

(Физико-технический институт, Алматы, Республика Казахстан)

## ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ И СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

**Аннотация.** В работе дается краткий обзор актуальных проблем физики высоких и сверхвысоких энергий, изучаемых в земных условиях до энергии  $10^{17}$  эВ на ускорителях и в космических лучах при более высоких энергиях. Освещаются основные вопросы, исследуемые в Физико-техническом институте в Казахстане.

**Ключевые слова:** энергия, ускорители, космические лучи, элементарные частицы, неупругие взаимодействия.

**Түйін сөздер:** энергия, үдеткіштер, ғарыш сәулелері, элементар бөлшектер, серпімсіз әсерлесулер.

**Keywords:** energy, accelerators, cosmic rays, elementary particles, inelastic interactions.

Нерешёнными проблемами физики высоких энергий остаются фундаментальные вопросы, на которые до сих пор нет ответа: какова иерархия возникающих фундаментальных частиц с фиксированными массами (электроны, нуклоны, мезоны и их возбуждённые состояния)? Как ведёт себя материя при экстремально высоких энергиях и на экстремально малых расстояниях? Каковы фазовые переходы материи на стадии эволюции ранней Вселенной? Какова структура тёмной материи Вселенной? Как образуются чёрные дыры? Как Вселенная обогащалась тяжёлыми элементами? Каков механизм множественного рождения мезонов при энергиях, достижимых на ускорителях, в процессах, сопровождающихся малыми поперечными импульсами (так называемая мягкая адронизация), которые составляют основу ( $\approx 80\%$ ) неупругих адрон-нуклонных взаимодействий.

Актуальность проведения исследований в области энергий, достижимых в земных условиях на ускорителях-коллайдерах (до энергий  $\sim 10^{17}$  эВ), определяется необходимостью выяснения структуры материи на микроскопическом уровне ( $< 10^{-16}$  см), в то время как бурно развивающиеся исследования в космических лучах при сверхвысоких энергиях ( $> 10^{17}$  эВ) охватывают широкий круг проблем развития Вселенной на масштабах до миллиона световых лет. Мировая тенденция свидетельствует, что научные исследования по физике частиц высоких энергий и космических лучей в настоящее время тесно переплетены.

Взаимодействие ускоренных в земных условиях частиц исследуются в Казахстане в Физико-техническом институте (ФТИ) Алматы с конца пятидесятих годов прошлого столетия.

В основном изучалось образование ядерноактивных частиц – мезонов в неупругих соударениях протонов, антипротонов, пи-мезонов и ядер с нуклонами и ядрами, ускоренных в ОИЯИ г. Дубна (9 ГэВ), а затем в ИФВЭ г. Серпухова (70 ГэВ). Основными детекторами были стопки толстослой-ных ядерных эмульсий, водородные пузырьковые камеры «Людмила» (ОИЯИ – Дубна) и «Мира-бель» (ИФВЭ – Серпухов).

Были получены новые данные об асимметрии разлёта протонов, динамике образования нуклон-ных и мезонных резонансов, эффекте «лидирования» вторичных мезонов в пион-ядерных соударениях, обнаружении полного развала ядер и др.

Вступление (1994 год) в международное сотрудничество с Научным центром DESY (немецкий электронный синхротрон, Гамбург, Германия) позволило изучать внутреннюю структуру протона в глубоко неупругих электрон-протонных взаимодействиях при эффективной энергии 300 ГэВ в системе центра масс, что эквивалентно энергии  $10^{13}$  эВ в лабораторной системе координат. Вся информация о ядерных соударениях, полученная с применением калориметрического детектора ZEUS, в оцифрованном виде накапливалась на внешних накопителях.

Учитывая удалённость лаборатории высоких энергий ФТИ от DESY, в 1995 году была построена при финансовой поддержке грантами ИНТАС и НАТО первая в Казахстане линия спутниковой связи между DESY (Гамбург) и ФТИ (Алматы) через российский спутник. В последние годы организована передача цифровой информации через оптический кабель, предоставленный фирмой КазРена, первоначально созданной на базе спутниковой связи DESY-ФТИ. В настоящее время в ФТИ накоплено 300 миллионов взаимодействий, которые в пересчёте на расходы по сооружению и эксплуатации электрон-протонного коллайдера HERA в DESY составляют многие миллионы долларов США.

В предстоящий период предполагается дальнейшее исследование образования связанных чар-мированных состояний частиц с использованием разрабатываемых в лаборатории оригинальных кластерных методов.

К числу уже полученных фундаментальных результатов с участием казахстанских физиков можно отнести: выяснение кварк-глюонной структуры протонов на размерах до  $10^{-16}$  см; определение структурной функции партон-ов при различных переданных четырёх импульсах; изучение структуры странных чармированных D-мезонов и механизма их образования; изучение массив-ных кварковых «ароматов»; изучение распределения по коллективной переменной «сферисити» (сферичности) в антипротон-протонной аннигиляции. Это позволило установить сильное отличие от аналогичного распределения в неаннигиляционных антипротон-протонных взаимодействиях, что подтверждает предсказания кварк-партонной модели [1].

Полученные в этой области результаты играют важную роль в уточнении квантовой хромодинамики, установлении «конфайнмента» кварков, установлении механизма

адронизации с- и b-квар-ков, а также ряда других важных особенностей, весьма существенных для прогнозирования дальнейших экспериментов на Большом Адронном Коллайдере (БАК) в Европейском центре по ядерным исследованиям (CERN) [2].

Значимость полученных результатов признана мировой научной общественностью, а по цитируемости публикаций в сотрудничестве с DESY в зарубежных престижных физических журналах коллектив физиков ФТИ вышел на первое место в Республике Казахстан.

В Казахстане с начала 50-х годов проводятся исследования в области физики космических лучей. Высокогорная научная станция космических лучей была организована на высоте 3340 метров над уровнем моря на перевале Джусалы–Кезень в 1958 году. Практически одновременно на той же площадке стала строиться Тянь-Шанская высокогорная научная станция (ТШВНС) Физического института им. П.Н.Лебедева АН СССР (ФИАН, сейчас – ФИРАН). В 1910 году был создан научный консорциум «Евразийский высокогорный научный центр космических лучей» при ФТИ (Казахстан) и ФИРАН (Россия) [3].

Научные исследования космического излучения в настоящее время интенсивно проводятся во многих странах мира (США, Россия, Япония, Германия, Китай, Австралия, Казахстан и другие), что обусловлено несколькими факторами: в начале третьего тысячелетия физики подошли к пределу достижимых на ускорителях энергий заряженных частиц и вынуждены обратить внимание на космические лучи сверхвысоких энергий; последние годы в экспериментах с космическим излучением в области энергий больше 100 эВ, наблюдаются необычные и необъясненные явления; сравнительная дешевизна экспериментов в космике, связанная с наличием естественного пучка частиц экстремально высоких энергий, падающего на Землю из Галактического и Метагалактического пространства.

Большую информацию поставляет научно-исследовательский комплекс, функционирующий на Высокогорной станции Казахстана. Согласно экспериментальным данным, полученным на наших установках и установках из разных стран при энергии  $E > 10^{15}$  эВ, наблюдаются явления, не вписывающиеся в рамки Стандартной модели взаимодействия. К ним относятся: появление событий с так называемым «Гало»; обнаружение «двухструйных» семейств гамма-квантов (бинокуляры); эффект «выстроенности» в семействах гамма-квантов; регистрация длиннопробежных частиц; эффект «запаздывания», проявляющийся в возникновении второго фронта частиц в ШАЛ [4]; наличие экспериментально обнаруженного и до сих пор адекватно необъясненного нарушения (или «излома») энергетического спектра космических лучей в первичной энергии  $E < 3 \cdot 10^9$  эВ. Таким образом, в настоящее время в космических лучах сверхвысоких энергий имеется целый ряд нерешенных проблем, что требует от коллективов многих стран создания новых и увеличение площадей старых установок, нацеленных на изучение характеристик взаимодействий частиц космического излучения в области сверхвысоких энергий.

Весьма актуальным представляется работы по прикладным проблемам. На станции проводится регулярный мониторинг космической погоды. Изучение солнечных

космических лучей также приобретает огромное социально-экономическое значение, так как повседневная практика показывает, что жизнедеятельность людей тесно связана с воздействием таких факторов, как солнечные вспышки и магнитные бури, приводящие к росту травматизма населения, а также к нарушению работы электронной аппаратуры.

Весьма важным вопросом является исследование грозовых явлений. Как известно, молнии играют важную роль в физике атмосферы. Грозовые облака и электрические разряды в них являются источником электрических полей, которые проникают даже на высоты ионосферы. Электромагнитное поле молнии бывает чрезвычайно сильным и способно воздействовать на сотни километров от области разряда. С появлением новых технологий и коммуникационных систем обнаруживаются новые аспекты влияния грозовых явлений на практическую деятельность человека. Самолеты, космические аппараты, средства связи и обработки информации снабжены микроэлектроникой. Повреждения им могут нанести не только прямые удары молнии, но и удаленные разряды. Поэтому стала серьезной проблема защиты средств коммуникаций от грозовых разрядов. Однако до сих пор неясны не только механизмы передачи энергии в грозовом облаке, но и физические процессы, протекающие в нем. Экспериментальные данные, полученные на самолетах, аэростатах и искусственных спутниках, показали существование интенсивных потоков рентгеновского и гамма-излучений, генетически связанных с космическими лучами и процессами образования молний, включая гигантские электрические разряды между облаками и ионосферой. Находящиеся на станции комплексы «ATHLET» и «Гроза» успешно работают в этом направлении.

Чрезвычайно важна и проблема прогнозирования землетрясений на основе новой идеи – использование генерации мощных акустических сигналов при взаимодействии с сейсмически активной средой проникающих излучений (мюоны и нейтрино), идущих в составе широкого атмосферного ливня, возникающего при взаимодействии в атмосфере космических частиц сверхвысоких энергий. Мюонный луч, как луч света, как бы освещает пласты Земли на глубину до нескольких десятков километров и в зависимости от состояния сейсмической активности среда генерирует высокочастотные акустические сигналы. По амплитуде акустических сигналов, после выделения определенных частот, устанавливается уровень сейсмичности. Используя геометрию размещения акустических датчиков в скважине и скорости распространения сигналов в земле, возникает возможность диагностировать сейсмическую среду с уникальным пространственным разрешением в десятки метров. При этом космический «ускоритель» постоянно и совершенно бесплатно поставляет нам космические частицы для создания мюонных лучей в разных точках исследуемой области геологического разлома.

*Работа казахстанских физиков регламентирована постановлениями и указаниями Президента республики Н. А. Назарбаева от 01.02.2006 и 30.03.2006 и государственными программами.*

## ЛИТЕРАТУРА

1 Такибаев Ж.С., Боос Э.Г. Неупругие взаимодействия нуклонов при высоких энергиях. – Алма-Ата: Изд-во Наука КазССР, 1974.

2. ZEUS-collaboration – Boos E.G., Pokrovsky N.S., Zhautykov B.O. et all. Inclusive-jet Photoproduction at HERA and determination of  $\alpha_s$  // Nucl. Phys. – B 864. – 2012. – P. 1-37.

3. Sadykov T.Kh., Amurin I.V., Antonova V.P., ... . Modern state of the ATHLET setup at the Tien-Shan. International Journal of Modern Physics A. – 2005. – Vol. 20, N 29. – S. 6778-6780.

4. Sadykov T, at all // Journal of Physics: Conference Series 409 (2013) 012127 doi:10.1088/1742-6596/409/1/012127.

## REFERENCES

1 Takibaev Zh.S., Boos E.G. Neuprugie vzaimodeystviya nuklonov pri visokih energiyah. Alma-Ata: Iz-vo Nauka KazSSR, 1974.

2 ZEUS-collaboration – Boos E.G., Pokrovsky N.S., Zhautykov B.O. et all. Inclusive-jet Photoproduction at HERA and determination of  $\alpha_s$ . Nucl. Phys. B 864. 2012. P. 1-37.

3 Sadykov T.Kh., Amurin I.V., Antonova V.P., ... . Modern state of the ATHLET setup at the Tien-Shan. International Journal of Modern Physics A, V. 20, № 29, 2005. С 6778-6780.

4 Sadykov T. at all Journal of Physics: Conference Series 409 (2013) 012127 doi:10.1088/1742-6596/409/1/012127.

## Резюме

*Э. Г. Боос, Т. Х. Садықов*

(Физико-техникалық институт, Алматы, Қазақстан Республикасы)

## ЖОҒАРЫ ЖӘНЕ АСА ЖОҒАРЫ ЭНЕРГИЯЛАР ФИЗИКАСЫ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Микроәлемнің ғаламдық мәселелері және онымен байланысты әлем дамуының өзекті мәселелері қарастырылады. Элементарлық бөлшектің және макроәлем серпінділігі мәселесінің негізгі шешілмеген сұрақтары берілді.

**Түйін сөздер:** энергия, үдеткіштер, ғарыш сәулелері, элементар бөлшектер, серпімсіз әсерлесулер.

Институт ғалымдары халықаралық қатынастар шегінде іргелі және қолданбалы есептерде жоғары және аса жоғары энергия облысында үдеткіштерде және космостық сәулелерде алынған қысқа нәтижелердің шолуы беріледі.

Авторлар:

1. Э. Г. Боос Академик ҒҰА ҚР, профессор, ф.м.-ғ.д. ТОО «Физико-техникалық институтта» жұмыс атқарады. Жоғары энергия физика лабораториясының меңгерушісі.

Академик Э. Г. Боос ғылыми мүддесі энергиялары үдеткіштерге жақын адрон және электрондардың серпімсіз әрекеттесуіне және қайтара сәулендіру кезінде ғарыш сәулелер бөлшектерінің энергиясын бағалауына байланысты.

2. Т. Х. Садыков. Профессор, ф.м.-ғ.д ТОО «Физика-техникалық институтта» жұмыс атқарады. Ғарыш сәулелері лабораториясының меңгерушісі.

3. Т. Х. Садыков тым жоғары энергиялы ғарыш сәулелері затпен әрекеттесуін фундаменталдық және қолданбалы зерттеулермен айналысады. Зерттеулер теңіз деңгейінен 3340 м биіктікте жүргізіледі.

## Summary

*E. G. Boos, T. Kh. Sadykov*

(Institute of physics and technology, Almaty, Republic of Kazakhstan)

## THE PROBLEM OF HIGH AND ULTRAHIGH ENERGY

Mention global problems of microcosm and related questions of the universe. Lists the main unresolved questions of particle physics and the problem of the dynamics of the macrocosm.

**Keywords:** energy, accelerators, cosmic rays, elementary particles, inelastic interactions.

Provides a brief overview the results obtained by the scientists of the Institute in the framework of international cooperation in the field of fundamental and applied problems of high and ultra-high-energy accelerators and cosmic rays.

Authors:

1. E.G. Boos. Academician of the NAS, Professor, Dr. in the LP "Physical-Technical Institute." Head of the Laboratory for High Energy Physics.

Research interests of academician of NAS E.G. Boos are connected with the study of the mechanism inelastic interactions of hadrons and electrons at energies attainable with accelerators and evaluation of energy cosmic ray particles on the secondary radio emissions.

2. T.Kh. Sadykov. Professor, Dr. in the LP "Physical-Technical Institute." Head of the Laboratory of cosmic rays.

3. Sadykov T.Kh. engaged in fundamental and applied research of particle interactions of ultrahigh-energy cosmic rays with matter at high altitude station, located at an altitude of 3340 meters above sea level.

*Поступила 15.10.2013г.*