

**Изучение структуры нуклонов и адронов в ЦЕРН
Коллаборация NA-58**

Тема 02-0-1085-2009/2022

ЛФВЭ:

Аносов В. А., Гаврищук О. П., Иванов А. В., Киселев Ю. Ф. ,
Кузнецов О. М., Нагайцев А. П., Пешехонов Д. В., Савин И. А.,

ЛЯП:

Алексеев Г. Д., Гуськов А. В., Фролов В. Н., Ольшевский А. Г.

ЛТФ : Ефремов А. В.

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА – НАГАЙЦЕВ А.П.

ДАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА В НОО _____

ДАТА НТС ЛАБОРАТОРИИ - 12.03.2020 НОМЕР ДОКУМЕНТА _____

ДАТА НАЧАЛА ПРОЕКТА - 01.01.2021

(ДЛЯ ПРОДЛЕНИЙ — ДАТА ПЕРВОГО УТВЕРЖДЕНИЯ ПРОЕКТА) 11.06.2008

Исследование структуры нуклонов и адронов в ЦЕРН
тема 02-0-1085-2009/2020, проект КОМПАСС-II
продление на 2021-2022 гг.

Участвующие страны, институты и международные организации:

Страна или организация	Город	Институт или лаборатория	Участники Имя, Фамилия	Статус
РОССИЯ	Москва	ФИАН	Завертаев М. В.	Коллаборация
РОССИЯ	Москва	Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Протвино	Донсков С. В.	Коллаборация
РОССИЯ	Томск	Политехнический университет	Любовитский В. Е.	Коллаборация
ПОЛЬША	Варшава	Национальный центр ядерных исследований	Сандач А.	Коллаборация
ПОЛЬША	Варшава	Технический университет	Зембицки М.	Коллаборация
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	Прага, Брно, Либерец	CUNI, STU, ISI Брно, Либерецкий технический университет	Фингер М.	Коллаборация
ГЕРМАНИЯ	Бохум	Рурский университет	Майер В.	Коллаборация
ГЕРМАНИЯ	Бонн	Университет	Кляйн Ф.	Коллаборация
ГЕРМАНИЯ	Фрибург	Университет	Фишер Х.	Коллаборация
ГЕРМАНИЯ	Майнц	Университет	Кабус Е.	Коллаборация
ГЕРМАНИЯ	Мюнхен	Мюнхенский технический университет	Пауль С.	Коллаборация
ИЗРАИЛЬ	Тель-Авив	Университет	Лихтенштадт Дж.	Коллаборация
ИТАЛИЯ	Триест	Национальный институт ядерной физики	Панциэри Д.	Коллаборация
ИТАЛИЯ	Турин	Национальный институт ядерной физики	Мартин А.	Коллаборация
США	Урбана	Университет	Пен Дж.	Коллаборация
ФРАНЦИЯ	Сакле	Комиссариат по атомной и альтернативным видам энергии	Нейрет Д.	Коллаборация
ЦЕРН	Женева	ЦЕРН	Маллот Г.	Коллаборация
ЯПОНИЯ	Ямагата	Университет	Ивата Т.	Коллаборация
ИНДИЯ	Калькута	Институт Матривани	Дасгупта С.	Коллаборация
ПОРТУГАЛИЯ	Авейру	Университет	Азеведо С.	Коллаборация
ПОРТУГАЛИЯ	Лиссабон	Институт Физики	Квантанс С.	Коллаборация
ТАЙВАНЬ	Тайбэй	Академия Синика	Чанг У.	Коллаборация

1. ВВЕДЕНИЕ.

COMPASS-это эксперимент по физике высоких энергий на Суперпротонном синхротроне (SPS) в ЦЕРНе в Женеве, Швейцария. Целью данного эксперимента является изучение адронной структуры и адронной спектроскопии с использованием высокоинтенсивных мюонных и адронных Пучков.

В феврале 1997 года эксперимент был одобрен SPSC комитетом ЦЕРН, а в сентябре 1998 года был подписан окончательный Меморандум о взаимопонимании. Спектрометр был установлен в 1999-2000 годах и введен в эксплуатацию в ходе технического запуска в 2001 году. Летом 2002 года начались физические эксперименты с мюонным пучком и поляризованными протонными и дейтроновыми мишенями. Эти полу-инклюзивные эксперименты по глубокому неупругому рассеянию (SIDIS) раскрывают детали кварк-глюонной структуры нуклона, в частности поляризацию глюона и корреляции, зависящие от поперечного импульса. После остановки в 2005 году COMPASS возобновил эксперименты SIDIS в 2006 и 2007 годах с новым магнитом мишени с большой апертурой. Измерения спиновой структуры были продолжены в 2010 и 2011 годах.

2008 и 2009 годы были посвящены программе адронной спектроскопии с использованием пучков пионов и протонов на жидко-водородной и ядерных мишенях. Был собран беспрецедентный объем данных, позволивший провести более детальный анализ конечных состояний и до сих пор раскрывающий тонкие детали спектроскопии легких мезонов. Часть 2009 года была посвящена изучению поляризуемости пионов с помощью Примаковского рассеяния пионов на тяжелых ядрах. Это измерение было подготовлено в ходе экспериментального запуска в 2004 году. Программа измерений была продолжена в 2012 году в рамках второго этапа эксперимента COMPASS.

Проект COMPASS-II [1], предложенный тем же сотрудничеством в качестве продолжения проекта COMPASS, был одобрен в мае 2010 года, и соответствующая тема в ОИЯИ была продлена до конца 2020 года.

Проект COMPASS-II в основном посвящен изучению поперечной и трехмерной структуры нуклонов с использованием глубоко виртуального комптоновского рассеяния (DVCS), жесткого эксклюзивного производства мезонов (NEMP), SIDIS и поляризованных реакций Матвеева-Мурадяна-Тавхелидзе или Дрелля-Яна (далее - DY). Утвержденный в 2010 году, проект стартовал в 2012 году с измерений реакций Примакова и пилотного набора данных по измерению реакций DVCS с использованием мюонного пучка и длинной жидко-водородной мишени с большим детектором отдачи. Первое поляризованное измерение Дрелл-Яна с пучком отрицательных пионов и поляризованной протонной мишенью было успешно выполнено в 2015 году, а сбор данных был возобновлен в 2018 году. 2016 и 2017 годы были посвящены измерению DVCS, и одновременно были собраны данные по программе NEMP и SIDIS.

На 2021 год после длительной остановки были утверждены дальнейшие измерения SIDIS на поперечно поляризованных дейтронах.

Данное продление проекта COMPASS-II является последним, в будущем проект планируется закрыть и продолжить анализ данных COMPASS-II в рамках этапа темы ОИЯИ.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДЫДУЩЕГО ЭТАПА ПРОЕКТА (2018-2020)

В 2018 году COMPASS-II продолжил набор данных по программе изучения партонных распределений, зависящих от поперечного импульса партона, в процессах DY на пучке пионов с энергией 160 ГэВ и с поляризованной мишенью. Группа ОИЯИ активно участвовала в подготовке установки и в наборе данных. Важно отметить те задачи, которые решаются при активном участии физиков и инженеров ОИЯИ: техническое обслуживание адронного калориметра (HCAL1), систем координатных детекторов (MW1), поддержка поляризованной мишени, поддержка системы сбора данных (DAQ), инженерной структуры экспериментального зала и анализ физических данных эксперимента.

В 2018-2020 годах был продолжен анализ данных, полученных в 2002-2017 годах. В отчетный период коллаборация подготовила к публикации и опубликовала 10 статей. С существенным вкладом физиков ОИЯИ были подготовлены три статьи.

Первое измерение поперечных спин-зависимых азимутальных асимметрий в процессах Дрелла-Яна

Первое измерение поперечных спин-зависимых азимутальных асимметрий в процессах DY проводилось с использованием пучка отрицательно заряженных пионов с энергией 190 ГэВ/с и с поперечно поляризованной аммиачной мишенью. Три азимутальные асимметрии, дающие доступ к различным поперечным импульсно-зависимым (TMD) функциям распределения партонов (PDFs), извлекаются с использованием событий ди-мюонов с инвариантной массой между $4,3 \text{ (GeV/c)}^2$ и $8,5 \text{ (GeV/c)}^2$. Установлено, что наблюдаемый знак асимметрии Сиверса (рис. 1, верхний график) согласуется с фундаментальным предсказанием КХД о том, что извлеченные из партонных распределений, зависящих от поперечного импульса партона Сиверса имеют знак, противоположный знаку, извлеченному из данных полуинтегрированного глубоко неупругого рассеяния (SIDIS), как показано на рисунке 2. Из данных также извлекаются две другие асимметрии (рис. 1, нижний и средний графики), происходящие из пионных партонных распределений, зависящих от поперечного импульса партона Бурра-Мулдера, свернутых либо с нуклонной поперечностью, либо с претцелосити партонных распределений, зависящих от поперечного импульса партона. Эти результаты по процессам DY были получены в масштабе, сопоставимом с недавним измерением SIDIS, и, следовательно, позволяют проводить уникальные тесты фундаментальных предсказаний универсальности КХД (рис. 2). Результаты по этим измерениям опубликованы коллаборацией в [2].

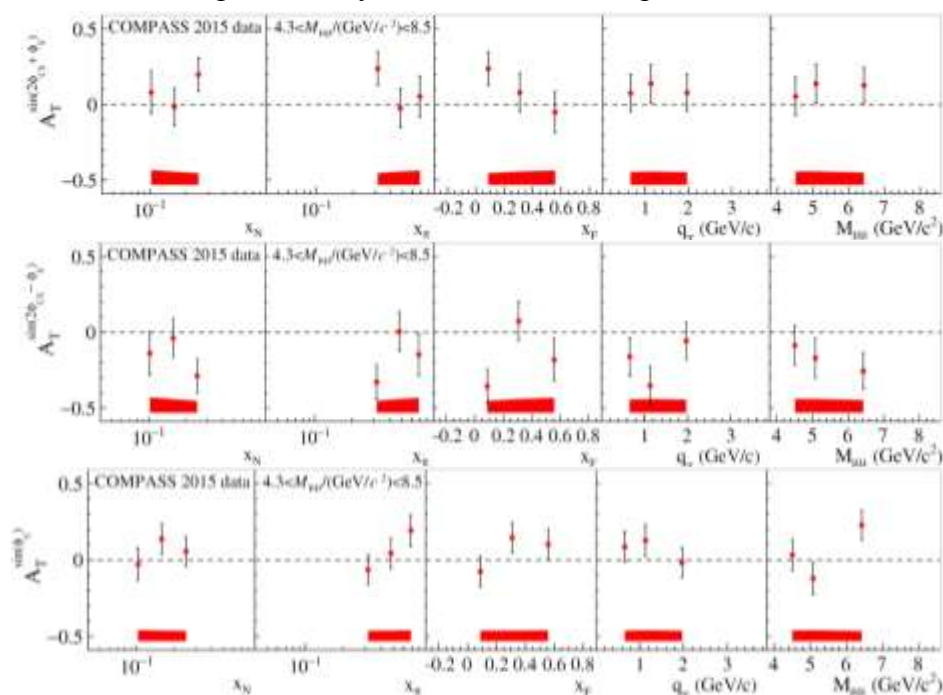


Рис. 1. Поперечные спиновые асимметрии, измеренные в процессах DY, связанные с партонными распределениями предцелосити, поперечности и Сиверса (сверху вниз).

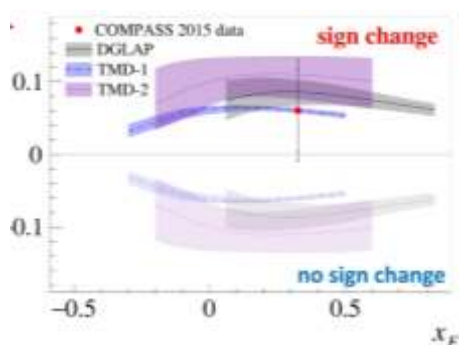


Рис. 2. Измеренное среднее значение асимметрии Сиверса и теоретические предсказания для различных методов оценки Q^2 эволюции.

Первое измерение асимметрии Сиверса для глюонов по данным SIDIS

Функция Сиверса описывает корреляцию между поперечным спином нуклона и поперечным движением его партон. Она была извлечена из измерений азимутальной асимметрии адронов, полученных при полуинклюзивном глубоком неупругом рассеянии лептонов от поперечно поляризованных нуклонных мишеней, и оказалась для кварков ненулевой. В этой работе представлена оценка асимметрии Сиверса для глюонов в том же процессе. Метод анализа основан на моделировании Монте-Карло, которое включает в себя три жестких процесса: слияние фотонов и глюонов, комптоновское рассеяние КХД и процесс поглощения виртуальных фотонов лидирующего порядка КХД. Асимметрии Сиверса трех процессов одновременно извлекаются с помощью генератора событий LEPTO и нейро-сетевого подхода. Метод применяется к выборкам событий, содержащих не менее двух адронов с большим поперечным импульсом, набранных с использованием пучка мюонов энергией 160 ГэВ/с, взаимодействующего с поперечно поляризованными дейтронами и протонами. При значении более двух стандартных отклонений было получено отрицательное значение для глюонной асимметрии Сиверса. Результат аналогичного анализа для асимметрии, подобной асимметрии Коллинса для глюонов, согласуется с нулем. Результаты этих измерений были опубликованы коллаборацией COMPASS-II в [3].

Отношение K^- к K^+ впервые было измерено в глубоко неупругом рассеянии (ГНР), для каонов, несущих большую долю z энергии виртуального фотона.

Коэффициент кратности K^- над K^+ измеряется в глубоко неупругом рассеянии, впервые для каонов, несущих большую долю Z энергии виртуального фотона. Данные были получены коллаборацией COMPASS на 160 ГэВом мюонном пучке и изоскалярной ${}^6\text{LiD}$ мишени. Режим глубинно-неупругого рассеяния обеспечивался требованием $Q^2 > 1$ (ГэВ/с) 2 для виртуальности фотонов и $W > 5$ (ГэВ/с) 2 для инвариантной массы адронов. Каоны идентифицируются в диапазоне импульсов от 12 ГэВ/с до 40 ГэВ/с, что ограничивает диапазон по переменной Бьеркена- x $0,01 < x < 0,40$. Изучена z -зависимость отношения при $z > 0,75$, результаты показаны на рисунках 3 и 4. Для очень больших значений z , т. е. для $z > 0,8$, результаты противоречат ожиданиям, полученным с использованием формализма пертурбативной квантовой хромодинамики в следующем за лидирующим порядком КХД. Это может означать, что перекрестная факторизация и/или универсальность функций фрагментации каонов не выполняются. Эти исследования показывают, что в рамках этого формализма может потребоваться дополнительная коррекция, учитывающая фазовое пространство, доступное для адронизации.

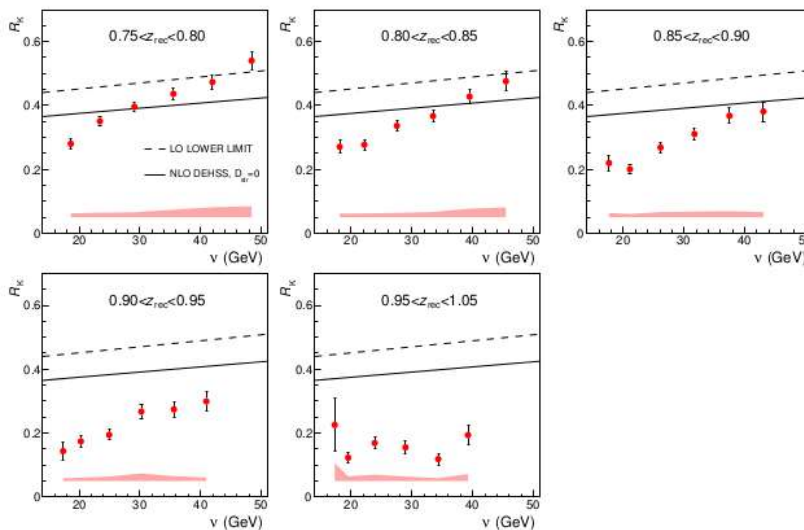


Рис. 3. Отношение множественностей K^- к K^+ в зависимости от ν в бинах по z , для первого бина по x . Прогнозы КХД приводятся сплошными и пунктирными линиями.

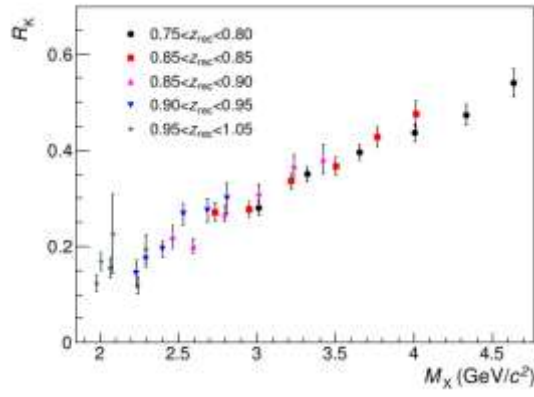


Рис. 4. Отношение множественностей K^- к K^+ .

Результаты этих измерений были опубликованы коллаборацией COMPASS-II в [4].

Поперечный размер партонов в протоне, измеренный в процессах глубоко-неупругого виртуального рассеяния

Экспериментом COMPASS-II впервые было выполнено измерение эксклюзивной реакции с одним фотоном (глубоко-неупругого виртуального рассеяния) в конечном состоянии с использованием мюонного 160 ГэВного пучка и жидководородной мишени. Были получены значения среднего сечения процесса глубоко-неупругого виртуального рассеяния в зависимости от квадрата переданного четырехимпульса t от протона мишени к протону в конечном состоянии. Наклон B -зависимости был аппроксимирован экспоненциальной функцией для диапазона по t от 0.1 до 2 $(\text{ГэВ}/c)^2$ (рис. 5), было получено следующее значение:

$$B = (4.3 \pm 0.6_{\text{stat}} + 0.1_{\text{sys}}) (\text{ГэВ}/c)^{-2}$$

Этот результат можно преобразовать в средний поперечный размер партонов в протоне, который получился равным

$$\sqrt{\langle r_{\perp}^2 \rangle} = (0.58 \pm 0.04_{\text{stat}} + 0.01_{\text{sys}}) \text{ fm}$$

при среднем значении виртуальности фотона $\langle Q^2 \rangle = 1.8 (\text{ГэВ}/c)^2$ и среднем значении переменной Бьеркена $\langle x_{Bj} \rangle = 0.056$.

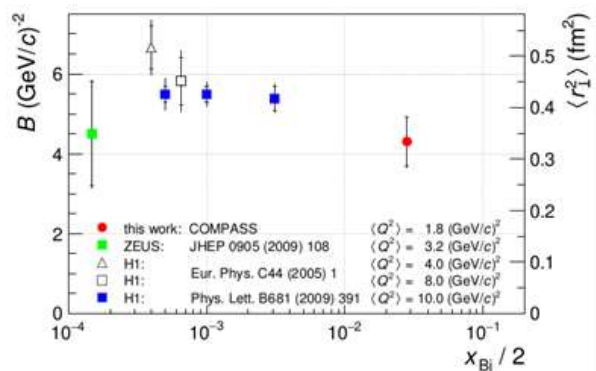
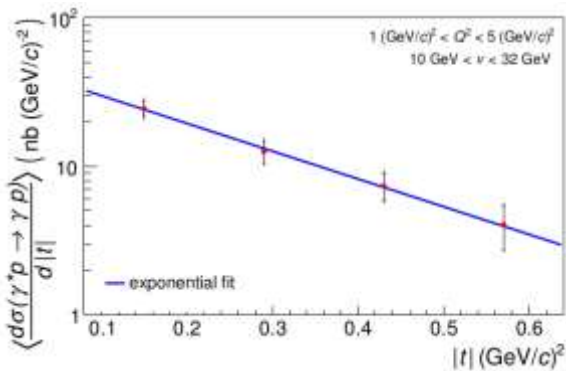


Рис. 5. Дифференциальное сечение глубоко-неупругого виртуального рассеяния как функция $|t|$ (слева). Результаты измерений t -наклона по параметру B , и соответственно, усредненный квадрат "размера" партонов в протоне как функция $x_{Bj}/2$.

Результаты этих измерений были опубликованы коллаборацией COMPASS-II в [5].

Поиск состояния $X(3872)$ на мюонном пучке установки COMPASS и указание на новое состояние тильда- $X(3872)$

Поиск эксклюзивного рождения экзотических очарованных состояний в $\mu+N \rightarrow \mu+(J/\psi\pi^+\pi^-)\pi^\pm N$ был выполнен с использованием данных эксперимента COMPASS, набранных на мюонном пучке с энергиями 160 ГэВ и 200 ГэВ/с. В $J/\psi\pi^+\pi^-$ распределении масс наблюдается сигнал со статистическим значением 4.1σ , фиты показаны на рисунке 6. Его масса и ширина соответствуют массе $X(3872)$. Форма $\pi^+\pi^-$ распределение массы из наблюдаемого распада в $J/\psi\pi^+\pi^-$ показывает несогласие с предыдущими наблюдениями состояния $X(3872)$. Наблюдаемый сигнал может быть истолкован как возможное свидетельство нового состояния чармония, спектры показаны на рисунке 7. Это может быть связано с нейтральным партнером $X(3872)$ с $C=-1$, предсказанным моделью тетракварка. Произведение сечения и доли моды распада наблюдаемого состояния в $J/\psi\pi^+\pi^-$ было получено равным $71 \pm 28(\text{стат}) \pm 39(\text{сист})$ пикобарн. Результаты этих измерений были опубликованы коллаборацией COMPASS-II в [6].

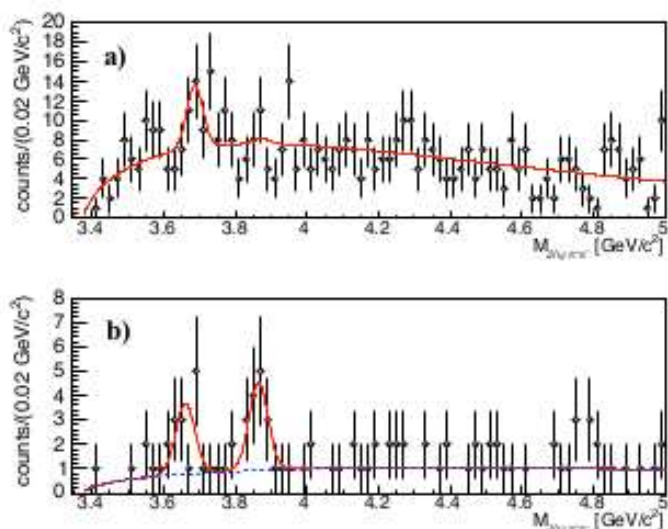


Рис. 6. а) Распределение инвариантных масс $J/\psi\pi^+\pi^-$ для конечного состояния $J/\psi\pi^+\pi^-\pi^\pm$ при не эксклюзивности событий ($-12 \text{ GeV} < \Delta E < -4 \text{ GeV}$), б) то же для эксклюзивности ($-4 \text{ GeV} < \Delta E < 4 \text{ GeV}$) при недостающей массе реакции более $3 \text{ GeV}/c^2$.

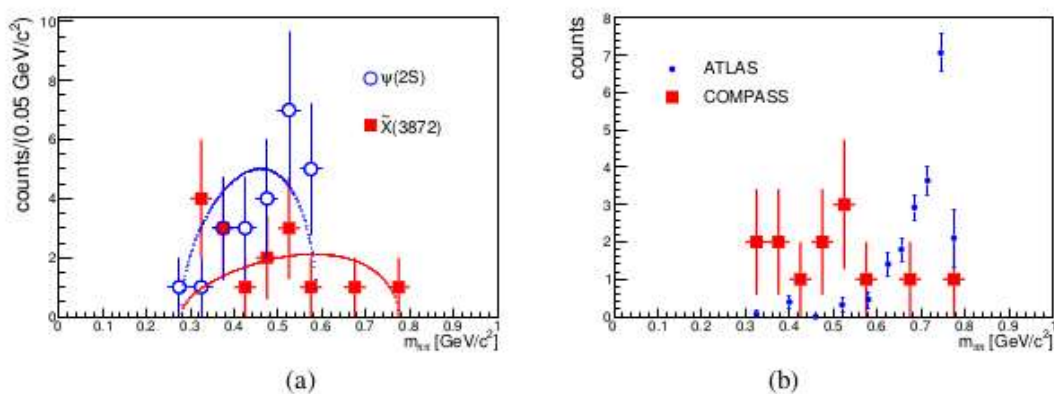


Рис. 7. а) Спектр инвариантных масса $\pi^+\pi^-$ для распада тильда- $X(3872)$ (красные квадраты) и $\psi(2S)$ (голубые кружки). б) Спектр инвариантных масс $\pi^+\pi^-$ для распада тильда- $X(3872)$ при массах более $3 \text{ GeV}/c$ (красные квадраты) и для распада $X(3872)$ наблюдаемого в эксперименте ATLAS (голубые точки).

Поиск рождения двойных J/ψ с пионным пучком.

Текущий интерес к рождению двойных J/ψ в адронных взаимодействиях обусловлен существованием общей проблемы понимания механизмов рождения чармониев, а также возможностью существования тетракварка, который распадается на пару J/ψ . Основным механизмом рождения двойных чармониев является однопартонное рассеяние, в то время как вклад двойного партонного рассеяния составляет всего несколько процентов. В отличие от экспериментов на высоких энергиях, где лавный вклад в рождение двойных чармониев даёт процесс глюон-глюонного синтеза, лидирующим механизмом на низких энергиях является кварк-антикварковая аннигиляция. Гипотеза внутреннего чарма адронов, выдвинутая С. Бродским (BHPS подход) допускает присутствие в адронах ненулевых фоковских компонент с c - \bar{c} парами. Внутренний чарм пиона также может отвечать за рождение двойных чармониев.

COMPASS наблюдал рождение двойных J/ψ на ядерных мишенях, для которых были определены сечения реакции. Полученный результат для дифференциального сечения рождения полностью соответствует вкладу механизма однопартонного рассеяния, график сечения показан на рисунке 8. При этом на вклад внутреннего чарма может быть установлен верхний предел. Никаких свидетельств существования резонансного состояния, распадающегося на два J/ψ , получено не было.

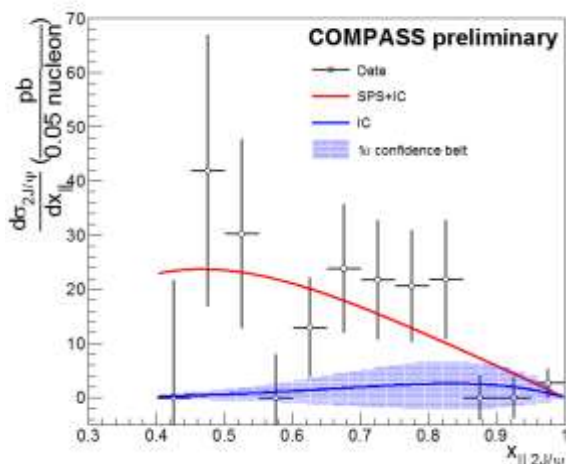


Рис. 8. Дифференциальное сечение рождения двойных J/ψ . Показаны вклады механизмов однопартонного рассеяния и внутреннего чарма пиона.

Азимутальные асимметрии заряженных адронов при высокой энергии мюонного рассеяния продольно поляризованных дейтронов

Односпиновые азимутальные асимметрии адронов в поперечных сечениях положительно и отрицательно заряженных адронов, рожденных в полу-инклюзивном глубоком неупругом рассеянии мюонов на продольно поляризованных дейтронах, определяются с использованием данных эксперимента COMPASS 2006 года, а также всеми данными COMPASS по дейтронам. Для каждого заряда адрона зависимость азимутальной асимметрии от азимутального угла адрона ϕ получается с помощью пяти-параметрической функции для аппроксимации, которая помимо ϕ -независимого члена включает четыре предсказанные теорией модуляции: $\sin \phi$, $\sin 2\phi$, $\sin 3\phi$ и $\cos \phi$. Амплитуды пяти членов были впервые извлечены для данных, интегрированных по всем кинематическим переменным, результаты показаны на рисунке 9. В дальнейшем ϕ -зависимость определяется как функция одной из трех кинематических переменных ($V_{\text{Jorken-x}}$, доля энергии виртуального фотона, принимаемая взаимодействующим адроном и поперечным импульсом адрона), игнорируя при этом две другие. За исключением ϕ -независимого члена (рис. 10), все амплитуды модуляции очень малы, и четкой кинематической зависимости в пределах экспериментальных неопределенностей не наблюдается. Результаты этих измерений были опубликованы коллаборацией COMPASS-II в [7].

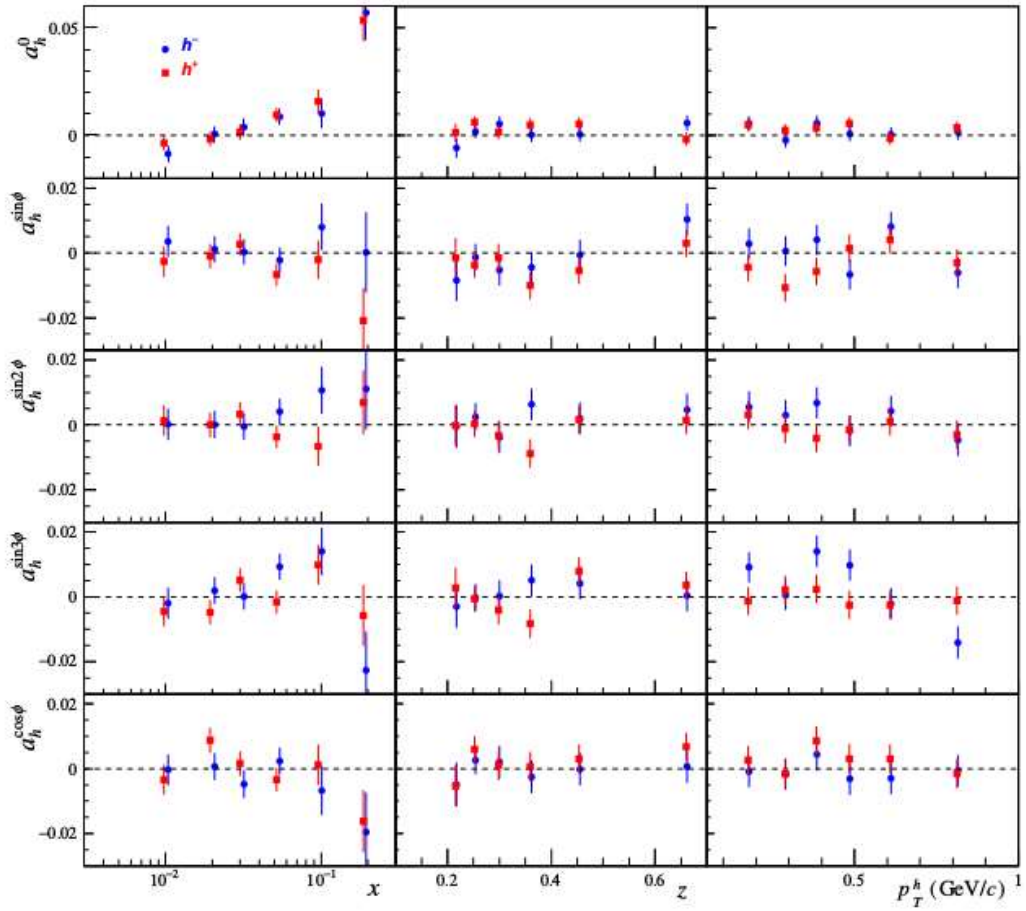


Рис. 9. Амплитуды модуляции H^+ и H^- азимутальных асимметрий в зависимости от x , z и p_T^h получены из данных 2002-2006 годов о мюонных SIDIS с продольно поляризованными дейтронами. Показаны только статистические неопределенности.

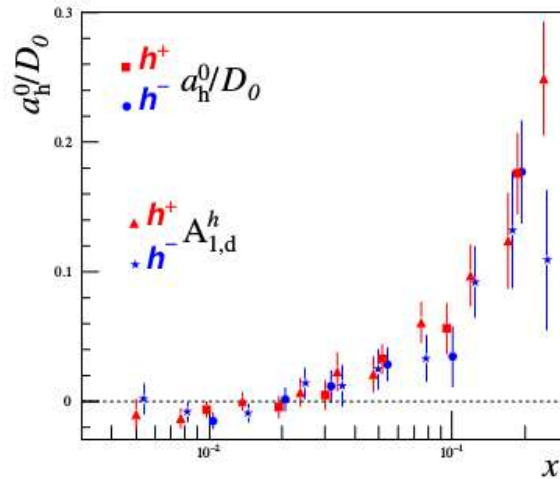


Рис. 10. x -зависимости значений $a_{h^\pm}^0/D_0(x, y)$ для данных за 2002-2006 годы по сравнению с данными $A_{1,d}^h$ полученными коллаборацией COMPASS.

3. COMPASS-II В 2021-2022 ГОДАХ.

Для продолжения исследований TMDs COMPASS-II подготовил предложение [8] о продлении измерений SIDIS в 2021 году. Это предложение было одобрено CERN SPSC в 2018 году.

Изучения поперечной спиновой структуры нуклонов является одной из важнейших тем последних теоретических и экспериментальных исследований в области физики высоких энергий. Хорошее знание зависимостей партонных распределений от поперечного собственного импульса партона и взаимосвязь этой зависимости со спинами партонов необходимо для понимания орбитального движения партонов и продвижение к более структурированной картине, выходящей за пределы коллинеарного представления партонных распределений. В КХД, для лидирующего твиста, структура нуклона описывается восемью партонными распределениями, зависящими от поперечного собственного импульса партона (TMDs): $F_1(x, k_T^2)$, $g_1^L(x, k_T^2)$, $H_1(x, k_T^2)$, $g_1^T(x, k_T^2)$, $h_1^T(x, k_T^2)$, $h_1^L(x, k_T^2)$, $h_1(x, k_T^2)$, и $f_1^T(x, k_T^2)$. Одним из основных методов исследования вышеупомянутых партонных распределений является измерение полу-инклюзивных глубоко-неупругих процессов рассеяния поляризованных лептонов на поляризованных ядерных мишенях. Такие измерения являются важнейшим пунктом физической программы экспериментов COMPASS и COMPASS-II. Периоды набора данных по этой тематике были выполнены в 2002-2004, 2007 и 2010 годах с поляризованными мишенями. Главными экспериментальными задачами таких измерений являются следующие цели:

- измерение асимметрий Коллинза и Сиверса;
- получение данных по партонному распределению h_1 (поперечность);
- измерение тензорного заряда;
- получение новых данных по структурной функции g_2 ;
- измерение асимметрий в процессах с рождением двух адронов;
- эксклюзивное рождение векторных мезонов.

В асимметрии сечений поперечные спиновые распределения в реакциях SIDIS являются «свернутыми» функциями фрагментации (ФФ) [9, 10] и могут быть извлечены из данных с использованием независимой информации о ФФ. Особенно интересным является измерение поперечного сечения SIDIS, когда нуклон мишени поперечно поляризован. В этой области коллаборации HERMES и COMPASS провели новаторские измерения при различных энергиях пучка (27 и 160 ГэВ соответственно) и показали, вне всякого сомнения, правильность трех самых интересных последних гипотез (рис. 11):

- Функция Сиверса f_1^{LT} : в нуклоне, поляризованном поперечно его импульсу, распределение кварков не является лево/право симметричным относительно плоскости, определяемой направлениями спина и импульса нуклона. Эта асимметрия функции распределения называется эффектом Сиверса, а асимметричная функция известна как Сиверс PDF [11].
- Функция распределения поперечности h_1 : кварки в поперечно поляризованном нуклоне поперечно поляризованы. Их поляризация описывается h_1 PDF, которые априори отличаются и имеют различные свойства от PDF спиральности.

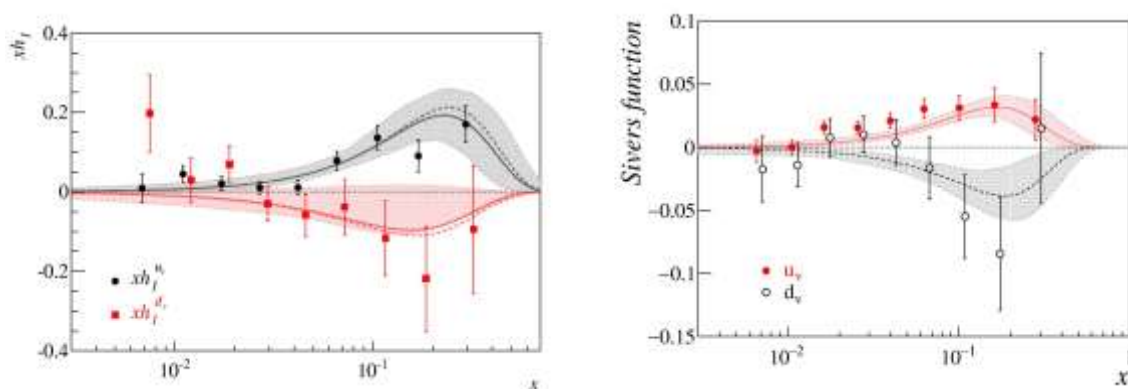


Рис. 11.: Партонные распределения поперечность и Сиверса извлекаются точка за точкой с использованием существующих данных COMPASS по p и d из [12] и [13]. Кривые являются результатами фитирования к данным COMPASS и HERMES и, для поперечности, к данным Belle.

- Функция Коллинза H_1^{\perp} : адронизация поперечно поляризованного кварка не является лево-право симметричной относительно плоскости, определяемой направлением кваркового импульса и спина кварка [8]. Этот факт был подтвержден e^+e^- измерениями в Belle, BaBar и BES и был использован для измерения PDF кварковой поперечности. Предыдущие результаты коллаборации COMPASS показаны на рисунке 12.

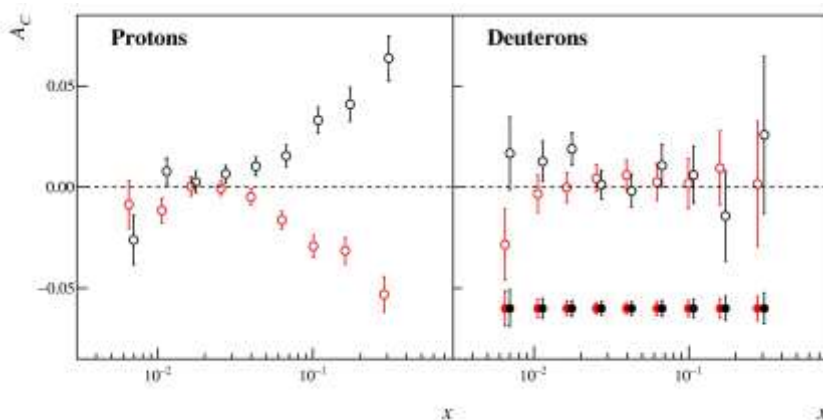


Рис. 12. Асимметрия A_C Коллинза, полученная из данных 2010 года с поляризованной протонной мишенью NH_3 в зависимости от x (левый график) по сравнению с результатами, полученными нами на сеансах 2002, 2003 и 2004 годов с поляризованной дейтронной мишенью 6LiD (правый график). Красные (черные) точки относятся к положительно (отрицательно) заряженным адронам. Заполненные точки в -0.06 на правом графике показывают экстраполированную статистическую ошибку от предлагаемого рана дейтрона.

COMPASS-II планирует выполнить стандартный однолетний набор данных, изучая рассеяния пучка мюонов канала M2 с импульсом 160 ГэВ/с на поперечно поляризованной дейтронной мишени. Влияние предлагаемого измерения на точность определения партонного распределения h_1 показано на рисунке 13. Коэффициент усиления точности для d-кварка колеблется от 2 при малых значениях x до более чем 4 при больших x , и также он важен для u-кварка. Поскольку во всех наших измерениях систематические неопределенности составляют лишь малую часть статистических, ими пренебрегают.

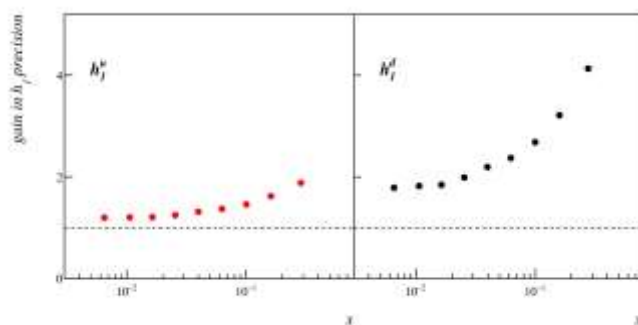


Рис. 13. Соотношение существующих неопределенностей по измеренной поперечности и прогнозируемых неопределенностей для u-кварка (слева) и d-кварка (справа).

Установка, которая будет использоваться для набора данных в 2021 году, в основном представляет собой спектрометр COMPASS, который использовался в 2010 году. Этот спектрометр схематически показан на рис. 14. Это подразумевает удаление поглотителя, который использовался в 2018 году, перемещение поляризованной цели на 2 м вниз, и переустановку всех трекеров и всех счетчиков, которые были использованы в 2010 году. Поляризованная мишень будет размещена в магните COMPASS с широким аксептансом, а материал мишени будет тем же, что и в 2002, 2003, 2004 и 2006 годах, а именно - 6LiD . Для более эффективного использования пучка мюонов, диаметр ячеек мишени будет увеличен с 3 до 4 см. Ожидается, что средняя поляризация мишени будет такой же, как и в

предыдущих наборах данных с дейтериевой мишенью - около 50%. Запрос на пучок такой же, как и во время набора данных в 2010 году, а именно $2,5 \times 10^{13}$ протонов, доставляемых к мишени Т6 линии пучка М2 каждые 40,8 с. С эффективностью ускорительной цепи 90% и временем работы 150 дней ожидается в общей сложности $6,1 \times 10^{18}$ протонов на Т6. Это число протонов является основой всех статистических оценок.

Состав спектрометра, который будет использоваться для набора данных в 2021 году, показан на рисунке 14. В составе этой установки – два детектора (MW1 и HCAL1), которые поддерживаются группой ОИЯИ (отмечены красными квадратами).

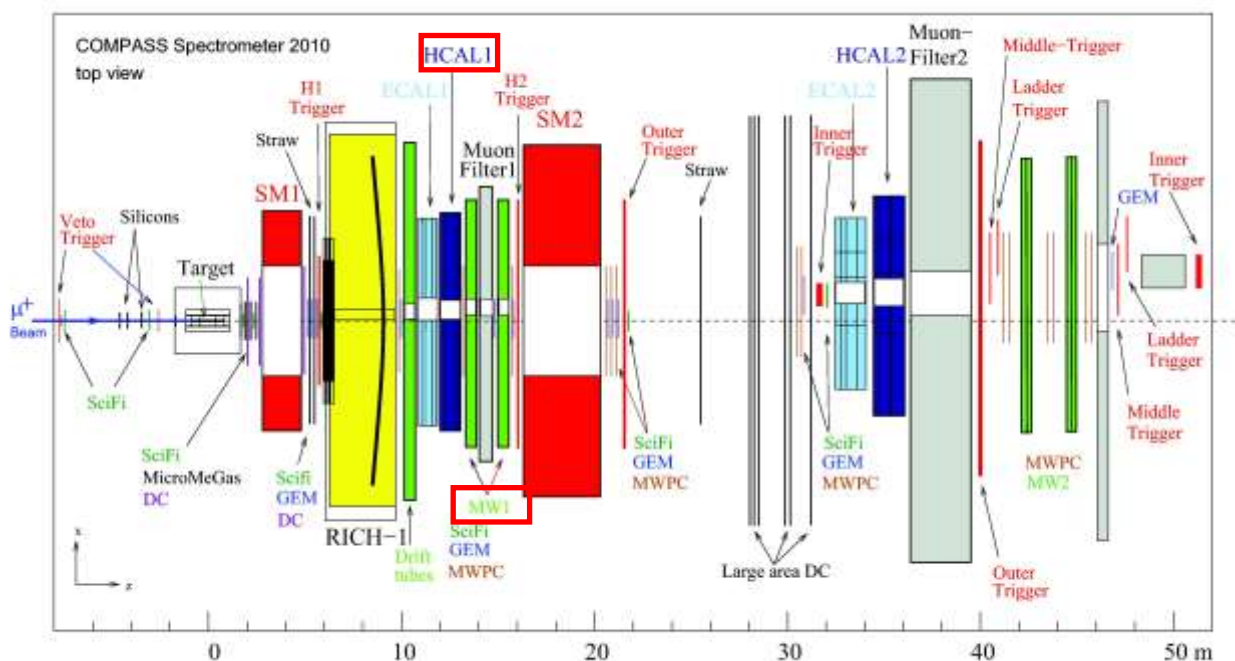


Рис. 14. Схема спектрометра COMPASS (вид сверху), как он использовался в 2010 году и как он будет собран для набора данных в 2021 году.

4. ОБЯЗАТЕЛЬСТВА ОИЯИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ COMPASS

Согласно Меморандуму о взаимопонимании (MoU) COMPASS-II, обязанностями ОИЯИ на 2021-2022 годы является техническая поддержка детекторов установки (HCAL1, ECAL0, MW1), участие в работах по поляризованной мишени, поддержка инженерной структуры экспериментального зала, системы сбора данных, а также обработка и анализ экспериментальных данных. Следует отметить, что SIDIS – одна из основных это задач в физической программе COMPASS-II. Продление данного Меморандума до конца 2025 года было одобрено комитетами FRC и SPSC в ЦЕРН, без обязательств по детекторам после 2021 года.

РАСПИСАНИЕ и ФИНАНСОВЫЕ УСЛОВИЯ.

В период 2021-2022 годов коллаборация COMPASS-II собирается набирать экспериментальные данные и продолжить их анализ. Ниже представлен план работ на два года:

2021:

- Участие в наборе данных COMPASS;
- Обслуживание MW1, HCAL1 во время сеанса;
- Разработка/поддержка программного обеспечения MW1 / HCAL1;
- Анализ экспериментальных данных COMPASS;

2022:

- Завершение работы с детекторами MW1, HCAL1 и ECAL0 по проекту COMPASS-II (утилизация, вывоз в ОИЯИ или передача в другой эксперимент);
- Анализ экспериментальных данных COMPASS;

Общие расходы ОИЯИ на проект (тема 1085) за период 2017-2020 гг. составили около \$ **624** тыс. МНТС – \$ 374 тыс., расходные материалы и оборудование - \$ 250 тыс.

ЦЕРН выделил около \$ 30 тыс. (NA58, COMPASS-II) на поддержку экспертов ОИЯИ в ЦЕРНе. Сумма необходимого финансирования на 2021-2022 годы составляет \$ **310** тыс. из бюджета ОИЯИ. Основная часть этих расходов необходима для участия физиков ОИЯИ в сборе данных, для обслуживания детекторов и программных он-лайн комплексов мониторинга их работы, а также для взносов в общий фонд коллаборации в соответствии с обязательствами по Меморандуму о взаимопонимании. Детали плана по расходам средств приведены в ниже формах 26 и 29.

В работах по проекту в 2021-2022 годах примут участие 13 авторов публикаций коллаборации, а также студенты, инженеры и технические работники двух ЛФВЭ и ЛЯП. Суммарный эквивалент занятости (FTE) сотрудников института по проекту равен 14,5: ЛФВЭ – 8,2, ЛЯП -5,8 и ЛФТ -0,5. Занятость, статус и область деятельности каждого сотрудника показаны в следующей таблице.

№.	ФИО	Статус	Активность	FTE	Лаборатория
1	Абазов В.М.	Инженер	MW1	0,3	ЛЯП
2	Алексеев Г.Д.	Научн.сотр.	MW1	0,3	ЛЯП
3	Анфимов Н.В.	Научн.сотр.	HCAL1, ECAL0	0,1	ЛЯП
4	Аносов В.А.	Инженер	Экспериментальный Зал	0,8	ЛФВЭ
5	Гаврищук О.П.	Научн.сотр.	HCAL1, ECAL0	0,2	ЛФВЭ
6	Голованов Г.А.	Инженер	MW1	0,3	ЛЯП
7	Гридин А. О.	Студент	Анализ данных	0,7	ЛЯП
8	Гуськов А.В.	Научн.сотр.	ECAL0, Анализ данных	0,3	ЛЯП
9	Гущерски Р.И.	Научн.сотр.	Анализ данных	1,0	ЛФВЭ
10	Денисенко И.И.	Студент	Анализ данных	0,5	ЛЯП
11	Ефремов А.В.	Научн.сотр.	Theory	0,5	ЛТФ
12	Журавлев Н. И.	Научн.сотр.	MW1	0,3	ЛЯП
13	Иванов А.В.	Научн.сотр.	Анализ данных	0,4	ЛФВЭ
14	Иваньшин Ю.И.	Научн.сотр.	Анализ данных	1,0	ЛФВЭ
15	Киселев Ю.Ф.	Научн.сотр.	Polarised target	1,0	ЛФВЭ
16	Кузнецов О.М.	Научн.сотр.	Анализ данных	1,0	ЛФВЭ
17	Мальцев А.	Диплом.	Анализ данных	0,7	ЛЯП
18	Мещеряков Г.В.	Научн.сотр.	HCAL1, ECAL0	0,5	ЛФВЭ
19	Митрофанов Е.О.	Студент	Анализ данных	0,7	ЛЯП
20	Нагайцев А.П	Научн.сотр.	Рук. группы, ECAL0	1,0	ЛФВЭ
21	Ольшевский А.Г.	Научн.сотр.	ECAL0	0,1	ЛЯП
22	Пешехонов Д.В.	Научн.сотр.	Анализ данных	0,3	ЛФВЭ
23	Пискун А.А.	Инженер	MW1	0,3	ЛЯП
24	Рымбекова А.	Студент	Анализ данных	0,3	ЛЯП
25	Савин И.А.	Научн.сотр.	Анализ данных	1,0	ЛФВЭ
26	Селюнин А.С.	студент	HCAL1, ECAL0	0,1	ЛЯП
27	Токменин В.В.	инженер	MW1	0,3	ЛЯП
28	Фролов В.Н.	Научн.сотр.	DAQ, ECAL0	0,5	ЛЯП

ССЫЛКИ

1. COMPASS Proposal, CERN/SPSLC 96-14, SPSLC/P297, 1 March, 1996.
2. COMPASS Collaboration, “First measurement of transverse-spin-dependent azimuthal asymmetries in the Drell-Yan process”, PRL 119 (2017) 112002
3. COMPASS Collaboration, “First measurement of the Sivers asymmetry for gluons from SIDIS data”, PLB 772 (2017) 854
4. COMPASS collaboration, “K⁻ over K⁺ multiplicity ratio for kaons produced in DIS with a large fraction of the virtual-photon energy”, PLB 786 (2018) 390
5. COMPASS collaboration, “Transverse extension of partons in the proton probed by deeply virtual compton scattering”, CERN-EP/2018-016, submitted to PLB
6. COMPASS collaboration, “Search for muon production of X(3872) at COMPASS and indication of a new state X[~](3872)”, PLB 783 (2018) 334
7. COMPASS Collaboration, “Azimuthal asymmetries of charged hadrons produced in high-energy muon scattering off longitudinally polarised deuterons ”, EPC 78 (2018) 952
8. COMPASS Collab., Measurement of semi-inclusive deep inelastic scattering off transversely polarized, Proposal to CERN SPSC April 2018

10. A. Kotzinian, Nucl. Phys. B441 (1995) 234.
11. A. Bacchetta et al., JHEP 02 (2007) 093.
12. D. W. Sivers, Phys. Rev. D41 (1990) 83.
13. A. Martin et al., Phys. Rev. D91 (1) (2015) 014034

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ ПРОЕКТА

Изучение структуры нуклонов и адронов в ЦЕРН

ЭКСПЕРИМЕНТ NA-58

тема 02-0-1085-2009/2022

Руководитель проекта – Нагайцев А.П., начальник сектора ЛФВЭ

УТВЕРЖДЕНО ДИРЕКТОРОМ ОИЯИ

подпись

дата

СОГЛАСОВАНО

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ОИЯИ

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР

НАЧАЛЬНИК НОО

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

ОДОБРЕН

ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления проекта «Изучение структуры нуклонов и адронов в ЦЕРН»

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.). Потребности в ресурсах	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов	
			2021	2022
Необходимые ресурсы	Эксплуатационные расходы	30	20	10
	Затраты из бюджета, в том числе инвалютные средства	280	170	110

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

Смета затрат по проекту «Изучение структуры нуклонов и адронов в в ЦЕРН»

#	Наименование статей затрат	Полная стоимость тыс.долл.	2021	2022
	Прямые расходы на Проект			
1.	Материалы и оборудование	30	20	10
2.	Взнос в коллаборацию	90	50	40
3.	Командирование			
	а) в страны нерублевой зоны	180	115	65
	б) в города стран рублевой зоны	10	5	5
	Итого по прямым расходам: (тыс.долл.)	310	190	120

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

ВЕДУЩИЙ ИНЖЕНЕР-ЭКОНОМИСТ ЛАБОРАТОРИИ