

# Постерные доклады молодых учёных в области исследований физики частиц

## 1. Разработка программного обеспечения для трековых детекторов первого экспериментального сеанса VM@N в 2022 году

**Автор:** Дмитрий Баранов

*Лаборатория информационных технологий им. М.Г. Мещерякова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Предстоящие сеансы эксперимента VM@N, начало проведения которых запланировано на весну 2022 года, нацелены на получение большого объема качественных данных с целью их дальнейшей обработки и физического анализа. Будущие сеансы, в отличие от предыдущих, которые носили чисто технический характер с целью отладки и тестирования детекторных подсистем и разрабатываемых алгоритмов обработки данных, являются физическими, и предназначены для получения определенных результатов, заявленных в научно-исследовательской программе эксперимента. Это предполагает использование более совершенных конфигураций детекторных установок для регистрации экспериментальных событий с высокой множественностью. Выбор наиболее оптимальной конфигурации детекторов возможен благодаря предварительному анализу, проведённому на модельных данных, полученных на основе заранее разработанных программно-геометрических моделей и алгоритмов моделирования событий. Основная задача детекторного комплекса VM@N – регистрация траекторий заряженных частиц, получаемых в результате столкновения пучка тяжёлых ионов с неподвижной мишенью, с целью исследования их физических характеристик. По этой причине усовершенствования коснулись в основном трековой системы, включающей в себя такие детекторы, как Forward Silicon, GEM и CSC. В данном постерном докладе представлены особенности реализации программного обеспечения, включающего детализированные геометрические модели, а также алгоритмы моделирования физических событий и обработки данных, получаемых с детекторов трековой системы эксперимента VM@N для актуальных конфигураций в 2022 году.

## 2. Измерение глюонной фракции и характеристик кварковых и глюонных струй, рожденных в взаимодействиях при $\sqrt{S} = 8$ и 13 ТэВ на детекторе CMS

**Автор:** Дмитрий Будковский

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Метод измерения глюонной фракции в выборке струй на основе кварк-глюонного дискриминатора правдоподобия предложен в опубликованных работах авторов доклада. Измерение глюонной фракции открывает путь к измерению характеристик кварковых и глюонных струй. В докладе представлены результаты измерений глюонной фракции и средней зарядовой множественности частиц в струях на установке CMS в выборках струй, отобранных в полу-лептонном -канале (Run1) и в обогащенном глюонными струями канале “dijets” (Run1 и Run2). Описаны проблемы, возникшие на пути реализации плана измерений, способы их решения, предварительные результаты и ближайшие планы.

### **3. Центральная трековая система эксперимента $BM@N$ на базе GEM-детекторов**

**Автор:** Андрей Галаванов

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

Эксперимент  $BM@N$  (Барионная материя на Нуклотроне) – это эксперимент с фиксированной мишенью на выведенном пучке, целью которого является изучение ядерной материи при столкновении тяжелых ионов. Детекторы, основанные на Газовых электронных умножителях, используются в центральной трековой системе эксперимента, которая располагается внутри анализирующего магнита установки  $BM@N$ . Приведена информация об этапах сборки и тестирования 7 GEM-детекторов в ЦЕРН. собраны и протестированы 7 детекторов в ЦЕРН. Был создан стенд для исследования характеристик детекторов. Представлена информация о модернизации газовой системы – системы разделения потока смеси и системы измерения примеси кислорода. Показано влияние температуры газовой смеси на амплитуду сигналов в детекторе. Приведена информация о независимой проверке системы изготовления газовой смеси.

### **4. Методы глубокого обучения и программное обеспечение для реконструкции траекторий элементарных частиц**

**Авторы:** Павел Гончаров, Е. Щавелев, А. Никольская, Е. Резвая, Д. Русов, Г. Ососков

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

Реконструкция траекторий заряженных частиц в трековых детекторах является ключевой проблемой при анализе экспериментальных данных для физики высоких энергий и ядерной физики. Объем данных в современных экспериментах настолько велик, что классические методы трекинга, такие как фильтр Калмана, не могут обрабатывать их достаточно быстро. Напротив, недавний прогресс в области глубокого обучения открывает возможность применения моделей нейронных сетей к задаче трекинга. В нашей работе мы предлагаем три основные модели, применимые к различным частям задачи реконструкции треков – RDGraphNet как глобальный метод трекинга, TrackNETv3, который работает как обучаемый фильтр Калмана, и модель LOOT для реконструкции первичной вершины события. Мы представляем результаты оценки наших моделей на данных Монте-Карло для экспериментов BESIII и  $BM@N$ . Кроме того, мы представляем новую библиотеку для трекинга методами глубокого обучения, которая объединяет все наши разработки в одном месте с единым интерфейсом.

### **5. Кремниевая трековая система эксперимента $BM@N$**

**Автор:** Дмитрий Дементьев

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

Для изучения уравнения состояния ядра с высокой плотностью при столкновениях ядер золота при энергиях пучка нуклотрона существующий эксперимент  $BM@N$  в ОИЯИ должен быть существенно модернизирован. Для измерения событий высокой множественности при частоте взаимодействия до 5 МГц требуется установка четырех новых трековых станций, оснащенных 300 модулями с двусторонними микоро-полосковыми кремниевыми детекторами. В докладе представлены результаты моделирования и текущий статус разработки детектора.

## **6. Улучшенная реконструкция в системе детекторов до магнита в эксперименте SRC at BM@N**

**Автор:** Василиса Ленивенко

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Работа включает разработку алгоритмов и реконструкцию треков в координатных детекторах до анализирующего магнита, а именно: четырех Многопроволочных Пропорциональных Камер и трех Кремниевых детекторах для новой части физической программы эксперимента BM@N - исследования свойств короткодействующих двухнуклонных корреляций (SRC at BM@N).

Реконструкция треков вдоль пучка до и после мишени играет ключевую роль в получении первых физических результатов. Статья с первыми физическими результатами была опубликована в журнале Nature в 2021 году, для анализа были использованы события, содержащие один трек вдоль пучка после взаимодействия с мишенью.

С тех пор алгоритм реконструкции был существенно улучшен в пользу многотрековых событий.

## **7. Магнитные измерения сверхпроводящих магнитов проекта NICA и ускорителя SiS100**

**Автор:** Тарас Парфило

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Серийные магнитные измерения сверхпроводящих магнитов проекта NICA и ускорителя SiS100 начались в 2016 году и в настоящее время продолжают в Научно-Экспериментальном Отделе Сверхпроводящих Магнитов и Технологий Лаборатории Физики Высоких Энергий. Ускорительный комплекс NICA включает в себя два линейных ускорителя, действующие сверхпроводящие синхротроны, новый Бустер и Нуклотрон, строящийся сверхпроводящий коллайдер. Будущий синхротрон тяжелых ионов SiS100 лежит в основе создаваемого ускорительного комплекса FAIR. Ускорители оснащены магнитами типа Нуклотрон со сверхпроводящей обмоткой и железным ярмом для формирования необходимого магнитного поля. Измерение параметров магнитного поля необходимо для каждого магнита. Представлен статус магнитных измерений для проекта NICA и ускорителя SiS100.

## **8. DIRAC Interware - сервис для глобальных распределённых вычислений в ОИЯИ**

**Авторы:** Игорь Пелеванюк, В. Кореньков, Н. Кутровский, В. Мицын, Д. Подгайный, В. Трофимов, А. Царегородцев

*Лаборатория информационных технологий им. М.Г. Мещерякова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

DIRAC Interware - это платформа с открытым исходным кодом для интеграции гетерогенных вычислительных ресурсов и ресурсов хранения. Сервис построенный на основе этой платформы был спроектирован и введён в эксплуатацию в ЛИТ ОИЯИ в 2016 году. ОИЯИ располагает пятью большими вычислительными ресурсами с унифицированным доступом через DIRAC: Tier1, Tier2, суперкомпьютер Говорун, облако и NICA кластер. Благодаря созданному сервису также удалось объединить облака стран-участниц ОИЯИ. Общая производительность всей системы по крайней мере в три раза больше, чем производительность любого конкретного вычислительного ресурса, который в неё входит. В настоящее время DIRAC активно используется для решения задач экспериментов MPD, Baikal-GVD, BM@N. Общее количество выполненных задач превысило 1 миллион, а общее

количество вычислений эквивалентно 4.5 миллионам HS06 дней. В данной работе представлен обзор системы и её производительности. Описаны новые инструменты разработанные для оценки состояния системы, и представлены результаты их использования.

## **9. Программный комплекс для моделирования распределенной компьютерной инфраструктуры для обработки данных экспериментов проекта NICA**

*Авторы:* Дарья Пряхина, В. Кореньков, В. Трофимов, К. Герценбергер  
*Лаборатория информационных технологий им. М.Г. Мещерякова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Одной из важных задач при создании вычислительной системы комплекса NICA является моделирование распределенных вычислительных инфраструктур, предназначенных для обработки данных, как поступающих с экспериментальных установок, так и полученных генераторами событий в соответствии с теоретическими представлениями для сравнения с ожидаемым физическим результатом. В Лаборатории информационных технологий им. М.Г. Мещерякова разрабатывается программный комплекс, который позволяет узнать, как будет работать вся система хранения и обработки данных при имеющихся вычислительных мощностях, а также вычислить нагрузку на вычислительные фермы и каналы связи при заданных параметрах потоков данных и задач.

Программный комплекс включает в себя базу данных, модуль для задания моделируемой структуры и конфигураций оборудования, стабильное ядро моделирования процессов передачи и обработки данных, а также модуль для представления результатов в виде графиков. В основе ядра моделирования лежит подход, который основан на представлении информационных процессов как потоков байтов.

В настоящее время ведутся работы по моделированию компьютерной инфраструктуры для обработки данных эксперимента VM@N с целью предоставления рекомендаций по организации процесса обработки данных при имеющихся выделенных ресурсах для сеанса 2022 года. Представлены текущие результаты работы, предложены некоторые рекомендации по организации процесса обработки экспериментальных данных, а также сформулированы перспективы развития программного комплекса.

## **10. Изготовление серийных камер считывания информации для проекта TPC/MPD NICA на основе многопроволочных пропорциональных камер**

*Автор:* Александр Рыбаков

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Время-проекционная камера (TPC) является основным трековым детектором установки MPD. Детектор предназначен для реконструкции треков заряженных частиц и их идентификации по  $dE/dx$ .

Многопроволочные пропорциональные камеры считывания информации (ROC) предоставят основную информацию о треках частиц и их свойствах. Для обеспечения качественной работы, они должны удовлетворять жестким требованиям по качеству изготовления и долговременной стабильной работе.

На данный момент изготовлено и протестировано все необходимые 24 серийные камеры считывания информации, которые готовы к монтажу в TPC. Все изготовленные камеры соответствуют требуемым характеристикам, среднее энергетическое разрешение  $dE/dx = 19\%$ .

В докладе описаны основные этапы изготовления и тестирования выпускаемых ROC-камер.

## **11. Измерение угловых коэффициентов в процессе Дрелла-Яна в эксперименте CMS на БАК.**

**Автор:** Владислав Шалаев

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

**Аннотация:**

Процесс Дрелла-Яна имеет исключительную важность для физики адронных коллайдеров. Измерение его характеристик представляет собой критический тест Стандартной модели в новой области энергий. В частности, коэффициенты гармонических полиномов, описывающих угловые распределения вылета лептонов определенного знака, чувствительны к  $(V - A)$ -структуре слабых взаимодействий и могут быть индикаторами эффектов от высших порядков и твистов КХД, а также нетривиальной структуры вакуума КХД, отражающейся в корреляции спинов партонов и их ненулевого импульса в начальном состоянии. Современные данные экспериментов на Большом адронном коллайдере позволяют существенно расширить область значений переданных 4-импульсов до нескольких ТэВ, что открывает новые возможности для поиска физики за пределами Стандартной модели.

## **12. Создание прикладных станций по проекту ARIADNA на базе ускорительного комплекса NICA**

**Автор:** Алексей Сливин

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

**Аннотация:**

В рамках реализуемого в ОИЯИ Мегасайенс проекта NICA ведётся создание прикладных станций в рамках проекта ARIADNA (Applied Research Infrastructure for Advanced Developments at NICA fAcility): ИСКРА – Испытательная Станция Компонентов Радиоэлектронной Аппаратуры предназначенная для проведения исследований и испытаний корпускулированных микросхем на радиационную стойкость при воздействии тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) высоких энергий (150-500 МэВ/н); СИМБО – Станция Исследований Медико-Биологических Объектов для проведения исследований в области космической радиобиологии и моделировании воздействия ТЗЧ (500-1000 МэВ/н) на когнитивные функции мозга приматов. Завершён монтаж станции СОЧИ (Станции Облучения Чипов) для тестирования декапсулированных микросхем на одиночные случайные сбои пучками ионов низких энергий (3,2 МэВ/н).

## **13. Компьютерное моделирование процессов упругого рассеяния для экспериментов на Станции внутренних мишеней Нуклотрона ОИЯИ**

**Автор:** Аркадий Терехин

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

**Аннотация:**

Представлены результаты неполяризованных и поляризованных измерений на Станции внутренних мишеней Нуклотрона. Выполнено моделирование pp- и pd- упругого рассеяния для энергии протонов 500—1000 МэВ. Продемонстрированы результаты первичного моделирования процессов pp-, pd- и dd- упругого рассеяния при энергиях  $\sqrt{s} < 27$  ГэВ.

## **14. Улучшение реконструкции отклика на отдельно взятом слое в катодно-стриповых камерах эксперимента CMS**

**Авторы:** Николай Войтишин, В. Пальчик

*Лаборатория информационных технологий им. М.Г. Мещерякова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Реконструкция траектории заряженной частицы в торцевой мюонной системе CMS основана на информации из катодно-стриповых камер. Процедуру реконструкции для этих многослойных детекторов можно разделить на две основные части: реконструкцию отклика на отдельно взятом слое хита и сборку сегментов с использованием реконструированных хитов.

Растет потребность в обновлении процедуры реконструкции хитов. Причин этой потребности несколько. Во-первых, увеличивающаяся частота хитов требует разграничения двух или более частиц, которые проходят очень близко друг к другу, с большей точностью, чем сейчас. С другой стороны, обновление оборудования и электроники дает нам возможности для лучшей реконструкции, которые еще не были использованы или отражены в программном обеспечении.

В работе представлены предложения по решению этих проблем, а также результаты сравнения стандартного и предлагаемого подходов.

## **15. Поиски новых тяжелых резонансов в дилептонном канале**

**Автор:** Илья Жижин

*Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Представлен поиск новых тяжелых резонансов в спектрах инвариантных масс дилептонов с использованием данных, полученных в Run 2 в 2016-2018 годах в протон-протонных столкновениях при  $\sqrt{s}=13$  ТэВ в эксперименте CMS на LHC. Данные соответствуют интегральной светимости  $140 \text{ фб}^{-1}$ .

Также, представлены первые результаты моделирования фотонных фонов с использованием Монте-Карло генератора FEWZ в порядках NLO QCD+EW и NNLO QCD + NLO EW.

## **16. Изучение чармония в эксперименте BES-III**

**Автор:** Ольга Бакина

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

В постере представлены предварительные результаты исследований быстрого инклюзивного рождения  $J/\psi$  мезона и распада  $J/\psi$  мезона на пару мезонов  $\phi \eta$ , полученные группой ОИЯИ в эксперименте BESIII.

## **17. Рождение пар $J/\psi$ в пион-нуклонных взаимодействиях в эксперименте COMPASS**

**Автор:** Андрей Гридин

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

За последние 40 лет рождение пар  $J/\psi$  мезонов во взаимодействиях адронов высоких энергий изучалось во многих экспериментах. Доступная статистика событий рождения пар  $J/\psi$  очень ограничена, и получена в основном на высоких энергиях  $\sqrt{s}$ , где механизмы одиночного и двойного партонного рассеяния являются доминирующими.

Одиночное партонное рассеяние играет важную роль на низких  $\sqrt{s}$ , однако процесс рождения пар  $J/\psi$  так же может быть связан с гипотезой собственного чарма адронов и с экзотическими тетракварковыми состояниями, которые распадаются на пару  $J/\psi$  мезонов. Первое свидетельство существования таких тетракварковых состояний было недавно опубликовано экспериментом LHCb.

Эксперимент COMPASS, расположенный в CERN, использует пучок отрицательно заряженных пионов с импульсом 190 ГэВ/с, рассеивающийся на различных ядерных мишенях, для изучения рождения пар мюонов. На сегодняшний день COMPASS является

единственным экспериментом, который может провести поиск событий рождения пар  $J/\psi$  на низких энергиях  $\sqrt{s}$  и оценить вклады различных механизмов рождения.

### 18. Изучение распадов $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^+$ и $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+}$ в эксперименте ATLAS при энергии pp-соударений $\sqrt{s} = 13$ ТэВ.

**Автор:** Татьяна Любушкина

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

Представлено исследование распадов  $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^+$  и  $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+}$ , в данных эксперимента ATLAS на LHC, набранных при энергии pp-соударений  $\sqrt{s} = 13$  ТэВ, с интегральной светимостью  $139 \text{ fb}^{-1}$ . Были измерены отношения парциальных ширин распадов к ширине нормировочного распада  $B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$ :  $B(B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^+)/B(B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+) = 2,76 \pm 0,47$ ,  $B(B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+})/B(B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+) = 5,33 \pm 0,96$ . Отношение парциальных ширин двух распадов так же было измерено и составило  $B(B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+})/B(B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^+) = 1,93 \pm 0,26$ . Приведено измерение доли поперечной поляризации в распаде  $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+}$   $\Gamma_{\pm\pm}/\Gamma = 0,70 \pm 0,11$ . Неопределенность представляет собой квадратичную сумму статистических и систематических вкладов. Точность данных измерений превышает точность всех предыдущих исследований этих распадов. Представлено сравнение с имеющимися теоретическими предсказаниями для измеренных величин.

### 19. Производство и испытания камеры LM2 Micromegas для модернизации NSW ATLAS в ЛЯП ОИЯИ

**Автор:** Ираклий Минашвили

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

Модернизация Большого адронного коллайдера (LHC) до высокой светимости (HL-LHC) необходима для исследования физики за пределами стандартной модели. После длительной остановки (LS2) светимость ускорителя будет увеличена в 2-3 раза по сравнению с изначальным значением светимости в  $1 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Чтобы соответствовать требованиям более высокой радиационной загрузки детектора ATLAS в эпоху HL-LHC, некоторые части мюонной системы нуждаются в модернизации. Поэтому внутреннее колесо торцевой области мюонного спектрометра (малое колесо), состоящее из катодных стриповых (CSC) и дрейфовых (MDT) и тонкоззорных (TGC) камер, было заменено новым малым колесом (NSW). NSW состоит из детекторов Micromegas в качестве основного координатного детектора и триггерных тонкоззорных камер с малым стрипом (sTGC). Всего на NSW были установлены 128 модулей Micromegas, с площадью около 3 м<sup>2</sup> каждый, в два колеса, по 16 секторов на колесо. В ЛЯП ОИЯИ было изготовлено и испытано 70 считывающих панелей и 33 модуля LM2 Micromegas. В данной работе дается короткий обзор характеристик камер Micromegas для модернизации детектора ATLAS и подробности производства.

### 20. 3D-визуализация радиофармпрепаратов для ОФЭКТ с использованием детектора Timerix и кодирующей апертуры

**Автор:** Владислав Рожков

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

На постере представлена система микро ОФЭКТ для визуализации источников гамма-излучения. В качестве детектора используется пиксельный полупроводниковый детектор Timerix с сенсором CdTe. В качестве коллиматора используется кодирующая апертура типа

MURA. Представлены характеристики разработанной системы и алгоритмы предварительной обработки полученных изображений.

### **21. Разработка и моделирование ВЧ-фотопушки S-диапазона для генерации электронов с высоким орбитальным угловым моментом**

**Автор:** Яна Самофалова

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

В лаборатории ядерных проблем разрабатывается источник электронов высоких энергий с высоким орбитальным угловым моментом. Ключевым компонентом источника является новая 1,5-ячеечная фотопушка S-диапазона 2,856 ГГц. Представлена общая конструкция и результаты моделирования фотопушки. Определены электродинамические параметры и рассчитано распределение ускоряющего поля. Моделируется и анализируется динамика частиц для получения требуемых свойств пучка.

### **22. Светосчитывающая система жидко-аргоновой время проекционной камеры ближнего детектора эксперимента DUNE**

**Автор:** Александр Селюнин

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

Подземный нейтринный эксперимент (DUNE) — это строящийся международный ускорительный нейтринный эксперимент с большой базой, проводимый в США. DUNE будет состоять из двух детекторов нейтрино - ближнего и дальнего. Ближний детектор (ND) будет оснащен жидко-аргоновой время-проекционной камерой (ВПК), также как и дальний детектор. Взаимодействия нейтрино с жидким аргонем создают сцинтилляционный свет в объеме ВПК, который регистрируется светосчитывающей системой. Светосчитывающая система обеспечивает быстрый запуск зарядовой системы ВПК и основана на диэлектрических световых ловушках, считываемых кремниевыми фотоумножителями. В жидко-аргоновой ВПК ближнего детектора используются два подхода регистрации света – модуль ArCLight и светосчитывающий модуль (LCM). Первый прототип ВПК ближнего детектора DUNE, так называемый Модуль-0, был протестирован на космических лучах в Бернском университете. Модуль-0 включал в себя как детекторы света ArCLight, так и LCM. Работоспособность прототипа светосчитывающей системы представлена результатами теста Модуля-0.

### **23. Массовые тесты матриц кремниевых фотодетекторов (SiPM) для эксперимента TAO**

**Автор:** Владислав Шаров

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

#### **Аннотация:**

Тайшаньская антинейтринная обсерватория (TAO) — это вспомогательный эксперимент нейтринного эксперимента JUNO, целью которого является измерение иерархии масс и других осцилляционных параметров нейтрино с беспрецедентной точностью  $\sim 3\%/M\text{эВ}$ . Для того, чтобы достичь такого разрешения необходимо прецизионно измерить энергетический спектр первичного потока реакторных антинейтрино вблизи реактора. Данную задачу предполагается решить с помощью детектора эксперимента TAO, представляющего собой сферический объем, который заполнен жидким сцинтиллятором и окружен  $\sim 105$  SiPMs, сгруппированных в матрицы в количестве 4100 шт. SiPMs будут применяться для регистрации света, излучаемого в результате взаимодействия продуктов распада реакторных антинейтрино с сцинтиллятором детектора. По условиям эксперимента TAO энергетическое разрешение са-



мого детектора должно составлять не менее 2%/МэВ энерговыделения, для достижения которого требуется тщательно изучить и паспортизовать характеристики всех матриц SiPMs. С этой целью группой НЭОФЭЧ ЛЯП был разработан стенд и методика для изучения характеристик матриц SiPMs, которая позволяет определить основные параметры (эффективность регистрации фотонов, усиление, кросс-токи, шумы и пр.). Также, для питания большого количества SiPMs нами совместно с компанией «Марафон» был разработан многоканальный источник

#### **24. Вычисление вероятности осцилляций нейтрино в Земле с использованием разложения Магнуса**

**Автор:** Арина Шайдурова

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

##### **Аннотация:**

Прохождение рождённых в атмосфере нейтрино через Землю существенно влияет на осцилляции ароматов частиц. Многоцелевой эксперимент JUNO будет также наблюдать атмосферные нейтрино, и для измерения параметров нейтринных осцилляций с их помощью необходимо вычислять вероятности осцилляций нейтрино, пришедших с разных направлений, с учётом реалистичного распределения плотности вещества в Земле.

Авторами разработана программа для вычисления вероятности осцилляций атмосферных нейтрино в рамках ПО GNA. Интегрирование уравнения эволюции ароматного состояния нейтрино осуществляется с помощью метода разложений Магнуса. Данный метод сохраняет норму решения на каждом этапе интегрирования в любом порядке приближения и сочетает вычислительную эффективность с высокой точностью.

Представлены результаты работы программы в разных каналах осцилляций нейтрино, а также оценка скорости счёта для разных диапазонов энергий.

#### **25. Вакуумная система ускорителя ЛИНАК-200**

**Автор:** Дмитрий Шокин

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

##### **Аннотация:**

Линейный ускоритель ЛИНАК-200 в ОИЯИ сконструирован для обеспечения электронных тестовых пучков с энергией до 200 МэВ для проведения исследований и разработок в области детекторов частиц, для изучения передовых методов диагностики пучка и для работы в качестве установки облучения для прикладных исследований. Хотя ускоритель, в основном, использует восстановленные части ускорителя МЕА (NIKHEF), вакуумная система ускорителя была значительно модернизирована. В этой работе будет представлена конструкция и состояние новой вакуумной системы.

#### **26. Система контроля электронного ускорителя ЛИНАК-200**

**Автор:** Алексей Трифонов

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

##### **Аннотация:**

Линейный ускоритель электронов ЛИНАК-200 (Лаборатория ядерных проблем им. В.П. Джелепова, ОИЯИ) и система каналов вывода пучка предназначены для проведения научно-методических исследований в области физики и техники ускорителей, разработки и создания детекторов элементарных частиц, а также фундаментальных и прикладных исследований в области материаловедения и радиобиологии. На сегодняшний день на ускорителе ведутся пусконаладочные работы, в процессе которых происходит полная модернизация системы контроля и управления ускорителем. Новая система управления создается на базе

инструментария Tango, который позволяет создавать распределенные системы управления на основе микросервисной архитектуры. Ведется разработка как программного, так и аппаратного обеспечения для автоматизации отдельных подсистем ускорителя. Ключевые подсистемы ускорителя (включая систему управления магнитными элементами для фокусировки и коррекции положения пучка, вакуумную систему, систему синхронизации, систему управления электронной пушкой, систему термостабилизации) были переработаны или глубоко модернизированы. В докладе представлен текущий статус системы управления.

## **27. ВЧ-система для линейного ускорителя ЛИНАК-200**

**Автор:** Константин Юенко

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Линейный ускоритель Linac-200 строится в ОИЯИ для обеспечения тестовыми пучками электронов с энергией до 200 МэВ деятельности по исследованию и разработки детекторов частиц, изучению передовых методов диагностики пучков, а также по работе в качестве облучающей установки для прикладных исследований. Конструкция и состояние ВЧ-системы ускорителя LINAC-200 будут представлены в отчете.

## **28. Поиск стерильных нейтрино в эксперименте Daya Bay и на детекторе TAO**

**Автор:** Виталий Завадский

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Трех-нейтринная модель описания осцилляций не способна описать часть наблюдаемых эффектов. Например, реакторная антинейтринная аномалия. Наблюдаемый поток электронных антинейтрино отличается от предсказываемого на уровне значимости 2.6 $\sigma$ .

Схожая проблема появляется при калибровке на радиоактивных источниках галлиевых детекторов, наблюдаемый поток нейтрино от предсказываемого отличается на уровне 2.3 $\sigma$ . Один из способов объяснения наблюдаемых отклонений это введение одного или нескольких дополнительных стерильных состояний, которые взаимодействуют только гравитационно.

Эксперимент Daya Bay чувствителен к параметру стерильного смешивания  $\theta_{14}$  в области  $10^{-4} < \Delta m^2_{41} < 10^{-1}$  эВ<sup>2</sup>. Так как в эксперименте стерильные нейтрино не наблюдаются, то появляется возможность получить области исключения для параметра стерильного смешивания.

Опыт поиска параметров стерильных нейтрино можно применить и к другим реакторным экспериментам. Эксперимент нового поколения JUNO будет использовать дополнительный детектор TAO, чтобы точно измерять поток от атомной электростанции в Тайшане. Непосредственная близость детектора к реактору и хорошая энергетическая чувствительность позволяет измерять осцилляции только в стерильное состояние, если такие существуют, в области  $10^{-2} < \Delta m^2_{41} < 10$  эВ<sup>2</sup>.

В данном постере предлагается кратко узнать об экспериментах Daya Bay и TAO и обсудить результаты анализа чувствительности данных экспериментов к стерильным нейтрино.

## **29. Применение машинного обучения для реконструкции энергии в эксперименте JUNO**

**Автор:** Арсений Гавриков

*Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

### **Аннотация:**

Jiangmen Underground Neutrino Observatory (JUNO) — строящейся нейтринный эксперимент с широкой программой физических исследований. Основные цели JUNO — определение иерархии масс нейтрино, а также прецизионные измерения параметров нейтринных осцил-

ляций. Высокоточная реконструкция энергии события является критически важной для успеха эксперимента.

Центральный детектор JUNO оснащен огромным количеством фото-электронных умножителей (ФЭУ) двух типов: 17 612 единиц больших ФЭУ (20 дюймов) и 25 600 единиц маленьких ФЭУ (3 дюйма). Детектор спроектирован таким образом, чтобы обеспечить разрешение энергии на уровне 3% на 1 МэВ.

В этой работе исследовалось применение машинного обучения для реконструкции энергии, на основе информации о сигнале, собранной набором ФЭУ. Представляется полносвязная глубокая нейронная сеть, обученная на агрегированных признаках. Набор данных для тренировки и тестирования модели был сгенерирован с помощью метода Монте-Карло, используя официальное программное обеспечение JUNO.