



Детектор для регистрации высокоэнергетических электронов и позитронов на основе измерения синхротронного излучения в магнитном поле Земли

Выполнили: Чумаков С.В. и Сизов Г.Н. (город Москва, университетский лицей № 1511 предвуниверситария НИЯУ МИФИ, 11 класс.)

Научный руководитель: В.В. Михайлов, д.ф.м.н., профессор НИЯУ МИФИ.

Цель работы: Определение параметров детектора для регистрации высокоэнергетических электронов и позитронов на основе измерения синхротронного излучения в магнитном поле Земли.

Введение.

В 1972 году в работе [1] предложено изучать космическое излучение при помощи детектора, который будет обнаруживать электроны и позитроны по их синхротронному излучению, которое они испускают, двигаясь по траекториям, искривленным магнитным полем Земли (рис.1). В проекте произведена количественная оценка параметров такого детектора

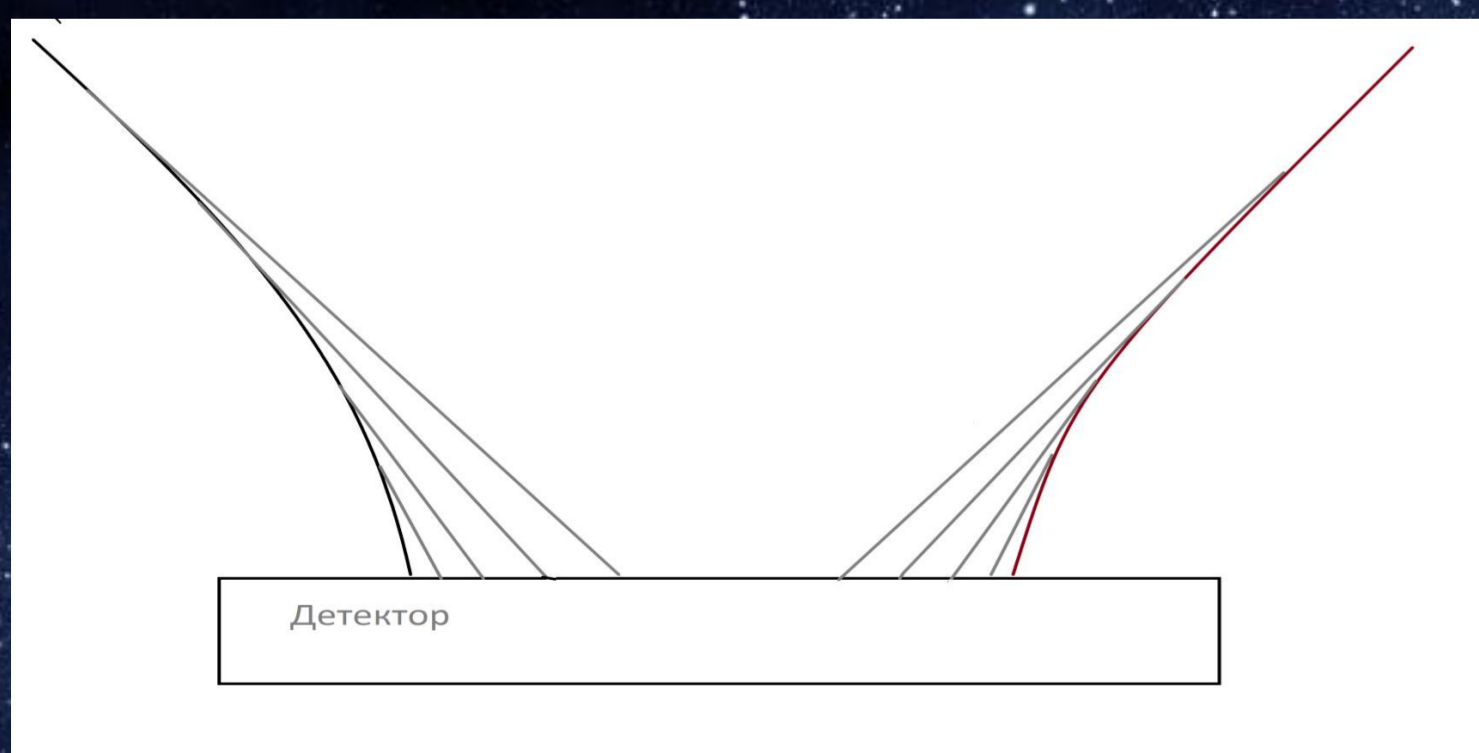
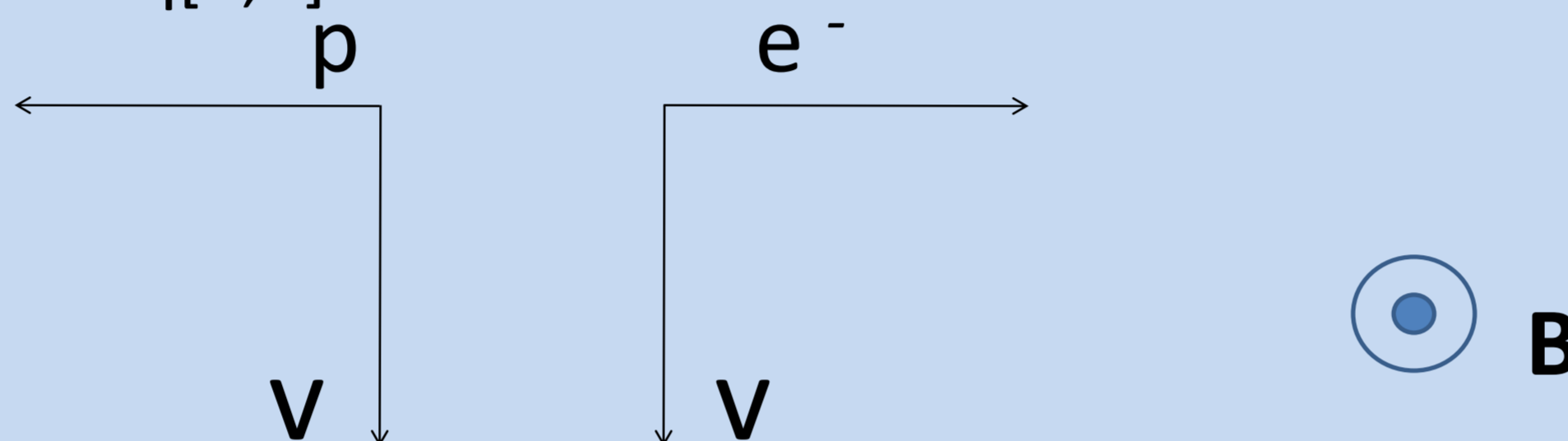


Рис.1 модель детектора

Движение заряженных частиц в магнитном поле Земли.

Траектории позитронов и электронов, движущихся в магнитном поле Земли, искривляются под действием силы Лоренца. $F_l = q[V; B]$.



Синхротронное (магнитнотормозное) излучение — электромагнитное излучение, испускаемое заряженными частицами, движущимися с релятивистскими скоростями по траекториям, искривленным магнитным полем.

$$\langle E_\gamma \rangle = \frac{4}{5\sqrt{3}} \frac{\hbar e H}{mc} \left(\frac{E_e}{mc^2} \right)^2 = 6E_e^2 (\text{TeV}) \text{keV for } H = 0.3 \text{ G.}$$

$$l = \frac{6}{5\sqrt{3}} \frac{\hbar c}{e^2} \frac{mc^2}{eH} = \frac{1,6 \cdot 10^5 \text{ cm}}{H (\text{G})}$$

$\langle E \rangle$ средняя энергия фотонов

l - средняя длина пробега до излучения [1]

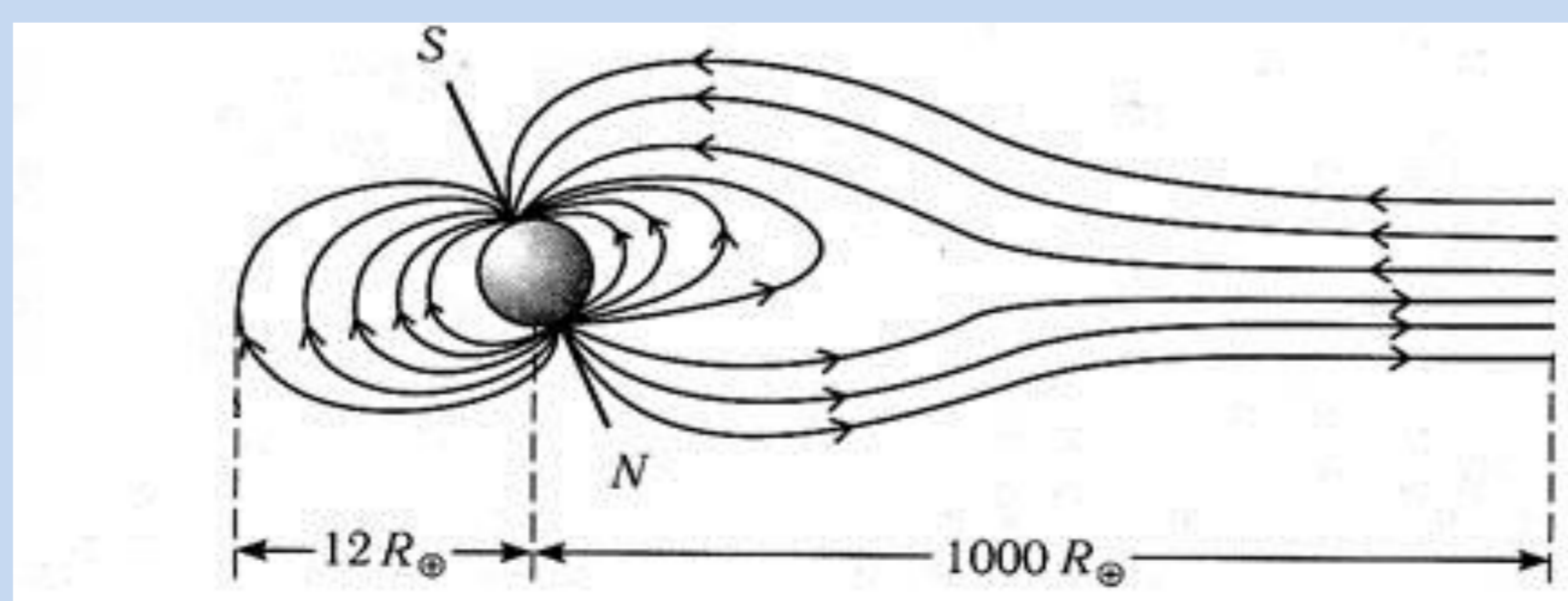
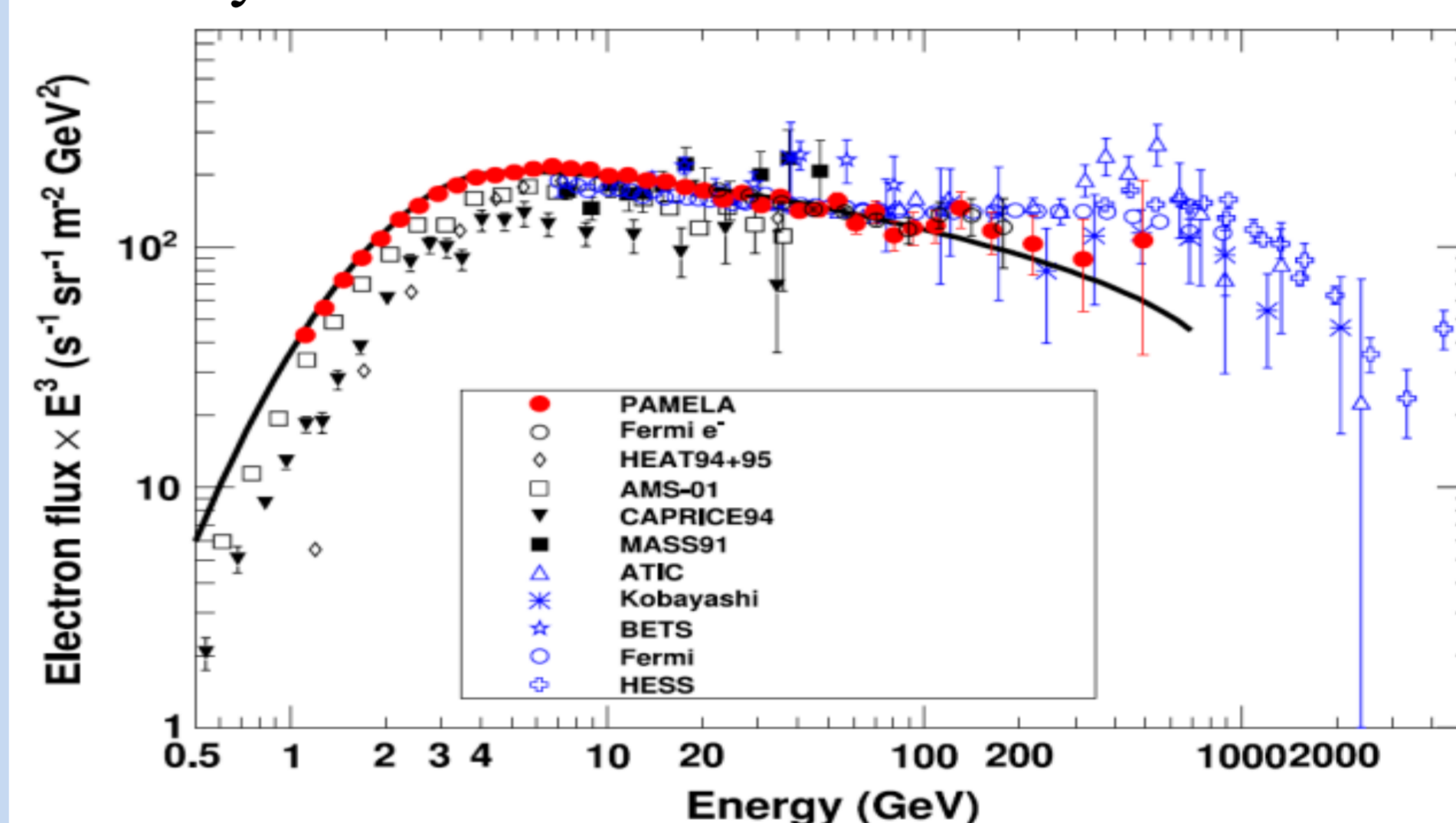


Рис.2. магнитное поле Земли

Актуальность данной работы обусловлена тем, что современные детекторы не эффективны при поиске электронов и позитронов с энергиями выше 1 ТэВ, и потому такие частицы остаются практически неизученными.



Также исследование высокоэнергетического спектра электронов и позитронов позволит определить источники электронно-позитронной компоненты космических лучей и процессы их распространения в космической среде. Необходимо отметить большой интерес научного сообщества к проблеме возрастания доли позитронов в суммарном потоке электронов высоких энергий в эксперименте "ПАМЕЛА" [2]. Разрабатываемый детектор может помочь вывести зависимость отношения позитронов к суммарному потоку электронов и позитронов при сверхвысоких энергиях..

О детекторе.

Предлагается установить на стационарной орбите на высоте 400 км от поверхности Земли квадратный плоский детектор, на который будут падать фотоны синхротронного излучения, а также электроны и позитроны, излучившие их. Уникальность метода заключается в том что, частицы с большими энергиями легче обнаружить, ведь при более высоких энергиях число синхротронных фотонов увеличивается, а отклонения траекторий частиц от прямой становится меньше, и для их детектирования будет достаточно установки меньших размеров.

Методика оценки.

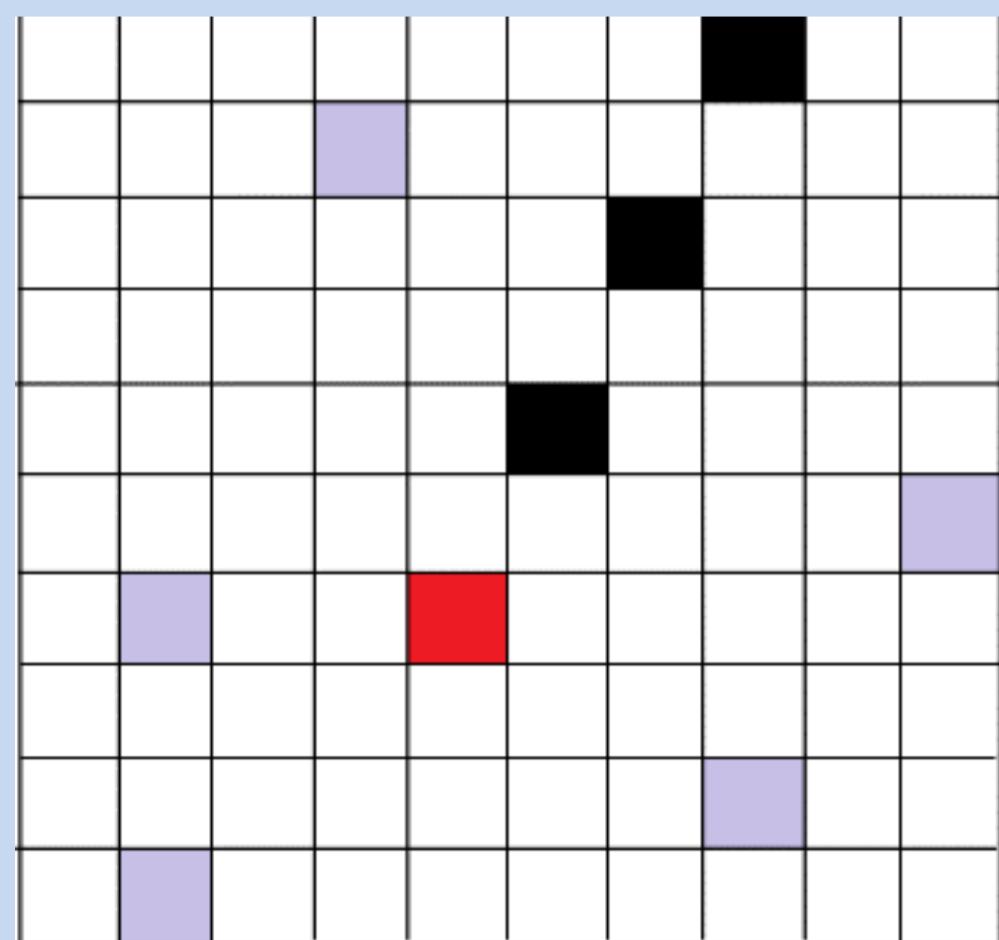


Рис.3 схема падения частиц

- - фотон
- - частица
- - фоновая частица

Оценка фона проводилась для случая регистрации хотя бы 2-х фотонов и частицы, их излучившей.

Для определения положения частицы, регистрируемой детектором, на границе магнитосферы, запускалась вверх ее античастица (позитрон для электрона) с поверхности детектора, просчитывалась ее траектория до высоты в несколько десятков тысяч километров.

Вторая часть программы воспроизводила траекторию частицы от границы магнитосферы до детектора. При этом моделировалось испускание фотонов, траектории которых также вычислялись. Далее проводилась проверка того, что фотоны оказались в пределах регистрирующей поверхности детектора. Далее проводилась проверка того, что фотоны оказались в пределах регистрирующей поверхности детектора.

Результаты .

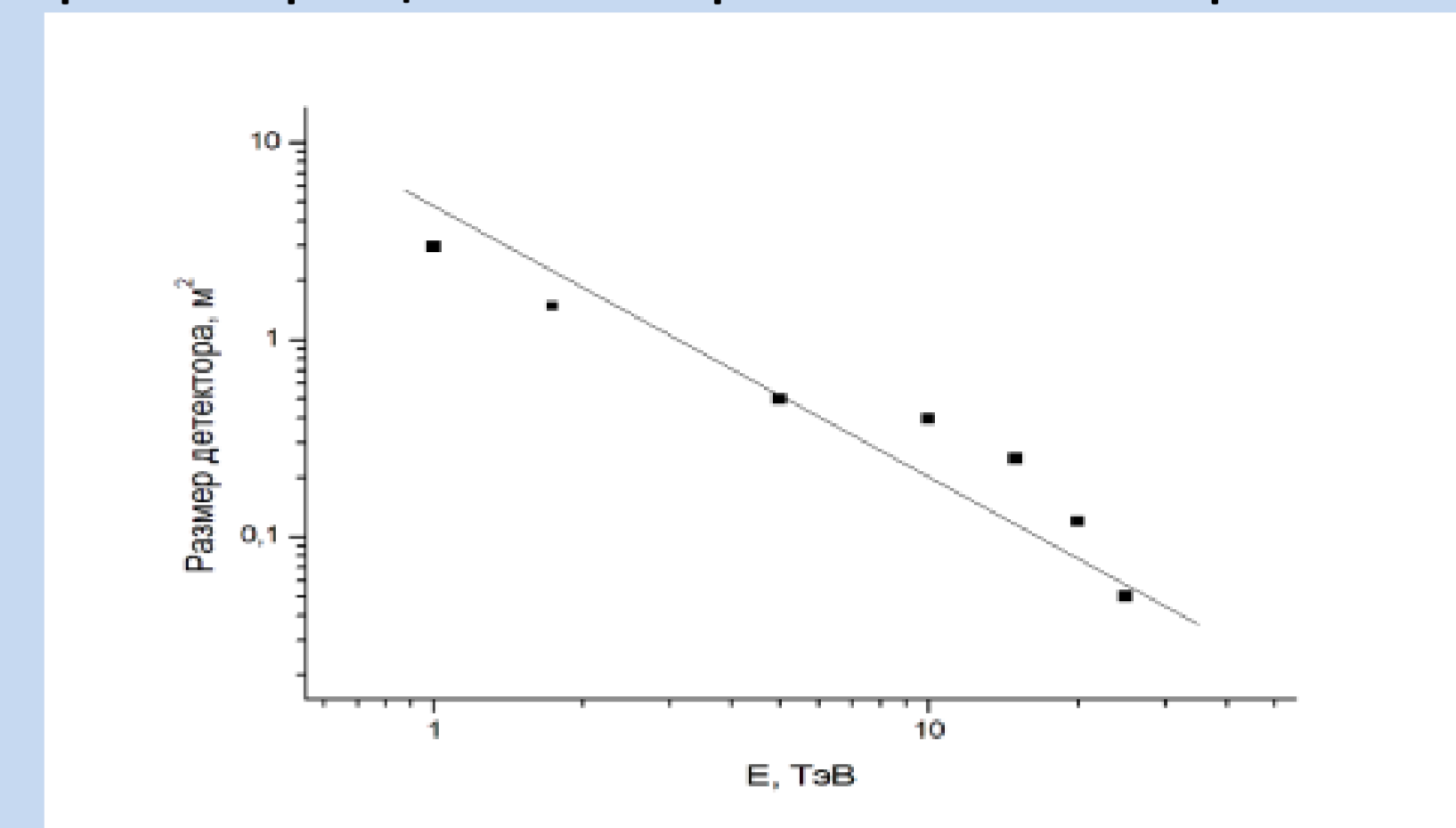
В таблице представлены результаты оценки среднего количества фотонов, которые будут попадать на детектор размером 1 м². Очевидно, что чем больше фотонов упадет на детектор, тем лучше будет проведена идентификация электронов (позитронов) и тем выше будет точность измерения энергии.

Энергия , ТэВ	3	10	15	25	50
Кол-во фотонов,N	2	4	7	10	2

Также была проведена оценка пространственного разрешения детектора, необходимого для уменьшения счета фоновых событий.

При наличии 5-ти шумовых импульсов на 1 кв м [3] при разрешении 1 мм этот присчет фона не превысит 1%, что является приемлемой величиной, для предполагаемого количества событий (около ста в год).

На графике отмечены минимальные размеры установки, необходимые для регистрации электронов и позитронов



Как видно из графика, для обнаружения электронов и позитронов с энергией выше 3 ТэВ достаточно квадратной установки площадью 1 м².

1. Ввод данных.

2. Запуск позитрона.

3. Запуск в обратном направлении

4. Моделирование испускания фотонов

5. Запись результатов

Заключение.

Расчеты показали возможность создания орбитального детектора, для регистрации позитронов и электронов с энергиями выше 3 ТэВ по их синхротронному излучению в магнитном поле Земли. Используемая литература.

[1] O. F. Prilutskii. The possibility of registering primary cosmic electrons by means of synchrotron radiation in the geomagnetic field. JETP, 1972.V. ZhETF Pis. Red. 16, No. 8, 452-454

[2] PAMELA collaboration An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5–100 GeV. Nature 2009V. Vol 458. 2 April 2009

[3] JI. Musser. Limits on the Multi-TeV Cosmic Ray Electron Flux from CREST, PoS, Proc. 34th ICRC, 2015, 415.