

6 - Атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц

Бабкин Вадим Андреевич, н.с.

Дубна, Объединённый институт ядерных исследований, лаб. физики высоких энергий

Многоцелевой детектор MPD для изучения свойств плотной барионной материи на ионном коллайдере NICA

e-mail: babkin@jinr.ru

стр. 220

Бажажин Алексей Геннадьевич, м.н.с.

Дубна, Объединённый институт ядерных исследований, лаб. физики высоких энергий

Результаты тестирования прототипа время-проекционной камеры (TRC) для многоцелевого детектора (MPD) мега-проекта NICA

Мовчан Сергей Александрович, к.ф.-м.н.

e-mail: bajajin@jinr.ru

стр. 221

Безуглов Максим Александрович, 4 курс

Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический

Темная материя в техницвете

Бейлин Виталий Александрович, к.ф.-м.н.

e-mail: mbezuglov1995@gmail.com

стр. 222

Исатов Аскар Танатович, инженер

Дубна, Объединённый институт ядерных исследований, лаб. ядерных реакций

Многоканальный сцинтилляционный детектор для измерения плотности потока тяжелых ионов низкой интенсивности

Тетерев Юрий Геннадиевич, к.ф.-м.н.

e-mail: issatov@jinr.ru

стр. 223

Кабытаева Раушан Канапияновна, инженер

Дубна, Объединённый институт ядерных исследований, лаб. ядерных реакций

Применение программных пакетов FLUKA и GEANT4 для изучения получения ⁶He

Тетерев Юрий Геннадиевич, к.ф.-м.н.

e-mail: kabytayeva@jinr.ru

стр. 224

Седов Егор Валентинович, 4 курс

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Измерение радиационной стойкости сцинтилляционных кристаллов йодистого цезия, активированного галлием

Матвиенко Дмитрий Владимирович,

e-mail: egor.sedoff@gmail.com

стр. 226

Следнева Анна Сергеевна, 4 курс

Дубна, Государственный университет «Дубна», Объединённый институт ядерных исследований, естественных и инженерных наук

Линейный ускоритель электронов Объединённого института ядерных исследований для научных и прикладных целей

Кобец Валерий Васильевич, к.ф.-м.н.

e-mail: ekaterinburger23@gmail.com

стр. 226

Сотников Алексей Владимирович, аспирант 2 года обучения

Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, институт инженерных технологий и естественных наук

Прохождение электронов с энергией 10 КэВ через стеклянные макрокапилляры конической и цилиндрической формы

Вохмянина Кристина Анатолиевна, к.ф.-м.н.

e-mail: 582131@bsu.edu.ru

стр. 228

Туснин Александр Константинович, 4 курс

Новосибирск, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, физический

Изучение конверсионного распада омега мезона в эта мезон и электрон-позитронную пару в основных заряженных модах распада эта мезона на детекторе КМД-3

Казанин Василий Фёдорович, к.ф.-м.н.

e-mail: alextnsnin@gmail.com

стр. 229

Многоцелевой детектор MPD для изучения свойств плотной барионной материи на ионном коллайдере NICA

Бабкин Вадим Андреевич
от имени коллаборации MPD/NICA

Объединенный институт ядерных исследований
babkin@jinr.ru

Главной целью проекта NICA/MPD [1, 2] является изучение столкновений тяжелых ионов при энергиях $\sqrt{s_{NN}} = 4 - 11$ ГэВ для исследования свойств адронов в сверхплотной ядерной среде, а также уравнения состояния ядерной материи и свойств фазовых переходов, включая поиск возможных сигналов деконфайнмента.

Фазовая диаграмма сильно взаимодействующей адронной материи представлена на *рис. 1*. Согласно предсказаниям КХД, при сверхвысоких температурах и плотностях в адронной среде возможен фазовый переход или деконфайнмент, при котором материя представляет собой смесь свободных кварков и глюонов (кварк-глюонная плазма).

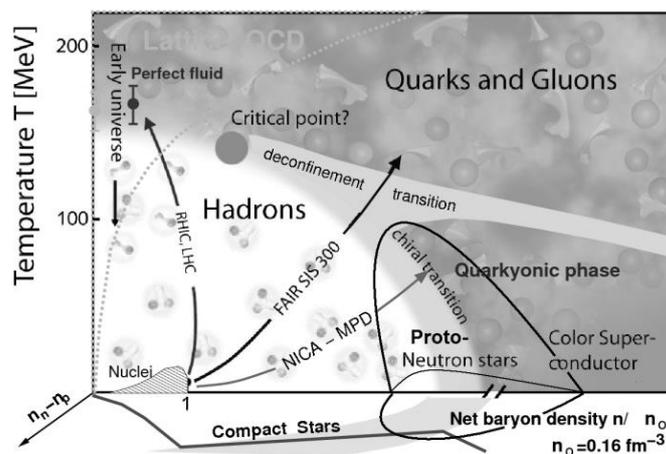


рис. 1. Фазовая диаграмма сильно взаимодействующей адронной материи

Относительно широкий диапазон энергий столкновения ($\sqrt{s_{NN}} = 4 - 11$ ГэВ) и разнообразие сталкивающихся ядер комплекса NICA позволяет просканировать достаточно большую область фазовой диаграммы. В свою очередь, рекордная светимость коллайдера ($L = 10^{27}$ см⁻²с⁻¹) позволяет набрать высокую статистику даже для очень редких процессов. Благодаря таким планируемым параметрам ускорителя на установке MPD можно успешно решить следующие основные задачи:

- изучение выходов адронов (полной множественности и спектров) включая мульти-странные барионы и антибарионы;
- изучение критических явлений в пособытийных флуктуациях множественности, поперечного импульса, отношения частиц и барионной плотности;
- изучение коллективных эффектов (прямых и эллиптических потоков) для идентифицированных адронов включая странные частицы;
- фемтоскопия (НВТ интерферометрия) идентичных частиц и поиск негауссовых компонент в корреляционных функциях;
- подробное изучение электромагнитных пробников (фотоны и дилептоны).

Для решения таких сложных и требующих высокой точности измерения задач необходима экспериментальная установка с наилучшими возможными параметрами. Многоцелевой детектор, который удовлетворяет таким требованиям, создается с учетом последних достижений в методике регистрации частиц и электроники.

Список публикаций:

[1] A. Sissakian et al., *The MultiPurpose Detector — MPD. Conceptual Design Report. Version 1.4. JINR, Dubna (2012).*

[2] A. Sissakian et al., *Design and Construction of Nuclotron-based Ion Collider fAcility (NICA), Conceptual design report JINR, Dubna (2008).*

Результаты тестирования прототипа время-проекционной камеры (TPC) для многоцелевого детектора (MPD) мега-проекта NICA

Бажажин Алексей Геннадьевич

Мовчан С.А., Заневский Ю.В., Разин С.В., Лукстиниш Ю., Чепурнов В.Ф., Фатеев О.В., Аверьянов А.В., Рыбаков А.А.

Объединенный институт ядерных исследований

Мовчан Сергей Александрович, к.ф.-м.н.

bajajin@jinr.ru

Изучение горячей и плотной ядерной материи – актуальная задача современной физики. В такой среде возможно обнаружить новые, пока слабо изученные состояния материи - так называемую кварк-глюонную плазму и переходный процесс – «смешанную фазу», существование которых предсказано современной теорией сильного взаимодействия – квантовой хромодинамикой.

В ЛФВЭ ОИЯИ реализуется мега-проект NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility) на базе ускорителя Нуклотрон-М.

Новый ускорительный комплекс позволит исследовать свойства плотной барионной материи при столкновении тяжелых ионов в широком диапазоне атомных масс - от p-p столкновений в диапазоне по энергиям $\sqrt{S_{pp}} = 12\div 27$ ГэВ/н и d+d при энергиях $\sqrt{S_{NN}} = 4\div 13.8$ ГэВ/н со средней светимостью $L = 10^{32} \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ до $\text{Au}^{+79} + \text{Au}^{+79}$ столкновений в диапазоне по энергии $\sqrt{S_{NN}} = 4\div 11$ ГэВ/н при средней светимости $L = 10^{27} \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ (Au^{+79}).

Коллайдер предусматривает две точки пересечения пучков, в одной из которых будет располагаться экспериментальная установка Многоцелевой детектор (Multi Purpose Detector - MPD).

Время-проекционная газовая камера (Time-Projection Chamber - TPC), представляющая из себя гибридную дрейфовую и пропорциональную камеру считывания, является основным трековым детектором и детектором идентификации частиц в цилиндрической части установки MPD.

TPC будет обеспечивать:

- эффективную регистрацию треков заряженных частиц в области псевдобыстрот $|\eta| \leq 1.2$,
- импульсное разрешение $\sim 3\%$ для частиц с энергией в пределах $0.1 < p_t < 1$ ГэВ/c,
- двухтрековое разрешение - около 1 см,
- разрешение dE/dx - не хуже 8%, при множественности до 1000 заряженных частиц в центральных столкновениях и частоте событий ~ 7 кГц.

В докладе будут приведены схемы установки MPD и детектора TPC. Приведены основные геометрические размеры и параметры TPC. Будет показана важная часть TPC, которой является система формирования однородного электрического поля в её дрейфовом объеме. Однородное электрическое поле внутри TPC создается центральным высоковольтным HV-электродом, расположенным в центре газового объема TPC, считывающими камерами информации (**Readout Chamber – ROC**) с катодной пэдовой плоскостью считывания под нулевым потенциалом, расположенных на торцах TPC и системой формирующих электродов (field cage).

Пэддовая плоскость считывания информации представляет из себя печатную многослойную плату со считывающим электронным зарядом поверхностью. Считывающая поверхность состоит из рядов медных прямоугольников (пэдов), от пэдов разведены сигналы к электрическим разъемам, на обратной стороне печатной платы, для считывающей с них информации, электроники.

ROC-камера представляет из себя многопроволочную пропорциональную газовую камеру считывания информации, содержащую параллельные катодные и анодные тонкие многопроволочные плоскости, которые образуют область газового усиления в рабочем объеме TPC, предназначенную для усиления электронного сигнала, который потом собирается на пэдовой катодной плоскости считывания. Также ROC-камера содержит проволочную плоскость запирающей сетки, которая эффективно препятствует дрейфу заряженных частиц, образовавшихся в области газового усиления, обратно в дрейфовый объем TPC.

Система полеформирующих электродов (field cage) представляет из себя ленты алюминизированного майлара. Они располагаются с шагом 15 мм на специальных поддерживающих трубках вдоль стенок корпуса рабочего объема TPC. Ширина полос 13 мм.

В докладе также будут приведены результаты оптимизации формы и однородности электрического поля внутри дрейфового объема TPC с использованием программного пакета ANSYS Maxwell.

Также будет представлен прототип ТРС с многопроволочной пропорциональной камерой и пэдовой плоскостью для считывания информации. Приведены результаты тестирования прототипа ТРС с использованием UV-лазера и космического излучения. Получена функция распределения заряда на пэдовой плоскости в зависимости от размеров пэдов и величины зазора анод-катод. Измерены зависимость коэффициента газового усиления от напряжения на аноде камеры и зависимость эффективности подавления выброса ионов из камеры в дрейфовый объем ТРС от напряжения на запирающей сетке. Оценена величина координатного разрешения ТРС.

Выводы: было успешно проведено испытание прототипов ТРС и проведены расчеты электрического поля внутри рабочего объема ТРС, определены параметры считывающей камеры ТРС, на основании которых были доработаны и проверены конструкционные узлы для ТРС/MPD, в том числе: полеформирующие электроды, пэдовая плоскость и считывающая камера информации.

Темная Материя в техницвете
Безуглов Максим Александрович
Кукса Владимир Ильич
Южный федеральный университет
Бейлин Виталий Александрович, к.ф.-м.н.
mbezuglov1995@gmail.com

Существование во Вселенной особого рода объектов, проявляющих себя практически только в гравитационном взаимодействии (так называемой Темной Материи, ТМ), можно считать достоверно установленным фактом. Современные астрофизические данные фиксируют с достаточной точностью количественный вклад ТМ в наблюдаемую плотность материи. Однако тип носителей ТМ не установлен, что является одной из открытых проблем Стандартной Модели элементарных частиц (СМ). Феноменологическое описание ТМ в терминах WIMПов – нейтральных слабодействующих массивных частиц – неоднозначно, поскольку частицы такого типа содержатся в различных расширениях СМ.

Одно из возможных расширений было предложено в начале 70-х годов прошлого века Вайнбергом и Сасскиндом, как альтернатива спонтанному нарушению электрослабой симметрии при нарушении симметрии вакуума, так называемому механизму Хиггса (ХМ). Идея заключалась в добавлении к СМ нового сильного взаимодействия находящихся в конфайнменте дополнительных фермионов – техникварков, принадлежащих фундаментальному представлению калибровочной группы техницвета, $SU(N_C)$. Добавленное по аналогии с квантовой хромодинамикой (КХД), технисильное взаимодействие позволяет описывать механизм нарушения электрослабой симметрии, как динамический. Различные варианты такого расширения СМ получили название техницветовых моделей; несмотря на то, что из техникварков можно «построить» составной аналог бозона Хиггса, техницветовые степени свободы могут рассматриваться не как замена ХМ, а как его дополнение. Техничцветовые модели вводят также целый набор новых физических состояний – технимезонов, технибарионов и т.д., взаимодействующих как между собой, так и с частицами СМ.

В данной работе анализируется техницветовое расширение СМ, содержащее два поколения техникварков с гиперзарядом $Y=0$ и техницветовым числом $N_C=2$. В такой минимальной модели бозонного техницвета (технисильные поля и взаимодействия рассматриваются в модели наряду с сохранением «стандартного» бозона Хиггса) можно обеспечить вектороподобное взаимодействие техникварков с векторными бозонами, что важно для согласования расчетов с прецизионными результатами СМ.

Модель содержит ди(техни)кварковые состояния с сохраняющимся технибарионным числом, которые приближенно можно описывать как триплет по электрослабой группе, V^+ , V^- , V^0 . Расчет показывает, что расщепление масс в триплете V -технибарионов мало ($\Delta m \approx 160$ МэВ) по сравнению с предполагаемой массой барионов на масштабе ~ 1 ТэВ. Низшим состоянием является нейтральный скалярный технибарион V^0 , который может быть интерпретирован как носитель свойств ТМ. Малость расщепления масс означает необходимость анализа процессов коаннигиляции типа $V^\pm V^\pm, V^\pm V^0, \dots \rightarrow XY$, что было учтено при расчете реликтовой плотности ТМ. Теоретические результаты хорошо согласуются с наблюдательными данными по плотности ТМ во Вселенной при $M_B \sim 1$ ТэВ.

Проведены также расчеты диффузного спектра фотонов при аннигиляции ТМ в процессах $V^0 V^0 \rightarrow XY\gamma$. Сигналы такого типа могут изучаться в современных орбитальных обсерваториях. Таким образом, минимальное техницветовое расширение СМ дает возможность качественного и количественного изучения свойств Темной Материи.

Многоканальный сцинтилляционный детектор для измерения плотности потока тяжелых ионов низкой интенсивности

Исатов Аскар Танатович

Тетерев Юрий Геннадиевич, Митрофанов Семен Вячеславович

Объединенный институт ядерных исследований

Тетерев Юрий Геннадиевич, к.ф.-м.н.

issatov@jinr.ru

Описан прототип многоканального сцинтилляционного детектора для измерения плотности потока тяжелых ионов низкой интенсивности. Прототип детектора состоит из 16 органических сцинтилляторов с площадью 1 см^2 , 16-канального ФЭУ фирмы Hamamatsu и спектросмещающих волокон фирмы Kuraray с сечением 1 мм^2 .

Введение

Ускоренные тяжелые ионы находят широкое применение для решения различных прикладных задач. С их помощью проводятся исследования в области материаловедения, биологии, радиоэлектроники и т.п. В большинстве случаев при решении таких задач, особенно при изучении динамики какого-либо процесса, необходимо использовать пучки, в которых плотность потока ионов на изучаемый объект составляет от единиц до 10^5 ионов/ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Это могут быть ионы атома любого элемента, от Li до U, с энергией от 2–3 до десятков мегаэлектронвольт на нуклон. Для диагностики пучка, проводимой в счетном режиме, могут быть использованы детекторы ядерного излучения [1].

В данной работе описан прототип многоканального сцинтилляционного детектора, предназначенный для измерения потока тяжелых ионов при тестировании радиоэлектронных изделий.

Измерения потока ионов при тестировании радиоэлектронных изделий

Установки для тестирования радиоэлектронных изделий созданы в мире на базе многих ускорителей тяжелых ионов, например [2]. Такие установки созданы и в ЛЯР ОИЯИ на базе ускорителей тяжелых ионов У-400 и У-400М. Облучение изделий по требованию пользователей проводится в вакууме. Другие основные требования, предъявленные пользователями к условиям облучения изделий, заключаются в следующем:

- однородный по плотности поток ионов на площади, большей, чем размер облучаемых изделий ($200 \times 200 \text{ мм}$), степень неоднородности не должна превышать $\pm 20\%$;
- диапазон регулирования плотностей потока - от единиц до $n \cdot 10^4$ ионов/ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$;
- диапазон атомов тяжелых ионов – от O до Bi;
- энергия ускоренных ионов 3–6 МэВ/нуклон.

На данный момент для обеспечения однородного потока по плотности потока ионов настройка пучка ведется с помощью 5 сцинтилляционных детекторов на задней панели канала облучения. Недостатком этих детекторов является то, что они не дают полную картину о положении и профиле пучка.

Поэтому было решено создать новый детектор, который обеспечивает измерение профиля пучка на площади $200 \times 200 \text{ мм}$ (площадь испытываемого образца).

Прототип многоканального сцинтилляционного детектора

Прототип детектора состоит из 16 пластиковых сцинтилляторов, с площадью 1 см^2 , 7 спектросмещающих волокон (далее с.в.) (изготовленные фирмой "Kuraray" (Япония)) на 1 сцинтиллятор и 16-канального ФЭУ фирмы Hamamatsu (Япония). Сцинтилляторы и с.в. устанавливались на корпус из оргстекла. С.в. приклеивались на корпус оптическим клеем BC-600 фирмы Saint Gobain Crystals. Для установки сцинтилляторов в пространстве был изготовлен металлический корпус в виде лестницы. После сборки детектора, он был заклеен 5 мкм алюминиевой фольгой для улучшения сбора света. На рис. 1 приведено фото детектора.

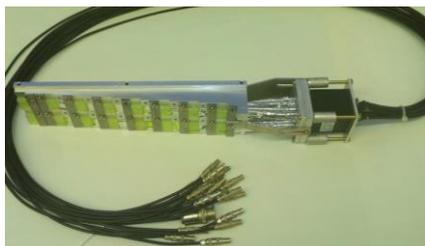


рис. 1. Фото детектора. Измерение сигнала детектора и испытание в режиме счета

Работоспособность детектора проверялась на пучке ускоренных ионов Хе с энергией 24 МэВ/н. Было измерен сигнал детектора. (рис. 2) Величина сигнала составила порядка 150 мВ. После этого было проведено испытание детектора в режиме счета. На рисунке 3 показан прототип программного обеспечения детектора. Само ПО находится на стадии разработки.

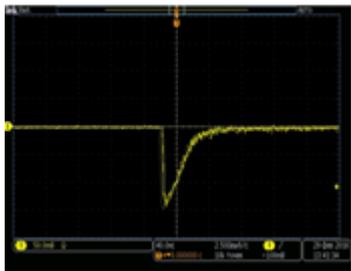


рис. 2. Сигнал детектора

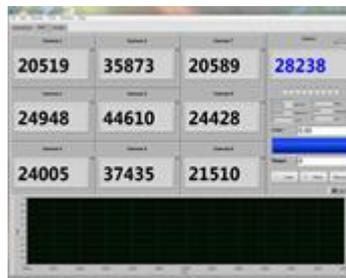


рис. 3. Прототип программного обеспечения

Заключение.

В данной работе описан прототип многоканального детектора для измерения потока тяжелых ионов при тестировании радиоэлектронных изделий. Прототип детектора состоит из 16 пластиковых сцинтилляторов, с площадью 1 см², 7 спектросмещающих волокон (далее с.в.) (изготовленные фирмой "Kuraray" (Япония)) на 1 сцинтиллятор и 16-канального ФЭУ фирмы Hamamatsu (Япония). После сборки детектора были проведена проверка работоспособности. Был измерен сигнал детектора и проведено испытание детектора в режиме счета.

Список публикаций:

[1]] Ю. Г. Тетерев, Г. А. Кононенко // Приборы и техника эксперимента. - 2011. - № 4. - С. 148-152.

[2] <http://cyclotron.tamu.edu/ref/beams.php>

Применение программных пакетов FLUKA и GEANT4 для изучения получения ⁶He

Кабытаева Раушан Кананияновна

Тетерев Юрий Геннадьевич

Объединенный институт ядерных исследований

Тетерев Юрий Геннадьевич, к.ф.-м.н.

kabytayeva@jinr.ru

В последние годы исследование легких экзотических ядер и реакции с их участием привлекают все большее внимание как экспериментаторов, так и теоретиков. Основной интерес изучения таких ядер связан с возможностью определения границы стабильности и получением информации о свойствах экзотических ядер вблизи этих границ. В области малых Z обнаружено несколько ядер в необычном состоянии, одним из которых является так называемое борромееановское ядро ⁶He.

Ядро ⁶He является наилучшим источником нейтрино для проведения экспериментов по измерению бета-нейтрино угловой корреляции в бета-распаде. Данное ядро впоследствии может быть использовано для изучения, например, осцилляции нейтрино и массы нейтрино. Все эти исследования, в значительной степени, сдерживаются сложностью получения высокой интенсивности монохроматического пучка ускоренных ядер ⁶He.

В данной работе исследуется осуществимость гораздо "дешевое" метода для получения короткоживущих ядер ⁶He с энергией электронов 22 МэВ в реакциях ⁷Li(γ,p)⁶He и ⁹Be(n,α)⁶He (дешевизна метода вызвана гораздо более низкой стоимости высокой интенсивности электронного пучка по сравнению с ионными пучками высокой энергии и простотой всей установки).

Для решения этой задачи предлагается воспользоваться инструментами, которые применяются в ядерной физике. Стандартным средством моделирования здесь являются методы Монте-Карло. Они используются в целом ряде пакетов, предназначенных для моделирования взаимодействия с веществом различных частиц. Широкое применение нашли программные пакеты Fluka и Geant4.

Для получения пучка ионов ⁶He¹⁺, на микротроне МТ-25 ЛЯР ОИЯИ была создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1.

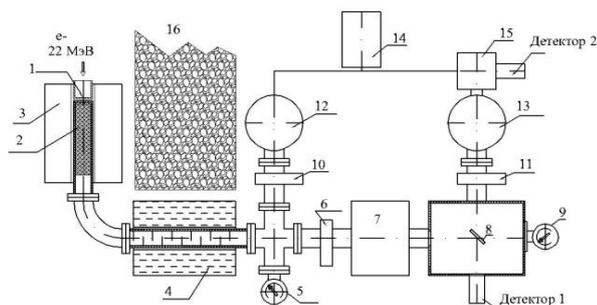


рис.1. Схема экспериментальной установки

1 – тормозная мишень, 2 – металлический сосуд, заполненный облучаемым веществом, 3 – трубчатая печь, 4 – криогенная ловушка с жидким азотом, 5 и 9 – вакуумметры, 6, 10 и 11 – вакуумные шиберы, 7 – ЭЦР источник, 8 – стоппер пучка ионов ${}^6\text{He}^+$, 12 и 13 – турбомолекулярные насосы, 14 – форвакуумный насос, 15 – буферный объем, 16 – защитная стенка из тяжелого бетона.

В ходе сравнений двух реакций было отмечено, что максимальный выход атомов гелия можно получить в реакции ${}^7\text{Li}(\gamma, p){}^6\text{He}$. Результаты моделирования представлены на рисунках 2 и 3.

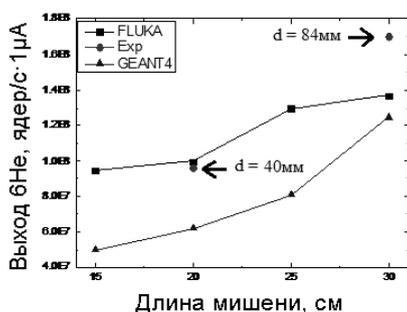


рис.2. Зависимость выхода ${}^6\text{He}$ от длины мишени LiF



рис.3. Зависимость выхода ${}^6\text{He}$ от радиуса мишени BeO

В экспериментах использовались сосуды разных объемов (большой – это сосуд диаметром 84 мм и длиной 300 мм, малый – это сосуд диаметром 34 мм и длиной 200 мм), в которые загружались химически чистые мелкодисперсные соли лития: либо Li_2CO_3 , либо LiF . Насыпная плотность этих веществ равна примерно 1 г/см^3 .

В результате всего комплекса проведенных экспериментов с использованием тормозного излучения электронов, ускоренных до энергии 22 МэВ, максимальный выход ${}^6\text{He}$ был получен при облучении мелкодисперсной соли LiF , загруженной в цилиндрический сосуд внутренним диаметром 84 мм на длину 300 мм. При температуре нагрева 800°C выход составил $(1,7 \pm 0,46) \cdot 10^7$ ядер/с·мкА. Использование ЭЦР источника дает возможность получить пучок ионов ${}^6\text{He}^+$ с интенсивностью $(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^6$ ионов/с·мкА. При номинальном токе пучка микротрона 20 мкА интенсивность пучка ионов составляет почти $3 \cdot 10^7$ ионов/с, и такую интенсивность можно иметь постоянно, так как микротрон очень стабильная машина.

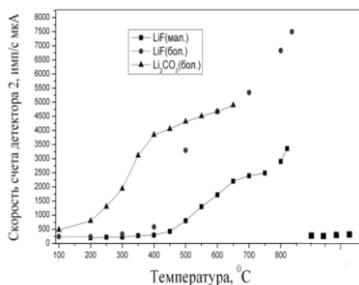


рис.4. Зависимость выхода ${}^6\text{He}$ от температуры нагрева облучаемого вещества

Измерение радиационной стойкости сцинтилляционных кристаллов йодистого цезия, активированного таллием

Седов Егор Валентинович

Новосибирский государственный университет

Матвиенко Дмитрий Владимирович

E.V.Sedov@inp.nsk.su

Для регистрации гамма квантов в экспериментах физики высоких энергий широко используются сцинтилляционные счетчики на основе кристаллов йодистого цезия. Важной характеристикой сцинтилляторов является их радиационная стойкость — сохранение значения сцинтилляционной эффективности и её однородности по объему сцинтиллятора при воздействии ионизирующего излучения.

В связи с модернизацией эксперимента BELLE возникла необходимость проверки радиационной стойкости сцинтилляционных кристаллов калориметра.

Для проверки радиационной стойкости были отобраны 4 кристалла йодистого цезия, активированного таллием, имеющих форму усеченной пирамиды, и тестовый кристалл цилиндрической формы. Сцинтилляционные кристаллы обернуты слоем пористого тефлона и помещены в контейнер алюминизированного лавсана. Измерительный стенд состоит из светонепроницаемого объема, фотоэлектронного умножителя, радиоактивного изотопа цезия 137, расположение которого может изменяться с помощью шагового двигателя, настольного аналого-цифрового преобразователя, датчика температуры и управляющего компьютера.

Кристалл устанавливается на входное окно ФЭУ, напряжение на котором и положение радиоактивного источника регулируется управляющим компьютером. По положению пика полного поглощения определяется значение относительного световыхода и его неоднородности в кристалле.

Сцинтилляционные кристаллы облучаются на линейном ускорителе. Доза полученной радиации контролируется датчиком дозы. Датчик состоит из сцинтилляционного кристалла, фотодиодов и предусилителя. После облучения, в течении нескольких недель измеряются характеристики сцинтилляционных кристаллов. Благодаря полученным данным можно определить характерные зависимости радиационной стойкости от полученной дозы ионизирующего излучения.

Линейный ускоритель электронов Объединенного института ядерных исследований для научных и прикладных целей

Следнева Анна Сергеевна

Университет «Дубна»

Объединённый институт ядерных исследований

Кобец Валерий Васильевич, к.т.н.

Ekaterinburger23@gmail.com

В рамках работ по созданию Тестового стенда с электронным пучком на основе линейного ускорителя с энергией до 240 МэВ в лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ ведутся работы по созданию линейного ускорителя электронов на базе ускорителя ЛИНАК - 800, привезенного из Нидерландов. Эти работы проводятся для исследования свойств ускоряющих структур, использования пучка электронов в лазерах на свободных электронах, тестирования кристаллов BaF₂, LYSO, CsI с целью их применения для детекторов частиц и других работ.

Структурно ускоритель состоит из 5-и ускорительных станций. Нулевая ускорительная станция (электронный инжектор) включает в себя электронную пушку, чоппер, пребанчер и банчер. Электронная пушка триодного типа, с постоянным высоким напряжением на катоде, "заземленным" анодом и управляющим электродом. Она размещена в танке, наполненном элегазом (SF₆) под давлением около 6 атм. Ускоряющую систему линейного ускорителя электронов составляют 4 ускорительных станций (A01 – A04), включающих источники ВЧ - мощности (клизотроны с модуляторами), СВЧ - фидеры и ускоряющие структуры (ускоряющие секции + дрейфовые участки). Инжекторная станция A00 состоит из пушки и группирователя. Ускорительная станция A01 обеспечивает работу короткой ускоряющей секции A0BB (длина 3.67 м) и дрейфового участка DS0/1, совмещенного с участком анализа характеристик пучка (энергия, ток, размеры, положение, эмиттанс). СВЧ - мощность на ускоряющую секцию станции A01 подается от ускорительной станции A00. Ускорительная станция A02 обеспечивает работу двух коротких ускоряющих секций A1AA и B2AA по 3.67 м с продольным магнитным полем и участком дрейфа DS2/3. Регулярные ускорительные станции A03 – A04 обеспечивают

работу длинных (по 7.35 м) ускоряющих секций (по две секции на станцию). Станции разделяются дрейфовыми промежутками (DS3/4 – DS6/7) длиной около 1.5 м. На участках дрейфа установлены вакуумные затворы, посты вакуумной откачки, квадруполь, корректоры положения пучка, мониторы тока, профили и положения пучка.

В настоящее время запущены две ускорительные станции и получен ускоренный пучок электронов с энергией 60 МэВ и током 1 мА. Ведутся работы по подготовке аппаратуры для исследования параметров ускоренного пучка. К концу года предполагается ввести в действие оставшиеся ускорительные станции и получить энергию 250 МэВ.

Мой вклад в работу заключается в расчете параметров ускоряющей секции (энергия, мощность, шунтовое сопротивление, коэффициент затухания, добротность) с целью сравнения полученных экспериментальных данных с теоретическими, на основе которых можно корректировать необходимые параметры и получать нужную энергию. Измерение энергии электронов проводится методом поглощения электронов в веществе. При прохождении пучка заряженных частиц через поглощающие слои, толщина которых меньше пробега данного сорта частиц в этом веществе, коэффициент прохождения (или поглощения) зависит от энергии и заряда частиц. Это обстоятельство и используется для измерения их энергии.

Ожидается, что в ближайшие десятилетия открытия на коллайдерах смогут обнаружить присутствие проявлений какой-либо новой физики (НФ). К числу таких экспериментов относятся, например, Muon g-2, Mu2e, Comet и множество других. Однако чтобы получить более глубокое понимание основополагающей динамики, ответственной за НФ, требуются высокоточные измерения, которые не могут быть выполнены на коллайдерах.

Проведение такого типа экспериментов требует создания высокоточной аппаратуры, в частности электромагнитных калориметров, компактных, быстрых (с фронтом сигнала порядка 1 нс для включения в триггер), способных работать в магнитных полях 1Т и более. Естественным выбором калориметра такого типа является калориметр, составленный из тяжелых сцинтилляционных кристаллов с малым временем высвечивания, большим световыходом (для хорошего энергетического разрешения) и достаточно радиационно стойкий (ожидаются большие загрузки при проведении прецизионных экспериментов – типа 10⁵ рад). В качестве кандидатов на элементы такого калориметра рассматриваются кристаллы LYSO, CsI (чистый), BaF₂. Проведение прецизионных экспериментов накладывает требование на высокое энергетическое разрешение калориметра, поэтому исследования кристаллов должны проводиться в пучках ускорителей с низкими фоновыми нагрузками. Таким образом, для проведения испытаний кристаллических образцов разного типа нам необходим электронный пучок низкой интенсивности. Это исключит наложение сигналов от нескольких частиц и обеспечит низкофоновые измерения.

Исследование свойств неорганических сцинтилляционных кристаллов является необходимой задачей при подготовке любого эксперимента, использующего такие детекторы. В нашем случае предполагается проведение исследований свойств кристаллов (световыход, энергетическое разрешение, линейность отклика от энергии падающих частиц, однородность светосбора и т.д.) при низкой интенсивности выведенного пучка для достаточно низких энергий примерно от 5 МэВ до нескольких десятков МэВ. Необходимость исследований кристаллов при низких энергиях является важным фактором, т.к. некоторые кристаллы демонстрируют нелинейность отклика при низких энергиях. В связи с тем, что электромагнитный ливень в годоскопическом калориметре развивается в целой группе кристаллов, нелинейность отклика может привести к неточному измерению энергии всего ливня за счет неверного измерения сигналов в кристаллах на периферии ливня. Это является отличительной особенностью нашего метода при исследовании свойств кристаллов. В некоторых других научных центрах также используются пучки электронов с низкой интенсивностью, однако, в отличие от нашего случая, там нет возможности измерений при низких энергиях.

Установка, планируемая к созданию в рамках проекта, имеет нижнюю границу в несколько МэВ, что выгодно отличает ее от остальных. Исследования, планируемые на данном пучке, дадут детальную информацию о параметрах одиночных кристаллов и годоскопических калориметров при энергиях от единиц МэВ до нескольких десятков МэВ.

Для тестирования кристаллов была отработана методика получения несколько десятков электронов в секунду (в идеале – 1-2 электрона в импульсе) для уменьшения наложений сигналов. Для получения низкоинтенсивного пучка электронов подбиралось вытягивающее напряжение на электронной пушке, пучок на входе ускорителя расфокусировался, на выходе из ускоряющей секции была установлена система коллиматоров пучка. Электроны регистрировались по свечению кристаллов фотоумножителями. Большую проблему представляет собой радиационный фон, получающийся из-за поглощения электронного пучка коллиматорами. Пучок выделялся пучковыми детекторами. Проводилось тестирование кристаллов (одиночных и матрицы от 3x3 до 5x5 кристаллов). Размеры кристаллов: длина до 20 см, сечение 2x2 см или 3x3 см или шестигранник с расстоянием между параллельными гранями около 3 см. Кристаллы/матрицы BaF₂, CsI(pure), LYSO, возможно и некоторые другие. Энергетический разброс электронов около 1%.

Прохождение электронов с энергией 10 кэВ через стеклянные макрокапилляры конической и цилиндрической формы

Сотников Алексей Владимирович

Сотникова В.С.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

patlexa@gmail.com

Исследование возможности формирования пучков заряженных частиц с помощью диэлектрических каналов представляет собой актуальную задачу в связи с возможностями создания недорогого и компактного устройства управления ионами и электронами. В настоящее время широкое развитие получили исследования по изучению прохождения электронов через диэлектрические каналы [1-4].

В данной работе приведены исследования по изучению прохождения электронов с энергией 10 кэВ через стеклянные макрокапилляры конической и цилиндрической форм.

Общая схема эксперимента и параметры конического капилляра показаны на рис. 1.

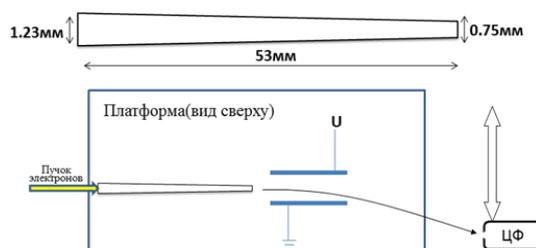


рис 1. Схема эксперимента

Мишень и отклоняющие пластины крепились на единую диэлектрическую платформу. Для того чтобы исследовать профиль пучка прошедших через канал электронов и определить долю тех частиц, которые сохранили свою первоначальную энергию, использовался цилиндр Фарадея. Он был установлен на горизонтальном манипуляторе, что позволяло просканировать пучок с разрешением 1 мм. Анализ полученных результатов показан на рисунке 2. Обнаружено, что ширина пиков и их высота слабо меняются при подаче напряжения на одну из отклоняющих пластин. На рисунке представлены результаты измерений для трех различных углов наклона канала по отношению к оси пучка.

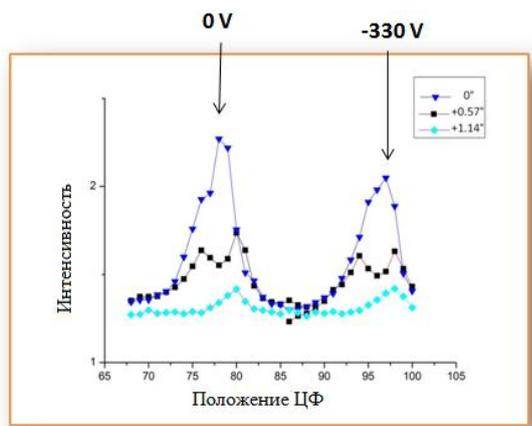


рис. 2 – Доля бесконтактно прошедших электронов через конусный капилляр

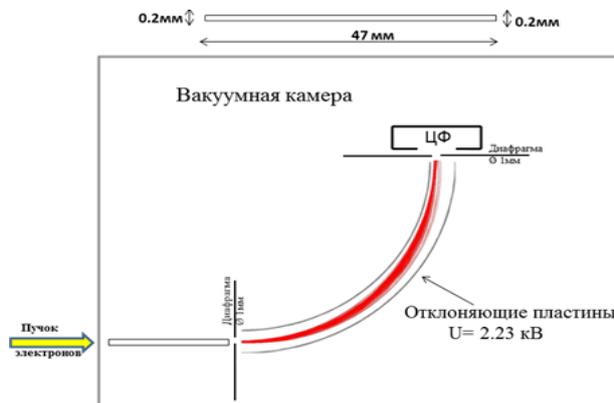


рис. 3 – Результаты моделирования прохождения пучка электронов через спектрометрическую систему и соответствующая схема эксперимента

Для уточнения получаемых данных необходимо использование спектрометра, обладающего фокусирующими свойствами. Такими свойствами обладает система на основе цилиндрического конденсатора. На рисунке 3 приведены результаты моделирования движения пучка в подобном спектрометре. Размер диафрагм – 1 мм, расходимость пучка не менее 1 градуса.

Для измерения тока пучка прошедших электронов использовался неподвижный цилиндр Фарадея, установленный непосредственно на выходе отклоняющих пластин, за диафрагмой. Разность потенциалов в спектрометре – 2.23 кэВ – соответствует прохождению электронов с энергией 10 кэВ, была получена при моделировании и уточнена при калибровке системы на прямом пучке. Результаты исследования зависимости

доли бесконтактно прошедших электронов через стеклянный цилиндрический капилляр длиной 47 мм и внутренним диаметром 1.16 мм от угла наклона канала по отношению к оси пучка представлены на рисунке 4.

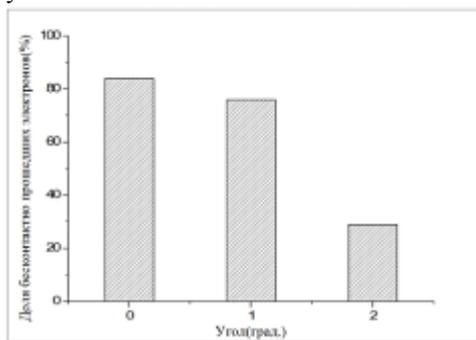


рис. 4 – Доля бесконтактно прошедших электронов через цилиндрический капилляр

Как видно из диаграммы на рисунке 4, доля электронов, прошедших через диэлектрический канал цилиндрической формы, достаточно высокая даже при ненулевых углах наклона канала. Указанная спектрометрическая система в дальнейшем будет использована для более эффективного исследования спектра электронов, прошедших через конические капилляры с различными соотношениями входного и выходного диаметров.

Проводимые исследования позволят изучить механизм формирования поверхностного зарядового распределения, позволяющего эффективно фокусировать пучок. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проект № 16-32-00258 мол_а.

Список публикаций:

1. Dassanayake B. S., Keerthisinghe D., et al., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 298, 1-4 (2013).
2. Vokhmyanina K.A., Pokhil G.P., et al., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 355, 307 (2015)
3. Wang W., Chen J., Yu D. Y., et al., *Phys. Scr. T* 144, 014023 (2011)
4. Wickramarachchi S. J., Dassanayake B. S., et al., *Phys. Scr. T* 156, (2013)

Изучение конверсионного распада омега-мезона в эта-мезон и электрон-позитронную пару в основных заряженных модах распада эта мезона на детекторе КМД-3

Туснин Александр Константинович

Новосибирский государственный университет

Казанин Василий Фёдорович, к.ф.-м.н.

alexusnin@gmail.com

В процессах электрон-позитронной аннигиляции в адроны при $\sqrt{s} < 2$ ГэВ пертурбативный подход квантовой хромодинамики несостоятелен в силу близости константы сильных взаимодействий к единице. В связи с этим эксперимент может дать много информации о структуре лёгких векторных мезонов. Спектр инвариантных масс лептонных пар в конверсионных распадах может пролить свет на электромагнитную структуру нейтральных мезонов. Также интерес к изучению конверсионных распадов вызван экспериментами по изучению кварк-глюонной плазмы, которая образуется при столкновениях тяжёлых ионов. Процессы рождения лептон-антилептонных пар являются важным источником информации о физических процессах, протекающих в кварк-глюонной плазме.

В данной работе изучается процесс $\omega \rightarrow \eta e^+ e^-$. Интерес к изучению данного распада на детекторе КМД-3 вызван большим количеством данных (интегральная светимость вблизи массы ω мезона $L \approx 6 \text{ pb}^{-1}$), набранных на коллайдере ВЭПП-2000 в период с 2011 по 2013 год.

Ожидаемую вероятность распада можно грубо оценить из (1).

$$\frac{B(\omega \rightarrow \eta e^+ e^-)}{B(\omega \rightarrow \eta \gamma)} \propto \alpha \quad (1)$$

Где $\alpha \approx 1/137$ - константа электромагнитного взаимодействия. Изучаемый процесс качественно отличается от процесса $\omega \rightarrow \eta \gamma$ лишь наличием ещё одной вершины, в которой виртуальный фотон конвертирует в

электрон-позитронную пару. Теоретическое ожидание относительной вероятности распада, основанное на модели векторной доминантности, составляет $(2.0-4.8) \cdot 10^{-6}$.

Исследуемый процесс $\omega \rightarrow \eta e^+ e^-$ изучается в заряженных модах распада η -мезона: $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ и $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$, относительные вероятности бранчингов которых составляют $(22.92 \pm 0.28)\%$ и $(4.22 \pm 0.08)\%$, соответственно.

Основным инструментом изучения свойств распада являлось моделирование Монте-Карло. На основе моделирования были разработаны основные критерии отбора сигнальных событий и алгоритмы, направленные на разделение электронных и пионных треков, в сигнальных событиях в изучаемых каналах распада η мезона. Благодаря известной зависимости из моделирования полного импульса e^+e^- пары (p) от угла между электроном и позитроном (α), было выявлено, что импульс и угол связаны следующим соотношением: $\alpha = A \cdot \sqrt{p - B}$, где параметры A и B определяются из аппроксимации данной зависимости для треков. Данная зависимость приведена на Рис. 1.

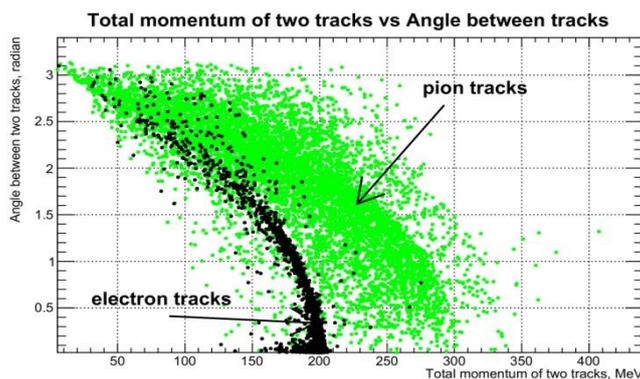


рис.1. Зависимость угла между электрон-позитронной пары (по вертикали) от полного импульса (по горизонтали). Чёрные точки – треки, соответствующие электронам, светлые – пионам.

Благодаря полученной информации о кинематических свойствах треков, была вычислена потерянная масса к электрону и позитрону. Она соответствует массе ω мезона, что является определяющей особенностью сигнальных событий. Аналогично потерянная масса к двум электронам и двум пионам, которая для событий $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ соответствует массе π^0 , а для событий $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ должна быть равна нулю, но имеет непрерывное распределение в силу ограниченной разрешающей способностью дрейфовой камеры детектора, что помогает разделить эти два события друг от друга.

Основным фоновым процессом является процесс $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$. В фон вносят вклад два механизма: Далитц-распад π^0 и конверсия фотонов от распада π^0 в электрон-позитронную пару на веществе трубы. Вклад обоих процессов оценивается (без учёта эффективности регистрации) на уровне $15.5 \cdot 10^{-3}$ и $5.0 \cdot 10^{-3}$ соответственно, что на три порядка выше ожидаемой вероятности искомого процесса и прочих возможных фоновых процессов.

Чтобы найти вероятность регистрации таких событий как сигнальные, было смоделировано 10^6 событий процесса $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$. В итоге, вероятность определить фоновое событие как сигнальное в канале $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ составила $3.7 \cdot 10^{-5}$, что выше, чем ожидаемая вероятность искомого распада. В связи с этим данный канал распада далее не рассматривался. Ни одно из фоновых событий как событие $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ классифицировано не было.

Разработанные критерии отбора были применены к экспериментальным данным в области энергий 756 - 820 МэВ в системе центра масс. Всего было найдено 2 события-кандидата $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$, прошедших все критерии отбора. В предположении о том, что данные 2 события являются сигнальными, можно получить оценку искомой вероятности распада $\omega \rightarrow \eta e^+ e^-$ на уровне $B(\omega \rightarrow \eta e^+ e^-) \approx 1 \cdot 10^{-5}$, что превосходит теоретическое ожидание. В связи с чем, в настоящее время идёт изучение возможного вклада в изучаемый процесс событий $\omega \rightarrow \eta \gamma$ с последующей конверсией фотона на веществе трубы в электрон-позитронную пару.