

Длиннопробежная компонента космических лучей по данным экспериментов с рентгеноэмульсионными камерами на Памире и Тянь-Шане.

Автор: ПУЧКОВ В.С. ¹

Соавторы: ПЯТОВСКИЙ С.Е.¹; БОРИСОВ А.С.¹; ДЕНИСОВА В.Г.¹; ГАЛКИН В.И.²; ГУСЕВА З.М.¹; КАНЕВСКАЯ Е.А.¹; КОГАН М.Г.¹; МОРОЗОВ А.Е.¹; МУХАМЕДШИН Р.А.³; СМИРНОВА М.Д.¹; ЧУБЕНКО А.П.¹, ШОЗИЁЕВ Г.П.^{1,4}

¹ Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук

² Физический ф-т МГУ им. М.В.Ломоносова

³ ИЯИ РАН

⁴ ФТИ им. С.У.Умарова АН РТ

Corresponding author: puchkov@sci.lebedev.ru

Проанализировано происхождение наблюдаемого в эксперименте Памир избытка взаимодействующих адронов на глубине более 70 t-единиц в свинцовом поглотителе глубокой однородной рентгеноэмульсионной камеры (РЭК). Представлены предварительные экспериментальные данные о взаимодействии адронов в космических лучах по данным РЭК с большим воздушным зазором, экспонировавшейся на Памире и Тянь-Шане. Данный тип РЭК разработан для проверки гипотезы о значительном росте сечения рождения чармированных адронов при $E_0 \sim 50$ ТэВ как основного источника наблюдаемого избытка пятен потемнения на рентгенографических пленках. Чармированные адроны генерируются в верхнем блоке РЭК, распадаясь в воздушном зазоре по электромагнитным каналам, инициируя e^\pm и γ -кванты, которые дают рост наблюдаемого количества пятен потемнения в верхних слоях нижнего блока РЭК. Экспериментальные данные, полученные в РЭК с воздушным зазором и в глубокой свинцовой камере, сравниваются с результатами расчетов по модели FANSY1.0. Сравнение показывает качественное совпадение экспериментальных данных с расчетными в предположении высокого сечения образования чармированных адронов ~ 8 мбн/нуклон при $X_{lab} \geq 0.1$.

Ключевые слова: рентгеноэмульсионная камера, длиннопробежная компонента, чармированные адроны.

1 Введение

Замедление поглощения высокоэнергичных (десятки ТэВ) адронных каскадов было обнаружено в экспериментах с ионизационным калориметром со свинцовым поглотителем толщиной 850 г/см^2 на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции (ТШВНС) [1]. Для объяснения данного замедления предложено существование так называемой длиннопробежной компоненты в космических лучах.

Аномальное поглощение проникающих адронов также установлено в эксперименте "Памир" на глубине более 70 t-единиц глубокой РЭК со свинцовым поглотителем 110 см, где обнаружен избыток каскадов высоких энергий (~ 50 ТэВ) [2].

Высказана гипотеза, что оба явления, - избыточная ионизация в адронном калориметре и избыток адронов в свинцовой РЭК, - связаны с быстрым ростом сечения рождения чармированных Λ_c гиперонов и D-мезонов с ростом энергии. Для достижения согласия модельных расчетов с экспериментом необходимо предположить, что при энергиях адронов $E_h > 20$ ТэВ сечение чармированных частиц составляет 2-4 мбн/нуклон в $X_{lab} \geq 0,1$ [3,4].

Для проверки данной гипотезы ранее на ТШВНС, и в настоящее время на Памире, проводится эксперимент с использованием РЭК с двумя блоками регистрации с вертикальным воздушным зазором. Основная идея эксперимента заключается в том, что D-мезоны, образующиеся в верхнем блоке РЭК, эффективно распадаются в воздушном зазоре и создают e^\pm и γ -кванты, электромагнитные каскады от которых можно наблюдать в верхних слоях нижнего блока РЭК как «бамп» на кривой поглощения.

Экспериментальные данные, полученные с помощью РЭК с воздушным зазором, экспонировавшейся на ТШВНС в течение одного года, и глубокой (110 см Pb) однородной

РЭК, использовавшейся в эксперименте «Памир», сравниваются с расчетами при различных сечениях генерации чармированных частиц.

2 Результаты

2.1 Экспериментальные данные

РЭК с воздушным зазором состоит из верхнего и нижнего блоков площадью 48 м^2 и 32 м^2 соответственно, и с 2.16 метровым воздушным зазором между ними (рис. 1).

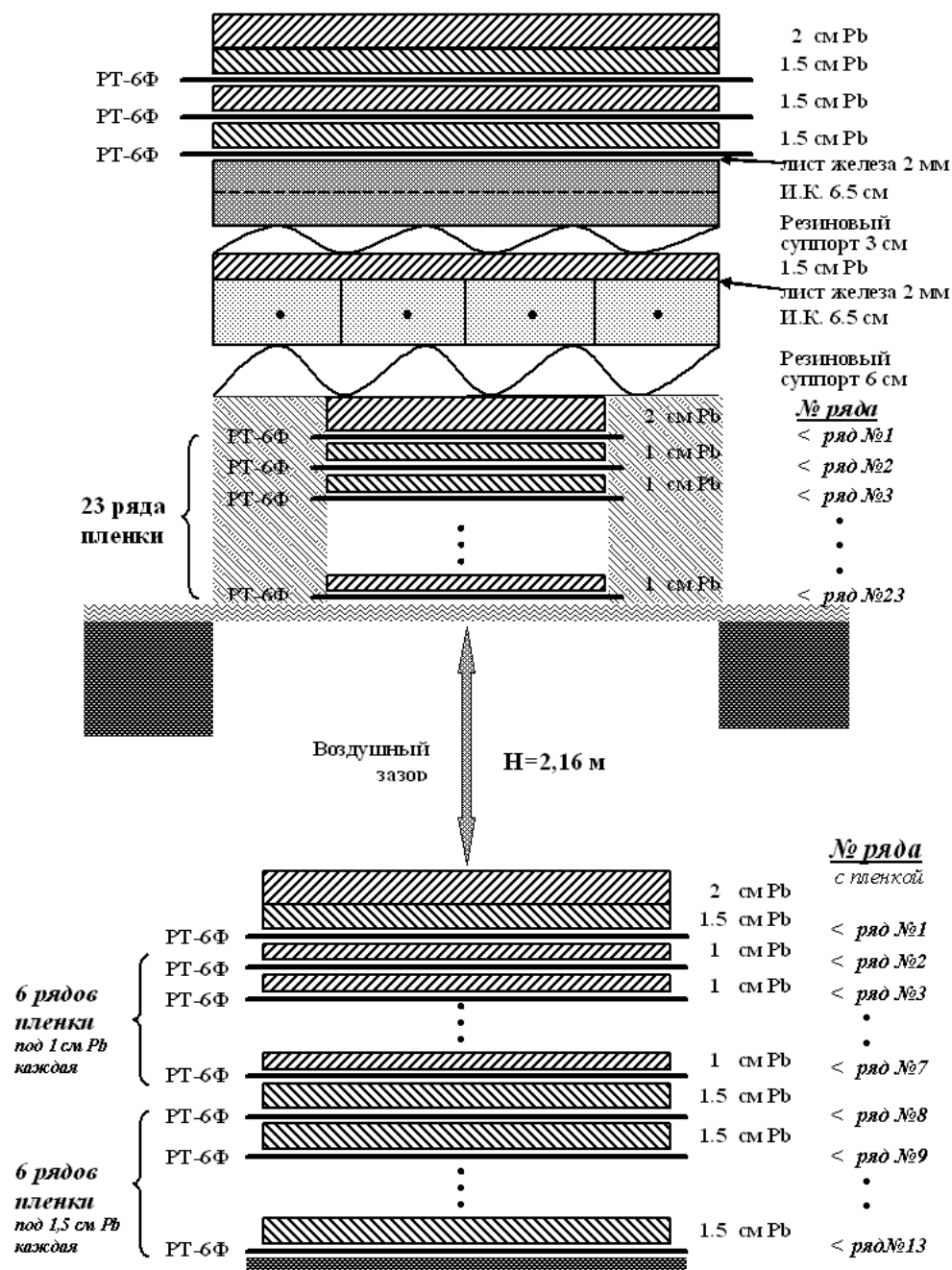


Рис. 1: Схема рентгеноэмulsionной камеры на ТШВНС.

Верхний блок РЭК состоит из Г-блока (три слоя рентгенографической пленки через 3.5, 5 и 6.5 см свинца) и обычных Рв-блоков, разделенных двумя рядами ионизационных камер, и 1.5 см свинцового поглотителя между ними. Рв-блок имеет 23 слоя свинца. Толщина первого слоя свинца 2 см, остальные слои свинца 1 см. В центральной части Рв-блока слои чередуются с рентгенографической пленкой, которая покрывает 12 м^2 общей площади.

В нижний блок РЭК входят тринадцать слоев рентгенографических пленок. Первый слой размещен под 3.5 см свинца; следующие шесть отделены друг от друга 1 см свинца, последние шесть слоев пленки разделены 1.5 см свинца.

Электромагнитная компонента космических лучей, падающих на РЭК, полностью поглощается в Г-блоке. Таким образом, пятна потемнения, наблюдающиеся в 23 слоях рентгенографической пленки Рb-блока, образованы только от взаимодействий адронов со свинцом. Пороговая энергия регистрируемых γ -квантов составляет ~ 5 ТэВ.

При анализе поглощения адронов в РЭК с воздушным зазором для увеличения статистики и уменьшения экспериментальных неопределенностей при реконструкции каскадов, регистрируемых в многослойных РЭК, использовалось количество пятен потемнения на пленку в каждом эмульсионном слое независимо один от другого.

На рис. 2 показаны предварительные экспериментальные данные по количеству пятен потемнения на рентгенографической пленке, полученные после обработки разных слоев пленки (площадь каждой пленки 100×50 см²) в верхнем и нижнем блоках РЭК с воздушным зазором.

Стандартная глубокая РЭК эксперимента «Памир» состоит из Г-блока, аналогичного камере с воздушным зазором, и слоев свинца, прослоенных рентгенографической пленкой. Толщина каждого слоя свинца составляет 2 см, полная глубина камеры – 110 см. Экспериментальные данные по поглощению адронов в глубокой свинцовой РЭК по количеству каскадов, зарегистрированных в каждом слое, приведены на рис. 3.

2.2 Моделирование

Ядерно-электромагнитные каскады в РЭК инициированы нуклонами и пионами с энергиями $E_h \geq 20$ ТэВ, которые, в свою очередь, инициированы в атмосфере протонами и ядрами первичного космического излучения. Моделирование выполнено с применением пакета программ ECSim 2.0 на основе GEANT 3.21 [5]. Для моделирования нуклон-свинец и пион-свинец взаимодействий с рождением чармированных адронов и их последующим распадом с образованием e^\pm и γ -квантов в воздушном зазоре использовалась модель FANSY 1.0 [6]. Модель позволяет изменять сечения чармированных частиц в широком диапазоне.

Потемнения на пленке, создаваемое электромагнитными каскадами, рассчитывались в соответствии с техникой, развитой в эксперименте «Памир» [5].

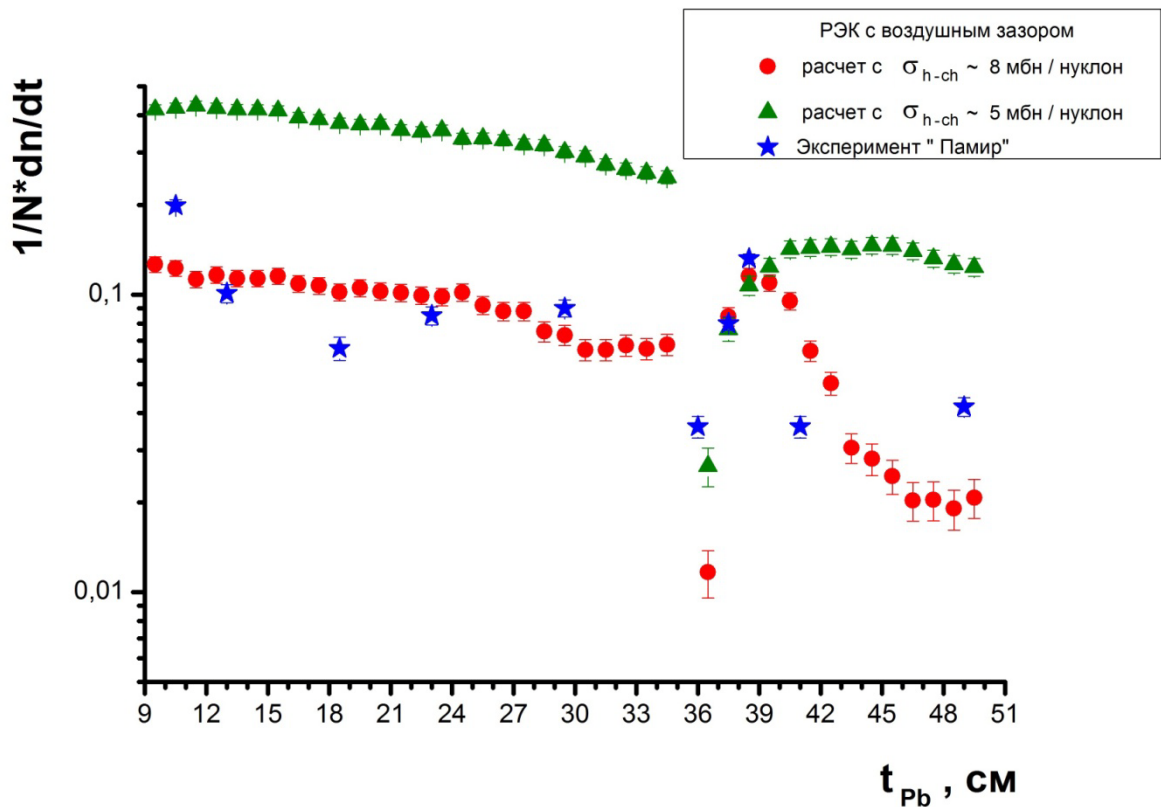


Рис. 2. Зависимость количества пятен потемнения от глубины свинца в расчете на одну рентгенографическую пленку.

Моделирование зависимости количества пятен потемнения на одной рентгенографической пленке от глубины свинца в расчете на одну падающую частицу (70% нуклонов и 30% пионов) для камеры с воздушным зазором выполнено для двух случаев:

- сечение рождения чармированных адронов близко к нулю;
- сечение рождения чармированных адронов высокое: $\sigma_{h-charm} \sim 8$ мбн/нуклон в кинематической области фрагментации ($X_{lab} \geq 0,1$).

Глубокий провал на кривой поглощения адронов между верхним и нижним блоками РЭК с воздушным зазором (рис. 2.) объясняется переходным эффектом свинец-воздух-свинец, который наиболее ярко проявляется на расчете без учета чармированных частиц.

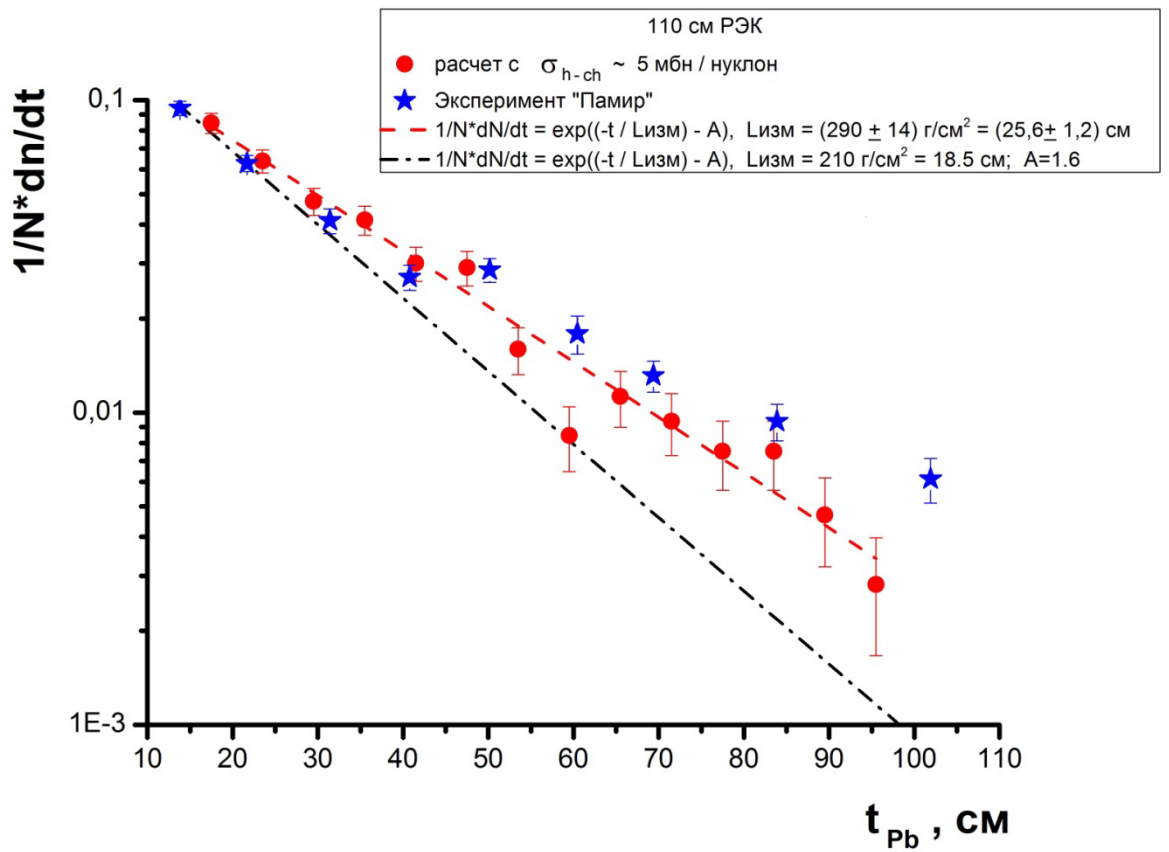


Рис. 3. Распределение по глубинам зарождения каскадов в глубокой свинцовой камере при $\sigma_{h\text{-}charm} \sim 5$ мбн/нуклон.

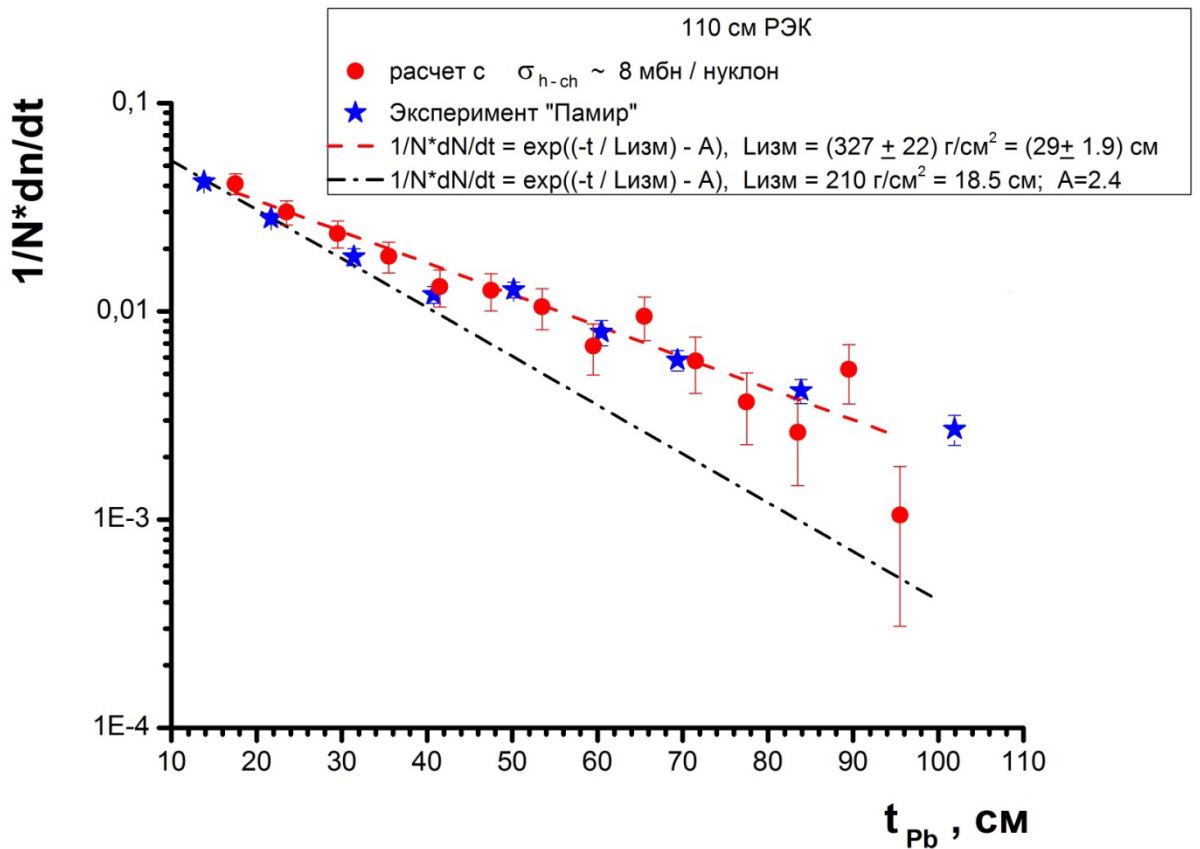


Рис. 4. Распределение по глубинам зарождения каскадов в глубокой свинцовой камере при $\sigma_{h\text{-}charm} \sim 8$ мбн/нуклон.

Моделирование зависимости числа каскадов в зависимости от глубины в свинце выполнены по той же программе при $\sigma_{h\text{-charm}} \sim 5$ мбн/нуклон и $\sigma_{h\text{-charm}} \sim 8$ мбн/нуклон (рис.3. и рис. 4.)

3 Обсуждение

Обе модели, - с нулевым и высоким сечениями образования чармированных адронов, - хорошо подходят для описания экспериментальных данных по поглощению пятен потемнения с глубиной поглотителя в верхнем блоке РЭК с воздушным зазором.

Значительный рост количества пятен потемнения в верхних слоях нижнего блока РЭК (рис. 2) наблюдается только в предположении высокого сечения рождения чармированных адронов, когда значительное количество чармированных частиц образуется в адронных взаимодействиях в верхнем блоке РЭК и часть из них, в основном D-мезонов, эффективно распадается в воздушном зазоре (рис. 2).

Расчет по той же модели с $\sigma_{h\text{-charm}} \sim 8$ мбн/нуклон поглощения электромагнитных каскадов с глубиной поглотителя также хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными в глубокой свинцовой РЭК эксперимента «Памир» (рис. 4). Уменьшение сечения образования чармированных частиц (рис. 3) ухудшает согласие расчета с экспериментом.

Тем не менее необходимо отметить, что спектры вторичных частиц в модели FANSY 1.0, использованные при моделировании, слишком мягкие [7]. С другой стороны, только частицы с большим X_{lab} являются наиболее важными в эксперименте. В этом случае анализ с применением модели взаимодействия с более жесткими спектрами вторичных частиц позволит уменьшить сечение генерации чармированных частиц.

Заключение о быстром росте сечения генерации чармированных адронов с энергией в центральной области псевдобыстрот получено в экспериментах ALICE, LHCb, ATLAS при энергиях $\sqrt{s} \leq 2.76$ ТэВ на ускорителе LHC [7,8,9,10], а также в экспериментах коллаборации STAR [11].

Однако необходимо подчеркнуть, что эксперименты на ускорителе дают результаты в центральной области псевдобыстрот $|\eta| < 5$, в то время как данные космических лучей позволяют исследовать область фрагментации сталкивающихся частиц $X_{\text{lab}} \geq 0.1$, где поведение сечения генерации чармированных частиц может быть иным по сравнению с центральной областью. В любом случае эксперименты в космических лучах дают дополнительную информацию к данным ускорителя.

4 Заключение

Экспериментальные данные по поглощению адронов космических лучей в свинцовых рентгеноэмульсионных камерах свидетельствуют о значительном вкладе чармированных адронов в процесс образования электромагнитной компоненты, регистрируемой в рентгеновских пленках.

Данный результат согласуется с гипотезой о быстром росте сечения рождения чармированных адронов при энергиях $E_h \sim 50$ ТэВ в области фрагментации p-Pb и π -Pb взаимодействий, а именно $\sigma_{h\text{-charm}} \sim 8$ мбн/нуклон. Использование улучшенной модели позволит уменьшить это значение.

Ссылки

[1] V.I. Yakovlev. Proc. 24th ICRC, Roma (1995) v. 1, p. 446.

[2] Сотрудничество "Памир", Известия АН СССР. Сер. физ. 1989. Т. 53. N. 2, С.277.

- [3] I.M. Dremin, D.T. Madigozhin, V.I. Yakovlev. Proc. 7th Int. Symp. on VHECRI, Ann Arbor MI, 21-27 Jun 1992. AIP Conf. Proc. (1993) v. 276, p. 534.
- [4] L.G. Sveshnikova and O.P. Strogova. Proc. 23rd ICRC, Calgary (1993) v. 4, p. 33.
- [5] A.S. Borisov, V.G. Denisova, V.I. Galkin, M.G. Kogan, E.A. Kanevskaya, K.A. Kotelnikov, R.A. Mukhamedshin, S.I. Nazarov, V.S. Puchkov *et al.* A GEANT-based package for determination of the PAMIR experiment X-ray emulsion chamber response. Proc. 30th ICRC, Merida (2007) v. 4, p. 593-597.
- [6] R.A. Mukhamedshin. FANSY 1.0: a phenomenological model for simulation of coplanar particle generation in superhigh-energy hadron interactions. Eur. Phys. J. C (2009) 60: 345-358.
- [7] R.A. Mukhamedshin. Личные сообщения.
- [8] B. Abelev *et al.* (The ALICE Collaboration). J. High Energy Phys. 01 (2012) 128; The ALICE collaboration. CERN-PH-EP-ALICE-2012-069 October 15, 2012; CERN-PH-EP-2012-133 August 7, 2012. The ALICE Collaboration. arXiv:1203.2160v4 [nucl-ex] 12 Oct 2012); arXiv:1205.4007v2 [hep-ex] 6 Aug 2012.
- [9] The LHCb Collaboration. LHCb-CONF-2010-013.
- [10] The ATLAS Collaboration. ATLAS-CONF-2011-017.
- [11] The STAR collaboration. arXiv:1204.4244v3 [nucl-ex] 14 Oct 2012.