



Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт физики высоких энергий
имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»



МКТЭФ-2024
МКЛЭФ-2024

СБОРНИК АННОТАЦИЙ ДОКЛАДОВ

**МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ
МКТЭФ-2024**

05 – 08 ноября 2024 г.



Протвино, 2024

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ И ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТЫ:

Председатель программного комитета:

- д.ф.-м.н., Егорычев Виктор Юрьевич, директор НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, председатель программного комитета;

Состав программного комитета:

- к.ф.-м.н., Прокопенко Н.Н., ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, секретарь программного комитета;
- д.ф.-м.н., Тюрин Н.Е.;
- д.ф.-м.н., академик РАН Иванов С.В.;
- д.ф.-м.н., Зайцев А.М.;
- д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН Образцов В.Ф.;
- д.ф.-м.н., Васильев А.Н.;
- к.ф.-м.н., Васильев Д.В.;
- д.ф.-м.н., Петров В.А.;
- к.ф.-м.н., Канцырев А.В.;

Состав организационного комитета:

- к.ф.-м.н., Прокопенко Н.Н., ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ – председатель организационного комитета;
- Небезина Е.А. – секретарь организационного комитета;
- к.ф.-м.н., Канцырев А.В.;
- Лыточкина В.П.;
- Бажинова О.В.;
- д.ф.-м.н., Петров В.А.;
- Васильева Е.Е.;
- Зубов В.С.;
- Котляр В.В.;
- Давыдова А.Ю.;
- Соловьева Л.В.



Сайт конференции:

<http://www.ihep.ru/includes/periodics/anounce/2024/1105/000011054/detail.shtml>

Моделирования откликов дрейфовой камеры в полной конфигурации с накамерной электроникой

Абру У.А.¹, Воробьев В.С.¹, Задеба Е.А.¹, Николаенко Р.В.¹, Трошин И.Ю.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В НОЦ НЕВОД в МИФИ вводится в эксплуатацию крупномасштабный трековый детектор ТРЕК на основе многопроволочных дрейфовых камер. ТРЕК совместно с черенковским водным калориметром НЕВОД позволит изучить удельное энерговыделение в воде от мюонной компоненты в наклонных широких атмосферных ливнях (ШАЛ). Главная цель эксперимента — решение “мюонной загадки”: избыток числа мюонов в экспериментах по ШАЛ при энергиях первичных космических лучей выше 30 ПэВ в сравнении с расчётами.

Для детального расчёта ожидаемых результатов регистрации групп мюонов, а также получения датасетов для обучения и тестирования методов реконструкции многочастичных событий на основе методов глубокого обучения, необходима модель многопроволочной дрейфовой камеры вместе с накамерной электроникой. Доклад посвящен разработке такой модели с использованием программных пакетов Geant4 и Garfield++, а также программы LTspice.

Применение численных методов решения линейных дифференциальных уравнений для физического моделирования процесса неконсервативного обмена масс в рамках двойной модели НЗ

Азизова А.В.¹, Юдин А.В.¹, Крамарев Н.И.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В работе представлен обзор современного состояния модели обдиания для коротких гамма-всплесков. Решение дифференциальных уравнений являются важной и сложной задачей, возникающей при математическом моделировании различных астрофизических задач. Проведен сравнительный анализ численных методов решения линейных дифференциальных уравнений для физического моделирования процесса неконсервативного обмена масс в рамках двойной модели НЗ. Рассмотрено решение данных уравнений численным методом на языке программирования Fortran.

Калибровочная эквивалентность между эллиптической N -частичной моделью Калоджеро-Мозера и уравнением Ландау-Лифшица старшего ранга

Аталиков К.Р.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В исследовании доклада рассматривается $1+1$ -мерное интегрируемое эллиптическое уравнение Ландау-Лифшица, представляющее собой классическую непрерывную версию некоторой квантовой спиновой цепочки, которая описывается квантовой эллиптической R -матрицей Бакстера-Белавина в фундаментальном представлении $GL(N)$. Установлено, что это уравнение калибровочно эквивалентно $1+1$ -мерному полювому аналогу эллиптической модели Калоджеро-Мозера, который известен с 2002 года из работы Ахметшина, Кричевера и Вольвовского. На основе данной связи были получены замены переменных между интегрируемыми моделями на двумерном пространстве-времени.

Эффект периодической нагрузки пучком резонаторов двойной ВЧ системы накопителя ЦКП «СКИФ»

Байструков М.А.^{1,2}, Пиминов П.А.^{1,2}, Ротов Е.А.^{1,2}, Митянина Н.В.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук

² Центр коллективного пользования "Сибирский кольцевой источник фотонов" Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Федеральный исследовательский центр "Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук"

Современные источники синхротронного излучения обладают малым или ультрамалым эмиттансом при высоком токе пучка. Это приводит к низким временам жизни сгустков из-за эффекта Тушека, поэтому, чтобы скомпенсировать это явление, применяют двойную ВЧ систему для удлинения сгустков. Однако, в большинстве установок приходится делать разрыв пучка — оставлять некоторое количество подряд идущих сепаратрис пустыми. Это приводит к возникновению эффекта периодической нагрузки пучком резонаторов ВЧ систем кольца.

Именно с этим эффектом мы столкнулись в процессе расчёта удлинения сгустков дополнительной ВЧ системой в накопителе ЦКП «СКИФ» — нового источника синхротронного излучения поколения 4+, строительство которого в данный момент ведётся в Новосибирске. Эффект периодической нагрузки пучком резонаторов приводит к модуляции напряжения резонаторов в течении периода обращения пучка. Выяснилось, что этот эффект оказывает существенное влияние на удлинение сгустков, значительно снижая эффективность удлиняющей ВЧ системы. При этом стандартные способы настройки ВЧ систем практически не улучшали ситуацию. В качестве решения было предложено использовать модуляцию тока генератора компенсирующими импульсами, в зависимости от заполнения кольца, что привело к изменению схемы ВЧ системы.

Макет новой системы юстировки для водородной корпускулярной мишени.

Балануца П.В.^{1,2}, Герасимов А.С.¹, Чернецкий В.Д.¹, Федорец П.В.¹, Долголенко А.Г.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Для корректной работы водородной корпускулярной мишени требуется возможность точного позиционирования стеклянного сопла, которое инжектирует водородную струю в камеру тройной точки. Представленный в докладе макет юстировочного устройства нового образца должно увеличить точность настройки положения сопла, а так же дать возможность к автоматизации юстировки сопла относительно шлюза, который отделяет камеру тройной точки от первого вакуумного объема. Стоит отметить, что работа юстировочного устройства не возможна без системы диагностики, представленное двумя светосильными камерами, которое позволяет наблюдать реальное положение водородной струи в пространстве, оценивать размер и скорость водородных капель.

Релятивистская ионизация тяжелых атомов в фокусированном электромагнитном поле экстремальной интенсивности

Баранов Д.Д.¹, Худов А.В.², Попруженко С.В.^{1,2}

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

² Институт общей физики РАН им. А.М. Прохорова

Получение импульсов лазерного излучения петаваттной мощности открывает широкие перспективы исследований фундаментальных эффектов взаимодействия электромагнитных полей экстремальной интенсивности с веществом и вакуумом [1,2]. Возможность наблюдения нелинейных явлений классической и квантовой электродинамики при таком взаимодействии определяется в основном величиной пиковой интенсивности излучения, достигаемой в центре лазерного фокуса. В настоящее время согласно [3] максимальное значение интенсивности находится на уровне 10^{23} Вт/см². С ожидаемым в ближайшее десятилетие переходом мощности в суб-экзаваттный режим [4], могут быть достигнуты интенсивности до 10^{25} Вт/см². В полях такой интенсивности будет наблюдаться глубокая ионизация многоэлектронных атомов, приводящая к образованию ионов с зарядом $Z \simeq 50$.

При высоких интенсивностях лазерного излучения инфракрасного диапазона длин волн динамика ионизации атомов близка к туннелированию в постоянном поле [5]. Теория туннельной ионизации в сверхсильном электромагнитном поле, в том числе с учетом релятивистских эффектов, была подробно развита в работе [6], в которой использовалось приближение, предполагающее, что векторы напряженности электрического \mathbf{E} и магнитного \mathbf{H} полей перпендикулярны, но могут быть разными по величине. Рассматривался также случай параллельных полей. Однако, получение сверхвысоких интенсивностей излучения возможно только при очень жесткой фокусировке лазерного пучка, на уровне дифракционного предела. В этом случае поля \mathbf{E} и \mathbf{H} в фокусе не ортогональны и не равны по величине. Для описания релятивистской ионизации глубоких атомных уровней в таких полях полученные в [5,6] результаты нуждаются в обобщении.

В данной работе мы представляем обобщение квазиклассических формул для скорости релятивистской ионизации атомного уровня в постоянном электромагнитном поле [6], на случай, когда пространственная конфигурация этого поля произвольна. В расчетах используется метод мнимого времени [5], где траектории вычисляются путем перехода в систему отсчета, в которой электрическое и магнитное поле параллельны, а затем, после обратного перехода в систему покоя многозарядного иона, начальные условия для этих траекторий определяются так, чтобы обеспечить возможность ионизации.

Полученные уравнения позволяют найти скорость образования многозарядных ионов в сверхсильном жестко фокусированном лазерном поле и распределения фотоэлектронов по импульсам. Результаты позволяют оценить вклад релятивистских эффектов в подбарьерную туннельную динамику и представляют интерес для диагностики мощных лазерных пучков и физики лазерной плазмы.

1. Попруженко С.В., Федотов А.М., УФН 2023, 193, 491.
2. Fedotov A.M., Ilderton A., Karbstein F. et al., Phys. Rep. 2023, 1010, 1.
3. Yoon J.W., Kim Y.G., Choi I.W. et al., Optica 2021, 8, 630.
4. Bashinov A.V., Gonoskov A.A., Kim A.V. et al., Eur. Phys. J. Spec. Top. 2014, 223, 1105.
5. Попов В.С., УФН 2004, 174, 921.
6. Мур В.Д., Карнаков Б.М., Попов В.С., ЖЭТФ 1998, 114, 798.

Алгебраическая структура инвариантов Васильева

Бернакевич А.С.¹

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

Наиболее интересными и важными представителями инвариантов узлов являются инварианты Васильева. Их можно определять как члены разложения в ряд среднего от петли Вильсона в простейшей 3-мерной топологической квантовой теории поля - теории Черна-Саймонса (CST). Это среднее совпадает со значением полинома ХОМФЛИ для соответствующего узла, найти которое позволяет теория квантовых групп. Раскладывая полином ХОМФЛИ в ряд по постоянной Планка и сравнивая два разложения, можно вычислить инварианты Васильева. Однако для этого нужно знать групповые факторы, а их поиск - отдельная научная задача. Наш подход заключался в использовании определяющих скейн-соотношений Васильева. Удалось установить, что инварианты Васильева двунитиевых торических узлов являются полиномами по параметру степени не выше, чем их градуировка. Было показано, что инварианты Васильева выражаются через инварианты второго и третьего порядка (между которыми также имеется нелинейная зависимость). Более того, инвариант третьего порядка является полным инвариантом узлов рассматриваемого семейства. Свойство симметричности полинома ХОМФЛИ по параметрам позволило обобщить данные рассуждения на произвольные торические узлы $T[m,n]$. Далее аналогичный подход был использован для вычисления инвариантов Васильева для семейства твистованных узлов. Мы выяснили, что последние являются полиномами по параметру степени на 1 ниже их градуировки. Были исследованы примитивность, алгебраическая независимость и полнота инвариантов Васильева для указанных семейств узлов.

Поиск универсальности алгебр Ли в рафинированных теориях

Бишлер Л.В.^{1,2}

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

² *НИЦ «Курчатовский институт»*

Универсальность алгебр Ли — интригующее явление, которое открыл П. Вожель. Оно заключается в создании единого описания всех простых алгебр Ли с помощью набора параметров. Одним из первых примеров универсальных величин является размерность присоединенного представления, которая записана с помощью четырех параметров Вожеля. Разные значения параметров дают ответы для разных алгебр Ли.

Одним из источников универсальных величин могут служить полиномы Макдональда, которые определены для разных корневых систем. Это специальные функции, симметричные относительно действия группы Вейля корневой системы. В случае корневой системы A_n они являются обобщением полиномов Шура. Полиномы Макдональда связаны с инвариантами узлов, которые называют гиперполиномами, а также рафинированной теорией Черна-Саймонса. Рафинирование означает введение в теорию дополнительных параметров, которые позволяют лучше отразить ее структуру.

Мы обсудим, как устроены полиномы Макдональда для разных корневых систем, а также рассмотрим эти полиномы в специальной точке, как возможный источник рафинированной универсальной величины.

Разработка схемы высокоэнергетической электронной радиографии на энергию пучка 200 МэВ

Богданов А.В.¹, Канцырев А.В.¹, Скобляков А.В.¹, Голубев А.А.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

На базе линейного электронного ускорителя Linac-200 (ОИЯИ) разработана схема ионной оптики установки для высокоэнергетической электронной радиографии статических и динамических объектов при энергии электронного пучка 200 МэВ. Разработаны две конфигурации ионно-оптической схемы установки, с коэффициентом увеличения ~ 4 для исследования быстропротекающих процессов с полем обзора в плоскости образца ~ 20 мм, пространственным разрешением < 100 мкм, и с коэффициентом увеличения ~ 10 для дефектоскопических исследований при поле обзора ~ 10 мм и пространственным разрешением 2-10 мкм. Ожидаемое разрешение по плотности исследуемого объекта составит $\sim 2\%$.

Разработка методики для калибровки ионизационных камер и датчиков обратной связи выведенного пучка ионов углерода активационными детекторами

Васильева А.Г.¹, Костин М.Ю.¹, Пикалов В.А.¹, Суманеев О.В.¹, Янович А.А.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Для измерения интенсивности и плотности потока ионизирующего излучения применяются самые разнообразные детекторы, среди которых наибольшее распространение получили ионизационные камеры. Особое внимание уделяется разработке методик абсолютной калибровки ионизационных камер для уменьшения неопределенностей в измерении интенсивности выведенных пучков заряженных частиц. В работе приведено описание оригинальной методики абсолютной калибровки ионизационных камер и датчиков обратной связи активационными детекторами при работе с выведенными пучками ускоренных ионов углерода в диапазоне 400-450 МэВ/нуклон. Методика позволяет реализовать калибровку ионизационных камер для измерения интенсивности пучка ионов углерода в диапазоне энергий 400-450 МэВ/нуклон. Используется низкофоновая радиометрическая установка, работающая по принципу гамма-гамма-совпадений, активационный детектор из чистого углерода с естественной смесью изотопов и реакция $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\text{X})^{11}\text{C}$. По данной методике в течение нескольких сеансов проводится калибровка плоскопараллельной ионизационной камеры, разработанной и изготовленной ИФВЭ.

Опытный измеритель интенсивности углеродного пучка перед поглотителем ускорителя У-1.5

Васильева А.Г.¹, Сусленков А.А.¹, Терехов В.И.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

В работе представлен прототип нового измерителя интенсивности импульсного углеродного пучка длительностью 130 нс перед поглотителем ускорителя У-1.5. В состав данного измерителя входит импульсный трансформатор тока пучка (ТТ), работающий в интегрирующем режиме, и обрабатывающая электроника. Приведены конструкция ТТ и схемы основных узлов электроники, а также первые результаты измерений при выводе углеродного пучка на поглотитель. Измеритель может быть применен в работах по исследованию радиационной стойкости полупроводниковых приборов, а также в экспериментах по измерению сечений фрагментации при взаимодействии углеродного пучка с мишенями из различных материалов для нужд адронной терапии. Данная аппаратура использована для измерения интенсивности I_x ионного пучка в диапазоне $1,5 * 10^8 - 5 * 10^9$ ионов C+6 с точностью $\pm(1 + 5 * 10^9/I_x)\%$. Она рассматривается как часть создаваемой единой системы измерения интенсивности выведенных пучков обоих типов частиц из ускорителя У-1.5.

Изучение рождения антидельта барионов в пучке антипротонов на ядерной мишени на установке ВЕС

Власенко А.П.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Представлены предварительные результаты изучения образования дважды заряженных $\overline{\Delta}^{++}$ на ядерной мишени в области фрагментации пучка антипротонов с импульсом 29 ГэВ. Под системой бариона В в области фрагментации мишени понимается нуклон либо его возбуждения, $V = \{N, N^*, \Delta\}$. В таком квази-эксклюзивном подходе используется комбинирование данных с околомитенной вето-системы и метода недостающей массы.

Показано доминирование ассоциативного образования $\overline{\Delta}^{++}$ с барионными возбуждениями. Модельно оценен вклад различных каналов в барионной вершине и суммарное интегральное сечение $\overline{\Delta}_{1232}^{++}$ на ядре.

Вывод пучков ионов углерода из ускорительного комплекса У-70 с целью проведения радиобиологических исследований

Воронков Н.Е.¹, Максимов А.В.¹, Калинин В.А.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

В статье приводится описание медленного вывода ионов углерода из ускорителя У-70 в зону радиобиологического стенда канала № 25. В дальнейшем планируется осуществлять вывод в новый, строящийся канал № 26. Описывается процесс замедления пучка и формирование равномерного дозного поля облучения.

Измерение вязкости расплава серы с помощью протонной микроскопии

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

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Исследование свойств серы в условиях экстремально высокого давления и температуры важно в области планетарной физики и промышленности. На установке PRIOR II в GSI (Германия) методом протонной радиографии при энергии протонов 2.5 ГэВ и режиме медленного вывода пучка были проведены измерения вязкости расплава серы при давлении 90 бар и температуре в диапазоне от 150 до 350 °С. Для измерения применялся метод Стокса, при котором определяется скорость движения шарика, свободно падающего в исследуемой жидкости. Приводится сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими моделями.

Сера присутствует в атмосфере Венеры ближе к поверхности в небольших количествах, однако ее полимерные цепи участвуют в цикле окисления – одном из важнейших химических циклов на планете. Полимерная структура серы непосредственно влияет на ее вязкость и таким образом определение вязкости может помочь в изучении параметров атмосферы Венеры. В ходе протонно-радиографических измерений на установке PRIOR II [1] для получения изображений капсулы с расплавом серы использовался режим медленного вывода пучка с ускорителя SIS-18 длительностью 2 сек при энергии протонов 2.5 ГэВ и интенсивности пучка 10^{11} . Для измерения вязкости расплава серы применялся метод Стокса [2], при котором измерялась скорость движения вольфрамового шарика диаметром 2 мм, свободно падающего в внутри заполненной серой титановой капсулы диаметром 14 мм с толщиной стенки 2 мм. Проведено сравнение зависимости значения вязкости серы в сравнении с теоретическими расчетами [3]. Максимальная вязкость, измеренная в проведенных экспериментах, составила $\eta_{max} = (10.2 \pm 0.6) \text{ Па}\cdot\text{с}$.

1.D. Varentsov, et al., Commissioning of the PRIOR proton microscope, Rev.of Sc.Ins, 2016, 87, issue 2, p. 023303/1–023303/8;

2.Reynold E. Sukara & Richard A. Secco. Viscosity of liquid sulfur at 4.5 GPa in the L and L' regions. High Pressure Research: An International Journal, 32:4, 451-456, 2012. DOI:10.1080/08957959.2012.742892

3.Stashick M.J., Sofekun G.O., Marriott R.A. Modifying effects of hydrogen sulfide on the rheometric properties of liquid elemental sulfur. AIChE J. 2020; 66:e16225. <https://doi.org/10.1002/aic.16225>

Расчет скорости дрейфа электронов при бестриггерном режиме работы многоцелевого детектора мюонов

Газизова Д.В.¹, Трошин И.Ю.¹, Воробьев В.С.¹, Задеба Е.А.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В НИЯУ МИФИ создается многоцелевой детектор мюонов (МДМ) предназначенный для исследования широких атмосферных ливней (ШАЛ) в диапазоне энергий от 10^{14} до 10^{17} эВ и в диапазоне зенитных углов от 0° до 60° . Конструкция МДМ включает несколько слоев многопроволочных дрейфовых камер и стального поглотителя, необходимого для отсекаания электронной компоненты ШАЛ от мюонной. Установка будет работать в двух режимах: триггерном - совместно с ЭК НЕВОД, и в бестриггерном, как индивидуальный детектор.

В данной работе представлен расчет скорости дрейфа электронов для бестриггерного режима работы. Также было проведено сравнение результатов с численным моделированием и с экспериментальными данными со стенда для дрейфовых камер.

Локальная термодинамика в пространстве де Ситтера

Дьяконов Д.В.¹

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

² *Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича РАН*

Пространство де Ситтера является решением уравнения Эйнштейна с космологической постоянной. В данном пространстве существует горизонт, с которым связана энтропия Хокинга, а наблюдатель в пространстве де Ситтера видит температуру. Предположив, что вклад от космологической постоянной в вакуумную энергию зависит от температуры, мы покажем, что энтропия всего пространства, ограниченного горизонтом, совпадает с энтропией Хокинга. Таким образом, в пространстве де Ситтера можно говорить о наличии локальной термодинамики: вакуум де Ситтера можно рассматривать как тепловое состояние, и он служит источником энтропии Хокинга.

Мы также обобщим этот результат на теорию $f(R)$ -гравитации, в которой имеются решения де Ситтера и космологическая постоянная.

Система мониторинга ускоренных пучков заряженных частиц и её использование для изучения процессов вторичной электронной эмиссии.

Землин Е.О.¹, Жеребчевский В.И.¹, Мальцев Н.А.¹

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет*

В работе представлена многопроволочная система мониторинга пучков заряженных частиц выведенных из различных ускорителей в диапазоне энергий от 1 МэВ до 1 ГэВ. Система позволяет визуализировать профиль пучка, как легких заряженных частиц, так и тяжелых ионов различной энергии для определения положения и формы пучка. Принцип работы системы основан на использовании эффекта вторичной электронной эмиссии. Система состоит из сканирующей сетки позолоченных вольфрамовых сенсоров, размещенной внутри ионопровода ускорителя.

В данной работе представлены результаты экспериментов на Уникальной Научной Установке (УНУ) «Циклотрон ФТИ им. А.Ф. Иоффе типа У-120» с использованием пучков ионов $40\text{Ar}+8$ энергией 53 МэВ, а также пучков протонов энергией 1,9 МэВ. Результатом экспериментов стала визуализация профилей пучков и получение большой статистики сигналов. Обработка сигналов позволила получить коэффициент вторичной электронной эмиссии при взаимодействии ионов $40\text{Ar}+8$ энергией 53 МэВ и протонов энергией 1,9 МэВ с материалом сенсоров, используемых в многопроволочной системе мониторинга пучка. Данный результат послужил основой для проверки теоретического описания процессов вторичной электронной эмиссии в данном диапазоне энергий.

Низкоэнергетический канал ускорителя протонов

Зиятдинова А.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В рамках создания медицинского ускорителя ведется разработка системы транспортировки пучка. В работе представлены результаты моделирования динамики пучка протонов в низкоэнергетическом канале между источников ионов и RFQ

Байесовский подход для определения центральности с помощью переднего адронного калориметра в ядро-ядерных столкновениях

Идрисов Д.М.¹, Карпушкин Н.А.¹, Губер Ф.Ф.¹, Парфенов П.Е.¹

¹ *Институт Ядерных Исследований Российской академии наук*

Процедура определения центральности позволяет оценить начальную геометрию при столкновении тяжелых ионов посредством связи между наблюдаемой и прицельным параметром. Для определения центральности обычно используется множественность рожденных заряженных частиц и двухпараметрическая модель Глаубера. Однако использование этого подхода при энергиях коллайдера NICA сопряжено с трудностями из-за большой неопределенности прицельного параметра при малой множественности а так же эффекта автокорреляции и т.д. В данной работе предложен новый подход для определения центральности, основанный на теореме Байеса и двумерном гамма-распределении. Этот метод позволяет получить информацию о прицельном параметре, используя только измеренное двумерное распределение энергии спектаторных нуклонов и множественность заряженных частиц. Эффективность предложенного подхода была проверена на данных эксперимента BM@N для столкновений Xe+CsI при энергии пучка 3.8 А ГэВ.

Исследование выстроенности K^* -(892)-мезона на установке СПАСЧАРМ на ускорительном комплексе У-70

Калугин Н.К.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

В докладе обсуждается возможность исследования спиновой выстроенности K^* -(892)-мезона на установке СПАСЧАРМ на ускорительном комплексе У-70.

Влияние приливных деформаций на гравитационно-волновой сигнал при слиянии нейтронных звёзд

Клопова-Сапоровская И.А.¹, Блинников С.И.¹

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

Данная работа посвящена анализу влияния приливных эффектов на форму гравитационного сигнала от слияния нейтронных звёзд. Основная часть работы делится на теоретические сведения, аналитическую и численную модели, и практическую реализацию.

Теоретический раздел включает описание базовой модели для черных дыр и нейтронных звёзд, а также методов, использованных для добавления приливных эффектов. Базовая модель основана на постньютоновском подходе, который позволяет учесть эффекты взаимодействия компактных объектов, не решая при этом уравнения Эйнштейна. В рамках этой модели возникает дифференциальное уравнение, описывающее эволюцию постньютоновского параметра, и оно далее в работе решается двумя различными способами.

Практическая часть включает расчет параметров модели и решение дифференциального уравнения с помощью кода на языке `matlab`.

В разделе обсуждения результатов представлено сравнение численных и аналитических решений. Выходит, что аналитическое решение позволяет заглянуть чуть дальше по времени и оценить поведение системы на более близких расстояниях.

Заключение подводит итоги выполненной работы, указывая на выполнение поставленных задач, таких как анализ современных моделей, расчет коэффициентов для дифференциальных уравнений, и сравнение результатов, полученных разными методами. В будущем планируется продолжить работу над расчетом формы гравитационно-волнового сигнала от сливающихся черных дыр и добавлением приливных эффектов в модель расчёта формы гравитационных волн.

Дозиметрические показатели и их влияние на постлучевые реакции здоровых тканей головного мозга после радиохирургии кавернозных мальформаций

Кобякова Т.А.^{1,2}, Семенов Д.Э.³, Костюченко В.В.^{2,3}, Юрикова И.И.^{2,3}

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

² *Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н.Бурденко*

³ *АО "Деловой центр нейрохирургии"*

В докладе поднимается важный вопрос о постлучевых реакциях, возникающих после радиохирургического лечения (РХ) кавернозных мальформаций (КМ) головного мозга. Эти сосудистые аномалии представляют собой образования из патологически измененной эндотелиальной ткани, образующей полости, заполненные кровью (каверны). Внутренний кровоток в кавернах отсутствует, однако кровь может проникать за пределы образований, вызывая неврологические симптомы, такие как эпилептические припадки. КМ могут также раздражать окружающие ткани мозга, что увеличивает вероятность судорог и неврологических расстройств. В контексте современной медицины, КМ составляют до 15% всех сосудистых мальформаций головного мозга, что подчеркивает актуальность эффективных методов их лечения.

Несмотря на то, что микрохирургическое удаление КМ является основным методом терапии, его применение затруднено, когда образования располагаются в функционально значимых или труднодоступных зонах головного мозга. В таких случаях радиохирургия, в частности гамма-нож, становится важной альтернативой. Тем не менее, РХ может сопровождаться развитием нежелательных постлучевых реакций (НПР), таких как отек или некроз тканей мозга. Эти реакции, в свою очередь, могут приводить к серьезным последствиям для пациентов, особенно если они затрагивают здоровую ткань мозга, окружающую мишень. Прогнозирование и предотвращение таких осложнений остается актуальной задачей радиобиологии и медицинской физики.

Целью данной работы является определение структуры и частоты возникновения НПР после радиохирургии КМ, а также выявление ключевых факторов, влияющих на их развитие. Особое внимание уделено дозиметрическим параметрам, которые могут способствовать снижению риска осложнений. Авторы стремились найти взаимосвязь между дозой, объемом облучаемой ткани и развитием НПР, а также предложить рекомендации по оптимизации дозиметрического планирования.

Исследование основано на ретроспективном анализе данных пациентов, прошедших радиохирургическое лечение в Центре Гамма-ножа или отделении лучевой терапии НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко.

Процесс планирования РХ включал обработку магнитно-резонансных изображений (МРТ), для точного оконтуривания мишени и последующего дозиметрического планирования. Мишень, или GTV (Gross Tumor Volume), включала как само образование, так и окружающую его зону накопления гемосидерина, известную как гемосидеровое кольцо (ГСК). Ранее ГСК часто включалось в зону облучения, однако дальнейшие исследования показали, что его облучение значительно увеличивает риск НПР, особенно отеков, что привело к исключению этой зоны из планирования.

Важным аспектом стало использование различных параметров, таких как максимальная и минимальная дозы, полученные объемом мишени, а также объемы здоровых тканей, попадающих в зону облучения. В рамках физического анализа исследовались гистограммы доза-объем (ГДО), которые позволяют оценить распределение дозы внутри облучаемой области и вокруг неё.

Основной упор делался на такие физические аспекты, как влияние объема мишени и дозовой градиент на возникновение отека и некроза. Гемосидеровое кольцо также подвергалось отдельному анализу, поскольку облучение этой зоны могло значительно повысить риск возникновения осложнений. Выделялись дозы, полученные различными объемами каверномы и ГСК, в частности объем, получивший дозу 12 Гр, который ранее был идентифицирован как критический параметр для развития НПР.

Учет аппаратной функции кристаллического спектрографа при восстановлении рентгеновских спектров излучения плазмы

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

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Информация о рентгеновском спектре излучения, эмитируемого плазмой импульсных лазерных и электроразрядных установок, необходима для понимания и описания протекающих в плазме физических процессов и построения моделей поведения вещества в экстремальном состоянии. Для регистрации рентгеновских спектров излучения в диапазоне длин волн менее 1 нм применяются кристаллические дифракционные спектрографы. Основными проблемами, препятствующими достоверному восстановлению спектров из экспериментальных данных, являются наложение сигналов от разных порядков дифракции и сложный вид аппаратной функции, зависящий от длины волны регистрируемого излучения. Для расчета аппаратной функции спектрографа в среде Geant4 разработана его виртуальная Монте-Карло модель [1], учитывающая геометрию проведения эксперимента, форму и кристаллическую структуру кристалла слюды. С использованием рассчитанных модельных спектров проведено исследование параметров аппаратной функции, получено ее аналитическое приближение. Разработана методика [1] позволяющая, с учетом аппаратной функции спектрографа, проводить восстановление спектров рентгеновского излучения. Выполнено восстановление экспериментальных рентгеновских спектров плазмы Z-пинча установки Ангара 5-1 [2] при токе ~2.7 МА, с нагрузкой в виде вложенной сборки из алюминиевых и вольфрамовых проводников.

1. A. V. Skobliakov; D. S. Kolesnikov; A. V. Kantsyrev; A. A. Golubev et al, RSI, 2024, V.95, №7, DOI: 10.1063/5.0212101

2. Альбиков З.А. и др., Атомная энергия, 1990, Т.68, Вып. 1, с. 26-35.

Исследование характеристик сцинтилляционных детекторных модулей для их использования в позитронно-эмиссионной томографии

Комарова Д.А.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

Сегодня детекторные технологии ядерной медицины применяются для проведения диагностических процедур в кардиологии, неврологии, а также в онкологии, для раннего и прецизионного выявления злокачественных образований и места их локализации на всех стадиях болезни. В этом контексте, позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) играет важную роль, поскольку благодаря ПЭТ появляется возможность визуализировать биологические процессы на клеточном уровне и выявлять патологии на ранних стадиях их развития.

Одним из ключевых компонентов ПЭТ являются сцинтилляционные детекторы, способные регистрировать аннигиляционные гамма-кванты с высокой эффективностью. Постоянно возрастающие требования к чувствительности, разрешающей способности и скорости обработки информации с ПЭТ вносят необходимость в разработку новых сцинтилляционных сенсоров с улучшенными характеристиками.

На сегодняшний день во многих ПЭТ-сканерах для регистрации гамма-квантов и последующего получения радионуклидного изображения исследуемого органа или ткани, используют сцинтиллятор NaI(Tl). Такой сцинтиллятор по ряду характеристик хорошо подходит для решения разного рода задач, однако для увеличения пространственного разрешения, получаемого радионуклидного изображения, пытаются увеличить плотность детектирующих элементов с увеличением числа соответствующих сенсоров. В данном случае перспективными являются сенсоры на основе кристалла BGO (германат висмута).

В представленной работе проводились исследования характеристик сцинтилляционных детекторных модулей на основе кристалла BGO и кремниевых фотоумножителей нового поколения для их использования в приборах позитронно-эмиссионной томографии, разработан и создан сцинтилляционный гамма-спектрометр, с помощью которого получены оптимальные параметры (эффективность регистрации, энергетическое разрешение) для регистрации аннигиляционных гамма-квантов позитронных эмиттеров. Также проведен сравнительный анализ полученных характеристик детекторных модулей с сенсорами BGO, с аналогичными характеристиками модулей на основе сцинтиллятора NaI(Tl). Результаты проведенных исследований заложили основу для создания новой детекторной системы. Такая система будет использована для проведения исследований свойств и характеристик сцинтилляционных сенсоров с их последующим применением в ПЭТ комплексах нового поколения на основе время-пролетной методики.

Подходы к решению проблемы Джонса для узлов на 4 нитях

Корзун Д.В.², Ланина Е.Н.^{1,2}, Слепцов А.В.^{1,2}

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

В теории квантовых полиномов узлов существует очевидный вопрос, могут ли такие инварианты различать тривиальный узел? Интерес вызывает уже самый простой случай - полином Джонса $J^{\mathcal{K}}(q)$, задающийся фундаментальным представлением квантовой универсально обёртывающей алгебры $U_q(\mathfrak{sl}_2)$. Несмотря на большой интерес к данному инварианту, в том числе, с точки зрения теоретической физики, как коррелятору от Вильсоновских петель $W_R(C, A) = \text{Tr}_R(\text{Pexp } i \oint_C A_\mu dx^\mu)$, многочисленные попытки решить обозначенную проблему успеха не принесли. А между тем, вопрос о различимости тривиального узла полиномом Джонса тесно связан с многими другими открытыми проблемами математической и теоретической физики: точность представления Бурау для группы кос, топологический смысл полинома Джонса, связь \mathfrak{R} -матриц и теории Черна-Саймонса.

Мы подошли к проблеме Джонса с точки зрения теории кос и рассмотрели гипотетические узлы на 4 нитях (для узлов на 2 и 3 нитях известно, что тривиальный узел различается Джонсом) с тривиальным полиномом Джонса и нетривиальным полиномом ХОМФЛИ-ПТ (обобщение Джонса на 2 переменные) $H^{\mathcal{K}}(q, A)$. В рамках нашего подхода мы рассмотрели условия, которые накладываются на дифференциальное разложение и разложение по характерам для ХОМФЛИ-ПТ из требования на удовлетворения ширины полинома ХОМФЛИ-ПТ по второй переменной $\text{span}_A H^{\mathcal{K}}(q, A)$ и индекса косы $\mathfrak{b}^{\mathcal{K}}$ неравенству Мортон-Франка-Уильямса.

$$\frac{1}{2}(\text{span}_A H^{\mathcal{K}}(q, A)) \leq \mathfrak{b}^{\mathcal{K}} - 1$$

Из этого нами было получено следующее утверждение. Не существует нетривиального узла на 4 нитях с тривиальными полиномами Джонса и Александра и нетривиальным полиномом ХОМФЛИ-ПТ, если не требовать тривиальности Александра, то у гипотетического семейства узлов с тривиальными полиномами Джонса полиномы ХОМФЛИ-ПТ будут иметь определённые значения.

$$H^{\mathcal{K}}(q, A) = 1 + (A^2 - q^2)(A^2 - q^4)(A^2 - q^{-2})(A^2 - q^{-4}) \cdot F^{\mathcal{K}}(q, A),$$

где циклотомические функции в дифференциальном разложении принимают следующий вид при неотрицательном целом m , которая выражается через алгебраическую сумму зацеплений узла в представлении косы $m = \frac{W-5}{2}$.

$$F^{\mathcal{K}_m} = - \sum_{j=0}^m \frac{[2j+4]_q [j+3]_q [j+1]_q}{[3]_q [4]_q} A^{-2j-8},$$

$$\bar{F}^{\bar{\mathcal{K}}_m} = - \sum_{j=0}^m \frac{[2j+4]_q [j+3]_q [j+1]_q}{[3]_q [4]_q} A^{2j}$$

Если полином $F^{\mathcal{K}_m}$ соответствует некоторому реальному узлу \mathcal{K}_m , то полином $\bar{F}^{\bar{\mathcal{K}}_m}$ будет соответствовать узлу $\bar{\mathcal{K}}_m$, который зеркален к \mathcal{K}_m .

Далее мы изучили, какие ограничения на вид искомой косы накладываются из вида данных полиномов. Для этого мы воспользовались свойством унитарности \mathfrak{R} -матриц на корнях из единицы.

Позиционно-чувствительный детектор на основе сцинтиллирующих сред с сильным рассеянием

Крапива А.Л.¹, Свирида Д.Н.¹
¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Детекторы на основе сцинтилляционных сред с сильным рассеянием являются новым поколением позиционно-чувствительных детекторов частиц. Принцип работы заключается в локализации света вблизи точки его сцинтилляции за счёт рассеяния в среде. На данный момент первые и единственные опубликованные результаты представлены коллаборацией LiquidO и основываются на работе с жидким непрозрачным сцинтиллятором.

Наш подход предполагает использование сред на основе твердого гранулированного органического сцинтиллятора и массива спектросмещающих волокон с SiPM в качестве фотодетекторов. В докладе будут представлены новые результаты, полученные в ходе тестирования на пучке заряженных частиц различных конфигураций сцинтиллирующих и рассеивающих сред с использованием внешних пропорциональных камер в качестве трекинговой системы. Представлены результаты сравнения сред и оценки точности восстановления треков.

Квантовые ямы в графене с массовой щелью

Красюков Г.А.¹, Павловский О.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Одним из активно развивающихся направлений исследования физики графена является изучение влияния подложки на его свойства и создание новых технологий эпитаксиального роста. Различие в силе взаимодействия подрешёток графена с подложкой приводит к появлению массовой щели в спектре фермионных возбуждений, и предполагается, что, по-разному нарушая симметрию подрешёток, можно изменять киральность дираковских фермионов в графене.

В докладе представлены результаты исследования электронных свойств графена с пространственно неоднородной массовой щелью для случая сферически симметричной границы перехода киральности. Получены зависимости энергии состояний от параметров системы – радиусов киральных переходов. Приведены качественные обоснования получаемых результатов для спектральных зависимостей и форм волновых функций. Основным результатом является установление прямо пропорциональной зависимости энергии состояния от кривизны дефекта для задачи с переходом из отрицательной киральности в положительную.

Подавление многократного рассеяния положительно заряженных частиц в монокристаллах кремния

Маишеев В.А.¹, Крутов А.М.¹, Чесноков Ю.А.¹, Янович А.А.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Статья посвящена исследованию подавления многократного рассеяния положительно заряженных частиц с импульсом 180 ГэВ/с, проходящих через изогнутые монокристаллы кремния под малыми углами к плоскости (111) как в режиме каналирования, так и в надбарьерном состоянии. Для каналирующих частиц показано хорошее согласие теории и эксперимента. Для этого случая среднеквадратичный угол многократного рассеяния в 8 раз уступает подобному углу для надбарьерных частиц.

Планарное разложение полиномов ХОМФЛИ в симметрических представлениях для парных зацеплений

Ланина Е.Н.^{1,2}, Анохина А.С.¹, Морозов А.Ю.^{1,2}

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

Скобка Кауфмана, которая описывает полином Джонса как сумму по замкнутым циклам, образованную при планарном разрешении вершин в диаграмме узла, может быть непосредственно перенесена с $sl(2)$ на $sl(N)$ при произвольном N , но для специального класса парных диаграмм, полностью составленных из так называемых антипараллельных "замковых" тэнглов. Многие интересные и важные зацепления могут быть описаны таким образом, от твистованных узлов и двойных кос до знаменитых узлов Каненобу для четных параметров, и для всех них полиномы ХОМФЛИ полностью поддаются планарной декомпозиции. Более того, это планарное исчисление также применимо к другим симметрическим представлениям (для вычисления так называемых цветных полиномов ХОМФЛИ), кроме фундаментального. До сих пор большинство ответов для цветных полиномов ХОМФЛИ было доступно только для специального класса арборесцентных узлов, а разработанная планарная техника позволяет выйти за рамки арборесцентных вычислений.

Разработка канала регистрации частиц и излучения на основе SiPM и ПЛИС

Лапшин М.А.¹, Канцырев А.В.¹, Голубев А.А.¹, Богданов А.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Разработка многоканальных систем регистрации частиц и излучений на основе пластиковых сцинтилляторов и кремниевых фотоумножителей SiPM является крайне актуальной для многих фундаментальных и прикладных задач. В таких приложениях для сбора и высокоскоростной он-лайн обработки сигналов широкого применения находят микросхемы программируемой логики ПЛИС (FPGA) с частотой работы более 500 МГц. Например, создание многоканальных детекторов потока мюонов открывает возможность реализации мюонной томографии для геологоразведки [1] (поиск полезных ископаемых), исследования закрытых подземных пространств (промышленная геологоразведка). Многоканальные высокоскоростные детекторы находят активное применение в области медицинской томографии, например, ПЭТ (Позитронная Эмиссионная Томография), ОФЭКТ (Однофотонная Эмиссионная Компьютерная Томография). В области фундаментальной физики ПЛИС и кремниевые фотоумножители применяются для широкого круга детекторов элементарных частиц в ускорительных (проекты NICA, CERN и др.) и нейтринных экспериментах (детектор DANSS)[2].

В данной работе разработан прототип канала детектора частиц и излучения на основе полистирольного пластикового сцинтиллятора (255x25x10 мм), смещенного со спектросмещающим волокном Cugaau Y11 (диаметр 1.2 мм) с регистрацией сигнала на кремниевом фотоумножителе SiPM HAMAMATSU S13360 – 1350PE. В созданном прототипе канала детектора, после усиления сигнал поступает на компаратор подключаемый к микросхеме ПЛИС Xilinx Artix 7, работающей в составе тестовой платы Digilent Arty A7 100t. Предельная частота работы прототипа канала детектора 100 МГц.

Проверка работы канала детектора проведена при регистрации мюонов космического происхождения. Использование ПЛИС позволяет масштабировать данный канал детектора для разработки многоканальных измерительных систем.

1. G. Saracino, F. Ambrosino, A. Anastasio et al., A new cylindrical detector for borehole muon radiography// Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A. 2023. V.1048 Art.Num. 167995

2. I. G. Alekseev et al., DANSS Neutrino Spectrometer: Detector Calibration, Response Stability, and Light Yield // Phys. Part. Nuclei Lett. 2018. V. 15. P. 272

Метод быстрого вычисления ионизационных потерь в системе планирования ионной лучевой терапии

Ларионов А.А.¹, Ющенко О.П.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Лучевой терапии уже более 100 лет, это – один из важнейших методов лечения онкологических заболеваний. За столетие была проделана громадная работа по совершенствованию методики лучевой терапии с использованием гамма – квантов, электронов, протонов и ионов. Для протонных и ионных пучков важно то, что выделение энергии растет с глубиной, достигая Брэгговского максимума, а затем резко уменьшается. Такое поведение позволяет локализовать энерго-выделение, оказывая максимальное воздействие именно на патологический очаг.

Использование углеродного пучка накладывает свои особенности на систему планирования. Связано это, в основном, с физическими процессами, присущими именно ионам - значительный вклад фрагментации пучка и вторичных фрагментов. Это приводит к образованию множества вторичных частиц, которые, распространяясь в пациенте, так же как и первичный пучок, производят значительную ионизацию. Разрабатываемая в ИФВЭ система планирования ионной лучевой терапии должна обеспечивать быстрое вычисление дозовых полей. Весь терапевтический эффект лучевой терапии основан именно на ионизации. По этой причине точный и быстрый расчет ионизационных потерь для различных типов ионов в сложных негетерогенных средах есть необходимая основа успешного построения системы планирования.

В докладе представлен практический метод быстрого вычисления ионизационных потерь, который реализован в разрабатываемой системе планирования.

1. W. Schneider et al, «Correlation between CT numbers and tissue parameters needed for Monte Carlo simulations of clinical dose distributions», Phys. Med. Biol. 45, 459 (2000)
2. В.А. Weaver, А.Ж. Westphal, «Energy loss of relativistic heavy ions in matter», Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 187 (2002) 285–301.
3. НИЦ «Курчатовский институт»-ИФВЭ и «НМИРЦ» Минздрава России, «Центр ионной лучевой терапии на базе ускорительного комплекса У-70», Протвино, 2017.

Моделирование источника атомарного поляризованного пучка (PABS) в рамках проекта PolFusion

Ларионов В.Е.¹

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

В данной работе представлено моделирование источника поляризованного атомарного пучка (PABS), выполненное в рамках ядерно-физического эксперимента PolFusion. Работа включает в себя следующие этапы: разработку генератора начальных условий, моделирование спин сепарирующих магнитных линз, ячеек сверхтонкого перехода, а также проверка работоспособности разработанной программы.

Некоторые новые идеи в непертурбативной КХД

Лукашов М.С.¹, Симонов Ю.А.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Обсуждается современное развитие метода полевого коррелятора (МПК) с его приложениями к наиболее интересным и перспективным областям физики КХД, исследованным на решетках и в эксперименте. Эти области включают в себя следующие вопросы: а) связь цветоэлектрического конфайнмента с основными кварковыми и глюонными конденсатами; б) явная форма цветоэлектрического деконфайнмента при растущей температуре T . Также подробным образом обсуждается явление самого деконфайнмента — резкого падения натяжения цветоэлектрической струны при определенной температуре — в рамках МПК с учетом прямого вклада глюонного конденсата в адронную свободную энергию. С помощью полученного выражения для свободной энергии как суммы глюонного конденсата и адронного давления можно вычислить температуру деконфайнмента и температурную зависимость натяжения струны и глюонного конденсата в области ниже этой температуры. Показано хорошее согласие результатов этого подхода с решеточными данными. Показано, что описание конфайнмента с помощью МПК (вместо формализма светового конуса и чистой теории возмущений) позволяет наметить построение теории КХД без феноменологических параметров.

Разработка центрального трекера на основе Micromegas (МСТ) для детектора SPD, реализующегося на ускорительном комплексе NICA

Ляшко И.В.¹, Гонгадзе А.Л.¹, Дедович Д.В.¹, Ковязина Н.А.¹

¹ *Объединенный институт ядерных исследований*

SPD (Spin Physics Detector) - универсальная экспериментальная установка, которую планируется установить на строящемся коллайдере NICA в Дубне. Центральный трекер на основе Micromegas (МСТ) будет использоваться в первой фазе эксперимента SPD. Такое решение позволит улучшить импульсное разрешение и эффективность поиска треков. Работа трекера в рамках SPD усложняется наличием магнитного поля 1Тл и частиц с высокой первичной ионизацией, что характерно для адронных машин. В докладе представлены: текущий статус разработки детектора Micromegas, результаты моделирования и методических исследований в рамках проекта.

Раздаточный дипольный магнит для компактного источника нейтронов DARIA

Мальшев А.А.¹, Цыплаков Е.Д.¹, Козлов А.В.¹, Кулевой Т.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В рамках Программы развития синхротронно-нейтронных исследований реализуется проект DARIA (Dedicated for Academic and Industrial Applications) [1], направленный на создание компактного нейтронного источника для прикладного и промышленного применения. Объектом исследования данной работы выступает раздаточный электромагнит для КИИ DARIA, отклоняющий траектории ускоренного ионного, в том числе, протонного пучка в широком диапазоне углов $\pm 80^\circ$. Магнит предназначен для разводки пучка протонов от канала транспортировки, установленного на выходе ускорителя, до мишенных боксов, в которых может быть расположена нейтрон-генерирующая мишень из бериллия или лития [2] вместе с замедлителями и выходящими нейтроноводами.

На основе аналитических значений, отношения массы к заряду $A/Z=1$ и радиуса отклонения частицы с предельным углом поворота 80° была создана численная параметризованная модель в среде CST EM Studio, позволившая разработать раздаточный магнит с максимальным рабочим полем не более 1 Тл и однородностью $\Delta B/B = 0.5\%$ по всей области прохождения пучка.

1. Кропачев Г.Н., Кулевой Т.В., Ситников А.Л., Виноградов С.В., Хабибуллина Е.Р., Скачков В.С., Сергеева О.С. Высокоэнергетическая часть ускорителя для компактного источника нейтронов DARIA: ускоряющая структура с трубками дрейфа // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2023, № 7, стр. 27-39 Doi: 10.31857/S1028096023070075

2. Yamagata Y., et al., Development of a neutron generating target for compact neutron sources using low energy proton beams, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chem., 2015, V. 305: 787-794, Doi:10.1007/s10967-015-4059-8

Специальные случаи теории Хорндески и обход запрещающей теоремы

Миронов С.А.^{1,2}

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Институт Ядерных Исследований Российской академии наук

Будут представлены особые случаи теории Хорндески, позволяющие обойти запрещающую теорему. В частности, будет рассмотрена теория кускатона, а также другие случаи, убивающие динамику возмущений. Планируется обсудить, насколько физичны такие теории.

Аналитические подходы для быстрого предсказания форм гравитационных волн релятивистских двойных систем

Мишакина А.В.¹, Блинников С.И.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Гравитационные волны открыли новый канал для астрономии. Они несут информацию о сливающихся релятивистских объектах — чёрных дырах и нейтронных звёздах, и их регистрация и анализ важны как для изучения процессов на ранних стадиях развития Вселенной, так и для поздних фаз эволюции звёзд.

Большинство регистраций осуществляется при помощи метода согласованной фильтрации, который использует данные интерферометров (LIGO, VIRGO, KAGRA) и согласовывает их с банком смоделированных сигналов — шаблонов. Однако в более сложных сценариях существует потребность в более быстрых аналитических шаблонах, которые бы эффективно идентифицировали сигналы гравитационных волн от двойных систем.

В докладе обсуждаются возможности полностью аналитического расчета форм гравитационных волн при помощи пакета компьютерной алгебры *Mathematica* и оцениваются временные интервалы приёма гравитационных волн, когда полученные формулы дают приемлемую точность.

Приведены расчёты для релятивистских объектов различных масс (двойные системы чёрных дыр и нейтронных звёзд).

Результатом работы является полностью аналитическая формула, позволяющая обнаруживать слияние двойных релятивистских систем на самых ранних стадиях.

Измерение поляризации Λ - и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов, образованных при взаимодействии K^- - и π^- -мезонов с ядрами на установке СПАСЧАРМ на У-70

Моисеев В.В.¹, Абрамов В.В.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Получены первые результаты по поляризации инклюзивно рожденных Λ -гиперонов на K^- - и π^- -пучках, а также $\bar{\Lambda}$ -гиперонов на π^- -пучке с импульсом 26.5 ГэВ/с в измерениях на установке СПАСЧАРМ на ускорительном комплексе У-70 в Протвино. Для данных на пучке K^- -мезонов наблюдается заметная положительная поляризация в области больших значений фейнмановской переменной x_F и поперечного импульса p_T , впервые измеренная на ядрах. Поляризация Λ - и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов на пучке π^- -мезонов не превышает нескольких процентов в большей части исследованной кинематической области, за исключением области $p_T > 1$ ГэВ/с, где измеренная поляризация Λ -гиперонов равна 23 ± 9 %.

Исследование проводимости в расширенной модели Хаббарда

Мостовой С.Д.¹, Павловский О.В.^{1,2}

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

² *НИЦ «Курчатовский институт»*

В рамках расширенной модели Хаббарда на гексагональной решетке рассчитана электрическая проводимость при некоторых значениях параметров модели. Применен подход[1] с использованием соотношения Грина-Кубо, связывающего проводимость и коррелятор токов, определенный через операторы рождения-уничтожения в представлении Гейзенберга. Для расчета корреляторов применен гибридный метод Монте-Карло с техникой линковых полей[2].

По данным для решеток с несколькими размерами предложена процедура экстраполяции к бесконечному объему системы, которая была использована для пересчета всех полученных результатов расчетов. Исследование проведено в области параметров модели $V_{00} \approx 3V_{01}$. Обнаружено систематическое превышение проводимости над баллистической. Получена зависимость проводимости от V_{01} . Получены указания на существование фазовых переходов при изменении параметров модели.

1. Buividovich P., Polikarpov M. Phys. Rev. B, 86, 245117 (2012).
2. Mostovoy S., Pavlovsky O. Phys. Rev. E, 107, 025307 (2023).

Ультрафиолетовая экстраполяция 4d калибровочных теорий

Мухаева А.И.¹

¹ *Объединенный институт ядерных исследований*

Ультрафиолетовые неподвижные точки очень важны в квантовой теории поля. В данной работе будут рассмотрены взаимодействующие ультрафиолетовые неподвижные точки, возникающие в общих четырехмерных калибровочных теориях, слабо связанных со скалярными и фермионными полями материи. Результаты вытекают из систематической классификации всех высоко- и низкоэнергетических неподвижных точек в общих калибровочных теориях в рамках теории возмущений. Показано, почему и как взаимодействие Юкава обеспечивает уникальный механизм для генерации пертурбативных ультрафиолетовых неподвижных точек. Для иллюстрации основных результатов обсуждаются фазовые диаграммы для простых калибровочных теорий. Указаны некоторые следствия в физике частиц за пределами Стандартной модели.

Радиационный распад $\chi(3872)$ в ЛНСб

Некрасова Е.А.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Распады прекрасных адронов оказались удобным и плодотворным инструментом для поиска и изучения чармониеподобных состояний, чьи измеренные свойства указывают на присутствие $c\bar{c}$ -компоненты в кварковом составе, но не позволяют однозначно ассоциировать их с любым обычным резонансом чармония. Одно из таких состояний - $\chi_{c1}(3872)$, существует несколько гипотез о его природе. Например оно может быть объяснено как как слабосвязанное молекулярное состояние $D^0\bar{D}^{*0} + \bar{D}^0 D^{*0}$ в котором пространственно разделены бесцветные мезоны. Альтернативные гипотезы о природе состояния $\chi_{c1}(3872)$ включают состояние чармония $\chi_{c1}(2P)$, его виртуальный компаньон или его смесь с адронной молекулой; состояние хадро-чармония; гибридный мезон или тетракварк. Изучение параметров радиационных распадов состояния $\chi_{c1}(3872)$ способно предоставить важную информацию о его внутренней структуре.

В данном анализе для исследования природы состояния $\chi_{c1}(3872)$ были использованы радиационные распады $\chi_{c1}(3872) \rightarrow \psi(2S)\gamma$ и $\chi_{c1}(3872) \rightarrow J/\psi\gamma$, полученные в протон-протонных столкновениях на детекторе ЛНСб с интегральной светимостью 9 фб^{-1} . Процесс $\chi_{c1}(3872) \rightarrow \psi(2S)\gamma$ наблюдался впервые, для его исследования использовался канал $B^+ \rightarrow \chi_{c1}(3872)K^+$.

Разработка микроканального сцинтилляционного детектора на основе CsI для энергий квантов выше 50 кэВ

Неустроева А.А.¹, Назьмов В.П.¹, Силютин В.А.^{1,2}

¹ *Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН*

² *ООО «Люмипроб РУС»*

Объектом исследования является микроканальный детектор рентгеновского излучения. Цель работы – создание детектора на основе йодида цезия (CsI) с рабочим диапазоном энергий квантов от 50 кэВ с пространственным разрешением лучше 30 мкм. На сегодняшний день актуальна проблема достижения высокого аспектного отношения микроканальных пластин и равномерного заполнения микроканалов CsI. Решение этих задач требует новых подходов или оптимизации ранее предложенных методов. В ИЯФ СО РАН был исследован способ осаждения CsI, который позволяет избежать диссоциации на отдельные атомы и потери чувствительности. В этом методе используется специально подготовленная микроканальная матрица с высоким отношением длины каналов к их диаметру. Поскольку массоперенос может происходить на размере одной молекулы, применение такой методики способно значительно улучшить пространственное разрешение. Для подбора характеристик чувствительной области, позволяющих максимально, с в рамках имеющихся технических возможностей, улучшить световыход и пространственное разрешение детектора, было проведено компьютерное моделирование распространения излучения. Программа позволяет проследить весь путь и преобразования квантов от входа в детектор до достижения чувствительной матрицы. Расчет включает в себя оптимизацию геометрической структуры и подбор материалов для минимизации оптических потерь и темнового фона в соседних микроканалах. После освоения данной технологии и достижения необходимых параметров, детектор может найти свое применение в медицине, синхротронных экспериментах, физике высоких энергий и быть рассмотрен с коммерческой точки зрения.

Проявление $a_1(1260)$ мезона в процессе $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$

Образцов И.В.^{1,2}, Руденко А.С.^{1,2}, Мильштейн А.И.^{1,2}

¹ *Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера*

² *Новосибирский государственный университет*

Изучена зарядовая асимметрия в процессе $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ с учетом продольной поляризации электронов (позитронов). Асимметрия возникает из-за интерференции амплитуд, соответствующих рождению пионов в C -нечетном и C -четном состояниях, и является проявлением $a_1(1260)$ мезона в промежуточном состоянии. Наличие поляризации приводит к дополнительным корреляциям в дифференциальном сечении, что упрощает экспериментальное изучение процесса. Показано, что зарядовая асимметрия может достигать нескольких процентов.

Интегральные представления WLZZ моделей и их деформации

Орешина А.А.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Доклад будет посвящён исследованию интегрального представления WLZZ класса матричных моделей. Я расскажу о конструкции β -деформированной интегральной статсуммы WLZZ, а также затрону вопрос о выборе контура интегрирования в деформированных и недеформированных статсуммах в интегральном представлении.

Исследование редкого распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \gamma$ в эксперименте ОКА

Охотников А.В.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Представлены достигнутые результаты в исследовании редкого каонного распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \gamma$ в эксперименте ОКА. Распады каонов представляют большой интерес для фундаментальной физики, поскольку играют важную роль в измерении величины CP-нарушения - одной из крупнейших задач современной космологии и физики элементарных частиц.

Компактный спектрометр с временным разрешением на постоянных магнитах для диагностики потока заряженных частиц плазмы

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

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В работе представлен опыт разработки компактных магнитных спектрометров для измерения спектра заряженных частиц от импульсной лазерной или Z-пинч плазмы. Магнитный спектрометр позволяет измерять энергетический спектр ионов плазмы для ионов в диапазоне энергий от 8 кэВ до 1800 кэВ. Регистрация спектра ионов производится как на быстром пластиковом сцинтилляторе с помощью стробируемой ПЗС камеры с ЭОП, так и с помощью интегральных пленок ImagingPlates BAS-TR.

Криогенная корпускулярная мишень для литографии

Панюшкина А.Н.¹, Герасимов А.Г.¹, Канцырев А.В.¹, Кристи В.Н.¹, Федорец П.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Предполагается использование криогенной корпускулярной капельной мишени для литографии в глубоком ультрафиолете с помощью генерации потока монодисперсных гранул (сферы одинакового размера с одинаковым расстоянием между собой), замороженных при низких криогенных температурах. Планируется получение монодисперсных твердых микромишеней из ксенона в настраиваемом диапазоне размеров 15-200 мкм и подбираемом диапазоне частот 100-450 кГц. Планируется использование данных ксеноновых мишеней в качестве индуцированного лазером источника импульсов излучения с длиной волны $\sim 11,2$ нм.

Разработка модуля обработки файлов в формате DICOM для системы планирования ионной лучевой терапии

Парменова Е.В.¹, Ющенко О.П.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Для проектируемого центра ионной лучевой терапии на базе действующего Ускорительного комплекса У-70 НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ в г. Протвино необходима уникальная планирующая система. Обязательным компонентом такой системы является модуль, осуществляющий обработку файлов в формате DICOM и перевод их в формат, пригодный для эффективного использования в системе планирования. В докладе представлена программа, предназначенная для работы с DICOM-файлами. Программа реализована на C++ с использованием библиотеки DCMTK. Она позволяет обрабатывать как данные КТ-сканирования, так и контуры ROI. Для получения необходимых структур ROI разработаны специальные быстрые алгоритмы.

Исследование когерентного излучения фотонов в кристаллах для применений на ускорителях

Парменова Е.В.¹, Васильева А.Г.¹, Дурум А.А.¹, Чесноков Ю.А.¹, Янович А.А.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Последние несколько десятилетий активно обсуждается идея создания источников излучения на основе кристаллов, в которых уже присутствует интенсивное периодическое электрическое поле. Наибольшую спектральную плотность создает излучение при каналировании легких частиц в кристаллах, предсказанное в работах Н.А. Кумахова в 1976 году. Позже Э.Н. Цыганов действительно экспериментально показал, что в тонкой кристаллической пластине существует острый пик излучения фотонов с энергией 60 МэВ, обусловленный периодическими колебаниями при каналировании электронов с энергией 10 ГэВ. В рамках данной работы на отечественном ускорителе У-70 проведен эксперимент по измерению радиационных потерь энергии 7 ГэВ-ных электронов в кристаллах кремния (Si) и вольфрамата свинца (PWO₄). В отличие от предшествующих работ, кристаллы имели большую толщину, около одной радиационной длины, для демонстрации мощного источника фотонов высокой энергии. Источники излучения на основе кристаллов могут найти применение на ускорителях СКИФ и СИЛА для просвечивания объектов, обладающих высокой оптической плотностью.

Физика Вс мезонов на ЛНС

Перейма Д.Ю.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Уникальное состояние, состоящее из двух тяжелых кварков разных ароматов (\bar{b} - и c -кварки), B_c^+ мезон, имеет специфические механизмы образования, спектроскопию и обширный спектр мод распада. Несмотря на то, что частица B_c^+ была открыта более 25 лет назад в эксперименте CDF, частица до сих пор плохо изучена. Эксперименты на Большом адронном коллайдере (БАК) ознаменовали новую эру для исследований B_c^+ мезонов, которые были недоступны в предыдущем поколении экспериментов на электрон-позитронных машинах. Наиболее значимую роль в исследованиях в области спектроскопии прелестных и очарованных адронов на Большом адронном коллайдере играет эксперимент ЛНСб, который на данный момент является уникальной лабораторией, позволяющей исследовать весь спектр прелестных адронов и их возбужденные состояния, включая тяжелый кварконий - B_c^+ мезон. В докладе представлены последние результаты спектроскопии B_c^+ мезонов в экспериментах на БАК.

Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0\pi^0$ с детектором КМД-3

Першин И.Д.¹

¹ *Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера*

² *Новосибирский национальный исследовательский государственный университет*

Целью данного анализа является измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0\pi^0$ в диапазоне энергий в системе центра масс от порога рождения ($\sim 1,6$ ГэВ) до 2 ГэВ с детектором КМД-3 на ВЭПП-2000. Анализ проводился на статистике сезона 2019 г. с набранной светимостью около 36 пб^{-1} . Методика отбора сигнальных событий основана на использовании ионизационных потерь каонов в дрейфовой камере и отборе пар фотонов по инвариантной массе, наиболее близкой к массе π^0 . Для вычисления количества событий изучаемого процесса статистика для энергий выше пороговой объединялась в интервалы по 50 МэВ по энергии в системе центра масс. Число сигнальных событий определялось по гистограмме квадрата недостающей массы системы $K^+K^-\pi^0$. Число фоновых событий определялось методом «сайдбендов». Полученные предварительные результаты согласуются с результатами, полученными на детекторе BABAR в 2011 г.

Цифровой трековый детектор на основе кремниевых пиксельных сенсоров для изучения характеристик пучков

Петров В.В.¹, Жеребчевский В.И.¹, Мальцев Н.А.¹, Кондратьев В.П.¹, Прокофьев Н.А.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

Сегодня кремниевые пиксельные сенсоры широко используются в экспериментах по ядерной физике [1]. Они также используются в протонной компьютерной томографии для планирования лечения опухолей при протонной терапии. Пиксельные детекторы позволяют получить характеристики пучка или тормозной способности протонов в тканях человека благодаря высокоточной реконструкции треков протонов. В докладе обсуждается применение алгоритма трекинга на основе клеточного автомата. Представлены результаты высокоточной реконструкции треков заряженных частиц. Используя модель транспорта протонов в Монте-Карловском генераторе GEANT4, была оценена эффективность реконструкции треков. Представлены экспериментальные результаты мониторинга протонных пучков с различными энергиями и их характеристики (профиль, эмиттанс).

Исследование выполнено за счет гранта Российского Научного Фонда номер 23-12-00042, <https://rscf.ru/project/23-12-00042/>

1. V. I. Zhrebchevsky et al., Silicon Detector Systems for Investigating Superdense Nuclear Matter at the NICA Accelerator Complex, Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., 88, 1235–1248 (2024).

Моделирование эволюции белых карликов с использованием уравнения состояния для неидеальной плазмы

Подкуйченко Д.А.^{1,2}, Блинников С.И.^{1,2}

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Последние возможности регистрации белых карликов на телескопах GAIA и др. позволяют наблюдать старые и холодные объекты, предоставляя обширный материал для моделирования финальной стадии их эволюции. При этом белый карлик может использоваться как лаборатория для проверки теорий поведения вещества при экстремальных условиях, недостижимых на земле.

В настоящей работе проводится моделирование тепловой эволюции белых карликов для разных составов атмосфер с использованием гидродинамического кода Блинникова С.И. и Дуниной-Барковской Н.В., позволяющего изучать эволюцию объекта до времен порядка возраста Вселенной. Новым в этом коде является использование уравнений состояния для неидеальной плотной плазмы, разработанных Потехиным А.Ю.. В моделировании используется приближение однокомпонентной плазмы, состоящей из углерода, либо кислорода.

Благодаря учёту эффектов неидеальности в новой версии кода для эволюции белых карликов удаётся получить выход на стадию кристаллизации в центре звезды. Как и ожидалось, после начала кристаллизации, происходит выброс тепла, а затем скорость остывания увеличивается. Это связано с тем, что белый карлик входит в фазу дебаевского охлаждения, когда теплоёмкость кристаллического вещества начинается падать. Особенно этот эффект существенен для массивных белых карликов (масса $\sim 1.3 M_{\odot}$), для которых время остывания до $T_{\text{eff}} \sim 3 \cdot 10^3 \text{ К}$ уменьшается почти в 10 раз относительно моделей с уравнением состояния для идеальной плазмы.

Дифференциальные уравнения на интегралы Фейнмана и их свойства

Рева М.А.^{1,2}

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

Я расскажу об одном из подходов к изучению свойств Фейнмановских интегралов - построению и последующему анализу линейных однородных дифференциальных уравнений с рациональными коэффициентами, которым они удовлетворяют. Будут представлены два метода построения подобных уравнений - в координатном и импульсном пространстве соответственно. Основной идеей является то, что не проинтегрированное произведение функций Грина в координатном пространстве после преобразования Фурье переходит в много-петлевой интеграл в импульсном. В связи с этим, сначала я расскажу о построении уравнений в координатном пространстве, обсужу их порядок и "детерминантную" структуру. В импульсном пространстве для построения уравнений будет использован метод Пикара-Фукса. Эти уравнения связаны преобразованием Фурье, однако нетривиально - Фурье образ содержит в себе минимальное (в смысле с минимальным порядком) уравнение, но лишь в качестве правого фактора. В связи с чем возникает вопрос о факторизации дифференциальных операторов о продвижении в котором я тоже расскажу. В заключении я обсужу связь Фейнмановских интегралов с периодами многообразий Калаби-Яу и алгебраическими многообразиями в целом.

Унифицированная станция кристаллических дефлекторов на ускорителе У-70

Решетников С.Ф.¹, Афонин А.Г.¹, Барнов Е.В.¹, Левин А.Я.¹, Чесноков Ю.А.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Сообщается о разработке и создании унифицированной станции кристаллических дефлекторов (СКД) на ускорителе У-70. Станция осуществляет тонкие угловые и линейные перемещения кристаллических дефлекторов, находясь в жестких условиях работы: в циклическом магнитном поле ускорителя, которое может варьироваться от 0 до 1,2 Тесла; в условиях вакуума $10^{(-7)}$ Тор; в условиях радиации с высокой мощностью дозы 0.01 Зв в час.

Подробно описаны составные части унифицированной СКД и их взаимная связь. Представлен комплекс автоматизированного управления унифицированной СКД. Приводятся результаты работы унифицированной СКД с пучками протонов в сеансах на У-70. Показаны преимущества унифицированной СКД, относительно СКД предыдущего поколения.

Разработка системы сцинтилляционных детекторов для подавления космического излучения в рамках проекта по исследованию реакции ядерного dd-синтеза с поляризацией исходных частиц при низких энергиях (PolFusion)

Рождественский А.Ю.¹

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

Будет представлена работа по разработке системы сцинтилляционных детекторов для подавления космического излучения в эксперименте по изучению реакций ядерного dd-синтеза с малой энергией пучка (PolFusion). Целью ядерно-физического эксперимента PolFusion, осуществляемого в Петербургском институте ядерной физики (Гатчина), является изучение реакции синтеза $2\text{H}(d,p)3\text{H}$ и $2\text{H}(d,n)3\text{He}$ с поляризацией исходных частиц при низких энергиях в диапазоне 10-100 кэВ. Работа включает следующие этапы: моделирование центральной детекторной системы эксперимента PolFusion и сцинтилляционной детекторной системы, разработка конструкции сцинтилляционной детекторной системы и результаты тестовых измерений космического излучения.

Экстракция урана на границе полярной и неполярной среды

Румянцева Д.А.¹

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

В работе исследован процесс адсорбции комплексов урана в растворе трибутилфосфата. Процесс наблюдался в гетерогенной системе на вертикальной границе раздела полярного раствора 5,6 М азотной кислоты и твердой поверхности неполярного полипропилена. Комплексы исследованы гамма-спектрометрическим методом.

Изучение кинетики процесса экстракции осуществлялось по моделям псевдо-первого порядка Ерофеева-Колмогорова и псевдо-второго порядка Хо и Маккея. Расчеты кинетических параметров свидетельствует о том, что легкие изотопы урана обладают большей подвижностью по сравнению с тяжелыми. На вертикальной границе раздела сред обнаружено накопление изотопов урана-235.

Исследование экзотических адронов в эксперименте LHCb

Саврина Д.В.^{1,2}

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Существование экзотических адронов, то есть частиц, внутренняя структура которых выходит за рамки привычной схемы $q\bar{q}$ -мезонов и qqq -барионов, было предсказано одновременно с кварковой моделью, однако первая подобная частица, $\chi_{c1}(3872)$ была открыта немногим более 20 лет назад. С тех пор экспериментально было обнаружено ещё несколько десятков подобных частиц, однако их внутренняя структура по-прежнему остаётся предметом дискуссии. Открытие новых экзотических адронов, детальное изучение их свойств и как следствие исследование способов взаимодействия кварков в их составе может дать важную информацию для лучшего понимания непертурбативной КХД.

В докладе будут представлены недавние результаты эксперимента LHCb по поиску и исследованию экзотических адронов.

Обнаружение распада $B_c^+ \rightarrow J/\psi \rho^+(\pi^+ \pi^0)$ в эксперименте LHCb

Сальникова М.О.^{1,2}, Голубков Д.Ю.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Уникальное состояние, состоящее из двух тяжелых кварков разных ароматов ($\bar{b}c$ -кварков), называется B_c^+ -мезоном, открытое в эксперименте CDF на ускорителе Теватрон [1]. На Большом адронном коллайдере (БАК) сечение рождения b -кварка велико [2], что позволяет изучать распады b -адронов, в том числе и B_c^+ -мезоны. Распад этих мезонов происходит за счет слабого взаимодействия, когда один из двух тяжелых кварков распадается, а другой является кварком-спектратором, или путем аннигиляции $\bar{b}c$ -кварков в виртуальный W^+ -бозон.

Распад $B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^0$ является одним из не зарегистрированных ранее распадов на чармоний, заряженный пион и π^0 – мезон в конечном состоянии. При этом ожидается, что промежуточное состояние $(\pi^+ \pi^0)$ -системы содержит преимущественно ρ^+ компоненту [3].

Данная работа посвящена первому обнаружению распада $B_c^+ \rightarrow J/\psi \rho^+(\pi^+ \pi^0)$ и определению отношения парциальных ширин распадов:

$$R \equiv Br(B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^0) / Br(B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+),$$

теоретические предсказания которого варьируется от 2.5 до 5.7 [3]. Мода $B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$ является нормировочным каналом. Канал распада $B^+ \rightarrow J/\psi (K^{*+} \rightarrow K^+ \pi^0)$ – контрольный, позволяющий учесть потенциальное смещение среднего значения массы и ширины пика. Изучение распада $B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^0$ проводилось при помощи анализа данных, набранных в период с 2011 по 2018 гг., в протон-протонных столкновениях, соответствующих интегральной светимости 9fb^{-1} при энергии в системе центра масс 7,8 и 13 ТэВ в спектрометре LHCb.

1. CDF collaboration, F. Abe et al., Observation of the B_c meson in pp collisions at $\sqrt{s}=1.8$ TeV, Phys. Rev. Lett. 81 (1998) 2432, arXiv:hep-ex/9805034.

2. LHCb collaboration, R. Aaij et al., Measurement of $\sigma(pp \rightarrow b\bar{b}X)$ at $\sqrt{s}=7$ TeV in the forward region, Phys. Lett. B694 (2010) 209, arXiv:1009.2731.

3. A. K. Likhoded and A. V. Luchinsky, Light hadron production in $Bc \rightarrow J/\psi + X$ decays, Phys. Rev. D81 (2010) 014015, arXiv:0910.3089.

Критическое поведение в активных средах

Сатлейкин М.Ю.¹, Федоркова Д.С.¹, Павловский О.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В работе исследуются критические явления, происходящие в активных средах, возникающих в химической физике, биологии, нейронауке, экологии и других областях знаний. Исследования проводятся на основе модели клеточных автоматов. Показана зависимость критического поведения от геометрии связей в клеточном автомате, найден инвариант для произвольных систем такого типа.

Сравнение нейтронно-физических и системных характеристик ВВЭР-СКД при делении ядер ториевого и уран-плутониевого топлива

Силичева К.А.¹, Бландинский В.Ю.²

¹ ИАТЭ НИЯУ МИФИ

² НИЦ «Курчатовский институт»

Более 90% реакторов в мире в мире - водоохлаждаемые, из них большая часть - с водой под давлением. Технология ВВЭР в настоящее время на пике своего развития, при текущей тенденции путь развития в сторону СКД параметров теплоносителя кажется наиболее логичным, поскольку уже более 70 лет в тепловой энергетике на органическом топливе создавались технологии и материалы для работы с водой СКД параметров, и с ними возможно сделать качественный шаг вперед. Разработка реакторов с водяным теплоносителем СКД параметров позволит сократить удельные капитальные затраты и улучшить топливоиспользование. Кроме того, есть потенциал внедрения перспективных видов топлива, приближающих ядерную энергетику к переходу на замкнутый топливный цикл и вовлечению в ЯТЦ сырьевых материалов – урана-238 и тория-232. В работе проводилось исследование нейтронно-физических и системных характеристик ВВЭР-СКД при загрузке ториевым и уран-плутониевым топливом. Моделирование процесса выгорания проводилось с использованием программного кода MCNP6 и библиотеки ядерных данных ENDF/B-7.0. В первом приближении удалось произвести оценку эффектов реактивности при разной плотности воды, в частности оценить эффекты реактивности при потере теплоносителя, т.е. при опустошении активной зоны и реактора в целом (пустотный эффект реактивности), и при попадании в активную зону воды с высокой плотностью, близкой к 1.0 г/см³ (эффект залива). При расчете выгорания удалось установить, что топливо с оксидом тория требует меньшего запаса реактивности при старте топливной кампании, чем смешанное оксидное уран-плутониевое топливо, что повышает уровень безопасности эксплуатации реактора.

Квантовая и классическая энтропия Крылова в исследовании квантового хаоса

Синица В.А.¹

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

В данной работе мы ставили задачу понять, чему в классическом случае соответствует максимум энтропии Крылова, который появляется даже для нехаотических систем. На первый взгляд он соответствует сепаратрисе в фазовом пространстве, что было бы логично. Однако более внимательное рассмотрение указывает, что максимум достигается примерно в области максимальной длины классической траектории. Чтобы понять, почему это происходит, мы предлагаем следить за поведением классической энтропии – аналога энтропии Крылова – в переменных угол-действие. Эту операцию мы проводим для гамильтониана вида $H = a/2I^2 + bI + c$ и сравниваем полученный результат с разложением гамильтониана LMG до квадратичного слагаемого по переменной действия, которая легко вводится для этой системы, так как она интегрируема.

Канал ионов углерода на ускорительном комплексе У-70. Метод моментов и коррекция размеров пучка

Синюков Р.Ю.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Рассматривается канал ионов углерода для радиобиологических и предклинических исследований на ускорительном комплексе У-70. Представлена оптическая схема канала, а также обсуждается проблема коррекции размеров пучка вследствие неопределенности и нестабильности его начальных параметров. Для изменения базовых режимов магнитооптических элементов предлагается процедура, основанная на методе моментов. Процедура включает в себя определение влияния каждой квадрупольной линзы на конечный размер пучка с учетом многократного кулоновского рассеяния в воздушных промежутках и вакуумных перегородках ионопровода, что позволяет выбрать наиболее эффективные линзы для итерационного процесса коррекции размеров пучка. Данный подход демонстрируется на примере пучка ионов углерода с начальной энергией 455 МэВ/нуклон.

Моделирование дифракционных спектрографов для восстановления рентгеновских спектров излучения плазмы

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

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В представленной работе разработаны уникальные полномасштабные Монте-Карло модели дифракционных спектрографов скользящего падения GIS, GIS-3D, VUV-QFF и кристаллического спектрографа JA-1, позволяющие на принципиально новом уровне проводить численное моделирование работы спектрографов с отражательной дифракционной решеткой (ДР) и кристаллом слюды. На основе моделей спектрографов разработаны методы восстановления исходных спектров экстремального ультрафиолетового излучения (ЭУФ) и мягкого рентгеновского излучения (МР) [1,2,3] плазмы.

Основными проблемами, препятствующими достоверному качественному и количественному восстановлению ЭУФ и МР спектров излучения плазмы Z-пинча, является наложение сигналов от разных порядков дифракции и зависимость распределения интенсивности излучения в различные порядки дифракции от длины волны после взаимодействия излучения с ДР и кристаллом слюды. В разработанных моделях спектрографов, для учета процессов взаимодействия ЭУФ с ДР и МР с кристаллом спектрографа используются дифференциальный метод и динамическая теория дифракции.

Разработаны два оригинальных метода восстановления исходного спектра излучения плазмы мега-амперного Z-пинча установки Ангара 5-1:

1) Быстрый однопроходный метод восстановления исходных спектров ЭУФ излучения плазмы учитывающий вклад различных порядков дифракции в сигнал спектрограмм [2].

2) Метод восстановления исходных МР спектров излучения плазмы с использованием рассчитанной аппаратной функции спектрографа, учитывающий уширение спектральных линий [1] в плоскости регистрации спектрографа.

С использованием разработанных методов выполнено восстановление спектров Z-пинч плазмы на установке Ангара 5-1:

1) Восстановлены исходные спектры ЭУФ излучения плазмы, полученные в экспериментах с нагрузкой в виде вольфрамового многопроволочного цилиндрического лайнера. Показано, что максимум излучения лежит в диапазоне 5-6 нм, что соответствует массиву не разрешаемых переходов 4d-4f в ионах W [1,2].

2) Измерены значения коэффициентов пропускания Al и In в диапазоне 2-30 нм. Полученные результаты совпадают с базой данных Henke [2].

3) Показано существенное влияние формы профиля штриха дифракционной решетки на результаты восстановления исходных спектров. С использованием априорной информации определены формы профилей штрихов ДР для спектрографов GIS-3D и VUV-QFF [2].

4) Восстановлен спектр МР излучения плазмы Z-пинча, полученного с помощью спектрографа JA-1 в экспериментах с нагрузкой состоящей из Al проводников с вложенными W проводниками [3].

1. A.V. Skobliakov, D.S. Kolesnikov, A.V. Kantsyrev, A.A. Golubev, I.V. Rudskoi, A.N. Gritsuk, E.V. Grabovskii, K.N. Mitrofanov, G.M. Oleinik, 2023, Plasma Phys. Rep. 49(6), 700-717.

2. A.V. Skobliakov, D.S. Kolesnikov, A.V. Kantsyrev, A.A. Golubev, M.V. Ilyicheva, A.N. Gritsuk, E.V. Grabovskii, The Review of scientific instruments, 2023, 94(11), 113102

3. A.V. Skobliakov, D.S. Kolesnikov, A.V. Kantsyrev, A.A. Golubev, A.N. Gritsuk, G.S. Volkov, E.V. Grabovskii, Reconstruction of Z-pinch emission spectra in the wavelength range of less than 10 ? using a crystal X-ray spectrograph, Rev. Sci. Instrum., 1 July 2024, 95 (7), 073101, <https://doi.org/10.1063/5.0212101>

Однофотонная аннигиляция позитрона на атомном электроном при низких энергиях

Сорокин С.В.^{1,2}, Крачков П.А.^{1,2}

¹ ИЯФ СО РАН

² Новосибирский государственный университет

Взаимодействие с атомными электронами является одним из основных процессов при прохождении позитронов через вещество. В отличие от аннигиляции позитрона на свободном электроном, которая может происходить только с испусканием двух или более фотонов, процесс аннигиляции на атомном электроном может быть однофотонным из-за присутствия третьего тела – ядра. Вследствие передачи импульса ядру данный процесс подавлен относительно основного двухфотонного канала. Простейшие оценки показывают, что однофотонная аннигиляция характеризуется сечением $\sigma \sim \alpha(Z\alpha)^5/m^2$, где Z – заряд ядра, m – масса электрона, $\alpha = 1/137$ – постоянная тонкой структуры.

Однофотонная аннигиляция низкоэнергетичных позитронов на атомных электронах в поле легких ядер представляет интерес как с теоретической точки зрения, так и с экспериментальной, поскольку в значительной степени остаётся неисследованной. Полагая $Z\alpha \sim v_p \ll 1$, где v_p – скорость позитрона, с использованием релятивистских кулоновских волновых функций, получены аналитические выражения для дифференциального и полного сечения однофотонной аннигиляции в первом неисчезающем порядке по $Z\alpha$, а также численно исследовано влияние экранировки на данный процесс. Показано, что учёт атомного экранирования значительно увеличивает сечение однофотонной аннигиляции медленных позитронов на s - и p -электронах. Также получено сечение для связанного процесса – фоторождения электрон-позитронной пары в поле ядра с последующим захватом электрона на орбиту.

Что известно про неабелевы 2-формы и их интегралы?

Судрун П.А.¹

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

Я расскажу про подход, который мне кажется перспективным для поиска обобщений неабелевых интегралов (то есть, Р-экспонент, или параллельных переносов вдоль связностей) на случай интегралов по поверхностям. Будут определены объекты, допускающие инвариантное интегрирование (неабелевы 2-формы) и рассказано, какую задачу надо решать, чтобы прийти к этому интегрированию. Также я постараюсь рассказать, какое отношение это имеет к интегрированию алгебр Ли в группы Ли, и, независимо от этого, насколько мне известен ответ, и какие препятствия нужно преодолеть, чтобы узнать его полностью.

Первые результаты эксплуатации профилометра УД21 в канале перевода пучка из У-1.5 в У-70

Сухов К.А.¹, Антоничев Г.М.¹, Терехов В.И.¹, Горлов В.Н.¹, Сыщиков Е.А.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

В докладе представлены результаты первой эксплуатации прототипа системы измерения поперечных характеристик. Приведено краткое описание системы, включающей в себя двухкоординатный профилометр (32 канала на плоскость) и обрабатывающую электронику, интегрированную в СУ У-70. Проанализированы результаты работы при измерении обоих видов пучков, а также исследована зависимость положения пучка от тока выводного септум-магнита СМ2. На основании проведенных исследований сделан вывод о целесообразности дальнейшего применения прототипа в составе создаваемой системы диагностики канала перевода.

Предварительная электроника системы измерения орбиты пучка в ускорителе У-1.5

Сыщиков Е.А.¹, Игнашин Н.А.¹, Терехов В.И.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

В рамках модернизации системы измерения замкнутой орбиты пучка в ускорителе У-1.5 разработаны и введены в опытную эксплуатацию 4-канальные предварительные усилители с переключаемой чувствительностью ($k=1-10-50$) для адаптации к интенсивности как протонного, так и ионного пучков. Каждая четверка усилителей смонтирована в экранированном боксе, размещаемом в непосредственной близости от 4-электродной станции электростатических датчиков положения. В этом боксе размещен прецизионный тест-генератор, используемый для дистанционного автоматического тестирования усилителей и попарной калибровки всех измерительных каналов.

Прецизионные измерения характеристик лёгких мезонов с помощью механизма Примакова в JLab

Долголенко А.Г.¹, Матвеев В.А.¹, Тарасов В.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В настоящее время в физике частиц наступила эра прецизионных измерений. Новые методы и современные технические решения позволяют существенно улучшить точность измерения характеристик изучаемых частиц, а в следствии чего, подтвердить или опровергнуть существующие теории.

Механизм Примакова представляет из себя фоторождение мезонов в кулоновском поле ядра.

Применение данного метода и зная с высокой точностью энергию налетающего фотонного пучка даёт возможность прецизионно измерять сечения рождения легчайших из сильно взаимодействующих частиц, наблюдаемых в природе, пи-мезонов.

В докладе будет рассказано об экспериментах основанных на механизме Примакова в лаборатории им. Т. Джефферсона осуществляемых на прецизионном фотонном пучке — PrimEx, PrimEx-eta, CPP/NPP.

Эксперименты PrimEx и PrimEx-eta состоят в измерении ширин распада пи0- и эта-мезона соответственно. Основная цель экспериментов CPP/NPP состоит в измерении поляризуемости заряженных и нейтральных пионов.

Ренормгрупповые уравнения в неперенормируемой КТП и их реализация в суперсимметричных и инфляционных моделях

Толкачёв Д.М.¹, Бухбиндер И.Л.¹, Казаков Д.И.¹, Яхиббаев Р.М.¹
¹ *ОИЯИ*

В работе будет рассмотрен способ получения ренормгрупповых уравнений в неперенормируемой КТП. Данные уравнения будут выведены для эффективного потенциала в произвольной скалярной теории, суперсимметричной модели Весса-Зумино и моделях космологической инфляции.

Исследование цитогенетических эффектов воздействия ионами углерода и протонами *in vitro*

Трошина М.В.¹, Корякина Е.В.¹, Сабуров В.О.¹, Соловьев А.Н.^{1,2}, Корякин С.Н.^{1,2}

¹ Медицинский радиологический научный центр им. А. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России

² НИЯУ «МИФИ», Обнинский институт атомной энергетики

Применение для целей лучевой терапии ускоренных протонов и более тяжелых ионов перспективно как с точки зрения физико-дозиметрического распределения дозы в облучаемой мишени, так и их биологических свойств, в частности, более высокой биологической эффективности в сравнении с фотонами. Сочетанное облучение разными типами ионов позволяет создать конформное дозовое поле, но необходимо учитывать, что на окружающие опухоль ткани также происходит воздействие разными ускоренными частицами. Для прогнозирования возможных постлучевых осложнений актуальным является цитогенетическое исследование эффектов как однократного, так и сочетанного воздействия на клетки излучения, характерного для проксимальной части кривых Брэгга пучков ускоренных ионов.

Целью исследования было оценить эффективность сочетанного воздействию протонным и ионным пучками при облучении в проксимальной области кривых Брэгга по индукции аберраций хромосом в клетках млекопитающих.

Исследования выполняли на клетках линии В14-150 (китайский хомячок, фибросаркома) в стационарной фазе роста культуры. Культивирование клеток до и после облучения, а также приготовление препаратов метафазных хромосом первого митоза осуществляли в соответствии со стандартными методиками и протоколами. Цитогенетические эффекты оценивали по суммарной частоте аберраций хромосом (АХ), при этом учитывали весь спектр АХ, видимых при окрашивании по Гимза. Облучение ионами углерода проводили в Центре коллективного пользования «Радиобиологический стенд на углеродном пучке У-70» ИФВЭ им. А.А. Логунова (г. Протвино), протонами – на Комплексе протонной терапии «Прометеус» (АО «ПРОТОМ») в МРНЦ им. А.Ф. Цыба (г. Обнинск). Эффективность однократного воздействия ионов углерода исследовали в диапазоне доз 0-2,5 Гр, протонов – 0-2 Гр, сочетанное воздействие осуществляли по схемам 0,24 Гр (¹²С) + 1 Гр (р) и 0,48 Гр (¹²С) + 1,9 Гр (р) с временным интервалом ~2,5 ч. Эффективность сочетанного ион-протонного воздействия оценивали с помощью коэффициента $K_{эфф}$ – как отношение эффекта сочетанного облучения к сумме эффектов облучений, действовавших независимо друг от друга.

Полученные дозовые зависимости удовлетворительно описывались модифицированным линейно-квадратичным уравнением Марплса-Джойнера, при этом для ионов углерода в большей степени, для протонов – в меньшей, было показано наличие эффекта гиперчувствительности и индуцированной радиорезистентности (ГЧ–ИР), проявляющегося в нерегулярной форме дозовой зависимости в диапазоне доз до 0,5-1 Гр. Уровень эффекта сочетанного облучения ионами углерода и протонами изменялся от независимого до антагонистического действия при увеличении суммарной физической дозы в 2 раза.

Нерегулярная зависимость частоты АХ, показанная для области низких доз протонного и ионного излучений, может свидетельствовать об универсальности проявления ГЧ–ИР, наличие которого было показано и ранее на других тест-системах при воздействии разными видами излучений с низкими значениями линейной передачи энергии. Установленный в работе независимый и антагонистический эффект при ион-протонном воздействии представляется с точки зрения лучевой терапии более привлекательным, т.к. в данном случае это означает непревышение повреждающего эффекта на окружающие ткани при сочетанном воздействии относительно отдельного облучения ионами и протонами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 075-15-2021-1347).

Текущий статус изучения экспериментом «ОКА» распадов $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu_\mu \gamma$ и
 $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e \gamma$.

Тюрин И.С.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Эксперимент «ОКА» продолжает изучение чувствительных к эффектам Новой Физики редких распадов $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu_\mu \gamma$ ($K_{\mu 3\gamma}$) и $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e \gamma$ ($K_{e 3\gamma}$), используя ВЧ-сепарированный каонный пучок ($p = 17,7$ ГэВ/с) протонного синхротрона У-70 НИЦ КИ – ИФВЭ. Представленные результаты соответствуют значению $2,62 \times 10^{10}$ зарегистрированных в эксперименте распавшихся K^+ . Получены отношения брэнчингов распадов $Br(K_{\mu 3\gamma})/Br(K_{\mu 3})$ и $Br(K_{e 3\gamma})/Br(K_{e 3})$. Построено распределение прямо связанной с T -нечетными тройными корреляциями переменной $\xi_{\pi\mu\gamma}(\xi_{\pi e\gamma}) = \frac{1}{M_K^3} \vec{p}_\gamma \cdot [\vec{p}_\pi \times \vec{p}_{\mu(e)}]$ в системе покоя распадающегося K^+ . Вычислены значения асимметрии A_ξ распределения ξ для распадов $K_{\mu 3\gamma}$ и $K_{e 3\gamma}$, где $A_\xi = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}$, $N_{+(-)}$ – число событий с $\xi > (<) 0$.

Двухуровневая система на основе электронных возбуждений в графене в гармонической ловушке

Ульянов А.М.¹, Павловский О.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Развитие современной физики полуметаллов требует рассмотрения моделей с нетривиальными дисперсионными соотношениями. Мы рассмотрели одномерную модель со сложной кинетической частью, воспроизводящей дисперсионное соотношение для электронов в графене. Система помещена в гармоническую ловушку.

В работе развит формализм континуального интеграла для таких систем и получен аналог формулы Фейнмана-Каца в пространстве волновых чисел. На основе этого проведено моделирование методом гибридного Монте Карло. Определена энергия основного состояния. В пространстве волновых чисел выявлено наличие инстантонов между конусами Дирака. Дополнительное исследование путем численного решения уравнения Шредингера в k -представлении позволило определить энергетический спектр и волновые функции в случае координатных ловушек разной силы. Выявлено, что благодаря нетривиальному дисперсионному соотношению наблюдается расщепление основного состояния и система является эффективно двухуровневой, несмотря на простоту координатного потенциала.

О трёхпетлевой суперструнной мере

Федоров И.В.¹

¹ *Высшая школа экономики*

² *Сколковский институт науки и технологий*

Континуальный интеграл теории струн приводит к мере Полякова на пространстве модулей римановых поверхностей, необходимой для пертурбативного вычисления струнных амплитуд. В 1980-х годах Белавин и Книжник показали, что мера Полякова является "квадратом модуля" голоморфной формы объёма на пространстве модулей, и с помощью этого наблюдения вывели явные формулы через матрицы периодов для родов 2 и 3. Аналогично, суперструнные меры необходимы для пертурбативного вычисления суперструнных амплитуд. Явную формулу для суперструнной меры для рода 2 получили Д'Окер и Фонг в начале 2000-х годов. Аналогичные формулы для рода 3 неизвестны (точнее, в 2008 г. Качьятори, Далла Пьяцца и ван Хеэмен предложили анзац, но Витген в 2015 г. привел аргументацию, что этот анзац - это не то, что нужно). В докладе будет предложен способ получить явные формулы для суперструнной меры для рода 3, в частности, будет показано, что ответ представляется в виде линейной комбинации трёх явно известных выражений.

Расчет вакуумной системы криогенной корпускулярной ксеноновой мишени

Халявин А.Б.¹, Кристи Н.М.¹, Герасимов А.С.¹, Федорец П.В.¹
¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Вакуумная система является важной частью планируемой криогенной корпускулярной ксеноновой мишени для литографии.

В мишени реализуется генерация жидких одинаковых капель ксенона размерами 15-200 мкм с последующим замораживанием в твердые гранулы.

Вакуумная система в камере генерации жидких капель должна обеспечивать давление около 800 мбар, а в первой вакуумной камере после прохождения скиммера в диапазоне от 10⁻³ до 1 мбар.

Произведено моделирование вакуума в программе MolFlow методом Монте-Карло, на основе экспериментальных данных на действующем макете водородной мишени. Подобраны оптимальные средства откачки.

Использование аксиальной аномалии для изучения непертурбативных явлений в КХД

Хлебцов С.П.¹, Оганесян А.Г.¹
¹ НИЦ «Курчатовский институт»

В рамках дисперсионного подхода к аксиальной аномалии рассмотрены как Абелев, так и не-Абелев случаи. Были выведены аномальные правила сумм для изовекторного, октетного и синглетного токов, которые позволяют связать экспериментально наблюдаемые величины переходные форм-факторы $\pi^0, \eta, \eta' \rightarrow \gamma\gamma^{(*)}$ с непертурбативным глюонным матричным элементом $\langle 0 | G\tilde{G} | \gamma\gamma^{(*)} \rangle$. Получено описание этого матричного элемента, как функции от виртуальности фотона, в различных кинематических областях.

Влияние дисперсности ДУО сталей на эволюцию наноструктуры после имитационных воздействий

Хомич А.А.^{1,2}, Рогожкин С.В.^{1,2}, Никитин А.А.^{1,2}

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Дисперсно-упрочненные оксидами (ДУО) обладают заметно более высокой жаропрочностью, чем традиционные ферритно-мартенситные стали за счет значительного числа равномерно распределенных оксидов. Такие материалы разрабатываются для ряда ядерных приложений: первой стенки будущих термоядерных реакторов, материалов оболочек топливных элементов в реакторах на быстрых нейтронах и для применения в других реакторных установках IV поколения [1-2]. Эти материалы могут выдерживать температуры до 700 °С, и ожидается их устойчивость к радиационному набуханию до 200 сна [3]. Их механические свойства преимущественно определены их наноструктурой: размером и пространственным распределением дисперсных включений. В свою очередь выбор легирующих добавок и режимов термомеханической обработки оказывают прямое влияние на данные характеристики. Количественный анализ оксидных включений в ДУО сталях требует применения нескольких дополняющих друг друга методов микроскопического анализа, таких как просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) и атомно-зондовая томография (АЗТ). Поскольку повышенные эксплуатационные свойства ДУО сталей существенно зависят от оксидных нано-включений (частиц и кластеров), равномерно распределенных в матрице, изучению стабильности наноструктуры ДУО сталей в том числе и под облучением уделяется пристальное внимание [3, 4]. Целью настоящей работы является систематическое комплексное исследование радиационно-индуцированных изменений после имитационных воздействий ДУО сталей, относящимся к разным классам и имеющим существенные отличия исходных структур (9Cr ODS, 10Cr ODS, 13Cr ODS, ЭП450 ДУО, ЭП823 ДУО) в области низкотемпературного радиационного охрупчивания при температуре 350° дозе 30 сна.

Калибровка детекторных пленок **Imaging Plates** для регистрации рентгеновского излучения

Хурчиев А.О.¹, Скобляков А.В.¹, Волков В.А.¹, Канцырев А.В.¹, Голубев А.А.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

Информация о потоках частиц и излучения, эмитируемых сильноточными разрядами или лазерной плазмой, представляет интерес как с точки зрения исследования процессов, происходящих в плазме, так и прикладных задач. По измеренным спектрам заряженных частиц можно судить о механизмах ускорения плазмы. Регистрация рентгеновского излучения используется для построения изображения излучающей зоны плазмы и определения температуры и электронной плотности плазмы. Для регистрации рентгеновского излучения большое распространение получили пленочные детекторы Imaging Plates (IP) Fujifilm на основе фотостимулированного люминофора ($BaFBr : Eu^{2+}$), обладающие высоким динамическим диапазоном и хорошим пространственным разрешением.

Чувствительность пленок IP BAS-MS и BAS-TR нелинейно зависит от энергии излучения, причем абсолютные значения калибровки зависят от типа лазерного сканера, используемого для считывания с пленки зарегистрированного сигнала. Сигнал детекторных пленок зависит от поглощенной энергии излучения в чувствительном слое. Известна экспоненциальная модель зависимости чувствительности пленок BAS-MS, BAS-TR и BAS-SR от поглощенной энергии dE_{dep} в расчете на один фотон:

$$PSL(E) = \alpha \int_0^W \frac{dE_{dep}}{dz}(E, z) e^{-z/L} dz = \alpha dE_{dep}^{eff}$$

где dE_{dep}/dz – энергия, выделяемая падающими и всеми вторичными частицами в люминофорном слое dz ; W – толщина слоя люминофора; L – длина поглощения фотонов фотостимулированного излучения, образованных в процессе сканирования пленки. Экспоненциальный множитель в формуле учитывает ослабление потока фотонов на глубине z в люминофорном слое в процессе сканирования пленки. Коэффициент α зависит от типа падающего излучения или частиц, но не зависит от энергии. Таким образом, зная коэффициент α , можно рассчитать чувствительность пленки для широкого диапазона энергий излучения.

В данной работе представлены результаты калибровки пленочных детекторов IPs BAS-MS и BAS-TR для рентгеновского излучения. Калибровка проводилась с помощью радиоактивного позитронного источника Ge-68 и лазерного медицинского сканера VistaScan Mini View.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Прецизионное физическое ядро системы дозно-анатомического планирования протонной и ионной лучевой терапии

Цветков Д.А.¹, Селезнева А.Р.¹, Клименко С.А.¹, Дегтярёв И.И.¹

¹ *Институт физики высоких энергий имени А.А.Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»*

Дистанционная адронная лучевая терапия онкологических новообразований является одним из наиболее востребованных, быстроразвивающихся, высокоэффективных и высокотехнологичных методов лечения заболеваний данного типа. Актуальные медицинские требования к гарантии качества лечения включают в себя обязательное использование компьютерного планирования сеансов облучения пациентов. В данной работе рассмотрены основные принципы построения физического ядра отечественной системы дозно-анатомического планирования протонной и ионной лучевой терапии локализаций различного рода, разрабатываемой в Центре ионной лучевой терапии НИЦ «Курчатовский институт»-ИФВЭ, основанной на прецизионной статистической модели связанного переноса многокомпонентного излучения RTS&T [Дегтярев И.И., Новоскольников Ф.Н., Ляшенко О.А., Синюков Р.Ю., Алтухова Е.В., Блохин А.И., Блохин П.А., Пряничников А.А., RTS&T-2021 — Обновленный комплекс программ статистического моделирования связанного переноса многокомпонентного излучения в гетерогенных пространственно-неоднородных средах, Сборник трудов XI Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», Москва, 26—29 октября 2021 года, т. 3, с. 148.], реализующей трехмерный подход и поддерживающей стандарты обработки, хранения, передачи, печати и визуализации медицинской информации DICOM.

Определение бетатронной связи и силы магнитных возмущений с помощью пооборотных измерений положений пучка

Чепурной Н.А.¹, Богомягков А.В.¹

¹ *Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН*

В работе были измерены пооборотные положения электронного пучка после удара на всех датчиках положения пучка коллайдеров ВЭПП-4М и ВЭПП-2000. Анализ Фурье-спектра собранных данных принёс гармоники эффективного гамильтониана возмущения. Из полученных гармоник с помощью теории возмущения периодических преобразований четырёхмерных координат пучка для ВЭПП-4М было рассчитано минимальное сближение бетатронных частот, дополнительно измеренное с помощью стандартного метода сведения частот. Проверена компенсация поля соленоида детектора КЕДР, найдены силы секступольного и скью-квадрупольного возмущений, искусственно созданных с помощью соответствующих магнитов. Для ВЭПП-2000 выявилось наличие источника связи во всех четвертях кольца. В данной работе описан первый опыт применения RDT-диагностики магнитной структуры для определения положения и/или сил возмущений на коллайдерах ВЭПП-4М и ВЭПП-2000.

Моделирование сигналов обратного бета-распада в модернизированном эксперименте DANSS

Юско Е.М.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

DANSS — эксперимент, занимающийся поиском стерильного нейтрино и расположенный под одним из реакторов Калининской АЭС. В настоящее время идёт процесс модернизации детектора. В работе на основе имеющихся результатов моделирования методом Монте-Карло была создана модель сигнала модернизированного детектора. Полученный сигнал был обработан и проанализирован.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Моделирования откликов дрейфовой камеры в полной конфигурации с накамерной электроникой. <u>Абру У.А., Воробьев В.С., Задеба Е.А., Николаенко Р.В., Трошин И.Ю.</u>	3
Применение численных методов решения линейных дифференциальных уравнений для физического моделирования процесса неконсервативного обмена масс в рамках двойной модели НЗ. <u>Азизова А.В., Юдин А.В., Крамарев Н.И.</u>	4
Калибровочная эквивалентность между эллиптической N-частичной моделью Калоджеро-Мозера и уравнением Ландау-Лифшица старшего ранга. <u>Аталиков К.Р.</u>	5
Эффект периодической нагрузки пучком резонаторов двойной ВЧ системы накопителя ЦКП «СКИФ». <u>Байструков М.А., Пиминов П.А., Ротов Е.А., Митянина Н.В.</u>	6
Макет новой системы юстировки для водородной корпускулярной мишени.. <u>Балануца П.В., Герасимов А.С., Чернецкий В.Д., Федорец П.В., Долголенко А.Г.</u>	7
Релятивистская ионизация тяжелых атомов в фокусированном электромагнитном поле экстремальной интенсивности. <u>Баранов Д.Д., Худов А.В., Попруженко С.В.</u>	8
Алгебраическая структура инвариантов Васильева. <u>Бернакевич А.С.</u>	9
Поиск универсальности алгебр Ли в рафинированных теориях. <u>Бишлер Л.В.</u>	10
Разработка схемы высокоэнергетической электронной радиографии на энергию пучка 200 МэВ. <u>Богданов А.В., Канцырев А.В., Скобляков А.В., Голубев А.А.</u>	11
Разработка методики для калибровки ионизационных камер и датчиков обратной связи выведенного пучка ионов углерода активационными детекторами. <u>Васильева А.Г., Костин М.Ю., Пикалов В.А., Суманев О.В., Янович А.А.</u>	12
Опытный измеритель интенсивности углеродного пучка перед поглотителем ускорителя У-1.5. <u>Васильева А.Г., Сусленков А.А., Терехов В.И.</u>	13
Изучение рождения антидельта барионов в пучке антипротонов на ядерной мишени на установке ВЕС. <u>Власенко А.П.</u>	14
Вывод пучков ионов углерода из ускорительного комплекса У-70 с целью проведения радиобиологических исследований. <u>Воронков Н.Е., Максимов А.В., Калинин В.А.</u>	15
Измерение вязкости расплава серы с помощью протонной микроскопии. <u>Гаврилин Р.О., Скобляков А.В., Хурчиев А.О., Канцырев А.В., Голубев А.А.</u>	16
Расчет скорости дрейфа электронов при бестриггерном режиме работы многоцелевого детектора мюонов. <u>Газизова Д.В., Трошин И.Ю., Воробьев В.С., Задеба Е.А.</u>	17
Локальная термодинамика в пространстве де Ситтера. <u>Дьяконов Д.В.</u>	18
Система мониторинга ускоренных пучков заряженных частиц и её использование для изучения процессов вторичной электронной эмиссии.. <u>Землин Е.О., Жеребчевский В.И., Мальцев Н.А.</u>	19
Низкоэнергетический канал ускорителя протонов. <u>Зиятдинова А.В.</u>	20
Байесовский подход для определения центральности с помощью переднего адронного калориметра в ядро-ядерных столкновениях. <u>Идрисов Д.М., Карпушкин Н.А., Губер Ф.Ф., Парфенов П.Е.</u>	21
Исследование выстроенности К*-(892)-мезона на установке СПАСЧАРМ на ускорительном комплексе У-70. <u>Калугин Н.К.</u>	22
Влияние приливных деформаций на гравитационно-волновой сигнал при слиянии нейтронных звезд. <u>Клопова-Сапоровская И.А., Блинников С.И.</u>	23
Дозиметрические показатели и их влияние на постлучевые реакции здоровых тканей головного мозга после радиохирургии кавернозных мальформаций. <u>Кобякова Т.А., Семенов Д.Э., Костюченко В.В., Юрикова И.И.</u>	24
Учет аппаратной функции кристаллического спектрографа при восстановлении рентгеновских спектров излучения плазмы. <u>Колесников Д.С., Скобляков А.В., Канцырев А.В., Голубев А.А.</u>	25

Исследование характеристик сцинтилляционных детекторных модулей для их использования в позитронно-эмиссионной томографии. <u>Комарова Д.А.</u>	26
Подходы к решению проблемы Джонса для узлов на 4 нитях. <u>Корзун Д.В.</u> , <u>Ланина Е.Н.</u> , <u>Слепцов А.В.</u>	27
Позиционно-чувствительный детектор на основе сцинтиллирующих сред с сильным рассеянием. <u>Крапива А.Л.</u> , <u>Свирида Д.Н.</u>	28
Квантовые ямы в графене с массовой щелью. <u>Красюков Г.А.</u> , <u>Павловский О.В.</u>	29
Подавление многократного рассеяния положительно заряженных частиц в монокристаллах кремния. <u>Машиев В.А.</u> , <u>Крутов А.М.</u> , <u>Чесноков Ю.А.</u> , <u>Янович А.А.</u>	30
Планарное разложение полиномов ХОМФЛИ в симметрических представлениях для парных зацеплений. <u>Ланина Е.Н.</u> , <u>Анохина А.С.</u> , <u>Морозов А.Ю.</u>	31
Разработка канала регистрации частиц и излучения на основе SiPM и ПЛИС. <u>Лапшин М.А.</u> , <u>Канцырев А.В.</u> , <u>Голубев А.А.</u> , <u>Богданов А.В.</u>	32
Метод быстрого вычисления ионизационных потерь в системе планирования ионной лучевой терапии. <u>Ларионов А.А.</u> , <u>Ющенко О.П.</u>	33
Моделирование источника атомарного поляризованного пучка (PABS) в рамках проекта PolFusion. <u>Ларионов В.Е.</u>	34
Некоторые новые идеи в непертурбативной КХД. <u>Лукашов М.С.</u> , <u>Симонов Ю.А.</u>	35
Разработка центрального трекера на основе Micromegas (MCT) для детектора SPD, реализующегося на ускорительном комплексе NICA. <u>Ляшко И.В.</u> , <u>Гонгадзе А.Л.</u> , <u>Дедович Д.В.</u> , <u>Ковязина Н.А.</u>	36
Раздаточный дипольный магнит для компактного источника нейтронов DARIA. <u>Мальшев А.А.</u> , <u>Цыплаков Е.Д.</u> , <u>Козлов А.В.</u> , <u>Кулевой Т.В.</u>	37
Специальные случаи теории Хорндески и обход запрещающей теоремы. <u>Миронов С.А.</u>	38
Аналитические подходы для быстрого предсказания форм гравитационных волн релятивистских двойных систем. <u>Мишакина А.В.</u> , <u>Блинников С.И.</u>	39
Измерение поляризации Λ - и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов, образованных при взаимодействии K^- - и π^- -мезонов с ядрами на установке СПАСЧАРМ на У-70. <u>Моисеев В.В.</u> , <u>Абрамов В.В.</u>	40
Исследование проводимости в расширенной модели Хаббарда. <u>Мостовой С.Д.</u> , <u>Павловский О.В.</u>	41
Ультрафиолетовая экстраполяция 4d калибровочных теорий. <u>Мухаева А.И.</u>	42
Радиационный распад X(3872) в LHCb. <u>Некрасова Е.А.</u>	43
Разработка микроканального сцинтилляционного детектора на основе CsI для энергий квантов выше 50 кэВ. <u>Неустроева А.А.</u> , <u>Назьмов В.П.</u> , <u>Силютин В.А.</u>	44
Проявление $a_1(1260)$ мезона в процессе $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$. <u>Образцов И.В.</u> , <u>Руденко А.С.</u> , <u>Мильштейн А.И.</u>	45
Интегральные представления WLZZ моделей и их деформации. <u>Орешина А.А.</u>	46
Исследование редкого распада $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\gamma$ в эксперименте ОКА. <u>Охотников А.В.</u>	47
Компактный спектрометр с временным разрешением на постоянных магнитах для диагностики потока заряженных частиц плазмы. <u>Панюшкин В.А.</u> , <u>Канцырев А.В.</u> , <u>Хурчиев А.О.</u> , <u>Богданов А.В.</u> , <u>Голубев А.А.</u>	48
Криогенная корпускулярная мишень для литографии. <u>Панюшкина А.Н.</u> , <u>Герасимов А.Г.</u> , <u>Канцырев А.В.</u> , <u>Кристи В.Н.</u> , <u>Федорец П.В.</u>	49
Разработка модуля обработки файлов в формате DICOM для системы планирования ионной лучевой терапии. <u>Парменова Е.В.</u> , <u>Ющенко О.П.</u>	50
Исследование когерентного излучения фотонов в кристаллах для применений на ускорителях. <u>Парменова Е.В.</u> , <u>Васильева А.Г.</u> , <u>Дурум А.А.</u> , <u>Чесноков Ю.А.</u> , <u>Янович А.А.</u>	51

Физика Вс мезонов на ЛНС. <u>Перейма Д.Ю.</u>	52
Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0\pi^0$ с детектором КМД-3. <u>Першин И.Д.</u>	53
Цифровой трековый детектор на основе кремниевых пиксельных сенсоров для изучения характеристик пучков. <u>Петров В.В., Жеребчевский В.И., Мальцев Н.А., Кондратьев В.П., Прокофьев Н.А.</u>	54
Моделирование эволюции белых карликов с использованием уравнения состояния для неидеальной плазмы. <u>Подкуйченко Д.А., Блинников С.И.</u>	55
Дифференциальные уравнения на интегралы Фейнмана и их свойства. <u>Рева М.А.</u>	56
Унифицированная станция кристаллических дефлекторов на ускорителе У-70. <u>Решетников С.Ф., Афонин А.Г., Барнов Е.В., Левин А.Я., Чесноков Ю.А.</u>	57
Разработка системы сцинтилляционных детекторов для подавления космического излучения в рамках проекта по исследованию реакции ядерного dd-синтеза с поляризацией исходных частиц при низких энергиях (PolFusion). <u>Рождественский А.Ю.</u>	58
Экстракция урана на границе полярной и неполярной среды. <u>Румянцева Д.А.</u>	59
Исследование экзотических адронов в эксперименте ЛНСб. <u>Саврина Д.В.</u>	60
Обнаружение распада $B_c^+ \rightarrow J/\psi\rho^+(\pi^+\pi^0)$ в эксперименте ЛНСб. <u>Сальникова М.О., Голубков Д.Ю.</u>	61
Критическое поведение в активных средах. <u>Сатлейкин М.Ю., Федоркова Д.С., Павловский О.В.</u>	62
Сравнение нейтронно-физических и системных характеристик ВВЭР-СКД при делении ядер ториевого и уран-плутониевого топлива. <u>Силочева К.А., Бландинский В.Ю.</u>	63
Квантовая и классическая энтропия Крылова в исследовании квантового хаоса. <u>Синица В.А.</u>	64
Канал ионов углерода на ускорительном комплексе У-70. Метод моментов и коррекция размеров пучка. <u>Синюков Р.Ю.</u>	65
Моделирование дифракционных спектрографов для восстановления рентгеновских спектров излучения плазмы. <u>Скобляков А.В., Колесников Д.С., Канцырев А.В., Голубев А.А.</u>	66
Однофотонная аннигиляция позитрона на атомном электроде при низких энергиях. <u>Сорокин С.В., Крачков П.А.</u>	67
Что известно про неабелевы 2-формы и их интегралы?. <u>Суррун П.А.</u>	68
Первые результаты эксплуатации профилометра УД21 в канале перевода пучка из У-1.5 в У-70. <u>Сухов К.А., Антоничев Г.М., Терехов В.И., Горлов В.Н., Сыщиков Е.А.</u>	69
Предварительная электроника системы измерения орбиты пучка в ускорителе У-1.5. <u>Сыщиков Е.А., Игнашин Н.А., Терехов В.И.</u>	70
Прецизионные измерения характеристик лёгких мезонов с помощью механизма Примакова в JLab. <u>Долголенко А.Г., Матвеев В.А., Тарасов В.В.</u>	71
Ренормгрупповые уравнения в неперенормируемой КТП и их реализация в суперсимметричных и инфляционных моделях. <u>Толкачёв Д.М., Бухбиндер И.Л., Казаков Д.И., Яхиббаев Р.М.</u>	72
Исследование цитогенетических эффектов воздействия ионами углерода и протонами in vitro. <u>Трошина М.В., Корякина Е.В., Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Корякин С.Н.</u>	73
Текущий статус изучения экспериментом «ОКА» распадов $K^+ \rightarrow \pi^0\mu^+\nu_\mu\gamma$ и $K^+ \rightarrow \pi^0e^+\nu_e\gamma$.. <u>Тюрин И.С.</u>	74
Двухуровневая система на основе электронных возбуждений в графене в гармонической ловушке. <u>Ульянов А.М., Павловский О.В.</u>	75
О трёхпетлевой суперструнной мере. <u>Федоров И.В.</u>	76
Расчет вакуумной системы криогенной корпускулярной ксеноновой мишени. <u>Халявин А.Б., Кристи Н.М., Герасимов А.С., Федорец П.В.</u>	77

Использование аксиальной аномалии для изучения непертурбативных явлений в КХД. <u>Хлебцов С.П., Оганесян А.Г.</u>	78
Влияние дисперсности ДУО сталей на эволюцию наноструктуры после имитационных воздействий. <u>Хомич А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А.</u>	79
Калибровка детекторных пленок Imaging Plates для регистрации рентгеновского излучения. <u>Хурчиев А.О., Скобляков А.В., Волков В.А., Канцырев А.В., Голубев А.А.</u>	80
Прецизионное физическое ядро системы дозно-анатомического планирования протонной и ионной лучевой терапии. <u>Цветков Д.А., Селезнева А.Р., Клименко С.А., Дегтярёв И.И.</u>	81
Определение бетатронной связи и силы магнитных возмущений с помощью пооборотных измерений положений пучка. <u>Чепурной Н.А., Богомягков А.В.</u>	82
Моделирование сигналов обратного бета-распада в модернизированном эксперименте DANSS. <u>Юско Е.М.</u>	83

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

<i>Абрамов В.В.</i>	40
<i>Абру У.А.</i>	3
<i>Азизова А.В.</i>	4
<i>Анохина А.С.</i>	31
<i>Антоничев Г.М.</i>	69
<i>Аталиков К.Р.</i>	5
<i>Афонин А.Г.</i>	57
<i>Байструков М.А.</i>	6
<i>Балануца П.В.</i>	7
<i>Баранов Д.Д.</i>	8
<i>Барнов Е.В.</i>	57
<i>Бернакевич А.С.</i>	9
<i>Бишлер Л.В.</i>	10
<i>Бландинский В.Ю.</i>	63
<i>Блинников С.И.</i>	23, 39, 55
<i>Богданов А.В.</i>	11, 32, 48
<i>Богомяжков А.В.</i>	82
<i>Бухбиндер И.Л.</i>	72
<i>Васильева А.Г.</i>	12, 13, 51
<i>Власенко А.П.</i>	14
<i>Волков В.А.</i>	80
<i>Воробьев В.С.</i>	3, 17
<i>Воронков Н.Е.</i>	15
<i>Гаврилин Р.О.</i>	16
<i>Газизова Д.В.</i>	17
<i>Герасимов А.Г.</i>	49
<i>Герасимов А.С.</i>	7, 77
<i>Голубев А.А.</i>	11, 16, 25, 32, 48, 66, 80
<i>Голубков Д.Ю.</i>	61
<i>Гонгадзе А.Л.</i>	36
<i>Горлов В.Н.</i>	69
<i>Губер Ф.Ф.</i>	21
<i>Дегтярёв И.И.</i>	81
<i>Дедович Д.В.</i>	36
<i>Долголенко А.Г.</i>	7, 71
<i>Дурум А.А.</i>	51
<i>Дьяконов Д.В.</i>	18
<i>Жеребчевский В.И.</i>	19, 54
<i>Задеба Е.А.</i>	3, 17
<i>Землин Е.О.</i>	19
<i>Зиятдинова А.В.</i>	20
<i>Игнашин Н.А.</i>	70
<i>Идрисов Д.М.</i>	21

<i>Казаков Д.И.</i>	72
<i>Калинин В.А.</i>	15
<i>Калугин Н.К.</i>	22
<i>Канцырев А.В.</i>	11, 16, 25, 32, 48, 49, 66, 80
<i>Карпушкин Н.А.</i>	21
<i>Клименко С.А.</i>	81
<i>Клопова-Сапоровская И.А.</i>	23
<i>Кобякова Т.А.</i>	24
<i>Ковязина Н.А.</i>	36
<i>Козлов А.В.</i>	37
<i>Колесников Д.С.</i>	25, 66
<i>Комарова Д.А.</i>	26
<i>Кондратьев В.П.</i>	54
<i>Корзун Д.В.</i>	27
<i>Корякин С.Н.</i>	73
<i>Корякина Е.В.</i>	73
<i>Костин М.Ю.</i>	12
<i>Костюченко В.В.</i>	24
<i>Крамарев Н.И.</i>	4
<i>Крапива А.Л.</i>	28
<i>Красюков Г.А.</i>	29
<i>Крачков П.А.</i>	67
<i>Кристи В.Н.</i>	49
<i>Кристи Н.М.</i>	77
<i>Крутов А.М.</i>	30
<i>Кулевой Т.В.</i>	37
<i>Ланина Е.Н.</i>	27, 31
<i>Лапшин М.А.</i>	32
<i>Ларионов В.Е.</i>	34
<i>Ларионов А.А.</i>	33
<i>Левин А.Я.</i>	57
<i>Лукашов М.С.</i>	35
<i>Ляшко И.В.</i>	36
<i>Машиеев В.А.</i>	30
<i>Максимов А.В.</i>	15
<i>Мальшев А.А.</i>	37
<i>Мальцев Н.А.</i>	19, 54
<i>Матвеев В.А.</i>	71
<i>Мильштейн А.И.</i>	45
<i>Миронов С.А.</i>	38
<i>Митянина Н.В.</i>	6
<i>Мишакина А.В.</i>	39
<i>Моисеев В.В.</i>	40

<i>Морозов А.Ю.</i>	31
<i>Мостовой С.Д.</i>	41
<i>Мухаева А.И.</i>	42
<i>Назьмов В.П.</i>	44
<i>Некрасова Е.А.</i>	43
<i>Неустроева А.А.</i>	44
<i>Никитин А.А.</i>	79
<i>Николаенко Р.В.</i>	3
<i>Образцов И.В.</i>	45
<i>Оганесян А.Г.</i>	78
<i>Орешина А.А.</i>	46
<i>Охотников А.В.</i>	47
<i>Павловский О.В.</i>	29, 41, 62, 75
<i>Панюшкин В.А.</i>	48
<i>Панюшкина А.Н.</i>	49
<i>Парменова Е.В.</i>	50, 51
<i>Парфеноф П.Е.</i>	21
<i>Перейма Д.Ю.</i>	52
<i>Першин И.Д.</i>	53
<i>Петров В.В.</i>	54
<i>Пикалов В.А.</i>	12
<i>Пиминов П.А.</i>	6
<i>Подкуйченко Д.А.</i>	55
<i>Попруженко С.В.</i>	8
<i>Прокофьев Н.А.</i>	54
<i>Рева М.А.</i>	56
<i>Решетников С.Ф.</i>	57
<i>Рогожкин С.В.</i>	79
<i>Рождественский А.Ю.</i>	58
<i>Ротов Е.А.</i>	6
<i>Руденко А.С.</i>	45
<i>Румянцева Д.А.</i>	59
<i>Сабуров В.О.</i>	73
<i>Саврина Д.В.</i>	60
<i>Сальникова М.О.</i>	61
<i>Сатлейкин М.Ю.</i>	62
<i>Свирида Д.Н.</i>	28
<i>Селезнева А.Р.</i>	81
<i>Семенов Д.Э.</i>	24
<i>Силичева К.А.</i>	63
<i>Силютин В.А.</i>	44
<i>Симонов Ю.А.</i>	35
<i>Синица В.А.</i>	64

<i>Синюков Р.Ю.</i>	65
<i>Скобляков А.В.</i>	11, 16, 25, 66, 80
<i>Слепцов А.В.</i>	27
<i>Соловьев А.Н.</i>	73
<i>Сорокин С.В.</i>	67
<i>Суманеев О.В.</i>	12
<i>Супрун П.А.</i>	68
<i>Сусленков А.А.</i>	13
<i>Сухов К.А.</i>	69
<i>Сыщиков Е.А.</i>	69, 70
<i>Тарасов В.В.</i>	71
<i>Терехов В.И.</i>	69
<i>Терехов В.И.</i>	13, 70
<i>Толкачев Д.М.</i>	72
<i>Трошин И.Ю.</i>	3, 17
<i>Трошина М.В.</i>	73
<i>Тюрин И.С.</i>	74
<i>Ульянов А.М.</i>	75
<i>Федорец П.В.</i>	7
<i>Федорец П.В.</i>	49, 77
<i>Федоркова Д.С.</i>	62
<i>Федоров И.В.</i>	76
<i>Халявин А.Б.</i>	77
<i>Хлебцов С.П.</i>	78
<i>Хомич А.А.</i>	79
<i>Худов А.В.</i>	8
<i>Хурчиев А.О.</i>	16, 48, 80
<i>Цветков Д.А.</i>	81
<i>Цыплаков Е.Д.</i>	37
<i>Чепурной Н.А.</i>	82
<i>Чернецкий В.Д.</i>	7
<i>Чесноков Ю.А.</i>	57
<i>Чесноков Ю.А.</i>	30, 51
<i>Юдин А.В.</i>	4
<i>Юрикова И.И.</i>	24
<i>Юско Е.М.</i>	83
<i>Ющенко О.П.</i>	33, 50
<i>Янович А.А.</i>	12, 30, 51
<i>Яхиббаев Р.М.</i>	72