

ФПР адронов и электронов в ШАЛ на различных высотах

О. Б. Щеголев¹, В. В. Алексеенко¹, Д. М. Громушкин², Ю. В. Стенькин¹,
В. И. Степанов¹, В. Сулаков³, И. И. Яшин², Х. Ма⁴, J. Zhao⁴

¹ Институт ядерных исследований РАН, Москва

² Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

³ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Скобельцына, Москва МГУ

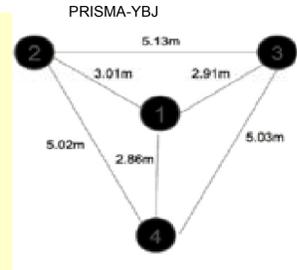
⁴ Institute of high energy physics CAS, Beijing

В работе представлен анализ опубликованных экспериментальных данных, полученных на установках PRISMA-32 и PRISMA-YBJ. Установка PRISMA-32, созданная в результате сотрудничества ИЯИ РАН и МИФИ, состоит из 32-х электронно-нейтронных детекторов и расположена в Московском инженерно-физическом институте. Установка PRISMA-YBJ, созданная в результате сотрудничества ИЯИ РАН и IHEP CAS (КНР), состоит из 4-х эн-детекторов и расположена на Тибете на высоте 4300 м над уровнем моря. Получены и проанализированы функции пространственного распределения как электронов, так и тепловых нейтронов и их родительских адронов для обоих уровней наблюдения. Экспериментальные результаты сравнены с результатами моделирования экспериментов в CORSIKA

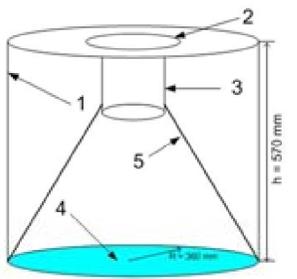
Идея нового типа ШАЛовских установок впервые была предложена в 2001 [1] и позже разработан проект установки [2, 3] PRISMA (PRImary Spectrum Measurement Array). Основное преимущество установки – это возможность измерять основную компоненту ШАЛ – адроны, через измерение числа вторичных тепловых нейтронов, рождаемых этими адронами. Для этой цели был разработан эн-детектор на основе специального неорганического сцинтиллятора. Основное достоинство детектора – это чувствительность к двум компонентам ШАЛ: адронам (тепловым нейтронам - n) и электронам (э). Первая установка на основе 32-х таких детекторов (PRISMA-32) работает сейчас в Москве в НОЦ НЕВОД (МИФИ). Вторая, из 4-х детекторов (PRISMA-YBJ) расположена на Тибете на высоте 4300 м в зале установки ARGO-YBJ. Подробности, касающиеся детектора и установки PRISMA-32 можно найти здесь [4, 5].

Установки

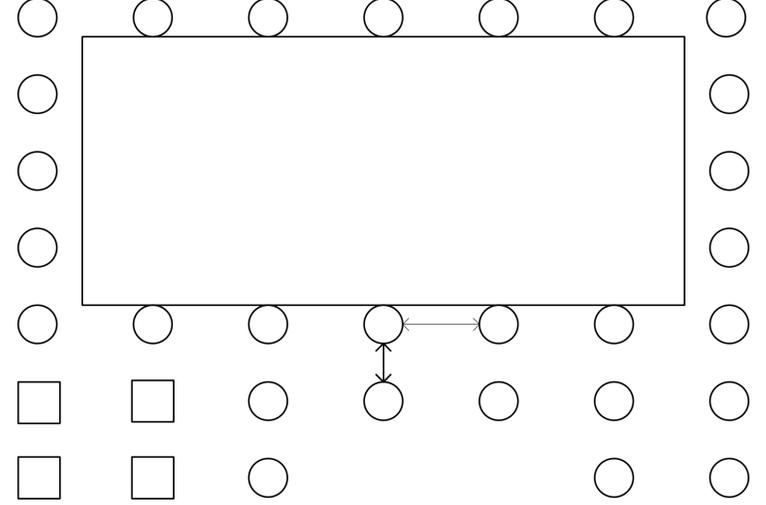
Установка из 32-х эн-детекторов (2 кластера по 16 дет.) расположена внутри экспериментального комплекса НЕВОД в НИЯУ МИФИ. Детектор состоит из корпуса (полиэтиленовая бочка), мягкого светотражающего конуса внутри, тонкого слоя неорганического сцинтиллятора (~30 мг/см²) специального неорганического сцинтиллятора ZnS(Ag) + ⁶LiF площадью 0.36 м² и ФЭУ-200 в вершине конуса. Флэш-АЦП (ADLINK 10 бит PCI slot PCI-9810) используется для оцифровки формы импульса (20000 отсчетов с шагом 1 мкс). 4 аналогичных эн-детектора установлены в виде равнобедренного треугольника на Тибете (YangBajing) в экспериментальном зале установки ARGO.



- 1 – ПЭ бочка;
- 2 – крышка бочки;
- 3 – ФЭУ-200;
- 4 – сцинтиллятор ZnS(Ag)+⁶LiF;
- 5 – легкий светотражающий конус.



Detectors #1, 2, 4 and 5 are of square shape 0.75 sq. m each; others – cylindrical 0.36 sq. m. Detectors #1 – 16 compose cluster P1, and detectors 17 – 32 compose cluster P2.



Первый импульс создается в основном ШАЛовскими электронами. Он используется для измерения энергвыделения. А импульсы от захватов задержанных нейтронов считаются в течение 20 мс и дают число нейтронов в детекторе. Мы используем 2 сигнала с каждого детектора (с 12-го и 7-го диодов) чтобы максимально расширить динамический диапазон

Результаты обработки

При помощи пакета CORSIKA были смоделированы ШАЛ для установок PRISMA-32 (уровень моря) и PRISMA-YBJ (4300 м). Полученные данные были обработаны двумя независимыми программами (пр.1 и пр.2) и получены ФПР для электронов и нейтронов для обеих установок. Программы 1 и 2 отличаются методом локации оси. В пр.1 используется симплекс метод, а в пр.2 прямой перебор всех рассотаний и возрастов. Из графиков видно, что результаты обработки данных обеими программами отличаются незначительно.

Было проведено сравнение моделирования с опубликованными в 2013 году данными с установок (черные линии) [6, 7]. На всех рисунках наблюдается хорошее согласие с экспериментом.

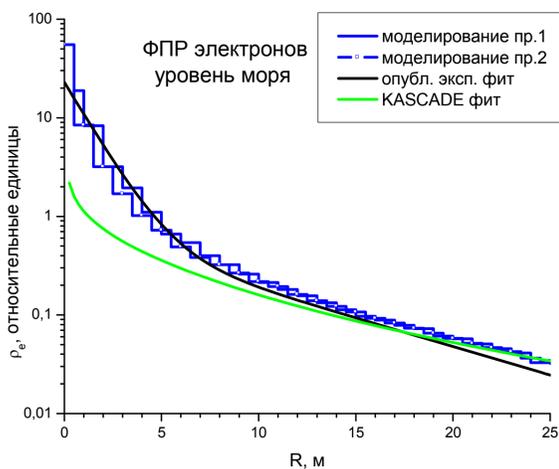
Кроме того, добавлены фиты опубликованные по результатам работы других установок: KASCADE (электроны и адроны) и установки на Арагаце (электроны). Также добавлен фит предложенный в работе Януша Кемпы [10].

Также из рисунков видно, что:

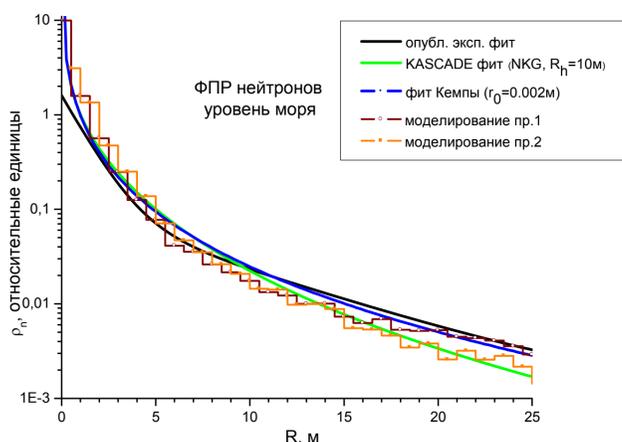
1. фит полученный для электронов на Арагаце [9] хорошо согласуется с полученным нами для YBJ.

2. фит полученный на установке KASCADE [8] для электронов совпадает с результатами моделирования и эксперимента для уровня моря «на хвосте» и не совпадает в начале. Возможно, это объясняется относительно большими расстояниями между детекторами KASCADE (их фит дается для расстояний больше 20 м).

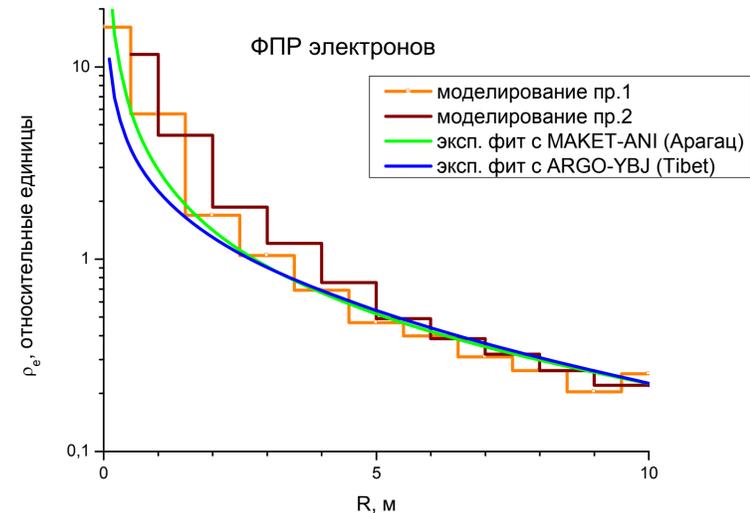
3. фит полученный KASCADE [8] для адронов практически полностью совпадает с нашими результатами для нейтронов. Также хорошо ложится на них и фит, предложенный Кемпой [10].



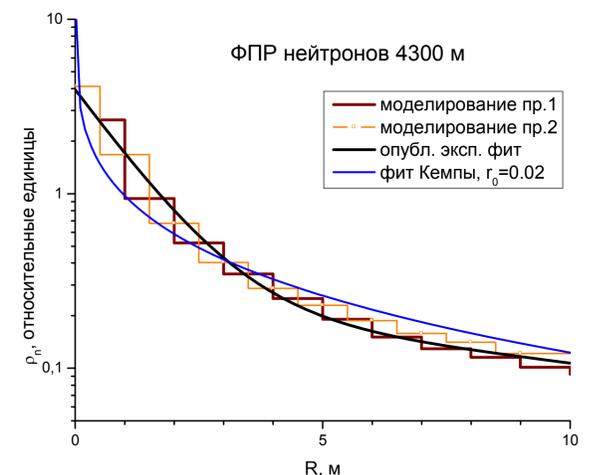
ФПР электронов в ШАЛ. Результаты моделирования для уровня моря, опубликованные данные установок PRISMA-32 и KASCADE.



ФПР нейтронов в ШАЛ. Результаты моделирования для уровня моря, опубликованные данные установок PRISMA-32 и KASCADE (для адронов), и фитирование функцией предложенной Кемпой.



ФПР электронов в ШАЛ. Результаты моделирования для высоты 4300 м и опубликованные данные установок на Арагаце и на Тибете.



ФПР вторичных нейтронов в ШАЛ. Результаты моделирования для высоты 4300 м и фитирование функцией предложенной Кемпой.

Выводы

Проведено моделирование ШАЛ в установках PRISMA-32 и PRISMA-YBJ с использованием пакета CORSIKA. Полученные ФПР электронов и вторичных нейтронов представлены в диапазоне 1-25 м для уровня моря и 1-10 м для высоты 4300 м. Проведено сравнение и получено согласие результатов моделирования с опубликованными ранее экспериментальными данными этих установок. Получено согласие данных моделирования и эксперимента с некоторыми другими экспериментальными результатами (KASCADE – уровень моря и Арагац – 3200 м), а также с измененной экспоненциальной функцией, предложенной Кемпой. Результаты работы свидетельствуют о корректности разработанного нами нового метода изучения ШАЛ, позволяющего измерять две компоненты ШАЛ одними и теми же детекторами, по всей площади установки.

- [1] Yu.V. Stenkin and J.F. Vald'es-Galicia. Proc. of 27 ICRC, Hamburg (2001) vol. 4 p. 1453.
- [2] Yu.V. Stenkin, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 175-176 (2008), 326.
- [3] Yu.V. Stenkin, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 196 (2009), 293-296.
- [4] Yu.V. Stenkin, V.V. Alekseenko, D.M. Gromushkin et al, Proc. of 32nd International Cosmic Ray Conference, Beijing (2011) ID: 1136.
- [5] D.M. Gromushkin, V.V. Alekseenko, et al. Journal of Physics: Conference Series 409 (2013) 012044
- [6] Yu.V. Stenkin, Xinhua Ma et al, 33 ICRC, Rio de Janeiro, ID: 478
- [7] Yu.V. Stenkin, D.M. Gromushkin, et al, 33 ICRC, Rio de Janeiro, ID 482.
- [8] KASCADE Collaboration, Astropartical physics 4233 (2000)
- [9] G.Hovsepian et al, 9th International Cosmic Ray Conference Pune (2005) 00, 101-104
- [10] Kempe, Nuovo Cimento 31A (1976) 568 and 581.