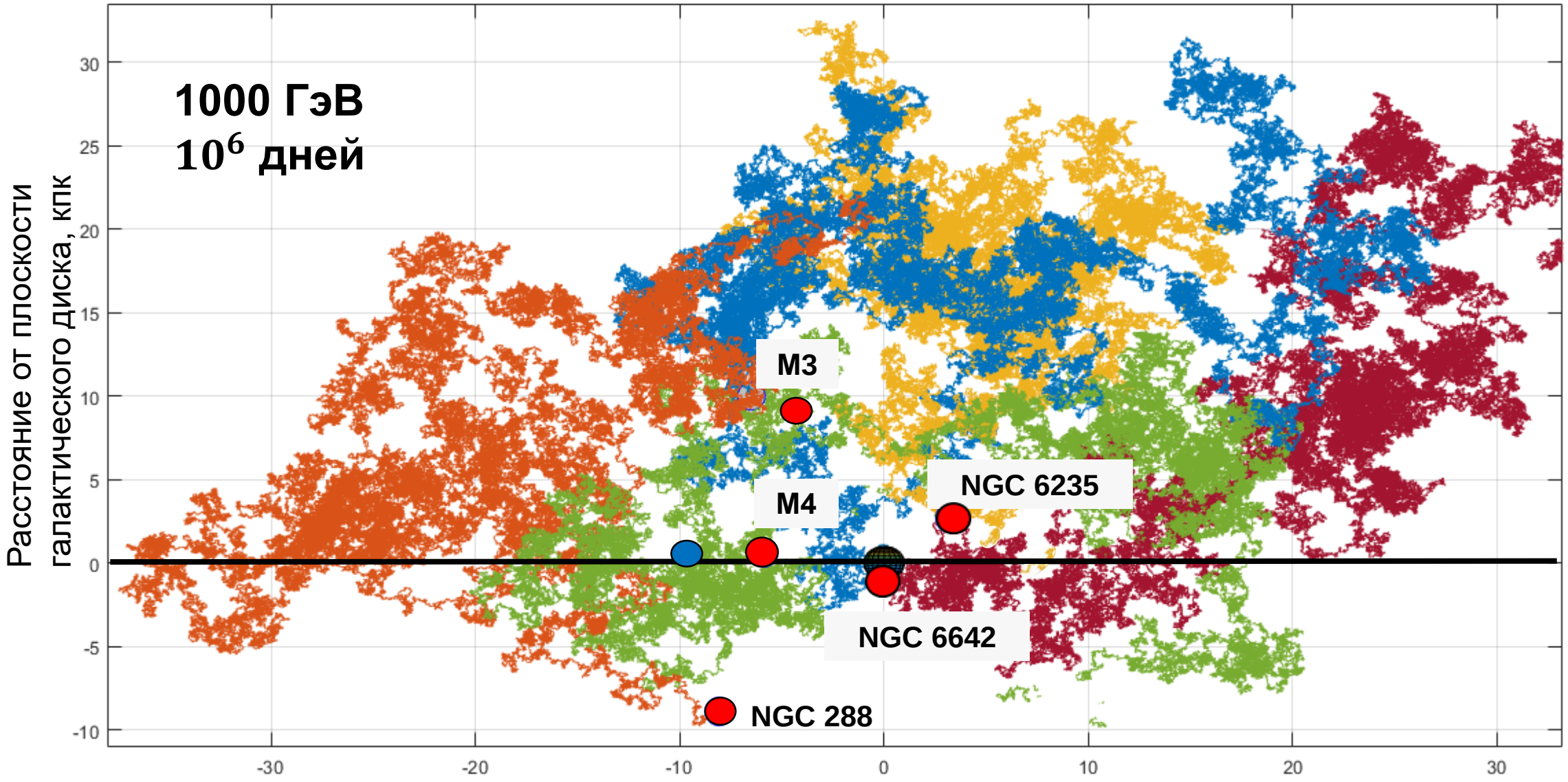


Оценка энергии магнитного обрезания с учетом нерегулярной компоненты

- Зависимость доли частиц антигелия от ШС М4, проникающих в галактический диск, от их энергии с учетом нерегулярностей магнитных полей Галактики.



Моделирование движения антигелия от различных ШС Галактики



База данных ШС Галактики
gclusters.altervista.org

Заключение

- На примере типичного шарового скопления M4, взятого в качестве прототипа шарового скопления антизвезд, была оценена энергия магнитного обрезания, характеризующая степень проникновения ядер антигелия в галактический диск в магнитном поле Галактики без учета и с учетом нерегулярностей.

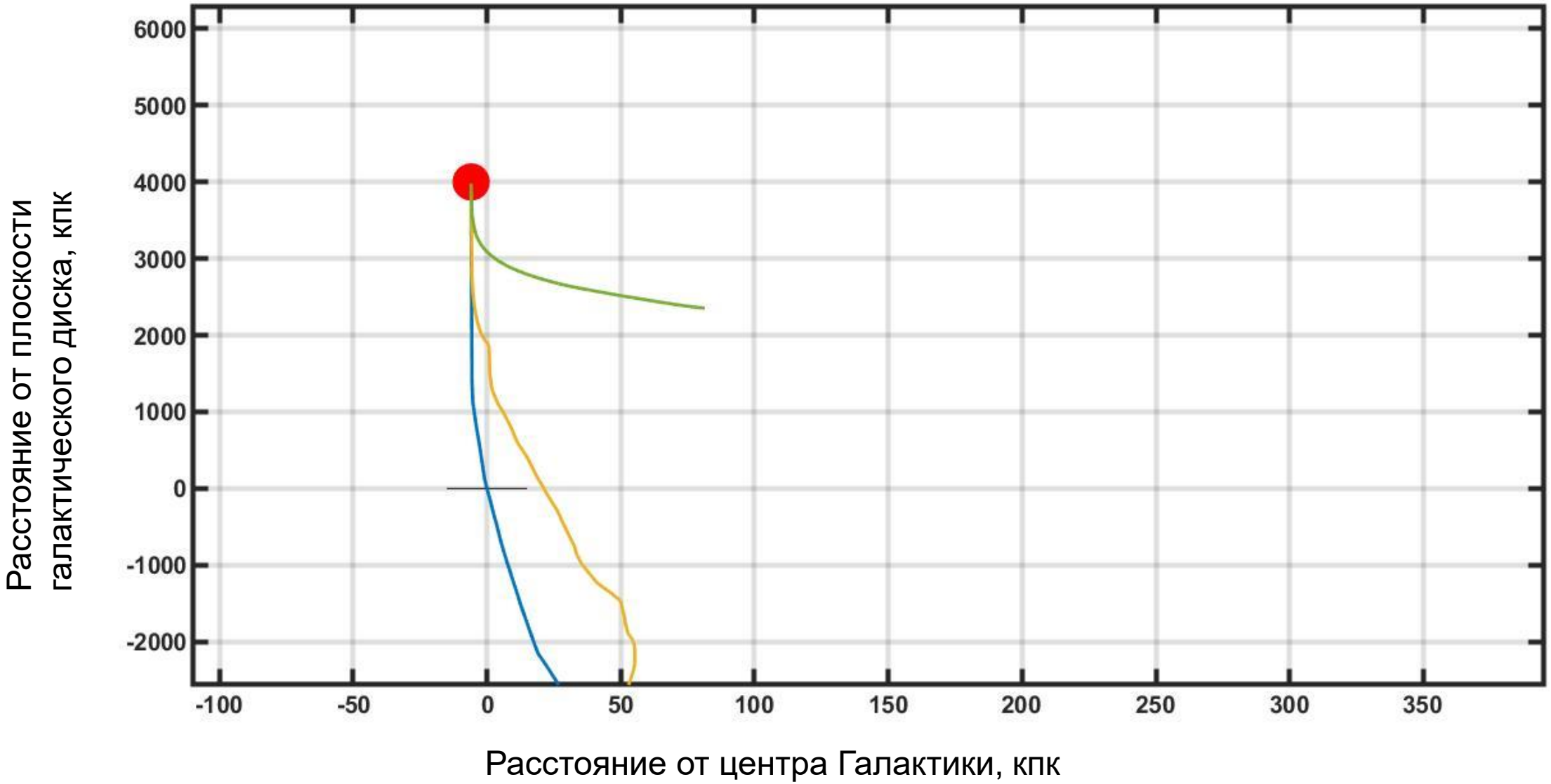
Дальнейшая работа направлена на:

- На оценку энергии обрезания от других ШС Галактики.

Back up

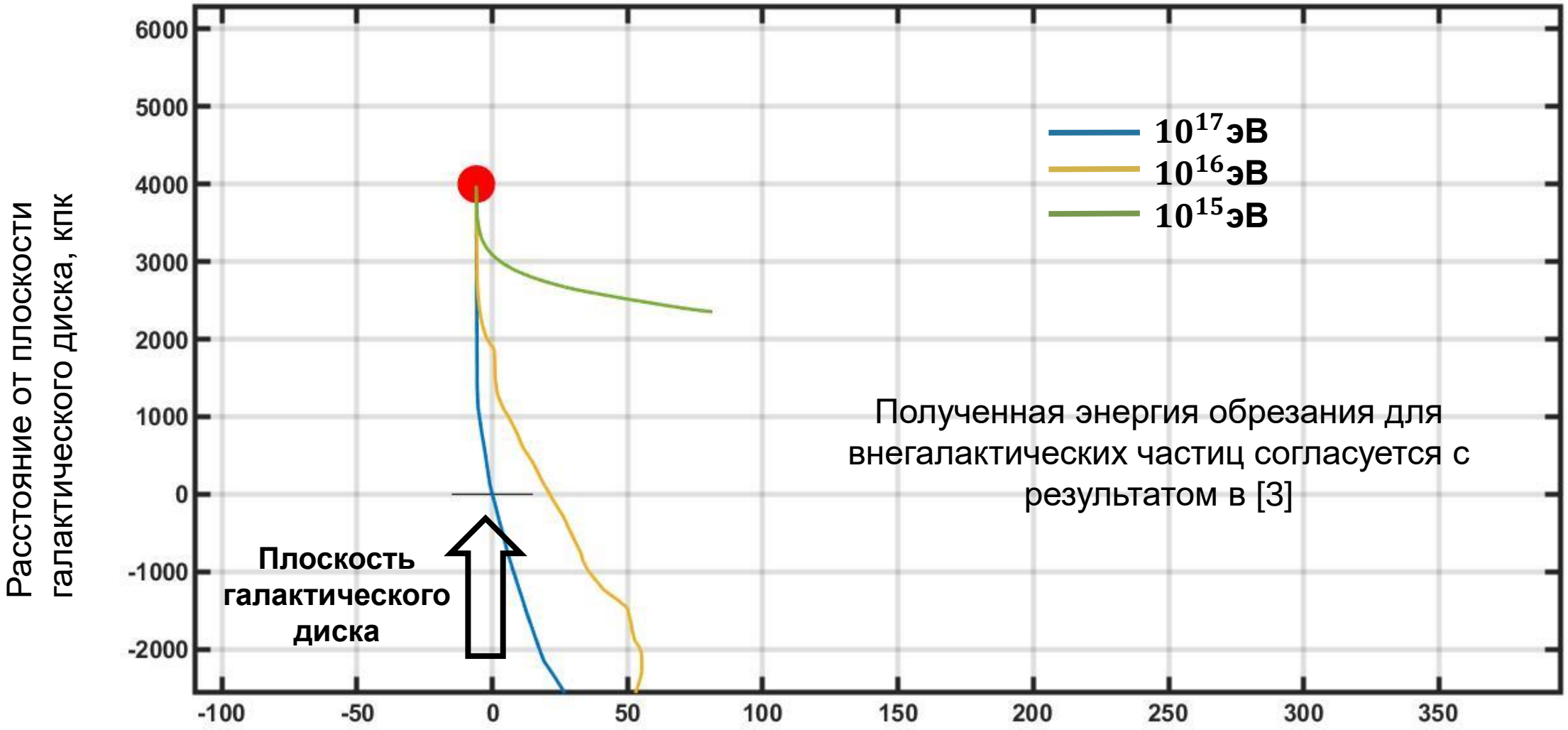
Моделирование движения внегалактической частицы

Иллюстрация траекторий частиц, проникающей в Галактику.



Моделирование движения внегалактической частицы.

Иллюстрация траекторий частиц, проникающей в Галактику.



[3] CRPropa 3 – a Public Astrophysical Simulation Framework for Propagating Extraterrestrial Ultra-High Energy Particles.

Функция источника

- **Стационарное истечение вещества с поверхности антизвезд.**

Если область распространения антивещества шарового скопления будет пересекать галактический диск, то звездный ветер может попасть в диск, а затем и в Солнечную систему.

- **Вспышки на антизвездах.**

На Солнце постоянно происходят взрывные процессы, которые сопровождаются ускорением частиц и, как следствие, появлением солнечных космических лучей.

- **Взрывы антисверхновых в шаровом скоплении антизвезд**.

Взрывы сверхновых -- это результат эволюции звезд, который сопровождается выбросом высокой энергии $\sim 10^{51}$ эрг.

Введение и мотивация

Природа барионной асимметрии, т.е. преобладания вещества над антивеществом в видимой части Вселенной, является одной из важнейших проблем современной космологии.

Возможная природа антивещества во Вселенной:

- Первичное антивещество, т.е. вещество, которое могло образоваться на ранних стадиях эволюции Вселенной и сохранилось к настоящему моменту.
- Вторичное антивещество.
- Антивещество от экзотических источников.

А.Д. Сахаров (1967) и В.А. Кузьмин (1970) сформулировали необходимые условия для бариосинтеза - механизма генерации барионной асимметрии во Вселенной. Условия Сахарова допускают несколько сценариев бариосинтеза.

В случае неоднородного бариосинтеза Вселенная может содержать локальный избыток не только вещества, но и антивещества.

Можно ожидать присутствие домена антивещества во Вселенной и, предположительно, даже в нашей Галактике в виде шарового скопления (ШС) антизвезд.

Регистрация ядер антивещества в составе космических лучей экспериментами BESS, PAMELA, AMS будет явным индикатором присутствия такого домена антивещества в гало нашей Галактики.