



**Реферат**

Есеп 17 бет, 1 кітап, 2 сурет, 7 шығу көзінен, 1 қосымшадан.

НЕЙТРОН, АДРОН, КЕҢ АТМОСФЕРАЛЫҚ НӨСЕР, ГАЗ РАЗРЯДТЫ САНАУЫШ, НЕЙТРОНДЫҚ ДЕТЕКТОР

Зерттеу нысаны: кең атмосфералық нөсер, нейтрондар, адрондар, нейтронды детекторлар, газ разрядты санауыштар.

Мақсаты: 3He газ разрядты санауыштар негізінде төмен энергетикалық тіркеу шегі бар қуатты КАН нейтрон түзуші компоненті туралы деректерді жинау үшін детекторлар жүйесін құру.

Зерттеу әдісі: ақпараттық, тәжірибелік, компьютерлік.

Жұмыстың нәтижесі және олардың жаңалығы: 3Hе газ разрядты есептегіштер негізінде КАН нейтрон түзуші компонентін тіркеуге арналған детекторлар жүйесі әзірленді. 3Hе газ разрядты санауыштар негізінде нейтрондық детекторларды құру КАН бағаны аумағында бұрын тіркелмеген жылу нейтрондарының ағындарын зерттеуге мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, есепті кезеңде нейтрондық есептегіштердің амплитудалық спектрлері алынды.

Қолдану аумағы: Ғарыштық сәулелердің эксперименттік физикасы.

Жұмыстың экономикалық тиімділігі немесе маңыздылығы

3Hе газ разрядты санауыштары негізінде нейтрондық детекторлардан деректерді жинаудың жаңа жүйесінде алынатын КАН нейтрон түзетін компоненті туралы ақпарат Тянь-Шаньдық 18NM64 супермониторында өткен эксперименттердің белгілі нәтижелерімен салыстырудың оң нәтижесін қамтамасыз ете алады.

Зерттеу объектісінің дамуы туралы болжамды болжамдар:

Жобаны орындау кезінде алынған эксперименттік мәліметтерді адрондық процестер физикасының іргелі мәселелерін талдауда қолдануға болады.

**Реферат**

Отчет 17 с., 1 кн., 2 рис., 7 источн., 1 прил.

НЕЙТРОНЫ, АДРОНЫ, ШИРОКИЕ АТМОСФЕРНЫЕ ЛИВНИ, ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ СЧЕТЧИКИ, НЕЙТРОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Объекты исследований: широкие атмосферные ливни, нейтроны, адроны, нейтронные детекторы, газоразрядные счетчики.

Цель: Создание системы детекторов для сбора данных о нейтронообразующей компоненте мощных ШАЛ с низким энергетическим порогом регистрации, на основе газоразрядных счетчиков 3He.

Методы исследований: информационные, экспериментальные, компьютерные.

Результаты работы и их новизна:

Проведена разработка системы детекторов для регистрации нейтронообразующей компоненты ШАЛ, на основе газоразрядных счетчиков 3Hе. Создание нейтронных детекторов на основе газоразрядных счетчиков 3Hе дает возможность исследовать ранее не регистрировавшиеся потоки тепловых нейтронов в области ствола ШАЛ.

Также за отчетный период были получены *а*мплитудные спектры нейтронных счетчиков.

Область применения: Экспериментальная физика космических лучей.

Экономическая эффективность или значимость работы

Информация о нейтронообразующей компоненте ШАЛ, которая будет получена на новой системе сбора данных от нейтронных детекторов, на основе газоразрядных счетчиков 3Hе, может обеспечить положительный результат сравнения с известными результатами предыдущих экспериментов на Тянь-Шаньском супермониторе 18NM64.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования:

Полученные при выполнении проекта экспериментальные данные могут применяться в анализе фундаментальных проблем физики адронных процессов.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| ВВЕДЕНИЕ……………………………………………………………………………….ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЕТА О НИР…………………………………………………. | 810 |
| 1 | Разработка системы детекторов для регистрации нейтронов, на основе газоразрядных счетчиков 3He………………………………………………………...  | 10 |
| Заключение…………………………………………………………………………… | 14 |
| Список использованных Источников…………………...……………...… | 15 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А Календарный план работ………..……………...………………….. | 16 |
|  |  |

**ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями.

|  |  |
| --- | --- |
| Широкий атмосферный ливень | – каскад элементарных частиц, образующихся в результате взаимодействия частиц первичного космического излучения (протоны и ядра) с ядрами атомов атмосферы. |
| Нейтрон | – входящая в ядро атома нестабильная материальная частица, лишённая электрического заряда. |
| Адроны | – класс составных частиц, подверженных сильному взаимодействию. |

**ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**

В настоящем отчете НИР применяют следующие сокращения и обозначения.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| эВ | – |  электрон-вольт |
| ГэВ | – | 109 электрон-вольт |
| МэВ | – | 106 электрон-вольт |
| КЛ | – | Космические лучи |
| ШАЛ | – | широкие атмосферные ливни |
| АЦП | – | аналого-цифровой преобразователь |
| ТШВНС | –  | Тянь-шаньская высокогорная научная станция |

**ВВЕДЕНИЕ**

Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы

К настоящему времени история исследования космических лучей (КЛ) в диапазоне первичных энергий 1015 - 1017 эВ насчитывает возраст порядка полувека, но несмотря на это в их свойствах остается много непонятного. В первую очередь к таким невыясненным вопросам следует отнести природу так называемого излома первичного спектра космических лучей - резкого изменения показателя в степенном спектре КЛ при первичной энергии порядка1015 эВ. Помимо излома, в той же области значений был обнаружен ряд других эффектов, которые до сих пор не получили объяснения. К таким невыясненным вопросам следует отнести и избыточную генерацию нейтронов, образовавшихся при взаимодействии адронов космического излучения с веществом.

Одним из предполагаемых каналов передачи энергии взаимодействия при развитии широких атмосферных ливней, принадлежащих к энергетическому диапазону выше излома первичного спектра, может оказаться процесс генерации большого количества частиц-продуктов низкой энергии, которые оказываются ниже порога регистрации детекторов, используемых в обычных экспериментах. В такой ситуации особое значение для проведения ливневых экспериментов приобретают уникальные преимущества нейтронной методики, а именно характерные для нейтронных детекторов низкий энергетический порог и широкий динамический диапазон измеряемых энерговыделений. Результаты ряда экспериментов, проведенных в течение двух последних десятилетий на Тянь-шаньской высокогорной научной станции (ТШВНС), можно интерпретировать как наблюдение интенсивных потоков адронов низкой энергии.

Обоснование необходимости проведения НИР

В 1990–2000-х годах на Тянь-Шаньской высокогорной станции, в рамках эксперимента «Hadron» [1] систематически проводились исследования ШАЛ методом детектирования нейтронных сигналов, который был направлен на исследование характеристик ядерных взаимодействий в диапазоне первичных энергий 1014 − 1017 эВ.

Следует отметить, применение нейтронной методики дает возможность использовать один и тот же детектор для изучения ядерных реакций во взаимодействиях космических лучей, принадлежащих к весьма широкому энергетическому диапазону. Так, в эксперименте «Hadron» детектор на основе супермонитора NM64 позволил измерить спектр энерговыделений в пределах от 0.5 ГэВ до 5 104 ГэВ, то есть на протяжении пяти порядков величины [2,3].

После того, как на ливневой установке Тянь-Шаньской станции были получены свидетельства об аномально высокой множественности испарительных нейтронов, которые генерируются внутри монитора при попадании в него стволов широких атмосферных ливней, возник вопрос о поведении низкоэнергичной составляющей нейтронного потока, сопровождающего прохождение ШАЛ.

Сведения о планируемом научно-исследовательском уровне разработки

Все проблемы, рассмотренные в Проекте «Создание системы детекторов для регистрации нейтронообразующей компоненты мощных шал с низким энергетическим порогом регистрации» относятся к высокому уровню разработки.

Актуальность и новизна темы

Поэтапное развитие комплекса детекторов ТШВНС привело к созданию многофункциональной установки, пригодной для проведения экспериментальных исследований на стыке физики частиц, астрофизики, физики КЛ, атмосферной физики, физики солнечно-земных связей, геофизики. Новые детекторы частиц ливневой установки позволяют подробно исследовать пространственную структуру потока заряженных частиц ШАЛ с E0 ≃ 1014 ~1017 эВ, в том числе внутри их центральной области (на расстоянии ≲1 м от оси), что ранее оставалось недостижимым из-за ограниченности динамического диапазона детекторов. Для исследования различных компонент ШАЛ на станции создан калориметр большой площади, в котором наряду с традиционной регистрацией ионизации от продуктов взаимодействия частиц КЛ впервые предусмотрено применение нейтронных детекторов, дающих возможность качественно расширить динамический диапазон и информативность измерений. В состав ливневой установки входит большое количество нейтронных детекторов различного типа, которые систематически используются для регистрации ранее не исследовавшихся компонент ШАЛ и продуктов взаимодействия частиц КЛ с веществом окружающей среды.

Цель исследований

Разработка системы детекторов для регистрации нейтронообразующей компоненты ШАЛ, на основе газоразрядных счетчиков.

Календарный план заданий за отчетный период 2020г представлен в приложение А.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ** **ОТЧЕТА О НИР**

**1 Разработатка системы детекторов для регистрации нейтронов, на основе газоразрядных счетчиков 3He**

Адроны космических лучей с энергией порядка нескольких ГэВ и выше могут эффективно регистрироваться в установках типа нейтронного монитора, то есть детекторами, включающими в свою конструкцию поглотитель-мишень из тяжелого вещества, внутри которой ядерные взаимодействия налетающих адронов высокой энергии приводят к гене-рации большого количества вторичных испарительных нейтронов, повышая тем самым вероятность регистрации первичной космической частицы. Помимо таких энергичных адронов при исследованиях широких атмосферных ливней представляет интерес также и нейтронный фон низкой энергии, начиная от нейтронов теплового диапазона порядка 10-2 эВ и вплоть до нескольких сотен МэВ [4-6]. Первые попытки детектирования сопровождающих прохождение ШАЛ нейтронов в тепловом диапазоне энергий были предприняты на Тянь-Шаньской высокогорной станции еще в середине 2000-х годов [7], до начала работ по созданию новой ливневой установки. Исследования в этом направлени*и* продолжаются и в настоящее время по программе модернизации Тянь-Шаньского комплекса детекторов для изучения физики широких атмосферных ливней.

*Потоки* нейтронов низкой энергии в большом количестве образуются при взаимодействии адронной компоненты ШАЛ с веществом окружающей среды, но, вероятность их детектирования нейтронными счетчиками монитора мала. Низкая чувствительность супермонитора по отношению к нейтронам малой энергии объясняется существенным отражением таких нейтронов и их поглощением в слое внешнего замедлителя-отражателя, который состоит из легкого вещества и окружает супермонитор с наружной стороны.

Это обстоятельство обуславливает необходимость включения в состав ливневой установки отдельных детекторов с низким энергетическим порогом, которые специально предназначены для регистрации нейтронного потока малой энергии (*≪*1 ГэВ).

Внутреннее устройство детектора с низким энергетическим порогом, который обеспечивает эффективную регистрацию нейтронных потоков в широком диапазоне энергий, начиная от тепловых и вплоть до нескольких МэВ, показано на рисунке 1.



*1* − внешний корпус из алюминия толщиной 1 мм, *2* − нейтронный счетчик, *3* − замедлитель

Рисунок 1 − Нейтронный детектор с низким порогом регистрации

Основным чувствительным элементом такого детектора является газоразрядный нейтронный счетчик ПД631 («Гелий-2»). Счетчики этого типа имеют геометрические размеры 30×1000 мм, и в каждом детекторе устанавливаются по шесть таких счетчиков. Вмещающий нейтронные счетчики контейнер представляет собой параллелепипед с размерами 120×84×10 см3, изготовленный из алюминия с толщиной стенки 2 мм. Все счетчики ПД631 работают в пропорциональном режиме газового усиления. Счетчики ПД631 заполнены смесью газов, состоящей из обогащенного 3He и природного аргона, с парциальным давлением 2 атм каждый. Чувствительность такого счетчика к потоку тепловыхнейтронов обеспечивается за счет ядерной реакции перезарядки *n*(3He,3H)*p*, появление заряженных продуктов которой во внутреннем объеме счетчика регистрируется им в виде электрического импульса на анодной нити. Поскольку сечение этой реакции быстро падает с увеличением энергии нейтрона, но при этом может потребоваться чувствительность детектора к потокам нейтронов с различной кинетической энергией, часть составляющих каждый детектор нейтронных счетчиков может располагаться внутри своего локального замедлителя. Последний имеет форму цилиндрических труб из легкого, водородсодержащего вещества — парафина или поливинилхлорида (ПВХ). Комбинация «открытых» и экранированных замедлителем счетчиков в нейтронных детекторах позволяет расширить энергетический диапазон их чувствительности. Для подключения счетчиков ПД631 к источнику высоковольтного питания, съема и формирования электрических импульсов, которые генерируются на их анодных нитях, применяются те же электронные схемы, что и в случае нейтронных счетчиков супермонитора NM64. Пороги срабатывания импульсных дискриминаторов, обслуживающих каналы отдельных счетчиков в нейтронных детекторах, устанавливаются исходя из формы амплитудного спектра импульсов, которые наблюдаются на выходе счетчика. Амплитудные спектры нейтронных счетчиков получены с помощью схемы импульсного АЦП в специальных сериях измерений, когда счетчик регистрировал либо чистый фон поступающих из окружающей среды нейтронов, либо облучался потоком тепловых нейтронов от полностью закрытого замедлителем (11 см парафина) Pu-Be источника. Вид таких спектров показан на рисунке 2.



Стрелкой *Т* отмечен порог срабатывания импульсных дискриминаторов в каналах регистрации

Рисунок 2 − Амплитудные спектры импульсов на анодной нити счетчика при регистрации им нейтронного фона из окружающей среды и при облучении нейтронами от Pu-Be источника

Как видно из рисунк*а* 2, для амплитудных спектров импульсов, которые генерируются счетчиками, характерно наличие относительно узкого пика, куда попадает основная масса полезных сигналов от вызванных нейтронами ядерных реакций. Для того чтобы добиться устойчивой работы счетчика и надежного измерения интенсивности нейтронного потока, порог срабатывания дискриминаторов в информационных каналах детекторов следует регулировать таким образом, чтобы при пересчете к аноду счетчика положение порога на амплитудной оси оказывалось вблизи нижней границы пика полезных сигналов в его амплитудном спектре. На рисунке 2 такое положение порога отмечено стрелкой T. Система сбора данных от низкопороговых нейтронных детекторов построена на основе управляемых микропроцессором электронных плат, которые обеспечивают формирование импульсных сигналов и измерение скорости их поступления для каждого нейтронного счетчика. Также для всех нейтронных детекторов обеспечивается одновременная регистрация данных двух типов: регулярные измерения скорости счета нейтронов с постоянным периодом порядка нескольких секунд и прецизионная запись формы временного распределения интенсивности сигналов в течение некоторого периода после прохождения фронта широких атмосферных ливней. Регистрация временных распределений производится с разрешением порядка десятков и сотен микросекунд, и синхронизируется с приходом внешнего триггера ШАЛ от Тянь-Шаньской ливневой установки.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Краткие выводы по результатам НИР за 2020 год

За отчетный период разработана система детекторов для регистрации нейтронообразующей компоненты ШАЛ, на основе газоразрядных счетчиков 3Hе. Получены *а*мплитудные спектры нейтронных счетчиков c помощью схемы импульсного АЦП, в специальных сериях измерений.

Оценка полноты решений поставленных задач

Плановое задание на 2020 год по программе выполнено полностью и в соответствии с календарным планом и технической спецификацией.

В Проекте принимали участие 2 молодых специалиста.

Рекомендации по конкретному использованию результатов

Результаты работы будут применены в дальнейших исследованиях.

Оценка научно-технического уровня выполнения НИР в сравнении с лучшими достижениями в данной области.

Научно-технический уровень выполнения НИР находится на должной высоте и соответствует достижениям современной науки в области физики высоких энергий и космических лучей.

**Список использованных источников**

1. Khristiansen G. B., Fomin Yu. A., Kalmykov N. N. Primary cosmic ray mass composition at energies 1015–1017 eV as measured by the MSU EAS array //Astropart. Phys.— 1994. —Vol. 2. — P. 127–136.
2. Zavrtanik D., (Pierre Auger Collaboration). Cosmic Rays at Extreme Energies: Status and Recent results of the Pierre Auger Observatory // Nucl. Phys. B Proc. Suppl.− 2008. − 1. − Vol. 175–176. − P. 213-220.
3. Beatty J. J., (Pierre Auger Collaboration). The Pierre Auger project: An observatory for the highest energy cosmic rays // Int. J. Mod. Phys. A. − 2001. −Vol. 16. − P. 1022.
4. Erlykin A. D. Neutron ‘thunder’ accompanying the extensive air shower // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. − 2007. − Vol. 71, No. 4. − P. 537-540.
5. Knurenko S. P., Saburov A. The nature of pulses delayed by 5 ns in scintillation detectors from showers with the energy above 1017 eV // Proceedings of the 33rd ICRC. − Rio de Janeiro, Brazil: 2013.
6. Stenkin Yu. V., Valdés-Galicia J. F. ON THE NEUTRON BURSTS ORIGIN //Mod. Phys. Lett. A. − 2002. − Vol. 17. − P. 1745.
7. Chubenko A. P., Shepetov A. L., Antonova V. P. The influence of background radiation on the events registered in a neutron monitor at mountain heights // J. Phys. G. − 2008. − Vol. 35. − P. 085202.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**



