

Моделирование регистрации электронов и позитронов высоких энергий по их синхротронному излучению в магнитном поле Земли

А. П. Стужин,^{*} В. В. Михайлов[†]

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31

(Поступила в редакцию 31.05.2023; подписана в печать 02.11.2023)

В эксперименте PAMELA был впервые обнаружен аномальный эффект, заключающийся в росте доли позитронов в суммарном электрон-позитронном потоке галактических космических лучей при энергиях выше ~ 10 ГэВ. В эксперименте AMS-02 поток позитронов был продлен до ТэВной области энергий. Эти измерения подтвердили необычное поведение спектра позитронов при высоких энергиях. На данный момент активно обсуждаются различные теории образования и ускорения позитронов до таких энергий. Для проверки этих теоретических моделей необходимо провести независимые измерения потоков позитронов и электронов с энергиями ~ 1 ТэВ и выше. В настоящей работе мы исследовали применимость методики регистрации позитронов и электронов в ТэВном диапазоне энергий с помощью их синхротронного излучения в магнитном поле Земли. Было проведено моделирование детектирования позитронов и электронов с использованием данной методики на различных орбитах и широтах. Показано, что полярные области обеспечивают большую эффективность регистрации. На основании современных данных о суммарном электрон-позитронном потоке космических лучей в ТэВном диапазоне энергий получено, что высокоширотная орбита планируемой Российской орбитальной служебной станции РОСС обеспечивает лучшую статистику, по сравнению с Международной космической станцией. Проанализированы калибровочные зависимости, позволяющие восстанавливать энергию заряженных частиц по регистрации их синхротронных фотонов.

PACS: 96.50.s-, 95.55.Vj

УДК: 524.1.

Ключевые слова: космические лучи, позитроны высоких энергий, синхротронное излучение, избыток позитронов, моделирование Монте-Карло, регистрация позитронов.

ВВЕДЕНИЕ

Считается, что позитроны, регистрируемые в околоземном космическом пространстве, являются вторичными частицами и рождаются в результате взаимодействия высокоэнергетичных ядер галактических космических лучей (ГКЛ) с межзвездной средой. Модели, основанные на данном механизме, предсказывают уменьшение доли позитронов в суммарном электрон-позитронном потоке ГКЛ с ростом энергии частиц [1]. Данные о доле позитронов в области энергий 1.5–100 ГэВ с высокой статистикой были впервые получены в эксперименте PAMELA [2]. Главным результатом стало обнаружение аномального поведения доли позитронов с ростом энергии по сравнению с вторичным механизмом рождения (рис. 1). Расхождение с предыдущими экспериментами и теоретическими расчетами наблюдалось в областях энергий ниже 5 ГэВ и выше 10 ГэВ. При низких энергиях измерения PAMELA систематически ниже, а начиная с 10 ГэВ существует резкое увеличение доли позитронов с ростом энергии. Позднее, в эксперименте AMS-02, измерения потока позитронов продвинулись до энергий ~ 1 ТэВ. Полученные результаты подтвердили аномальный эффект PAMELA. Спектр позитронов имеет сложную структуру

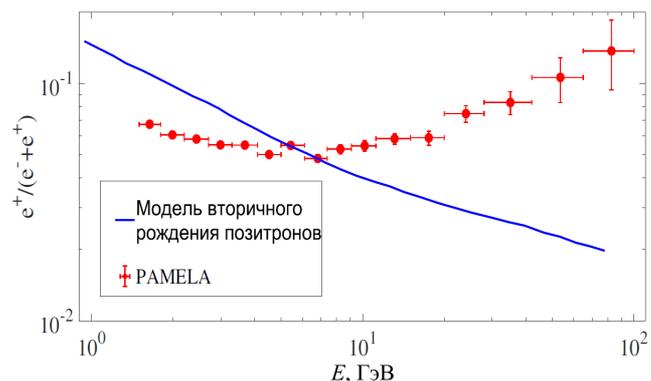


Рис. 1. Доля позитронов, полученная в эксперименте PAMELA в сравнении с моделью вторичного рождения (синяя сплошная линия)

ру с следующими особенностями: значительный избыток позитронов начиная с энергий ~ 25 ГэВ по сравнению с более низкими энергиями, а также резкий спад выше ~ 284 ГэВ. Такая форма спектра может быть описана моделью, учитывающей как механизмы вторичного рождения, так и источники первичных позитронов. Поток позитронов можно представить как сумму диффузионного слагаемого, отвечающего за образование позитронов при взаимодействии космических лучей в межзвездном пространстве, и слагаемого, отвечающего за дополнительные источники позитронов, которое преобладает при высоких энергиях (рис. 2) [3].

* sap014@campus.mephi.ru

† vvmikhajlov@mephi.ru

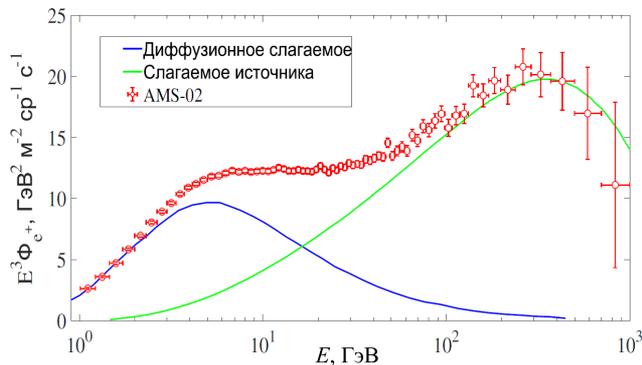


Рис. 2. Поток позитронов измеренный AMS-02

Вопрос о возможных источниках высокоэнергичных позитронов активно обсуждается с момента первых результатов PAMELA. Глобально выделяют два типа моделей: связанные с астрофизическими источниками и основанные на аннигиляции или распаде частиц темной материи (ТМ).

К основным астрофизическим источникам относят остатки сверхновых и пульсары. Также существуют более экзотические теории, которые основаны на карликовых звездах [4].

Остаток сверхновой может являться источником вторичных позитронов, которые впоследствии могут ускориться в его объеме до того, как покинут его. Однако, такой механизм не является уникальным для позитронов. Ядерная компонента космических лучей также может быть ускорена, что должно привести к значительному росту отношений вторичных и первичных элементов [5, 6].

На рис. 3 представлены примеры различных моделей и их комбинаций. Пульсарные модели образования позитронов высоких энергий предполагают существование резких спектральных особенностей, связанных с различными характеристиками пульсаров. В частности, молодые пульсары могут вносить большой вклад в структуру спектра при энергиях более ~ 50 ГэВ [7, 8]. AMS-02 наблюдает спад доли позитронов при энергии ~ 500 ГэВ. В рамках пульсарной модели это может быть связано с уменьшением числа потенциальных источников (пульсаров). Различные модели ТМ тоже могут объяснить обрыв спектра [8, 9]. Это связано со свойствами (например, массой) предполагаемых частиц ТМ. Однако эти модели не предсказывают тонких спектральных особенностей.

Измерение и исследование спектральных особенностей на границе ГэВ-ого и в ТэВ-ном диапазоне энергий может позволить определить вклад в избыток позитронов от различных источников и разделить существующие гипотезы. Современные эксперименты по регистрации космических лучей, такие как AMS-02, CALET или DAMPE, не способны обеспечить необходимую статистическую достоверность эксперименталь-

ных данных об отдельных потоках позитронов и электронов таких высоких энергий. В частности, магнитоспектрометрические методы требуют использования сверхсильных, а следовательно, тяжелых и больших магнитов, что приводит к различного рода техническим и конструкционным трудностям.

В работе [10] предложено регистрировать электроны в ГэВ-ом диапазоне энергий с помощью регистрации их синхротронного излучения при движении по искривленной траектории в геомагнитном поле. Такая методика использует Землю в качестве магнитного спектрометра и может позволить зарегистрировать электроны и позитроны не только ГэВ-х энергий, но и с энергиями в десятки ТэВ.

Одна из первых попыток реализации данной техники регистрации для измерения потока электронов была предпринята в баллонном эксперименте CREST в Антарктике в 2011–2012 гг. [11]. Эксперимент продемонстрировал неэффективность этого способа для баллонных и наземных расположений из-за высокого уровня фона. В результате была получена только верхняя граница на поток электронов.

Позднее, в 2016 г., в МИФИ был предложен космический эксперимент СОНЯ [12]. Предполагается расположение детектора на околоземной орбите и одновременная регистрация электронов/позитронов и их синхротронных фотонов, испущенных в геомагнитном поле. Такой эксперимент, в отличие от CREST, позволит определять знак заряженной частицы и разделять позитронные и электронные события.

В настоящей работе мы моделировали потоки позитронов и электронов в ТэВ-ом диапазоне и их регистрацию детектором, основанным на данном методе. Целью является оценка предполагаемого темпа счета с использованием данных экспериментов CALET, DAMPE и FERMI о суммарном электрон-позитронном потоке. Были исследованы возможные орбитальные расположения детектора на орбите международной космической станции (МКС) с наклоном 51.6° и на орбите планируемой высокоширотной Российской орбитальной служебной станции (РОСС) с наклоном $96^\circ-97^\circ$.

Также мы провели сравнение эффективностей регистрации высокоэнергетичных позитронов и электронов для полярных и экваториальных областей Земли и получили калибровочные зависимости для косвенного восстановления энергии частиц по регистрации синхротронных фотонов, испущенных ими.

1. МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ

Методика регистрации основана на использовании синхротронного излучения электронов и позитронов при их криволинейном движении в магнитном поле Земли. Максимальное угловое отклонение направления испускания синхротронного излучения от вектора скорости заряженной частицы описывается выражени-

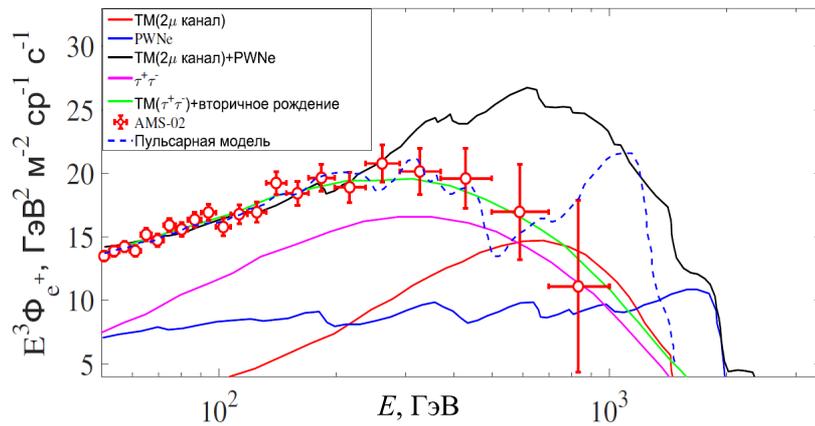


Рис. 3. Данные AMS-02 в сравнении с различными моделями источников первичных позитронов. Красным и пурпурным цветом показаны модели ТМ, основанные на 2μ и $\tau^+\tau^-$ канале соответственно. Синяя пунктирная и сплошная линия демонстрируют пульсарную модель и модель пульсарного ветра (PWNe) соответственно. Зеленая линия обозначает суммарный вклад от ТМ($\tau^+\tau^-$) и вторичного рождения. Черная сплошная линия показывает комбинацию модели PWNe с ТМ(2μ)

ем:

$$\theta = \frac{1}{\gamma} = \frac{mc^2}{E}, \tag{1}$$

где γ , mc^2 и E — Лоренц-фактор, масса и полная энергия частицы соответственно;

Согласно формуле (1) угол раствора конуса испускания синхротронного излучения $\theta_{e^+/e^-} \ll 1$ и на несколько порядков меньше, чем для протонов, ядер гелия и других более тяжелых компонент космических лучей. Таким образом направленность испускания синхротронных фотонов для позитронов и электронов ТэВ-х энергий значительно выше, чем для других частиц.

Принципиальная схема регистрации приведена на рис. 4. Детектор включает в себя две части: детектор синхротронного излучения (synchrotron radiation detector, SRD) и электромагнитный калориметр (electromagnetic calorimeter, ECAL), которые связаны друг с другом с помощью триггерной системы. Высокая степень направленности синхротронного излучения вдоль вектора скорости позитрона или электрона приводит к малому разбросу частиц относительно идеальной прямой в плоскости SRD. Такие события будем называть линейными. Естественный гамма-фон, а также фотоны от более тяжелых частиц и ядер, напротив, будут иметь случайное расположение без выраженной линейной или другой зависимости.

Позитрон или электрон, попадая в калориметр, вызовут в нем энерговыделение, за которым на SRD последует триггерный сигнал. В ответ на этот сигнал по SRD устанавливается наличие или отсутствие линейных событий. Используя для сигналов с калориметра и SRD схему совпадений с определенным разрешающим временем можно отделить позитроны и электроны от других частиц. Кроме того, применяя позиционно-чувствительный ECAL и зная точку регистрации ча-

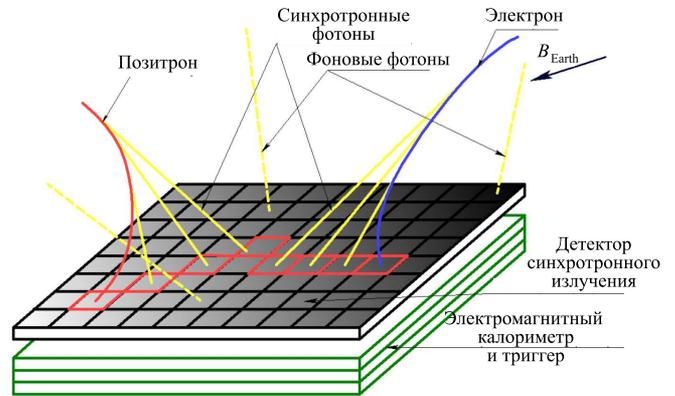


Рис. 4. Принципиальная схема детектора

стицы, можно разделить электронные и позитронные события. Это связано с тем, что синхротронные фотоны от электронов и позитронов, движущихся в одном и том же магнитном поле, должны иметь различные расположения.

Минимальное количество зарегистрированных синхротронных фотонов, необходимое для идентификации электронного или позитронного события, будем называть числом фотонов обрезания N_{cut} . Если число фотонов меньше N_{cut} , то событие относится к фоновому. Значение N_{cut} выбирается экспериментатором, однако оно не может быть меньше 2, чтобы было возможно установить линейное событие.

Таким образом, для независимого измерения потоков электронов и позитронов размеры детектора должны позволять регистрировать саму частицу и не менее двух синхротронных фотонов, испущенных ей.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для изучения возможности регистрации позитронов и электронов в ТэВ-м диапазоне энергий с помощью их синхротронного излучения было проведено моделирование Монте-Карло. Мы моделировали движение самих частиц в магнитном поле Земли, процесс испускания и попадания в детектор синхротронных фотонов, соответствующих им, а также проводили отбор зарегистрированных частиц, исходя из числа обрезания фотонов N_{cut} . На рис. 5 приведена блок-схема моделирования.

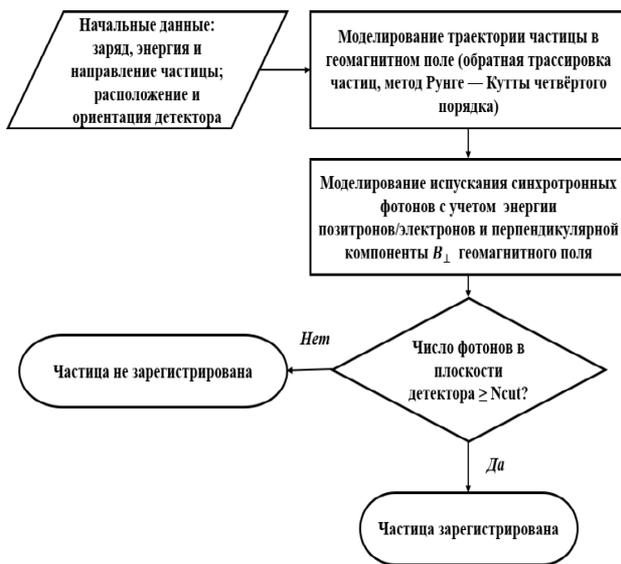


Рис. 5. Блок-схема моделирования

Моделирование энергетического спектра синхротронных фотонов

Спектр синхротронных фотонов, испускаемых электроном или позитроном с энергией E_0 ТэВ в магнитном поле B_{\perp} Гс, описывается формулой [13]:

$$\frac{dN_{\gamma}(E_{\gamma})}{dE_{\gamma}} = \frac{3.53 \times 10^5}{E_{\gamma}} \times F\left(\frac{E_{\gamma}}{E_c}\right), \quad (2)$$

где $F\left(\frac{E_{\gamma}}{E_c}\right) = \frac{E_{\gamma}}{E_c} \int_{E_{\gamma}/E_c}^{\infty} K_{5/3}(\chi) d\chi$; $E_c = 6.56 \times 10^{-2} B_{\perp} E_0^2$ МэВ; $K_{5/3}$ — функция Бесселя второго типа.

Примеры энергетического распределения фотонов для позитронов различных энергий, полученные в процессе моделирования, приведены на рис. 6. Видно, что синхротронные фотоны испускаются преимущественно в рентгеновской энергетической области. С ростом энергии позитрона, спектр значительно уширяется.

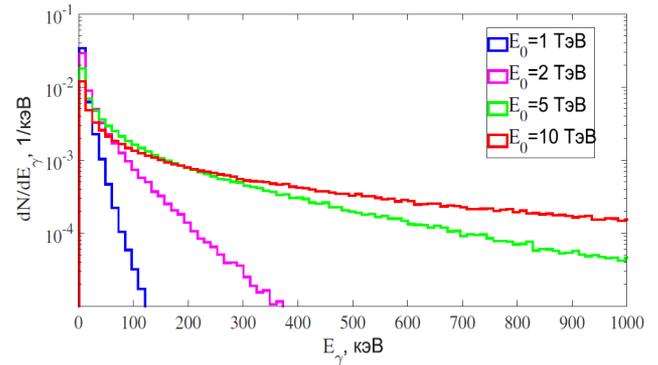


Рис. 6. Энергетический спектр синхротронных фотонов. Трассировка позитронов от высоты 400 до 1000 км на орбите с наклоном 51.6°

Моделирование частоты испускания фотонов

Средняя длина пробега позитрона или электрона между двумя последовательными испусканиями фотона дается формулой [10]:

$$l = \frac{1.6 \times 10^5}{H} \text{ см}, \quad (3)$$

где H — напряженность магнитного поля в Гауссах.

На основании приведенной формулы разыгрывается случайная величина свободного пробега l . В процессе пошаговой обработки траектории заряженной частицы, пройденный ею путь d сравнивается с длиной свободного пробега l . Точки траектории, в которых $d > l$, считаются координатами испускания фотона.

После определения точки испускания фотона, на основании энергетического распределения (2) и углового распределения внутри конуса с углом раствора, определяемым формулой (1), моделируются энергия и направление вылета синхротронного фотона.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Приведенные далее результаты были получены в ходе моделирования изотропных потоков позитронов и электронов. Высота расположения детектора принималась равной 400 км над Землей, а его площадь 2×2 м². Эффективность регистрации синхротронных фотонов грубо бралась равной 80%. Плоскость детектора имеет матричную структуру.

Эффективность регистрации

Моделирование проводилось для стационарных расположений детектора на широтах 0° и 90° . Угловые распределения зарегистрированных позитронов с энергиями 6 ТэВ для различных N_{cut} приведены на рис. 7.

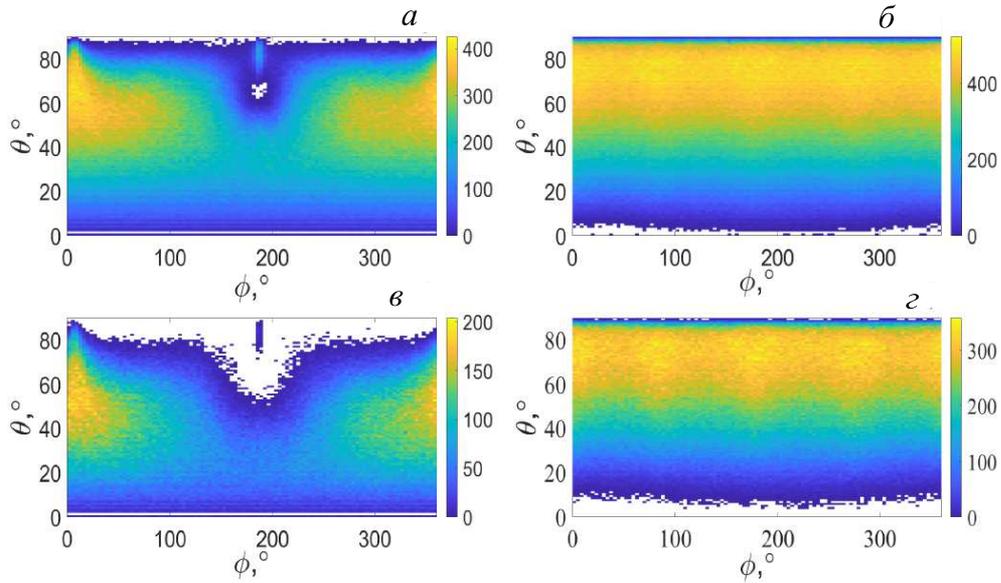


Рис. 7. Угловые распределения зарегистрированных позитронов. Панель *a* — экватор, $N_{cut} = 3$. Панель *б* — полюс, $N_{cut} = 3$. Панель *в* — экватор, $N_{cut} = 5$. Панель *г* — полюс, $N_{cut} = 5$

Азимутальный и зенитный углы отсчитываются в локальной системе детектора.

На рис. 8 показаны распределения синхротронных фотонов от электронов (*a*) и от позитронов (*б*) в плоскости детектора 100×100 пикселей.

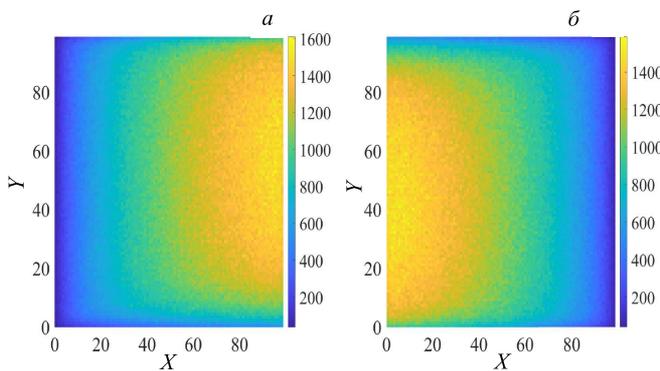


Рис. 8. Распределения синхротронных фотонов в плоскости детектора для электронных (*a*) и позитронных (*б*) событий. По осям отложены номера пикселей матричной структуры детектора

Оценена эффективность регистрации позитронов и электронов в экваториальной и полярной области. На рис. 9 показана полученная зависимость эффективности от энергии для различных энергетических диапазонов регистрации синхротронных фотонов. Нижний порог регистрации брался фиксированным и равным 1 кэВ. Погрешности не обозначены вследствие их малости. Эффективности регистрации электронов не имеют значимых отличий от эффективностей позитронов.

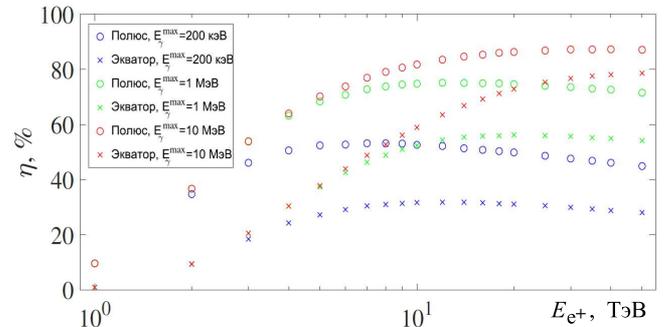


Рис. 9. Энергетические зависимости эффективности регистрации позитронов

Восстановление энергии позитронов

Для исследования возможности восстановления энергии позитронов по энергиям их синхротронных фотонов проведено моделирование изотропных потоков на орбите МКС с наклоном 51.6° высотой 400 км. Бралось 12 равноудаленных друг от друга расположений на орбите. Зависимости средней энергии синхротронных фотонов от энергии позитронов приведены на рис. 10. Расчет проводился для постоянного нижнего порога регистрации фотонов 1 кэВ. Верхний порог регистрации варьировался от 200 кэВ до 100 МэВ.

Темп счета

Современные эксперименты по регистрации космических лучей не позволяют измерять потоки позитро-

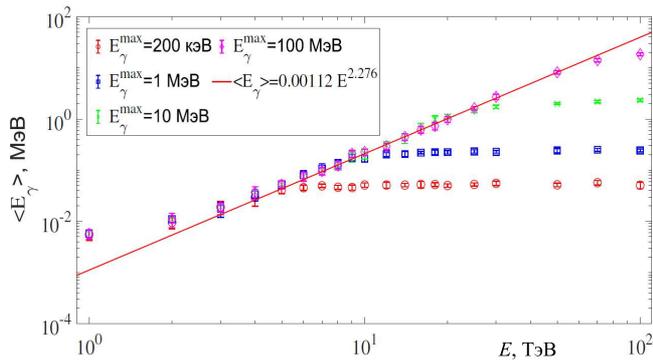


Рис. 10. Калибровочные зависимости средней энергии синхротронных фотонов от энергии позитронов. Регистрация не менее $N_{cut} = 3$ фотонов

нов и электронов по отдельности. Для оценки ожидаемого темпа счета детектора использовались данные экспериментов CALET, DAMPE и FERMI о суммарном электрон-позитронном потоке ГКЛ [14–16]. Расчет геометрического фактора детектора с прямоугольной геометрией и расстоянием между SRD и ECAL равным 15 см проводился по формулам из работы [17].

Полученные в результате моделирования интегральные годовые темпы счета детектора для орбиты МКС и РОСС, представлены на рис. 11.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в настоящей работе результаты показывают возможность использования синхротронного излучения позитронов и электронов в магнитном поле Земли для их регистрации в ТэВ-м диапазоне энергий.

Сравнение экваториального и полярного стационарного положения детектора на высоте 400 км позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, при расположении на экваторе существуют выделенные направления, при которых число зарегистрированных позитронов наибольшее. На рис. 7, а и в видно, что увеличение параметра N_{cut} приводит к уменьшению этих угловых областей. Такое поведение связано с тем, что вероятность регистрации позитрона зависит от числа испущенных и попавших в плоскость детектора синхротронных фотонов. Длина пробега и количество рожденных синхротронных фотонов зависит от величины перпендикулярной составляющей магнитного поля согласно формуле (3). С другой стороны, с ростом индукции магнитного поля увеличивается кривизна траектории, а следовательно и разлет фотонов. Это означает меньшую вероятность набрать необходимое число фотонов $N \geq N_{cut}$. Вклад каждого из этих факторов приводит к такой необычной структуре углового распределения.

Полярное положение детектора отличается отсутствием ярко выраженной зависимости вероятности ре-

гистрации от азимутального угла ϕ (рис. 7, б, з). Это связано с симметричной структурой магнитного поля. Наибольшее число частиц регистрируется в области зенитных углов 60° – 80° . Для меньших θ частота испускания фотонов уменьшается вместе с величиной перпендикулярной составляющей геомагнитного поля. При очень больших значениях зенитного угла ($\theta > 80^\circ$) большой вклад в вероятность регистрации вносит разлет фотонов, который растет с увеличением магнитного поля.

Схема эксперимента СОНЯ (рис. 4), позволяет определять не только точки регистрации синхротронных фотонов, но и координаты родительской частицы, испустившей их. Это дает возможность разделять позитроны и электроны по взаимному расположению испущенных ими фотонов. На рис. 8 видно, что фотоны от позитронных и электронных событий имеют противоположные преимущественные точки регистрации в плоскости детектора. Такой эксперимент, в отличие от CREST, дает возможность независимо измерять потоки позитронов и электронов.

Эффективность регистрации при полярном положении выше, чем для экваториального (рис. 9). Также видно, что начиная с некоторой энергии, эффективность регистрации достигает максимума, а при дальнейшем росте энергии начинает медленно спадать. Это наиболее ярко выражено для узкого энергетического диапазона регистрации фотонов 1–200 кэВ. Уменьшение связано с уширением спектра синхротронных фотонов для больших энергий заряженной частицы (рис. 6).

Эксперимент СОНЯ предполагает два способа измерения энергии позитронов и электронов: с помощью электромагнитного калориметра и путем измерения энергии синхротронных фотонов. Для определения применимости второго способа мы провели калибровку детектора на основании моделирования. На рис. 10 хорошо видно, что энергетический диапазон, в котором существует связь энергии позитронов и их фотонов, зависит от верхнего и нижнего порога регистрации синхротронного излучения. Для наиболее широкого диапазона 1 кэВ–100 МэВ определена калибровочная зависимость $\langle E_\gamma \rangle = 0.00112 \cdot E^{2.276}$. Видно, что чем ниже E_γ^{\max} , тем раньше наступает насыщение детектора и определение энергии позитронов по фотонам становится невозможным.

Регистрация синхротронных фотонов в энергетическом диапазоне 1 кэВ–100 МэВ является труднодостижимой целью. Однако на практике, детектирование фотонов в столь широком диапазоне энергий не является необходимым. Из рис. 10 ясно, что для измерения потоков позитронов и электронов с энергиями ≤ 30 ТэВ достаточно фиксировать фотоны в области 1 кэВ–10 МэВ при независимой работе SRD. Также SRD может быть объединен с массивным калориметром, например HERO [18], с массой более 10 тонн, который может позволить регистрировать как синхротронные фотоны с энергиями бо-

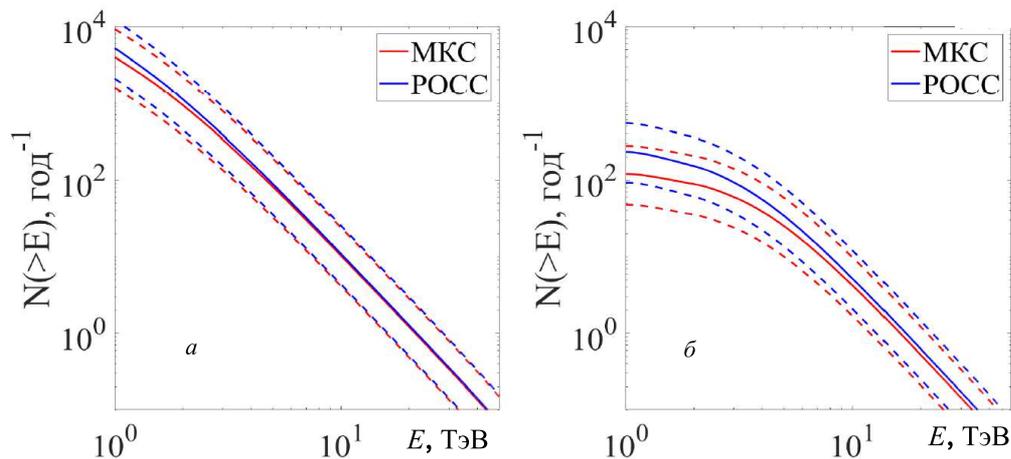


Рис. 11. Энергетическая зависимость ожидаемого интегрального годового темпа счета детектора. Мы приняли $N_{cut} = 2$ (а) и $N_{cut} = 5$ (б). Геометрический фактор $G = 10 \text{ м}^2\text{ср}$. Диапазон регистрации фотонов 1 кэВ–1 МэВ. Области погрешностей показывают пунктирные линии соответствующих цветов

лее 10 МэВ, так и непосредственно определять энергии позитронов и электронов. Дальнейшее детальное рассмотрение энергетических диапазонов детекторов требует построения их компьютерных моделей в программной среде Geant4.

Мы провели оценки темпа счета для орбит МКС и РОСС на высоте 400 км. Орбита планируемой РОСС обеспечивает больший темп счета по сравнению с МКС (рис. 11). Это связано с наклоном: 51.6° для МКС и 96° для РОСС. Согласно рассчитанным нами эффективностям высокоширотные орбиты являются более выгодными. Выбор меньшего значения N_{cut} также увеличивает ожидаемую статистику, однако, при малом числе зарегистрированных фотонов сложнее отличить истинные события от фоновых.

В нашем моделировании мы не учитывали естественный гамма-фон. Фоновые условия на полярных орбитах могут уменьшать эффективность регистрации. Однако, техника эксперимента СОНЯ имеет различные параметры, которые позволяют уменьшать фон. В частности, варьируя разрешающее время между сигналами с ECAL и SRD, а также повышая параметр N_{cut} , можно улучшить эффективность отбора истинных событий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе проведено моделирование детектирования позитронов и электронов в ТэВ-м диапазоне

энергий по регистрации их синхротронных фотонов в магнитном поле Земли.

Мы сравнили эффективности регистрации для полярной и экваториальной области Земли и оценили предполагаемый темп счета для орбит МКС и РОСС. Показано, что высокоширотная орбита РОСС обеспечивает большую статистику.

Также была исследована возможность определения энергии позитронов по энергии их синхротронных фотонов. Определено, что диапазон доступных к восстановлению энергий позитронов больше для более широкого энергетического диапазона регистрации фотонов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что методика регистрации позитронов и электронов с помощью их синхротронного излучения в магнитном поле Земли может применяться для измерения их спектров в ТэВ-й энергетической области на околоземных орбитах.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект «Фундаментальные и прикладные исследования космических лучей» № FSWU2023-0068.

[1] Moskalenko I.V., Strong A.W. et al. // *Astrophys.J.* **458**. 694 (1998).
[2] Adriani O., Barbarino G.C., Bazilevskaya G.A. et al. //

Nature. **458**. 2 April (2009).
[3] Aguilar M., Cavasonza L. Ali, Ambrosi G. et al. // *Phys Rev Lett.* **122**, №4. (2019).

- [4] Стожков Ю.И. // Изв. РАН. **75**. № 3. 352. (2011).
[5] Cholis I., Hooper D. // Phys. Rev. D. **89**, N 4. (2014).
[6] Cholis I., Hooper D., Linden T. // Phys. Rev. D. **95**. N 12. (2017).
[7] Cholis I., Hooper Th. // Phys. Rev. D. **107**, N 6. (2023).
[8] Yu-Chen Ding, Nan Li, Chun-Cheng Wei et al. // Phys. Rev. D. **103**. N 11. (2021).
[9] Haoxiang Zhan // arXiv:2305.01992 [astro-ph.HE]
[10] Прилутский О.Ф. // Письма в ЖЭТФ. **16**. № 6. 452. (1972).
[11] Bower C., Coutu S., Gennaro J. et al. // Proceedings of Science. **415**. (2015).
[12] A.M. Galper, S.V. Koldashov, V.V. Mikhailov, Prilutskii O.F. // JPCS. **798**, N 1. (2017).
[13] Stephens S.A., Balasubrahmanya V.K. // JGR. **88**, N A10. 7811 (1983).
[14] Adriani O. et al. // Phys Rev Lett. **120**. (2018).
[15] Ambrosi G. et al. // Nature. **552**. (2017).
[16] Abdollahi S. et al. // Phys. Rev. D. **95**. (2017).
[17] Thomas G.R., Willis D.M. // J. Phys. E: Sci. Instrum. **5**, N 3. 260. (1972).
[18] Turundaevskiy A., Bakaldin A., Karmanov D. et al. // Proceedings of Science. **301** (2017).

Modeling of registration of high-energy electrons and positrons by means of their synchrotron radiation in the Earth's magnetic field

A. P. Stuzhin^a, V. V. Mikhailov^b

*Department 7 of Experimental nuclear physics and cosmophysics, National Research Nuclear University MEPhI
Moscow, 115409, Russia*

E-mail: ^asap014@campus.mephi.ru, ^bvvmikhajlov@mephi.ru

In the PAMELA experiment, the anomalous effect of increasing the positron fraction in the total electron-positron flux of galactic cosmic rays at energies above ~ 10 GeV was found for the first time. In the AMS-02 experiment, the positron flux was extended to the TeV region of energies. These measurements confirmed the unusual positron spectrum behavior at high energies. At the moment, various theories of production and acceleration of positrons to such energies are actively discussed. To test these theoretical models, independent measurements of positron and electron fluxes at energies ~ 1 TeV and above are necessary. In the present work we studied the applicability of the technique for detecting positrons and electrons in the TeV energy range by means of their synchrotron radiation in the Earth's magnetic field. We simulated the detection of positrons and electrons using this technique at different orbits and latitudes. It was shown that polar regions provide greater detection efficiency. Based on current data on the total electron-positron flux of cosmic rays in the TeV energy range, it was obtained that the high-latitude orbit of the planned Russian Orbital Service Station provides greater statistics than that of the International Space Station. The calibration dependences allowing to reconstruct the energies of charged particles from their synchrotron photon registration are analyzed.

PACS: 96.50.s-, 95.55.Vj.

Keywords: cosmic rays, high-energy positrons, synchrotron radiation, positron excess, Monte-Carlo simulation, positron registration.

Received 31 May 2023.

Сведения об авторах

1. Стужин Александр Павлович — студент; e-mail: sap014@campus.mephi.ru.
2. Михайлов Владимир Владимирович — доктор физ.-мат. наук, профессор; e-mail: vvmikhajlov@mephi.ru.