

УДК 537.591.15

ТАХИОНЫ В РЕНТГЕНОВСКИХ ПЛЕНКАХ НА БОЛЬШОЙ ГЛУБИНЕ ПОД СВИНЦОМ И ГРУНТОМ?

В. И. Яковлев, М. Д. Смирнова

Исследование двойных широких атмосферных ливней (ШАЛ) с $N_e \geq 5 \cdot 10^6$ частиц, разделенных временным промежутком порядка 100 нс, показало (ЖЭТФ, письма 85, вып. 2, 111 (2007)), что для объяснения происхождения "запаздывающих" ливней за счет образования в первом взаимодействии тяжелых частиц, масса таких частиц должна достигать $5 \cdot 10^5$ ГэВ. Такое объяснение кажется маловероятным. Поэтому было высказано предположение, что "опережающие" ливни могут быть образованы тахионами. В связи с этим мы решили возвратиться к анализу наших неопубликованных данных об аномальных событиях в рентгеновских пленках на большой глубине под свинцом и под грунтом. Эти события, как мы предполагаем, также могут быть объяснены гипотезой о тахионах.

Описание эксперимента. В 1971 году на Тянь-Шанской высокогорной научной станции ФИАН (3340 м над уровнем моря, глубина атмосферы 690 г/см^2) был поставлен эксперимент с рентгеновскими пленками (2.4 м^2) по изучению событий на большой глубине свинцового поглотителя (850 г/см^2 по вертикали) под большим ионизационным калориметром. Этот эксперимент был инициирован самыми первыми результатами по регистрации длиннопробежной компоненты в стволах ШАЛ [1].

Два листа рентгеновской пленки РТ-6 размером $30 \times 40 \text{ см}$, в пакете из черной бумаги и полиэтиленовом пакете, помещались на листовой свинец. Поверх пакета помещались свинцовые призмы толщиной 2 см. После полугодовой экспозиции 20-и пакетов и проявки в пленках были обнаружены пятна потемнения, резко отличающиеся от пятен, образуемых обычными электронно-фотонными каскадами. Отличия заключались

в следующем: 1) Геометрические размеры пятен (диаметры) в десятки раз превосходит размеры пятен от обычных электронно- фотонных каскадов (~ 100 мкм), развивающихся в тяжелых веществах; 2) Граница пятна диффузная с плавным спадом почернения от центра пятна к фону, что свидетельствует о широком угловом распределении частиц, образующих пятно почернения. Возникло предположение, что наблюдаемые пятна являются результатом засветки через микроскопические отверстия в бумажных пакетах.

Поэтому в экспозиции 1972 года две рентгеновские пленки были помещены каждая в отдельный пакет. Два таких пакета помещались в полиэтиленовый пакет. Перед экспозицией пакеты маркировались. На упакованную пару пленок наносилось по 2 метки от стандартного радиоактивного источника $Sr^{90} + Y^{90}$, используемого в эксперименте "ПАМИР". Этот препарат испускает электроны с энергиями 0.61 и 2.18 МэВ и имеет период полураспада 28 лет. Пленки располагались по всему периметру ионизационного calorиметра на площади 8.16 м^2 . Расстояние от края calorиметра до внешнего края пленок составляло 60 см, а от нижней поверхности calorиметра ~ 25 см.

Пленки экспонировались в течение года. После проявки в них обнаружили пятна, имеющие те же характеристики, что и в предварительной экспозиции 1971 года. Кроме того, было установлено необычайно быстрое развитие (поглощение?) частиц в рентгеновских пленках: полное число частиц в пятнах нижней и верхней пленок (0.04 каскадной единицы!) различается в среднем в 15 ± 2 раза. Столь быстрое развитие (поглощение) противоречит гипотезе о том, что наблюдаемые пятна образовались за счет ядерного взаимодействия в свинце. Для сравнения напомним, что фотон с энергией 10^{14} эВ дает увеличение числа частиц в 10 раз только после прохождения одной t -единицы.

Для объяснения полученного результата было предложено 3 гипотезы. Первая предполагала, что пятна образуются за счет радиоактивных загрязнений свинца. Такому предположению противоречит тот факт, что в 95% случаев более интенсивное событие расположено в нижней пленке, хотя свинец над пленкой и под ней был одним и тем же. Вторая гипотеза предполагала, что пятна образованы за счет радиоактивной пыли, оседающей на нижних свинцовых пластинах. Наконец, третья гипотеза предполагала, что пятна образуются за счет неизвестного типа взаимодействия частиц космического излучения.

Для проверки второй гипотезы в следующем, 1973 году было использовано несколько подходов. 1) Была сметена пыль из под calorиметра и размещена на листе фанеры. На фанеру положено 15 пакетов с пленкой. Поверх них положен тонкий картон и 2.5 см

свинца. После экспозиции на одну пленку пришлось в среднем по 0.9 пятен, по сравнению с 1.6 в обычной конфигурации. Ожидаемого увеличения числа событий за счет радиоактивной пыли не оказалось! Уменьшение числа событий на одну пленку объясняется отсутствием свинцовой подложки и наличием картона поверх пленок. 2) Была также проанализирована часть пленок, располагавшихся по периметру калориметра (35), лежавших на одних и тех же свинцовых подложках. Результат оказался таким. В экспозиции 1972 года зарегистрировано 56 событий, в 1973 году – 50 событий. Если считать сохранившимися пятна, в которых число частиц совпадает с точностью 30% (на площадке 30×40 см²), то таких было найдено 11. Еще у 9 пятен число частиц “уменьшилось” больше, чем на 30%. Исчезли 36 пятен, а на новом месте появилось 30 пятен. Если интерпретировать этот результат с точки зрения радиоактивной пыли, то надо констатировать высокую подвижность пыли при практическом постоянстве ее концентрации. 3) Однако последнему предположению противоречит большое различие интенсивности событий (18.7 раза) в пленках, размещенных нами в 1973 году в тоннеле (20 м в.э.), и под калориметром. Очевидно, что пылевая загрязненность помещения, где расположен калориметр, и в тоннеле, дверь в который практически всегда была открыта, должна быть одинаковой. Радиоактивное загрязнение свинца в тоннеле и под калориметром также должно было быть одинаковым.

Таким образом, гипотезы о радиоактивном загрязнении свинца и радиоактивной пыли были исключены.

Для более детального изучения характеристик регистрируемых событий в эксперименте 1973 года между двумя рентгеновскими пленками были помещены тонкослойные ядерные эмульсии. После проявки в них были обнаружены многочисленные следы низкоэнергичных заряженных частиц. Кроме того, в 1973 году 8.16 м² пленок было помещено в тоннеле на глубине 20 м водного эквивалента. В них также были обнаружены аналогичные события, хотя и с существенно меньшей интенсивностью.

Наконец, мы обратились к И. В. Ракобольской, под руководством которой проводился эксперимент в московском метро (10 м в.э.) по регистрации мюонов с помощью рентгеновских пленок [2]. В этих пленках были также обнаружены аномальные события.

Обработка экспериментальных данных. Методика регистрации электронно-фотонных каскадов с помощью рентгеновских пленок была разработана в ряде работ [3, 4]. Частицы каскада, попадая на пленку, вступают во взаимодействие с зернами галлоидного серебра фотоэмульсии и образуют скрытое изображение. После проявления пленки на месте прохождения каскада можно увидеть темное пятно. Фотометрическая

плотность пятна D (или почернение) тем больше, чем больше частиц прошло через пятно. Зависимость почернения от плотности частиц для данного типа рентгеновской пленки и фиксированных условий ее обработки изучена экспериментально [3, 4]. Эта зависимость получена также теоретически [3]: $D = D_{\infty}(1 - e^{-S\rho})$. Здесь D_{∞} – фотометрическая плотность пленки при бесконечной экспозиции; S – размер зерна эмульсии; $D = D_{\text{изм}} - D_{\text{фон}}$, где $D_{\text{изм}}$ – измеренное почернение, $D_{\text{фон}}$ – фоновое почернение, измеренное вдали от пятна почернения. Отсюда можно определить плотность числа частиц как $\rho = -(\ln((D_{\infty} - D)/D_{\infty}))/S$. Пятна сканировались через 100 мкм. Затем определялось полное число частиц, образовавших данное пятно: $N = 2\pi \int \rho(r)rdr$. Интеграл заменялся суммой.

Чтобы определить точность измерения числа частиц в пятне, 9 пятен были фотометрированы тремя различными диафрагмами d_i каждое. Для каждого пятна были получены по 3 пространственных распределений почернения и по 3 значения фоновых почернений (вдали от пятна) $D_{\text{фон}}$. Для каждого из 9 событий было посчитано по 3 значения полного числа частиц в пятне. Затем была определена относительная ошибка измерения полного числа частиц в пятне $\delta = 0.158$ и ошибка среднего $\Delta\delta = 0.033$.

Для построения спектров по числу частиц из двух значений чисел частиц, измеренных в верхней и нижней пленках, выбиралось наибольшее. Как упоминалось выше, в 95% случаев это было нижнее пятно.

На рис. 1 приведены спектры по числу частиц, измеренные под калориметром, в тоннеле и в метро.

Анализ полученных результатов. Как видно из рисунка, интенсивность событий, зарегистрированных под калориметром (~ 850 г/см²) и в тоннеле под 20 м водного эквивалента различается в 18.7 раза. Практически во столько же раз различаются интенсивности событий под калориметром и в метро. Толщина поглотителя над тоннелем (атмосфера+грунт) составляет $690+2000=2690$ г/см². Мюонная установка расположена в московском метро на глубине 10 м в.э. Кроме того, эта установка наклонена под углом 45° к горизонту. Следовательно, полная толщина поглотителя (атмосфера+грунт) над метро составляет $(1033 + 1000)/\cos 45^\circ = 2875$ г/см². Как видно, с точностью 7% это соответствует средней толщине поглотителя над пленками, расположенными в тоннеле на Тянь-Шане.

Отсюда можно сделать несколько выводов.

Первый – методический вывод: поскольку условия эксперимента под калориметром и в тоннеле (с точки зрения пылевой загрязненности и возможного радиоактивного за-

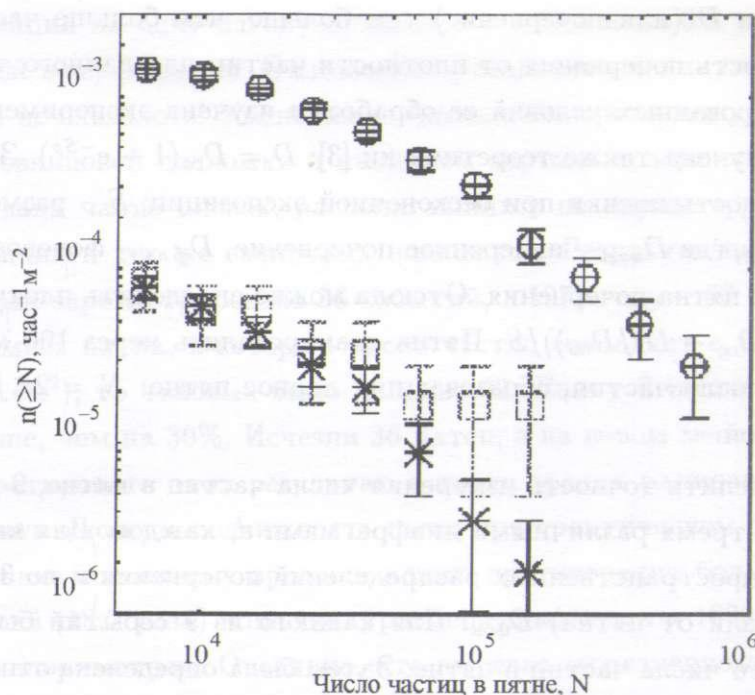


Рис. 1. Спектры событий по числу частиц в пятне: кружки – под калориметром; квадраты – в тоннеле; кресты – в метро.

грязнения свинца) одинаковы, а интенсивности событий существенно различаются, то зарегистрированные события имеют естественное происхождение, не связанное с методическими артефактами.

Второй – физический вывод: наблюдаемые события образуются частицами первичного или вторичного космического излучения.

О возможной природе наблюдаемых событий. Как следует из представленных данных, наблюдаемые события резко отличаются от событий, образуемых в рентгеновских пленках высокоэнергичными гамма-квантами или адронами. Объяснить тот факт, что более интенсивное пятно в 95% случаев находится в нижней пленке, практически невозможно в предположении, что мы имеем дело с обычными взаимодействиями.

На наш взгляд полученные результаты можно пытаться объяснить в предположении, что наблюдаемые события образуются тахионами, которые рождаются высокоэнергичными частицами космического излучения. Гипотеза о частицах, движущихся со скоростью, превышающей скорость света (даже в вакууме!), была высказана в 1939 году Е. Вигнером [5], а название “тахион” было предложено Дж. Фейнбергом в 1967 году

[6]. Идея о существовании тахионов на макроскопических масштабах была высказана Терлецким в 1960 году [7]. Тахион обладает целым рядом необычных свойств. Он не может находиться в покое. Теряя энергию, он ускоряется. Предполагается, что могут существовать как заряженные, так и нейтральные тахионы, однако никаких предсказаний об их массе и времени жизни не существует. В соответствии с работой [8] заряженный тахион теряет практически всю свою энергию на излучение Вавилова-Черенкова.

Согласно классической работе [9], энергетические потери на это излучение на единицу пути равны $dE/ds = -4\pi^2 Z^2 e^2 (\int (1 - c^2/v^2 n^2) \nu d\nu) / c^2$. Здесь Ze – заряд движущейся частицы (e – заряд электрона), n – коэффициент преломления среды, а ν – частота испущенного излучения. Отсюда следует, что с увеличением скорости частицы v скорость потерь ее энергии возрастает, что и наблюдается в нашем случае.

Таким образом, полученные результаты не противоречат гипотезе о существовании тахионов.

Настоящая работа выполнена при частичной поддержке РФФИ: грант 07-02-00133-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. С. Асейкин и др., Изв. АН СССР, сер. физ. **38**(5), 998 (1974).
- [2] Т. П. Аминева, В. А. Астафьев, А. Я. Варковицкая и др., Исследование мюонов сверхвысоких энергий (М., Наука, 1976).
- [3] Л. Т. Барадзей, Е. А. Каневская, Ю. А. Смородин, М. В. Соловьев, Препринт ФИАН, No. 65, (ФИАН, Москва, 1971).
- [4] I. Ohta, K. Mizutani, K. Kasahara et al., Nucl. Instr. and Meth. **161**, 35 (1979).
- [5] E. Wigner, Ann. of Math. **40**, 149 (1939).
- [6] G. Feinberg, Phys. Rev. **159**, 1089 (1967).
- [7] Я. П. Терлецкий, ДАН СССР **133**(2), 239 (1960).
- [8] T. Alvager and M. N. Kreisler, Phys. Rev. **171**, 357 (1957).
- [9] И. Е. Тамм, И. М. Франк, ДАН СССР **14**, 109 (1937).

Поступила в редакцию 25 апреля 2007 г.