



МКТЭФ-2021
МКТЭФ-2021

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт Теоретической и Экспериментальной Физики имени А.И. Алиханова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

СБОРНИК АННОТАЦИЙ ДОКЛАДОВ

МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ
МКТЭФ-2021

15-18 ноября 2021 г.



Москва, 2021 год

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ И ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:

Председатель программного комитета :

- д.ф.-м.н., Егорычев Виктор Юрьевич;

Состав программного комитета:

- к.ф.-м.н., Акиндинов А.В.;

- д.т.н., Кулевой Т.В.;

- к.ф.-м.н., Васильев Д.В.;

- к.ф.-м.н., Канцырев А.В.;

Организационный комитет:

- к.ф.-м.н., Васильев Д.В.;

- к.ф.-м.н., Канцырев А.В.;

- к.ф.-м.н., Слепцов А.В.;

- к.т.н., Высоцкий С.А.;

- к.ф.-м.н., Тарасов В.В.;

- Панюшкин В.А.;

- Базаев И.М.

- секретарь конференции, Панюшкина А.Н.

Сайт конференции: <http://www.itep.ru/activity/youth/ysconf/>

Сборник аннотаций под редакцией Васильева Д.В., Канцырева А.В.

Киральный разделительный эффект для спина 3/2

Абрамчук Р.А.¹, Хайдуков З.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В работе рассмотрели Киральный Разделительный Эффект для различных моделей свободных фермионов со спином 3/2: релятивистской модели Рариты-Швингера-Адлера и модели топологических полуметаллов Рариты-Швингера-Вейля. Для модели топологических полуметаллов мы показали, что киральная проводимость пропорциональна сумме величин чисел Черна ферми-точек. Это утверждение оказывается верным и для релятивистских моделей.

Решение уравнения пентагона в $U_q \mathfrak{sl}(N)$

Алексеев В.А.¹, Слепцов А.В.¹, Шакиров Ш.Р.²

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

² *University of Geneva*

В работе установлено, что б \bar{j} -символы без кратности в $U_q(\mathfrak{sl}_{N+1})$ являются ортогональными многочленами. Мы демонстрируем, что тождество пентагона влечёт полиномиальность б \bar{j} -символов, а именно, что на них есть трёхчленное рекуррентное соотношение. В общем случае многочлены зависят от N переменных и однозначно фиксируются тождеством пентагона.

В качестве демонстрации нашего метода мы получаем аналитическое выражение для класса б \bar{j} -символов с двумя симметрическими и одним сопряженным симметрическим представлением. В этом случае б \bar{j} -символ с точностью до нормировки является многочленом q-Рака.

Петлевые поправки в модели расширяющейся Вселенной

Анемподистов П.А.^{1,2}, Ахмедов Э.Т.^{1,2}

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Рассмотрена квантовая теория поля на гравитационном фоне модели расширяющейся Вселенной. Для скалярной теории с кубическим и квартичным взаимодействием вычислены поправки к заселенностям уровней и аномальным квантовым средним в инфракрасном пределе. Показано, что заселенности уровней и аномальные квантовые средние содержат секулярно растущие вклады, что указывает на то, что во взаимодействующей теории состояние системы должно эволюционировать со временем.

Астраханцев Л.Н.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Бозонная и фермионная T-дуальности служат одними из механизмов генерации решений в теории супергравитации. В данной работе мы рассмотрели неабелев случай фермионной T-дуальности.

Правила преобразования для полей в результате стандартной фермионной T-дуальности требуют антикоммутации фермионных изометрий, что приводит к комплексификации спиноров Киллинга и к комплекснозначным дуальным фонам.

В нашей работе мы обобщаем преобразования полей на случай, если фермионные изометрии не антикоммутируют. Оказывается, что полученные дуальные фоны являются решениями удвоенной теории поля.

В докладе я приведу явные примеры неабелевой фермионной T-дуальности на различных начальных фонах. Некоторые из примеров являются бозонными T-дуализированными супергравитационными решениями, в то время как другие фоны даже не являются геометрическими. Данный подход согласован с супергрупповым подходом, основанным на рассмотрении т.н. суперкосетных сигма-моделей.

Взаимосвязь между уравнением Ландау-Лифшица и полевой системой Калоджеро-Мозера ранга $N \times N$

Аталиков К.Р.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Взаимосвязь между системой Калоджеро-Мозера (система частиц, которые взаимодействуют попарно) и волчком Эйлера-Арнольда является одним из известных примеров соответствия двух интегрируемых систем в классической механике. Суть этой связи заключается в том, что угловые моменты волчка Эйлера S выражаются через переменные Калоджеро-Мозера p, q и константу связи ν . И в прошлом году было получено обобщение соответствия волчка Эйлера-Арнольда и системой Калоджеро-Мозера, которое носит название «Взаимосвязь между системой Калоджеро-Мозера (полевой случай) и уравнением Ландау-Лифшица для рационального, тригонометрического и эллиптического случаев ранга 2×2 ».

Данная работа посвящена обобщению соответствия между системой Калоджеро-Мозера и уравнением Ландау-Лифшица для рационального, тригонометрического и эллиптического случаев для высоких рангов $N \times N$.

В данной работе рассматривается калибровочная эквивалентность между полевым обобщением Калоджеро-Мозера и уравнением Ландау-Лифшица (ЛЛ) и рассматривается вычисление явных замен переменных S_{ij} (компоненты вектора намагниченности ЛЛ), выраженные через полевые переменные p_i, q_i и константу h .

Базаров К.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Рассматривается массивная скалярная теория поля в пространстве-времени с горизонтами. Вычислены средние оператора тензора энергии-импульса вблизи горизонта для различных тепловых состояний для точных мод в рассматриваемом пространстве-времени. Оказывается, что зависимость средних от температуры и тензорная структура тензора энергии импульста отличается от привычной нам в пространстве-времени Минковского, более того, эти квантовые средние расходятся вблизи горизонта. Также показано, что функция Вайтмана имеет дополнительные инфракрасные особенности вблизи горизонтов.

Цветные полиномы ХОМФЛИ при параметре квантования, являющемся корнем из единицы

Бишлер Л.В.^{1,2}

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук*

Цветные полиномы ХОМФЛИ — это полиномиальные инварианты узлов и зацеплений, которые можно вычислять для различных представлений квантованной универсальной обертывающей $\mathcal{U}_q(\mathfrak{su}(N))$ алгебры Ли $\mathfrak{su}(N)$. Они являются лорановскими полиномами от двух переменных: параметра квантования q и $A = q^N$. В докладе будет рассмотрена структура представлений $\mathcal{U}_q(\mathfrak{su}(N))$ при параметре квантования, являющемся примитивным корнем из единицы, проанализированы особенности вычисления полиномов ХОМФЛИ в этом случае и их связь с полиномами для произвольного параметра квантования. Наибольший интерес представляют представления со старшим и младшим весом с дополнительными параметрами. Для этих представлений можно вычислить универсальную R -матрицу, определить операцию взятия квантового следа и получить полиномиальные инварианты, аналогичные полиномам ХОМФЛИ и совпадающими с ними в некоторых точках. При $N = 2$ и $q^4 = 1$ эти инварианты совпадают с полиномами Александра.

Влияние облучения тяжелыми ионами на оксидные включения в сталях Eurofer ODS и ODS 13,5Cr-0,3Ti

Богачев А.А.¹, Рогожкин С.В.¹, Никитин А.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Ряд актуальных задач: развитие ядерной энергетики, создание комплексов для изучения материи, освоение космического пространства, обуславливают необходимость в материалах, обладающих как высокой жаропрочностью, так и радиационной стойкостью при воздействии потоков высокоэнергетических частиц. Одним из перспективных материалов, отвечающих заданным требованиям, является дисперсно-упрочненная оксидами (ДУО) сталь. Материалы этого класса имеют сложную гетерогенную структуру, содержащую наноразмерные упрочняющие включения и их предвыделения, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики. Передача энергии от ускоренных частиц вдоль траектории пролета в таких развитых системах может способствовать изменению материала на наномасштабе.

В данной работе методами высокоразрешающей электронной микроскопии и просвечивающей растровой электронной микроскопии с энергодисперсионной спектроскопией исследовалось влияние облучения тяжелыми ионами при комнатной температуре на микро- и наноструктуру дисперсно-упрочненных оксидами сталей Eurofer ODS и ODS 13,5Cr-0,3Ti. Образцы материалов облучались ионами 945 МэВ Au на ускорителе UNILAC (GSI, г. Дармштадт) и ионами 167 МэВ Хе на установке IC-100 (ОИЯИ, г. Дубна). Образцы продольных и поперечных срезов данных материалов изготавливались методами электрохимического утонения и фокусированного ионного пучка.

Облучение стали Eurofer ODS ионами 945 МэВ Au и 167 МэВ Хе привело к образованию аморфных областей в крупных (более 8 нм) оксидных частицах. Эти структурные особенности являются треками от прошедших ионов. В небольших оксидах (менее 8 нм), частично когерентных с матрицей, аморфизация не была обнаружена. Обнаружен эффект перестройки оксидов (растворение крупных и образование мелкодисперсной фракции размерами < 10 нм) в сталях Eurofer ODS и ODS 13,5Cr-0,3Ti при облучении в условиях комнатной температуры ионами 167 МэВ Хе, 945 МэВ Au с уровнем ионизационных потерь 30 кэВ/нм и 55 кэВ/нм, соответственно. Наибольшую стабильность под облучением показывают оксидные включения Y-Ti-O в стали ODS 13,5Cr-0,3Ti, что обусловлено их небольшим размером (< 10 нм) при высокой объемной плотности в исходном материале..

Измерение мощности излучения плазмы с помощью калориметрического детектора

Богданов А.В.¹, Хурчиев А.О.¹, Гаврилин Р.О.¹, Панюшкин В.А.¹, Канцырев А.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Измерение параметров плазменных потоков, генерируемых на мощных импульсных установках, является необходимым условием для понимания и описания физических процессов, протекающих в источниках плазмы.

Для измерения мощности излучения, как плазмы, так и других источников широко используются калориметрические детекторы. Данный вид детекторов работает по принципу регистрации повышения температуры тонкой пластинки-фольги, принимающей излучение источника плазмы. Фольга нагревается как гамма излучением так и благодаря торможению в ней заряженных частиц, летящих со стороны источника. С помощью большого количества термодпар, находящихся между нагретой фольгой и холодным термостатом, разница температур между ними преобразуется в электрический сигнал.

Для повышения точности измерений, в калориметрическом детекторе на приёмной площадке размещены калибровочные резисторы, способные передавать детекторной фольге заданное количество энергии, что позволяет проводить калибровку непосредственно перед выполнением измерений и без демонтажа детектора. С использованием калориметрического детектора проведена серия измерений параметров излучения плазмы, генерируемой мощной импульсной установкой. Последующая обработка данных с калориметра включает в себя отделение от сигнала медленных составляющих, не несущих полезной информации, таких как сигнал процесса температурного дрейфа термостата, сигнал нагревания установки после импульсной генерации плазмы.

Рентгеновский микроскоп с высоким пространственным разрешением (> 2 мкм) и временным разрешением 1 нс

Бодягин С.Ю.¹, Грабовский Е.В.¹, Грибов А.Н.¹, Шишлов А.О.¹, Митрофанов К.Н.¹

¹ АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

Рентгеновские лучи позволяют получить изображение непрозрачных для обычного излучения объектов. Для того, чтобы изображение было контрастным рентгеновские лучи должны заметно поглощаться в объекте. Для получения увеличенного изображения без применения линз обычно используют проекционный метод. В этом методе для получения высокого пространственного разрешения источник излучения должен быть достаточно мал. Этим набором свойств обладает источник рентгеновского излучения называемый X-пинчем (Икс-пинч). Этот источник рентгеновского излучения размером не более 1 микрона был создан в семидесятих годах прошлого столетия [1]. Длительность излучения такого источника не превышает 1 нс, а диапазон изучаемых рентгеновских квантов 1-20 кэВ. X-пинч активно использовался для изучения быстрых процессов на крупных физических установках [2]. Используя опыт, накопленный на крупных установках в АО ГНЦ РФ Тринити разработан новый автоматизированный рентгеновский аппарат на основе X-пинча для исследований в области медицины и биологии. В отличие от предыдущих разработок этот аппарат не требует рентгеновской защиты и может эксплуатироваться не инженерным персоналом. Небольшие габариты и тележка с колесами позволяют его разместить в небольшой комнате. В аппарате предусмотрена автоматическая замена нескольких X-пинчей, что позволяет производить серию снимков с интервалом в несколько минут, не повреждая объект. Изображение объекта сразу передается на компьютер. Все управление рентгеновским аппаратом производится с компьютера. Контрастные изображения с разрешением 1 мкм получаются для объектов толщиной не более 2 мм. Для большинства металлов и веществ с большим атомным номером толщина просвечиваемого объекта меньше.

Литература:

- [1] С.А. Пикуз, А.И Самохин, И. Улшмид. Письма в ЖТФ, (1982), 8. 1060
- [2] А.П. Артёмов, А.С. Жигалин, И.В. Лавринович, В.И. Орешкин, Н.А. Ратахин, А.Г. Русских, А.В. Федюнин, С.А. Чайковский, А.А. Эрфорт, К.Н. Митрофанов, Е.В. Грабовский, В.В. Александров, В.П. Смирнов. Приборы и техника эксперимента, (2014), 4. 92.

Бородулина Д.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Детектор ДАНСС представляет из себя сцинтилляционный спектрометр реакторных антинейтрино. Основной регистрирующий объем ДАНСС выполнен в виде 2500 пластин (стрипов) органического сцинтиллятора. Каждый стрип просматривается индивидуальным кремниевым ФЭУ, а группы из 50 стрипов выведены на 50 вакуумных ФЭУ. Настоящая работа посвящена изучению линейности отклика вакуумных ФЭУ. Для целей тестирования и калибровки свет от общего светодиода был разведен с помощью оптических волокон на фотокатоды всех ФЭУ, при этом оптические связи между исходным светодиодом и ФЭУ оказались очень разными. Также был проведен независимый эксперимент, в котором свет был разведен не только на фотокатоды всех ФЭУ, но и на два кремниевых фотоумножителя.

В работе используются энергии отклика пятидесяти ФЭУ на большое число неизвестных вспышек светодиода, полученных в ходе специального методического измерения на детекторе ДАНСС. В данной работе энергии вспышек и коэффициенты оптической связи между источником вспышки и фотоэлектронными умножителями считаются неизвестными, они восстанавливаются различными способами из энергий откликов ФЭУ. Кроме того, линейность дополнительно исследуется с помощью откликов кремниевых фотоумножителей в предположении того, что их отклики пропорциональны энергиям вспышек светодиода. Тот факт, что оптическая связь для ФЭУ очень сильно отличается, позволяет увидеть нелинейность. В результате этого исследования получается откалибровать фотоэлектронные умножители так, чтобы по известным точкам с энергией отклика порядка 18 МэВ (от прохождения мюона) можно было определять энергии вспышки при энергиях отклика порядка 3 МэВ, что соответствует наиболее интересному диапазону энергий при регистрации реакторных антинейтрино. Полученный результат будет использован в дальнейших исследованиях на детекторе ДАНСС.

Разработка инструмента идентификации кристаллографических плоскостей образцов в АЗТ-данных с использованием быстрого преобразования Фурье

Бутов Н.А.¹, Руцкой Б.В.¹, Шутов А.С.¹, Рогожкин С.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ активно занимается развитием методики атомно-зондовой томографии (АЗТ). Проводится разработка установок АЗТ и сопутствующего программного обеспечения. Для калибровки этих приборов используются чистые материалы с большим параметром решетки, такие как вольфрам и алюминий. Для автоматизации идентификации кристаллографических плоскостей в полученном трехмерном массиве атомов и их визуализации ведется разработка специального модуля программного обеспечения.

В докладе представлены принцип работы инструмента и результаты его тестирования. Идентификатор строит гистограммы распределения атомов по плоскостям и проводит частотный анализ с помощью быстрого преобразования Фурье, отфильтровывая шумовые результаты. При помощи инструмента определены и визуализированы наборы плоскостей для нескольких образцов чистого вольфрама (99.95%) и сплавов алюминия.

Исследование влияния комбинаторного фона на спектры регистрации состояний χ_{cJ} в эксперименте ALICE на БАК

Варламов А.М.¹

¹ *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Доклад посвящен исследованию возможности регистрации различных состояний чармония χ_{cJ} в протон-протонных столкновениях в эксперименте ALICE на БАК. Основная часть содержит подробное описание построения комбинаторного фона для спектров инвариантных масс чармония. Рассматриваются состояния χ_{cJ} в моде распада на $J/\psi\gamma$ с последующим распадом $J/\psi \rightarrow e^+e^-$. Исследования были проведены при использовании генераторов pp столкновений при энергии 13 ТэВ с моделированием акцептанса и реального отклика детекторов. Сформулированы возможные критерии отбора для электрон-позитронной пар – кандидатов J/ψ . Приведены эффективности регистрации различных состояний, сделаны выводы об отношении числа сигнальных событий к фоновым и сформулированы выводы относительно возможности статистически обеспеченного измерения спектров состояний чармония с учетом комбинаторного фона в данных эксперимента ALICE, набранных во втором сеансе БАК 2015-2018 гг. Сделаны выводы о роли комбинаторного фона при измерении спектров состояний χ_{cJ} .

Экспериментальная установка по исследованию фоторождения лептонов при низких энергиях

Варфоломеева Е.А.¹

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

Описана новая экспериментальная установка для исследования фоторождения заряженных лептонов низких энергий на тормозном пучке электронного синхротрона С-25Р "Пахра" с Егамма < 300 МэВ. Целью исследования является поиск аномалий, связанных с возможным существованием гипотетических короткоживущих легких заряженных частиц, возможно наблюдаемых в экспериментах с пузырьковой камерой ОИЯИ. Установка определяет массы рождаемых лептонов по их импульсам и энергиям, которые в свою очередь определяются по отклонению частиц в магнитном поле, по времени пролета и энергосъединению в двух сцинтилляционных спектрометрах. Основная трудность в проведении эксперимента связана с короткой базой для время-пролетных измерений и значительными низкоэнергетическими электромагнитными фонами. Проведены первые сеансы измерений и показаны их результаты.

Поиск тяжёлых бозонных резонансов в канале распада $R \rightarrow WW \rightarrow e\nu e/\mu\nu\mu$ в эксперименте ATLAS на LHC

Гаврилюк А.А.¹, Рамакоти Е.Н.¹, Цукерман И.И.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Представлен поиск тяжёлого резонанса в канале распада $R \rightarrow WW \rightarrow e\nu e/\mu\nu\mu$. В анализе рассматриваются различные модели скалярного, векторного и тензорного бозона, выходящие за рамки СМ. В работе использовались данные протон-протонных столкновений детектора АТЛАС на Большом адронном коллайдере, соответствующие полной интегральной светимости в 139 фб^{-1} , набранной при энергии в системе центра масс 13 ТэВ. Для рассматриваемых моделей получены ожидаемые верхние пределы на $\sigma_R \times BR(R \rightarrow WW)$ как функция массы тяжёлого резонанса в пределах от 200 ГэВ до 6 ТэВ.

Голубева М.С.¹, Блау Д.С.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Эксперимент ALICE на Большом адронном коллайдере (БАК) исследует сильно взаимодействующую материю при экстремально высоких плотностях энергии и температурах. Главная задача ALICE — измерение сигналов образования кварк-глюонной материи, в которой кварки и глюоны находятся в состоянии деконфайнмента. Также важной задачей ALICE является проверка и уточнение предсказаний квантовой хромодинамики, например, спектров образования нейтральных мезонов (в частности, π^0 и η). Важно отметить, что детектор ALICE позволяет измерить эти спектры в широком диапазоне поперечных импульсов. Одним из детекторов, позволяющих ALICE измерять нейтральные мезоны, является фотонный спектрометр PHOS.

Спектры π^0 -мезонов в настоящее время измерены в pp, p-Pb и Pb-Pb столкновениях. В случае спектров η -мезонов в Pb-Pb столкновениях систематические неопределенности весьма значительны, что связано с большим фоном. Для решения этой проблемы был предложен улучшенный метод реконструкции η -мезонов — метод «отбрасывания».

Суть метода состоит в следующем. Пик π^0 мезона аппроксимировался в спектрах инвариантных масс пар кластеров, зарегистрированных в детекторе PHOS, для разных диапазонов поперечных импульсов p_T . Затем параметризовались ширина и положение пика π^0 мезона с помощью аналитических функций. После этого в цикле по кластерам детектора PHOS помечались кластеры, которые создавали инвариантную массу в пределах 2σ от положения пика π^0 , где σ — ширина пика при аппроксимации спектра инвариантных масс функцией Гаусса в сочетании с полиномом 2-й степени. После чего в спектры инвариантных масс пар кластеров отбирались только непомеченные кластеры.

Эффективность метода составила порядка 80% при анализе данных с БАК и полученных с помощью Монте-Карло моделирования. Улучшение отношения сигнала к фону в случае Монте-Карло моделирования составило 20-50%. В случае данных с БАК отношение сигнала к фону улучшилось в 1.5-2 раза. Улучшение статистических ошибок спектров η -мезонов после применения метода отбрасывания составило 15%. Данный метод может быть применен при измерении спектров тяжелых мезонов, распадающихся по двухфотонному каналу распада, в условиях малого соотношения сигнала к фону.

Оценка чувствительности эксперимента NA62 (ЦЕРН) к поиску тяжёлых нейтрино в распадах заряженных пионов

Горшанов К.Ю.¹

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Разработана идея отбора следующей цепочки распадов в эксперименте NA62: заряженный каон распадается на заряженный и нейтральный пион, затем заряженный пион распадается на мюон и нейтрино. Идея была применена к

экспериментальным данным 2017 года и данным Монте-Карло. Изучены основные фоновые процессы. Полученная оценка чувствительности эксперимента (без учёта фоновых событий) к параметру смешивания мюонного нейтрино с тяжёлым нейтрино массой 30 МэВ равняется 4.2×10^{-7} , что лучше текущего ограничения, установленного в эксперименте PIENU: 1×10^{-5} . Однако, уровень фона снижает чувствительность эксперимента. Оценка чувствительности с учётом фоновых событий оказалась менее строгой, чем текущее ограничение, и равняется 8.1×10^{-4} .

В поисках обобщенной 11-мерной супергравитации

Губарев К.А.^{1,2}

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Обобщенная 11-мерная супергравитация - теория предположительно описывающая более широкий класс вакуумов M-теории, чем обычная 11-мерная супергравитация. В данной работе обсуждается способ построения уравнений обобщенной 11-мерной супергравитации при помощи неунимодулярных Янг-Бакстеровых поливекторных деформаций решений супергравитации. Представлены промежуточные результаты построения: найдена формулировка 11-мерной супергравитации в терминах потоков $SL(5)$ исключительной теории поля (ИТП); предложена методика построения уравнений обобщенной 11 мерной супергравитации, как уравнений выполняющихся для неунимодулярных Янг-Бакстеровых поливекторных деформаций решений обычной 11-мерной супергравитации; найден общий вид поливекторных деформаций потоков $SL(5)$ ИТП; найдены тождества Бьянки для потоков $SL(5)$ ИТП; частично найдены уравнения обобщенной 11-мерной супергравитации.

Результаты теста прототипа нейтринного детектора SuperFGD на пучке заряженных частиц в CERN

Дергачева А.Е.¹, Хотянцев А.Н.¹

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

T2K – эксперимент с длинной базой второго поколения, который получил первое указание на CP-нарушение в нейтринных осцилляциях. В 2016 году коллаборация T2K запустила проект модернизации ближнего детектора ND280 [1]. Основные задачи проекта – детектирование частиц от нейтринных взаимодействий в полном телесном угле и уменьшение в T2K систематической ошибки осцилляционного анализа до уровня $\leq 4\%$ [2]. Программа модернизации включает в себя разработку и создание нового высокосегментированного полностью активного сцинтилляционного 3D детектора нейтрино – SuperFGD [1]. Детектор, окончательно собранный на лесках в январе 2021 года (ИЯИ РАН, Троицк), состоит из \sim двух миллионов оптически независимых $1 \times 1 \times 1$ см³ кубиков из экструдированного полистирола со сцинтилляционными добавками, считывание сигнала с которых будет производиться вдоль трех ортогональных направлений спектросмещающими волокнами [2].

Для более детального изучения свойств сцинтилляционных кубиков, осенью 2017 года на пучке заряженных частиц в CERN был проведен тест прототипа нейтринного детектора SuperFGD, представляющего собой матрицу $5 \times 5 \times 5$ кубиков [1]. В каждом кубике, размером $1 \times 1 \times 1$ см³, были просверлены три ортогональных сквозных отверстия диаметром 1.5 мм для спектросмещающих волокон (\varnothing 1мм). Один из концов волокна просматривался фотосенсором, другой был покрыт светоотражающей краской на основе алюминия.

В тесте последовательно использовались два типа электроники. Все каналы считывались многоканальной платой, разработанной для Baby MIND спектрометра. Для измерения основных параметров прототипа использовались изготовленные на заказ предусилители и 16-ти канальный CAEN диджитайзер DT5742.

До и после прототипа были установлены два небольших сцинтилляционных триггерных счетчика размером $3 \times 3 \times 10$ мм³ на расстоянии 26 см друг от друга, что позволило выбрать минимальные ионизирующие частицы (MIPs) из пучка с позиционной точностью ~ 3 мм. Также перед прототипом был установлен сцинтилляционный счетчик антисовпадений площадью 10×10 см² и апертурой 9 мм. Триггеры и счетчик антисовпадений считывались одинаковыми MRPCs 12571-025C.

Всего диджитайзер может считывать сигнал с 12 спектросмещающих волокон, небольшого триггерного счетчика и с двух каналов от счетчика антисовпадений. Расположение спектросмещающих волокон позволяет измерять параметры 9 кубиков в первом слое и 9 кубиков в последнем слое прототипа. Остальные волокна не были задействованы в тесте.

По результатам теста проведено исследование следующих параметров прототипа нейтринного детектора SuperFGD: световыход, временное разрешение, оптический кроссток между кубиками. Полученные результаты будут представлены в докладе.

E-mail: dergacheva@inr.ru

Литература

[1] O. Mineev et al., Beam test results of 3D fine-grained scintillator detector prototype for T2K ND280 neutrino active target, Nucl. Instrum. Meth. A 923 (2019) 134-138 [[physics.ins-det/1808.08829](https://arxiv.org/abs/physics.ins-det/1808.08829)]

[2] K. Abe et al. (T2K Collaboration), T2K ND280 Upgrade - Technical Design Report, CERN-SPSC-2019-001 [[physics.ins-det/1901.03750](https://arxiv.org/abs/physics.ins-det/1901.03750)]

Анализ атмосферных мюонов в детекторе HyperKamiokande

Долгов А.А.^{1,2}

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Цель работы заключается в симуляции событий эксперимента T2K в дальних детекторах Super-Kamiokande, Hyper-Kamiokande и рассмотрении возникающих шумов. В работе были рассмотрены программа для генерации событий в водном черенковском детекторе WCSim. Разыгранные в детекторах мюонные и электронные события отражают различия частиц по размытию их черенковских колец. Рассмотрен вклад темнового тока в регистрируемые события. Установлена причина сильной и почти равномерной засветки детектора, не отвечающей геометрии черенковского конуса. Связано это с рэлеевским рассеянием фотонов в воде.

Оценка сокращения количества ошибок при использовании языка CDTL. Контекстный анализ

Доренская Е.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Проблема минимизации программных ошибок на данный момент является очень важной из-за стремительного развития информационных технологий. Для её решения мы разработали неалгоритмический язык описания задачи Creating Description Task Language (CDTL). Апробация Creating Description Task Language была проведена с помощью транслятора, конвертирующего описание проблемы в код языка программирования высокого уровня Perl. Мы оценили сокращение количества ошибок при использовании CDTL по сравнению с обычными программами на Perl с помощью метрики Холстеда (71,8%) и простой интуитивной модели (86,7%). Было вычислено сокращение сложности написания программ при использовании CDTL с помощью метрики Холстеда (77,5%) и метрики Джилба (97,39%).

Разработана программа для анализа текстов по методу определения контекста, созданному нами ранее (с помощью специальной семантической сети) и проведены соответствующие испытания. Основная область анализа – тексты компьютерной тематики. Основное наполнение базы данных приходилось на эту область. В процессе выяснилось, что результат работы программы и точность вычислений во многом зависят от того, какие слова находятся в базе данных и значения их метрик. В целом испытания прошли успешно. Программа была разработана под русскоязычные тексты, но в дальнейшем планируется создание её англоязычной версии.

Монодромия плоских связностей

Доценко Е.И.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В докладе будет описана связь между монодромией плоской связности (ассоциированной с конечномерной (супер)алгеброй Ли \mathfrak{g}) и соответствующей квантовой (супер)группой $U_q(\mathfrak{g})$.

Эффективное действие для массивного скалярного поля в пространстве Риндлера и де Ситтера при произвольной температуре

Дьяконов Д.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Вычислена статсумма для массивного скалярного поля в пространстве Риндлера для произвольной температуры. Также вычислена статсумма в пространстве де Ситтера в произвольной размерности. Показано что в де Ситтере есть аналог фазового перехода в нечетных размерностях. Также статсумма для температур $\beta = \frac{2\pi}{2^n}$ и $\beta = 2\pi 2^n$ имеет аналитический вид.

Изучение распадов B_c^+ мезонов с чармонием и тремя легкими адронами в конечном состоянии в эксперименте LHCb

Егорычев А.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

С использованием данных протон-протонных столкновений, соответствующих интегральной светимости 9fb^{-1} и набранных детектором *LHCb* в период с 2011 по 2018 гг., изучены семь каналов распада B_c^+ мезона в конечные состояния, содержащие чармоний (J/ψ или $\psi(2S)$ состояния) и три заряженных адрона (каоны или пионы). Представлены результаты по первому обнаружению следующих каналов распада: $B_c^+ \rightarrow \psi(2S)\pi^+\pi^-\pi^+$, $B_c^+ \rightarrow J/\psi(2S)K^+\pi^-\pi^+$ и $B_c^+ \rightarrow J/\psi(2S)K^+K^-K^+$. Выполнено подтверждение существования распада $B_c^+ \rightarrow \psi(2S)\pi^+$ с использованием канала $\psi(2S) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$. Получено первое экспериментальное свидетельство существования распада $B_c^+ \rightarrow \psi(2S)K^+K^-\pi^+$. Измерены относительные вероятности между изучаемыми каналами, а также представлены результаты исследования резонансных структур в системах $\pi^+\pi^-$, $K^+\pi^-$, $K^-\pi^+$ и K^+K^- .

Исследование спектросмещающих пластин для внешнего детектора Гипер-Камиоканде

Ерофеев Г.С.^{1,2}, Строе Я.Л.^{1,2}, Куденко Ю.Г.¹, Минеев О.В.¹

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В 2020 г. были начаты работы по созданию водного черенковского детектора нового поколения Гипер-Камиоканде массой 260 кт. Гипер-Камиоканде делится на внешний и внутренний детекторы, которые оборудованы фотоумножителями (ФЭУ). Во внешнем детекторе черенковское излучение регистрируется фотоумножителями диаметром 8 см и спектросмещающими пластинами, которые перекрывают «мёртвое» пространство между ФЭУ и тем самым увеличивают площадь светосбора внешнего детектора и повышают эффективность регистрации фоновых событий. Всего планируется использовать во внешнем детекторе Гипер-Камиоканде 6700 ФЭУ в комбинации со спектросмещающими пластинами. Свет от черенковского излучения будет попадать на пластины, поглощаться и далее переизлучаться в соответствии с соотношениями между спектрами излучения и поглощения используемого материала. Доклад посвящен исследованию различных видов спектросмещающих пластин, отражателей и их влияния на световыход пластин. Будут представлены результаты измерения световыхода для различных конфигураций пластин и отражателей, изложен метод, использование которого для отражателя, позволяет увеличить световыход пластин в 4 раза.

e-mail: Kudenko@inr.ru , oleg@inr.ru

Связь между операторами разрезания-склейки и операторами Казимира

Жабин А.А.¹, Миронов А.Д.¹, Морозов А.Ю.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Мы изучаем операторы разрезания-склейки для производящих функций спиновых чисел Гурвица. Мы показываем, как получить явное выражения для этих операторов в терминах производных по r -переменным без непосредственной матричной реализации. С помощью полученных выражений, операторы разрезания-склейки могут быть вычислены алгоритмически. Причина, по которой это возможно - связь упомянутых операторов со специально выбранными операторами Казимира, которые, в свою очередь, легко вычислить. Ключевую роль в связи играют сдвинутые Q -функции Шура.

Прототип нейтронного детектора для эксперимента VM@N

Жигарева Н.М.¹, Ставинский А.В.¹, Алексеев П.Н.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Состояние барионной материи при большой барионной плотности характеризуется не только плотностью и температурой, но и соотношением между основными компонентами вторичных частиц – протонами и нейтронами. Однако идентификация нейтральных частиц объективно сложнее, чем заряженных. В настоящее время благодаря развитию методики SiPM, появились возможности значительно уменьшить существенный разрыв в качестве идентификации заряженных и нейтральных частиц. Предлагаемая конструкция нейтронного детектора для ряда задач эксперимента VM@N представляет собой совокупность маленьких объемов с индивидуальным светосбором, что дает возможность создать трехмерный ячеистый детектор с хорошими временными характеристиками.

Использование позитронной аннигиляционной спектроскопии в качестве метода быстрой диагностики канцерогенов

Земская Л.И.¹, Степанов С.В.¹, Бяков В.М.¹, Фенин А.А.¹, Иванова М.П.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В наши дни есть множество угроз жизни человечества, и это не только вирусы Грипп и Ковид-19. Все чаще люди умирают от онкологий.

Общепризнано, что основным источником онкологических заболеваний являются химические канцерогены. При попадании в организм эти вещества вызывают образование злокачественных опухолей. Находясь в клетках, канцерогены вызывают нарушения в структуре ДНК, потерю части хромосом и т.д. (генетические изменения). В результате возникают наследственные изменения (мутации). Это является началом онкологического процесса.

Более 60-ти лет назад супруги James и Elizabeth Miller установили, что основным признаком канцерогенов является их большое сродство к электрону (или электрофильность).

Используя идею Миллеров, G. Bakale (Case Western Reserve University, Ohio) предложил измерять электрофильность, используя установку импульсного радиолиза (1981 г). Однако для реализации метода Бакала необходима сложная установка, включающая электронный ускоритель на энергию в несколько МэВ и громоздкая гамма-защита.

В нашей лаборатории Физической химии используется позитронный аннигиляционный спектрометр (ПАС). Методика похожа на метод Бакала, но гораздо дешевле, компактнее и не требует большой гамма-защиты. Суть ПАС состоит в инъекции e^+ в образец и последующей регистрации параметров аннигиляционных γ -квантов. В экспериментах можно измерять коэффициенты ингибирования образования Ps различными растворенными веществами и использовать эти коэффициенты в качестве меры канцерогенности веществ.

На данный момент мы используем диоксан, чтобы уменьшить летучесть растворов, но сохранить большой выход позитрония.

Зиятдинова А.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В данной работе представлены результаты моделирования динамики пучка гелия в канале, разрабатываемого в рамках модернизации установки ТИПр. Концепция работ, которые планируется проводить на обновленной установке, заключается в одновременном облучении новых конструкционных материалов двумя пучками ионов, один из которых инициирует повреждения в образце (тяжелоионный), а второй (легкоионный) имплантирует ионы водорода или гелия в область повреждений. Тем самым моделируется влияние накопления в дефектах газов, образуемых в результате ядерных реакций в ходе нейтронного облучения в реакторах. Начальные параметры пучка получены в ходе измерений на разрабатываемом в ИТЭФ микро-ЭЦР источнике ионов. На первом этапе моделирование динамики было проведено в приближении «идеальных» полей. Далее моделирование динамики пучка проводилось с использованием «реальных» полей. Для этого проведено моделирование распределения поля в соленоиде, поворотном магните, ускорительной трубке и квадрупольных линзах. В докладе представлены и обсуждаются результаты проведенного моделирования.

Позитронная диагностика канцерогенов: пробоподготовка исходных реагентов

Иванова М.П.¹, Степанов С.В.¹, Бяков В.М.¹, Фенин А.А.¹, Земская Л.И.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

На данный момент в лаборатории физической химии проводятся эксперименты с диоксаном на позитронном аннигиляционном спектрометре. Суть позитронной спектроскопии состоит в том, что мы имплантируем позитроны в образцы и изучаем время жизни позитронов в них. И, анализируя время жизни позитронов, при добавлении в раствор того или иного химического вещества смотрим, как меняется время жизни. Мы используем диоксан, потому что в нем хорошо растворяется большинство веществ, а также в чистом диоксане наблюдается большой выход позитрония, что облегчает измерение. Но диоксан является веществом, имеющим большое количество примесей, таких как перекиси, которые накапливаются в диоксане при стоянии, альдегиды, кетоны и вода.

Поэтому перед началом эксперимента очень важной задачей была очистка диоксана. После проведенной очистки, выход атома Ps в очищенном диоксане достиг положенных 50% и время жизни ортопозитрония составило 3 нс.

Динамическая модель образования неравновесного химического состава в оболочках одиночных нейтронных звёзд

Игнатовский А.Ю.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Рассмотрен процесс образования неравновесного химического состава при охлаждении за счёт нейтринных потерь энергии оболочек горячих сформировавшихся нейтронных звёзд. Построена модель, объясняющая наличие большого запаса ядерной энергии, который может поддерживать рентгеновскую светимость таких компактных объектов на протяжении десятков тысяч лет, а также возникновение транзиентов. Проведено изучение зависимости численно полученного итогового химического состава от различных параметров модели.

Перестройка микроструктуры сталей ЧС-139 и ЭК-181 при облучении ионами Fe до дозы 30 сна

Искандаров Н.А.¹, Рогожкин С.В.¹, Никитин А.А.¹, Лукьянчук А.А.¹, Федин П.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Исследованы ферритно-мартенситные стали ЭК-181 и ЧС-139 после облучения ионами Fe при температурах 350 - 500 °С до повреждающей дозы ~ 30 сна. Выполнен количественный анализ радиационно-индуцированных изменений микроструктуры сталей ЭК-181 и ЧС-139 методами просвечивающей электронной микроскопии и атомно-зондовой томографии. Величина обнаруженных радиационно-индуцированных эффектов указывает на их существенную роль в низкотемпературном радиационном упрочнении сталей ЧС-139 и ЭК-181.

Исследование мюонного захвата в различных ядрах. Технические аспекты

Казарцев С.В.¹, Белов В.В.¹, Гусев К.Н.¹, Житников И.В.¹, Зинатулина Д.Р.¹, Румянцева Н.С.¹,
Шевчик Е.А.¹, Ширченко М.В.¹, Шитов Ю.А.¹, Фомина М.В.¹

¹ *Объединенный институт ядерных исследований*

Исследование мюонного захвата в настоящее время может позволить решить проблему выбора моделей для расчёта матричных элементов в двойном бета распаде. Эти исследования нацелены на понимание природы нейтрино. В докладе представлено описание элементов измерительной системы мюонного захвата. С помощью системы отбора мюонных событий и германиевых детекторов высокой чистоты (HPGe) проводятся прецизионные измерения время-энергетических распределений, сопровождающих захват мюона в различных ядрах. Исходная система позволяет с хорошей точностью отделять мезорентгеновские события от гамма-излучения, что является критичным в подобных исследованиях, а также применима для будущих измерений с другими мишенями.

Тестовые измерения в совпадении нейтронов и заряженных частиц в реакции $n+{}^6\text{Li}$ на нейтронном канале РАДЭКС ИЯИ РАН

Каспаров А.А.¹, Мордовской М.В.¹, Афонин А.А.¹, Мицук В.В.¹

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

В работе описывается тестовая экспериментальная установка для проверки возможности регистрации в совпадении заряженных частиц и нейтронов на нейтронном канале РАДЭКС ИЯИ РАН. Установка включает в себя малую вакуумную камеру рассеяния (с установленной мишенью ${}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$ и телескопом $\Delta E - E$ кремниевых детекторов) и нейтронный детектор на основе органического сцинтиллятора. Проведены тестовые измерения реакции $n + {}^6\text{Li} \rightarrow \alpha + d + n$ и показана возможность регистрации в совпадении заряженных частиц и нейтронов, а также возможность идентификации типа заряженной частицы.

Первое наблюдение параметрического рентгеновского излучения в нанодисперсных порошках

Киданова Е.Ю.¹, Алексеев В.И.², Елисеев А.Н.², Кищин И.А.^{1,2}, Кубанкин А.С.^{1,2}, Клюев А.С.^{1,2}

¹ *Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук*

Параметрическое рентгеновское излучение (ПРИ) возникает при взаимодействии заряженных частиц с периодическими структурами. Кулоновское поле падающих заряженных частиц возбуждает электронные оболочки атомов, которые испускают излучение, которое когерентно интерферирует в определенном направлении и для определенных энергий. Характеристики полученного излучения зависят от падающих заряженных частиц, угла наблюдения, а также от характеристик исследуемого образца. В связи с этим излучение, генерируемое в кристаллах, существенно отличается от излучения, наблюдаемого в поликристаллах, и не генерируется в аморфных средах.

В этой работе представлены результаты взаимодействия пучка электронов с энергией 7 МэВ с платиновым порошком (5 нм), никелевым порошком (1 мкм) и порошком оксида магния (40 нм).

Результаты проведенного эксперимента были сопоставлены с кинематической теорией ПРИ, возникающего в случайно ориентированных кристаллитах. Важно отметить, что теория учитывает то, что размер кристаллитов достаточно велик и образец полу бесконечный. Такие условия гарантируют, что излучение генерируется при насыщении.

Хорошее соответствие между экспериментальными результатами и теорией наблюдается даже в том случае, если размеры кристаллитов меньше, чем длина затухания рентгеновского излучения в образце для данной энергии.

Моделирование аксиально-симметричной электромагнитной линзы для транспортировки пучка легких ионов

Кильметова И.В.¹, Кулевой Т. В.¹, Стасевич Ю.Б.¹, Федин П.А.¹, Прянишников К.Е.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

На установке ТИПр создается канал второго пучка. В этом канале предусмотрена установка ЭЦР источника, для которого разрабатывается аксиально- симметричная электромагнитная линза. Целью работы является разработка соленоида и исследование его тепловых и электромагнитных характеристик для заданных параметров магнитного поля. Расчеты проводились в программе Comsol и Micro-Cap. Были получены результаты по тепловым и электромагнитным моделированиям соленоида, а также рассчитаны параметры схемы источника электропитания линзы.

Влияние облучения ионами железа на наноструктуру дисперсно-упрочнённой оксидами стали 10Cr ODS

Клауз А.В.¹, Хомич А.А.¹, Залужный А.Г.¹, Рогожкин С.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Дисперсно-упрочненные оксидами стали являются потенциальными конструкционными материалами активной зоны следующего поколения реакторов на быстрых нейтронах. Предполагается, что они будут выдерживать радиационную нагрузку до доз облучения порядка 200 сна (смещений на атом) при температурах 400-700 °С. Такая нагрузка может быть обеспечена наличием в материале оксидных включений. Было замечено, что присутствие в материале большего числа меньших по размеру оксидных включений приводит к росту механических характеристик ДУО стали.

Для анализа эволюции распределения оксидных включений в материале при радиационной нагрузке, были проведены имитационные эксперименты по облучению образцов ДУО стали 10Cr ODS ионами Fe с энергией 5.6 МэВ до повреждающих доз 3, 6 и 30 сна при температуре 350 °С. Для их описания была использована совокупность самых современных методов ультрамикроскопии: просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и атомно-зондовой томографии (АЗТ), а также методика наноиндентирования.

Методом АЗТ определена зависимость изменения размеров и плотности кластеров от дозы облучения. Так, средний диаметр кластера с (4 ± 1) нм в исходном состоянии уменьшается до (2 ± 1) нм при облучении до максимальной дозы в 30 сна. При этом плотность кластеров уменьшилась в ~ 2 раза с $(9 \pm 1 \times 10^{22} \text{ м}^{-3})$ до $(4 \pm 2 \times 10^{22} \text{ м}^{-3})$. Методом ПЭМ обнаружены оксидные частицы с стехиометрией $Y_2Ti_2O_7$ и Y_2TiO_5 . При облучении средний размер оксидных частиц фактически не менялся, плотность частиц уменьшилась с $(13 \pm 2 \times 10^{22} \text{ м}^{-3})$ до $(4 \pm 1 \times 10^{22} \text{ м}^{-3})$ при достижении максимальной дозы в 30 сна.

С помощью методов наноиндентирования и модели дисперсионного упрочнения определены вклады разных частиц в свойства материала. Проведено сравнение с ДУО сталями другого состава. Обнаружено, что при ионном облучении происходит частичное растворение кластеров и уход элементов в матрицу. Анализ химического состава кластеров показал, что с увеличением дозы облучения существенно уменьшается содержание Cr и V в кластерах, при этом количество Ti, Y, O сохраняется в пределах погрешности, что говорит о стабильности кластеров типа Ti-Y-O.

NEST: мощный инструмент для моделирования низкоэнергетических процессов в благородных газах

Козлова Е.С.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

(от лица коллаборации NEST)

Низкоэнергетические нейтринные процессы представляют большой интерес для современной физики. Это необходимое знание для понимания Стандартной модели (например, изучение когерентного упругого нейтринно-ядерного рассеяния (CEvNS) на разных ядрах) и возможных процессов за его пределами (например, нестандартные взаимодействия нейтрино или темная материя).

Основная проблема моделирования таких процессов - несоответствие различных теоретических предсказаний друг другу и экспериментальным данным, особенно в области низких энергий (суб-кэВные энергии).

NEST предоставляет полуэмпирическое решение для наиболее распространенных благородных элементов (ксенон и аргон), которое объединяет теоретические модели (такие как Линдхард и вариации) и фактические экспериментальные данные. NEST может моделировать сцинтилляционный и ионизационный выход для различных типов взаимодействия, полей (включая нулевое поле) и энергий (от долей кэВ до МэВ). Помимо этого, NEST также учитывает параметры детектора.

В этом докладе будут представлены возможности NEST, включая моделирование низкоэнергетических ядер отдачи.

Колганов Н.М.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Топологический квантовый компьютер на теории Черна-Саймонса является универсальным, если в качестве мировых линий квазичастиц, соответствующих конкретному квантовому алгоритму, использовать двубриджевые узлы, а сами квазичастицы преобразуются по симметрическому представлению группы $SU(N)$. Однако такая реализация квантового компьютера может быть неудобной практически, так как однокубитные операции в ней не являются элементарными, а реализуются большим количеством многокубитных.

В данной работе предлагается другой подход к реализации квантового компьютера на основе теории Черна-Саймонса, а именно, в качестве мировых линий квазичастиц выбирается некоторое обобщение арборесцентных узлов, а именно узлы составлены из фейнмановских графов с петлями петли, линиями в которых являются четырёхнитевые косы, а квазичастицы преобразуются по фундаментальному представлению. Такой подход позволяет эффективно производить одно- и двухкубитные операции, которые, однако, являются необратимыми, что выявляет тесную связь данного подхода с квантовыми вычислениями, основанными на измерениях (measurement-based quantum computations).

Реконструкция спектров рентгеновского излучения, зарегистрированных дифракционным спектральным прибором

Колесников Д.С.¹, Скобляков А.В.¹, Канцырев А.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Работа посвящена разработке методики восстановления спектров излучения, зарегистрированных дифракционным спектральным прибором. Для расчета аппаратной функции прибора на языке Python разработана его виртуальная Монте-Карло модель, учитывающая геометрию эксперимента и процессы взаимодействия излучения с веществом. С использованием результатов моделирования построено аналитическое приближение аппаратной функции в зависимости от длины волны регистрируемого излучения. Для апробации разработанной методики и виртуальной модели проведена обработка данных нескольких экспериментов с разными источниками излучения.

Кондрашов А.А.¹, Чепурнов А.С.¹

¹ *Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

Селенид цинка (ZnSe) — уникальный сцинтилляционный материал, который производится в России. Он обладает высоким световым выходом, малой токсичностью, негигроскопичен и имеет высокую радиационную и термическую устойчивость, что делает его пригодным для применения в экстремальных условиях. Важной характеристикой сцинтиллятора является отношение светового выхода для различных видов частиц к световому выходу гамма-квантов при одной и той же энергии — квенчинг-фактор. Имея низкий квенчинг-фактор, ZnSe пригоден для регистрации тяжелых заряженных частиц. Он обладает хорошей прозрачностью к собственному сцинтилляционному излучению. С помощью легирования можно добиться высокой интенсивности сцинтилляций.

Однако у него есть такой недостаток, как плохое согласование длины волны максимума спектра люминесценции со спектральной чувствительностью фотоэлектронного умножителя. Но с появлением кремниевых лавинных фотодиодов и кремниевых фотоумножителей удалось устранить данный недостаток. Его сцинтилляционные спектрометрические характеристики очень сильно зависят от его химической чистоты.

Были произведены исследования сцинтилляционных свойств ZnSe. Для данных исследований был создан стенд, основными элементами которого является кристалл ZnSe(Te) и кремниевый фотоумножитель (silicon photomultiplier, SiPM). На данном стенде производились измерения энергетического разрешения (FWHM) ZnSe при воздействии на него различных видов ионизирующего излучения.

Исходя из полученных результатов, детекторы на основе селенида цинка можно считать перспективными для регистрации тяжелых заряженных частиц в сложных условиях эксплуатации, в том числе при использовании в дозиметрах и спектрометрах, устанавливаемых на космические аппараты.

Параметры роста фототрофных культур *Arthrospira platensis*, *Leptolyngbya tenuis*, *Stichococcus bacillaris* после облучения протонами

Коннычев М.А.^{1,2}, Краевский С.В.¹, Лямкин П.В.¹, Рогожкин С.В.¹

¹ Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»

² РХТУ им. Менделеева

Проанализированы параметра роста после облучения 21,6 МэВ протонами культур фототрофных микроорганизмов: цианобактерий *Arthrospira platensis* Gomont и *Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis & Komarek, а также зеленой водоросли *Stichococcus bacillaris* Nageli. Облучение производилось на линейном ускорителе И-2 в кюветах и чашках Петри; после облучения культуры высевались на питательную среду. Динамика роста культуры определялась по оптической плотности и микроскопически.

Для моделирования роста культуры после облучения использовано уравнение экспоненциального роста популяции

$$B(t) = B_0 \cdot e^{\mu t}$$

где B – биомасса в момент времени t ; μ – удельная скорость роста. В соответствии с этой математической моделью определены параметры биомассы после облучения B_0 и удельная скорость роста μ .

У облученной культуры *A. platensis* в контроле и при дозах 28-560 Гр величина B_0 постоянна в пределах погрешности, гибели клеток не происходит. При дозе 840 Гр параметр B_0 снижается втрое по сравнению с контрольной культурой. При дальнейшем увеличении дозы (1680 Гр, 2840 Гр) доля жизнеспособной биомассы после облучения падает в 10 и более раз, при этом возрастает разброс значений B_0 вследствие неравномерности облучения. Доза 8,4 кГр летальна. Значения параметра B_0 культуры *L. tenuis* снижаются относительно контроля на 30% уже при дозе 48 Гр, 50% при 150 Гр и продолжает снижаться при увеличении дозы до 1425 Гр. Таким образом, *L. tenuis* проявляет себя радиационно чувствительной к относительно небольшим дозам. При поглощенной дозе 2,5 кГр выживали лишь единичные клетки, при дозе более 7,5 кГр все клетки погибали. Культура *S. bacillaris*, как и *L. tenuis*, характеризуется постепенным снижением жизнеспособности при увеличении дозы протонного излучения от 25 до 2485 Гр и гибелью клеток при 7,5 кГр. Однако динамика падения B_0 при росте дозы более плавная и составляет 30% при 150 Гр и 50% при 250 Гр.

Удельная скорость роста μ исследованных культур в пределах ошибки соответствует контролю при дозах до 150 Гр, а при 250-840 Гр постепенно возрастает до 1,7 раза в сравнении с контролем. При более высоких дозах определить μ не представляется возможным ввиду существенного разброса экспериментальных значений при повторении эксперимента при выживании небольшого числа клеток.

Двухфазный эмиссионный детектор РЭД-100: одноэлектронные шумы

Коновалов А.М.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Двухфазный эмиссионный детектор РЭД-100 был размещён на Калининской атомной станции (КАЭС) в 2021 году с целью наблюдения упругого когерентного рассеяния реакторных антинейтрино на ядрах ксенона. В докладе представлены результаты изучения характеристик спонтанных одноэлектронных шумов детектора на основе данных технического запуска РЭД-100 на КАЭС.

Аналитические приближения функции распределения нейтрино в сверхновых и их проверка

Коптяева Е.А.¹

¹ *Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова*

На основании достаточно общих предположений относительно вида локальной неравновесной функции распределения нейтрино в сверхновой с коллапсом центральной части предложены два варианта ее аналитического приближения. Для их проверки использовались результаты одномерного моделирования взрыва сверхновой кодом Prometheus-Vertex, в котором распространение нейтрино рассчитывается самосогласовано с гидродинамикой. Отметим, что использование конкретного кода не ограничивает общности полученных выводов, так как существующие одномерные расчеты распространения нейтрино в сверхновой приводят к весьма близким результатам. Показано, что предложенное распределение по углам описывает более девяносто процентов всех нейтрино в сверхновой. Показано также, что гамма-распределение является более универсальным для описания спектра нейтрино. В то время, как фермиподобное распределение лучше описывает нейтринное излучение в центральной части сверхновой. Кроме того, его использование в этой области является физически более обоснованным. Полученные результаты могут быть использованы для оценки важности различных нейтринных эффектов в условиях сверхновой без их непосредственного включения в моделирование взрыва.

Применение методов машинного обучения для проверки адронных моделей пакета Geant4

Корпачев С.С.¹

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

Современным трендом в калориметрии является высокая гранулярность всех подсистем детекторов. Используя информацию, собранную с таких подсистем, можно значительно улучшить качество реконструкции событий в детекторах, проектируемых для экспериментов в физике высоких энергий. В данном исследовании применяются технологии нейросетевого подхода для восстановления параметров вторичных частиц, рождающихся в ходе развития адронного ливня в калориметре.

Крамарев Н.И.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Рассчитан процесс сценария обдирания НЗ в постановке Кларка и Эрдли [1] с учетом раскрутки массивной НЗ, что, как оказалось, существенно влияет на весь процесс обдирания. Найдена массовая граница между сценариями слияния и обдирания НЗ. Показано, что GW170817 и GW190425 могли являться ГВ-сигналами как от слияния НЗ, так и обдирания. Обнаружено, что полное время обдирания (1.7 сек — время между потерей ГВ-сигнала GW170817 и гамма-всплеском GRB170817A) главным образом чувствительно к уравнению состояния (УрС) маломассивной НЗ, что позволяет наложить ограничения на параметры ядерного УрСа.

[1] Clark, J. P. A. ; Eardley, D. M., Evolution of close neutron star binaries, *Astrophysical Journal*, 215 (1977) 311-322

Красюков Г.А.¹, Павловский О.В.¹

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Несмотря на простоту рассматриваемой физической системы, маятник с осциллирующим подвесом был теоретически и экспериментально изучен достаточно полно лишь в 1951 году П. Л. Капицей [1]. Изучение такого маятника продолжается, так как метод Капицы, заключающийся в разделении движения на медленное и быстрое с последующим усреднением, получил широкое распространение [2], а дифференциальное уравнение маятника встречается в самых разных областях современной науки и техники [3,4]. Маятник Капицы имеет уникальное разнообразие возможных типов движения. В зависимости от параметров системы наблюдаются: полные перевороты в одном направлении, параметрический резонанс, динамический хаос, динамическая стабилизация и др.

В докладе рассмотрены системы двух связанных маятников Капицы – где связь реализуется путём добавления в уравнения члена, пропорционального углу отклонения соседнего маятника. Был найден интересный вид движения. Пусть в начальный момент времени один маятник занимает верхнее положение, а другой – нижнее. Под действием связи второй (нижний) маятник начинает подниматься, что, в свою очередь, начинает отклонять первый (верхний) маятник. Однако этому движению препятствует движение за счёт осцилляций подвеса, благодаря которому маятники стремятся вернуться в соответствующие положения равновесия: первый – в π , второй – в 0. Эти два движения практически уравнивают друг друга, но движение за счёт связи чуть больше, что приводит к тому, что маятники застывают на достаточно большое время, а потом резко переворачиваются. Данный вид движения является периодическим. Получены зависимости периода такого колебания от различных параметров системы: коэффициента трения, частоты колебаний подвеса и коэффициента связи.

Проанализированы теоретические основания рассмотренного типа движения. Найдены аналогии со случаями математического маятника и одного маятника Капицы с приложением постоянного вращательного момента.

[1] P.L. Kapitza. Dynamical stability of a pendulum when its point of suspension vibrates, and pendulum with a vibrating suspension. Collect. Pap. PL Kapitza 2, 714737 (1965)

[2] R. Fitzpatrick. Interaction of a magnetic island chain in a tokamak plasma with a resonant magnetic perturbation of rapidly oscillating phase. Physics of Plasmas 24:12, pages 122506 (2017).

[3] King Lun Ng , B. Opanchuk, M. Thenabadu , M. Reid, and P. D. Drummond. Fate of the False Vacuum: Finite Temperature, Entropy, and Topological Phase in Quantum Simulations of the Early Universe. PRX QUANTUM 2, 010350 (2021).

[4] A.L. Fradkov. Application of cybernetic methods in physics. Phys. Usp. 48 103–127 (2005)

Квантово-механическое исследование химических реакций нитрилов с метиновым радикалом в космосе

Крикунова Л.И.^{1,2}, Николаев А.А.^{1,2}, Порфирьев Д.П.^{1,2}, Мебель А.М.^{1,3}

¹ Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва

² Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

³ Кафедра химии и биохимии, Международный Институт Флориды

Реакции нитрилов $R - C \equiv N$ с метиновым радикалом CH интересны как потенциально один из ключевых шагов в образовании биологически важных молекул. В частности, в ходе реакций с цианистыми молекулами возможно получение азотистых оснований – строительных блоков в цепочках ДНК. Взаимодействия с радикалом CH интересующих азотистых соединений, содержащиеся в большом количестве в атмосфере спутника Сатурна – Титана, а также в межзвездных молекулярных облаках, приводят к росту молекул и образованию циклических и линейных радикалов, а так же сопутствующих продуктов: атомов водорода, молекул водорода, этилена и др.

Целью данной работы являлось изучение наиболее вероятных механизмов течения химических реакций ($HCN + CH$, $CH_3CN + CH$, $C_2H_5CN + CH$) при помощи квантово-механических расчетов высокого уровня, позволяющих обеспечить химическую точность получаемых относительных энергий (1 ккал/моль). При помощи теории функционала плотности с использованием гибридного функционала $wB97xd$ и базисного набора $cc-pvtz$ в программном пакете Gaussian 09 были найдены геометрии реагентов, интермедиатов, продуктов и соединяющих их переходных состояний, колебательные частоты и значения энергии нулевых колебаний. Энергии обнаруженных структур в пределах полного базисного набора были рассчитаны при помощи двухточечных экстраполяционных формул. Используемые в них значения были получены с применением теории связанных кластеров CCSD(T)-F12 и корреляционно-согласованных базисных наборов $cc-pvtz-f12$, $cc-pvqz-f12$ в программном пакете MOLPRO 2010.

Грант № 2020-220-08-9813 «Происхождение и эволюция органических молекул в нашей Галактике»

Разработка семантической сети тасго-секции транслятора для оперирования с объектами описаний и создания исполняемого кода на основе PDL-описания проблемы

Куликовская А.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Рассмотрены средства для автоматического оперирования с объектами описаний, позволяющих создавать исполняемый Perl код на основе PDL-описания проблемы.

В основе секции транслятора, оперирующего с тасго, лежат примитивы, их PDL-описание и библиотека тасго, где имеются макросы, использующиеся для формирования каждого примитива. Разрабатывается программная логика для автоматического выбора макросов и необходимых библиотек на основе сведений, переданных пользователем. Программная логика строится на семантической сети, определяющей все характеристики существующих макросов, от области проблематики к более частным.

Основные этапы:

1. Модуль составления описания объекта. Режим записи диалоговый. Имя объекта, область проблематики, язык программы, функционал, длина списка параметров, список параметр-значение;
2. Модуль поиска нужного макроса в библиотеке по метаданным;
3. Модуль вычисления контрольной суммы файла и каталога;
4. Модуль сверки контрольных сумм файлов и каталогов.

Если для формирования программы, каких-то фрагментов не достает, то пользователю об этом сообщается и они вручную могут быть вставлены с помощью структур "\perl\ вставка \perl\". Такие вставки могут быть оформлены далее в виде макро-определений.

Исследование процессов фрагментации ионов углерода с однократной перезарядкой нуклонов при энергии 300 МэВ/нуклон

Куликовская А.А.¹, Абрамов Б.М.¹, Булычев С.А.¹, Куликов В.В.¹, Мартемьянов М.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Изучение механизмов ядро-ядерных взаимодействий — это одно из основных направлений современной ядерной физики. На этом направлении было создано значительное количество программ моделирования ядро-ядерных взаимодействий, требующих как экспериментальной проверки, так и совершенствования их базовых подходов [1]. Однако, процессы перезарядки нуклонов при фрагментации ионов изучены слабо. Имеется всего несколько экспериментов, выполненных в диапазоне энергии 1-2 ГэВ/нуклон и только для изобарических переходов [2].

Экспериментальные данные были получены на установке ФРАГМ и ускорительном комплексе ИТЭФ-ТВН при энергии в 300 МэВ / нуклон на бериллиевой мишени. Регистрация фрагментов реакции проводилась под углом в 3.5° по отношению к падающему пучку ионов [3,4]. При фрагментации ионов углерода, в результате однократной перезарядки нуклонов, могут образовываться три долгоживущих изотопа: ^{11}Be (7 нейтронов), ^{12}B (7 нейтронов) и ^{12}N (7 протонов). Были обнаружены изотопы ^{11}Be и ^{12}B и измерены их импульсные спектры. Обнаружить образование ^{12}N не удалось, что может быть связано с динамическими эффектами его образования, приводящими к очень узкому угловому распределению. Были рассмотрены различные модели ион-ионных взаимодействий с точки зрения их применимости к описанию процессов перезарядки. Показано, что наилучшее описание исследуемых реакций дает модель бинарного каскада (BC).

[1] M.Roy-Stephan et al. Excitation of the Delta-Resonance in Heavy Ion Charge Exchange reactions. Nucl.Phys. A482 (1988) 373.

[2] J. L. Rodriguez-Sanchez et al. Study of Δ excitations in medium-mass nuclei with peripheral heavy ion charge-exchange reactions. Phys.Lett.B 807 (2020) 135565.

[3] B.M. Abramov et al., Carbon fragmentation at 300 MeV/nucleon vs transport codes. EPJ Web Conf. 138 (2017), 03002.

[4] B.M. Abramov et al., Ion production in the $^{12}\text{C} + ^9\text{Be}$ interactions at GeV energies. J.Phys.Conf.Ser. 1390 (2019), 012004.

Восстановление нейтральных пионов в калориметре PHOS методом наложенных кластеров

Кусков В.А.¹, Блау Д.С.¹, Пересунько Д.Ю.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Согласно предсказаниям квантовой хромодинамики (КХД), при высоких температурах и плотностях сильно взаимодействующая материя находится в состоянии кварк-глюонной материи (КГМ). Установление границ между КГМ и адронным состоянием вещества является важной задачей исследования фазовой диаграммы КХД. Нейтральные пионы, являющиеся легчайшими адронами, обильно рождаются при столкновении тяжелых ядер при энергиях Большого адронного коллайдера (БАК), поэтому служат удобным инструментом в изучении КГМ.

Эксперимент ALICE на БАК ориентирован непосредственно на изучение КГМ. В состав детектора ALICE входит прецизионный фотонный спектрометр (PHOS), разработанный для измерения энергии фотонов и нейтральных мезонов. Акцептанс PHOS составляет $\Delta\phi = 70^\circ$, $|\eta| = 0.12$.

Целью данной работы является значительное расширение диапазона реконструкции нейтральных пионов с помощью метода наложенных кластеров. Стандартные методы по реконструкции π^0 – это метод инвариантных масс пары фотонов, зарегистрированных в калориметре или с помощью метода фотонной конверсии в трековой камере. Возможно также и комбинирование данных методов. При восстановлении π^0 методом инвариантных масс используются кластеры в калориметре – набор ячеек, в которых произошло энерговыделение от электромагнитного ливня, начавшегося в материале калориметра при попадании в него фотона. Однако при росте энергии π^0 угол разлета дочерних фотонов уменьшается, таким образом, при больших энергиях такие фотоны в электромагнитном калориметре образуют один кластер. При не слишком больших энергиях π^0 такие кластеры можно разделить с помощью алгоритма «unfolding» на субкластеры по локальным максимумам – ячейкам, энерговыделение в которых выше чем в соседних на определенный порог, для PHOS такой порог выбран равным 30 МэВ. Однако, при еще больших энергиях π^0 уже не удастся разделить наложенные кластеры. В таком случае, уже неразделенный кластер можно использовать как сигнал и применять однокластерный анализ для восстановления π^0 . В электромагнитном калориметре EMCal, в том же эксперименте ALICE, метод наложенных кластеров успешно применялся начиная с поперечного импульса π^0 в 20 ГэВ/с. Для PHOS такая граница ожидается при 40 ГэВ/с, т.к. размер ячейки в PHOS меньше чем в EMCal в 2 раза.

При анализе Монте-Карло данных pp-столкновений при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ оценена эффективность реконструкции пионов и чистота пионного спектра при использовании неразделенных кластеров в PHOS. Вклад наложенных кластеров от π^0 в общей выборке неразделенных кластеров достигает 75%, начиная с энергии кластеров 40 ГэВ, при меньших энергиях подавляющий вклад составляют одночастичные кластеры (в основном от фотонов), также присутствуют кластеры, содержащие фотоны, электроны или продукты конверсии фотона и загрязнение адронами.

Для увеличения чистоты спектра наложенных кластеров применялся дополнительный отбор по форме электромагнитного ливня в кластере. Для его характеристики использовались собственные значения двумерной дисперсионной матрицы ливня в плоскости калориметра. Для наложенных кластеров характерна вытянутость вдоль большего собственного значения ливня M_{02} , соответственно, ограничения налагались именно на эту переменную. При энергии кластеров до 30 ГэВ такой отбор неэффективен, так как сливаются только кластеры фотонов с существенно разными энергиями. При энергиях свыше 30 ГэВ нижняя граница M_{02} параметризовалась в зависимости от энергии кластеров. В итоге чистота наложенных кластеров повышается до уровня 90%, при этом эффективность реконструкции пионов составляет 70% в диапазоне энергий кластеров от 30 ГэВ до 120 ГэВ. Также предложены параметризации, увеличивающие чистоту наложенных кластеров от π^0 до 95% в диапазоне от 30 ГэВ до 120 ГэВ за счет падения эффективности до 50%.

Разработанный метод позволит улучшить точность измерения π^0 с помощью PHOS в области выше 40 ГэВ/с и, таким образом, существенно расширит измеряемый диапазон спектров таких мезонов.

Групповые свойства квантовых инвариантов узлов

Ланина Е.Н.^{1,2}, Слепцов А.В.^{1,2}, Целоусов Н.С.^{1,2}

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Мы исследуем теоретико-групповую структуру пертурбативного разложения петель Вильсона в трехмерной теории Черна-Саймонса с калибровочной группой $SU(N)$ исходя из соображений симметрии. Изучается образ отображения, называемого весовой системой \mathfrak{sl}_N , переводящего алгебру хордовых диаграмм в центр универсальной обертывающей алгебры $ZU(\mathfrak{sl}_N)$. Элементы отображения – групповые факторы, были известны только до 6-го порядка включительно в некоторых представлениях. Мы находим групповые факторы в произвольном представлении до 9-го порядка включительно. Разработанные методы имеют широкое применение. В частности, эти методы позволяют вычислить инварианты Васильева высших порядков. Более того, мы обобщаем однокрюковое скейлинговое соотношение для полиномов Александера на любое представление R . Также, мы обсуждаем теорему Вожеля о неразличении хордовых диаграмм весовыми системами полупростых (супер)алгебр Ли.

Лосев А.А.¹, Сатов Ю.А.¹, Шумшуров А.В.¹, Хрисанов И.А.¹, Алексеев П.Н.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Имплантация углерода может быть эффективно применена для регулирования времени жизни неосновных носителей заряда в кремниевых объемных и эпитаксиальных планарных структурах различных классов. При этом формируются более стабильные центры рекомбинации и не происходит легирования кремния дополнительными примесями, как например, при облучении протонами или ионами гелия. Экономически такой процесс не уступает альтернативным методам, а для получения малых времен (несколько наносекунд) более эффективен. Ионный инжектор И-3 с лазерно-плазменным источником ионов расположенный в Институте теоретической и экспериментальной физики был применен для имплантации ионов углерода в полупроводники. Источник основан на импульсно-периодическом CO₂ лазере, который обеспечивает плотность мощности на поверхности углеродной мишени в 10¹¹ Вт/см². Ионный источник способен производить пучки ионов различных твердых мишеней. Получаемый пучок ускоряется в двухзазорном ВЧ-резонаторе при напряжении до 2 МВ на зазор, в результате чего имеет энергию до 4 МэВ на заряд. В докладе представлены параметры пучка ионов углерода, который применялся в экспериментах по облучению кремниевых полупроводниковых диодов в экспериментах по регулированию времени жизни неосновных носителей заряда.

Создание дальнедействующей запутанности в одномерной квантовой модели Поттса с тремя состояниями

Лотков А.И.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Квантовая модель Поттса является обобщением модели Изинга с поперечным полем, в котором у каждого спин больше двух состояний. Последние достижения в разработке ридберговских программируемых квантовых симуляторов дали возможность для реализации экзотических многочастичных состояний для модели Поттса. Мы построили Флоке протокол для создания запутанности в одномерной модели Поттса с тремя состояниями (цепочке кутритов). Предлагаемый протокол итеративно создает пары кутритов с нелокальной дальнедействующим запутыванием через всю цепочку. Мы ожидаем, что наши результаты могут быть явно реализованы, используя ридберговские программируемые квантовые симуляторы, и могут найти применения в разных областях квантовых технологий.

Разработка системы автоматизации для установок атомно-зондовой томографии

Лукьянчук А.А.¹, Шутов А.С.¹, Разницын О.А.¹, Алеев А.А.¹, Рогожкин С.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ активно ведется разработка собственных атомно-зондовых томографов. Рабочими узлами атомно-зондового томографа являются довольно сложные в части управления системы: вакуумная, высоковольтного питания, перемещения образцов, бесперебойного питания и охлаждения образца. Некорректное управление ими может привести к повреждению и дорогостоящему ремонту. Для решения задач по минимизации возможных ошибок оператора, ведения детального журнала о состоянии установки и для автоматизации части процедур исследования и протоколов безопасности было принято решение о необходимости разработки средств контроля и автоматизации для атомно-зондовых томографов.

Была выбрана система автоматизации на основе машины состояний (конечный автомат). Достоинством машины состояний является возможность описать все возможные состояния системы, минимизировав вероятность несвоевременного выполнения команд. Разработана унифицированная система описания типовых команд управления для большинства узлов атомно-зондовых томографов. Унификация позволит адаптировать систему ко всем атомно-зондовым томографам в ИТЭФ (ПАЗЛ-3D, ЕСОТАР, МАЗТ) с минимальными доработками программного кода. Реализована обработка протоколов обмена данными для оборудования Pfeiffer, FUG, Thyracont, CHI-VAC, ICP DAS(DCON).

В работе представлены этапы разработки системы контроля и автоматизации работы атомно-зондовых томографов. Показаны структурная схема системы, логика работы и организация взаимодействия с ПО и узлами установок.

Прямые измерения космических лучей (ТэВ и выше): улучшение возможностей тонкого калориметра

Майоров А.Г.¹, Федосимова А.И.²

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

² *Физико-технический институт*

Точное знание энергетических спектров и элементного состава первичных космических лучей необходимо для понимания особенностей формирования космических лучей в астрофизических источниках, а также деталей распространения космических лучей в Галактике.

Энергии космических частиц были измерены достаточно точно для частиц с энергиями $E < 0,1$ ТэВ. Современные магнитные спектрометры могут определять первичную энергию с погрешностью менее 10 процентов. Однако такие устройства ограничены при энергиях $E > 1$ ТэВ.

В области 1-100 ТэВ наблюдается нехватка методов измерения. В связи с этим различные космические эксперименты (ATIC, CREAM, ПАМЕЛА, КАЛЕТ и другие) представляют крайне противоречивые энергетические спектры в диапазоне энергий 1-100 ТэВ.

На сегодняшний день лучшим вариантом измерения энергии различных ядер в широком диапазоне энергий (при $E > 1$ ТэВ) является метод ионизационного калориметра. Основной проблемой этого метода измерения энергии являются тяжелые приборы, поскольку калориметр должен быть достаточно глубоким, чтобы построить каскадную кривую. Более того, чем выше энергия первичной частицы, тем толще должен быть калориметр для измерения первичной энергии. Огромный вес установки значительно усложняет возможность использования такого устройства в космических экспериментах.

Более перспективным подходом к определению энергии космических лучей на основе прямых измерений является использование тонкого калориметра. В тонком калориметре не регистрируется весь каскад вторичных частиц, а измеряется только начало каскада. К сожалению, такие измерения обычно имеют погрешности более 50 процентов из-за значительных колебаний в развитии каскада.

Для решения этой проблемы мы предлагаем использовать так называемые корреляционные кривые, которые практически не зависят от колебаний в развитии каскада.

Объектом исследования в данной работе был детекторный комплекс PAMELA, включающий в себя как магнитный спектрометр, так и ионизационный калориметр (кремний-вольфрам). Энергия космических лучей более низких энергий ($E < 100$ ГэВ) измеряется магнитным спектрометром, а более высоких энергий - калориметром. При этом частицы высокой энергии, каскады которых не достигли максимума, не могут быть измерены и исключаются из анализа.

В качестве измеренных значений для построения корреляционных кривых использовалась зависимость выделения энергии на определенном уровне наблюдения от скорости развития каскада.

На основе компьютерного моделирования показано, что предложенная методика позволяет определить энергию первичных частиц, каскады которых не достигли своего максимума. Таким образом, частицы более высоких энергий могут быть проанализированы. Кроме того, повышается точность определения энергии частиц с энергиями ТэВ и выше. «Измерения» смоделированных каскадов, основанные на предложенном подходе корреляционных кривых, имеют погрешности менее 10 процентов.

Разработка компактного спектрометра ионизирующих излучений

Максимова Н.Е.¹, Чепурнов А.С.¹

¹ *Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

Исследование распределения ионизирующего излучения (ИИ) в пространстве и времени - это одна из наиболее распространенных задач в прикладной ядерной физике. Для ее решения используются спектрометры ионизирующего излучения. Классический спектрометрический тракт сцинтилляционного детектора ИИ состоит из сцинтиллятора, устройства регистрации фотонов сцинтилляции (например, ФЭУ), спектрометрического усилителя и АЦП. Количество фотонов сцинтилляции пропорционально энергии частицы. Площадь импульса тока на выходе ФЭУ пропорциональна количеству фотонов. При правильной настройке спектрометрического тракта амплитуда импульса на входе АЦП пропорциональна его площади. Таким образом, измеряя с помощью АЦП амплитудный спектр, простым линейным преобразованием можно восстановить изначальное распределение частиц по выделенной в детекторе энергии. Однако, для обработки сигнала можно применить гипотезу о том, что площадь импульса связана простой функциональной зависимостью не только с амплитудой сигнала, но и с его длительностью. Если гипотеза верна, то измерение площади импульса можно проводить путем измерения длительности сигнала. Для реализации возможности применения такого метода необходимо исследовать функцию, связывающую длительность сигнала на определенной высоте и площадь сигнала. Применение этого метода позволит уйти от громоздких и потребляющих много энергии АЦП к более компактной архитектуре спектрометра, использующей быстрый компаратор и устройство измерения временных интервалов между последовательным срабатыванием компаратора на фронте и спаде импульса. В ходе работы был разработан алгоритм преобразования длительности сигнала в цифровой код и реализован внутри программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Для проверки принципа был собран макет спектрометра, с помощью которого был измерен хорошо известный спектр радиоактивного источника ⁶⁰Со. Была подтверждена гипотеза о связи ширины сигнала и его амплитуды, оценена точность измерения площади импульса путем измерения длины сигнала. Проведено сравнение работы спектрометра на основе измерения длины импульса и архитектуры на основе классического АЦП. Результаты показывают, что предложенную архитектуру можно использовать в качестве компактного спектрометра-дозиметра, который, по сравнению с обычными дозиметрами, позволяет точнее измерять эквивалентную дозу излучения за счет дополнительной оценки энергии излучения.

Магнитные элементы канала транспортировки второй линии ускорителя ТИПр

Мальшев А.А.¹, Федин П.А.¹, Куйбида Р.П.¹, Кулевой Т.В.¹, Зиятдинова А.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В ускорительной лаборатории ИТЭФ ведётся разработка канала транспортировки лёгких ионов, включающего в себя высоковольтную платформу, состоящую из ЭЦР-источника, генератора ВЧ-импульсов, электростатических и магнитных элементов, воздействующих полями на траекторию пучка. В среде CST Studio проводилось предварительное физическое моделирование магнитных элементов и анализ распределений полей, полученных при заданных технических параметрах. Проведены оценки характеристики полей, создаваемых раздаточным магнитом, используемым в качестве поворотного для пучка Н⁺ и магнитным корректором, необходимым для корректировки пучка Fe²⁺ с энергией 5,6 Мэв в зоне однородности поля

Матюнин В.И.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Изучение распадов прелестных барионов важно как для понимания динамики процессов с участием тяжелых кварков, так и для поиска физики за пределами Стандартной модели. Высокая энергия протонных столкновений на Большом адронном коллайдере открывает доступ к изучению спектроскопии тяжелых адронов. За последние несколько лет коллаборацией LHCb было обнаружено большое количество распадов b -барионов. При изучении таких распадов были обнаружены резонансные состояния, соответствующие модели пентакварков и тетракварков.

Большая статистика набранная экспериментом LHCb в протон-протонных столкновениях на Большом адронном коллайдере открывает новые возможности к поиску распадов прелестных барионов. В докладе будут представлены результаты поисков новых Кабиббо-подавленных распадов Λ_b^0 бариона.

Суперинтегрируемость и W-представление матричных моделей

Мишняков В.В.¹, Миронов А.Д.¹, Морозов А.Ю.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Суперинтегрируемость — это свойство матричных моделей иметь явное решение. Это может быть выражено «формулой»: $\langle \text{характер} \rangle \sim \text{характер}$, т. е. средние значения характеров выражаются через характеры. С другой стороны, в матричных моделях имеются условия Вирасоро и интегрируемость КП / Тоды. Мы показываем, что статистическая сумма матричной модели полностью фиксируется одним уравнением. Его решение дается так называемым W-представлением статистической суммы. Интересно, что это решение естественным образом порождает суперинтегрируемое разложение по характерам. Я продемонстрирую идею на простейших моделях и рассмотрю обобщение на негауссовы и (q-, t-)деформированные случаи.

Мостовой С.Д.¹, Павловский О.В.¹

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

В докладе представлены данные, полученные в рамках расширенной модели Хаббарда [1] в диапазоне низких температур. Гамильтониан модели используется для решеточной аппроксимации статистической суммы, что представляет отдельный технический интерес с точки зрения реализации эффективных вычислений. В работе исследовались различные способы введения полей Хаббарда и разные виды преобразования Хаббарда-Стратоновича [2, 3] с целью получения наиболее статистически корректных результатов для наблюдаемых высокого порядка по операторам рождения/уничтожения (до 8 включительно).

В работе показано, что наблюдаемые высокого порядка по операторам рождения/уничтожения представляют технические проблемы для вычислителя. Это объясняется необходимостью сокращения расходимости в мере континуального интеграла. В результате ряда вычислений были опробованы различные способы улучшения свойств предельного распределения: дополнительные поля Хаббарда и различные степени параметра преобразования Хаббарда-Стратоновича, что позволило выявить значительную зависимость качества результатов вычислений от указанных характеристик.

Полученные выводы были применены к задаче определения температурной зависимости теплоемкости для газа электронов на поверхности графена, что представляет собой отдельный научный интерес. Априорное предсказание величины теплоемкости является важной самостоятельной задачей физики конденсированного состояния вещества, а сами способы подобных вычислений активно развиваются в начале XXI века.

[1] Dominik Smith and Lorenz Von Smekal. Monte-Carlo simulation of the tight-binding model of graphene with partially screened Coulomb interactions. *Physical Review B*, 89, 03 2014.

[2] Pavel Buividovich, Dominik Smith, Maksim Ulybyshev, and Lorenz von Smekal. Hybrid Monte Carlo study of competing order in the extended fermionic Hubbard model on the hexagonal lattice. *Phys. Rev. B*, 98:235129, Dec 2018.

[3] Pavel Buividovich, Dominik Smith, Maksim Ulybyshev, and Lorenz von Smekal. Numerical evidence of conformal phase transition in graphene with long-range interactions. *Phys. Rev. B*, 99:205434, May 2019.

Разделение сигналов от нейтронов и от радиационного фона в эксперименте ДАНСС с помощью машинного обучения

Мухамеджарова Д.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Данная работа посвящена исследованию метода улучшения разделения сигнальных событий обратного бета-распада и фоновых событий в эксперименте ДАНСС, а именно разделению сигналов от захватов нейтронов на гадолинии ($^{157}\text{-Gd}$ и $^{155}\text{-Gd}$) и от радиационного фона. Цель эксперимента ДАНСС заключается в подтверждении гипотезы существования стерильного нейтрино или в изучении ограничений на его параметры.

В работе используется модель машинного обучения, использующая признаки события для классификации сигнальных и фоновых событий. Результаты обученной модели сравнивались с классическим подходом, который используется в эксперименте на данный момент. Также был рассмотрен альтернативный метод разделения событий.

События с большими быстротными провалами в протон-ядерных столкновениях при энергии 8 ТэВ

Насыбулин С.А.¹, Соснов Д.Е.¹

¹ *Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

При высоких энергиях сталкивающихся адронов и ядер существенная часть регистрируемых событий имеет дифракционную картину, характеризующиеся обменом малыми импульсами с распадом одного или обоих сталкивающихся объектов, в дифракционные пучки адронов с сохраняющимися квантовыми числами первичных частиц или ядер. Для описания таких событий при высоких энергиях широко используется подход Грибова-Редже с введением так называемого померона -- виртуальной частицы с квантовыми числами вакуума, посредством обмена которыми взаимодействующие в столкновении адроны или ядра обмениваются импульсом без изменения собственных квантовых чисел. Однако, в дифракционных столкновениях с участием тяжёлых ядер, вследствие их большого электрического заряда, может оказаться существенным, наряду с померонным, взаимодействие посредством обмена фотонами.

В данной работе представлены оценки вкладов упомянутых выше механизмов дифракционного взаимодействия в сечение событий, характеризующихся большой величиной быстротных провалов. Произведено моделирование протон-ядерных столкновений, с учётом различных параметризаций померонного и электромагнитного обменных взаимодействий. Полученные оценки вкладов обменов померонами и фотонами сравниваются с недавними предварительными измерениями эксперимента CMS на БАК при энергии протон-свинцовых соударений 8 ТэВ в системе протон-нуклон ядра.

Показано, что A -зависимость в дифракционных протон-свинцовых соударениях соответствует ожидаемой согласно теории Глаубера-Грибова для рассеяния адронов на ядерных мишенях. В случае же ультрапериферических столкновений с фотонным обменом, Z -зависимость оказывается аномально высокой, что свидетельствует о значительном когерентном фотонном вкладе.

Квантово-механическое исследование механизмов химических реакций изомеров C_4H_6 с метиновым радикалом

Николаев А.А.^{1,2}, Аязов В.Н.^{1,2}, Мебель А.М.¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

² Физический Институт Академии Наук им. П.Н. Лебедева, Самарский Филиал (СФ ФИАН)

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это широкий класс ароматических углеводородов, состоящих из конденсированных бензольных колец. Интерес к астрофизике и астрохимии ПАУ связан с их обнаружением в различных астрономических средах, включая космическую пыль, ледяные спутники, углеродистые метеориты, кометы и т.д. ПАУ также участвуют в предполагаемых пребиотических процессах, входящих в абиогенез, и включены в так называемую «гипотезу мира полиароматических углеводородов». Хотя эта гипотеза вызвала много критики, она привлекает внимание к потенциальной значимости ПАУ в образовании органических компонентов в астрономической среде, которые могут быть предшественниками широкого круга молекул, включая простые биомолекулы.

Целью данной работы является раскрытие механизмов формирования пятичленных углеводородных соединений в мономолекулярных реакциях $C_4H_6 + CH$ и нахождение наиболее вероятных путей их протекания с помощью квантово-механических методов высокого уровня и подходов статистической физики. Данное исследование ранее не изучалось ни теоретически, ни экспериментально, поэтому оно было впервые изучено с помощью теоретических методов в лаборатории «Физики и химии горения» Самарского университета, а экспериментальные исследования проводились в сотрудничестве с группой ученых из Гавайского университета в США. Одним из поводов для тщательного изучения химических реакций C_4H_6 и CH было образование пятичленной структуры циклопентадиена (*c*- C_5H_6). Последующий отрыв водорода в нем приводил бы к циклопентадиенил-радикалу (*c*- C_5H_5). Данный радикал является одним из ключевых предшественников ПАУ и сажи, так как известно, что начальная стадия окисления шестичленного ароматического кольца обычно приводит к его сокращению до пятичленного кольца, а последующая стадия окисления дает ациклическую углеводородную молекулу или радикал, то есть происходит процесс сокращения ПАУ. Либо же циклопентадиенил-радикал может реагировать, например, с самой собой, с метил- или инденил-радикалами, приводя к росту ПАУ.

Данная работа раскрывает исследование химических реакций метинового радикала с самыми стабильными ненасыщенными изомерами C_4H_6 , 1,3-бутадиеном, 1,2-бутадиеном, 2-бутином и 1-бутином. Интересно отметить, что низкотемпературные экспериментальные константы скорости для различных реакций CH с углеводородами обычно составляют порядка $10^{-10} \text{ см}^3 \text{ молекула}^{-1} \text{ с}^{-1}$, вследствие чего радикал CH действительно достаточно реакционно-способен, чтобы его реакции с углеводородами имели существенное значение в космосе. Однако до сих пор ведутся споры о точном механизме реакций CH с ненасыщенными углеводородами, где промежуточное состояние, или интермедиат, является результатом внедрения радикала CH в $C-H$ связь или одинарную $C-C$ связь или присоединения к двойной $C=C$ или тройной $C \equiv C$ связи.

Овсянникова Т.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В докладе будут представлены результаты эксперимента LHCb по исследованию $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$ распадов. Изучая такие распады, впервые обнаружили экзотические состояния с кварковым составом cs анти- c анти- s в $J/\psi K^+$ системе. Распады $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$ были исследованы с помощью амплитудного анализа, используя полную статистику, набранную экспериментом LHCb в протон-протонных столкновениях при энергии центра масс 7, 8 и 13 ТэВ, соответствующую интегральной светимости 9 фб^{-1} .

Состояние, обнаруженное с наибольшей значимостью, названо $Z_{cs}(4000)^+$. Четыре состояния ранее обнаруженные в спектре $J/\psi \phi$ комбинации, были подтверждены с высокой значимостью. В дополнении к этому несколько новых состояний $X(4685)$ и $X(4630)$ были обнаружены в системе $J/\psi \phi$.

Возможности генерации моноэнергетических электронов при помощи пирозлектрического эффекта в монокристаллах танталата лития

Олейник А.О.¹

¹ *Белгородский государственный университет*

Пирозлектрический эффект в монокристаллах танталата лития (LiTaO₃) дает любопытную возможность генерировать потоки электронов с энергией до 100 кэВ. Имеются многочисленные свидетельства того, что потоки электронов могут быть самофокусированными и моноэнергетическими, что открывает перспективы практического применения этого явления. Представлен и описан эксперимент по регистрации вольт-амперной характеристике потоков электронов при периодическом изменении температуры монокристалла танталата лития. Выявлена возможность генерации квазипостоянного электрического потенциала в пространстве между пирозлектрическим током и металлической заземленной мишенью. Обсуждается влияние давления остаточного газа и геометрии пирозлектрического ускорителя электронов.

Орлов Д.Г.¹, Карпунин В.О.¹
¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Лучевая терапия использует ионизирующее излучение для лечения пациента с новообразованиями. Могут применяться контактные, дистанционные или радионуклидные методы лучевой терапии.

Для лечения крупных новообразований в теле пациента наиболее эффективна дистанционная лучевая терапия. В основе дистанционной лучевой терапии лежит формирование дозового распределения в теле пациента, обеспечивающего создание равномерного изодозового объема, конформно совмещенного с мишенью-новообразованием. При минимизации дозовой нагрузки на здоровые ткани, особенно в критических структурах организма говорят о конформном облучении.

Для проведения облучения необходимо по топометрическим данным подготовить план облучения, который включает формирование дозового распределения и позиционирование пациента. Облучение может происходить в несколько фракций (этапов). При изменениях в новообразовании необходимо проведение повторного планирования облучения.

Изначально планирование проводилось по топометрическим данным на основе рентгеновских изображений, представленных на рентгеночувствительной пленке. С развитием диагностического оборудования стали доступны объемные томографические данные.

Получение, хранение и обработка больших объемов данных исторически были сопряжены с существенными материальными и временными издержками. Развитие вычислительной техники позволило решить вопрос хранения данных. В современном диагностическом оборудовании автоматизирован процесс получения топометрических данных. Но обработка данных до последнего времени продолжала требовать кропотливой работы специалиста. Программное обеспечение предоставило инструменты, упрощающие сам процесс, но все так же, требующие опытных специалистов, постигших искусство их использования.

В настоящее время происходит как освоение новых нейронных алгоритмов, так и продолжающееся развитие применения GPU (видеокарт рабочих станций) для ускорения расчётов [1,2]. Это позволит еще больше переложить рутинные операции на оборудование, а также повысить эффективность проведения лучевой терапии, как по времени проведения этапов, так и по результату, что должно в итоге улучшить качество жизни пациента.

В докладе будет рассмотрено развитие информационных технологий в дистанционной лучевой терапии: аналоговый период, современные достижения и наметившиеся пути дальнейшего повышения эффективности применения.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ от 02.07.2020 г. № 1059).

Литература:

[1] А. А. Егоров, С. А. Лысенкова, К. В. Мазайшвили. Свёрточные сети для сегментации изображений крупных вен // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2020. – Т. 31. – № 2. – С. 117-128. – DOI 10.26117/2079-6641-2020-31-2-117-128.

[2] Параллельное вычисление с использованием технологии CUDA. Распараллеливание исходной задачи / С. Я. Егоров, С. В. Абрамов, С. М. Терехов, В. Н. Дружинина // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2014. – № 6(65). – С. 49-51.

Разработка приборов на основе постоянных магнитов для корпускулярной диагностики импульсной плазмы

Панюшкин В.А.¹, Канцырев А.В.¹, Хурчиев А.О.¹, Богданов А.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Информация о корпускулярных потоках, эмитируемых сильноточными разрядами, представляет интерес как с точки зрения исследования процессов, происходящих в лазерной и Z-пинче плазме, так и прикладных задач. По энергетическому спектру заряженных частиц, можно судить о механизмах ускорения плазмы (ионов и электронов), а по зарядовому составу ионов - о температуре плазмы.

В данной работе приводится описание разработки магнитных спектрометров на основе постоянных магнитов, обеспечивающих стабильную работу в условиях электромагнитных наводок от импульсных генераторов плазмы. Разработанный прототип магнитного спектрометра позволяет измерять спектр электронов и ионов с энергий до 700 кэВ.

Доработка конструкции криостата для криогенной корпускулярной капельной мишени

Панюшкина А.Н.¹, Герасимов А.С.¹, Чернецкий В.Д.¹, Панюшкин В.А.¹, Федорец П.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В рамках проекта FAIR коллаборация PANDA планирует использовать криогенную корпускулярную мишень, разрабатываемую в НИЦ «Курчатовский институт»-ИТЭФ, для изучения антипротон-протонных взаимодействий. Мишень генерирует замороженные водородные микромишени (10-20 мкм) и транспортирует их в область взаимодействия с пучком антипротонов. В данной работе приводится разработка раздвижной конструкции для установки корпускулярной капельной мишени на магните PANDA.

Ограничение на темп затухания магнитных полей одиночных радиопульсаров из минимальных предположений

Переверзев Г.А.¹, Бирюков А.В.²

¹ РУДН

² ГАИШ МГУ

В работе предлагается метод оценки темпа эволюции магнитного поля радиопульсаров из статистики их наблюдаемых периодов вращения и возрастов. Исследуются 82 одиночных пульсара с независимо определенными возрастными интервалами в интервале 0.001 - 10 млн. лет. Возраста этих пульсаров T получены либо из кинематики движения пульсаров в галактике либо из их связи с наблюдаемыми остатками сверхновых.

Используя общепринятую модель потерь энергии вращения пульсаров (Philippov et al. 2014), зависящую от текущего периода P , магнитного поля B и угла между магнитной осью и осью вращения α , для каждого объекта вычислялся интеграл:

$$Z = K \int_0^T B^2(t) dt.$$

Здесь K – постоянная, зависящая от радиуса и момента инерции пульсара и принимаемая одинаковой для всех рассматриваемых объектов. Если считать известными распределения начальных периодов P_0 и начальных магнитных углов α_0 , то величина Z для конкретного пульсара определяется только значением его текущего периода P .

Далее исследовалась зависимость Z от возраста пульсара T . Предполагая простую феноменологическую модель эволюции магнитного поля в виде (Colpi et al. 2000):

$$B(t) = B_0 \left(1 + \frac{t}{\tau}\right)^{-\beta},$$

из наблюдаемой зависимости $Z - T$ были оценены параметры модели: $\log B_0 = 11.5 \pm 0.2$,

$\log \tau = 4.0 \pm 0.8$ и $\beta = 0.38 \pm 0.13$, где B_0 измеряется в Гауссах, а τ в годах. В докладе даётся интерпретация полученному результату, а также обсуждаются ограничения использованного метода и неполнота используемых модельных приближений.

Литература:

[1] Philippov, Tchekhovskoy & Li, 2014, MNRAS, 441, 1879, arXiv:1311.1513

[2] Colpi, Geppert & Page, 2000, ApJ. Lett., 529, L29, arXiv:astro-ph/9912066

Киральный вихревой эффект для спина $3/2$

Прохоров Г.Ю.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Выведен киральный вихревой эффект для спина $3/2$ в расширенной модели полей Рариты-Швингера. Показана роль членов взаимодействия с дополнительным полем со спином $1/2$, вклад которых в эффект равен 6. Вклад самого поля Рариты-Швингера равен -1, и, таким образом, общий коэффициент в киральном вихревом эффекте равен 5, что соответствует предсказанию из последних вычислений киральной квантовой аномалии для спина $3/2$.

Подготовка к имитационным облучательным экспериментам на тяжелоионном ускорителе ТИПр

Прянишников К.Е.¹, Федин П.А.¹, Куйбида Р.П.¹, Козлов А.В.¹, Кулевой Т.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В докладе представлена подготовка к экспериментам по облучению образцов высокотемпературных ленточных сверхпроводящих материалов. Проведение экспериментов на ускоренных пучках тяжелых ионов позволяет симитировать нейтронное воздействие на материал. Облучательные эксперименты позволяют в сотни раз сократить время, затрачиваемое на набор дозы образцом. Представлено исследование распределения зарядовых состояний ионов в пучке получаемом с вакуумно-дугового источника ионов металла (ВДИИМ или MEVVA) времяпролетным методом на ускорителе ТИПр.

Перенос излучения в сильно замагниченной плазме

Пухов Т.А.¹, Румянцев Д.А.¹

¹ *Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова*

В данной работе вычислено уравнение Больцмана для электрон-позитронной плазмы в сильном магнитном поле с учетом влияния процессов Комптоновского рассеяния и расщепления фотонов в приближении плоско-параллельной задачи. Такой подход дает альтернативное описание имеющихся физических процессах в объектах с большим магнитным полем по сравнению с предыдущим анализом. Спектр энергий объектов, в которых реализованы условия задачи получается явно отличным от чернотельного.

Установка и апробация пикосекундного модуля лазерного испарения и DLD детектора на атомно-зондовом томографе ЕСОТАР

Разницын О.А.¹, Лукьянчук А.А.¹, Шутов А.С.¹, Бутов Н.А.¹, Рогожкин С.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В НИЦ «Курчатовский Институт» – ИТЭФ проводится широкий спектр исследований наноструктуры материалов при помощи современных средств, среди которых особое место занимает атомно-зондовая томография (АЗТ). С 2003 года исследования велись на установке ЕСОТАР фирмы САМЕСА. В настоящее время система испарения и детектирования ионов данной установки являются морально устаревшими и исследования ведутся на новом приборе – ПАЗЛ-3D [1]. С целью увеличения мощностей по анализу материалов методами АЗТ в НИЦ «Курчатовский Институт» – ИТЭФ установка ЕСОТАР была подвергнута глубокой модернизации – установлена современная быстродействующая детектирующая система на основе линий задержки, пикосекундная лазерная система с частотой воздействий до 1МГц и система управления и сбора данных ПАЗЛ-3D-Сбор V 1.0 [2].

В данной работе приведен краткий обзор технических решений, использованных для модернизации прибора. Приведены данные по сравнению точности восстановления данных данного прибора с действующей в НИЦ «Курчатовский Институт» – ИТЭФ установкой ПАЗЛ-3D.

Литература:

[1] Рогожкин С.В., Алеев А.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С. и др.// Приборы и техника эксперимента. 2017. №. 3. С. 129. [Rogozhkin S.V., Aleev A.A., Lukuanchuk A.A., Shutov A.S. et al.// Instruments and Experimental Techniques, V. 60. №. 3. P. 428] DOI: 10.1134/S002044121702021X.

[2] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019612689 Российская Федерация. ПАЗЛ-3D-Сбор V 1.0 : № 2019611358 : заявл. 14.02.2019 : опубли. 26.02.2019 / А. А. Алеев, С. В.Рогожкин, А. А. Лукьянчук [и др.]

Моделирование отклика детектора РЭД-100

Разуваева О.Е.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Упругое когерентное рассеяние нейтрино (УКРН) -- процесс, предсказанный в 1974 году, однако только в 2017 году зарегистрированный экспериментально ввиду малого энерговыведения в рабочей среде детектора. На данный момент на Калининской атомной станции ведутся работы по постановке эксперимента РЭД-100, направленного на изучение УКРН. Детектор эксперимента РЭД-100 представляет собой двухфазный эмиссионный детектор с ксеноном в качестве рабочего вещества. В данном докладе будут представлены результаты моделирования отклика данного детектора и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Изучение рождения бозона Хиггса в механизме слияния векторных бозонов в канале $H \rightarrow WW^* \rightarrow e\nu e\nu/\mu\nu\mu\nu$ при 13 ТэВ в эксперименте АТЛАС

Рамакоти Е.Н.¹, Цукерман И.И.¹, Гаврилюк А.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В работе представлен анализ стандартного бозона Хиггса в механизме рождения через слияние векторных бозонов на полной статистике, набранной за 2015-2018 гг. при энергии 13 ТэВ, в канале с одинаковыми ароматами лептонов в конечном состоянии. По сравнению с предыдущим результатом, в дополнение к увеличению статистики данных были включены несколько улучшений, которые приводят к значительному увеличению чувствительности анализа - в первую очередь, новый многовариантный метод с использованием глубокой нейронной сети. Показано, что экспериментальные кинематические распределения согласуются с предсказаниями Стандартной Модели. Также рассчитана ожидаемая статистическая значимость сигнала без учета систематических ошибок.

Рожков В.А.¹, Жемчугов А.С.¹

¹ *Объединенный институт ядерных исследований*

В докладе приведена конфигурация фантомов, позволяющих проводить регулярный контроль качества систем визуализации гамма излучения с малым полем зрения. Внутренняя структура фантомов была сконфигурирована исходя из размера поля зрения и пространственного разрешения системы. Приведены детали фантомов. Разработанные фантомы могут быть полезны для настройки и юстировки систем визуализации, таких как наклоны осей детектора, объекта, коллиматора, а также оценки основных параметров системы: линейность, однородность, контрастность, томографическое пространственное разрешение.

Данное исследование было выполнено при поддержке РФФИ и СИТМА, в рамках проекта № 18-52-34005

Руцкой Б.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Подбор схемы точного определение атомных координат в атомно-зондовой томографии

Атомно-зондовая томография – новый и быстро развивающийся метод анализа химической природы и кристаллической структуры исследуемого образца. Объекты исследования, к которым обычно относят металлы и их сплавы, вытачивают в виде иглы. На острие иглы подаются короткие высоковольтные импульсы, под действием которых ионизированные атомы испаряются с поверхности образца, и, ускоряясь в постоянном быстро спадающем электрическом поле, летят на позиционно-чувствительный детектор. На детекторе ион проходит через микроканальную пластину, что вызывает испускание электронного облака, которое попадает на систему микроstriпов. На микроstriпах появляется сигнал, который с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) становится дискретным цифровым сигналом, фиксирующий четыре набора времен и соответствующих импульсов. Время прилета иона соответствует максимальному значению импульса. Координаты атомов определяются по разности времен, поэтому важно добиться максимальной точности в определении времени, которое соответствует максимуму.

Определение времени, которое соответствует максимуму, и последующий расчет координат происходит в потоке в течении нескольких наносекунд, поэтому для определения максимума функции потребовался быстрый и точный аналитический метод. Добиться этого удастся с помощью аппроксимации дискретного набора времен и импульсов сплайном Безье из кривых Безье третьей степени. Сплайн Безье представляет собой шитые в узлах аппроксимации кривые Безье. Кривая Безье третьей степени проходит через две опорные точки, а через две управляющие точки не проходит, поэтому в качестве опорных точек выбраны узлы аппроксимации, соответствующие экспериментальным данным, а координаты управляющих точек рассчитаны, для этого из условия равенства первой и второй производной и по краевым условиям составлена и решена система линейных уравнений, в которой неизвестными были координаты управляющих точек. Кривая Безье зависит от параметра t , поэтому для нахождения точки экстремума на кривой было решено уравнение относительно этого параметра. В настоящей работе был проведен анализ решения этого уравнения, подобрано количество кривых Безье в сплайне и выбраны кривые Безье для поиска максимума. Оказалось, что наиболее оптимальный сплайн состоит из четырех кривых Безье и соответственно пяти узлов, сплайн из трех кривых и четырех узлов, который использовался ранее, был несимметричен и давал недостаточно точные результаты. Узлы выбраны таким образом, чтобы третий узел соответствовал точке с наибольшей импульсом, точке максимума в дискретном наборе, такой выбор также сделал сплайн симметричным. Поиск максимума проводится по двум кривым Безье: первая опирается на второй и третий узел, вторая – на третий и четвертый, из двух локальных максимумов затем выбирается один глобальный. Чтобы убедиться в правильности выбранной схемы, она была апробирована для АЦП с частотой дискретизации 2.5 Готсч/с, данные которых приняты за эталонные. При применении описанной схемы к АЦП с частотой дискретизации 0.6 Готсч/с точность определения координат не изменилась.

Обобщение двумерной гравитации А.М. Полякова со вставкой нетривиальной матрицы плотности

Садеков Д.И.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В 1980х годах А.М.Поляков, В. Г. Книжник и А. Б. Замолодчиков разработали теорию двумерной квантовой гравитации, взаимодействующей с конформной материей. Отправной точкой была формулировка А.М.Поляковым теории Лиувилля одного скалярного поля как теории квантовой гравитации, индуцированной некоторой СФТ, где роль поля Лиувилля играет параметр Вейля. Дальнейшее развитие теории Полякова-Лиувилля привело к многочисленным результатам, таким как точные корреляционные функции и приложения к матричным моделям. Во всех обсуждаемых ранее примерах вычисления производились по Пуанкаре-инвариантным состояниям. Однако, недавно было замечено, что рассмотрение нетривиальных состояний приводит к новым явлениям. В данной работе мы находим некоторые модели двумерной квантовой гравитации, индуцированной конформной материей в Пуанкаре-неинвариантных состояниях. Сначала проводится вычисление для простейшего примера с усреднением по примарному состоянию конформной теории, а затем рассматривается конформная материя в термальном состоянии. В первом случае удаётся разрешить в квазиклассическом пределе уравнения движения и сделать вывод, что ответ отличается от аналогичного результата в оригинальной теории Полякова-Лиувилля.

Исследование вариации потока космических мюонов под действием метеорологических эффектов с помощью детектора DANSS

Самигуллин Э.И.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Детектор DANSS находится на Калининской Атомной Электростанции, непосредственно под промышленным ядерным реактором который обеспечивает защиту от космических лучей в вертикальном направлении на уровне ~ 50 метров водного эквивалента. Таким образом, при изучении космических лучей DANSS занимает промежуточную позицию между наземными и подземными детекторами. Чувствительный объём детектора состоит из одного кубического метра высокосегментированного пластикового сцинтиллятора, и окружён многослойной пассивной защитой. Детектор находится на подъёмной платформе и набор данных производится в трёх положениях - в 10.9, 11.9 и 12.9 метрах от реактора. Набор статистики космических мюонов производился около четырёх лет. Была произведена оценка значения параметра защищённости детектора от космических мюонов $\langle E_{thr} \cos \theta \rangle$ во всех трёх положениях. Значения коэффициентов α и β , описывающих корреляцию между относительным изменением потока космических мюонов и, соответственно, относительным изменением эффективной температуры атмосферы и абсолютным изменением атмосферного давления на уровне земли, так же были получены для всех трёх положений детектора.

Построение опытного образца дистанционно управляемых источников тока для квадрупольных магнитных линз во втором канале ускорителя ТИПр-1

Санжаров Р.А.¹, Федин П.А.¹, Зиятдинова А.В.¹, Козлов А.В.¹, Кулевой Т.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В современных реакторных установках существует проблема износа конструкционного материала под воздействием нейтронного потока. В НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ ведутся работы по изучению радиационной стойкости новых материалов с помощью ускоренных пучков ионов, имитирующих нейтронное воздействие. Ускорение ионов обеспечивает ускоритель Тяжело Ионный Прототип ТИПр-1. В рамках совершенствования экспериментов на ускорителе планируется создание второго канала для одновременного облучения образца как тяжелыми ионами, так и ионами водорода и гелия, что позволит моделировать эффекты, вызванные продуктами ядерных реакций в образцах под воздействием нейтронного потока. Для фокусировки пучка ионов водорода и гелия во втором канале ускорителя планируется использовать систему квадрупольных магнитных линз, питающихся от дистанционно управляемых источников постоянного тока. В данной работе представлены промежуточные результаты разработки опытного образца одного из упомянутых источников тока.

Квадратичные алгебры, построенные по $SL(NM)$ эллиптическим квантовым R -матрицам

Сечин И.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Из динамического RLL-соотношения получена квадратичная алгебра для квантовой R -матрицы, отвечающей $SL(NM)$ -расслоениям над эллиптической кривой с нетривиальным характеристическим классом и обобщающей одновременно эллиптические квантовые R -матрицы Бакстера--Белавина и Фельдера. Соотношения в этой алгебре обобщают как алгебру Складина, так и соотношения в эллиптической квантовой группе Фельдера--Тарасова--Варченко и переходят в них в частных случаях $M = 1$ и $N = 1$ соответственно

Моделирование времяпролетных характеристик электромагнитного калориметра MPD/NICA ECal

Скобляков А.В.¹, Куликов В.В.¹, Булычев С.А.¹, Мартемьянов М.А.¹, Мацук М.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В настоящее время в ОИЯИ в рамках международного проекта NICA ведется создание многоцелевого детектора (MPD) для тяжелоионного коллайдера, работающего в области энергий $\sqrt{s(NN)}$ 5-11 ГэВ. Целью проекта является изучение горячей и плотной ядерной материи, и процесса перехода адронной материи в кварк-глюонную плазму. Одним из основных пробников образования кварк-глюонной плазмы является электрон-позитронные пары и прямые фотоны. Для регистрации этой электромагнитной компоненты в состав MPD входит цилиндрический электромагнитный калориметр (ЭМК) диаметром 4 м и длиной 6 м, содержащий около 40000 модулей типа «шашлык» общим весом 60 тонн. Модули представляют собой 210 чередующихся между собой пластин полистирольного сцинтиллятора толщиной 1.5 мм и 0.3 мм свинца. Модуль представляет собой усеченную пирамиду с основанием $40 \times 40 \text{ мм}^2$. Сбор света на кремниевый ФЭУ площадью $6 \times 6 \text{ мм}^2$ осуществляется с помощью 16-ти спектрсмещающих волокон (ССМ) диаметром 1.2 мм, проходящих через отверстия в пластинах. В зону ответственности групп ИТЭФ входит моделирование ЭМК и в первую очередь его геометрии и отклика на различные частицы. Данный доклад посвящен моделированию временного разрешения ЭМК. В полном объеме эта задача сводится к получению распределения энергоделиения в сцинтилляторах, преобразования его в фотоны видимого света, сбор этих фотонов на ССМ, преобразование и захват фотонов в волокнах, транспортировка к ФЭУ, формирование его выходного сигнала и регистрация цифровой электроникой. Результаты приводятся по части этой общей задачи. Уникальные возможности Монте-Карло моделирования предоставляет многократно апробированная для расчетов в областях физики высокой плотности энергии в веществе, астрофизике, физике ускорителей и в радиационной медицине среда Geant4 [1], в которой учтены большинство хорошо изученных процессов взаимодействия частиц и излучения с веществом, в том числе оптические, включающие в себя сцинтилляцию, Черновское излучение, взаимодействие фотонов с границами сред, сдвиг длин волн в волокнах и другие [2,3]. Было проведено численное моделирование модуля, представляющего собой сцинтиллятор, через который проходят 16 волокон. Сцинтиллятор был помещен в оболочку, имитирующую светоотражающую краску, с варьируемым коэффициентом отражения. Волокна имеют цилиндрическую форму, состоящую из ядра (полистирол, радиус 0.576 мм) и оболочки (PMMA, толщина 0.22 мм), с длиной 50 см. На одном из концов волокон располагались чувствительные детекторы, регистрирующие время прилета фотонов и их число. На другом конце волокон располагались объемы, представляющие собой светоотражающую краску с коэффициентом отражения 0.5. В ходе моделирования было получено временное разрешение данной сборки в зависимости от расстояния сцинтиллятора от регистрирующих детекторов. Также, с помощью моделирования, была проведена оценка влияния оболочки волокон на сигнал, получаемый на детекторах и были получены изображения распределения потока фотонов на SiPM.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-02-40054.

Литература

[1] Geant4 Toolkit

<http://geant4-userdoc.web.cern.ch/geant4-userdoc/UsersGuides/ForApplicationDeveloper/fo/BookForApplicationDevelopers.pdf>

[2] Geant4 Toolkit, Physics Reference Manual

<http://geant4-userdoc.web.cern.ch/geant4-userdoc/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/fo/PhysicsReferenceManual.pdf>

[3] Geant4 Toolkit, physicslist

<http://geant4-userdoc.web.cern.ch/geant4-userdoc/UsersGuides/PhysicsListGuide/fo/PhysicsListGuide.pdf>

Скробова Н.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В докладе будет представлено описание детектора DANSS и рассказано о перспективах наблюдения нейтринных осцилляций с учетом стерильного состояния нейтрино.

Детектор DANSS (Detector of Anti-Neutrino based on Solid Scintillator) представляет собой секционированный сцинтилляционный детектор общим объемом 1 м³, окруженный для подавления внешнего радиационного фона комбинированной пассивной и активной защитой. Детектор расположен под промышленным реактором на КАЭС, и может осуществлять измерения на расстояниях от 10.9 до 12.9 м до ядра реактора.

Детектор восстанавливает спектр антинейтрино по измеренному спектру позитронов. В докладе будет рассказано о моделировании спектров позитронов с учетом наличия стерильного состояния у нейтрино и о статистическом анализе применяемом для обработки данных. Область исключения в пространстве параметров Δm^2 , $\sin^2 2\theta$ получена посредством анализа отношения спектров набранных на разных расстояниях от детектора до реактора с учетом информации об относительных счетах. При этом, результаты не зависят от абсолютной эффективности детектора или теоретических предсказаний спектров антинейтрино. Будут показаны ограничения на параметры стерильного нейтрино полученные в результате анализа ~4 миллионов антинейтринных событий. В настоящий анализ включена вся статистика, набранная в трех положениях. Будут представлены планы по модернизации установки DANSS. Модернизация позволит расширить область чувствительности в пространстве параметров стерильного нейтрино и проверить утверждение коллаборации Нейтрино-4 о наблюдении стерильного нейтрино.

Система управления детектором FT0 в эксперименте ALICE

Суханов М.А.¹, Вознюк Н.О.¹, Каравичева Т.Л.¹, Курепин А.Н.¹

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

В рамках программы модернизации детекторных систем установки ALICE на Большом адронном коллайдере разработан гибридный триггерный детектор FIT (Fast Interaction Trigger), состоящий из трех подсистем (FT0, FV0, FDD) с различной технологией регистрации частиц. Детектор FT0 состоит из черенковских, а FV0 и FDD из сцинтилляционных модулей.

Контроль работоспособности детекторов осуществляется через систему управления и контроля детекторов (DCS). Для участия в программе эксперимента, система DCS каждого детектора, должна отвечать требованиям центральной системы управления ALICE.

В работе представлены описания системы управления и контроля новым детектором FT0, механизмов обеспечения его безопасности, а также автоматизации настройки оборудования в зависимости от условий эксперимента. Использование одинаковой приборной базы позволяет распространить представленные методы управления на остальные детекторы FIT.

Создание токового усилителя для SiPM SENLS 3x3мм² для нейтронного детектора

Таэр Г.С.¹, Ставинский А.В.¹, Мартемьянов А.Н.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Разработка позиционно-чувствительного компактного и модульного, подходящего под разные задачи детектора для регистрации нейтронов в котором в качестве фотоприемников используется стандартный фотоумножитель и 6 кремниевых SiPM, разнесенные по объему сцинтиллятора для улучшения позиционной чувствительности., испытание шестигранной формы на космическом стенде, усовершенствование электроники стенда для текущих задач, а также для более точного определения области взаимодействия частицы в детекторе. Представление полученных результатов и их расшифровка. Возможности дальнейшей модернизации детектора по средствам создания токового усилителя для SiPM SENLS 3x3мм². Результаты симуляции данного усилителя, определения его рабочих параметры, дальнейшие планы на 2021-2022гг.

Корреляционные функции N=4 SYM на кулоновской ветви

Терзиев Н.О.¹, Зарембо К.Л.¹, Мишняков В.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Мы изучали одноточечные функции на кулоновской ветви $\mathcal{N} = 4$ суперсимметричной теории Янга-Миллса и их связь с операторным разложением. Для некоторого класса одноточечных функций наше вычисление даёт компактное представление типа спиновой цепочки, а для одноточечных функций киральных примарных операторов мы получили ответ, подтверждающий аналогичное вычисление, проделанное со струнной стороны AdS/CFT-соответствия.

Начальное распределение магнитных углов классических радиопульсаров

Токарева Е.А.¹, Бирюков А.В.²

¹ *Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ*

² *ГАИШ МГУ*

Магнитный угол - угол между осью вращения и магнитным моментом нейтронной звезды. Теория предсказывает, что этот угол эволюционирует к меньшим значениям, заставляя магнитную ось становиться сонаправленной с осью вращения.

В настоящей работе приводятся результаты расчета начальных значений (то есть на момент рождения) магнитных углов 39 классических радиопульсаров. Для этих пульсаров известны наблюдаемые оценки текущих значений этих углов, а также кинематические возраста. А именно, возраста, полученные из наблюдаемой скорости движения пульсара в Галактике и предположения о локализации пространственной области его рождения. Кроме того, совместно оценивались начальные периоды пульсаров выборки.

Предполагалось, что эволюция периода пульсара и эволюция его магнитного угла описываются моделью, следующей из МГД-симуляций (Philippov et al 2014), которая была дополнена эволюцией величины магнитного поля звезды.

Показывается, что начальные магнитные углы пульсаров следуют скорее изотропному распределению. А распределение начальных периодов согласуется с уже имеющимися в литературе оценками. При этом, однако, качество исходных данных не позволяет обнаружить возможную корреляцию между начальными магнитным углом и периодом пульсара. Дополнительно в работе показывается, что применяемая модель замедления совместно с данными о кинематических возрастах пульсаров требует слабого затухания их магнитных полей - менее чем на 1 порядок величины за 10-100 млн. лет.

Тощенко К.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В работе исследуется эффект гравитационного микролинзирования на скоплении первичных черных дыр (ПЧД). С помощью численного моделирования получен большой набор возможных кривых блеска при микролинзировании на скоплении ПЧД. Разные части скопления имеют разную оптическую толщину, в следствии этого кривые блеска имеют различный вид. Для изучения кривых блеска набраны и проанализированы статистические распределения усиления пиков и продолжительности пиков для событий микролинзирования. Характерной особенностью кривых блеска в центральных областях скопления является их сложная несимметричная форма сильно отличающаяся от формы кривых блеска для одиночных черных дыр.

Вычислена ожидаемая частота появления пика на кривых блеска для различных областей скопления ПЧД. Моделирование проводилось фоновых звезд разных размеров, что существенно влияет на форму, продолжительность и частоту появления пиков на кривых блеска.

Данное исследование направлено на поиски исследуемой модели скопления в наблюдательных данных по микролинзированию.

Нелинейный динамический эффект Казимира при малых отклонениях от стационарности

Трунин Д.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Я покажу, что нелинейности существенно влияют на рождение частиц в динамическом эффекте Казимира. Для этого я выведу эффективный гамильтониан и петлевые поправки к потоку частиц в безмассовой скалярной теории поля с зависящими от времени граничными условиями Дирихле и квартичным самодействием. Для упрощения вычислений будут рассмотрены небольшие отклонения от равновесия и использован аналог приближения вращающейся волны. Кроме того, анализ будет ограничен редуцированной квантово-механической моделью и $O(N)$ -симметричным обобщением эффективного гамильтониана. Тем не менее, в обоих случаях вклад петлевых поправок в количество родившихся частиц сопоставим с древесным (квазиклассическим) значением.

Многополюсная релятивистская деформация взаимодействующих интегрируемых волчков

Трунина Е.С.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Автором получено многополюсное обобщение спиновой $gl(NM)$ модели Руйсенаарса-Шнайдера, построена пара Лакса этой модели и получены уравнения движения. Показано, что данная система является релятивистской деформацией многополюсного обобщения моделей взаимодействующих интегрируемых волчков, рассмотренного автором ранее. Кроме того, построено более общее описание данной модели в терминах R -матриц, удовлетворяющих ассоциативному уравнению Янга-Бакстера.

Урвачев Е.М.^{1,2}

¹ ФГУП «ВНИИА»

² *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Прямой метод определения космологических расстояний использует наблюдения на этапе роста светимости сверхмощных сверхновых, чья кривая блеска может быть объяснена взаимодействием ударной волны с плотным околозвездным веществом. В основе метода лежит предположение о сферической симметрии образующегося в системе плотного тонкого слоя, который в многомерии может быть неустойчивым. В данной работе рассматривается моделирование сверхновой SN2009ip, хорошо показавшей себя для прямого метода, с помощью радиационно-гидродинамического кода FRONT. Показано, что текущая реализация кода корректно воспроизводит в упрощенной модели болометрическую кривую блеска и динамику движения плотного слоя. Также продемонстрировано, что в рассматриваемой постановке слой сохраняет сферическую симметрию по крайней мере на этапе роста кривой блеска.

Моделирование сверхновой SN2009ip поддержано грантом РФФ № 19-12-00229. Развитие параллельной версии модуля переноса излучения в коде FRONT поддержано грантом РФФ № 21-11-00362.

Имитационные исследования радиационных повреждений конструкционных материалов с использованием ионных пучков

Федин П.А.¹, Прянишников К.Е.¹, Зиятдинова А.В.¹, Козлов А.В.¹, Кулевой Т.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Ионный ускоритель - это многофункциональный инструмент, который, в том числе, может быть использован для моделирования эффектов нейтронного облучения в реакторных материалах. В НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ ускоритель тяжелых ионов ТИПр (тяжело-ионный прототип) используется для моделирования радиационных повреждений в сталях и сплавах. Облучения ведутся в основном ионами железа Fe²⁺, но при необходимости могут быть использованы и пучки ионов ванадия, тантала, углерода и многие другие. Для моделирования воздействия на реакторные материалы продуктов ядерных реакций, необходимо в область создаваемых повреждений имплантировать водород и гелий. Это позволит проводить исследование такого важного процесса как радиационное распухание материала под воздействием радиационного облучения. Сейчас ведутся работы по созданию второго канала установки ТИПр для проведения одновременного облучения пучками тяжелых ионов и ионов водорода/гелия. В докладе представлен проект второго канала для пучков водорода и гелия.

Формирование канала ЛЕВТ тяжелоионного ускорителя ЛУ2

Хабибуллина Е.Р.¹, Кропачёв Г.Н.¹, Скачков В.С.¹, Кулевой Т.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Канал транспортировки пучков низкой энергии ЛЕВТ предназначен для транспортировки пучков многозарядных ионов с A/Z от 4 до 8 (вплоть до Bi^{27+}) от лазерно-плазменного источника тяжелых ионов и форинжектора-экстрактора напряжением 70 кВ до начальной части линейного ускорителя ЛУ2. ЛЕВТ состоит из: транспортной линии, обеспечивающей сепарацию рабочей фракции ионного пучка, и участка согласования пучка с ускоряющей секцией RFQ. Расчет динамики ионного пучка широкого спектра по зарядности выполнен в трехмерной модели пространственного распределения поля магнитных элементов.

Эффект разделения киральностей для фермионов со спином 3/2

Хайдуков З.В.¹, Абрамчук Р.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Будет рассмотрен эффект разделения киральностей для систем, содержащих фермионы со спином 3/2.

Будет показано, что для самосогласованной модели Адлера с релятивистскими безмассовыми фермионами Рарита-Швингера

проводимость для эффекта разделения киральностей в пять раз больше, чем для безмассовых дираковских фермионов.

Будет рассмотрено возникновение эффекта в полуметаллах Рарита-Швингера-Вейля, и показано что проводимость для эффекта разделения киральностей в этом случае в четыре раза больше чем для фермионов Вейля.

Хлебцов С.П.¹, Оганесян А.Г.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Исследование переходных форм-факторов $\pi^0, \eta, \eta' \rightarrow \gamma\gamma^{(*)}$ в рамках дисперсионного подхода позволяет изучить свойства

непертурбативного глюонного матричного элемента $\langle 0 | G\tilde{G} | \gamma\gamma^{(*)} \rangle$. Использовался дисперсионный подход к аксиальной аномалии (как для абелевого, так и для неабелевого случая). Проведенный анализ правил сумм в сравнении с экспериментальными данными позволяет сделать вывод о существовании двух режимов вклада глюонной аномалии, соответствующих разным кинематическим областям (по виртуальности фотона). Сделано сравнение с другими подходами, в частности с подходом основанном на Паде аппроксимации.

Исследование изменения наноструктуры дисперсно-упрочненных оксидами сталей под воздействием облучения ионами железа

Хомич А.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Одной из важных проблем, касающейся создания новых реакторов деления и синтеза является разработка материалов для активной зоны реактора. Эксплуатационные свойства новых материалов должны быть лучше по сравнению с уже имеющимися. Например, радиационная стойкость до 200 сна (смещений на атом), сохранение механических свойств при температурах больше 700 °С и прочее. Одним из кандидатов способных удовлетворить данным требованиям является дисперсно-упрочненные оксидами (ДУО) стали. Механические свойства ДУО сталей в значительной степени зависят от наноструктуры материала: размера и пространственного распределения дисперсных включений (оксидные частицы и кластеры). Известно, что такие элементы как Ti, V, Zr влияют на образование наноразмерных частиц, уменьшая их размер и увеличивая их плотность. С данной точки зрения важно изучать модельные ДУО стали с различными системами легирования. Данный подход может позволить углубиться в понимание процессов формирования наноструктуры ДУО материалов, в зависимости от их изначального состава. Более того, изучение поведения стабильности включений при облучении, в том числе с применением различных моделирующих воздействий, таких как облучение тяжелыми ионами, является важным вопросом, из-за применение ДУО сталей в ядерных реакторах.

В настоящей работе методами просвечивающей электронной микроскопии и атомно-зондовой томографии проведены комплексные исследования исходного состояния дисперсно-упрочненных оксидами сталей с разными системами легирования, с использованием таких элементов как Zr, Ti, Al и V. Помимо этого, проведены имитационные эксперименты по облучению нескольких ДУО сталей ионами железа до нескольких доз в диапазоне до 30 сна при температуре 350°С с последующим анализом изменений структурно-фазового состояния.

Формирование пространственных характеристик лазерного пучка задающего генератора в многопроходовом усилителе

Хрисанов И.А.¹, Сатов Ю.А.¹, Рерих В.К.¹, Балабаев А.Н.¹, Лосев А.А.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В работе приведены результаты численного моделирования CO₂ лазерной схемы, которая предназначена для генерирования мощных коротких импульсов излучения в составе тяжелоионного источника. Она основана на нелинейном характере усиления импульса излучения задающего генератора, фронт которого подвергается формированию в нелинейном поглотителе. В работе рассмотрено влияние пространственных характеристик входного пучка на выход в четырехпроходовой схеме усиления. Показано, что для фиксированной величины коэффициента усиления слабого сигнала максимальный усилительный эффект достигается при определенном формировании пространственных характеристик лазерного пучка на входе в усилитель. Для этого в телескопический усилитель направляется не весь пучок задающего генератора, который имеет гауссов пространственный профиль, а некоторая центральная его часть, близкая к однородной по интенсивности. В этом случае, несмотря на значительные апертурные потери при оптимизации диаметра пучка, достигается максимальная энергия на выходе усилителя.

Хурчиев А.О.¹, Скобляков А.В.¹, Панюшкин В.А.¹, Гаврилин Р.О.¹, Канцырев А.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

В экспериментах по физике высокой плотности энергии в веществе, где генерируется плазма высокой плотности и температур, например в экспериментах на мега-амперных Z-пинчах или мощных пикосекундных лазерах, требуется проводить диагностику потока заряженных частиц от плазмы. Существует несколько типов детекторов для диагностики высокоэнергичных ионов и электронов: CR-39, радиохромные пленки (RCF), сцинтилляторы и пленочные детекторы (Image Plates, IP). Несмотря на то, что IP являются пассивными детекторами и не могут использоваться в диагностике с временным разрешением, они обладают несколькими преимуществами перед другими типами детекторов: невосприимчивость к электромагнитным импульсам, большим динамическим диапазоном (до 10^5), высоким пространственным разрешением (обычно 10 – 50 мкм). Кроме этого, пленочный детектор IP может быть очищен излучением видимого спектра, что предоставляет возможность повторного использования. Считывание данных с пленок IP производится с помощью научных или медицинских сканеров. Наибольшее распространение в диагностике плазмы получили пленочные детекторы Biological Analysis System (BAS): BAS-MS, BAS-TR, BAS-SR, чувствительной зоной которых является фосфорный слой $BaFBr0.85I0.15:Eu$. При облучении детектора электроны Eu^{2+} в фосфорном слое ионизируются и захватываются в FBr или FI, образуя метастабильные состояния. При сканировании происходит облучение фосфорного слоя фотонами с энергией 2 эВ (длина волны излучения ~ 630 нм), что приводит к перевозбуждению и рекомбинации с Eu^{3+} электронов в метастабильных состояниях и эмиссии фотонов с энергией 3 эВ (длина волны излучения ~ 400 нм), называемой фотостимулированным излучением (Photostimulated luminescence, PSL). Сигнал с IP (PSL), получаемый после сканирования, пропорционален поглощенной энергии частицы в люминесцентном слое детектора. Однако, не существует теоретического выражения для связи PSL с поглощенной энергией, что приводит к необходимости калибровки связки «детектор - сканер». Кроме этого, часть электронов в метастабильном состоянии спонтанно рекомбинируют, что приводит к уменьшению сигнала с детектора (Fading effect). В докладе приводится описание подходов для калибровки пленочных детекторов BAS-MS и BAS-TR в связке со сканером VistaScan Mini View фирмы Durr Dental для электронов и альфа-частиц.

Групповая структура цветных полиномов HOMFLY

Ланина Е.Н.¹, Слепцов А.В.¹, Целоусов Н.С.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Одним из главных свойств пертурбативного разложения цветных полиномов HOMFLY является разделение зависимости от узла и от конечномерного неприводимого представления калибровочной группы $SU(N)$. Теоретико-групповая структура содержится в так называемых групповых факторах. Ранее явный вид групповых факторов был известен только в частных случаях. В данной работе мы предлагаем способ вычисления групповых факторов в любом представлении с помощью комбинаторного алгоритма. Разработанные методы имеют множество приложений, в частности, доказательство симметрии *tug-the-hook* и вывод формул для квантовых A -полиномов.

Чашин С.М.¹

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Для прямого поиска частиц тёмной материи широкое распространение получили детекторы на основе жидких благородных газов. В процессе поиска рассматриваются сцинтилляционные и ионизационные сигналы, образующиеся вследствие рассеяния частицы на ядрах мишени. Чувствительность поиска частиц тёмной материи с помощью таких детекторов ограничена в области низких масс частиц (менее 1 ГэВ/с²). Данный предел обусловлен низкой передачей энергии и импульса ядру при рассеянии на нем лёгких частиц. На текущий момент в детекторе DarkSide достигнут порог по энергии около 0.1 кэВ (или 4 электрона). В последнее время наблюдается возросший интерес к поиску лёгких частиц тёмной материи, в этом направлении проводится все больше экспериментальных исследований. В данной работе рассматривается возможность увеличения чувствительности поиска в области низких масс в рамках эксперимента DarkSide-50 и активно развивающегося эксперимента DarkSide-20k с использованием двухфазных детекторов на основе жидких благородных газов с помощью учёта рассеяния частиц на электронах, а также учёта атомных эффектов -- тормозного излучения и эффекта Мигдала, обусловленных резким ускорением ядра в поле электронной оболочки.

Исследование параметров сцинтилляционных элементов высокосегментированного детектора SuperFGD для эксперимента T2K

Куденко Ю.Г.¹, Федорова Д.В.^{1,2}, Федотов С.А.¹, Чвирова А.А.^{1,2}

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Создание детектора SuperFGD является главной частью проекта по модернизации ближнего нейтринного детектора ND280, нацеленного на уменьшение систематической ошибки эксперимента с текущего уровня в 6–7% до 3–4%. Детектор SuperFGD будет состоять из ~2 миллионов сцинтилляционных кубиков, изготовленных на основе полистирола методом литья под давлением. Размер одного кубика – 1x1x1 см³. Каждый кубик покрыт отражателем и имеет три ортогональных отверстия диаметром 1.5 мм под спектросмещающее волокно. Сигнал с каждого из кубиков будет сниматься с помощью трех ортогональных спектросмещающих волокон и фотосенсоров Hamamatsu MPPC. В докладе будут представлены результаты измерения однородности световыхода в зависимости от координаты пролета заряженных частиц через сцинтилляционный кубик, неоднородность составляет порядка 30%.

Научно образовательный медицинский центр ядерной медицины в НИЦ "Курчатовский институт"

Максимов В.И.¹, Иванов Е.М.¹, Гранин Д.И.¹, Булатов М.С.², Кленов Г.И.², Хорошков В.С.²,
Черных А.Н.²

¹ *Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

² *НИЦ «Курчатовский институт»*

Доклад посвящен обзору реализации Федеральной научно-технической программы развития синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019–2027 годы (ФНТП). В соответствии с Указом Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (далее – НИЦ «Курчатовский институт») определен головной научной организацией Программы.

Программой предусмотрено создание сети уникальных научно-исследовательских установок класса «мегасайенс»; ускоренное развитие отечественных ускорительных и реакторных технологий, а также создание на базе НИЦ «Курчатовский институт» новейшего отечественного научно-образовательного медицинского центра ядерной медицины (Курчатовский НОМЦ ЯМ). Курчатовский НОМЦ ЯМ будет включать в себя модернизированные комплексы ионной (углеродной), протонной лучевой терапии, онкофтальмологический комплекс и радиоизотопный комплекс наработки широкого спектра медицинских радионуклидов для создания радиофармпрепаратов (РФП). На базе Курчатковского НОМЦ ЯМ будут отрабатываться технологии для диагностики и терапии онкологических заболеваний в том числе глаза и его придаточного аппарата, а также болезней системы кровообращения, болезней нервной системы и иных заболеваний с целью внедрения в субъектах Российской Федерации для обеспечения доступности медицинской помощи; разработка типовых требований к центрам ядерной медицины.

В следующем разделе доклада представлены текущие результаты работы по разработке и запуску двух центров протонной лучевой терапии на базе НИЦ «Курчатовский институт» и НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ. В докладе отмечаются концептуальные решения при создании в НИЦ «Курчатовский институт» типового клинического центра на базе специализированного медицинского ускорителя – синхротрона на энергию 250 МэВ, лучевой установки гантри для многопольного облучения и лучевой установки с фиксированным направлением протонного пучка для проведения ПЛТ в положении сидя. Описывается онкофтальмологический комплекс ПЛТ, создаваемый на базе сооруженного в НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ циклотрона Ц – 80.

В заключительном разделе доклада приводятся итоговые результаты и планы графики по разработке и запуску двух центров протонной лучевой терапии на базе НИЦ «Курчатовский институт» и НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ от 02.07.2020г. № 1059).

Литература:

1. Адронная терапия: история, статус, перспективы / Кленов Г.И., Хорошков В.С.// Успехи физических наук, 2016, 186, С 891 - 911

Моделирование взаимодействий мюонов, протонов и пионов в высокосегментированном детекторе SuperFGD

Шварцман А.С.^{1,2}

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Рассмотрена идея высокоактивного мелкозернистого детектора [1, 2] в рамках апгрейда ближнего детектора ND280 в нейтринном эксперименте с длинной базой T2K [3, 5]. Элементы детектора представляют собой 1 x 1 x 1 см³ кубики из пластикового сцинтилляционного вещества. Сцинтилляционные сигналы считываются с помощью спектросмещающих оптоволокон [4]. Каждый кубик имеет три ортогональных отверстия, а протянутые через них оптоволокна позволяют выделить сигнал от каждого отдельного сегмента. Цель разработки данного детектора – использование его в качестве активной нейтринной мишени для детектирования, измерения и идентификации частиц в конечном состоянии, в частности мюонов или электронов, пионов, протонов и фотонов, вплоть до низких энергий. Три считывающих канала с каждого кубика, а также высокая сегментация обеспечивают точное измерение координат и энергии, а также гарантируют хорошие временное разрешение и эффективность детектирования в полном телесном угле. Продемонстрированы характеристики детектора, приведены результаты Монте-Карло моделирования взаимодействия мюонов, протонов и пионов с активным веществом детектора. Также рассмотрены эффекты, связанные с пассивным веществом, и их влияние на основные параметры детектора.

Литература

- [1] Blondel A. et al. A fully active fine grained detector with three readout views // 2018 JINST 13 P02006 [arXiv:1707.01785]
- [2] Abe K. et al. (T2K Collaboration) T2K ND280 Upgrade – Technical Design Report // JINST 6. 2011. P12004 [arXiv:1901.03750] Jan. 11 2019, 196 p.
- [3] Abe K. et al. (T2K Collaboration), The T2K experiment // Nucl. Instrum. Meth. A 659 (2011) 106-135 [physics.ins-det/1106.1238].
- [4] Kudenko Y.G. et al. Extruded plastic counters with WLS fiber readout // Nucl. Instrum. Meth. A 469. 2001. 340-346.
- [5] Kudenko Yu. et al. (T2K Collaboration), The near neutrino detector for the T2K experiment // Nucl. Instrum. Meth. A 598 (2009) 289-295

Обзор систем сбора и накопления данных на спектрометрах реактора ИБР-2

Швецов В.В.¹, Богдзель А.А.¹, Дроздов В.А.¹, Мурашкевич С.М.¹, Приходько В.И.¹

¹ *Объединенный институт ядерных исследований*

Развитие систем сбора данных является неотъемлемой частью реализации программы научных исследований конденсированных сред на реакторе ИБР-2. В Лаборатории Нейтронной Физики ОИЯИ были разработаны несколько поколений систем сбора данных и систем автоматизации для нейтронных спектрометров – VME-модули, VME-модули на базе DSP-процессоров, модули VME-PCI De-Li-DAQ-1 (Delay Line DAQ) до модернизации реактора ИБР-2 в 2006-2011 годах и MPD-системы (Multi Point Detector systems) и De-Li-DAQ-2D после его модернизации [1]. De-Li-DAQ – накапливает данные с одно- и двухкоординатных позиционно-чувствительных детекторов, MPD – с массива точечных детекторов (ЗНе и сцинтилляционные счётчики). Тенденция к увеличению числа детекторных каналов и возрастанию потока регистрируемых данных привела к необходимости разработки новой высокопроизводительной системы сбора данных MPD-32 и использованию дигитайзеров фирмы CAEN. Главными задачами в создании систем сбора данных для спектрометров Лаборатории являются унификация оборудования и программного обеспечения, повышение надежности, сокращение времени разработки и ввода в эксплуатацию, а также возможность быстрой адаптации систем к изменениям требований эксперимента. Новые системы сбора данных на спектрометрах ИБР-2 построены на базе программируемых логических интегральных схем.

[1] С.А. Куликов, В.И. Приходько «Новое поколение систем сбора и накопления данных комплекса спектрометров реактора ИБР-2», Физика элементарных частиц и атомного ядра 2016, Т.47, вып. 4.

Шидловский Д.С.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

Взрывы сверхновых звёзд -- одни из самых ярких событий во Вселенной, светимость которых сравнима со светимостью целой галактики. Их изучение привлекает большое внимание астрофизиков, так как они, например, являются основным источником тяжелых элементов и космических лучей. Также сверхновые активно используются для измерения расстояний, поскольку могут быть видны на очень большой дистанции от нас. В последнее время среди сверхновых стали отдельно выделять новый класс сверхмощных сверхновых, имеющих светимость минимум на порядок большую, чем рядовые сверхновые. Согласно одному из сценариев, большая светимость сверхмощных сверхновых может быть объяснена взаимодействием ударной волны с плотной околозвездной оболочкой, в результате которого образуется плотный слой вещества, эффективно высвечивающий свою кинетическую энергию.

Одним из ключевых элементов при моделировании сверхновых, помимо решения уравнений гидродинамики, является расчёт переноса излучения. В данной работе рассматривается метод для расчёта переноса излучения на основе метода сферических гармоник и дискретных ординат (SHDOM). Этот метод, работающий непосредственно с уравнением переноса для интенсивности излучения, рассматривается в качестве альтернативы методу M1-приближения как более точный. Настоящая работа посвящена развитию вышеупомянутого метода, объединению с гидродинамикой и применению его для радиационно-гидродинамического моделирования сверхмощных сверхновых.

Теория Хорндески в Ньютоновой калибровке

Штенникова А.М.^{1,2}

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

² *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

Мы показываем, что правильный выбор калибровки является критическим при анализе устойчивости несингулярных космологических решений с отскоком, основанных на теориях Хорндески. Мы показываем в Ньютоновой калибровке, что для теорий Хорндески в общем случае γ -кроссинг не является патологической сингулярностью, что позволяет построить космологическое устойчивое несингулярное решение с отскоком.

Шутов А.С.¹, Никитин А.А.¹, Лукьянчук А.А.¹, Разницын О.А.¹, Рогожкин С.В.¹

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ «Курчатовский институт»*

С середины 2000х в НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ проводятся атомно-зондовые исследования. Каждое такое исследование можно разделить на 2 этапа: первый этап – сбор данных при помощи атомно-зондового томографа, а второй – последующий анализ полученных данных. Данные, которые необходимо анализировать представляют собой «атомные карты», которые, в свою очередь, являются трехмерными распределениями химических элементов внутри исследуемого образца. Особый интерес в таких распределениях представляют различные структурно-фазовые неоднородности. Наличие подобных особенностей, их размер и плотность в материале, может существенно сказаться на его физико-механических характеристиках. Таким образом, поиск и характеристика данных объектов в исследуемом образце является одной из основных задач атомно-зондового анализа.

Поиск и характеристика структурно фазовых особенностей выполняется при помощи средств ЭВМ в специализированном программном обеспечении. В НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ для решения таких задач используется программное обеспечение КВАНТМ-3D [1]. Большое количество инструментов, реализованное в данном программном обеспечении, позволяет найти нужные средства для изучения искомого объекта разного размера и форм. Для малых (менее 10 нм.) частиц, таких как кластеры, обычно рекомендуется использовать специальный инструмент поиска кластеров, основанный на алгоритме максимального разделения (Maximal separation) [2]. Однако, при поиске объектов меньшего размера (менее 2 нм.) данный инструмент не может проявить всей своей эффективности. В таких случаях, для характеристики исследуемого объема используются интегральные методы анализа, такие как парно-корреляционный анализ [3]. Данный инструмент позволяет оценить степень неоднородности материала, и средний размер частиц, создающих данную неоднородность, когда метод поиска кластеров не может обнаружить данные объекты. Однако, данный инструмент не позволяет производить прямой поиск таких объектов, что в последствии не позволяет получить информацию о концентрациях химических элементов в данных объектах.

В данной работе предложен подход к созданию нового метода анализа исследуемого объема атомно-зондовой томографии совместившего преимущества обоих рассмотренных методик. Также в работе содержатся данные о проведенном тестировании данного метода на модельных данных, и сравнение его функциональных возможностей с методом максимального разделения.

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019612689 Российская Федерация. КВАНТМ-3D V1.0.0 : № 2018661876 : заявл. 03.07.2018 : опублик. 20.09.2018 / А. А. Алеев, С. В.Рогожкин, А. А. Лукьянчук [и др.]

2. Hyde JM, English CA. MRS Proc 2000 // 650 // R6.6.

3. De Geuser F, Lefebvre W, Blavette D. Philos Mag Lett 2006 // 86 //227e34.

Жидков Д.А.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Процесс терапевтического облучения меланомы глаза сопряжён с рисками, требующими наличия технологии блокировки пучка [1] в считанные доли секунды. Регулирование подачи протонного пучка непосредственно на трассе является самым простым решением, однако подобные манипуляции могут исказить равномерное поле облучения и потребовать значительного количества времени на стабилизацию протонного пучка и его калибровки, с вынужденной необходимостью выводить пациента из процедурного помещения. Учитывая специфику онкоофтальмологического облучения, при котором не только медицинские физики, но и сам пациент отвечает за правильность процесса облучения, удерживая взгляд в строго фиксированном положении, возникает риск случайного отвода взгляда и нарушения процесса облучения. Во избежание травмирования здоровых тканей пациента необходимо блокировать пучок мгновенно. При этом не терять исходного подготовленного и верифицированного протонного пучка [2]. При начале облучения также необходимо удостовериться, что параметры пучка строго соответствуют заказанным медицинским персоналом.

Для решения этой задачи предлагается использовать устройство выполняющее роль сверхбыстрой автоматизированной заслонки или шаттера, которое физически перекрывает протонный пучок непосредственно перед пациентом и при этом даёт возможность анализировать состояние протонного пучка установленным на оптической скамье оборудованием [3].

Однако возникают серьёзные опасения того, что при перекрытом пучке, протоны будут создавать вторичные частицы, в частности быстрые нейтроны, способные значительно повысить общую дозу радиационного облучения на пациента, в частности на критические органы, как сетчатка глаза и головной мозг.

В данной работе исследованы две принципиальные схемы устройства блокировки медицинского протонного пучка с использованием заслонки на шаговых двигателях и линейных двигателях, необходимых в рутинной работе онкоофтальмологического центра протонной лучевой терапии. Исследованы различные материалы, используемые для перекрытия протонного пучка, создающие наименьшее количество вторичных частиц и при этом наиболее лёгкие по весу. С помощью метода Монте-Карло в пакете Fluka исследованы различные формы заслонок и принципы перекрытия медицинского протонного пучка для определения наиболее быстрого варианта, не создающего горячих (переобученных) зон в области мишени.

Список литературы

[1] P.Hofverberg, J.-M.Bergerot, R.Trimaud, J.H?rault The development of a treatment control system for a passive scattering proton therapy installation, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1002, 2021

[2] Лебедева Ж.С. Распределения доз для протонной онкоофтальмологии на циклотроне Ц-80, Медицинская физика, 2(2016), 25

[3] Кленов Г.И., Черных А.Н., Стенд для протонной онкоофтальмологии, Медицинская физика, 2(2016), 18

ОГЛАВЛЕНИЕ

Киральный разделительный эффект для спина 3/2. <u>Абрамчук Р.А., Хайдуков З.В.</u>	3
Решение уравнения пентагона в $Uq\ sl(N)$. <u>Алексеев В.А., Слепцов А.В., Шакиров Ш.Р.</u>	4
Петлевые поправки в модели расширяющейся Вселенной. <u>Анемподистов П.А., Ахмедов Э.Т.</u>	5
Неабелева фермионная T-дуальность в супергравитации. <u>Астраханцев Л.Н.</u>	6
Взаимосвязь между уравнением Ландау-Лифшица и полевой системой Калоджеро-Мозера ранга $N \times N$. <u>Аталиков К.Р.</u>	7
Об особенностях квантовых полей в пространствах с горизонтами. <u>Базаров К.В.</u>	8
Цветные полиномы ХОМФЛИ при параметре квантования, являющемся корнем из единицы. <u>Бишлер Л.В.</u>	9
Влияние облучения тяжелыми ионами на оксидные включения в сталях Eurofer ODS и ODS 13,5Cr-0,3Ti. <u>Богачев А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А.</u>	10
Измерение мощности излучения плазмы с помощью калориметрического детектора. <u>Богданов А.В., Хурчиев А.О., Гаврилин Р.О., Панюшкин В.А., Канцырев А.В.</u>	11
Рентгеновский микроскоп с высоким пространственным разрешением (> 2 мкм) и временным разрешением 1 нс. <u>Бодягин С.Ю., Грабовский Е.В., Грибов А.Н., Шишлов А.О., Митрофанов К.Н.</u>	12
Исследование линейности отклика фотоэлектронных умножителей детектора ДАНСС. <u>Бородулина Д.А.</u>	13
Разработка инструмента идентификации кристаллографических плоскостей образцов в АЗТ-данных с использованием быстрого преобразования Фурье. <u>Бутов Н.А., Руцкой Б.В., Шутов А.С., Рогожкин С.В.</u>	14
Исследование влияния комбинаторного фона на спектры регистрации состояний хсJ в эксперименте ALICE на БАК. <u>Варламов А.М.</u>	15
Экспериментальная установка по исследованию фоторождения лептонов при низких энергиях. <u>Варфоломеева Е.А.</u>	16
Поиск тяжёлых бозонных резонансов в канале распада $R \rightarrow WW \rightarrow e\bar{\nu}e/\mu\bar{\nu}\mu$ в эксперименте ATLAS на LHC. <u>Гаврилюк А.А., Рамакоти Е.Н., Цукерман И.И.</u>	17
Разработка улучшенных методов реконструкции η -мезонов в эксперименте ALICE. <u>Голубева М.С., Блау Д.С.</u>	18
Оценка чувствительности эксперимента NA62 (ЦЕРН) к поиску тяжёлых нейтрино в распадах заряженных пионов. <u>Горшанов К.Ю.</u>	19
В поисках обобщенной 11-мерной супергравитации. <u>Губарев К.А.</u>	20
Результаты теста прототипа нейтринного детектора SuperFGD на пучке заряженных частиц в CERN. <u>Дергачева А.Е., Хотянцева А.Н.</u>	21
Анализ атмосферных мюонов в детекторе NupurKamiokande. <u>Долгов А.А.</u>	22
Оценка сокращения количества ошибок при использовании языка CDTL. Контекстный анализ. <u>Доренская Е.А.</u>	23
Монодромия плоских связностей. <u>Доценко Е.И.</u>	24
Эффективное действие для массивного скалярного поля в пространстве Риндлера и де Ситтера при произвольной температуре. <u>Дьяконов Д.В.</u>	25
Изучение распадов B_{c+} мезонов с чармонием и тремя легкими адронами в конечном состоянии в эксперименте LHCb. <u>Егорычев А.В.</u>	26
Исследование спектросмещающих пластин для внешнего детектора Гипер-Камиоканде. <u>Ерофеев Г.С., Строе Я.Л., Куденко Ю.Г., Минеев О.В.</u>	27
Связь между операторами разрезания-склейки и операторами Казимира. <u>Жабин А.А., Миронов А.Д., Морозов А.Ю.</u>	28
Прототип нейтронного детектора для эксперимента VM@N. <u>Жигарева Н.М., Ставинский А.В., Алексеев П.Н.</u>	29

Использование позитронной аннигиляционной спектроскопии в качестве метода быстрой диагностики канцерогенов. <u>Земская Л.И., Степанов С.В., Бяков В.М., Фенин А.А., Иванова М.П.</u>	30
Динамика пучка ионов гелия для имитационных экспериментов в ИТЭФ. <u>Зиятдинова А.В.</u>	31
Позитронная диагностика канцерогенов: пробоподготовка исходных реагентов. <u>Иванова М.П., Степанов С.В., Бяков В.М., Фенин А.А., Земская Л.И.</u>	32
Динамическая модель образования неравновесного химического состава в оболочках одиночных нейтронных звёзд. <u>Игнатовский А.Ю.</u>	33
Перестройка мирокструктуры сталей ЧС-139 и ЭК-181 при облучении ионами Fe до дозы 30 сна. <u>Искандаров Н.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А., Лукьянчук А.А., Федин П.А.</u>	34
Исследование мюонного захвата в различных ядрах. Технические аспекты. <u>Казарцев С.В., Белов В.В., Гусев К.Н., Житников И.В., Зинатулина Д.Р., Румянцева Н.С., Шевчик Е.А., Ширченко М.В., Шитов Ю.А., Фомина М.В.</u>	35
Тестовые измерения в совпадении нейтронов и заряженных частиц в реакции $n+{}^6\text{Li}$ на нейтронном канале РАДЭКС ИЯИ РАН. <u>Каспаров А.А., Мордовской М.В., Афонин А.А., Мищук В.В.</u>	36
Первое наблюдение параметрического рентгеновского излучения в нанодисперсных порошках. <u>Киданова Е.Ю., Алексеев В.И., Елисеев А.Н., Кищин И.А., Кубанкин А.С., Клюев А.С.</u>	37
Моделирование аксиально-симметричной электромагнитной линзы для транспортировки пучка легких ионов. <u>Кильметова И.В., Кулевой Т. В., Стасевич Ю.Б., Федин П.А., Прянишников К.Е.</u>	38
Влияние облучения ионами железа на наноструктуру дисперсно-упрочнённой оксидами стали 10Cr ODS. <u>Клауз А.В., Хомич А.А., Залужный А.Г., Рогожкин С.В.</u>	39
NEST: мощный инструмент для моделирования низкоэнергетических процессов в благородных газах. <u>Козлова Е.С.</u>	40
Арборесцентные узлы с петлями и топологические квантовые вычисления. <u>Колганов Н.М.</u>	41
Реконструкция спектров рентгеновского излучения, зарегистрированных дифракционным спектральным прибором. <u>Колесников Д.С., Скобляков А.В., Канцырев А.В.</u>	42
Компактный детектор тяжелых заряженных частиц на основе селенида цинка. <u>Кондрашов А.А., Чепурнов А.С.</u>	43
Параметры роста фототрофных культур <i>Arthrospira platensis</i> , <i>Leptolyngbya tenuis</i> , <i>Stichococcus bacillaris</i> после облучения протонами. <u>Коннычев М.А., Краевский С.В., Лямкин П.В., Рогожкин С.В.</u>	44
Двухфазный эмиссионный детектор РЭД-100: одноэлектронные шумы. <u>Коновалов А.М.</u>	45
Аналитические приближения функции распределения нейтрино в сверхновых и их проверка. <u>Коптяева Е.А.</u>	46
Применение методов машинного обучения для проверки адронных моделей пакета Geant4. <u>Корпачев С.С.</u>	47
Учёт раскрутки массивной НЗ в модели обдирания для коротких гамма-всплесков. <u>Крамарев Н.И.</u>	48
Параметрический резонанс в системах связанных маятников: мотор Капицы. <u>Красюков Г.А., Павловский О.В.</u>	49
Квантово-механическое исследование химических реакций нитрилов с метиновым радикалом в космосе. <u>Крикунова Л.И., Николаев А.А., Порфирьев Д.П., Мебель А.М.</u>	50
Разработка семантической сети таско-секции транслятора для оперирования с объектами описаний и создания исполняемого кода на основе PDL-описания проблемы. <u>Куликовская А.А.</u>	51
Исследование процессов фрагментации ионов углерода с однократной перезарядкой нуклонов при энергии 300 МэВ/нуклон. <u>Куликовская А.А., Абрамов Б.М., Бульчов С.А., Куликов В.В., Мартемьянов М.А.</u>	52

Восстановление нейтральных пионов в калориметре PHOS методом наложенных кластеров. <i>Кусков В.А., Блауд С., Пересунько Д.Ю.</i>	53
Групповые свойства квантовых инвариантов узлов. <i>Ланина Е.Н., Слепцов А.В., Целоусов Н.С.</i>	54
Лазерно-плазменный источник ионов для полупроводниковых применений. <i>Лосев А.А., Сатов Ю.А., Шумиуров А.В., Хрисанов И.А., Алексеев П.Н.</i>	55
Создание дальнедействующей запутанности в одномерной квантовой модели Поттса с тремя состояниями. <i>Лотков А.И.</i>	56
Разработка системы автоматизации для установок атомно-зондовой томографии. <i>Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Разницын О.А., Алеев А.А., Рогожкин С.В.</i>	57
Прямые измерения космических лучей (ТэВ и выше): улучшение возможностей тонкого калориметра. <i>Майоров А.Г., Федосимова А.И.</i>	58
Разработка компактного спектрометра ионизирующих излучений. <i>Максимова Н.Е., Чепурнов А.С.</i>	59
Магнитные элементы канала транспортировки второй линии ускорителя ТИПр. <i>Мальшев А.А., Федин П.А., Куйбида Р.П., Кулевой Т.В., Зиятдинова А.В.</i>	60
Поиск Кабиббо-подавленных распадов прелестного бариона в эксперименте LHCb. <i>Матюнин В.И.</i>	61
Суперинтегрируемость и W-представление матричных моделей. <i>Мишняков В.В., Миронов А.Д., Морозов А.Ю.</i>	62
Развитие способа определения теплоемкости графена методом гибридного Монте-Карло. <i>Мостовой С.Д., Павловский О.В.</i>	63
Разделение сигналов от нейтронов и от радиационного фона в эксперименте ДАНСС с помощью машинного обучения. <i>Мухамеджарова Д.А.</i>	64
События с большими быстротными провалами в протон-ядерных столкновениях при энергии 8 ТэВ. <i>Насыбулин С.А., Соснов Д.Е.</i>	65
Квантово-механическое исследование механизмов химических реакций изомеров C ₄ H ₆ с метиновым радикалом. <i>Николаев А.А., Аязов В.Н., Мебель А.М.</i>	66
Обнаружение новых резонансов в системе $J/\psi K^+$ и $J/\psi \phi$ мезонов в эксперименте LHCb. <i>Овсянникова Т.А.</i>	67
Возможности генерации моноэнергетических электронов при помощи пирозлектрического эффекта в монокристаллах танталата лития. <i>Олейник А.О.</i>	68
Развитие информационных технологий в лучевой терапии. <i>Орлов Д.Г., Карпунин В.О.</i>	69
Разработка приборов на основе постоянных магнитов для корпускулярной диагностики импульсной плазмы. <i>Панюшкин В.А., Канцырев А.В., Хурчиев А.О., Богданов А.В.</i>	70
Доработка конструкции криостата для криогенной корпускулярной капельной мишени. <i>Панюшкина А.Н., Герасимов А.С., Чернецкий В.Д., Панюшкин В.А., Федорец П.В.</i>	71
Ограничение на темп затухания магнитных полей одиночных радиопульсаров из минимальных предположений. <i>Переверзев Г.А., Бирюков А.В.</i>	72
Киральный вихревой эффект для спина 3/2. <i>Прохоров Г.Ю.</i>	73
Подготовка к имитационным облучательным экспериментам на тяжелоионном ускорителе ТИПр. <i>Прянишников К.Е., Федин П.А., Куйбида Р.П., Козлов А.В., Кулевой Т.В.</i>	74
Перенос излучения в сильно замагниченной плазме. <i>Пухов Т.А., Румянцев Д.А.</i>	75
Установка и апробация пикосекундного модуля лазерного испарения и DLD детектора на атомно-зондовом томографе ЕСОТАР. <i>Разницын О.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Бутов Н.А., Рогожкин С.В.</i>	76
Моделирование отклика детектора РЭД-100. <i>Разуваева О.Е.</i>	77
Изучение рождения бозона Хиггса в механизме слияния векторных бозонов в канале $H \rightarrow WW^* \rightarrow e\nu e\nu/\mu\nu\mu$ при 13 ТэВ в эксперименте АТЛАС. <i>Рамакоти Е.Н., Цукерман И.И., Гаврилюк А.А.</i>	78

Разработка фантомов для оценки качества систем ОФЭКТ с малым полем зрения. <u>Рожков В.А., Жемчугов А.С.</u>	79
Подбор схемы точного определение атомных координат в атомно-зондовой томографии. <u>Руцкой Б.В.</u>	80
Обобщение двумерной гравитации А.М. Полякова со вставкой нетривиальной матрицы плотности. <u>Садеков Д.И.</u>	81
Исследование вариации потока космических мюонов под действием метеорологических эффектов с помощью детектора DANSS. <u>Самигуллин Э.И.</u>	82
Построение опытного образца дистанционно управляемых источников тока для квадрупольных магнитных линз во втором канале ускорителя ТИПр-1. <u>Санжаров Р.А., Федин П.А., Зиятдинова А.В., Козлов А.В., Кулевой Т.В.</u>	83
Квадратичные алгебры, построенные по $SL(NM)$ эллиптическим квантовым R-матрицам. <u>Сечин И.А.</u>	84
Моделирование времяпролетных характеристик электромагнитного калориметра MPD/NICA ECal. <u>Скобляков А.В., Куликов В.В., Бульчев С.А., Мартемьянов М.А., Мацук М.А.</u>	85
Поиски стерильного нейтрино в эксперименте DANSS. <u>Скробова Н.А.</u>	86
Система управления детектором FT0 в эксперименте ALICE. <u>Суханов М.А., Вознюк Н.О., Каравичева Т.Л., Курепин А.Н.</u>	87
Создание токового усилителя для SiPM SENLS $3 \times 3 \text{ мм}^2$ для нейтронного детектора. <u>Тазр Г.С., Ставинский А.В., Мартемьянов А.Н.</u>	88
Корреляционный функции $N=4$ SYM на кулоновской ветви. <u>Терзиев Н.О., Зарембо К.Л., Мишняков В.В.</u>	89
Начальное распределение магнитных углов классических радиопульсаров. <u>Токарева Е.А., Бирюков А.В.</u>	90
Особенности микролинзирования модели кластеризованных черных дыр. <u>Тощенко К.А.</u>	91
Нелинейный динамический эффект Казимира при малых отклонениях от стационарности. <u>Трунин Д.А.</u>	92
Многополюсная релятивистская деформация взаимодействующих интегрируемых волчков. <u>Трунина Е.С.</u>	93
Моделирование болометрических кривых блеска сверхновой SN2009ip. <u>Урвачев Е.М.</u>	94
Имитационные исследования радиационных повреждений конструкционных материалов с использованием ионных пучков. <u>Федин П.А., Прянишников К.Е., Зиятдинова А.В., Козлов А.В., Кулевой Т.В.</u>	95
Формирование канала LEVT тяжелоионного ускорителя ЛУ2. <u>Хабибуллина Е.Р., Кропачёв Г.Н., Скачков В.С., Кулевой Т.В.</u>	96
Эффект разделения киральностей для фермионов со спином $3/2$. <u>Хайдуков З.В., Абрамчук Р.А.</u>	97
Поведение глюонной аномалии в различных кинематических областях. <u>Хлебцов С.П., Оганесян А.Г.</u>	98
Исследование изменения наноструктуры дисперсно-упрочненных оксидами сталей под воздействием облучения ионами железа. <u>Хомич А.А.</u>	99
Формирование пространственных характеристик лазерного пучка задающего генератора в многопроходовом усилителе. <u>Хрисанов И.А., Сатов Ю.А., Рерих В.К., Балабаев А.Н., Лосев А.А.</u>	100
Применение пленочных детекторов Image Plate в корпускулярной диагностике плазмы. <u>Хурчиев А.О., Скобляков А.В., Панюшкин В.А., Гаврилин Р.О., Канцырев А.В.</u>	101
Групповая структура цветных полиномов HOMFLY. <u>Ланина Е.Н., Слепцов А.В., Целоусов Н.С.</u>	102
Поиск лёгких частиц тёмной материи в проекте DarkSide. <u>Чащин С.М.</u>	103

Исследование параметров сцинтилляционных элементов высокосегментированного детектора SuperFGD для эксперимента Т2К. <i>Куденко Ю.Г., Федорова Д.В., Федотов С.А., Чирова А.А.</i>	104
Научно образовательный медицинский центр ядерной медицины в НИЦ "Курчатовский институт". <i>Максимов В.И., Иванов Е.М., Гранин Д.И., Булатов М.С., Кленов Г.И., Хорошков В.С., Черных А.Н.</i>	105
Моделирование взаимодействий мюонов, протонов и пионов в высокосегментированном детекторе SuperFGD. <i>Шварцман А.С.</i>	106
Обзор систем сбора и накопления данных на спектрометрах реактора ИБР-2. <i>Швецов В.В., Богдзель А.А., Дроздов В.А., Мурашкевич С.М., Приходько В.И.</i>	107
Развитие методов расчёта переноса излучения для моделирования сверхновых. <i>Шидловский Д.С.</i>	108
Теория Хорндески в Ньютоновой калибровке. <i>Штенникова А.М.</i>	109
Разработка инструмента поиска кластеров методом парно-корреляционного анализа. <i>Шутов А.С., Никитин А.А., Лукьянчук А.А., Разницын О.А., Рогожкин С.В.</i>	110
Оптимизация метода прекращения доставки дозы при протонной лучевой терапии.. <i>Жидков Д.А.</i>	111

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Абрамов Б.М.</i>	52
<i>Абрамчук Р.А.</i>	3, 97
<i>Аяззов В.Н.</i>	66
<i>Алеев А.А.</i>	57
<i>Алексеев В.А.</i>	4
<i>Алексеев В.И.</i>	37
<i>Алексеев П.Н.</i>	29, 55
<i>Анемподистов П.А.</i>	5
<i>Астраханцев Л.Н.</i>	6
<i>Аталиков К.Р.</i>	7
<i>Афонин А.А.</i>	36
<i>Ахмедов Э.Т.</i>	5
<i>Базаров К.В.</i>	8
<i>Балабаев А.Н.</i>	100
<i>Белов В.В.</i>	35
<i>Бирюков А.В.</i>	72, 90
<i>Бишилер Л.В.</i>	9
<i>Блау Д.С.</i>	18, 53
<i>Богачев А.А.</i>	10
<i>Богданов А.В.</i>	11
<i>Богданов А.В.</i>	70
<i>Богдзель А.А.</i>	107
<i>Бодягин С.Ю.</i>	12
<i>Бородулина Д.А.</i>	13
<i>Булатов М.С.</i>	105
<i>Бульчев С.А.</i>	85
<i>Бульчов С.А.</i>	52
<i>Бутов Н.А.</i>	14, 76
<i>Бяков В.М.</i>	32
<i>Бяков В.М.</i>	30
<i>Варламов А.М.</i>	15
<i>Варфоломеева Е.А.</i>	16
<i>Вознюк Н.О.</i>	87
<i>Гаврилин Р.О.</i>	11, 101
<i>Гаврилюк А.А.</i>	17, 78
<i>Герасимов А.С.</i>	71
<i>Голубева М.С.</i>	18
<i>Горшанов К.Ю.</i>	19
<i>Грабовский Е.В.</i>	12
<i>Гранин Д.И.</i>	105
<i>Грибов А.Н.</i>	12
<i>Губарев К.А.</i>	20
<i>Гусев К.Н.</i>	35
<i>Дергачева А.Е.</i>	21

Долгов А.А.	22
Доренская Е.А.	23
Доценко Е.И.	24
Дроздов В.А.	107
Дьяконов Д.В.	25
Егорычев А.В.	26
Елисеев А.Н.	37
Ерофеев Г.С.	27
Жабин А.А.	28
Жемчугов А.С.	79
Жигарева Н.М.	29
Жидков Д.А.	111
Житников И.В.	35
Залужный А.Г.	39
Зарембо К.Л.	89
Земская Л.И.	30, 32
Зинатулина Д.Р.	35
Зиятдинова А.В.	31, 60, 83, 95
Иванов Е.М.	105
Иванова М.П.	30, 32
Игнатовский А.Ю.	33
Искандаров Н.А.	34
Казарцев С.В.	35
Канцырев А.В.	11, 42, 70, 101
Каравичева Т.Л.	87
Карпунин В.О.	69
Каспаров А.А.	36
Киданова Е.Ю.	37
Кильметова И.В.	38
Кицин И.А.	37
Клауз А.В.	39
Кленов Г.И.	105
Клюев А.С.	37
Козлов А.В.	74, 83, 95
Козлова Е.С.	40
Колганов Н.М.	41
Колесников Д.С.	42
Кондрашов А.А.	43
Коннычев М.А.	44
Коновалов А.М.	45
Коптяева Е.А.	46
Корпачев С.С.	47
Краевский С.В.	44
Крамарев Н.И.	48
Красюков Г.А.	49

<i>Крикунова Л.И.</i>	50
<i>Кропачёв Г.Н.</i>	96
<i>Кубанкин А.С.</i>	37
<i>Куденко Ю.Г.</i>	27, 104
<i>Куйбида Р.П.</i>	60, 74
<i>Кулевой Т.В.</i>	38
<i>Кулевой Т.В.</i>	60, 74, 83, 95, 96
<i>Куликов В.В.</i>	52, 85
<i>Куликовская А.А.</i>	51, 52
<i>Курепин А.Н.</i>	87
<i>Кусков В.А.</i>	53
<i>Ланина Е.Н.</i>	54, 102
<i>Лосев А.А.</i>	55, 100
<i>Лотков А.И.</i>	56
<i>Лукьянчук А.А.</i>	34, 57, 76, 110
<i>Лямкин П.В.</i>	44
<i>Майоров А.Г.</i>	58
<i>Максимов В.И.</i>	105
<i>Максимова Н.Е.</i>	59
<i>Мальшев А.А.</i>	60
<i>Мартемьянов А.Н.</i>	88
<i>Мартемьянов М.А.</i>	52, 85
<i>Матюнин В.И.</i>	61
<i>Мацук М.А.</i>	85
<i>Мебель А.М.</i>	50, 66
<i>Минеев О.В.</i>	27
<i>Миронов А.Д.</i>	28, 62
<i>Митрофанов К.Н.</i>	12
<i>Мицук В.В.</i>	36
<i>Мишняков В.В.</i>	62
<i>Мишняков В.В.</i>	89
<i>Мордовской М.В.</i>	36
<i>Морозов А.Ю.</i>	28, 62
<i>Мостовой С.Д.</i>	63
<i>Мурашкевич С.М.</i>	107
<i>Мухамеджарова Д.А.</i>	64
<i>Насыбулин С.А.</i>	65
<i>Никитин А.А.</i>	10, 34, 110
<i>Николаев А.А.</i>	50, 66
<i>Овсянникова Т.А.</i>	67
<i>Оганесян А.Г.</i>	98
<i>Олейник А.О.</i>	68
<i>Орлов Д.Г.</i>	69
<i>Павловский О.В.</i>	49, 63
<i>Панюшкин В.А.</i>	11, 70, 71, 101

<i>Панюшкина А.Н.</i>	71
<i>Переверзев Г.А.</i>	72
<i>Пересунько Д.Ю.</i>	53
<i>Порфирьев Д.П.</i>	50
<i>Приходько В.И.</i>	107
<i>Прохоров Г.Ю.</i>	73
<i>Прянишников К.Е.</i>	38, 74, 95
<i>Пухов Т.А.</i>	75
<i>Разницын О.А.</i>	57, 76, 110
<i>Разуваева О.Е.</i>	77
<i>Рамакоти Е.Н.</i>	17, 78
<i>Рерих В.К.</i>	100
<i>Рогожкин С.В.</i>	10, 14, 34, 39, 44, 57, 76, 110
<i>Рожков В.А.</i>	79
<i>Румянцев Д.А.</i>	75
<i>Румянцева Н.С.</i>	35
<i>Руцкой Б.В.</i>	14, 80
<i>Садеков Д.И.</i>	81
<i>Самигуллин Э.И.</i>	82
<i>Санжаров Р.А.</i>	83
<i>Сатов Ю.А.</i>	55, 100
<i>Сечин И.А.</i>	84
<i>Скачков В.С.</i>	96
<i>Скобляков А.В.</i>	42, 85, 101
<i>Скробова Н.А.</i>	86
<i>Слепцов А.В.</i>	4, 54, 102
<i>Соснов Д.Е.</i>	65
<i>Ставинский А.В.</i>	29, 88
<i>Стасевич Ю.Б.</i>	38
<i>Степанов С.В.</i>	30, 32
<i>Строке Я.Л.</i>	27
<i>Суханов М.А.</i>	87
<i>Таэр Г.С.</i>	88
<i>Терзиев Н.О.</i>	89
<i>Токарева Е.А.</i>	90
<i>Тощенко К.А.</i>	91
<i>Трунин Д.А.</i>	92
<i>Трунина Е.С.</i>	93
<i>Урвачев Е.М.</i>	94
<i>Федин П.А.</i>	34, 38, 60, 74, 83, 95
<i>Федорец П.В.</i>	71
<i>Федорова Д.В.</i>	104
<i>Федосимова А.И.</i>	58
<i>Федотов С.А.</i>	104
<i>Фенин А.А.</i>	30, 32

Фомина М.В.	35
Хабибуллина Е.Р.	96
Хайдуков З.В.	97
Хайдуков З.В.	3
Хлебцов С.П.	98
Хомич А.А.	39, 99
Хорошков В.С.	105
Хотянцев А.Н.	21
Хрисанов И.А.	55, 100
Хурчиев А.О.	11, 70, 101
Целоусов Н.С.	54, 102
Цукерман И.И.	17, 78
Чашин С.М.	103
Чвирова А.А.	104
Чепурнов А.С.	43, 59
Чернецкий В.Д.	71
Черных А.Н.	105
Шакиров Ш.Р.	4
Шварцман А.С.	106
Швецов В.В.	107
Шевчик Е.А.	35
Шидловский Д.С.	108
Ширченко М.В.	35
Шитов Ю.А.	35
Шишилов А.О.	12
Штенникова А.М.	109
Шумиуров А.В.	55
Шутов А.С.	14, 57, 76, 110