

Исследования околоректиальных мюонов в широких атмосферных ливнях при помощи детектора на многопроволочных дрейфовых камерах

© И.Ю. Трошин, Е.А. Задеба, В.С. Воробьев

Национальный исследовательский ядерный университет „МИФИ“,
115409 Москва, Россия
e-mail: IUTroshin@mephi.ru

Поступило в Редакцию 25 апреля 2024 г.

В окончательной редакции 11 августа 2024 г.

Принято к публикации 30 октября 2024 г.

Рассмотрена конфигурация детектора с поглотителем на многопроволочных дрейфовых камерах для изучения околоректиальных мюонов космических лучей высоких энергий.

Ключевые слова: мюоны, дрейфовые камеры, широкие атмосферные ливни, космические лучи.

DOI: 10.61011/JTF.2024.12.59245.349-24

Для изучения околоректиальных мюонов в широких атмосферных ливнях (ШАЛ) на территории НИЯУ МИФИ создается многоцелевой детектор мюонов (МДМ). Детектор представляет собой массив многопроволочных дрейфовых камер, экранированных слоями поглотителя. Детектор предназначен для исследования мюонов в диапазоне зенитных углов от 0 до 60° и анализа околоректиальных ШАЛ с помощью метода спектров локальной плотности мюонов (СЛПМ) [1]. Совместно с другими детекторами комплекса НЕВОД [2,3] будет построена функция пространственного распределения мюонов в ШАЛ.

Для определения пороговых энергий заряженных частиц проводилось моделирование детектора с поглотителем. Детектор МДМ (рис. 1) состоит из четырех слоев дрейфовых камер с чувствительным объемом 3700 × 3700 × 250 mm и четырех слоев стального поглотителя: верхний 4500 × 4500 × 210 mm, остальные 4500 × 4500 × 105 mm.

Моделировался процесс регистрации частиц с энергиями в диапазоне от 100 MeV до 100 TeV с постоянным логарифмическим шагом $E_i + 1/E_i = 1.2$. Для каждой энергии разыгрывались 1000 одиночных событий. Анализировались заряженные частицы (в том числе вторичные), прошедшие через весь чувствительный объем слоя дрейфовых камер.

Число частиц, зарегистрированных во второй плоскости дрейфовых камер по отношению к начальному числу частиц, показано на рис. 2. По этим распределениям определяются пороговые энергии регистрации: E_{\min} — минимальная энергия, при которой частица пройдет через поглотитель и регистрируется дрейфовыми камерами, E_{\max} — максимальная энергия, при которой число вторичных частиц не более 200 на любой из плоскостей, ограничение обусловлено возможностью дрейфовых камер.

Для двух и для четырех слоев поглотителя определены E_{\min} и E_{\max} , представленные в таблице. Из получен-

ных результатов следует, что выбранная конфигурация детектора позволяет регистрировать преимущественно мюонные события в широком диапазоне энергий. Верхний энергетический порог регистрации E_{\max} определяется как энергия, при которой в событии не более 200 частиц на любой из плоскостей. Учитывая, что больше всего частиц на верхних плоскостях, то E_{\max} будет одинаковым как для двухслойного, так и для четырехслойного.

Конфигурация детектора, представляющего собой слой дрейфовых камер, разделенных поглотителем, позволяет при обработке зарегистрированных событий выделять треки вторичных частиц. Для этого используется метод реконструкции (рис. 1), который идентифицирует мюоны по идентичному отклику дрейфовых камер одновременно в нескольких слоях. Вторичные же частицы либо поглощаются между слоями, либо отклоняются от первоначального направления. Критерии для выделения мюонов среди вторичных частиц: разница по зенитному углу не более 5°, разница по координате не более 5 mm, между треками расстояние больше 3 mm, в событии не более 200 частиц на плоскость. Критерий разницы по зенитному углу в пределах 5° выбран потому, что группы квазипараллельных мюонов в ШАЛ отклоняются в этом диапазоне; отклонение по координате в пределах 5 mm связано с возможными смещениями, возникающими из-за углового распределения частиц, а ограничение на количество частиц (не более 200 на плоскость) обусловлено характеристиками дрейфовых камер.

По данным первых двух слоев дрейфовых камер большая часть вторичных частиц отсеивается методом отбора. В диапазоне от 3 GeV до 1 TeV одиночные мюоны реконструируются однозначно, примесь вторичных частиц не более 1%. Метод реконструкции пропускает часть вторичных частиц только в области выше 1 TeV. При использовании четырех слоев дрейфовых камер и поглотителя (рис. 3) эта область

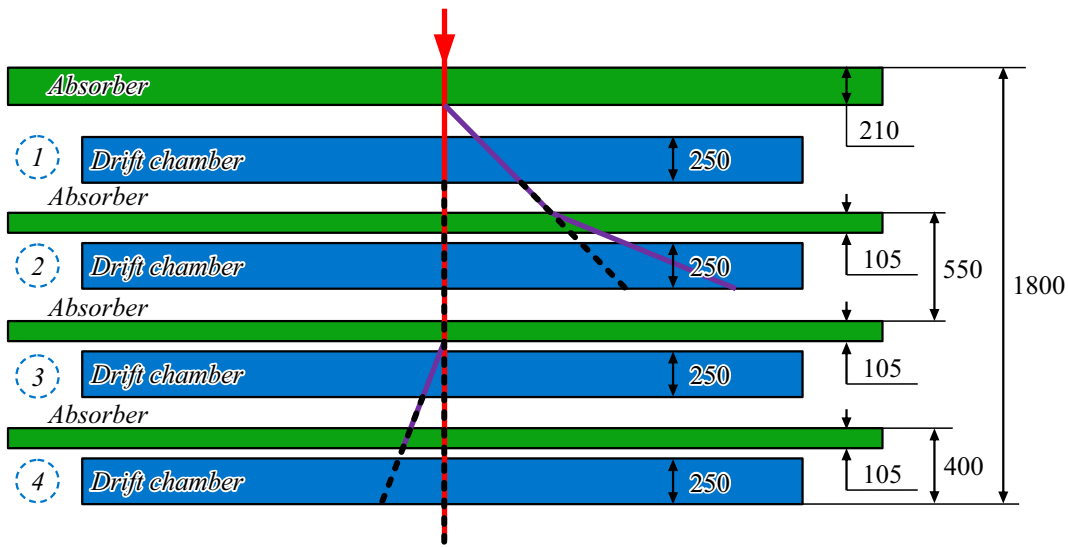


Рис. 1. Модель детектора МДМ в Geant4 с характерными размерами и пример реконструкции события: красный трек — мюон, фиолетовые треки — другие частицы.

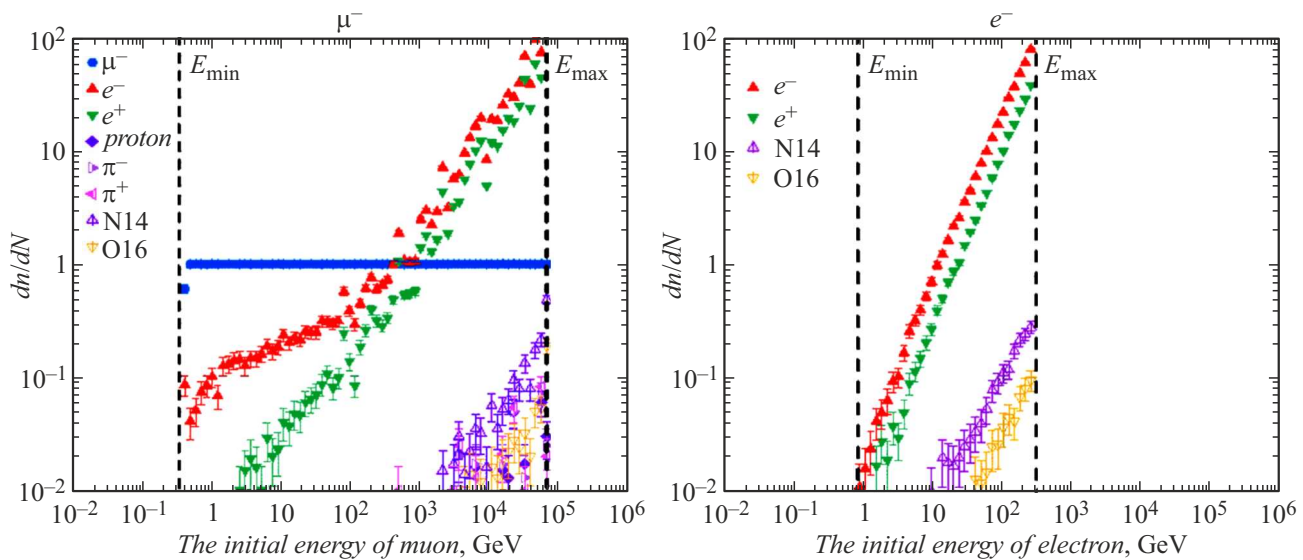


Рис. 2. Число заряженных частиц (dn/dN), прошедших через второй слой дрейфовых камер, по отношению к начальному числу частиц в зависимости от энергии начальной частицы: мюона и электрона.

Пороговые энергии для мюона и электрона

Частица	E_{\min} два слоя, GeV	E_{\min} четыре слоя, GeV	E_{\max} , GeV
Мюон	0.34 ± 0.03	0.59 ± 0.06	$(6.9 \pm 0.5) \cdot 10^4$
Электрон	0.79 ± 0.02	1.1 ± 0.1	$(2.9 \pm 0.3) \cdot 10^2$

смещается до 2 TeV, однако в области низких энергий мюоны могут быть ошибочно отсеяны из-за их рассеяния. Электроны на четырех слоях полностью отсеиваются.

По результатам моделирования установлено, что конфигурация детектора позволит регистрировать мюоны

высокой энергии и отделить их от вторичных частиц в энергетическом диапазоне от 3 GeV до 2 TeV. Применение стального поглотителя в данной конфигурации уменьшит поток низкоэнергичной составляющей ШАЛ и позволит использовать метод СЛПМ для околоректального направления.

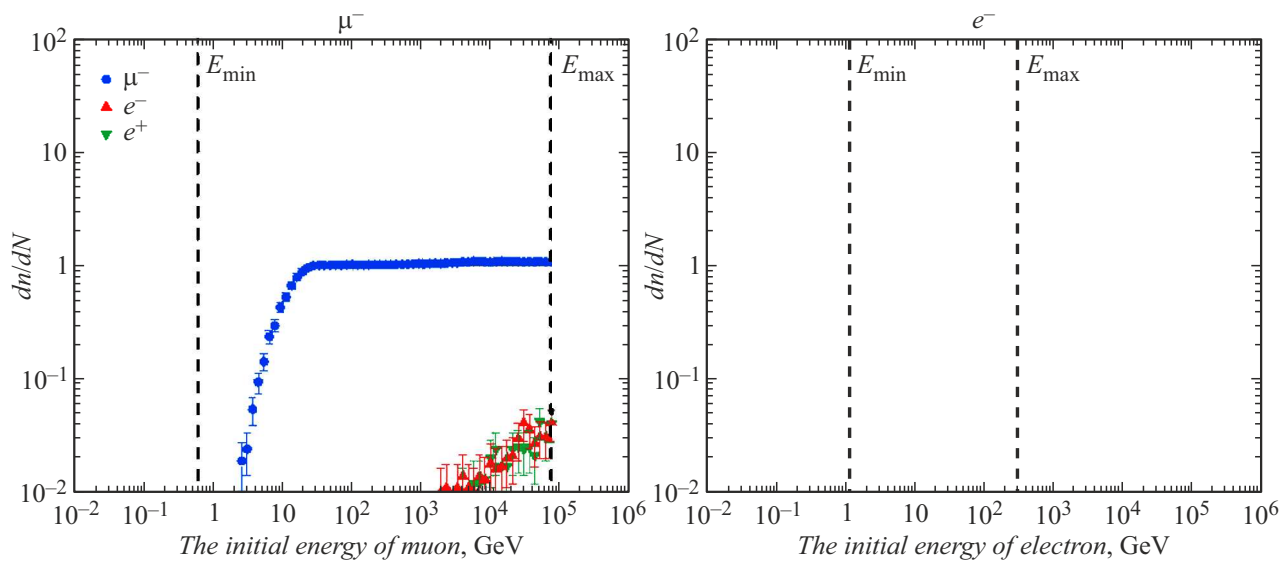


Рис. 3. Число частиц, реконструированных как мюон (dn/dN), по отношению к начальному числу частиц в зависимости от энергии начальной частицы: мюона и электрона на четырех слоях дрейфовых камер.

Финансирование работы

Работа выполнена на Уникальной научной установке „Экспериментальный комплекс НЕВОД“ и поддержана Российским научным фондом, 23-72-10067, <https://rscf.ru/project/23-72-10067/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] А.Г. Богданов, Д.М. Громушкин, Р.П. Кокоулин, Дж. Маннокки, А.А. Петрухин, О. Сааведра, Дж. Тринкоро, Д.В. Чернов, В.В. Шутенко, И.И. Яшин. *Ядерная физика*, **73** (11), 1904 (2010).
- [2] I.I. Yashin, M.B. Amelchakov, I.I. Astapov, N.S. Barbashina, A.G. Bogdanov, F.A. Bogdanov, V.V. Borog, A. Chiavassa, A.N. Dmitrieva, D.M. Gromushkin, S.S. Khokhlov, V.V. Kindin, R.P. Kokoulin, K.G. Kompaniets, A.Yu. Konovalova, A.A. Kovylyayeva, G. Mannonchi, Yu.N. Mishutina, V.V. Ovchinnikov, A.A. Petrukhin, I.A. Shulzhenko, V.V. Shutenko, Yu.V. Stenkin, G. Trincherro, V.S. Vorobiev, K.O. Yurin, E.A. Yurina, E.A. Zadeba. *J. Instrumentation*, **16**, 112 (2021). DOI: 10.1088/1748-0221/16/08/T08014
- [3] V.S. Vorobiev, E.A. Zadeba, R.V. Nikolaenko, I.Yu. Troshin. *Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.*, **87**, 918 (2023). DOI: 10.3103/S1062873823702702