



Институт космофизических исследований и аэронауки
им. Ю.Г. Шафера СО РАН

Свойства потоков космических лучей пересекающих границу между магнитным облаком и солнечным ветром

И.С. Петухов, С.И. Петухов

33-я Всероссийская конференция по космическим лучам



**г. Дубна Московской области
11-15 августа 2014 года**



Мы предлагаем использовать кинематическую модель, так как:

1) Вклад бессилового магнитного поля мал

$$\vec{j} \times \vec{B} \sim \overset{\text{small}}{(\vec{\nabla} \times \vec{B})} \times \vec{B} \ll 1$$

2) Кинетическая энергия потока гораздо выше тепловой

$$M^2 = U^2 / c_{sv}^2 \gg 1$$

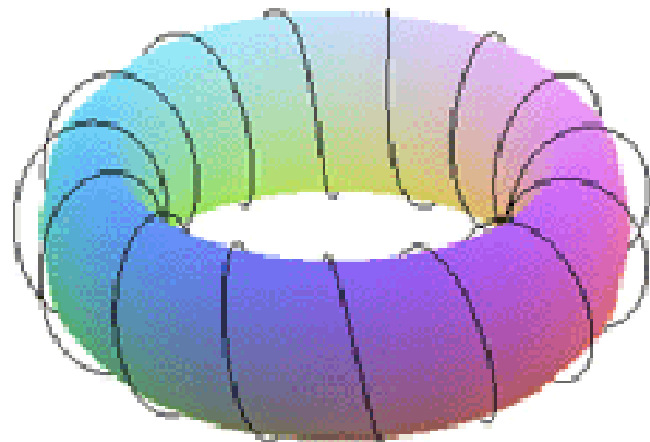
Для магнитного облака принято:

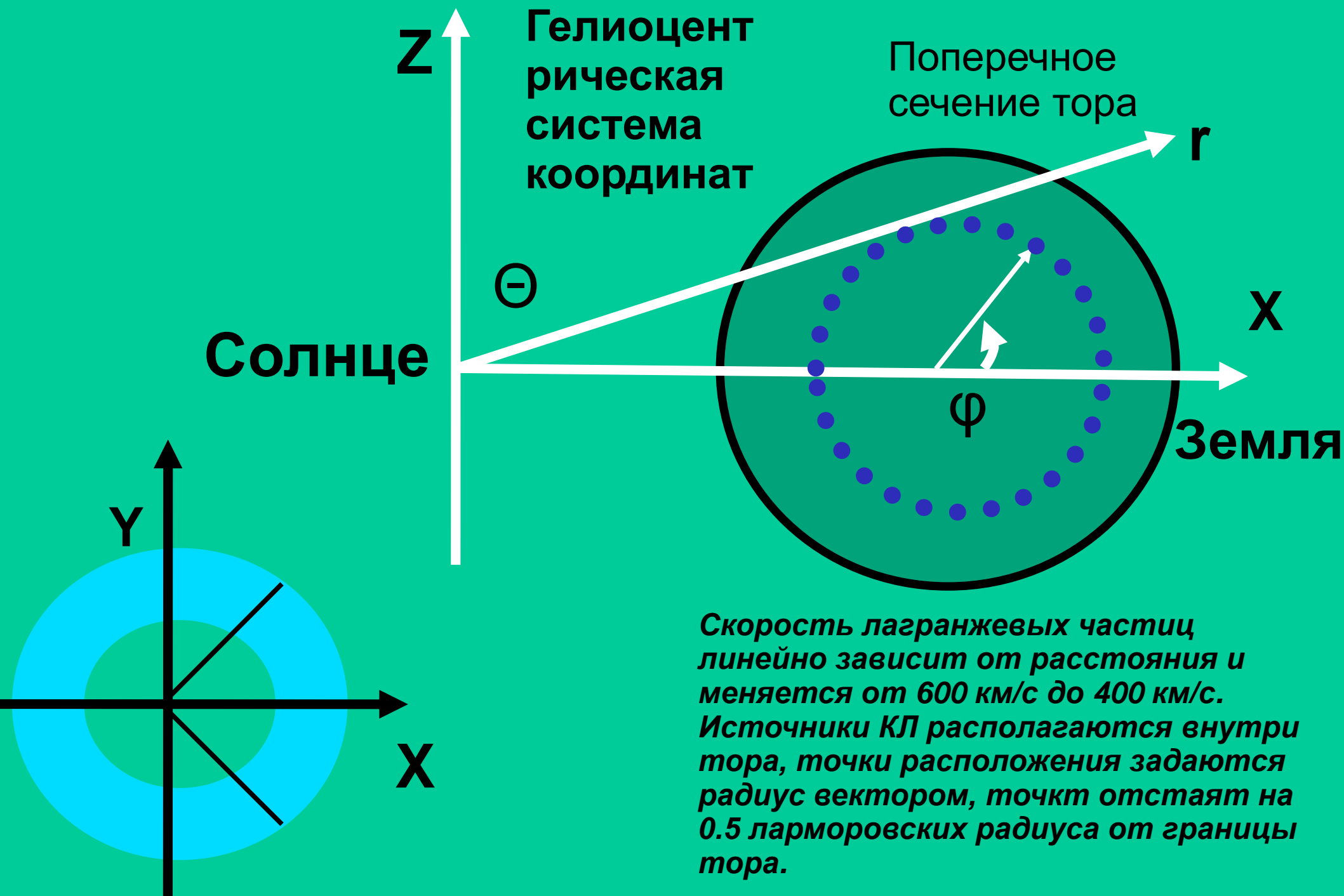
В начальный момент времени магнитное облако имеет вид тора;

Ось тора лежит в плоскости солнечного экватора;

Компоненты магнитного поля в торе удовлетворяют решению Miller G, Turner L (1981 Phys, Fluids 24 363);

Расширение тора при распространении определяется радиальным солнечным ветром, а магнитное поле в нем условием вмороженности.





Гелиоцентрическая система координат

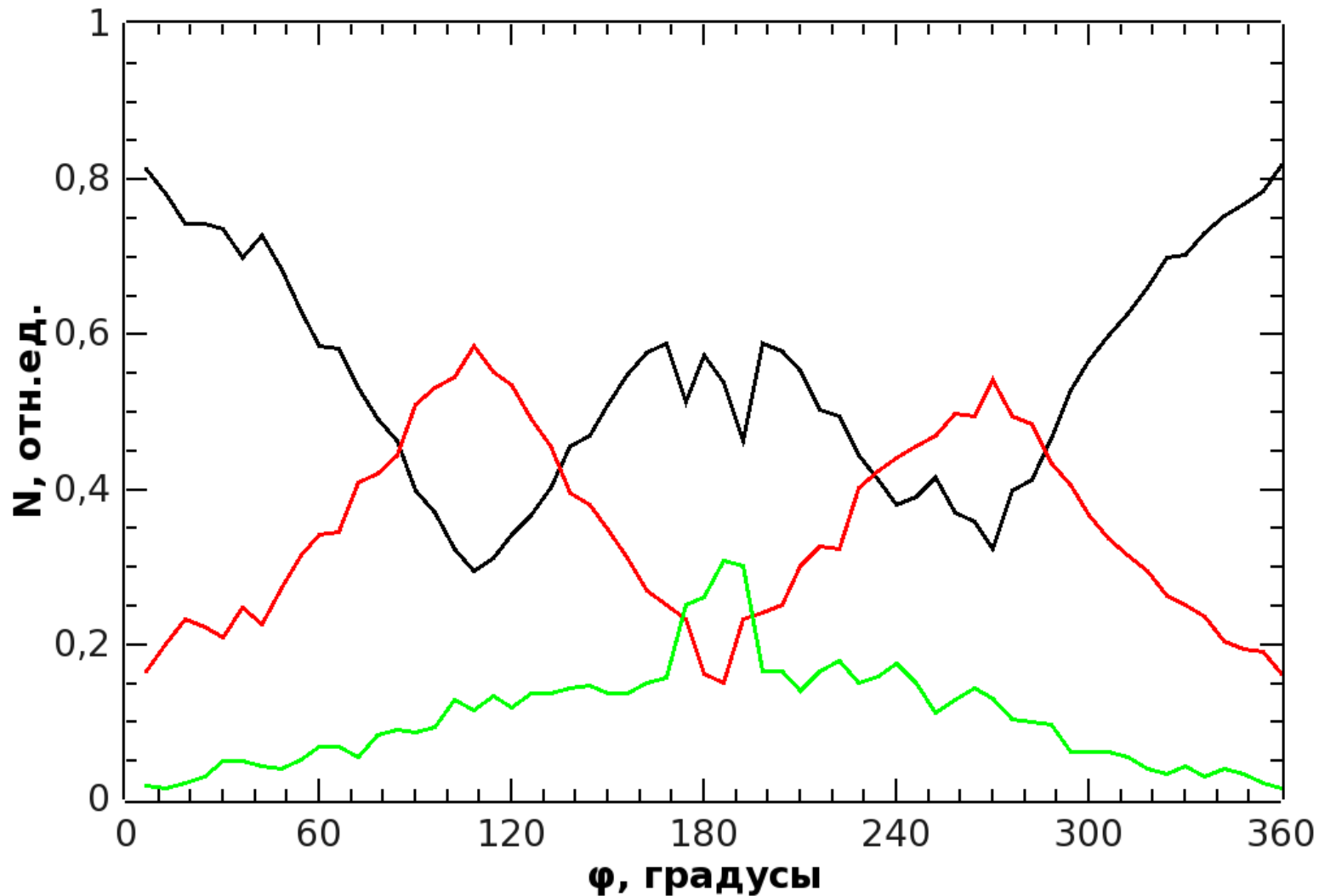
Поперечное сечение тора

Солнце

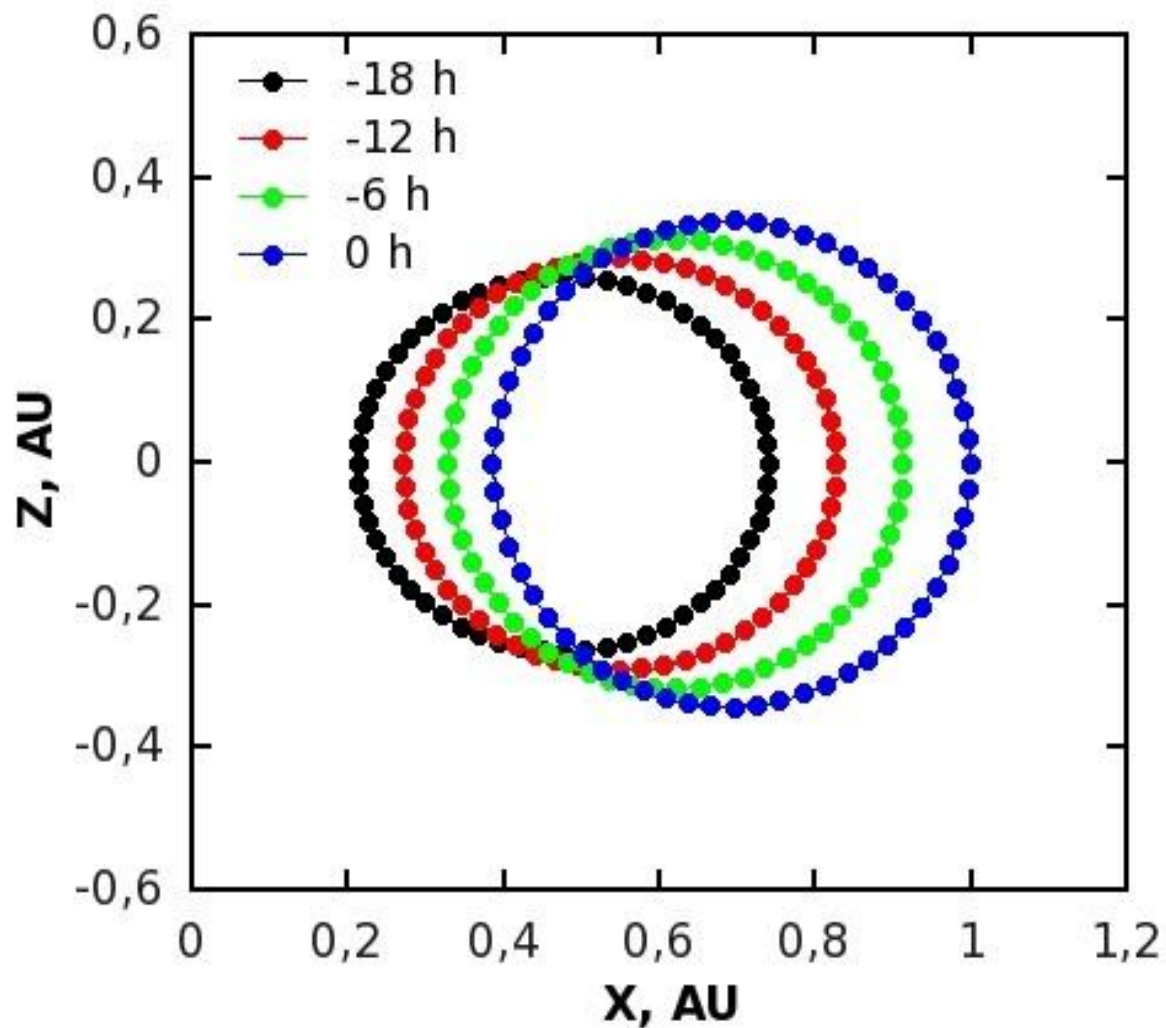
Земля

Скорость лагранжевых частиц линейно зависит от расстояния и меняется от 600 км/с до 400 км/с. Источники КЛ располагаются внутри тора, точки расположения задаются радиус вектором, точки отстают на 0.5 ларморовских радиуса от границы тора.

Черные линии соответствуют части частиц убежавших из тора;
Красная линия – частицы остающиеся в магнитном облаке;
Зеленая линия – частицы вышедшие в концы тора.

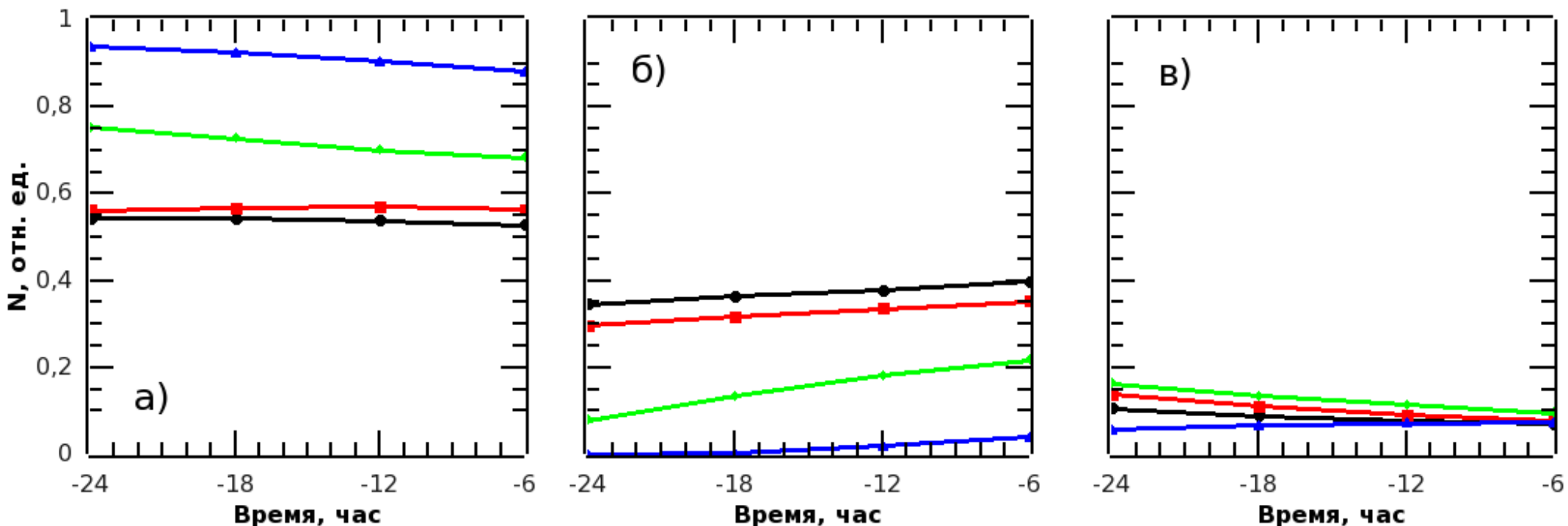


Фи угол – угол определяющий расположение источников космических лучей

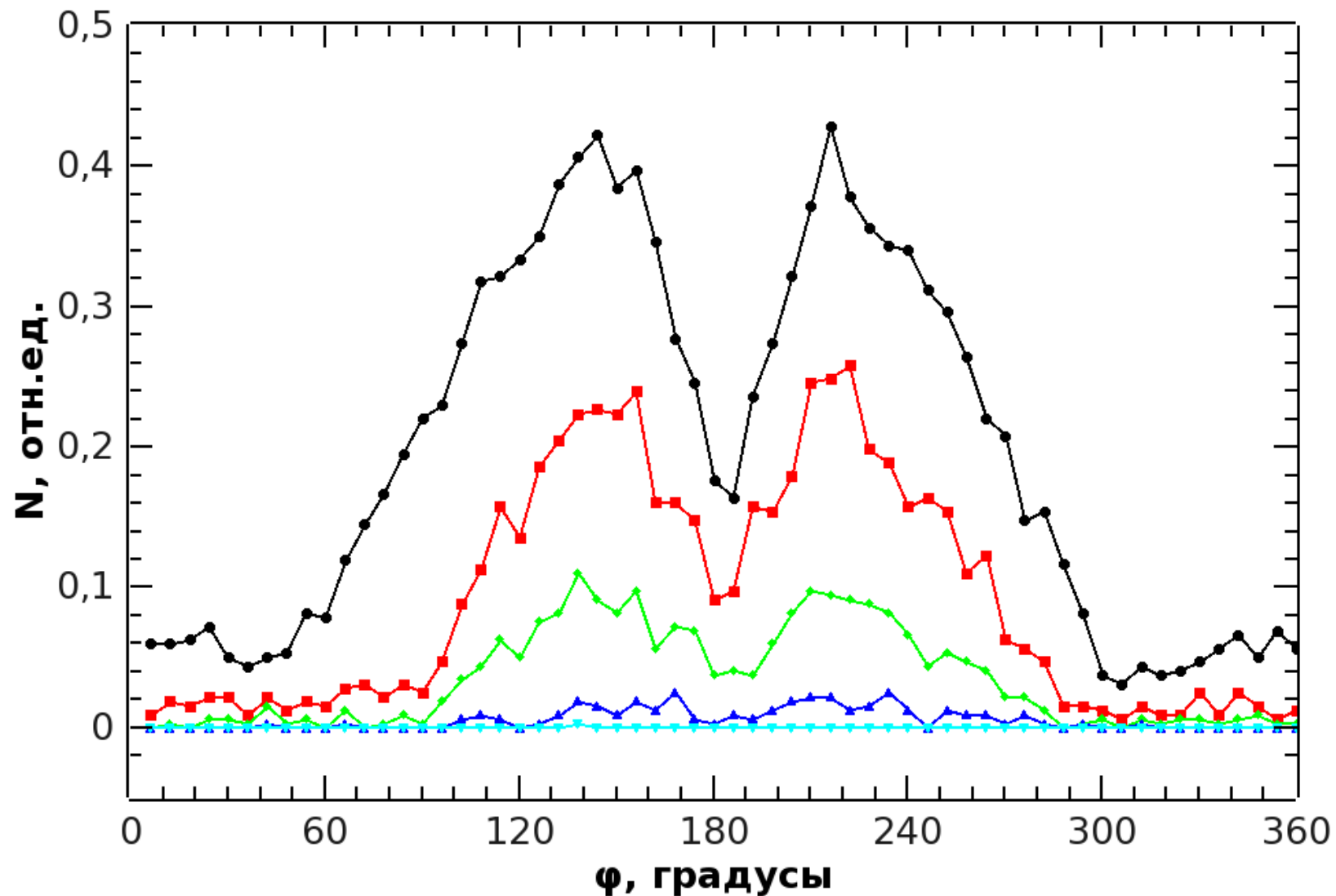


***$t=0$ момент
времени, когда
передняя часть
границы
магнитного облака
достигает орбиты
Земли***

***Положения для
моментов времени
за 6, 12 и 18 часов
до этого,
соответственно.***



- Относительное полное число траекторий частиц для 4-х энергий (50 – синяя линия, 30 – зеленая, 10 – красная и 5 - черная) ГэВ и для 4-х моментов времени (-24 часа, -18, -12 и -6) до прихода магнитного облака на орбиту Земли для времени остановки расчета 1 Ларморовский период.**
- а) Частицы вышедшие из магнитного облака;**
 - б) Частицы оставшиеся внутри магнитного облака;**
 - в) Частицы вышедшие в концы магнитного облака.**



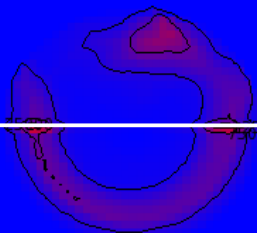
Относительное число траекторий оставшихся внутри тора 20 ГэВных частиц для 5 моментов времени расчета. Черная линия для временного интервала расчета 1 ларморовский период; красная - 2; зеленая - 3; синяя - 4; голубая - 5.

Наиболее вероятными причинами Форбуш эффекта считаются адиабатические потери энергии частиц в области возмущения и пониженная концентрация частиц вследствие их затрудненного попадания в облако из-за замкнутой геометрии его магнитного поля.

Для определения пространственного распределения частиц внутри магнитного облака, мы рассчитываем множество траекторий частиц. Плоскость поперечного сечения тора делится на 10 000 ячеек с шагом 0.01 а.е. На каждом шаге определяется положение частицы в плоскости поперечного сечения тора и соответствующая ячейка пополняется на 1. В итоге мы получаем распределение траекторий по ячейкам, которое пропорционально плотности числа частиц.

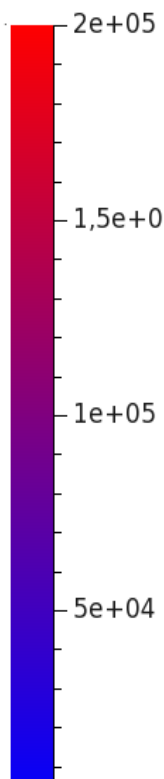
Для оценки вклада адиабатического охлаждения мы определяем время которое частицы различных энергий проводят внутри магнитного облака.

$E=10 \Gamma_{\text{эВ}}$



1 a.e.

75000

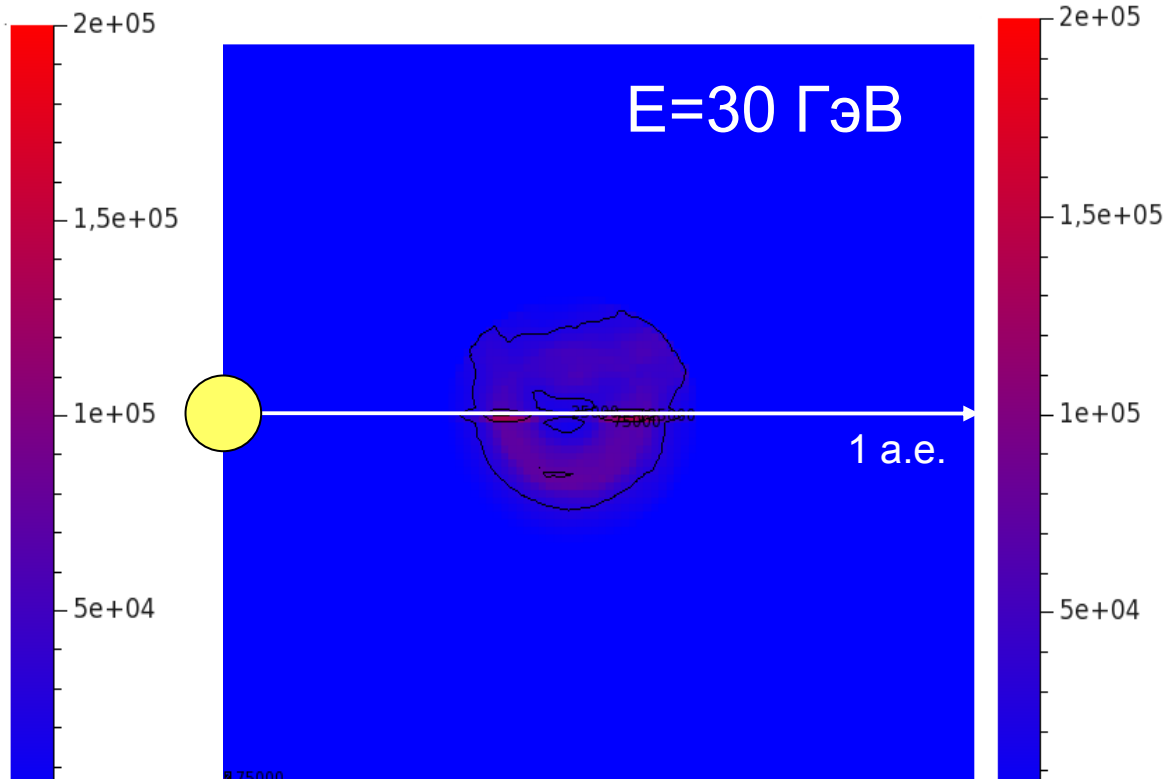


$E=30 \Gamma_{\text{эВ}}$



1 a.e.

75000

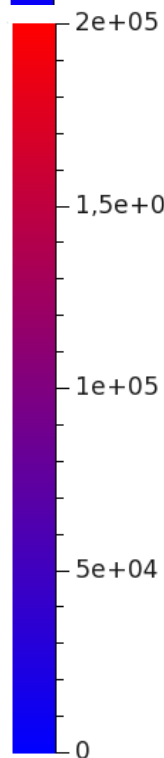


$E=50 \Gamma_{\text{эВ}}$

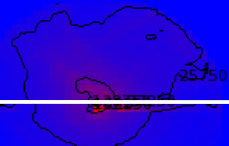


1 a.e.

75000

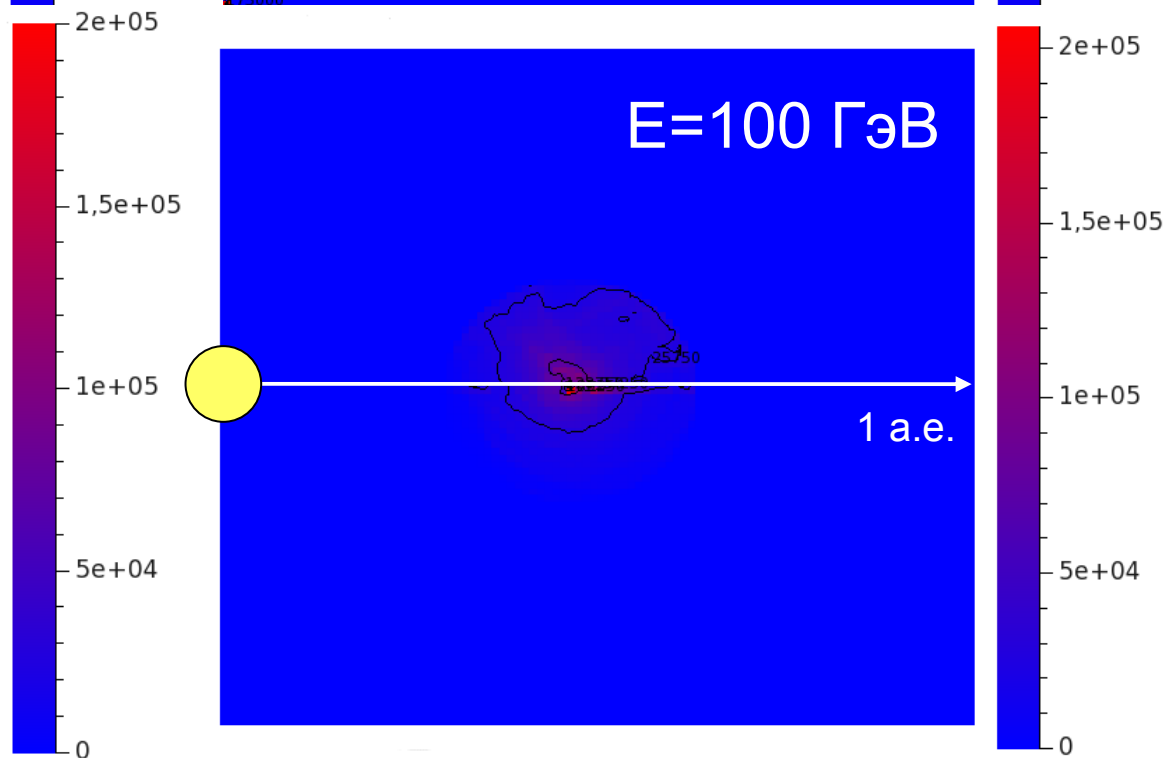


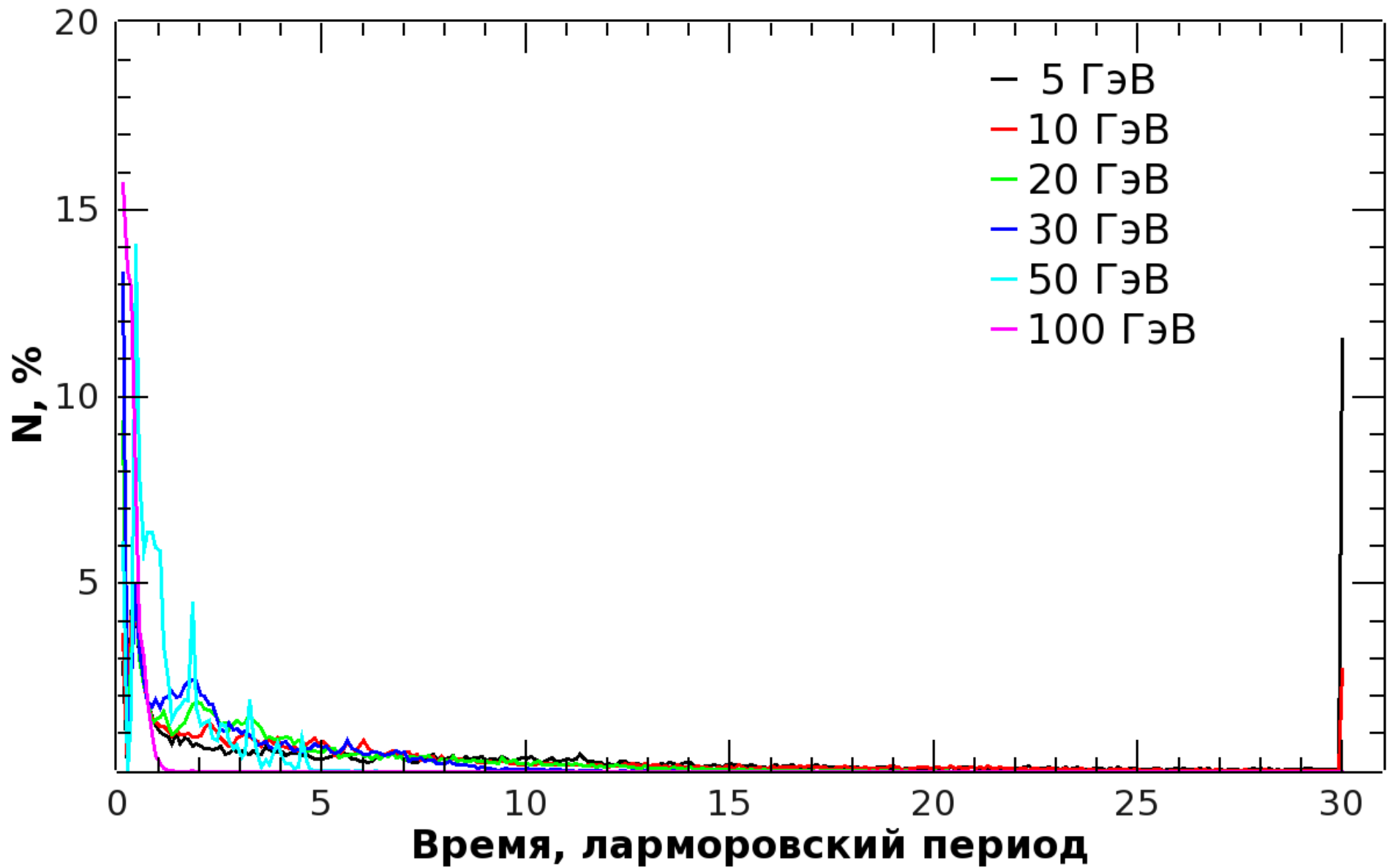
$E=100 \Gamma_{\text{эВ}}$



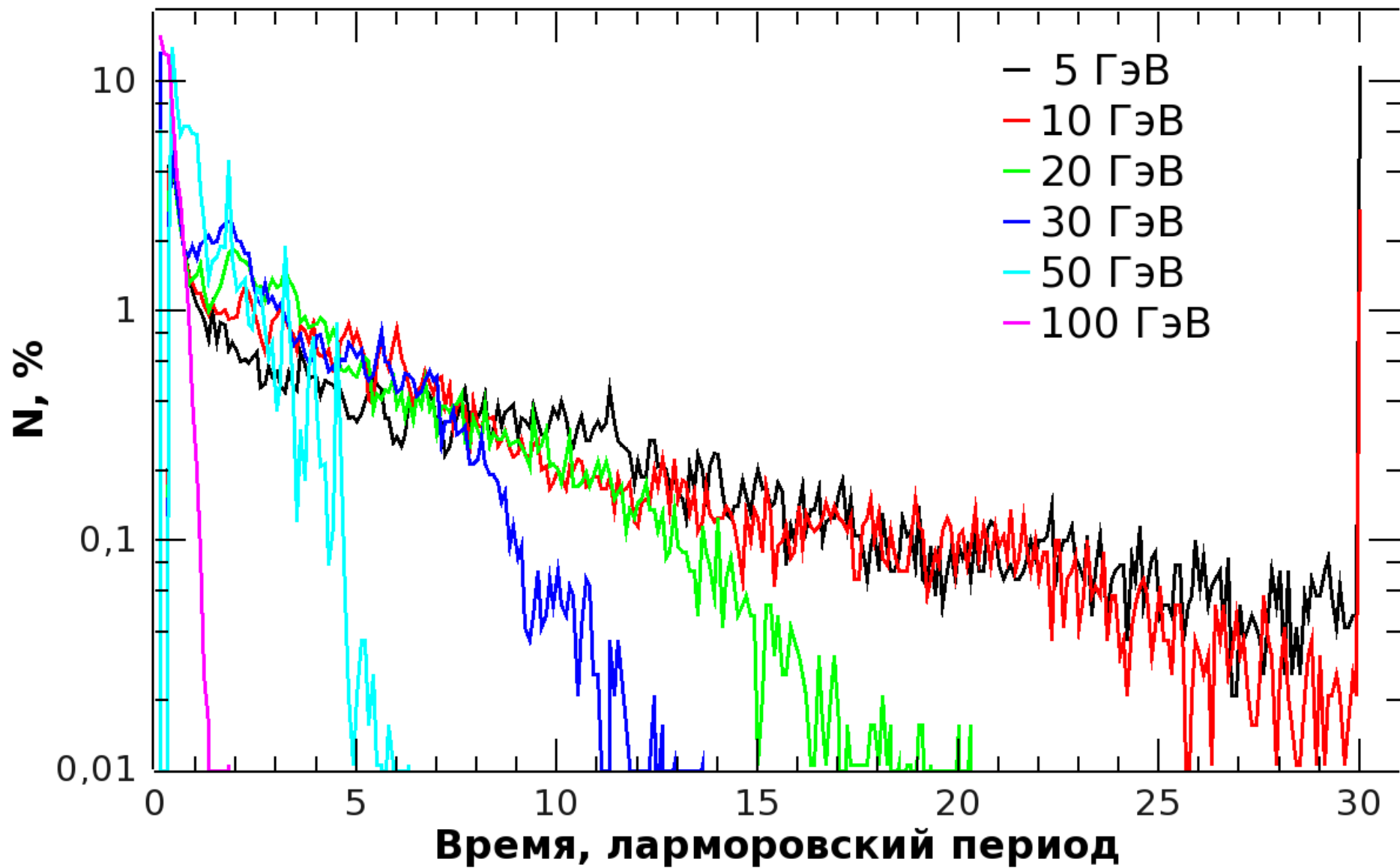
1 a.e.

75000





Время которое частицы находятся внутри тора



Заключение

Расчеты показали, что пространственное распределение частиц внутри магнитного облака сильно неоднородно. Частицы с энергиями 5-20 ГэВ в поперечном сечении тора располагаются вблизи внешней границы. Занимаемая ими область ограничена радиусом поперечного сечения 0.9-1. При увеличении энергии эта область увеличивается. Для энергий порядка 50-100 ГэВ магнитное облако заполнено практически равномерно.

Частицы с энергиями 5-10 ГэВ могут находиться внутри магнитного облака значительное время, более 30 ларморовских периодов. Время нахождения внутри тора частиц с большими энергиями значительно меньше. При таком времени уменьшение относительной амплитуды интенсивности космических лучей за счет адиабатических потерь энергии составляет порядка 10^{-5} .

Эти выводы не согласуются с экспериментальными данными: 1) космические лучи заполняют магнитное облако полностью, и градиент плотности невелик; 2) уменьшение относительной амплитуды интенсивности космических лучей за счет адиабатических потерь должно быть порядка 10^{-2} .

Отсюда следует, что существенным элементом формирования Форбуш эффекта является рассеяние космических лучей во внутренней области магнитного облака.

***Благодарю за
внимание!!!***

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта
«Научно-образовательного фонда поддержки молодых ученых
Республики Саха (Якутия) № 2014-01-0018*