



МКТЭФ-2020
МКЛЭФ-5050

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

**СБОРНИК АННОТАЦИЙ ДОКЛАДОВ
ТОМ 1**

**МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ
МКТЭФ-2020**

При поддержке РФФИ, проект №20-02-22033

16-19 ноября 2020 г.



Москва, 2020 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/>

Влияние магнитного поля на скорость звука в кварк-глюонной плазме

Абрамчук Р.А.¹, Хайдуков Э.В.¹

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

С помощью Метода Корреляторов Полей вычислена скорость звука в кварк-глюонной плазме ($n_f = 2 + 1$ КХД) в присутствии внешнего однородного магнитного поля. $eB < 1 \text{ GeV}^2$.

Обнаружено, что скорость звука превышает конформный предел $c_s^2 = 1/3$ при больших полях $eB > 0.5 \text{ GeV}^2$. В пределе больших температур скорость звука стремится к конформному пределу.

Однако, в любом существующем эксперименте, включая столкновения Pb-Pb $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$ на ЛНС, зависимостью скорости звука от магнитного поля можно пренебречь.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-12-10414

Оценка возможностей измерения фотонов и нейтральных мезонов с помощью модернизированного спектрометра ФОС эксперимента ALICE

Аверьянов Д.А.¹, Блау Д.С.¹
¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Эксперимент ALICE [1] является одним из четырех основных экспериментов на Большом адронном коллайдере (БАК) в ЦЕРНе. Он оптимизирован для изучения свойств горячей кварк-глюонной плазмы, получаемой в ультрарелятивистских столкновениях тяжелых ионов. Один из электромагнитных калориметров ALICE, Фотонный Спектрометр (ФОС) [2], предназначен для измерения прямых фотонов и спектров нейтральных мезонов.

ФОС - это высокогранулярный электромагнитный калориметр, который измеряет спектры фотонов с энергиями от десятков МэВ до 100 ГэВ. ФОС состоит из четырех модулей, расположенных в нижней части детектора ALICE на радиальном расстоянии 460 см от точки взаимодействия. Он покрывает примерно четверть единицы по псевдобыстроте $\eta = 0.125$ и азимутальный угол $\Delta\phi = 70^\circ$ (от $\phi_1 = 250^\circ$ до $\phi_2 = 320^\circ$). Три модуля ФОС состоят из 3584 элементов, расположенных в 56 рядов по 64 элемента в каждом, а четвертый модуль имеет 56 рядов по 32 элемента. Каждый элемент изготовлен из кристалла $PbWO_4$ размером $22 \times 22 \times 180$ мм³ и фотодетектора APD размером 5×5 мм². В настоящее время рассматривается возможность увеличить рабочую площадь ФОСа за счет использования кристаллов $PbWO_4$ эксперимента CMS. Кристаллы CMS имеют проекционную геометрию в узком торце 28×28 мм², в широком 30×30 мм². Так, можно увеличить рабочую поверхность, изменив диапазон по псевдобыстроте (до значения $\eta = 0,385$), сохраняя неизменным азимутальный угол, или азимутальному углу (до $\Delta\phi = 210^\circ$), оставляя прежней псевдобыстроту. Также рассматривалась возможность раздвижения модулей детектора на угол $\Delta\phi = 30^\circ$ между 1-2 и 3-4 модулями без добавления дополнительных кристаллов.

Моделирование процессов столкновения протонов при энергии 13 ТэВ проводилось при помощи программы PYTHIA [3] методом Монте-Карло.

Из полученных результатов моделирования можно утверждать, что для проведения измерений в области низких p_T наиболее оптимальным является увеличение азимутального угла ϕ , поскольку появляется возможность исследовать область p_T вплоть до 25 МэВ. Это позволяет провести измерения прямых фотонов в области очень низких энергий (десятки МэВ), а также, возможно, проверить теорему Лоу [4] для мягких фотонов, а также исследовать новую область КХД в непertурбативном режиме. При этом также значительно увеличивается доступный диапазон для измерения η -мезона (до 50 МэВ). Описанную выше модернизацию можно провести к 2031 году (Run 5). При раздвижении модулей детектора также становится возможным рассматривать область низких p_T (для π^0 - до 120 МэВ). Однако, в области $p_T = 300$ МэВ - 1.5 ГэВ (1.3 ГэВ - 3 ГэВ для η -мезонов) эффективность заметно падает (примерно на 40%). Данные изменения можно осуществить к 2027 году (Run 4).

Литература

- [1] Aamodt K. [et al.] "The ALICE experiment at the CERN LHC" // JINST 3 (2008) S08002
- [2] Dellacasa G. [et al.] "ALICE technical design report of PHOS" // CERN-LHCC-99-04.
- [3] Sjostrand T. [et al.] " An Introduction to PYTHIA 8.2" // Computer Physics Communications 191 (2015) p.159-177
- [4] Low F., "Bremsstrahlung of very low-energy quanta in elementary particle collisions", Phys. Rev. 110 (1958), p. 974-977

Поиск электрического дипольного момента дейтрона с использованием накопительного кольца

Аксентьев А.Е.^{1,2}

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Одной из альтернатив Стандартной Модели (СМ) элементарных частиц являются теории суперсимметрии; Электрический Дипольный Момент (ЭДМ) элементарных частиц может служить отличным инструментом для подтверждения валидности одной из этих моделей. К примеру: в случае нейтрона, ЭДМ, совместный с СМ, находится в диапазоне 10^{-33} до 10^{-30} е·см, в то время как теории суперсимметрии предсказывают наличие ЭДМ гораздо большей величины — на уровне 10^{-29} — 10^{-24} е·см.

Эксперименты по поиску ЭДМ проводятся больше 50-ти лет, однако большинство из них — на зарядово-нейтральных частицах (нейтрон, атомы). ЭДМ заряженных частиц (протон, дейтрон) можно измерить в накопительном кольце, используя феномен прецессии поляризации пучка в электромагнитном поле.

Накопительное кольцо обладает рядом преимуществ при его использовании в качестве инструмента для измерения ЭДМ; однако существует также и ряд проблем. В данной работе рассматриваются основные подходы к решению этих проблем: BNL, Spin Wheel, Frequency Domain методы.

6-j символы без кратностей: соответствия, симметрии, асимптотики.

Алексеев В.А.^{1,2}, Слепцов А.В.^{1,2}, Морозов А.А.^{1,2}

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

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

В [arXiv/1302.5143] было предложено замкнутое выражение для квантовых 6-j символов без кратностей (MFS) в случае четырёх симметрических представлений $U_q(sl_N)$, что является простейшим случаем представлений без кратностей. В настоящей работе мы выразили MFS как q-гипергеометрический ряд ${}_4\Phi_3$. Мы утверждаем, что любой MFS можно записать как обыкновенный 6-j символ над $U_q(sl_2)$, умноженный на определённый множитель. Это предоставляет универсальный инструмент для продолжения различных свойств квантовых 6-j символов над $U_q(sl_2)$ на случай MFS. Мы иллюстрируем эту идею, выводя асимптотику MFS в терминах ассоциированного тетраэдра для классической алгебры $U(sl_N)$.

Затем мы изучаем симметрии MFS используя такие гипергеометрические тождества как перестановки аргументов и преобразование Сирза. Мы описываем группу симметрий MFS. В результате мы получаем новые симметрии, которые выступают обобщениями симметрий тетраэдра и Редже для $N = 2$.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-01-00680

Идентификация лёгких ядер в космических лучах в эксперименте PAMELA по многократным измерениям потерь энергии вдоль трека.

Алексеев В.В.¹

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

В докладе рассматривается метод идентификации лёгких ядер в космических лучах по данным измерений спектрометром PAMELA магнитной жёсткости и потерь энергии частиц вдоль трека во время-пролётной и трековой системах. Проводится разделение ядер от водорода до углерода включительно при помощи анализа распределений энерговывделений в плоскостях детекторов, обусловленных их флуктуациями. Кроме классических методов разделения частиц реализован подход на основе машинного обучения, приводится сравнение полученных результатов. Также для каждого ядра на основе данных моделирования в Geant4 вычисляется оценка качества идентификации и вероятность ошибки (неверной идентификации). Обсуждается возможность обобщения метода на более тяжёлые ядра.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-02-00951

Комбинаторика универсальных констант иерархии \hbar -КП

Андреев А.В.¹, Жабин А.А.¹, Слепцов А.В.¹, Пополитов А.В.¹

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

Согласно подходу Натансона и Забродина, иерархия \hbar -КП может быть сформулирована в терминах универсальных констант $P_{ij}(s_1, \dots, s_m)$, имеющих простое комбинаторное описание. В данном докладе приведен способ их вычисления и построены две производящие функции, одна из которых позволяет получить произвольное уравнение \hbar -КП в терминах логарифма τ -функции: $F = \hbar^2 \ln(\tau)$. Кроме того, обсуждаются свойства этих констант, и строится матричная модель собственных значений, в которой корреляторы от произведения симметрических полиномов Шура равны $P_{ij}(s_1, \dots, s_m)$. Комбинаторное описание для универсальных констант позволяет обобщить их и матричную модель на случай произвольного количества индексов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №20-01-00644

Дополнительные сингулярности пропагаторов в пространствах с горизонтами

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)*

Были изучены особенности пропагаторов скалярного поля в пространствах с горизонтами - в пространстве-времени Риндлера, де Ситтера и Шварцшильда. Для термального состояния, где температуры левобегущих и правобегущих волн не равны и в общем случае не совпадают с температурой горизонтов соответствующих пространств, было показано, что пропагаторы приобретают дополнительную инфракрасную расходимость на горизонте. Также было изучено влияние этой расходимости на регуляризованный тензор энергии-импульса.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-01-00460

Исследование тока для поля фермионов на фоне внешнего электрического пульса

Анохин А.В.^{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)*

Данная работа содержит во введении вывод Швингера для плотности рождающихся ферми-частиц в единицу времени во внешнем электрическом поле. В основной части работы поставлена задача, приведено решение уравнения Дирака на фоне электрического пульса и произведен выбор мод, удовлетворяющих адамаровому поведению. Далее проведено квантование фермионного поля и произведен вывод выражения для тока в классическом случае в общем виде. После этого для полученных мод были выведены интегральные выражения для тока в случае времени, стремящегося к плюс и минус бесконечности. После проверки полученных интегралов на сходимость проведено их вычисление. В заключении сделано сравнение полученного результата методами Швингера и методом решения уравнения Дирака на фоне внешнего поля и сформулирован вывод о совпадении полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-01-00460

Взаимосвязь между уравнением Ландау-Лифшица и полевой системой Калоджеро-Мозера.

Аталиков К.Р.¹

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

Взаимосвязь между волчком Эйлера-Арнольда и системой Калоджеро-Мозера (система частиц, которые взаимодействуют попарно) является уже известным примером 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 . При этом эквивалентность гамильтонианов для обеих систем сохраняется.

Данная работа посвящена обобщению соответствия между волчком Эйлера-Арнольда и системой Калоджеро-Мозера до соответствия между системой Калоджеро-Мозера (полевой случай) и уравнением Ландау-Лифшица для рационального, тригонометрического и эллиптического случаев. Другими словами, в данной работе рассматривается интегрируемая система (1+1)-теория поля. Отсюда следует, что при переходе от классической механики к теории поля, переменные S , p и q из классической механики заменяются на поля $S(x)$, $p(x)$, $q(x)$, а константа связи становится динамической $\nu(x)$.

В данной работе рассматривается калибровочная эквивалентность между полевым обобщением Калоджеро-Мозера и уравнением Ландау-Лифшица (ЛЛ). А именно, рассматривается вычисление явных замен переменных (компоненты вектора намагниченности ЛЛ). Затем была проверена эквивалентность гамильтонианов и переход из канонической скобки Пуассона в алгебру петель.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-01-00926

Дифференциальное разложение цветных полиномов ХОМФЛИ

Бишлер Л.В.^{1,2}

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

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

Полиномы ХОМФЛИ совпадают с Вильсоновскими средними в трехмерной топологической теории Черна-Саймонса и являются функцией узла, для которого их вычисляют, ранга калибровочной группы и представления R . Оказывается, что зависимость от узла и представления в полиноме можно разделить и представить последний в виде:

$$H_R^K(q, A) = 1 + \sum_{Q \in M_R} Z_R^Q(q, A) F_Q^K(q, A).$$

Это открывает большие перспективы в области вычисления полиномов. Дифференциальное разложение является теоремой для симметрических и антисимметрических представлений, для других типов представлений оно пока является экспериментальным фактом. Поиск коэффициентов Z и F --- сложная задача, которая была решена для симметрических и прямоугольных представлений и представлений вида $[r, 1]$ для узлов с дефектом ноль. Некоторые формулы были обобщены на узлы с дефектом один. В докладе будет произведен обзор основных результатов в этой области.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-51-45010

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 высокоэнергетичных частиц. Одним из перспективных материалов, отвечающих заданным требованиям является дисперсно-упрочненная оксидами (ДУО) сталь. Материалы этого класса имеют сложную гетерогенную структуру, содержащую множество различных наноразмерных упрочняющих включений и их предвыделений, обеспечивающих повышенные эксплуатационные характеристики. Передача энергии от ускоренных частиц вдоль траектории пролета в таких развитых системах носит нетривиальный характер и 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 фокусированных ионных пучков.

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.

Работа выполнена при финансовой поддержке Исследовательского центра ФАИР-Россия.

Исследование линейности отклика фотоэлектронных умножителей детектора ДАНСС.

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.

В работе используются энергии отклика пятидесяти фотоэлектронных умножителей на большое число неизвестных вспышек светодиода, полученных в ходе специального методического измерения на детекторе ДАНСС. Проводится фитирование, в котором энергии вспышек и коэффициенты оптической связи между источником вспышки и фотоэлектронными умножителями считаются свободными параметрами. Тот факт, что оптическая связь для фотоэлектронных умножителей 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.

Квантовая система с полиномиальным потенциалом в фазовом пространстве

Перепелкин Е.Е.^{1,2}, Садовников Б.И.¹, Иноземцева Н.Г.^{1,2}, Бурлаков Е.В.^{1,2}, Садовникова М.Б.¹

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

² *Московский технический университет связи и информатики*

Уравнение Моэля для функции Вигнера было получено в предположении, что потенциальная энергия может быть представлена в виде аналитической функции. С необходимой точностью в некоторой окрестности координаты аналитическая функция потенциала может быть аппроксимирована полиномом некоторой степени. Например, потенциал гармонического осциллятора является полиномом второй степени.

Используя точные выражения для матричных элементов «kernel-operator» в базисе собственных функций гармонического осциллятора в данной работе предлагается эффективный численный алгоритм нахождения функции Вигнера для квантовой системы с полиномиальным потенциалом. В работе показана связь между уравнением Моэля и вторым уравнением Власова с аппроксимацией Власова-Моэля для среднего ускорения потока вероятностей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 18-29-10014.

Исследование возможности регистрации состояний χ_{cJ} ($J = 0, 1, 2$) в эксперименте ALICE на БАК.

Варламов А.М.¹

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

Измерение сечений образования состояний чармония, обладающих различными квантовыми числами и различной энергией связи $c\bar{c}$, в столкновениях протонов и тяжелых ионов при сверхвысоких энергиях Большого Адронного Коллайдера является чувствительным пробником свойств кварк-глюонной материи. Сравнение дифференциальных спектров выходов состояний $1S$ ($J/\psi, \psi'$) и состояний $1P$ ($\chi_{c0}, \chi_{c1}, \chi_{c2}$) в Pb-Pb и pp столкновениях позволяет исследовать механизмы взаимодействия чармония с КХД-материей и сделать выбор между различными теоретическими моделями. Данный доклад посвящен изучению возможности измерения дифференциальных сечений $\chi_{cJ}, J = 0, 1, 2$ в эксперименте ALICE на БАК в моде распада на $J/\psi + \gamma$ с последующим распадом $J/\psi \rightarrow e^+e^-$. Исследования проведены методом моделирования столкновений pp при энергии $\sqrt{s} = 13$ ТэВ при помощи генератора событий с учетом акцептанса и реалистичного отклика детекторов ALICE на частицы конечного состояния. Будут сделаны выводы о возможности статистически обеспеченного измерения спектров χ_{cJ} в данных, набранных экспериментом ALICE во втором сеансе БАК 2015-2018 гг, а также обсуждены перспективы измерений в будущих сеансах БАК с модернизированной установкой ALICE.

Измерение тормозных потерь ионов железа с энергией 100 кэВ/а.е.м. в водородной плазме.

Гаврилин Р.О.¹, Хурчиев А.О.¹, Канцырев А.В.¹, Рудской И.В.¹, Голубев А.А.¹

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

Изучение процессов торможения тяжелых заряженных частиц в плазме относится к фундаментальным проблемам физики плазмы и физики высокой плотности энергии в веществе. В работе представлены результаты экспериментальных исследований энергетических потерь ионов железа (Fe^{+2}) с энергией 100 кэВ/а.е.м в водородной плазме с плотностью свободных электронов до $5.9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Приводится сравнение полученных экспериментальных данных по тормозной способности свободных электронов плазмы с существующими теоретическими моделями. Полученные результаты показывают увеличение тормозной способности плазмы в сравнении с неионизованным водородом до 15 раз.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-02-00967

Поиск тяжелого бозона Хиггса в канале распада $H \rightarrow WW \rightarrow e\nu e\nu/\mu\nu\mu\nu$ на полной статистике 139 фб^{-1} при 13 ТэВ 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 бозона Хиггса в канале распада $H \rightarrow WW \rightarrow e\nu e\nu/\mu\nu\mu\nu$. В анализе использованы 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. Получены ожидаемые верхние пределы на $\sigma_H \times BR(H \rightarrow WW)$ как функция массы тяжёлого бозона Хиггса в пределах от 200 ГэВ до 4 ТэВ для механизмов рождения бозона Хиггса за счёт слияния глюонов и слияния векторных бозонов.

Моделирование характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ

Галикян Н.Г.¹, Юлбарисов Р.Ф.¹, Голубков В.С.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Работа посвящена воспроизведению 27-дневных вариаций потока галактических космических лучей (ГКЛ), наблюдавшихся в эксперименте PAMELA [1], при помощи моделирования распространения ГКЛ в гелиосфере. Построена карта электромагнитного поля в межпланетном пространстве в соответствии с моделями [2], [3] и экспериментальными измерениями, сделанными космическим аппаратом ACE. Создан алгоритм, который численно решает уравнение движения космических лучей в этом поле и восстанавливает их траекторию. Генерируются заряженные частицы на границе гелиосферы и осуществляется их трассировка с использованием разобранного алгоритма. Начальные характеристики частиц таковы, что формируется их изотропное и однородное распределение.

В результате расчетов получены временные зависимости потока космических лучей для нескольких энергий в околоземном пространстве в период с 2007 по 2008 год и проведено сравнение с измерениями в эксперименте PAMELA.

Список литературы:

[1] I. K. Troitskaya, A. G. Mayorov, V. V. Malakhov, R. Modzelewska, and S. A. Rodenko // ISSN 1062-8738, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2019, Vol. 83, No. 5, pp. 576–578.

[2] C. Pei, J. W. Bieber, R. A. Burger, and J. Clem // The Astrophysical Journal, 744:170 (5pp), 2012 January 10

[3] Paolo Lipari // INFN, sezione di Roma, Piazzale Aldo Moro 2, 00185 Roma, Italy, August 2, 2014.

Определение характеристик неупругого взаимодействия легких ядер с вольфрамом по измерениям космических лучей в эксперименте ПАМЕЛА

Голуб О.А.¹, Майоров А.Г.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В докладе приводятся характеристики неупругого взаимодействия легких ядер с вольфрамом по измерениям космических лучей в эксперименте ПАМЕЛА. ПАМЕЛА — это спутниковый эксперимент, основанный на магнитном спектрометре, предназначенный для изучения потоков заряженных частиц в космическом излучении. Он был запущен в 2006 г. на околоземную орбиту и завершил работу в 2016 году. Благодаря своему набору детекторных систем, каждая из которых может независимо измерять характеристики частиц, спектрометр ПАМЕЛА позволяет проводить изучение взаимодействия частиц космических лучей с поглотителем из вольфрама, входящим в состав калориметра прибора.

Развивается новый метод проверки и совершенствование моделей взаимодействия частиц с веществом (на примере пакета программ Geant4). Прибор, благодаря своему набору детекторов, выбирает из потока частиц с высокой надежностью необходимую компоненту, как бы формируя пучок частиц известного типа и энергии, проходящего под известным углом. И одновременно другой детектор - позиционно-чувствительный стриповый калориметр - служит мишенью для этих частиц.

Проведено сравнение полученных характеристик неупругого взаимодействия частиц космических лучей (сечение взаимодействия, угловое распределение вторичных частиц и т. д.) по данным эксперимента с характеристиками, восстановленных по данным моделирования. Также проведено сравнение с измерениями на ускорителях и с существующими теоретическими моделями.

Полученные результаты могут быть востребованы для расширения стандартных адронных и электромагнитных моделей Geant4, описывающих взаимодействие частиц с веществом.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-02-00951

Разработка улучшенных методов реконструкции эта-мезонов в эксперименте ALICE

Голубева М.С.¹, Блау Д.С.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Эксперимент ALICE изучает сильновзаимодействующую материю при экстремально высоких плотностях энергии и температурах. Ключевой задачей ALICE является измерение сигналов образования кварк-глюонной материи, характеризующейся тем, что кварки и глюоны в ней находятся в состоянии деконфайнмента, в отличие от обычной ядерной материи. Также важной задачей 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 прецизионный фотонный спектрометр PHOS, разработанный под руководством ученых из НИЦ «Курчатовский институт».

В данной работе рассматривается измерение эта-мезонов статистическим методом. Суть метода состоит в построении инвариантных масс пар кластеров, реконструированных в калориметре, с последующим вычислением числа таких пар под пиком, соответствующим распаду данного мезона на два фотона. Систематические погрешности измерений этим методом обусловлены неопределенностью в описании комбинаторного фона, на котором расположен интересующий нас пик. Для улучшения соотношения сигнала к фону применяются различные критерии отбора кластеров. Особенно это важно для области низких поперечных импульсов и условий высокой загрузки детектора (например, центральных ядро-ядерных столкновений). Одним из таких методов является предложенный нами метод очистки данных от распадов π^0 -мезонов.

Были измерены эффективность (отношение числа эта-мезонов, прошедших отбор, к числу эта-мезонов до отбора) и улучшение соотношения сигнала к фону в зависимости от поперечного импульса для протон-протонных столкновений при энергии 13 ТэВ, как для Монте-Карло моделирований, так и для реальных данных, полученных с помощью спектрометра PHOS в сеансе БАК 2016 года. Эффективность нового метода составляет около 90-95% с улучшением отношения сигнала к фону примерно в 2 раза.

Моделирование кривых блеска сверхновых

Гольдштейн А.А.¹, Блинников С.И.¹, Костина М.В.²

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

² *Санкт-Петербургский государственный университет*

В ходе данной работы рассмотрено влияние изменения параметров в полу-аналитической модели (A. P. Nagy, A. Ordasi, J. Vinko, and J. C. Wheeler 2014, A. P. Nagy and J. Vinko 2016) на поведение квази-болометрической кривой блеска сверхновой типа II-P, которая для реальных сверхновых составлена из наблюдений в разных полосах. На основе выведенных зависимостей предлагается метод автоматического нахождения радиуса, массы выброса, массы никеля-56, кинетической энергии и параметра захвата гамма квантов, так же участвующего в данной модели. На примере SN2012A и SN 2012aw показано, что с помощью метода действительно удаётся с разумной точностью найти перечисленные параметры.

Рассмотрен эффект изменения темпа падения блеска в полосе U для сверхновых типа II-P (SN~II-P) в зависимости от металличности Z . На основе этого эффекта предлагается новый метод определения фотометрического красного смещения для космологии по форме кривой блеска SN~II-P в полосе U . С помощью программы STELLA в разных полосах построены модельные кривые блеска для разных красных смещений $z = 0.0, 0.1, 0.3$ с уменьшением металличности в моделях от $Z \sim 10^{-3}$ до $\sim 10^{-6}$. Показано, что при самых низких значениях металличности поток в полосе U выходит на плато. Рассмотрено влияние и других параметров: массы предсверхновой и массы радиоактивного никеля-56.

Диффузия димежузлий в однородно деформированных ОЦК кристаллах Fe и V: молекулярно-динамическое исследование

Демидов Д.Н.¹, Сивак А.Б.¹, Сивак П.А.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Методом молекулярной динамики с использованием потенциалов межатомного взаимодействия [1, 2] исследовано влияние внешних гидростатических и сдвиговых деформаций (в диапазоне от -1% до $+1\%$) на диффузионные характеристики собственных димежузлий (тензор диффузии, частоты и доли скачков в различных кристаллографических направлениях, др.) в ОЦК-металлах Fe и V в температурном диапазоне 350 – 800 К. Определены механизмы и кристаллографические особенности диффузии димежузлий во внешних упругих полях. Показано, что:

1) При наличии гидростатических деформаций и в их отсутствие вид тензора диффузии в Fe при температурах ниже 400 К соответствует диффузии по трем плотноупакованным направлениям из четырех возможных (тригональная симметрия тензора диффузии). С ростом температуры вид тензора диффузии начинает соответствовать диффузии по всем возможным четырем плотноупакованным направлениям (сферическая симметрия тензора диффузии). В V тензор диффузии во всем рассмотренном температурном диапазоне имеет сферическую симметрию. При этом гидростатические деформации в V сильнее влияют на компоненты тензора диффузии, чем в V

2) Сдвиговые деформации, как и в случае гидростатических деформаций, сильнее влияют на компоненты тензора диффузии в V, чем в Fe. В V при абсолютной величине сдвиговой деформации больше либо равной 1% диффузия димежузлий становится двумерной и происходит в плоскостях типа $\{110\}$ при всех рассмотренных температурах. В Fe при температурах меньше 400 К и значениях сдвиговой деформации меньше $-0,5\%$ диффузия димежузлия является полностью одномерной; при значениях сдвиговой деформации больших $0,5\%$ диффузия димежузлий двумерна как в V. С ростом температуры зависимости компонент тензора диффузии от деформации в Fe и V приобретают все большее качественное сходство.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-01205.

Список литературы:

- [1] В.А. Романов и др., ВАНТ, Сер. Материаловедение и новые материалы, 1(66) (2006) 129
- [2] В.А. Романов и др., ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез, т. 35, вып. 2 (2012) 60

Одновременное измерение потоков нейтрино от солнечной pp-цепи с помощью детектора Borexino

Драчев И.С.¹

¹ НИЦ "Курчатовский институт"-ПИЯФ, Borexino Collaboration

Солнце - ближайшая к нам звезда, являющаяся основным источником энергии в солнечной системе. Источником энергии этой звезды являются термоядерные реакции синтеза ядер гелия из протонов, а именно pp-цепочка и CNO-цикл. Детектор Borexino - уникальный сцинтилляционный нейтринный детектор с беспрецедентным уровнем радиочистоты. Он успешно завершил вторую фазу сбора и анализа данных, получив результат по одновременному спектральному анализу нейтринных компонент pp-цепи, получив самые точные на сегодняшний день значения потоков для нейтринных компонент pp, pep и ⁷Be, одновременно поставив ограничение на поток CNO-нейтрино. Полученные значения находятся в согласии с ожидаемыми значениями для Стандартной Солнечной Модели и LMA-решения модели MSW.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-29-13014

Использование распараллеливания в задачах анализа физических данных эксперимента ЛНСб

Егорычев А.В.¹, Беляев И.М.¹, Овсянникова Т.А.¹, Матюнин В.И.¹

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

Технологии распараллеливания являются в настоящее время активно развивающейся сферой в методах разработки программного обеспечения.

Адаптация программного обеспечения к существующим много-ядерным и многопроцессорным системам, применяя распараллеливание, позволяет существенно повысить производительность вычислений и существенно уменьшить скорость обработки большого массива данных. Высокая скорость работы программного обеспечения важна как для предварительной обработки данных в режиме реального времени, так и для анализа данных на всех последующих этапах, включая и этап визуализации данных. Это требование является ключевым для экспериментов Большого адронного коллайдера. В докладе будут представлены результаты применения технологии распараллеливания в задачах анализа физических данных эксперимента ЛНСб, реализованных в программном обеспечении Ostar, на базе программных пакетов pathos и pyROOT.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-32-90166

Разложение по родам матричных моделей и \hbar разложение иерархии КП

Жабин А.А.^{1,2}, Андреев А.В.^{1,2}, Слепцов А.В.^{1,2}, Пополитов А.В.^{1,2}

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

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

Мы изучаем разложение иерархии КП по параметру \hbar , следуя подходу Такасаки-Такебе, на примерах матричных моделей с естественным разложением по родам. Среди примеров производящая функция простых чисел Гурвица, Эрмитова матричная модель, модель Концевича и Брезана-Гросса-Виттена, которые являются решениями уравнений КП и представляют отдельный интерес. Мы показываем, что все эти модели с параметром деформации \hbar являются τ -функциями иерархии \hbar -КП и разложение по \hbar для \hbar -КП совпадает с разложением по родам для этих моделей. Кроме того, мы показываем связь недавних работ по \hbar -формулировке иерархии КП с оригинальным подходом Такасаки-Такебе.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №20-01-00644

Статус обработки данных электромагнитного калориметра ЕСАL эксперимента ВМ@N (NICA)

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

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

Эксперимент ВМ@N (Baryonic Matter at Nuclotron) - эксперимент на выведенном пучке Нуклотрона с фиксированной мишенью, направленный на изучение плотной ядерной материи и странных частиц. Для регистрации гамма-квантов в эксперименте используется электромагнитный калориметр ЕСАL. Представлены некоторые результаты обработки экспериментальных данных, полученных с помощью электромагнитного калориметра, а также сравнение с данными симуляции. Показаны дальнейшие планы по модифицированию электромагнитного калориметра в рамках эксперимента.

Фазовая диаграмма КХД и ее дуальности (Dualities in three and two color QCD phase diagram)

Жохов Р.Н.^{1,2}, Хунжуа Т.Г.^{1,2}, Клименко К.Г.^{1,2}

¹ ИФВЭ

² ИЗМИРАН

Влияние ионного облучения при температуре 500°С на микроструктуру и механические свойства сплава W-6Re

Захарова П.С.¹, Никитин А.А.¹, Рогожкин С.В.¹, Федин П.А.¹

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

В работе рассмотрены результаты воздействия ионного пучка на монокристаллический сплав вольфрама, W-6Re. Данный материал рассматривается как перспективный для использования в конструкциях термоядерных реакторов. Облучение проводилось с целью моделирования радиационных эффектов и анализа радиационной стойкости материала. Использовалось облучение ионами Fe²⁺ с энергией 5.6 МэВ при температуре 500°С до максимальной повреждающей дозы 8 смещений на атом. Проведено сравнение микроструктуры материала до и после облучения. Показано, что в структуре материала происходит образование структурных дефектов, дислокационных петель с размерами 2-15 нм и объемной плотностью 1.2×10^{23} м⁻³. Детальный анализ методами атомно-зондовой томографии обнаружил распад твердого раствора с образованием наноразмерных сегрегаций, обогащенных рением, в среднем на 18 ат.%. Методами наноиентирования определено радиационно-индуцированное упрочнение облученного слоя. Приращение прочности составило 1.6 ГПа.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-20174

Сегрегация легирующих элементов на дислокационные структуры малоугловой границы в ферритно-мартенситных сталях при ионном и реакторном облучениях.

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

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

Проведено исследование процессов сегрегации химических элементов в ферритно-мартенситной (Ф-М) стали Eurofer 97 после реакторного облучения в БОР-60 (32 сна, 330 °С) и Ф-М сталей ЭК-181 и ЧС-139 после ионного облучения – перспективных конструкционных материалах активной зоны ядерных реакторов на быстрых нейтронах. Для моделирования радиационных эффектов использовалось облучение сталей ЭК-181 и ЧС-139 ионами Fe с энергией 5.6 МэВ при температурах 250–400 °С до повреждающих доз ~ 6 сна и при температурах 350–450 °С до повреждающей дозы 30 сна. Также выполнено исследование стали ЭК-181 после термического старения при 450 °С в течение 5000 ч. Анализ методом Z-контраста облученных сталей обнаружил сегрегацию легирующих элементов на дислокационные структуры малоугловой границы (МУГ) наклона и смешанных. Вычисленные углы разориентировки МУГ составили ~ 1–3°, а угол кручения смешанной границы ~ 3°. Атомно-зондовая томография облученных сталей ЧС-139 и Eurofer 97 показала, что на дислокациях, в том числе на дислокационных структурах МУГ, образуются кластеры, обогащенные по Ni и Si. В облученной стали ЭК-181 на дислокациях образуются кластеры, обогащенные по Si. В состаренном состоянии стали ЭК-181 обнаружена сегрегация Cr, V, Mn, Si и N на дислокационных структурах МУГ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-20174

Оптимизация алгоритма поиска первичной вершины для эксперимента ВМ@N с учетом топологии событий

Кахановская Н.Е.¹, Мерц С.П.², Немнюгин С.А.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Объединенный институт ядерных исследований

ВМ@N (Baryonic Matter at Nuclotron) - это первый действующий эксперимент в рамках проекта NICA (Nuclotron based Collider Facility).

В 2018 году на пучках аргона, криптона и углерода были проведены первые запуски эксперимента с набором физических данных.

Одна из необходимых задач для проведения анализа экспериментальных данных - это восстановление первичной вершины взаимодействия (пространственной точки, в которой произошло столкновения пучка с мишенью).

В настоящей работе предложен и реализован алгоритм реконструкции первичной вершины с помощью метода виртуальных плоскостей для эксперимента ВМ@N. Проведен анализ зависимости качества работы алгоритма от его параметров. Приводятся результаты для разных мишеней и триггеров.

Работа поддержана грантом РФФИ №18-02-40104.

Томографический атомно-зондовый анализ дисперсно-упрочнённой оксидами стали 10CrODS при различных дозах облучения

Клауз А.В.¹, Залужный А.Г.¹, Рогожкин С.В.¹, Хомич А.А.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 принято использование совокупности самых современных методов ультрамикроскопии: просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и атомно-зондовой томографии (АЗТ). ПЭМ позволяет описать микроструктуру материала (зеренная структура, оксидные частицы). АЗТ позволяет восстанавливать трёхмерную структуру исследуемого объёма с атомарным разрешением и определять химическую природу каждого детектируемого атома, что позволяет получать качественную и количественную информацию о наноразмерных особенностях материала, анализ которых затруднен или невозможен с помощью ПЭМ (нанокластеры).

В настоящей работе представлены результаты исследования методами атомно-зондовой томографии образцов сплава 10CrODS. Методом атомно-зондовой томографии 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 $(4\pm 2 \times 10^{22} \text{ м}^{-3})$.

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.

Топологические квантовые вычисления при больших k

Колганов Н.М.¹

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

В данном докладе я расскажу о квантовых вычислениях на устройствах, которые эффективно могут быть описаны теорией Черна-Саймонса. Последняя является топологической квантовой теорией поля, параметрами которой является уровень k , калибровочная группа (в нашем случае это $SU(N)$) и представление \mathfrak{R} . В качестве представления \mathfrak{R} в данном докладе выбрано симметрическое представление $[r]$, а пространство представления отождествляется с гильбертовым пространством квантовомеханической системы, на которой производятся вычисления. Набором элементарных гейтов оказываются квантовые \mathcal{R} -матрицы. Будет показано, что если уровень k достаточно велик, то произвольный квантовый гейт может быть приближен последовательностью квантовых \mathcal{R} -матриц с любой заданной точностью. Будет представлен конструктивный алгоритм такого приближения, во многом базирующийся на теореме Соловея-Китаева.

Вариация критической энергии в применении к ускорительному комплексу NICA

Колокольчиков С.Д.¹, Сеничев Ю.В.¹

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

Критическая энергия является важным параметром, определяющим работу ускорителя. Для сохранения устойчивости пучка при прохождении критической энергии используются 2 основных метода: повышение критической энергии и скачкообразное прохождение через критическую энергию. В данной статье рассматривается метод повышения критической энергии в структуре коллайдера NICA для эксперимента по столкновению поляризованного протонного и дейтронного пучков.

Улучшение энергетического разрешения высокогранулярных калориметров с использованием нейронных сетей

Корпачев С.С.¹

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

В экспериментах на планируемых ускорителях, в том числе на будущем лептонном коллайдере, будут использованы детекторы с высокой гранулярностью. В данной работе изучается применение технологии нейронных сетей для улучшения энергетического разрешения высокогранулярных калориметров детектора ILD. Для этой задачи была реализована глубокая нейронная сеть в пакете Keras. Исследование проводилось на модельной версии детектора ILD для одиночных нейтральных адронов с энергиями от 1 до 120 ГэВ.

Исследование самодуальной теории Янга-Миллса и ее суперсимметричного обобщения

Кузнецов Д.Д.^{1,2}

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

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

В настоящей работе исследуется самодуальная теория Янга-Миллса (в действие которой входит неабелево калибровочное поле и самодуальная 2-форма, преобразующаяся по присоединенному представлению группы) и ее расширения на $\mathcal{N} = 1, 2, 4$ суперсимметричные теории. При подходящем выборе замены полевых переменных, мотивированной структурой амплитуд рассеяния, Лагранжиан, содержащий трехчастичную вершину взаимодействия, преобразуется в Лагранжиан свободной теории и нелокальный вклад, возникающий из Якобиана преобразования. Но, как будет показано, для суперсимметричных теорий нелокальный вклад исчезает. Кроме того, будет описана связь между самодуальной теорией и **MHV** (Maximum Helicity Violating) формализмом для стандартной теории Янга-Миллса.

Групповые факторы цветных полиномов ХОМФЛИ

Ланина Е.Н.^{1,2}, Слепцов А.В.^{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 групповые факторы цветных полиномов ХОМФЛИ, исходя из соображений симметрии. Зная, что полиномы ХОМФЛИ имеют двойственность ранг-уровень, симметрию сопряжения, которые были давно известны, и недавно открытую симметрию «тяги-крюк», мы находим аналитическую формулу для мультипликативного базиса всех возможных полиномов, удовлетворяющих этим трем симметриям. Мы предполагаем, что данные полиномы образуют базис групповых факторов полиномов ХОМФЛИ, и проверяем это предположение до определенного номера уровня.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №20-01-00644

Применение методов обратной свертки для задачи восстановления энергетического спектра

Леванова О.А.¹, Богомолов Ю.В.¹

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

В докладе рассматривается проблема восстановления распределения физической величины, искаженного из-за инструментальных эффектов, получение объективной информации о распределении сводится к задаче восстановления истинного распределения по измеренному. Данная задача получила название обратной свертки (unfolding, деконволюция). Для решения этой задачи наиболее распространенными методами являются байесовский алгоритм д'Агностини, подход на основе алгоритма SVD и регуляризационный метод TUnfold.

В качестве объекта для анализа работы алгоритмов была выбрана модель энергетического спектра частиц в космических лучах, полученная методом Монте-Карло. Основное внимание в работе уделено анализу качества восстановления спектра упомянутыми алгоритмами для различных значений параметров, а также сравнительному анализу этих подходов в зависимости от особенностей дискретизации спектра. Основным результатом является предложенный подход к подбору оптимального значения параметра регуляризации для метода на основе SVD и количества итераций для байесовского метода. В частности, серией вычислительных экспериментов показано, что для выбранных параметров байесовского алгоритма и метода на основе SVD результаты решения задачи обратной свертки удовлетворяют критерию Колмогорова-Смирнова при отмеченных в работе особенностях разбиения энергетического спектра. В заключение лучший подход был использован для восстановления энергетического спектра протонов в космических лучах, и результат сравнивается с уже опубликованными данными.

Разработка комплекса атомно-зондовой томографии

Дукьянчук 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»*

Методика атомно-зондовой томографии (АЗТ) активно развивается последние десятилетия. В НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ проводится разработка приборов атомно-зондовой томографии. В частности, в 2014 году была запущена установка АЗТ ПАЗЛ-3D. В настоящий момент ведутся работы по разработке новой версии АЗТ комплекса. Основной целью данной работы является создание модели АЗТ установки близкой по своему уровню проработки к промышленному образцу. В ходе разработки были учтен опыт эксплуатации ПАЗЛ-3D и предложен ряд инженерно-технических решений отличных от ранее используемых.

В докладе представлены результаты предварительных стадии проекта, таких как оценка уровня готовности технологий, исследование рынка, патентный поиск. Представлены результаты разработки части конструкторской документации, дизайн внешнего вида установки и дизайн. Также продемонстрировано устройство новой системы смены образцов в аналитическом объеме, которая позволит сократить участие оператора в 2 раза по сравнению с ПАЗЛ-3D. Кратко представлены подходы к выбору и тестированию комплектующих установки, учтен опыт использования, разработанного ранее ПО сбора данных, ПО анализа данных и базы данных учета образцов и исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-20174

**Функции возбуждения $^{208,207,206}\text{nat Pb}(p,x)$ ($^{207}\text{Bi},^{202}\text{Pb},^{194}\text{Hg}$) и $^{209}\text{Bi}(p,x)$
($^{207}\text{Bi},^{202}\text{Pb},^{194}\text{Hg}$)**

Титаренко Ю.Е.¹, Батяев В.Ф.¹, Павлов К.В.¹, Душин С.В.¹, Бусыгин А.С.¹

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

В докладе рассматриваются функции возбуждения $^{207}\text{Bi},^{202}\text{Pb},^{194}\text{Hg}$. Эти ядра могут образоваться в Pb-Bi эвтектике на изотопах свинца и в висмуте. В данной работе представлены сечения образования ^{207}Bi , $^{202}\text{Pb},^{194}\text{Hg}$, измеренные методом прямой гамма-спектрометрии мишеней из свинца, обогащенных, соответственно, по 208 , 207 и 206 изотопу, и мишеней из свинца и висмута, природного состава, облученных протонами 11-ти энергий в диапазоне от 0.04 до 2.6 ГэВ. Экспериментальные данные, там где это возможно, сравниваются с данными других авторов и с расчетными функциями возбуждения этого нуклида, полученные с использованием различных высокоэнергетических транспортных программ – MCNP6.1(CEM03.03), PHITS (INCL4.6/GEM), Geant4 (INCL++/ABLA) и программы расчета ядерных реакций TALYS. Цель данного доклада - осветить текущие результаты исследования. В настоящий момент готова и опубликована отдельная статья, посвященная функциям возбуждения для ^{207}Bi . В дальнейшем планируется опубликование аналогичных работ по функциям возбуждения для $^{202}\text{Pb},^{194}\text{Hg}$.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-52-53021

Изучение прелестных барионов в эксперименте ЛНСб

Матюнин В.И.¹

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

Распады прелестных барионов изучаются как для понимания динамики процессов с участием тяжелых кварков, так и для поиска физики за пределами Стандартной модели. Изучение их свойств, таких как масса, время жизни и парциальные ширины распадов b -барионов способствует проверке эффективной теории тяжелых кварков. Кроме того, измерение отношения парциальных ширин распадов необходимо для определения абсолютных вероятностей этих распадов. Большое количество распадов прелестных барионов было обнаружено коллаборацией ЛНСб за последние несколько лет. Среди них есть распады в состоянии, содержащие экзотические частицы, в частности, было получено первое наблюдение новых резонансов соответствующих модели пентакварков.

Большая статистика набранная экспериментом ЛНСб в ходе сеанса I и II на Большом адронном коллайдере открывает новые возможности к изучению спектроскопии прелестных адронов. В докладе будут представлены последние результаты поисков новых распадов и новых возбужденных состояний прелестных барионов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-32-90166

Разработка метода идентификации частиц в эксперименте VM@N NICA

Машицин К.И.¹, Мерц С.П.², Немнюгин С.А.¹, Рогалев К.И.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Объединенный институт ядерных исследований

VM@N (Baryonic Matter at the Nuclotron) - первый эксперимент на ускорительном комплексе NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility), в рамках которого с 2018 года проводятся физические запуски установки со сбором экспериментальных данных. Задача идентификации частиц необходима для физического анализа материи, образовавшейся при столкновении пучка с мишенью. В данной работе описывается реализация алгоритма идентификации, основанного на вариации метода расстояний для зависимости скорости частицы ($\beta = v/c$) от ее магнитной жёсткости ($r = p/q$). Алгоритм был протестирован на смоделированных данных, представлены результаты эффективности идентификации и процент примесей для различных типов частиц. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-02-40104.

Ионизационно-пропорциональный газовый счётчик на ускорителе ИЯИ РАН

Мельников А.А.¹, Гаврилов С.А.^{1,2}

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

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

Ионизационно-пропорциональный газовый счётчик позволяет проводить диагностику пучков малых токов. Прибор измеряет ток в ионизационном режиме и профили пучка - в пропорциональном. Представлены модели и методы предсказания рабочих характеристик прибора в ионизационной и пропорциональной моде. Рассмотрена и экспериментально проверена аналитическая модель рекомбинации. Приведено объяснение эффектов деградации прибора. Также представлен дизайн нового счётчика.

Экзотическая А-модель на сфере: склейка топологической и анти-топологической теорий.

Мишняков В.В.¹

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

Топологические сигма-модели это теоретико-полевая реализация задачи перечислительной геометрии о подсчете голоморфных отображений двумерной поверхности в некоторое многообразие. Решением этой задачи являются инварианты Громова-Виттена. Физически это отвечает рассмотрению двумерной суперсимметричной теории специальным образом взаимодействующей с фоном гравитации и вычислению корреляционных функций различных операторов. Выбирая фон гравитации необычным образом мы деформируем сигма-модель. Основной вклад в функциональный интеграл теперь дают не голоморфные отображения, а сингулярные отображения, голоморфные на одном полюсе сферы и анти-голоморфные на другом. В некотором смысле это отвечает ситуации, когда в теории присутствуют одновременно инстантонные и анти-инстантонные решения. Ответы для корреляционных функций в такой теории должны реализовывать собой определенную склейку А-модели и сопряженной к ней (анти-топологической) модели.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №20-01-00644

Измерение односпиновой асимметрии заряженных пионов в эксперименте СПАСЧАРМ на ускорителе У70

Моисеев В.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ

На ускорительном комплексе У-70 (Протвино) начались физические исследования в новом эксперименте СПАСЧАРМ, направленные на изучение спиновых эффектов в инклюзивном рождении различных частиц на замороженной поляризованной протонной мишени. Основной целью эксперимента является изучение такой фундаментальной проблемы современной физики частиц, как механизм образования спиновых асимметрий в рождении адронов. Исследования планируется вести в трудной для теории кинематической области непертурбативной квантовой хромодинамики (КХД) (области конфайнмента или «невыветания» кварков). В отличие от большинства поляризационных экспериментов, широкоапертурный прецизионный спектрометр СПАСЧАРМ может измерять как заряженные, так и нейтральные частицы в полном азимутальном угле в области фрагментации отрицательно заряженного пучка с энергией 28 ГэВ. Конкретной задачей данной работы является измерение односпиновой асимметрии при инклюзивном рождении заряженных пионов в области фрагментации пучка. Мы представляем статус эксперимента и первые результаты анализа данных, набранных во время методического и первого физического сеансов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-32-90068

Моделирование системы экстракции ЭЦР источника для второго канала ТИПР

Морозов И.С.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. Для улучшения качества имитационных экспериментов планируется создать второй канал для одновременного облучения пучками He/H. Источником таких ионов будет ЭЦР источник. В докладе представлены и обсуждаются результаты моделирования системы формирования ионного пучка для данного источника.

Моделирование детектора переходного излучения на основе тонкостенных пропорциональных камер с помощью пакета программ GEANT4

Нечаева С.А.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В данной работе рассматривается построение компьютерной модели эксперимента по тестированию детектора переходного излучения на основе тонкостенных цилиндрических пропорциональных камер [1] на тестовом пучке ускорителя SPS (CERN) 2018 года с помощью пакета программ GEANT4 [2].

Моделирование выполнено для регистрируемых частиц с гамма-факторами в диапазоне от 10^3 до 3.6×10^4 . Производится сравнение данных моделирования с помощью пакета программ GEANT4 с экспериментальными данными, а также с данными моделирования с помощью альтернативной Монте-Карло симуляции [1] для различных конфигураций детектора.

Список литературы:

[1] N.Belyaev, M.L.Cherry, S.Smironov et al. Development of Transition Radiation Detectors for hadron identification at TeV energy scale. J.Phys.:Conf.Series (2019)

[2] GEANT4 Collaboration, CERN/LHCC 98-44, GEANT4: An Object-Oriented Toolkit for Simulation in HEP (<http://geant4.web.cern.ch/geant4/>)

Изучение распадов нейтральных странных b - мезонов в многочастичное состояние с чармониями

Овсянникова Т.А.¹, Голубков Д.Ю.¹, Перейма Д.Ю.¹

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

Распады прелестных адронов в конечное состояние с чармониям являются одним их механизмом для изучения свойств чармониев и подобных им состояний. С развитием новых ускорительных комплексов, этот механизм изучения чармония стал доминирующим и позволил открыть более десятка новых чармониеподобных состояний. Распады тяжелых адронов являются уникальной системой для поиска новых частиц. К таким состояниям, природа которых до сих пор не ясна, относят $\chi_{c1}(3872)$ -состояние, пентакварки, нейтральные и заряженные кандидаты в тетракварки. Сравнение вероятностей для распадов тяжелых мезонов в состояния с новыми или уже хорошо изученными уровнями чармониями может помочь получить дополнительную информацию о механизмах рождения подобных частиц. В данном докладе будут представлены результаты исследования распадов B_s^0 мезона в многочастичное состояние $J\psi K^+ K^- \pi^+ \pi^-$.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-32-90086

Исследование $\chi_{c1}(3872)$ состояния в распадах b -адронов в эксперименте ЛНСб

Перейма Д.Ю.¹

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

Узкий $\chi_{c1}(3872)$ -резонанс, схожий по свойствам с чармонием, был открыт в 2003 г. сотрудничеством Belle в распадах $B^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- K^+$, с использованием канала $\chi_{c1}(3872) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$. Кроме известного пика $\psi(2S)$ -мезона в инвариантной массе комбинации $J/\psi \pi^+ \pi^-$ был обнаружен еще один узкий пик от ранее неизвестного состояния, со статистической значимостью более 10 стандартных отклонений. Вскоре открытие $\chi_{c1}(3872)$ -состояния было подтверждено и другими экспериментами. Несмотря на значительный объем полученных за эти годы экспериментальных данных, природа этого состояния по-прежнему остается загадочной и неясной. Одной из задач эксперимента ЛНСб является изучение распадов прелестных частиц, содержащих чармоний и чармонийподобные частицы в конечном состоянии. В докладе будут представлены самые последние результаты исследований резонансных структур в системе $J/\psi \pi^+ \pi^-$ в распадах b -адронов, основанные на анализе данных, набранных экспериментом ЛНСб в период с 2011 по 2018 гг.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-32-90086

Голографическая модель экситонного конденсата в двухслойном Дираковском полуметалле

Пикалов А.Б.¹

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

Исследуется голографическая модель конденсации экситонов в двухслойном Дираковском полуметалле. Экситоны представляют собой связанные состояния электрона и дырки. В зависимости от того, находятся электрон и дырка в одном слое или в разных слоях, экситонный конденсат можно называть прямым (intralayer) или непрямым (interlayer). В рассматриваемой модели слои Дираковского полуметалла реализованы как пересечение $D3$ и $D5$ бран, причем число N $D5$ бран предполагается большим. Голографическая модель позволяет исследовать формирование конденсата в режиме сильной связи. Ранее в литературе обсуждались конфигурации бран, отвечающие как прямому, так и непрямому конденсату в случае нулевой массы Дираковских фермионов. Здесь эти результаты обобщаются на случай ненулевой массы. Обсуждается зависимость фазовой диаграммы системы и величины конденсатов от массы. Показано, что с возрастанием массы фермионов критическое расстояние между слоями, начиная с которого возникает не прямой конденсат, уменьшается.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-02-00214

Подготовка и проведение облучательных экспериментов для экспресс-анализа конструкционных материалов реакторов на ускорителе ТИПр

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

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

Создание современных реакторов требует выбора радиационно-стойких конструкционных материалов. В НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ на линейном ускорителе ТИПр на протяжении последних лет проводятся эксперименты по имитации радиационного воздействия на материалы с помощью пучков тяжелых ионов. Имитационные эксперименты с использованием ускоренных пучков занимают гораздо меньший объем времени, чем эксперименты в реакторе, и позволяют не активировать образцы материалов. Для повышения скорости набора дозы проделана работа по исследованию масс-зарядового спектра ускоренных ионов и измерению поперечных профилей пучка на мишени, подобран новый режим облучения, увеличена частота повторения импульсов.

Работа выполнена при поддержке Договора 17.09.2019 № 313/1710-Д, заключенного между АО «Наука и инновации» и НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ

Разработка модуля аналогового-цифрового преобразования для высокоскоростных позиционно-чувствительных детекторов

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

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

Для решений актуальных задач материаловедения в НИЦ «Курчатовский Институт» – ИТЭФ проводится разработка современных атомно-зондовых томографов. Одним из самых сложных элементов атомно-зондового томографа является высокоскоростная позиционно-чувствительная система детектирования на основе линий задержки. Помимо сложной конструкции приемной части она содержит в себе сложную систему оцифровки и обработки сигналов. Это многоканальная система с частотой дискретизации более 1 Готсч./сек на канал и разрешением по вертикали не менее 10 бит. Развитие национальных разработок высокотехнологичной продукции требует разработки и локализации производства такого сложного модуля на территории РФ.

В данной работе рассмотрены основные сложности проектировки системы оцифровки для позиционно-чувствительного детектора на основе линий задержки. Рассмотрена типовая архитектура построения системы, алгоритмы работы, представлен краткий обзор имеющихся в России технических решений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-38-00859

Моделирование низкоэнергетических событий в детекторе РЭД-100

Разуваева О.Е.¹

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

Упругое когерентное рассеяние нейтрино -- процесс, предсказанный около полувека назад, но обнаруженный экспериментально только в 2017 году. РЭД-100 -- эксперимент, целью которого является регистрация УКРН от реакторных антинейтрино на Калининской атомной станции. В данном докладе будут представлены результаты моделирования как полезных, так и фоновых событий в детекторе РЭД-100, а так же возможные способы их разделения.

Обнаружение сигнала от бозона Хиггса в механизме рождения VBF в канале распада $h \rightarrow WW^* \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ на полной статистике при 13 ТэВ в эксперименте ATLAS на БАК

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

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

Представлен анализ по обнаружению сигнала от бозона Хиггса в механизме рождения за счет слияния векторных бозонов в канале распада $h \rightarrow WW^* \rightarrow \ell\nu\ell\nu$. Данные протон-протонных столкновений, использованные в результате этого анализа, были получены на БАК при энергии 13 ТэВ и зарегистрированы детектором ATLAS в период с 2015 по 2018 гг., что соответствует полной интегральной светимости 139 фб^{-1} . Новые многомерные методы используются для изоляции сигнала от фоновых процессов. Также будут представлены методологии анализа и основные результаты.

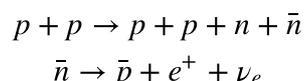
Регистрация антипротонов в околоземном пространстве по данным эксперимента ПAMEЛА

Роденко С.А.¹, Майоров А.Г.¹

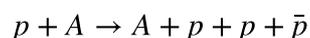
¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Магнитный спектрометр PAMELA на борту космического аппарата Ресурс-ДК1 измерял потоки заряженных частиц и античастиц в космическом излучении с июня 2006 года по январь 2016 года [1]. В 2011 году по результатам измерений были впервые обнаружены антипротоны вторичного происхождения в околоземном пространстве и измерен энергетический спектр альбедной и захваченной компонент в энергетическом диапазоне от 60 до 750 МэВ [2].

Таким образом, механизмы генерации потоков вторичных частиц распространяются на образование и захват магнитным полем Земли античастиц. В частности, для антинейтронов и антипротонов справедлив механизм CRANbarD аналогично механизму CRAND для нейтронов и протонов [3]:



Также не исключается процесс генерации антипротонов от прямого рождения протон-антипротонных пар в атмосфере [4]:



В работе приводятся результаты измерения потока антипротонов в радиационном поясе Земли по данным эксперимента PAMELA, полученным за весь период его проведения с использованием усовершенствованных алгоритмов обработки и выделения событий. Приводится анализ полученных результатов.

Список литературы:

- [1] P. Picozza et al. PAMELA – A payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. *Astroparticle Physics*. 2007. Vol. 27. P. 296-315.
- [2] O. Adriani et al. *ApJL* 2011. 737: L 29 P. 5
- [3] M. Fuki, *Int. J. Mod. Phys. A*, 20, P. 6739
- [4] R. S. Selesnick et al. *Geophys. Res. Lett.* 2007. 34, P. 20

Прецизионный способ определения атомных координат в атомно-зондовой томографии

Рудкой Б.В.¹, Шутов А.С.¹, Рогожкин С.В.¹

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

Атомно-зондовая томография является уникальным методом, позволяющим определять как химический состав, так и пространственное расположение атомов в исследуемом материале, что позволяет построить атомные карты, показывающие распределения отдельных атомов. В основе метода лежит последовательное испарение атомов с поверхности образца под воздействием постоянного электрического поля и подаваемого короткого высоковольтного импульса, либо импульса лазерного излучения. Атом, ионизированный в процессе испарения с поверхности исследуемого образца, ускоряется благодаря быстро спадающему (приблизительно 100 нм от поверхности) постоянному электрическому полю, летит на позиционно-чувствительный детектор. Попавший на детектор ион, сталкивается с микроканальной пластиной, в результате чего испускается электронное облако, которое попадает на систему микрострипов, содержащихся в детекторе. Поскольку отдельный ион зарождает некоторый набор электронов, система микрострипов, регистрирующая время прилета иона, фиксирует не одно значение, а набор времен и соответствующих им импульсов. Время прилета иона определяется по максимуму импульса электронов. Поскольку число микрострипов и время оцифровки конечны, время, соответствующее максимальному импульсу, определяется на основе анализа дискретного набора значений времен, и соответствующих им значений импульсов. Очень важно решить эту проблему с максимальной точностью. Координаты атомов рассчитываются по разностям времен прилета, а поэтому незначительное снижение точности определения времен приводит к существенному изменению значений координат.

В качестве наиболее подходящей была выбрана аппроксимация сплайном Безье. Сплайн был составлен из трех кривых Безье, каждая из которых построена по четырем контрольным точкам: двум опорным и двум управляющим. Опорные точки соответствовали набору полученных экспериментальных данных, а управляющие были рассчитаны для всего сплайна из условия гладкости сплайна, т.е. равенства производных на концах сегментов сплайна. Точка экстремума определена по значению параметру t , которое соответствовало касательной, параллельной к оси абсцисс. Координаты атомов были рассчитаны, используя описанный подход, а также в программе SobolD, построенная по разностям координат сравнительная гистограмма имела вид Гауссовой кривой с шириной на полувысоте, составлявшей не более 1% от диаметра детектора.

В итоге можно заключить, что используемый нами подход определения точек экстремума для набора значений короткого высоковольтного импульса, зависящих от значений времени прилета атомов на детектор, с помощью аппроксимации сплайном Безье позволяет получить достаточно точные значения координат атомов в исследуемом образце. На основании сравнительной гистограммы можно утверждать, что наблюдаемые отклонения результатов этого подхода от результатов, полученных с помощью программы SobolD, связаны с погрешностью дискретизации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-20174

Методика получения пределов на константы связи эффективной теории из процесса электрослабого рождения Z -бозона с фотоном для данных второго сеанса работы эксперимента ATLAS

Семушин А.Е.¹, Солдатов Е.Ю.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Поиски отклонений от Стандартной модели (СМ) мотивированы очевидностью её неполноты и стремлением к созданию более общей теории физики элементарных частиц. В данной работе поиск проявлений новой физики ведётся косвенным способом на основе изменения взаимодействий уже известных частиц из-за влияния физики за рамками СМ. Отличные от СМ взаимодействия называются аномальными (или аномальными вершинами взаимодействия).

Изучаемый в данной работе процесс электрослабого рождения Z -бозона с фотоном является чувствительным к аномальным четверным бозонным вершинам. Используемая феноменология, эффективная теория поля, позволяет модельнонезависимо представить искомые проявления новой физики в виде параметризации лагранжиана СМ операторами высших размерностей. Перед каждым таким оператором стоят некоторые коэффициенты, являющиеся по смыслу константами связи теории.

В работе излагается методика, разработанная для получения одномерных пределов на значения коэффициентов при операторах. В результате для некоторых операторов становится возможным получение ожидаемых и наблюдаемых пределов, более жёстких, чем существующие на данный момент.

Интегрируемая система обобщенных релятивистских взаимодействующих волчков

Сечин И.А.¹

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

В докладе будет рассказано о системах $GL(NM)$ релятивистских взаимодействующих волчков, которые оказываются интегрируемыми обобщениями спиновых систем типа Руйсенарса–Шнайдера с M частицами, с одной стороны, и классических релятивистских интегрируемых волчков на группе Ли $GL(N)$, с другой стороны. Для таких систем построена пара Лакса со спектральным параметром, которая в нерелятивистском пределе переходит в пару Лакса для уже известной обобщенной системы волчков. Основным составным блоком для построения пар Лакса используется квантовая $GL(N)$ R -матрица в фундаментальном представлении $GL(N)$, которая является решением ассоциативного уравнения Янга–Бакстера.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-01-00926

Исследование двухфотоэлектронной эмиссии в фотоумножителях детектора RED-100

Симаков Г.Е.¹

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

Доклад освещает проблему двухфотоэлектронной эмиссии в фотоумножителях детектора RED-100 от одиночных фотонов. Ввиду малой величины сигналов от когерентного рассеяния нейтрино в рабочем режиме детектора, такой эффект может вносить дополнительные погрешности в измерения и должен учитываться как при моделировании, так и при анализе данных. В работе было проведено измерение вероятности двухфотоэлектронной эмиссии для всех ФЭУ детектора RED-100 в рабочем режиме - ультрафиолетовый сцинтилляционный свет 175 нм, -100°С. Кроме того, для демонстрации зависимости вероятности двухфотоэлектронной эмиссии от длины волны был проведён анализ аналогичных сигналов от синего светодиода. Результаты представляют важность для непосредственного функционирования детектора RED-100 и с дополняют результаты других публикаций по теме.

Исследование событий с W- или Z-бозоном и струями, инициированными с- и b-кварками в эксперименте CMS

Степеннов А.Д.¹

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

Процессы образования W- и Z-бозонов со струями, инициированными с- или b- кварками, являются фоновыми в исследованиях событий, описываемых Стандартной моделью, рождении бозона Хиггса, а также при поиске явлений, выходящих за рамки предсказаний Стандартной модели. Изучение таких процессов необходимо для проверки предсказаний существующих Монте-Карло генераторов. Измерение дифференциальных сечений таких событий, как функций от различных кинематических наблюдаемых, позволяет уточнить значения функции плотности вероятности для s- c- и b- кварков внутри протона.

В докладе приведены результаты исследования событий с векторными бозонами и струями, инициированными с- и b- кварками в эксперименте CMS.

Исследование различных граничных условий в решеточной глюодинамике

Сычев Д.А.^{1,2}

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

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

В данной работе проводится исследование согласованности наблюдаемых в решеточных калибровочных теориях с периодическими граничными условиями, а также недавно предложенными граничными условиями, облегчающими переход между различными топологическими секторами. Сравнения проводились путем моделирования методами Монте-Карло для теорий с калибровочными группами $SU(2)$ и $SU(3)$. Были произведены измерения средних значений петель Вильсона, отношений Кройца, межкваркового потенциала, а также массы скалярного глюбола. Для измеренных величин в пределах погрешностей измерений не было обнаружено зависимости от граничных условий. В частности, из независимости от граничных условий межкваркового потенциала следует, что физический шаг решетки тоже не зависит от граничных условий. На основании этого, а также данных о физическом шаге решетки на основании параметра Зоммера была произведена экстраполяция массы скалярного глюбола на непрерывный предел, при этом результат в пределах погрешности совпал со значением массы, полученной с применением моделирования на анизотропных решетках. Таким образом, полученные данные позволяют полагать, что применение нового варианта граничных условий поможет улучшить точность измерений наблюдаемых в решеточных теориях, при этом можно ожидать согласования результатов с результатами, полученными с применением традиционных периодических граничных условий.

Изучение сцинтилляционного прототипа детектора на основе кремниевых фотоумножителей с функцией Time-over-threshold (ToT)

Тишевский А.В.¹

¹ *Объединенный институт ядерных исследований*

В работе представлены результаты для прототипа детектора с использованием разработанной Front-end электроники (FEE), основанной на методике Time-over-Threshold (ToT). Был исследован отклик от светодиодного источника калиброванных световых импульсов и представлена временная коррекция. Данная работа ведется в рамках разработки системы локальной поляриметрии и локального контроля светимости для детектора спиновой физики (SPD) ускорительного комплекса NICA/Нуклотрон.

Особенности кривых блеска при микролинзировании на скоплении первичных чёрных дыр

Тощенко К.Ф.¹, Бакланов П.В.¹

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

В последнее время проблему объяснения скрытой массы Вселенной активно пытаются решить с помощью первичных черных дыр. Однако на одиночные черные дыры уже получены различные наблюдательные ограничения. Кластеризация первичных черных дыр (ПЧД) позволяет обойти эти ограничения.

В работе мы исследовали как отличаются кривые блеска в случае линзирования на скоплении ПЧД от линзирования на одиночных черных дырах. Так же в работе мы получили статистические распределения параметров пиков (магнитуды и продолжительности) событий микролинзирования на скоплении ПЧД. Полученные результаты могут быть использованы для поиска скопления ПЧД в наблюдательных данных.

Комментарии к динамическому эффекту Казимира

Трунин Д.А.¹, Ахмедов Э.Т.¹

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

В качестве модели динамического эффекта Казимира рассмотрена теория безмассового скалярного поля в одномерной полости, то есть области (1+1)-мерного пространства Минковского, ограниченной двумя движущимися идеальными зеркалами. Вычислены петлевые поправки к заселенности энергетических уровней и аномальному квантовому среднему в теории с квартичным взаимодействием. На временах много меньше расстояния между зеркалами указанные квантовые средние квадратично растут со временем, что совпадает с вычислениями для одиночного идеального зеркала. Тем не менее, мы показываем, что этот эффект возникает из-за неаккуратного обращения с инфракрасными расходимостями и не связан с изменением состояния теории. На временах много больше расстояния между зеркалами квантовые средние также растут со временем, однако коэффициенты и степень этого роста существенно изменяются. Кроме того, мы обсуждаем, как на указанных эффектах сказывается неидеальность зеркал (то есть способность пропускать высокочастотные кванты).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-01-00460

Многомерное моделирование сверхмощных сверхновых с учетом M1-приближения для переноса излучения

Урвачев Е.М.¹, Шидловский Д.С.¹, Глазырин С.И.¹, Блинников С.И.¹

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

В последнее время к сверхмощным сверхновым, чья светимость в пике превышает значение для обычных сверхновых на несколько порядков, приковано повышенное внимание, в частности из-за использования их для определения космологических расстояний. Согласно одной из обсуждаемых моделей, столь высокая светимость объясняется прохождением сильной ударной волны по плотной околозвездной оболочке, что сопровождается высоким темпом радиационных потерь. Из-за возможных проявлений различных неустойчивостей процесс требует аккуратного многомерного моделирования переноса излучения, который при текущем уровне развития вычислительных мощностей возможен лишь с использованием приближенных моделей. Одним из используемых приближений является M1-модель, основанная на специальном виде замыкания моментной системы уравнений переноса. Базовые наборы тестов, используемые для тестирования методов численного моделирования переноса излучения, не могут раскрыть всех особенностей различных приближений. В данной работе мы представляем некоторые дополнительные тестовые задачи, которые призваны раскрыть особенности M1-приближения переноса излучения. Особое внимание мы уделяем тестовым задачам, в которых присутствует уходящий из области поток излучения, поскольку аналогичная картина наблюдается при вычислении кривых блеска сверхновых. Также мы приводим некоторые результаты многомерного моделирования сверхмощных сверхновых.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-52-50014

Динамика струны в 5-мерном пространстве Kerr-AdS и голографические приложения

Голубцова А.А.^{1,2}, Eric Gourgoulhon³, Усова М.К.²

¹ *Лаборатория теоретической физики им. Боголюбова, Объединенный институт ядерных исследований*

² *Государственный университет "Дубна"*

³ *Laboratoire Univers et Theories, Observatoire de Paris, CNRS, Universite PSL, Universite de Paris*

Черная дыра Керра в 5-мерном пространстве анти-де Ситтера как гравитационный объект голографически дуальна 4-мерной термальной конформной теории поля. Такую черную дыру характеризуют масса и два угловых момента с соответствующими им параметрами вращения. В рамках голографического подхода с помощью пространства Kerr-AdS возможно описание вращающейся кварк-глюонной плазмы и вычисление силы тяги, действующей на тяжелый кварк. При этом исследование движения кварка сводится к изучению динамики открытой струны в пространстве черной дыры.

Наиболее подробно в работе рассмотрен случай такой динамики при ненулевых и отличных друг от друга параметрах вращения. С учетом этого было построено действие Намбу-Гото, соответствующие ему уравнения движения и их решение, отражающее поведение тяжелого кварка во вращающейся кварк-глюонной плазме. Определены компоненты силы тяги, выражение для которой согласуется с результатами, полученными из низкоразмерностного случая голографической дуальности, и гидродинамическими вычислениями.

Проект второго канала ускорителя ТИПр для проведения работ по имитационным облучениям

Федин П.А.¹, Зиятдинова А.В.¹, Прянишников К.Е.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. Под действием нейтроном в материале возникают дефекты кристаллической решетки и происходит накопление продуктов трансмутации (гелия и водорода) в структуре материала. В НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ ведутся работы по изучению радиационной стойкости новых материалов в имитационных экспериментах на ионных пучках. В рамках имитационных экспериментов формирование дефектов производится пучком ускоренных тяжелых (Fe, Ti, V) ионов на ускорителе ТИПр. Для имплантации в исследуемую область гелия и водорода на ускорителе ТИПр проектируется второй канал. В докладе представлен концептуальный проект данного канала, включающий инжектор, канала транспортировки пучка и мишенной камеры, обеспечивающей одновременное облучение образцов двумя пучками ионов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-20174

Сравнение результатов воздействия нейтронного и ионного облучения на ферритно-мартенситную сталь Eurofer97

Фролов В.О.¹

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

В рамках данной работы методами атомно-зондовой томографии проведено исследование распределения химических элементов в стали Eurofer 97 облученной ионами Fe⁺ с энергией 5,6 МэВ при температурах 300, 350, 400, 500 С, а также при нейтронном облучении при температуре 330 С до эквивалентной повреждающей дозы 32 смещения на атом. Эксперимент по ионному облучению проводился с целью анализа возможности использования ускорителей заряженных частиц для имитации нейтронных повреждений. Во всех материалах после облучения обнаружены неоднородности в твердом растворе, представляющие собой наноразмерные выделения, обогащенные атомами Cr, Mn, C, с характерными размерами порядка 3.41 нм и объемной плотностью

$0.33 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$. При этом с ростом температуры облучения наблюдается рост обогащения кластеров по Cr, Mn, C, а также увеличение их объемной плотности. Детальное сравнение химического состава и морфологии кластеров показало, что режим ионного облучения при температуре 400 С воспроизводит радиационно-индуцированные кластеры после нейтронного облучения с максимальной степенью соответствия.

Что мы можем узнать о глюонной аномалии из двух фотонных процессов

Хлебцов С.П.¹

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

С помощью дисперсионного подхода к аксиальной аномалии А.Д.Долгова и В.И.Захарова был рассмотрен неабелев случай при произвольных фотонных виртуальностях. Выведены аномальные правила сумм для синглетного тока и получены переходные форм-факторы $\pi^0, \eta, \eta' \rightarrow \gamma\gamma^{(*)}$. Используя их, было установлено поведение непертурбативного глюонного матричного элемента $\langle 0 | G\tilde{G} | \gamma\gamma^{(*)} \rangle$ как для случая двух реальных фотонов, так и для случая одного виртуального фотона во времени-подобной и пространственно-подобной областях. Наблюдалась дуальность между аксиальным и векторным каналами. Высказывается предположение о возможности существования легкого псевдоскалярного глюобольного состояния.

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

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

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-20174

Оптическая диагностика газоразрядной водородной плазменной мишени

Хурчиев А.О.¹, Гаврилин Р.О.¹, Голубев А.А.¹, Канцырев А.В.¹

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

Исследования тормозной способности в ионизованном веществе важно для получения новых знаний в области физики высокой плотности энергии в веществе и физике плазмы. Важной частью этих экспериментов является сопоставление между энергетическими потерями ионов и параметрами плазмы, такими как: электронная плотность, температура и степень ионизации. В ИТЭФ были разработаны водородная плазменная мишень [1] и установка для измерения потерь энергии ионов [2].

Временная зависимость электронной плотности и степени ионизации плазмы измерялась с помощью лазерной интерферометрии. Интерферометр основан на He-Ne лазере с длиной волны $\lambda_1 = 632.8$ нм и $Nd^{3+} : YVO_4$ лазере с внутриврезонаторной генерацией второй гармоники $\lambda_2 = 532$ нм). Лазерные пучки пространственно совмещаются зеркалами и направляются в интерферометр Маха-Цандера. Исследуемая плазменная мишень расположена в одном из плеч интерферометра. После прохождения интерферометра зондирующий лазерный пучок с различными длинами волн пространственно разделяется с помощью дисперсионной призмы и попадает на детекторы. Также была проведена интегральная оптическая спектрометрия водородной плазмы для определения интегральной электронной плотности.

Линейная плотность свободных электронов и степень ионизации плазмы были измерены для начального давления 1–4,5 Торр, емкости конденсаторных батарей 1,3 мкФ, 2,5 мкФ и 3,8 мкФ и напряжения на них 1,5–5 кВ. Измеренная линейная электронная плотность изменяется в пределах $(0,24 - 1,2) \cdot 10^{18}$ см⁻². Интегральная объемная электронная плотность составила $(0,1 - 2) \cdot 10^{16}$ см⁻³.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-02-00967

Список литературы:

- [1] A. Golubev, V. Turtikov, A. Fertman et al, Nucl. Instr. An d Meth. A, V. 464, (2001), p. 247
- [2] R.O. Gavrilin et al. GSI Report 2018-2, p. 34

Новая симметрия полинома Александра

Мишняков В.В.¹, Слепцов А.В.¹, Целоусов Н.С.¹

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

В своей работе мы исследуем полиномиальные инварианты узлов, а именно цветной полином Александра. Данный инвариант является частным случаем широко известного инварианта HOMFLYPT. Более точно, цветные полиномы Александра образуют целое семейство инвариантов, пронумерованное диаграммами Юнга. В работе представлена новая гипотетическая симметрия tug-the-hook цветных полиномов Александра, которая связывает члены семейства с разными диаграммами Юнга. Приведен ряд аргументов в пользу существования данной симметрии. Во-первых, цветной полином Александра и симметрия tug-the-hook оказываются связаны с теорией представления супералгебр. Во-вторых, симметрия верно описывает первые несколько членов петлевого разложения полинома Александра. В-третьих, симметрия tug-the-hook является следствием гипотезы о собственных значениях, которая, в свою очередь, проверена на множестве примеров и доказана для некоторых частных случаев.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №20-01-00644

Алгоритмы коррекции орбиты Бустера NICA

Шандов М.М.¹, Костромин С.А.¹

¹ *Объединенный институт ядерных исследований*

Ускорительный комплекс NICA включает в себя две цепочки линейных инжекторов, новый сверхпроводящий бустерный синхротрон (Бустер) с энергией 600 МэВ/нуклон, действующий сверхпроводящий синхротрон Нуклотрон и сооружаемый сверхпроводящий Коллайдер, состоящий из двух накопительных колец длиной 503 м каждое. В настоящее время, завершается процедура технологического пуска Бустера, после чего планируется сеанс работы с пучком. Одной из первых операций после инжекции пучка является коррекция замкнутой орбиты и обеспечение устойчивой циркуляции. Необходимо обеспечивать положение замкнутой орбиты относительно равновесной в пределах требуемых значений на протяжении всего рабочего цикла. В работе рассмотрены алгоритмы коррекции замкнутой орбиты в сверхпроводящих синхротронах, применимые для реализации в Бустере и ожидаемые результаты их применения при работе с пучком.

Исследование структуры плотного слоя в радиационно-доминированной ударной волне в остатках сверхновых

Шарова Ю.С.¹, Глазырин С.И.¹

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

Радиационно-доминированные ударные волны возникают при расширении вещества сверхновой в окружающую межзвёздную среду. Такие ударные волны интересны тем, что являются природными ускорителями и приводят к генерации космических лучей сверхвысоких энергий. Из-за высокой разреженности космической плазмы за ударной волной на поздних стадиях эволюции остатка сверхновой вследствие катастрофического охлаждения формируется геометрически тонкий плотный слой. Его структура в значительной степени определяет эффективность генерации космических лучей и зависит от многих факторов: скорости высвечивания энергии в межзвёздной плазме, величины магнитных полей и т.д. Кроме этого, потеря сферической симметрии слоя может привести к его разрушению на отдельные части. В докладе будет представлен анализ структуры этого слоя и процессов его формирования. Для моделирования использовался программный комплекс MARPLE (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН).

Развитие метода сферических гармоник и дискретных ординат для моделирования переноса излучения в астрофизических задачах

Шидловский Д.С.¹

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

Метод сферических гармоник и дискретных ординат и одноименный код SHDOM были изначально созданы для расчёта стационарной картины излучения в атмосфере. Он основан на методе коротких характеристик и использует разложение поля излучения как по дискретным направлениям, так и по сферическим функциям, для более точного учёта рассеяния. В последствии оригинальный код был модифицирован в нестационарный для расчета переноса излучения в астрофизических задачах.

В данном докладе обсуждается дальнейшее развитие метода и программного кода и объединение с гидродинамическим кодом FRONT для проведения радиационно-гидродинамических расчетов, например, сверхновых. Метод сферических гармоник и дискретных ординат является гораздо более детальным и точным в сравнении с диффузионным переносом или M1-приближением. Он корректно обращается с сильно неравновесным и не изотропным излучением, а также правильно рассчитывает сложное рассеяние света. Однако, он, как и следует этого ожидать, является заметно более ресурсоёмким.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-52-50014

Разработка автоматизированной системы управления проведения атомно-зондового анализа и средств управления атомно-зондовым томографом

Шутов А.С.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»*

Атомно-зондовая томография (АЗТ) включает сложную многоэтапную процедуру получения и обработки данных. Одним из основных этапов является сбор данных, проводимый при помощи атомно-зондового томографа. Данный процесс подразумевает по-атомное полевое испарение образца при помощи высокочастотной системы генерации электрических импульсов, или фемтосекундного лазерного излучения. Данная процедура осложнена необходимостью поддержки множества параметров протекающего эксперимента, таких как: криогенные температуры, высокий вакуум, напряжение на образце и поток событий. Автоматизация управления параметрами АЗТ установки требует специальной системы контроля, проводящей запросы по шинам последовательных соединений RS-485 с элементами обратной связи. Дополнительные сложности создает то обстоятельство, что некоторые из контролируемых параметров зависят друг от друга, что требует организации сценариев управляющих действий, зависящих от сигналов, приходящих с устройств АЗТ установки. Данная логика требует реализации сложной системы управления задачами с поддержкой приоритетов и асинхронностью общения центра управления с приборами.

В данной работе представлены подходы к организации системы управления на персональном компьютере, с поддержкой tcp/ip протокола связи с удаленными пользователями и многопоточной архитектурой управления устройствами. Показан пример асинхронного сервера управления устройствами по шине RS-485, реализованном при помощи средств мультиплатформенной IDE Qt. Отдельно разобраны принципы организации модульного проектирования с поддержкой системы Qt Plugin, позволяющее подключать новые устройства к системе управления через добавление динамических библиотек. Продемонстрирован пример организации системы прав доступа и управления установкой при помощи сети интернет посредством протоколов tcp/ip. В работе также рассматривается вариант интеграции реляционной базы данных в разрабатываемую систему управления, для организации собираемых данных и прав доступа.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-20174

Построение самосогласованных моделей карликовой галактики-спутника млечного пути в созвездии Печь

Щелканова Г.А.¹

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

В работе рассматривается построение квазиравновесных самосогласованных двухкомпонентных моделей карликовой галактики-спутника Млечного Пути в созвездии Печь. В таких галактиках наблюдается преобладание тёмной материи и в них практически нет газовой составляющей. Эти объекты идеальны для моделирования N тел, учитывающего две компоненты: звездную и гало темной материи. Мы строим модели, где каждая из N частиц следует по своей орбите в самосогласованном потенциале, который этими частицами и создается. В работе использованы два различных программных кода для получения численных моделей галактики при N порядка нескольких миллионов. Один из них (GalactICS Software, NEMO) основан на самосогласованном построении функций распределения, зависящих только от энергии E и момента импульса L_z . Другой код включен в среду AGAMA и рассчитывает орбиты движения частиц в самосогласованном потенциале, используя метод Швардшильда. Для построения компонент в работе в качестве начального приближения была использована гидродинамическая модель галактики, учитывающая анизотропию дисперсии скоростей. Изначально гидродинамическими моделями, т.е. уравнениями Джинса, в литературе и ограничивались для этого объекта, но пробеги частиц тёмной материи и звёзд в галактиках огромны, и применимость гидродинамического приближения сомнительна. Дальнейшие исследования карликовых сфероидальных галактик-спутников Млечного Пути предполагали не самосогласованные (т. е. движения звезд в поле тёмного гало) модели этих объектов на основе функций распределения, зависящих от интегралов действия, либо самосогласованное моделирование проводилось для сферически симметричных моделей. Наши модели являются самосогласованными и осесимметричными, т. е. учитывают сплюснутость звездной составляющей и вытянутость гало тёмной материи. По данным распределениям плотностей компонент мы получили модельные профили дисперсии скоростей звездной составляющей галактики. Эти профили согласуются с наблюдательными данными по звездной компоненте и могут использоваться для предсказаний аннигиляционного сигнала для тёмной материи. Мы также провели расчёты динамической эволюции полученных моделей в самосогласованном гравитационном поле N тел. Модели оказались достаточно устойчивы на протяжении нескольких десятков динамических времен.

Анализ производительности и оптимизация программного пакета VmnRoot

Юфрякова А.А.¹, Мерц С.П.², Немнюгин С.А.¹

¹ СПбГУ

² Объединенный институт ядерных исследований

Частью ускорительного комплекса NICA (Nuclotron based Ion Collider fAcility), создаваемого в Объединённом институте ядерных исследований (г.Дубна), является экспериментальная установка VM@N (Baryonic Matter at Nuclotron). Для моделирования, реконструкции событий и обработки данных, полученных с детекторов установки, разрабатывается и регулярно модернизируется программный комплекс VmnRoot. Для соответствия нуждам эксперимента комплекс необходимо модифицировать и оптимизировать. В рамках работы проведен анализ производительности программного комплекса, выявлены самые ресурсоёмкие части кода и выполнена оптимизация модулей реконструкции событий.

Работа поддержана грантом РФФИ №18-02-40104.

Затухание фотона в сильно замагниченной плазме.

Ярков А.А.¹, Румянцев Д.А.¹, Чистяков М.В.¹

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

Исследован процесс распространения электромагнитной волны в сильно замагниченной, зарядово-симметричной плазме. Учитывая изменение дисперсионных свойств фотона в магнитном поле и плазме установлено, что аналогично случаю чистого магнитного поля, процесс затухания фотона в замагниченной плазме имеет неэкспоненциальный характер. Показано, что эффективная ширина поглощения фотона существенно меньше по сравнению с известными в литературе результатами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-32-90068

ОГЛАВЛЕНИЕ

Влияние магнитного поля на скорость звука в кварк-глюонной плазме. <u>Абрамчук Р.А., Хайдуков З.В.</u>	3
Оценка возможностей измерения фотонов и нейтральных мезонов с помощью модернизированного спектрометра ФОС эксперимента ALICE. <u>Аверьянов Д.А., Блау Д.С.</u>	4
Поиск электрического дипольного момента дейтрона с использованием накопительного кольца. <u>Аксентьев А.Е.</u>	5
6-j символы без кратностей: соответствия, симметрии, асимптотики. <u>Алексеев В.А., Слепцов А.В., Морозов А.А.</u>	6
Идентификация лёгких ядер в космических лучах в эксперименте PAMELA по многократным измерениям потерь энергии вдоль трека. <u>Алексеев В.В.</u>	7
Комбинаторика универсальных констант иерархии \hbar -КП. <u>Андреев А.В., Жабин А.А., Слепцов А.В., Пополитов А.В.</u>	8
Дополнительные сингулярности пропагаторов в пространствах с горизонтами. <u>Анемподистов П.А., Ахмедов Э.Т.</u>	9
Исследование тока для поля фермионов на фоне внешнего электрического пульса. <u>Анохин А.В., Ахмедов Э.Т.</u>	10
Взаимосвязь между уравнением Ландау-Лифшица и полевой системой Калоджеро-Мозера. <u>Аталиков К.Р.</u>	11
Дифференциальное разложение цветных полиномов ХОМФЛИ. <u>Бишлер Л.В.</u>	12
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>	13
Исследование линейности отклика фотоэлектронных умножителей детектора ДАНСС. <u>Бородулина Д.А.</u>	14
Квантовая система с полиномиальным потенциалом в фазовом пространстве. <u>Перепелкин Е.Е., Садовников Б.И., Иноземцева Н.Г., Бурлаков Е.В., Садовникова М.Б.</u>	15
Исследование возможности регистрации состояний ХсJ (J = 0, 1, 2) в эксперименте ALICE на БАК. <u>Варламов А.М.</u>	16
Измерение тормозных потерь ионов железа с энергией 100 кэВ/а.е.м. в водородной плазме. <u>Гаврилин Р.О., Хурчиев А.О., Канцырев А.В., Рудской И.В., Голубев А.А.</u>	17
Поиск тяжелого бозона Хиггса в канале распада $H \rightarrow WW \rightarrow e\nu\nu/\mu\nu\nu$ на полной статистике 139 fb^{-1} при 13 ТэВ в эксперименте ATLAS на LHC. <u>Гаврилюк А.А., Рамакоти Е.Н., Цукерман И.И.</u>	18
Моделирование характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ. <u>Галикян Н.Г., Юлбарисов Р.Ф., Голубков В.С.</u>	19
Определение характеристик неупругого взаимодействия легких ядер с вольфрамом по измерениям космических лучей в эксперименте ПАМЕЛА. <u>Голуб О.А., Майоров А.Г.</u>	20
Разработка улучшенных методов реконструкции эта-мезонов в эксперименте ALICE. <u>Голубева М.С., Блау Д.С.</u>	21
Моделирование кривых блеска сверхновых. <u>Гольдштейн А.А., Блинников С.И., Костина М.В.</u>	22
Диффузия димежузлий в однородно деформированных ОЦК кристаллах Fe и V: молекулярно-динамическое исследование. <u>Демидов Д.Н., Сивак А.Б., Сивак П.А.</u>	23
Одновременное измерение потоков нейтрино от солнечной pp-цепи с помощью детектораorexino. <u>Драчев И.С.</u>	24
Использование распараллеливания в задачах анализа физических данных эксперимента LHCb. <u>Егорычев А.В., Беляев И.М., Овсянникова Т.А., Матюнин В.И.</u>	25
Разложение по родам матричных моделей и \hbar разложение иерархии КП. <u>Жабин А.А., Андреев А.В., Слепцов А.В., Пополитов А.В.</u>	26
Статус обработки данных электромагнитного калориметра ECAL эксперимента BM@N (NICA). <u>Ставинский А.В., Алексеев П.Н., Жигарева Н.М.</u>	27
Фазовая диаграмма КХД и ее дуальности (Dualities in three and two color QCD phase diagram). <u>Жохов Р.Н., Хунжуа Т.Г., Клименко К.Г.</u>	28

Влияние ионного облучения при температуре 500°С на микроструктуру и механические свойства сплава W-6Re. <u>Захарова П.С., Никитин А.А., Рогожкин С.В., Федин П.А.</u>	29
Сегрегация легирующих элементов на дислокационные структуры малоугловой границы в ферритно-мартенситных сталях при ионном и реакторном облучениях.. <u>Искандаров Н.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А., Хомич А.А., Федин П.А.</u>	30
Оптимизация алгоритма поиска первичной вершины для эксперимента VM@N с учетом топологии событий. <u>Кахановская Н.Е., Мерц С.П., Немнюгин С.А.</u>	31
Томографический атомно-зондовый анализ дисперсно-упрочнённой оксидами стали 10CrODS при различных дозах облучения. <u>Клауз А.В., Залужный А.Г., Рогожкин С.В., Хомич А.А.</u>	32
Топологические квантовые вычисления при больших k. <u>Колганов Н.М.</u>	33
Вариация критической энергии в применении к ускорительному комплексу NICA. <u>Колокольчиков С.Д., Сеничев Ю.В.</u>	34
Улучшение энергетического разрешения высокогранулярных калориметров с использованием нейронных сетей. <u>Корпачев С.С.</u>	35
Исследование самодуальной теории Янга-Миллса и ее суперсимметричного обобщения. <u>Кузнецов Д.Д.</u>	36
Групповые факторы цветных полиномов ХОМФЛИ. <u>Ланина Е.Н., Слепцов А.В.</u>	37
Применение методов обратной свертки для задачи восстановления энергетического спектра. <u>Леванова О.А., Богомолов Ю.В.</u>	38
Разработка комплекса атомно-зондовой томографии. <u>Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Разницын О.А., Алеев А.А., Рогожкин С.В.</u>	39
Функции возбуждения 208,207,206,nat Pb(p,x)(207Bi,202Pb,194Hg) и 209Bi (p,x)(207Bi,202Pb,194Hg). <u>Титаренко Ю.Е., Батяев В.Ф., Павлов К.В., Лушин С.В., Бусыгин А.С.</u>	40
Изучение прелестных барионов в эксперименте LHCb. <u>Матюнин В.И.</u>	41
Разработка метода идентификации частиц в эксперименте VM@N NICA. <u>Машицын К.И., Мерц С.П., Немнюгин С.А., Рогожкин С.В.</u>	42
Ионизационно-пропорциональный газовый счётчик на ускорителе ИЯИ РАН. <u>Мельников А.А., Гаврилов С.А.</u>	43
Экзотическая A-модель на сфере: склейка топологической и анти-топологической теорий.. <u>Мишняков В.В.</u>	44
Измерение односпиновой асимметрии заряженных пионов в эксперименте СПАСЧАРМ на ускорителе У70. <u>Мусеев В.В.</u>	45
Моделирование системы экстракции ЭЦР источника для второго канала ТИПР. <u>Морозов И.С.</u>	46
Моделирование детектора переходного излучения на основе тонкостенных пропорциональных камер с помощью пакета программ GEANT4. <u>Нечаева С.А.</u>	47
Изучение распадов нейтральных странных b- мезонов в многочастичное состояние с чармониями. <u>Овсянникова Т.А., Голубков Д.Ю., Перейма Д.Ю.</u>	48
Исследование Xc1(3872) состояния в распадах b-адронов в эксперименте LHCb. <u>Перейма Д.Ю.</u>	49
Голографическая модель экситонного конденсата в двухслойном Дираковском полуметалле. <u>Пикалов А.Б.</u>	50
Подготовка и проведение облучательных экспериментов для экспресс-анализа конструкционных материалов реакторов на ускорителе ТИПР. <u>Прянишников К.Е., Федин П.А., Лукашин А.Ю., Куйбида Р.П., Кулевой Т.В.</u>	51
Разработка модуля аналогового-цифрового преобразования для высокоскоростных позиционно-чувствительных детекторов. <u>Разницын О.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Рогожкин С.В.</u>	52
Моделирование низкоэнергетичных событий в детекторе РЭД-100. <u>Разуваева О.Е.</u>	53
Обнаружение сигнала от бозона Хиггса в механизме рождения VBF в канале распада h->WW*->lvlv на полной статистике при 13 ТэВ в эксперименте АТЛАС на БАК. <u>Рамакоти Е.Н., Гаврилюк А.А., Цукерман И.И.</u>	54

Регистрация антипротонов в околосемном пространстве по данным эксперимента ПАМЕЛА. <i>Роденко С.А., Майоров А.Г.</i>	55
Прецизионный способ определения атомных координат в атомно-зондовой томографии. <i>Руцкой Б.В., Шутов А.С., Рогожкин С.В.</i>	56
Методика получения пределов на константы связи эффективной теории из процесса электрослабого рождения Z-бозона с фотоном для данных второго сеанса работы эксперимента ATLAS. <i>Семушин А.Е., Солдатов Е.Ю.</i>	57
Интегрируемая система обобщенных релятивистских взаимодействующих волчков. <i>Сечин И.А.</i>	58
Исследование двухфотоэлектронной эмиссии в фотоумножителях детектора RED-100. <i>Симаков Г.Е.</i>	59
Исследование событий с W- или Z-бозоном и струями, инициированными с- и b- кварками в эксперименте CMS. <i>Степеннов А.Д.</i>	60
Исследование различных граничных условий в решеточной глюодинамике. <i>Сычев Д.А.</i>	61
Изучение сцинтилляционного прототипа детектора на основе кремниевых фотоумножителей с функцией Time-over-threshold (ToT). <i>Тишевский А.В.</i>	62
Особенности кривых блеска при микролинзировании на скоплении первичных чёрных дыр. <i>Тоценко К.Ф., Бакланов П.В.</i>	63
Комментарии к динамическому эффекту Казимира. <i>Трунин Д.А., Ахмедов Э.Т.</i>	64
Многомерное моделирование сверхмощных сверхновых с учетом M1-приближения для переноса излучения. <i>Урвачев Е.М., Шидловский Д.С., Глазырин С.И., Блинников С.И.</i>	65
Динамика струны в 5-мерном пространстве Kerr-AdS и голографические приложения. <i>Голубцова А.А., Eric Gourgoulhon, Усова М.К.</i>	66
Проект второго канала ускорителя ТИПр для проведения работ по имитационным облучениям. <i>Федин П.А., Зиятдинова А.В., Прянишников К.Е., Козлов А.В., Кулевой Т.В.</i>	67
Сравнение результатов воздействия нейтронного и ионного облучения на ферритно-мартенситную сталь Eurofer97. <i>Фролов В.О.</i>	68
Что мы можем узнать о глюонной аномалии из двух фотонных процессов. <i>Хлебцов С.П.</i>	69
Исследование изменения наноструктуры дисперсно-упрочненных оксидами сталей под воздействием облучения ионами железа. <i>Хомич А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А., Богачев А.А., Хорошилов В.В.</i>	70
Оптическая диагностика газоразрядной водородной плазменной мишени. <i>Хурчиев А.О., Гаврилин Р.О., Голубев А.А., Канцырцев А.В.</i>	71
Новая симметрия полинома Александра. <i>Мишняков В.В., Слепцов А.В., Целоусов Н.С.</i>	72
Алгоритмы коррекции орбиты Бустера NICA. <i>Шандов М.М., Костромин С.А.</i>	73
Исследование структуры плотного слоя в радиационно-доминированной ударной волне в остатках сверхновых. <i>Шарова Ю.С., Глазырин С.И.</i>	74
Развитие метода сферических гармоник и дискретных ординат для моделирования переноса излучения в астрофизических задачах. <i>Шидловский Д.С.</i>	75
Разработка автоматизированной системы управления проведения атомно-зондового анализа и средств управления атомно-зондовым томографом. <i>Шутов А.С., Лукьянчук А.А., Разницын О.А., Рогожкин С.В.</i>	76
Построение самосогласованных моделей карликовой галактики-спутника млечного пути в созвездии пещ. <i>Щелканова Г.А.</i>	77
Анализ производительности и оптимизация программного пакета VmRoot. <i>Юфрякова А.А., Мерц С.П., Немнюгин С.А.</i>	78
Затухание фотона в сильно замагниченной плазме. <i>Ярков А.А., Румянцев Д.А., Чистяков М.В.</i>	79

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Eric Gourgoulhon</i>	66
<i>Абрамчук Р.А.</i>	3
<i>Аверьянов Д.А.</i>	4
<i>Аксентьев А.Е.</i>	5
<i>Алеев А.А.</i>	39
<i>Алексеев В.А.</i>	6
<i>Алексеев В.В.</i>	7
<i>Алексеев П.Н.</i>	27
<i>Андреев А.В.</i>	8, 26
<i>Анемподистов П.А.</i>	9
<i>Анохин А.В.</i>	10
<i>Аталиков К.Р.</i>	11
<i>Ахмедов Э.Т.</i>	9, 10, 64
<i>Бакланов П.В.</i>	63
<i>Батяев В.Ф.</i>	40
<i>Беляев И.М.</i>	25
<i>Бишлер Л.В.</i>	12
<i>Блау Д.С.</i>	4, 21
<i>Блинников С.И.</i>	22, 65
<i>Богачев А.А.</i>	13, 70
<i>Богомолов Ю.В.</i>	38
<i>Бородулина Д.А.</i>	14
<i>Бурлаков Е.В.</i>	15
<i>Бусыгин А.С.</i>	40
<i>Варламов А.М.</i>	16
<i>Гаврилин Р.О.</i>	17, 71
<i>Гаврилов С.А.</i>	43
<i>Гаврилук А.А.</i>	18, 54
<i>Галикян Н.Г.</i>	19
<i>Глазырин С.И.</i>	65, 74
<i>Голуб О.А.</i>	20
<i>Голубев А.А.</i>	17, 71
<i>Голубева М.С.</i>	21
<i>Голубков Д.Ю.</i>	48
<i>Голубков В.С.</i>	19
<i>Голубцова А.А.</i>	66
<i>Гольдштейн А.А.</i>	22
<i>Демидов Д.Н.</i>	23
<i>Драчнев И.С.</i>	24
<i>Егорычев А.В.</i>	25
<i>Жабин А.А.</i>	8, 26
<i>Жигарева Н.М.</i>	27
<i>Жохов Р.Н.</i>	28
<i>Залужный А.Г.</i>	32
<i>Захарова П.С.</i>	29

<i>Зиятдинова А.В.</i>	67
<i>Иноземцева Н.Г.</i>	15
<i>Искандаров Н.А.</i>	30
<i>Канцырев А.В.</i>	17, 71
<i>Кахановская Н.Е.</i>	31
<i>Клауз А.В.</i>	32
<i>Клименко К.Г.</i>	28
<i>Козлов А.В.</i>	67
<i>Колганов Н.М.</i>	33
<i>Колокольчиков С.Д.</i>	34
<i>Корпачев С.С.</i>	35
<i>Костина М.В.</i>	22
<i>Костромин С.А.</i>	73
<i>Кузнецов Д.Д.</i>	36
<i>Куйбида Р.П.</i>	51
<i>Кулевой Т.В.</i>	51, 67
<i>Ланина Е.Н.</i>	37
<i>Леванова О.А.</i>	38
<i>Лукашин А.Ю.</i>	51
<i>Лукьянчук А.А.</i>	39, 52, 76
<i>Лушин С.В.</i>	40
<i>Майоров А.Г.</i>	20, 55
<i>Матюнин В.И.</i>	25, 41
<i>Машицин К.И.</i>	42
<i>Мельников А.А.</i>	43
<i>Мерц С.П.</i>	78
<i>Мерц С.П.</i>	31, 42
<i>Мишняков В.В.</i>	44, 72
<i>Моисеев В.В.</i>	45
<i>Морозов А.А.</i>	6
<i>Морозов И.С.</i>	46
<i>Немнюгин С.А.</i>	31, 42, 78
<i>Нечаева С.А.</i>	47
<i>Никитин А.А.</i>	13, 29, 30, 70
<i>Овсянникова Т.А.</i>	25, 48
<i>Павлов К.В.</i>	40
<i>Перейма Д.Ю.</i>	48, 49
<i>Перепелкин Е.Е.</i>	15
<i>Пикалов А.Б.</i>	50
<i>Пополитов А.В.</i>	8, 26
<i>Прянишников К.Е.</i>	51, 67
<i>Разницын О.А.</i>	39, 52, 76
<i>Разуваева О.Е.</i>	53
<i>Рамакоти Е.Н.</i>	18, 54
<i>Рогалев К.И.</i>	42
<i>Рогожкин С.В.</i>	13, 29, 30, 32, 39, 52, 56, 70, 76

<i>Роденко С.А.</i>	55
<i>Рудской И.В.</i>	17
<i>Румянцев Д.А.</i>	79
<i>Руцкой Б.В.</i>	56
<i>Садовников Б.И.</i>	15
<i>Садовникова М.Б.</i>	15
<i>Семушин А.Е.</i>	57
<i>Сеничев Ю.В.</i>	34
<i>Сечин И.А.</i>	58
<i>Сивак А.Б.</i>	23
<i>Сивак П.А.</i>	23
<i>Симаков Г.Е.</i>	59
<i>Слепцов А.В.</i>	6, 8, 26, 37, 72
<i>Солдатов Е.Ю.</i>	57
<i>Ставинский А.В.</i>	27
<i>Степеннов А.Д.</i>	60
<i>Сычев Д.А.</i>	61
<i>Титаренко Ю.Е.</i>	40
<i>Тишевский А.В.</i>	62
<i>Тощенко К.Ф.</i>	63
<i>Трунин Д.А.</i>	64
<i>Урвачев Е.М.</i>	65
<i>Усова М.К.</i>	66
<i>Федин П.А.</i>	29, 30, 51, 67
<i>Фролов В.О.</i>	68
<i>Хайдуков З.В.</i>	3
<i>Хлебцов С.П.</i>	69
<i>Хомич А.А.</i>	30, 32, 70
<i>Хорошилов В.В.</i>	70
<i>Хунжуа Т.Г.</i>	28
<i>Хурчиев А.О.</i>	17, 71
<i>Целоусов Н.С.</i>	72
<i>Цукерман И.И.</i>	18, 54
<i>Чистяков М.В.</i>	79
<i>Шандов М.М.</i>	73
<i>Шарова Ю.С.</i>	74
<i>Шидловский Д.С.</i>	65, 75
<i>Шутов А.С.</i>	39, 52, 56, 76
<i>Щелканова Г.А.</i>	77
<i>Юлбарисов Р.Ф.</i>	19
<i>Юфрякова А.А.</i>	78
<i>Ярков А.А.</i>	79