

Моделирование движения частиц от прототипа
гипотетического шарового скопления
антизвезд в магнитных полях Галактики

Докладчик, М20-115:

Кириченко А.О.

Научный руководитель:

Хлопов М.Ю.

Научный консультант:

Майоров А.Г.

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:
 1. Первичное антивещество, т.е. вещество, которое могло образоваться на ранних стадиях эволюции Вселенной и сохранилось к настоящему моменту.
 2. Вторичное антивещество.
 3. 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.

Цель и задачи работы

Цель работы:

Оценка потока античастиц в составе галактических космических лучей от гипотетического шарового скопления антизвезд в гало Галактики.

Задачи:

- Рассмотреть механизм инъекции антивещества в космические лучи от взрыва антисверхновой.
- Разработать программный модуль для расчета магнитных полей Галактики
- Оценить энергию обрезания при проникновении в диск в регулярном магнитном поле.
- Оценить энергию обрезания при проникновении в диск с учетом нерегулярностей магнитного поля.

Механизмы инъекции антивещества в космические лучи

- **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 большого количества энергии ($\sim 10^{51}$ эрг).

Модель магнитного поля (МП) и программа моделирования

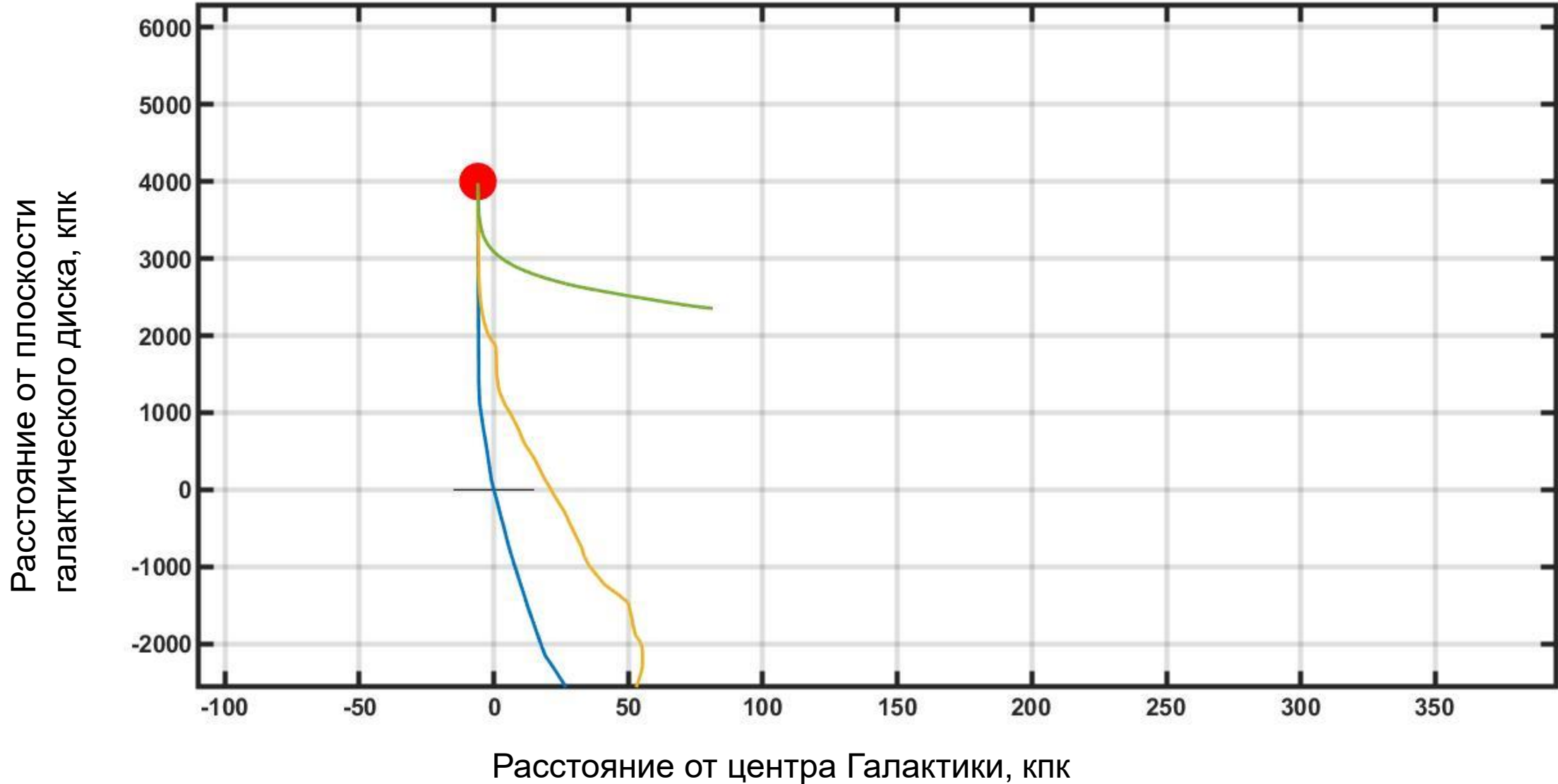
- Для моделирования МП в программном пакете Matlab была создана численная реализация широко известной **модели магнитных полей нашей Галактики JF12** [1].
- Также для построения самих траекторий используется пакет программ, детально описанный в [2]. На вход программы подаются компоненты МП, тип частицы, ее энергия и т.п.
- Отдельно рассмотрены регулярное поле и поле с добавлением нерегулярностей.

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

[2] 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).

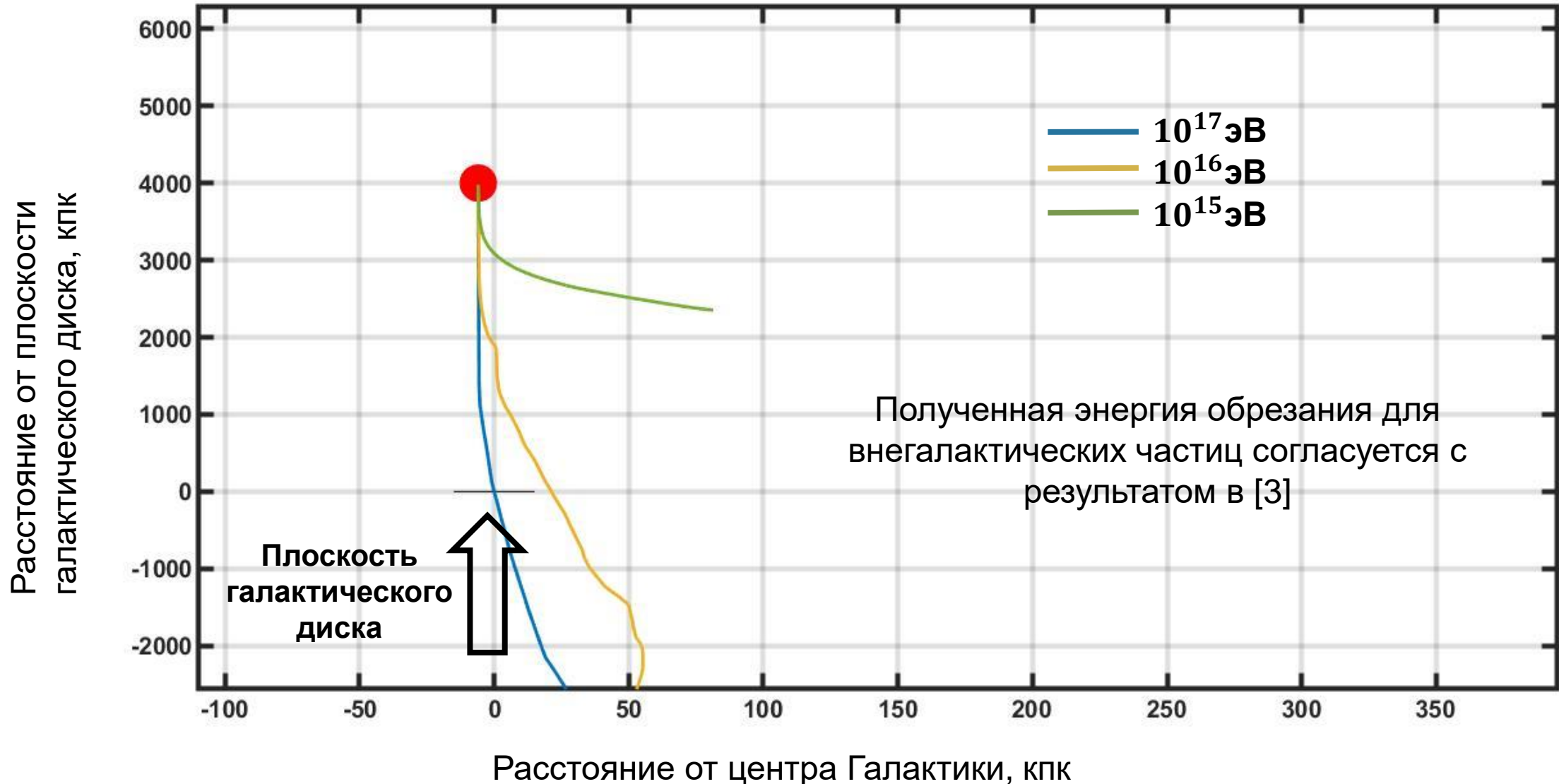
Валидация моделирования: движения внегалактической частицы

Иллюстрация траекторий частиц, проникающей в Галактику.



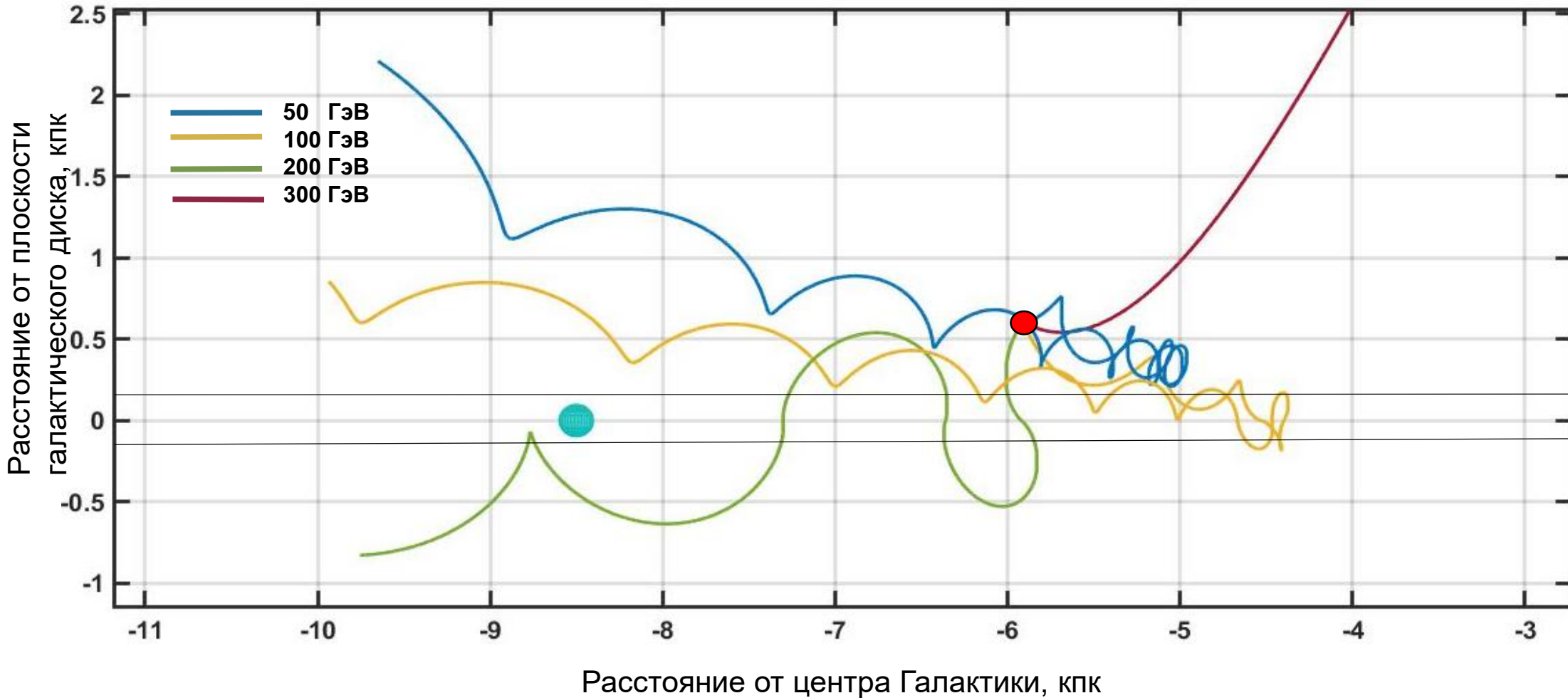
Валидация моделирования: движения внегалактической частицы

Иллюстрация траекторий частиц, проникающей в Галактику.



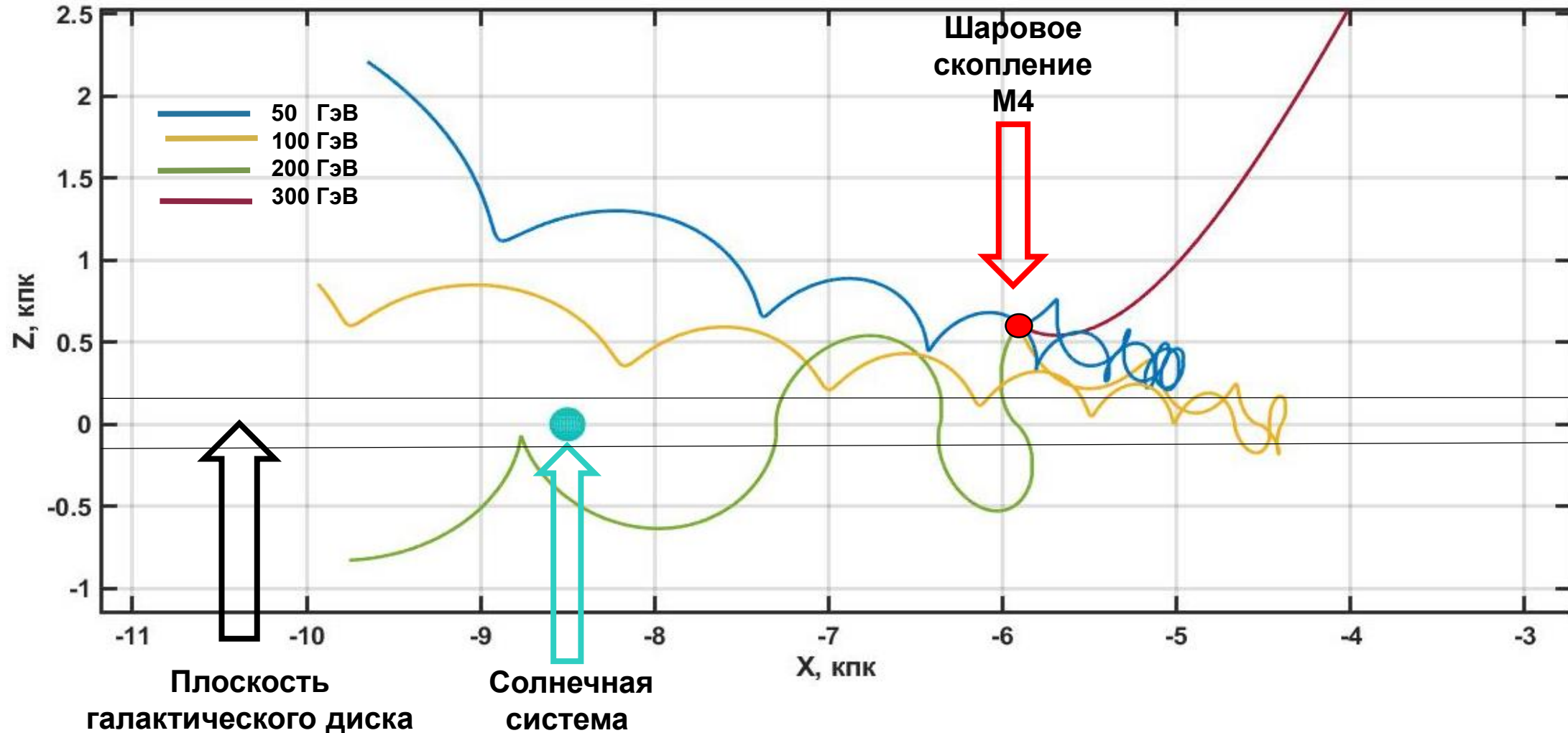
Моделирование частиц в регулярном магнитном поле

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



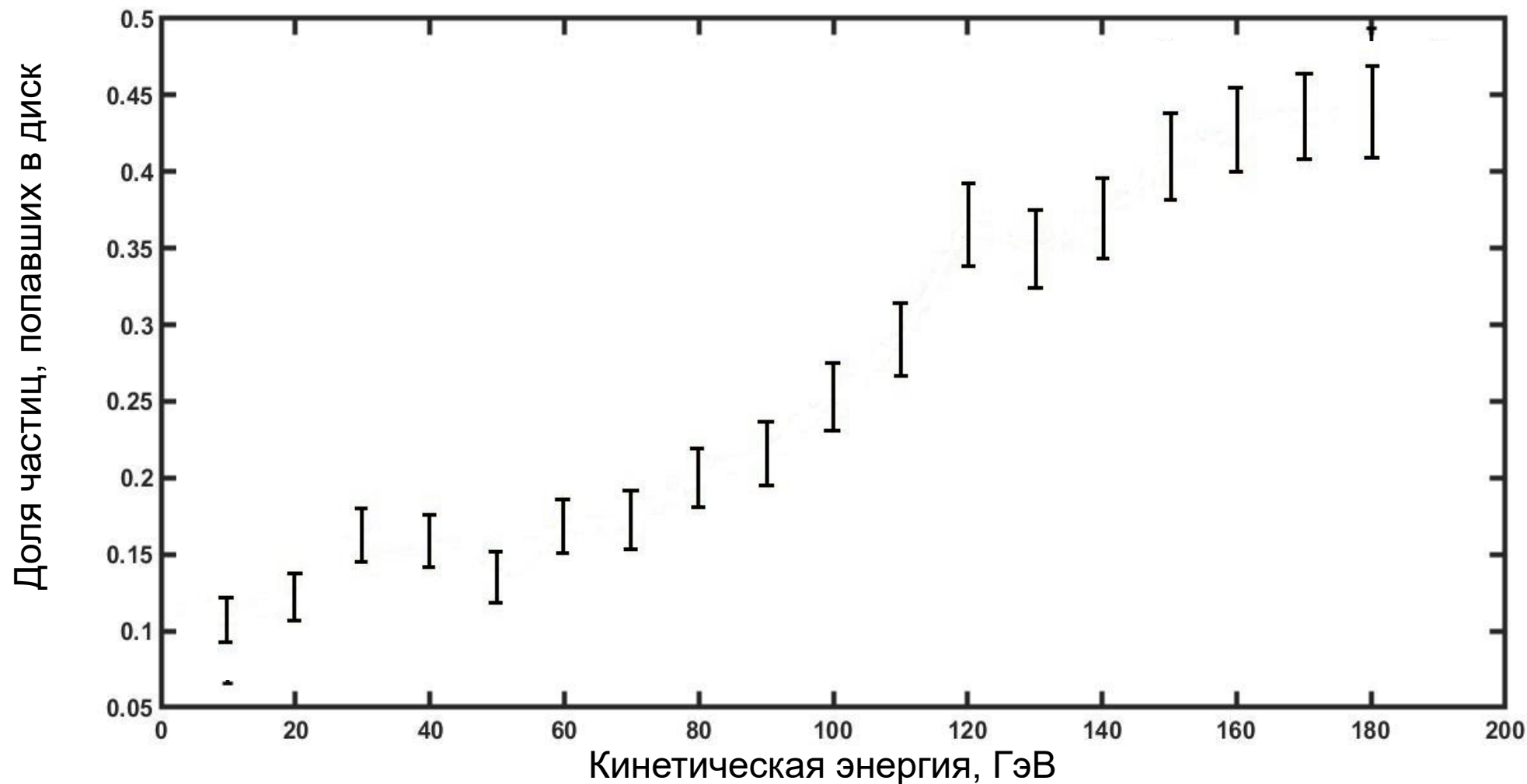
Моделирование движения частиц в регулярном магнитном поле

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



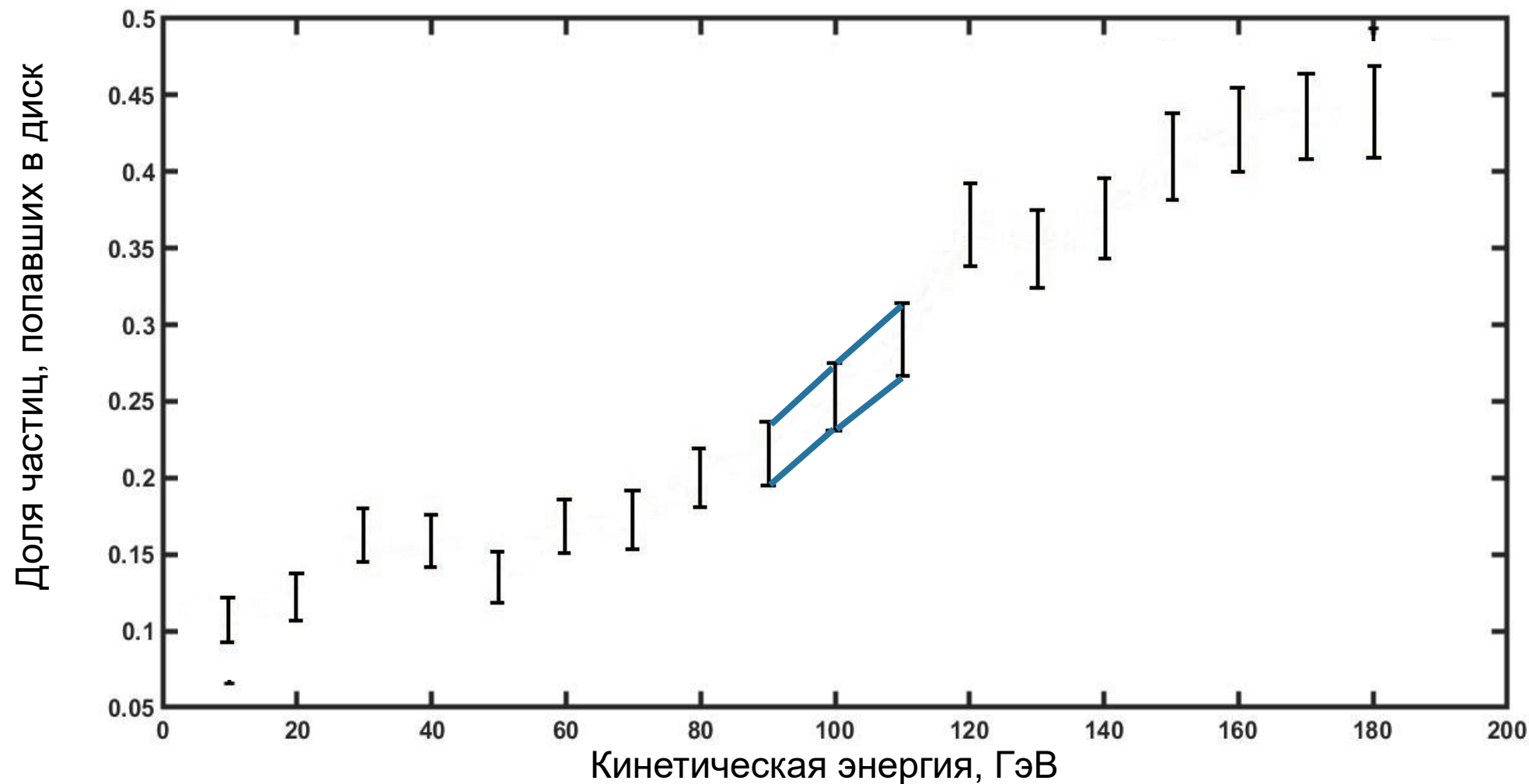
Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной компоненты

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



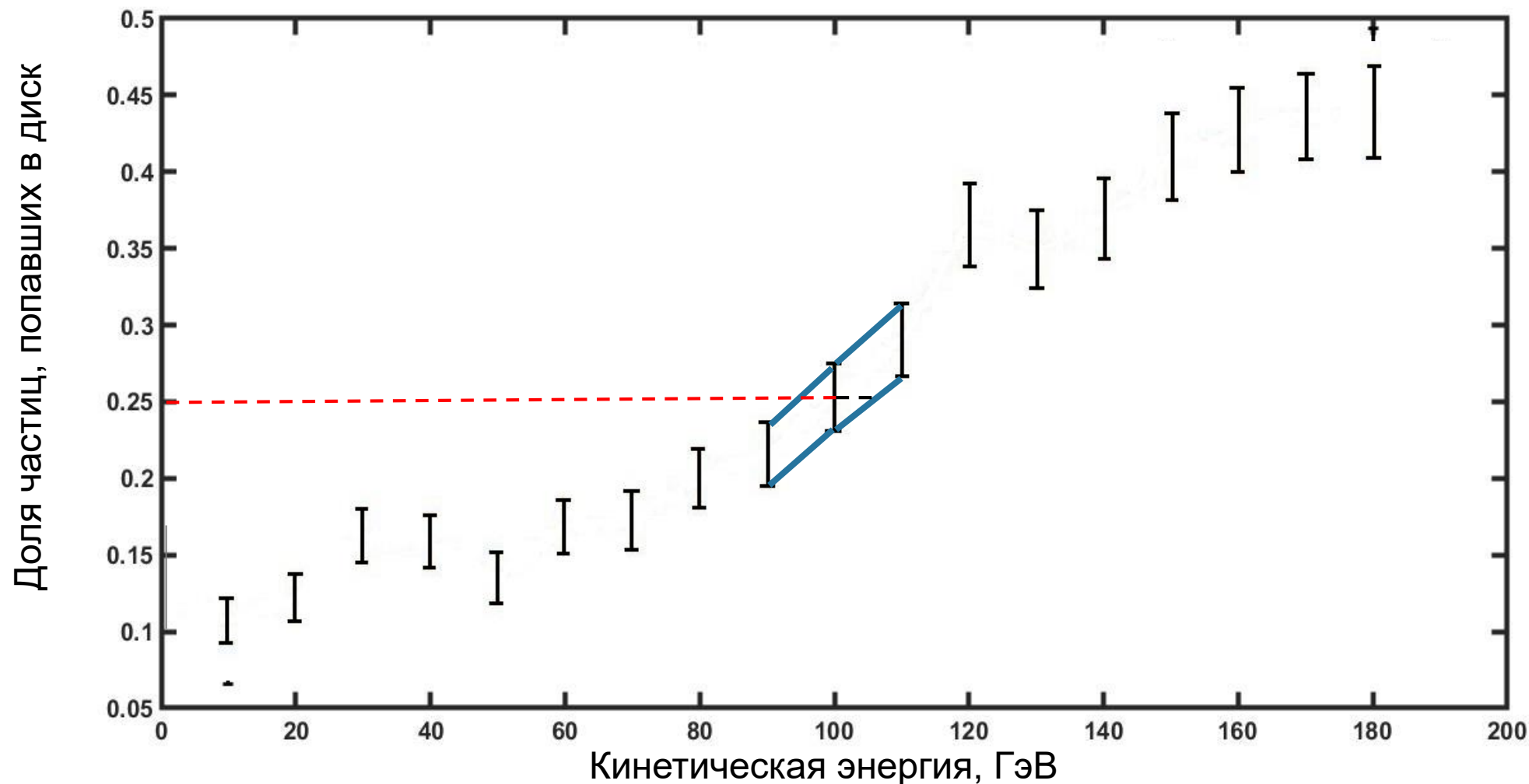
Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной компоненты

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



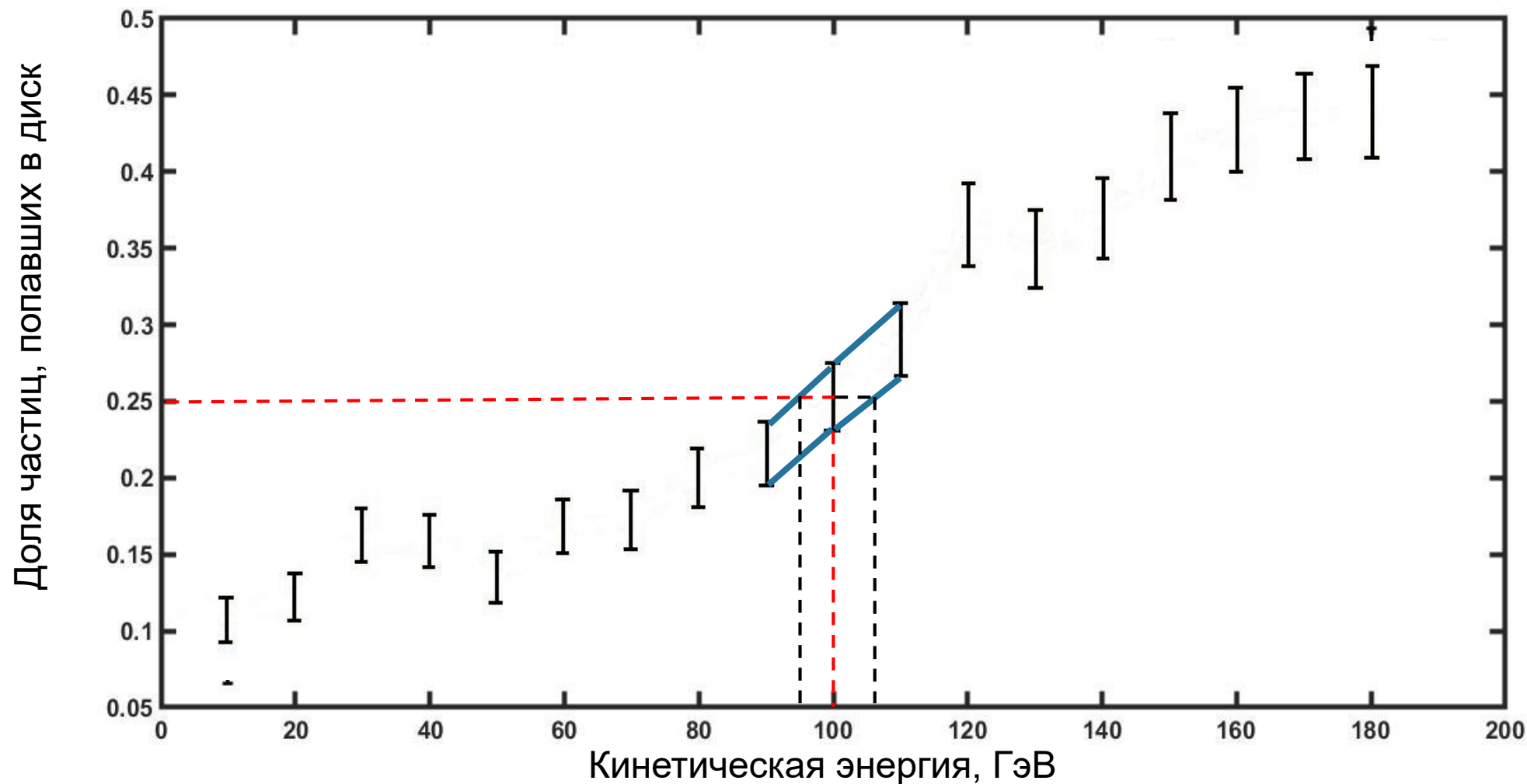
Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной КОМПОНЕНТЫ

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



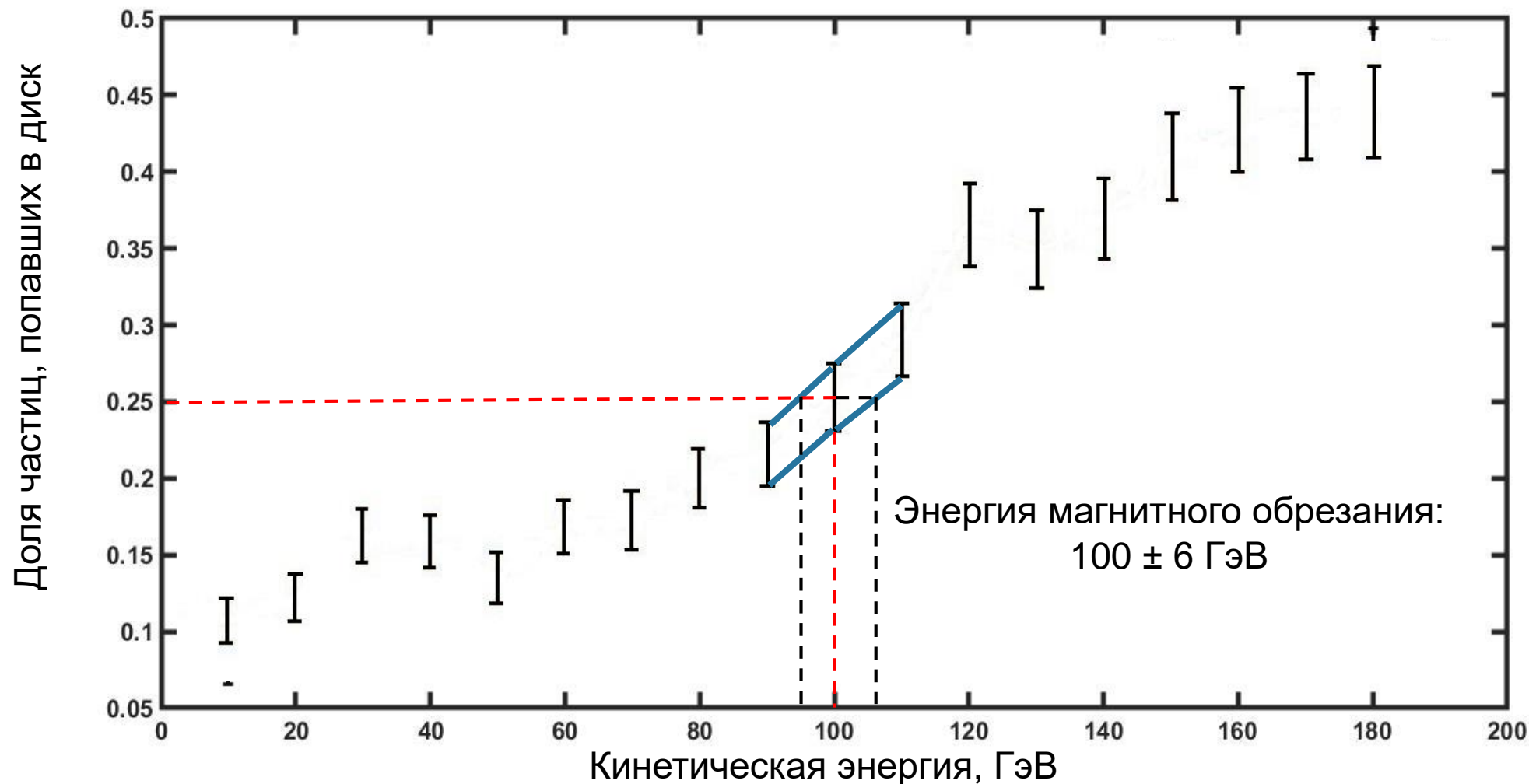
Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной КОМПОНЕНТЫ

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

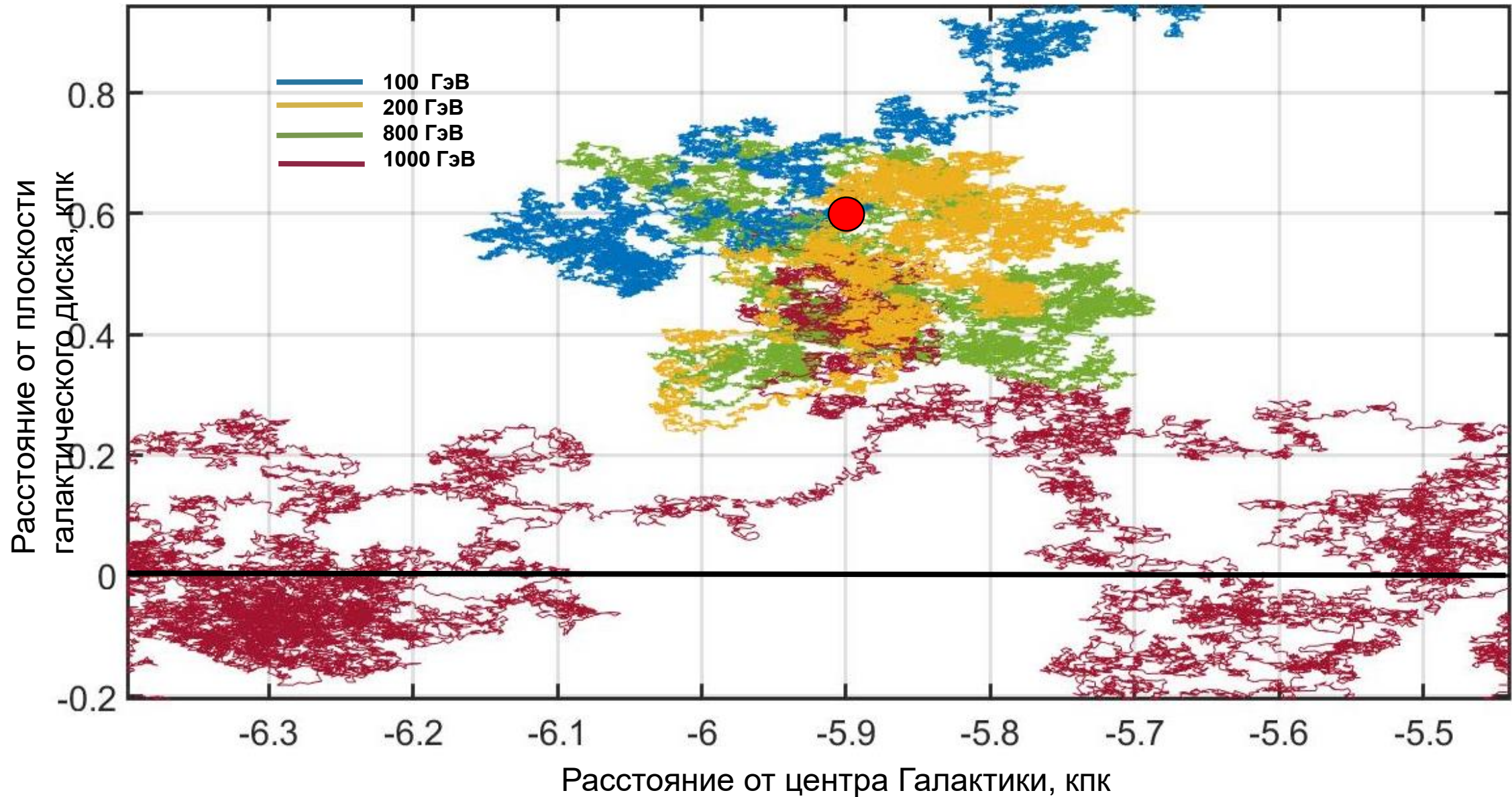


Оценка энергии магнитного обрезания без учета нерегулярной компоненты

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

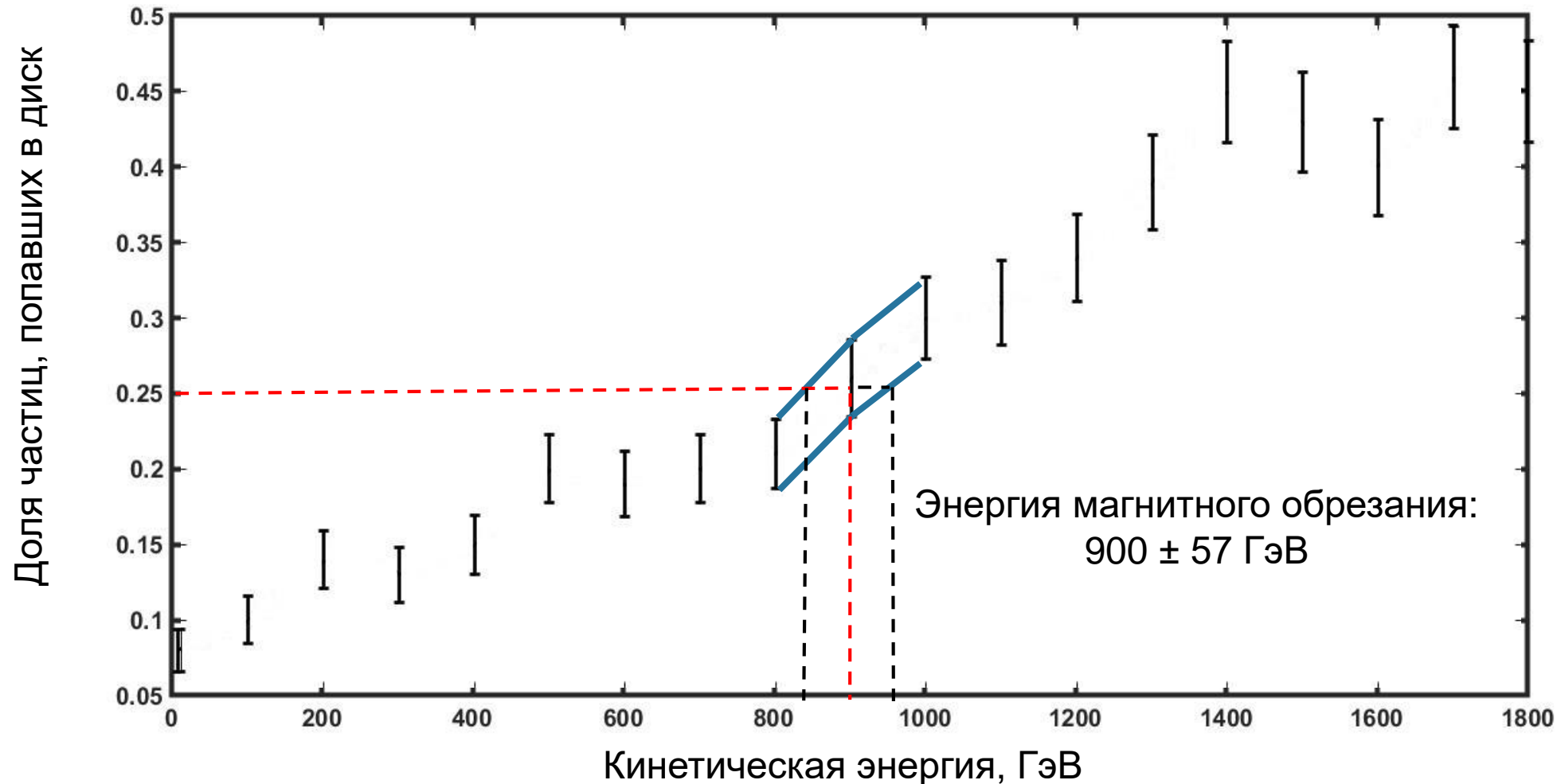


Моделирование движения частиц с учетом нерегулярностей

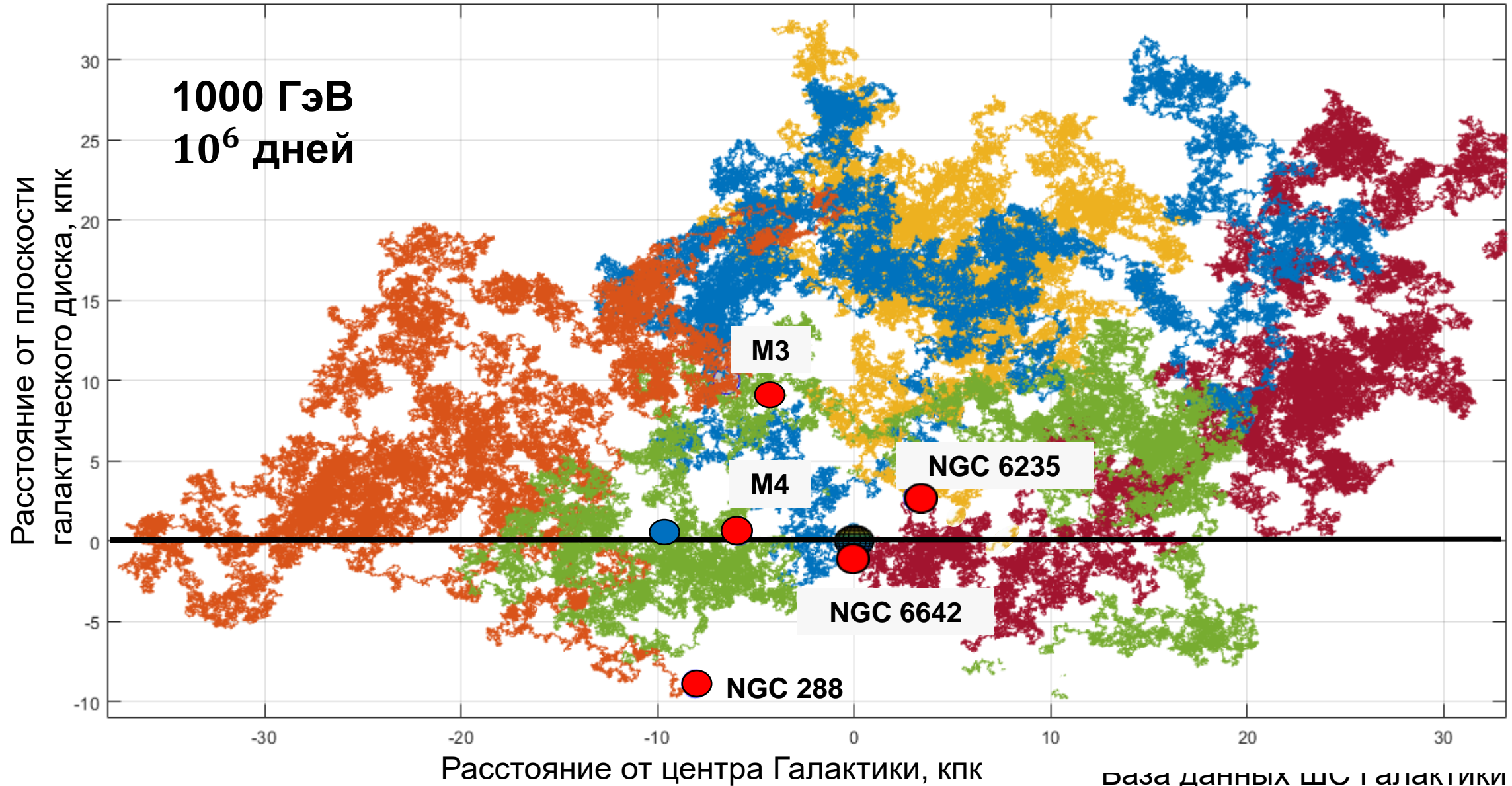


Оценка энергии магнитного обрезания с учетом нерегулярной КОМПОНЕНТЫ

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



Моделирование движения частиц от различных ШС Галактики



Заключение

- В ходе данной работы были рассмотрены механизмы инъекции антивещества в космические лучи от взрыва антисверхновой.
- Разработана программа моделирования магнитных полей Галактики.
- На примере типичного шарового скопления М4, 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:

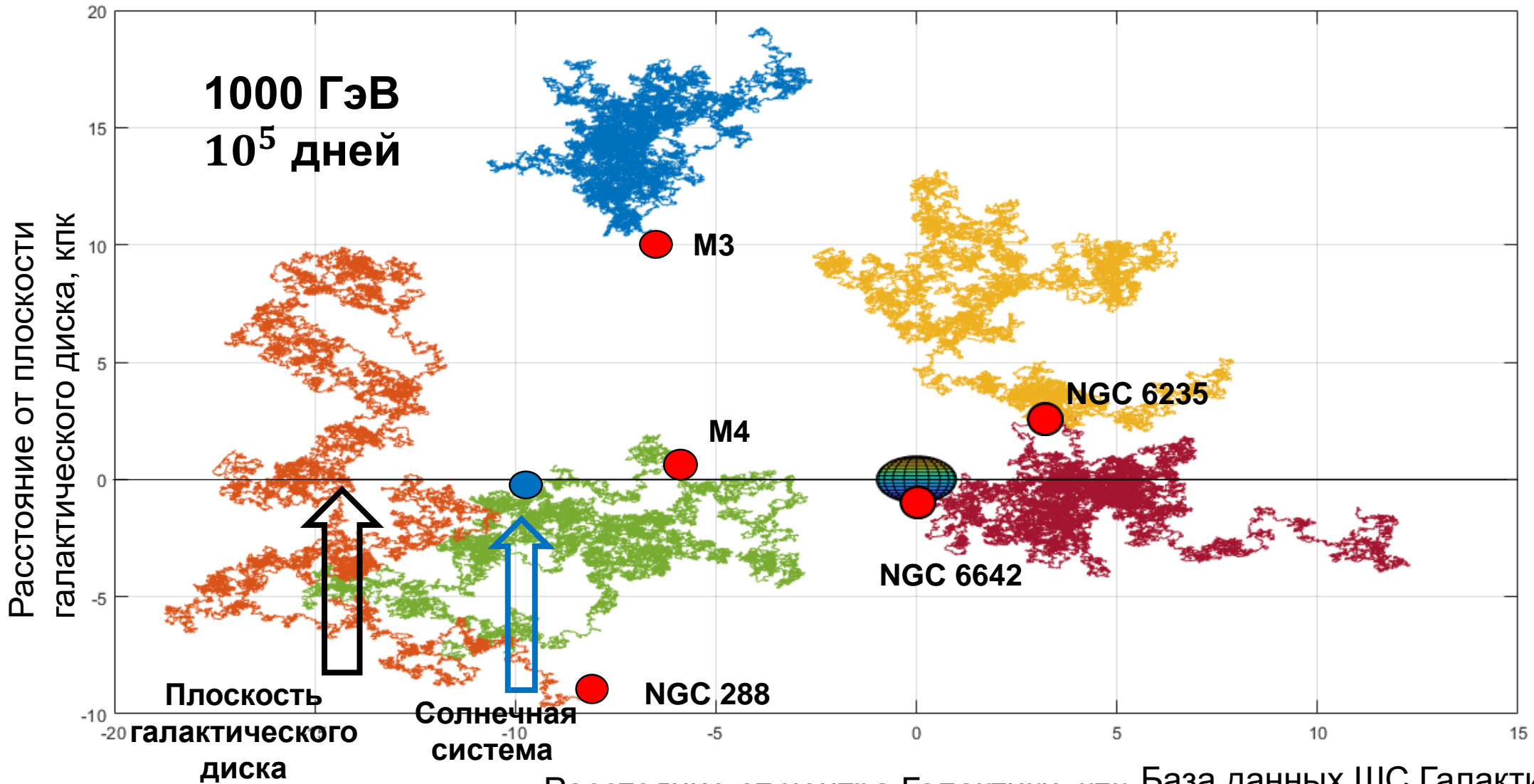
- Оценку доли антигелия в общей энергетической плотности антивещества.
- На оценку энергии обрезания от других ШС Галактики.
- На учет вторичного рождения частиц и неупругих реакций.

Вышеперечисленные исследования помогут получить оценку потока антиядер от скопления и, таким образом, установить ограничение на присутствие и свойства домена антивещества в Галактике..

Back up

Моделирование движения частиц в магнитном поле Галактики

Иллюстрация моноэнергетических траекторий античастиц в магнитном поле от ШС Галактики.



- Оценена энергетическая плотность для антивещества от взрыва антисверхновых в M4: $\rho_{\overline{CR}} = 10^{-4}$ эВ/см³