

Отчёт о работе центра коллективного пользования центрального Linux-кластера ИФВЭ за 2023 г.

Работы проводились в рамках НИОКТР 123042000014-5 «Развитие методов работы с большими объемами информации и обеспечение фундаментальных исследований по физике частиц распределенными вычислительными ресурсами для сбора и обработки больших объемов экспериментальных данных».

Введение

Важный вклад в обработку физических данных вносят ГРИД кластеры вычислительных центров НИЦ «Курчатовский институт» уровня Tier-1 и Tier-2, объединенные в распределённую российскую и международную информационную структуру.

В рамках глобальной информационной инфраструктуры WLCG НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ поддерживает ГРИД сайт RU-Protvino-IPER, который является одним из трёх крупнейших Tier-2 центров в России и обеспечивает вычислительными ресурсами эксперименты по физике высоких энергий НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ (ОКА, ВЕС, СПИН, ФОДС, СВД-2, Гиперон-М) и эксперименты на Большом адронном коллайдере (АТЛАС, АЛИСА, КМС, БАКби).

Основными задачами вычислительного центра НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ являются:

- обеспечение обработки экспериментальных данных с физических установок Ускорительного комплекса У - 70 [В] и БАК вычислительными ресурсами;
- инженерная и программная поддержка информационных ресурсов НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ компьютерных каналов связи;
- исследование и оптимизация систем контроля и управления ГРИД кластером.

Для обеспечения стабильного и оптимального предоставления ресурсов ГРИД кластера необходимо регулярно проводить контроль и инженерную поддержку работы вычислительного оборудования, оптимизацию управляющей структуры кластера и модернизацию программного обеспечения, что

представляет важную техническую и научную задачу. Непрерывный режим работы кластера в режиме 24 × 7 позволяет обеспечить вычислительными ресурсами сеансы ускорителя У - 70 и онлайн обработку физических данных с БАК.

Инженерное и программное обеспечение непрерывного функционирования распределённой вычислительной системы НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ

ГРИД кластер Tier-2D НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ [А] является одним из крупнейших вычислительных центров НИЦ «Курчатовский институт», обеспечивающий существенную часть обработки данных с БАК всего Российского сегмента. Tier-2D ведёт обработку заданий всех четырёх экспериментов на БАК – АТЛАС, АЛИСА, КМС и БАКби.

В настоящий момент НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ предоставляет около 40.68 % вычислительных ресурсов от всего российского Tier-2 сегмента.

В таблицах 1 – 2 показан вклад сегмента Tier-2D НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ в обработку физических данных с БАК.

Таблица 1. Вклад сегмента Tier-2D НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ в обработку физических данных экспериментов на БАК за 2023 год среди всех Tier-2 сегментов России по числу задач

Эксперимент	АТЛАС	АЛИСА	КМС	БАКби
Вклад, %	53.79	20.11	43.15	29.12

Таблица 2. Вклад российских вычислительных центров в обработку физических данных экспериментов на БАК за 2023 год по процессорному времени

Вычислительный центр	RRC-KI-T1	JINR-T1	JINR-LCG2	ИИЕР	Другие
Вклад, %	20.30	58.40	18.01	2.46	0.83

Непрерывное функционирование ГРИД кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ позволило сохранить коэффициент эффективности использования вычислительных ресурсов ГРИД сайта RU-Protvino-ИИЕР на уровне 88.2 % (обработано 2.5 % всех заданий в российском сегменте ГРИД). Виртуальные организации БАК были обеспечены вычислительными

внутренними ресурсами ГРИД сайта НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ в следующих пропорциях: 33 % – АТЛАС (моделирование, реконструкция, анализ, обработка данных), 17 % – АЛИСА (моделирование, анализ данных), 21 % – КМС (анализ, реконструкция данных), 29 % – БАКби (моделирование, реконструкция, анализ данных).

Выполнены работы по программной и инженерной поддержке вычислительного кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ:

1. С помощью «Системы оперативных вычислений кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ» выполнены работы по обеспечению пиковой нагрузки первичной обработки физических данных сеансов на Ускорительном комплексе У - 70 и проведению расчётов для новых установок, разрабатываемых в соответствии с программой долгосрочных проектов НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ;

2. Обеспечена работа систем оперативного хранения данных на дисках и долгосрочного хранения данных на магнитных лентах для сбора и хранения информации с физических установок во время проведения сеансов У - 70 НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ;

3. На базе антивирусного ПО «Касперский» и центрального межсетевое экрана разработана распределенная система защиты компьютеров в локальной вычислительной сети (ЛВС) НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ от внешних атак из сети Интернет. Данная система позволила оперативно отслеживать атаки на компьютеры в ЛВС НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ и применять блокирующие фильтры на входе в ЛВС, значительно повысив информационную безопасность;

4. Выполнена поддержка программного сопровождения вычислительного кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ:

- выполнены работы по настройке сетевых сервисов ГРИД кластера для работы в режиме использования двух базовых протоколов сети Интернет – IPv4 совместно с IPv6;
- на вычислительных узлах кластера проведено обновление программного обеспечения для доступа к прикладному ПО экспериментов ГРИД и базам данных детекторов экспериментов БАК;
- для системы мониторинга инженерной инфраструктуры разработано и внедрено программное обеспечение считывания показаний счетчика давления воды в системе кондиционеров, а также счетчика потребления воды системой охлаждения;

5. Выполнены работы восстановления работоспособности системы кондиционирования в технологической зоне № 6 вычислительного центра.

Проведены организационные и пусконаладочные работы замены теплообменника кондиционера Liebert Hiross (Emerson) модели: НРМ М47UW российским аналогом;

6. В результате модернизации системы хранения и поддержки электронной почты НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ улучшены характеристики почтового сервиса, увеличена скорость обработки, надёжность и допустимый объём сообщений;

7. Выполнены работы по миграции системы поддержки виртуализации ИВЦ НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ на SSD диски с увеличением производительности виртуальных машин сервисов НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ и виртуальных машин Windows поддержки антивируса «Касперский» в НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ;

8. Выполнена модернизация системы безопасности НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ на базе антивируса «Касперский» с целью увеличения быстродействия и надёжности системы.

В рамках поддержки функционирования кластера:

- Проработаны и закрыты 19 (-14 от 2022) грид-билета (GGUS) на сайт;
- Заменено 26 (-14 от 2022) сбойных жестких дисков на серверах ИВЦ;
- На вычислительном кластере ИФВЭ зарегистрировано 6 (-2 от 2022) новых пользователей.

Непрерывный режим работы кластера в режиме 24 × 7 позволил обеспечить вычислительными ресурсами сеансы ускорителя У - 70 и онлайн обработку экспериментальных данных с БАК.

Обеспечение программного сопровождения обработки данных с физических установок НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ (ОКА, ВЕС, ФОДС, СПИН, СВД-2, Гиперон-М) и экспериментов международного сотрудничества по физике высоких энергий на Большом адронном коллайдере Европейского центра ядерных исследований

В системе хранения эксперимента АЛИСА для БАК проведены восстановительные работы по замене RAID контроллера и перезаписи метаданных массива объемом 10 ТБ.

Проведены исследования и выполнена оптимальная настройка сервиса очистки удаленных данных для системы хранения данных dCache эксперимента КМС объемом 395 ТБ.

Для работ по эксперименту NA62 на вычислительном кластере создана рабочая группа, установлено необходимое программное обеспечение, выполнены настройки системы хранения.

Выполнено обновление системы запуска задач на ГРИД кластере для экспериментов БАКби и КМС.

Выполнены дополнительные обновления поддержки сертификатов SSL для WEB - сервисов ГРИД.

Для выполнения задач эксперимента КМС на вычислительных узлах кластера выполнена установка и настройка системы программирования на базе языка PYTHON 3.

В связи с переходом эксперимента КМС на новую систему работы с данными выполнена настройка системы хранения эксперимента для новой структуры организации хранения данных с обеспечением соответствующего доступа к управляющим сервисам КМС ГРИД.

Осуществлена настройка систем запуска многопроцессорных задач для эксперимента АЛИСА. Задействовано оптимальное число – 8 процессоров на одну задачу.

Проведённые работы по развитию и поддержке ПО ГРИД кластера позволили оперативно обеспечить информационными ресурсами эксперименты НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ (ОКА, ВЕС, СПИН, ФОДС, СВД-2, Гиперон-М, СПАСЧАРМ) и эксперименты на Большом адронном коллайдере (АТЛАС, АЛИСА, КМС, БАКби). ГРИД кластер подготовлен к следующим сеансам работы на Ускорительном комплексе У - 70 и на БАК.

Внедрение системы интерактивного доступа к вычислительным ресурсам ГРИД кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ на базе WEB - технологий

Для организации упрощённого доступа к вычислительным ресурсам центрального Linux кластера на базе WEB - технологий разработана архитектура системы на базе свободного программного обеспечения Apache Guacamole [С]. Создан прототип системы, позволяющий получать доступ к ресурсам кластера через WEB – браузер [1]. Проведена интеграция созданной системы с системами авторизации и аутентификации НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ и тестирование стабильности работы WEB - приложений для различных протоколов доступа.

Система внедрена в информационную инфраструктуру НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ через единую точку входа <https://guac.ihep.su> и доступна всем пользователям Института.

Разработка и внедрение системы запуска контейнеров на вычислительных ресурсах ГРИД кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ с применением современных информационных технологий

Для вычислительного кластера разработана новая система запуска контейнеров с использованием современных технологий [2]. Для системы контроля версий <https://glab.ihep.su> создан набор описаний и вспомогательных программ, который позволяет автоматически запускать задачи в контейнерах на вычислительном кластере через общую систему запуска задач с последующей «публикацией» результатов. Новая система позволяет работать с различными сервисами кластера, такими как: общие системы запуска, система хранения контейнеров (registry.ihep.su), система непрерывного развертывания и интеграции (Continuous Integration/Continuous Deployment). Реализованная схема позволяет упростить последовательность реализации этапов: разработка ПО через <https://glab.ihep.su>; сборка контейнера; запуск собранного контейнера на вычислительном кластере.

Использование кластера экспериментами ИФВЭ

Использование вычислительных ресурсов кластера отделами ИФВЭ приведено в Таблице 1.

80% (+5% от 2022) процессорного времени использовано пользователями отдела экспериментальной физики.

2023-01-01 to: 2023-12-31

Department	<u>Used cput</u> (h:m:s)	<u>Used mem</u> (Gb)	<u>Used vmem</u> (Gb)	<u>Used walltime</u> (h:m:s)	<u>Estimate (Rub)</u>
OEF	997191:2:27	177605.55	2127526.74	1094540:37:59	2415890.44
ORI	236948:33:8	50197.86	98136.34	246290:8:48	568834.71
OTF	13572:12:38	43.51	53.09	14133:37:35	34156.02
REC	2357:50:56	5057.30	10555.18	2894:37:45	4200.37
IFO	1663:11:15	18.52	207.52	1679:13:52	4138.60
OUK	23:5:2	79.27	81.72	29:35:39	55.30
OMVT	12:27:44	0.17	0.91	24:2:0	31.28
7	52157 days 0:23:10	233002.18	2236561.5	56649 days 15:53:38	3027306.72

Таблица 1. Использование процессорного времени кластера отделами ИФВЭ.

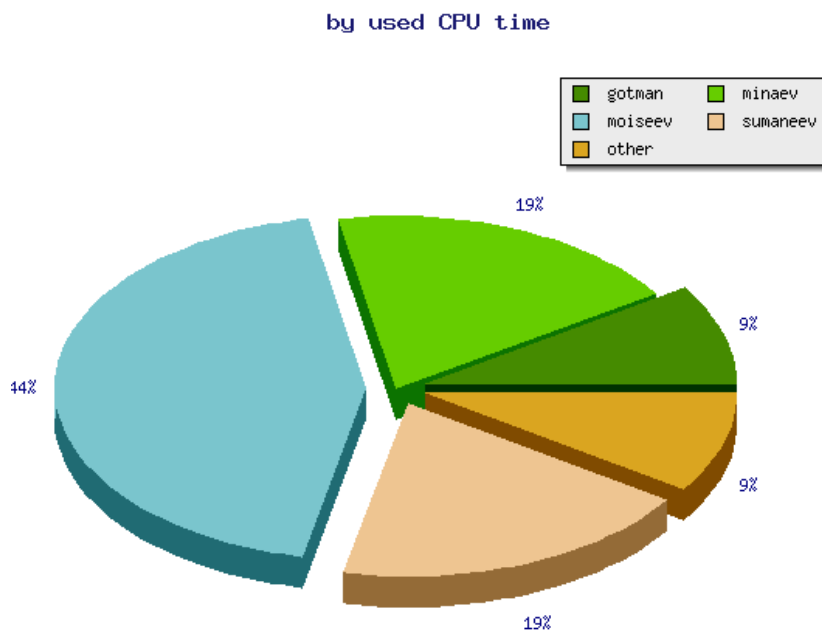
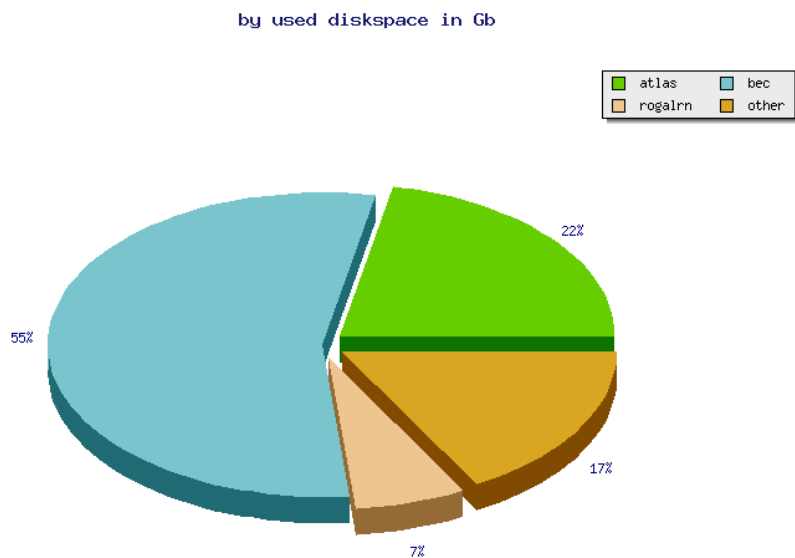


Рис. 4. Использование кластера пользователями.

Таблица по использованию ресурсов кластера отдельными пользователями приведена на Рис. 4 и в приложении 0.

Использование кластера экспериментами ИФВЭ составило 32% (+25 от 2022) от общего использования кластера.

В настоящий момент на кластере доступно 302ТБ жестких дисков для экспериментов ИФВЭ. Таблица использования дисковых ресурсов приведена в



Таблице 2.

Рис. 5. Использование системы хранения пользователями

Эксперимент/ пользователь	Использование дисков в ГБ	Отдел
bec	137543	ОЭФ
atlas	55018	ОЭФ
rogalm	16413	ОТФ
moiseev	7066	ОЭФ
morozov	3874	ОЭФ
cheremev	3250	ОЭФ
kamenand	2942	ОЭФ
kozlowsk	2294	ОЭФ
tryabova	1636	ОМВТ
ukhanov	1445	ОЭФ
artamon	1861	ОЭФ
bomvit	1271	ОТФ
lisinvi	1160	ОЭФ
bogolyub	1152	ОЭФ
hyperon	1016	ОЭФ

Таблица 2. Использование дискового пространства экспериментами и пользователями ИФВЭ

Выполненные работы на кластере коллективного пользования ИФВЭ

1. НИОКТР Исследование сильных и электромагнитных взаимодействий адронов и релятивистской ядерной физики на ускорительном комплексе У-70. Ответственный за тему Хохлов Ю.А. Приложение 1.
2. Резервное хранение сырых данных эксперимента ОКА. Ответственный за тему Филин А.П. Приложение 2.
3. Исследование спиновых эффектов в сильном взаимодействии на установке СПАСЧАРМ. Ответственный за тему Моисеев В.В. Приложение 3.
4. НИР «Исследование непертурбативных явлений в КХД в решеточной регуляризации» Ответственный за тему Роголёв Р.Н. Приложение 4.

Публикации, выполненные с использованием центрального Linux-кластера ИФВЭ:

№ п/п	Наименование	Авторы	Издание (полная библиографическая информация)	Дата выхода	Краткое описание научных результатов
1	Searches for the light invisible axion-like particle in $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 a$ decay	A.S. Sadovsky, and others	https://arxiv.org/abs/2310.16429	2023	Этот анализ проводился Александром Садовским (ИФВЭ, Протвино). Здесь осуществлялся поиск аксионо-подобной частицы (ALP). Эта частица не была обнаружена, поэтому был получен верхний предел на 90% уровне достоверности, который изменялся от 2.5×10^{-6} до 2×10^{-7} для массы аксионо-подобной частицы от 0 до 200 МэВ/с ² .
2	Observation of $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0 \gamma$ decay	S.N. Filippov and others	https://arxiv.org/abs/2310.19652	2023	Этот анализ проводился А.В.Куликом (ИЯИ РАН, Троицк). В этой работе впервые наблюдался

					распад каона на $\pi^+ \pi^0 \pi^0$ gamma. Был измерен брэнчинг этого распада: $\text{Br} = (4.1 \pm 0.9(\text{stat}) \pm 0.4(\text{syst})) \times 10^{-6}$
3	Наблюдение $f_0(1710)$ мезона в системе $\omega\phi$ в пион-Ве взаимодействии и при импульсе 29 ГэВ	В.Г.Готман, В.А.Дорофеев и др.	Препринт ИФВЭ 2023-6	Апрель 2023	Изучено образование скалярного резонанса вблизи порога системы $\omega\phi$ в реакции перезарядки пиона на ядре.
4	Концептуальный проект эксперимента СПАСЧАРМ	В.В. Абрамов и др.	ЭЧАЯ, 2023, том 54, выпуск 1, стр. 6 [Physics of Particles and Nuclei, 2023, V. 54, N 1, p.69 DOI: 10.1134/S1063779623010021]	Январь 2023	Представлен текст проекта Эксперимента, включая моделирование.
5	Экспериментальная установка СПАСЧАРМ для исследования спиновых эффектов в адронных взаимодействиях на Ускорительном комплексе У-70	В.В. Абрамов и др.	Препринт ИФВЭ 2023-13, направлен в ПТЭ	Препринт вышел в октябре 2023 г., статья ожидается в 2024 г.	Представлены описание и результаты анализа работы детекторов установки СПАСЧАРМ
6	«Численное исследование перехода Роберге-Вайсса»	В.Г.Борняков, Н.В.Герасименюк, В.А.Гой, А.А.Корнеев, А.В.Молочков,	Phys.Rev. D107 (2023), 014508; e-print arXiv:2203.06159	13.01.2023	На основе оценки барионной плотности при мнимом химпотенциале в рамках численного моделирования КХД в решёточной регуляризации и использования асимптотических формул для вычисления канонических статсумм показано, что нули Ли-Янга статсуммы

		А.Накамур а, Р.Н.Рогалёв			КХД при высоких температурах скапливаются вдоль отрицательной вещественной полуоси в плоскости фугитивности, что согласуется с фазовой диаграммой в плоскости «мнимый барионный химпотенциал - температура», предложенной Роберге и Вайссом.
7	«Разложение статического потенциала в SU(3) глюодинамике»	В.Г.Борняков, И.Е.Кудров	<i>JETP Lett.</i>, том 117, номер 5, (2023) стр. 328-331. DOI:10.1134/S0021364023600209	01.03.2023	Вычислены вклады монополюной и модифицированной компонент калибровочного поля в потенциал взаимодействия статических кварков в SU(3) глюодинамике. Модифицированная компонента получается в результате удаления из решёточного неабелева калибровочного поля дираковских монополей, имеющих в его абелевой проекции . В отличие от монополюной компоненты, она изучена плохо, а в SU(3) теории исследована впервые.
8	«Нули Ли-Янга в плоскости барионной фугитивности: роль больших плотностей»	В.Г.Борняков, Н.В.Герасименюк, В.А.Гой, А.А.Корнеев, А.В.Молочков, А.Накамур а, Р.Н.Рогалёв	<i>Particles</i>, том 6, №3 (2023) стр.834-846; DOI:10.3390/particles6030053	07.09.2023	Показано, что асимптотическая оценка интеграла Фурье методом перевала даёт положительные значения канонических статсумм для любого барионного числа, в отличие от алгебраических (рекуррентных) либо численных оценок. Учёт высших членов асимптотического разложения интеграла Фурье методом перевала улучшает аппроксимацию большой канонической статсуммы по сравнению с учётом только лидирующего члена.
9	«Оценка распределений по барионному числу на основе решёточного моделирования»	Р.Н.Рогалёв , В.А.Гой	<i>Particles</i> , том 6, №3, (2023) стр.771-783 DOI:10.3390/particles6030049	23.08.2023	При $T > T_{RW}$, асимптотическое поведение канонических статсумм при $n \rightarrow \infty$ имеет вид: $Z_C(n) \sim A \exp(-\alpha n ^{1+\epsilon})$, где $\epsilon > 0$ и убывает с падением температуры, причём $\epsilon \rightarrow 1/3$ при $T \rightarrow \infty$ и $\epsilon \rightarrow 0$ при $T \rightarrow T_{RW}$. Характер

	»				изменения скорости убывания $Z_C(n)$ при $n \rightarrow \infty$ для $T_C < T < T_{RW}$ остался недоисследованным, однако, она уменьшается с падением температуры, причём $Z_C(n) \sim A \exp(-\alpha n \ln(n))$ при $T \sim T_C$, в соответствии с феноменологически успешной моделью адронного резонансного газа.
10	«Переход Роберге-Вайсса в подходе Ли-Янга»	В.Г.Борняков, Н.В.Герасименюк, В.А.Гой, А.А.Корнеев, А.В.Молочков, А.Накамур, Р.Н.Роголёв	PHYSICS OF PARTICLES AND NUCLEI LETTERS, том 20, №3 (2023) стр.438-442 DOI:10.1134/S1547477123030573	22.06.2023	Установлено, что, при достаточно больших степенях полинома, используемого для аппроксимации большой канонической статсуммы системы кварков и глюонов при $T > T_{RW}$, нули Ли–Янга лежат на отрицательной вещественной полуоси, причём их линейная плотность соответствует скачку барионной плотности на переходе Роберге–Вайсса.

Общие запрашиваемые ресурсы на кластере для работы в 2024 году:

Тема работ	Ответственный за тему	CPU (число слотов Intel Xeon 2.6GHz)	GPU (число карт Nvidia Tesla M2090)	Data disk (/lustre/ihep.su TB)	Tape (/castor/ihep.su TB)
Моделирование и хранение данных эксперимента ВЕС	В.Г. Готман	Сохранить статус –кво. В случае ввода новых мощностей – увеличить пропорционально		5	
Хранение и реконструкция данных	А.П. Плеханов	Сохранить статус –кво В случае ввода новых мощностей – увеличить пропорционально		20	20
Резервное хранение сырых данных эксперимента ОКА	Филин Алексей Павлович				5
Моделирование, реконструкция и анализ данных эксперимента СПАСЧАРМ и в рамках модели ХПК	Моисеев В. В. (Мочалов В.В.)	2000	1	12	
«Исследование непертурбативных явлений в КХД в решеточной регуляризации»	Р.Н.Роголёв	100	1	20	10
Итого:		2400	2	57	35

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения НИОКТР № 123042000014-5 «Развитие методов работы с большими объемами информации и обеспечение фундаментальных исследований по физике частиц распределенными вычислительными ресурсами для сбора и обработки больших объемов экспериментальных данных» за отчетный период выполнены следующие работы:

- обеспечено непрерывное функционирование ГРИД кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ. Коэффициент эффективности использования вычислительных ресурсов ГРИД сайта RU-Protvino-IPER составил 88.2 % (обработано 2.5 % всех заданий в российском сегменте ГРИД), что позволило обеспечить в режиме 24 × 7 вычислительными ресурсами сеансы ускорителя У - 70 и онлайн обработку экспериментальных данных с БАК;
- обеспечено программное сопровождение обработки данных с физических установок НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ и экспериментов международного сотрудничества по физике высоких энергий на Большом адронном коллайдере Европейского центра ядерных исследований. Проведённые работы по развитию и поддержке ПО ГРИД кластера позволили оперативно обеспечить информационными ресурсами эксперименты НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ (ОКА, ВЕС, СПИН, ФОДС, СВД-2, Гиперон-М, СПАСЧАРМ) и эксперименты на Большом адронном коллайдере (АТЛАС, АЛИСА, КМС, БАКби). ГРИД кластер подготовлен к сеансам работы на Ускорительном комплексе У - 70 и на БАК;
- внедрена системы интерактивного доступа к вычислительным ресурсам ГРИД кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ на базе WEB - технологий;
- разработаны и внедрены системы запуска контейнеров на вычислительных ресурсах ГРИД кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ с применением современных информационных технологий.

Разработанные технологии информационного и технического сопровождения непрерывной работы ГРИД кластера НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ могут быть использованы в других аналогичных центрах для распределённых вычислений.

ГРИД кластер НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ входит в тройку лидирующих ГРИД центров России по эффективности и числу обработанных задач.

Работы, выполненные в 2023 году в НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ по НИОКТР № 123042000014-5 «Развитие методов работы с большими объемами информации и обеспечение фундаментальных исследований по физике частиц распределенными вычислительными ресурсами для сбора и обработки больших объемов экспериментальных данных», проведены в полном объеме и в соответствии с запланированными сроками.

ПУБЛИКАЦИИ

- [1] V. Ezhova, V. Kotliar «Development of an interactive access system for the computing resources of the GRID cluster of the National Research Center «Kurchatov Institute» - IHEP based on WEB technologies», 10th International Conference «Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education», GRID 2023, Dubna, 3 – 7 July 2023, 01/12/2023 accepted for publishing in Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei;
- [2] A. Kotliar, V. Kotliar «Containerized computing with DevOps methodology use on the central Linux cluster at NRC «Kurchatov Institute» - IHEP», 10th International Conference «Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education», GRID 2023, Dubna, 3 – 7 July 2023, 01/12/2023 accepted for publishing in Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [A] V. Kotliar, V. Gusev, V. Kukhtenkov, N. Savin «ИЕР Tier-2 computing center: status and operation», CEUR Workshop Proceedings, 7th International Conference Distributed Computing and Gridtechnologies in Science and Education, GRID 2016, Dubna, 4-9 July 2016, том 1787, стр.: 323–327, DOI: 10.54546/MLIT.2021.17.28.001, опубликовано: 01/02/2017;
- [B] А.И. Басов «Протонный синхротрон на 70 ГэВ», Серпухов, опубликовано: 1967 г.;
- [C] Apache Guacamole is a clientless remote desktop gateway [Apache Guacamole] (<https://guacamole.apache.org>).

Приложение 0

Использование процессорных ресурсов пользователями ИФВЭ

2023-01-01 to: 2023-12-31

<u>Account</u>	<u>Used cput (h:m:s)</u>	<u>Used mem (Gb)</u>	<u>Used vmem (Gb)</u>	<u>Used walltime (h:m:s)</u>	<u>Estimate (Rub)</u>
moiseev	547163:13:54	53850.72	1079786.91	584184:51:36	1358199.65
sumaneev	236948:33:8	50197.86	98136.34	246290:8:48	568834.71
minaev	233613:44:21	31376.13	796814.09	250447:54:27	581022.24
gotman	116687:35:24	59867.96	109694.23	132652:13:54	234852.60
roger	55584:16:26	2738.57	5322.26	61804:17:7	136394.36
bogolyub	17547:9:20	721.51	1473.14	18066:43:11	43791.60
rogalrn	10933:49:23	34.04	42.15	11371:44:24	27510.80
semakart	9191:37:11	31.55	128.72	10175:4:33	23009.99
shumakov	7289:37:6	8932.89	9776.76	13929:28:4	16361.69
sevdokim	3679:19:23	87.85	606.31	3810:16:37	8684.46
ivanilov	3610:56:20	54.97	271.29	3694:9:29	8801.24
lattice	2638:23:15	9.46	10.93	2761:53:11	6645.22
knovikov	2357:50:56	5057.30	10555.18	2894:37:45	4200.37
tkachleo	1663:11:15	18.52	207.52	1679:13:52	4138.60
kachaev	781:28:50	538.74	967.93	1369:4:36	1165.09
kalugin	729:20:36	18458.50	86992.59	6050:33:47	820.34
dorofeev	610:38:11	237.82	823.72	675:31:0	1197.94
lisinvi	302:3:46	60.39	115.79	391:53:14	526.89
babintse	139:37:5	3.60	7.41	141:50:26	350.93
rykov	115:42:33	0.07	0.45	119:42:4	291.54
zenin_o	103:53:4	609.00	34634.40	6983:27:21	360.01
shirshov	38:56:20	33.91	105.28	41:37:57	56.08
frolov	23:4:38	79.24	81.57	27:9:14	55.24
tryabova	12:27:44	0.07	0.57	23:36:19	31.27
kiryakaa	1:35:26	0.36	2.29	1:39:22	3.36
okhotnikov	0:16:4	0.98	3.11	0:17:51	0.41
sharov	0:1:4	0.02	0.06	0:1:6	0.03
salonfih	0:0:24	0.03	0.15	2:26:25	0.06
kosicin	0:0:3	0.00	0.00	0:0:8	0.00
witek	0:0:0	0.09	0.34	0:25:41	0.01
kozlowsk	0:0:0	0.00	0.00	0:0:9	0.00
31	52171 days 12:5:45	233002.15	2236561.49	56665 days 9:33:16	3027306.73

НИР: Исследование сильных и электромагнитных взаимодействий адронов и релятивистской ядерной физики на ускорительном комплексе У-70

1. Список участников проекта:

№ п/п	ФИО	Должность	Ученая степень
1	Хохлов Ю.А.	внс	кфмн
2	Готман В.Г.	нс	
3	Дорофеев В.А.	нс	
4	Власенко А.П.	мнс	
5	Качаев И.А.	нс	
6	Плеханов А.Н.	нс	
7	Рябчиков Д.И.	снс	кфмн
8	Лисин В.И.	нс	
9	Шумаков А.А.	мнс	

2. Описание результатов работы по проекту за 2023 год

Изучено образование скалярного резонанса вблизи порога системы $\omega\phi$ в реакции перезарядки пиона на ядре.

Публикации со ссылками на использование центрального Linux-кластера ИФВЭ при работе по данному проекту/теме (за текущий год):

№ п / п	Наименование	Авторы	Издание (полная библиографическая информация)	Дата выхода	Краткое описание научных результатов
1	Наблюдение $f_0(1710)$ мезона в системе $\omega\phi$ в пион-	В.Г.Готман, В.А.Дор	Препринт ИФВЭ 2023-6	Апрель 2023	Изучено образование скалярного

Во взаимодействии при импульсе 29 ГэВ	офеев и др.			резонанса вблизи порога системы ω ϕ в реакции перезарядки пиона на ядре.
---------------------------------------	-------------	--	--	--

Общие запрашиваемые ресурсы на кластере для работы в 2024 году:

Тема работ	Ответственный за тему	CPU (число слотов Intel Xeon 2.6GHz)	GPU (число карт Nvidia Tesla M2090)	Data disk (/lustre/ihep.ep.su TB)	Tape (/castor/ihep.su TB)
Моделирование и хранение данных эксперимента ВЕС	В.Г. Готман	Сохранить статус –кво. В случае ввода новых мощностей – увеличить пропорционально		+5 (roger)	
Хранение и реконструкция данных	А.П. Плеханов	Сохранить статус –кво В случае ввода новых мощностей – увеличить пропорционально		+20	+20
		300			

Резервное хранение сырых данных эксперимента ОКА.

1. Список участников проекта:

№ п/п	ФИО	Должность	Ученая степень
1	Филин Алексей Павлович	н.с.	

2. Описание результатов работы по проекту за 2022 год

Успешное портирование последней версии клиентской части CASTOR-v2_1_19_3 под Fedora release 37. Модифицировано 15 заголовочных файлов и файлов с исходными текстами для сборки компилятором gcc (GCC) 12.3.1 20230508 (Red Hat 12.3.1-1). Собранная версия успешно использована для копирования данных на CASTOR.

Сжатый объем сырых данных, набираемых экспериментом ОКА ежегодно

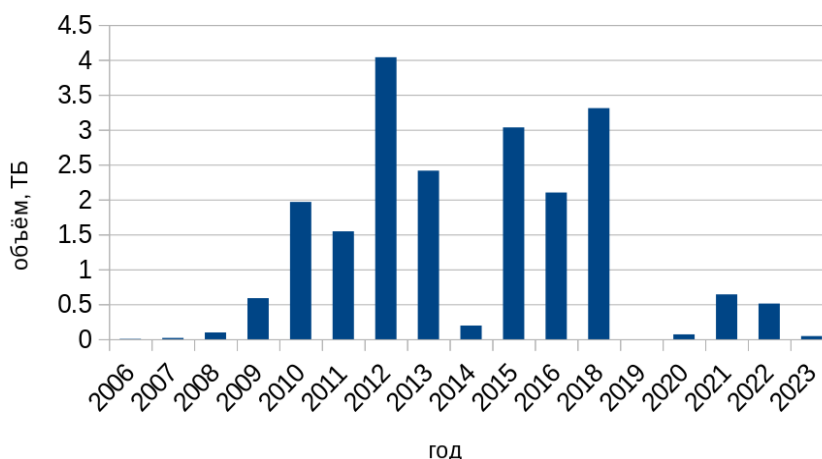


Рис. 1. Сжатый объем сырых данных, набираемых экспериментом ОКА ежегодно.

Общие запрашиваемые ресурсы на кластере для работы в 2024 году:

Тема работ	Ответственный за тему	CPU (число слотов Intel Xeon 2.6GHz)	GPU (число карт)	Data disk (/lustre/ih ep.su TB)	Tape (/castor/ihep.su TB)

			Nvidia Tesla M2090)		
резервное хранение сырых данных эксперимента ОКА	Филин Алексей Павлович				5

Исследование спиновых эффектов в сильном взаимодействии на установке СПАСЧАРМ

1. Список участников проекта:

№ п/п	ФИО	Должность	Ученая степень
1	Абрамов В.В.	внс	Д.ф.-м.н.
2	Калугин Н.К.	мнс	-
3	Минаев Н.Г.	снс	К.ф.-м.н.
4	<u>Моисеев В. В.</u> ¹	нс	-
5	Морозов Д.А.	снс	К.ф.-м.н.
6	Новиков К.Д.	мнс	-
7	Рыков В.Л.	НИЯУ МИФИ	К.ф.-м.н.

2. Описание результатов работы по проекту за 2023 год

Основные направления физических исследований по теме:

- Моделирование, реконструкция и анализ данных эксперимента СПАСЧАРМ
 - o Получен результат по А-зависимости сечения инклюзивного рождения K^0_S -мезонов (статья принята в ЯФ)
 - o Настроены алгоритмы и проводится анализ данных по поляризации гиперонов и выстроенности векторных-мезонов.
 - o Получен предварительный результат по измерению импульса пучка отрицательных частиц на канале 14.
 - o Проводится реалистическое моделирование и реконструкция экспериментальных данных эксперимента, включая создание «файлов суммарных данных».
- Расчеты в рамках модели хромагнитной поляризации кварков.
 - o Расчеты поляризации гиперонов в рамках модели ХПК, результат доложен на конференции, статья принята в ЯФ
 - o Расчеты односпиновой асимметрии в pp-взаимодействиях.

¹ Ответственный пользователь от эксперимента

В 2023 г. проведен анализ зависимости инклюзивного сечения рождения K_S^0 -мезонов на ядрах. Спектры инвариантных масс h^+h^- - пар для всех (π^{-C} , π^{-Al} , π^{-Cu} , π^{-Sn} , π^{-W})-взаимодействий представлены на Рис. 1.

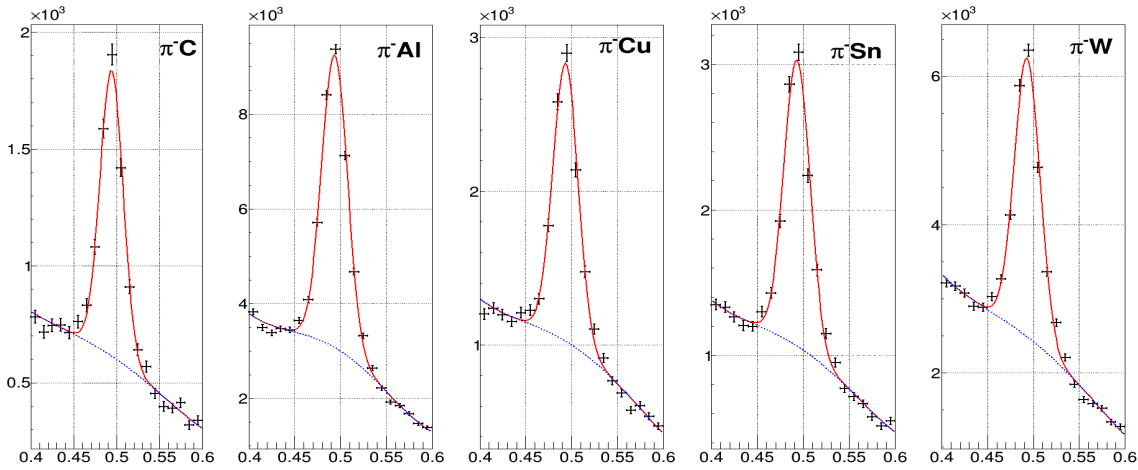


Рис. 1 Спектры инвариантных масс h^+h^- - пар для π^{-C} , π^{-Al} , π^{-Cu} , π^{-Sn} , π^{-W} -взаимодействий. По оси X отложена инвариантная масса [ГэВ/с²], по оси Y – количество h^+h^- - пар / 0.01 ГэВ/с². Сплошная красная кривая - результат аппроксимации спектров суммой функций Гаусса и полинома 4ой степени, пунктирная синяя – результат аппроксимации фоновой функции (полином 4ой степени)

На Рис. 2 представлена интегральная A-зависимость сечений реакций $\pi^{-N} \rightarrow K_S^0 + X$ в интервале $0,2 < x_F \leq 0,8$ и $0,0 < p_T \leq 1,2$ (ГэВ/с). Полученное значение показателя степени $\alpha = 0,77 \pm 0,02$.

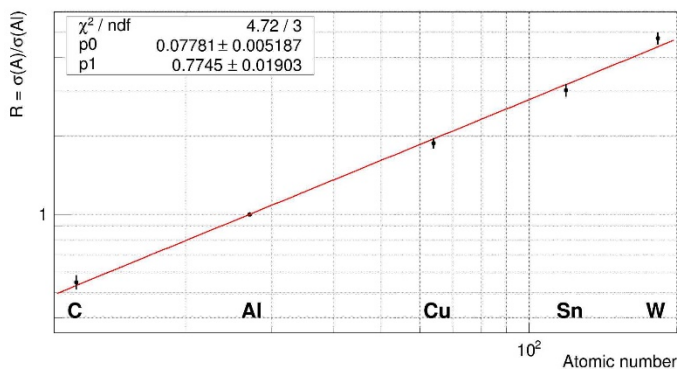


Рис. 2 A-зависимость отношений сечения инклюзивного рождения в реакции $\pi^{-A} \rightarrow K_S^0 + X$

На Рис. 3 показаны массовые распределения ρ^0 – мезона в СЦМ для различных углов распада при $15 < P < 18$ ГэВ/с, показаны фон (черным) и сигнал (синим), суммарное распределение фитируется красным.

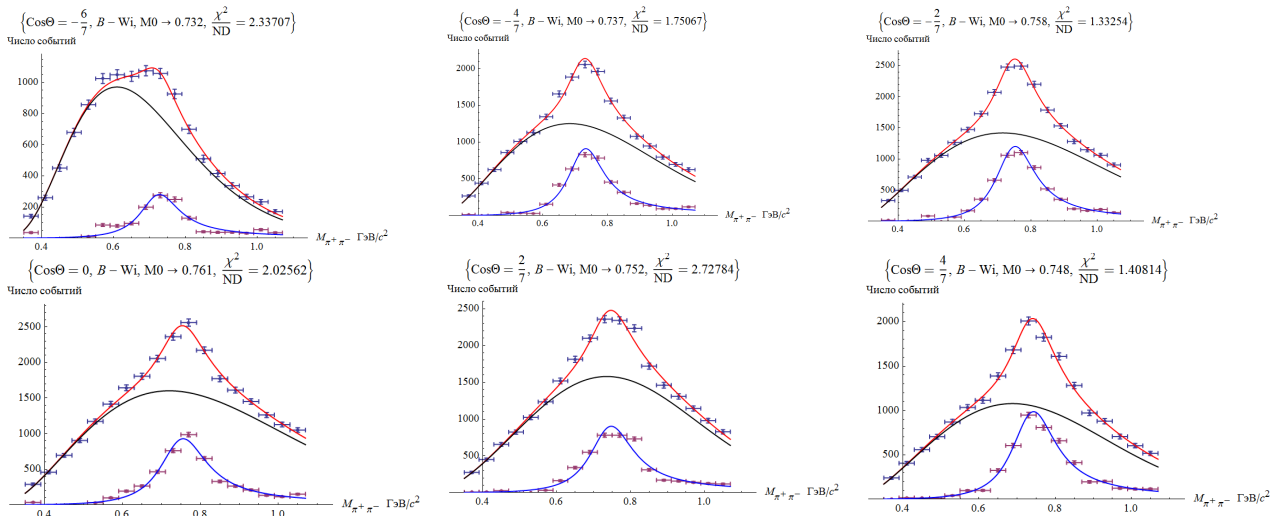


Рис. 3 Массовые распределения в зависимости от углов для импульса $15 < P < 18$ ГэВ/с.

Строятся распределения по $\cos \theta$ (пример приведен на Рис. 4), которые фитируется функцией вероятности: $W(\cos \theta) = 3/4((1-\rho_{00}) + (3\rho_{00}-1)\cos^2\theta)$

Таким образом, первые измерения выстроенности ρ^0 -мезона показало, что параметра ρ_{00} близок к $1/3$, что означает изотропное распределение продуктов распада. В настоящее время проводится исследование возможных систематических неопределенностей.

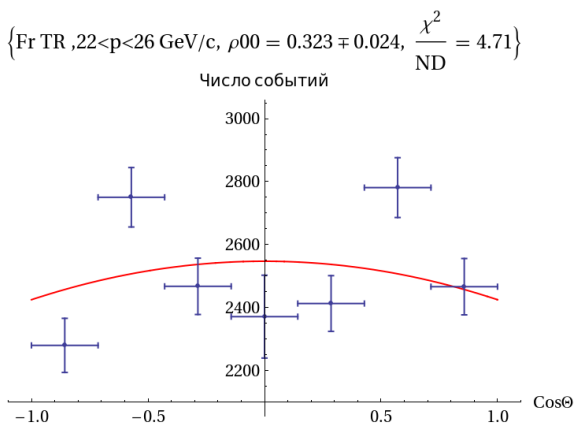


Рис. 4 $\cos\theta$ - распределение π^+ -мезона от распада ρ^0 в системе координат плоскости рождения ρ^0 - мезона. Фит функцией (3)

На Рис. 5 показаны предсказания модели в зависимости от кинематических переменных в области эксперимента СПАСЧАРМ.

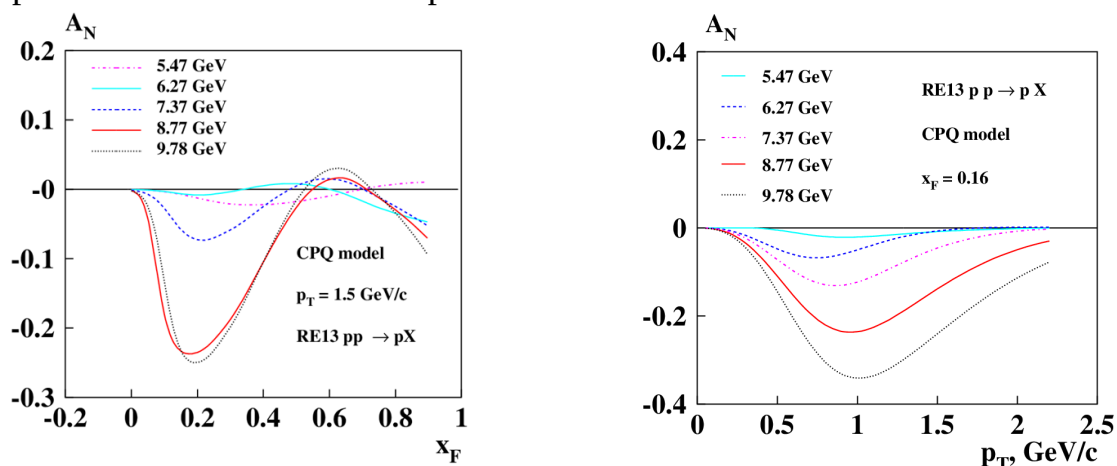


Рис. 5 Расчеты A_N по модели ХПК для реакции $p^+ + p \rightarrow p + X$ от x_F при $p_T = 1.5$ ГэВ/с (слева) и от p_T при $x_F = 0.16$ (справа), значения энергии \sqrt{s} указаны на рисунках

Публикации со ссылками на использование центрального Linux-кластера ИФВЭ при работе по данному проекту/теме (за текущий год):

№ п/п	Наименование	Авторы	Издание (полная библиографическая информация)	Дата выхода	Краткое описание научных результатов
1	Концептуальный проект эксперимента СПАСЧАРМ	В.В. Абрамов и др.	ЭЧАЯ, 2023, том 54, выпуск 1, стр. 6 [Physics of Particles and Nuclei, 2023, V. 54, N 1, p.69 DOI: 10.1134/S1063779623010021]	Январь 2023	Представлен текст проекта Эксперимента, включая моделирование.
2	Экспериментальная установка СПАСЧАРМ для исследования спиновых эффектов в адронных взаимодействиях на Ускорительном	В.В. Абрамов и др.	Препринт ИФВЭ 2023-13, направлен в ПТЭ	Препринт вышел в октябре 2023 г., статья ожидается в 2024 г.	Представлены описание и результаты анализа работы детекторов установки СПАСЧАРМ

комплексе У-70				
----------------	--	--	--	--

Общие запрашиваемые ресурсы на кластере для работы в 2024 году:

Тема работ	Ответственный за тему	CPU (число слотов Intel Xeon 2.6GHz)	GPU (число карт Nvidia Tesla M2090)	Data disk (/lustre/ihep .su TB)	Tape (/castor/ihep. su TB)
Моделирование, реконструкция и анализ данных эксперимента СПАСЧАРМ и в рамках модели ХПК	Моисеев В. В. (Мочалов В.В.)	2000	1	12	

Исследование непертурбативных явлений в КХД в решеточной регуляризации

1. Список участников проекта:

№ п/п	ФИО	Должность	Ученая степень
1	Р.Н.Рогалёв	снс	кфмн
2	В.Г.Борняков	внс	дфмн
3	И.Е.Кудров	нс	кфмн

2. Описание результатов работы по проекту за 2023 год

Свойства горячей (триллионы градусов) и плотной (миллионы тонн на кубический миллиметр) кварк-глюонной материи исследуются уже несколько десятилетий как теоретически: путём построения моделей, совместимых с квантовой хромодинамикой (КХД) и путём компьютерного моделирования КХД, - а также в экспериментах по столкновениям тяжёлых ионов. Мы изучаем поведение термодинамических величин — давления и плотности — от температуры и барионного химпотенциала, а также тесно связанные с этими величинами большую каноническую статсумму КХД и распределение кусочков сильно взаимодействующей материи (например, фибрилов, образующихся в соударениях тяжёлых ядер) по барионному числу и анализируем различные методы, необходимые для таких исследований. Другое направление наших исследований — анализ различных вкладов в потенциал взаимодействия между тяжёлыми статическими кварками.

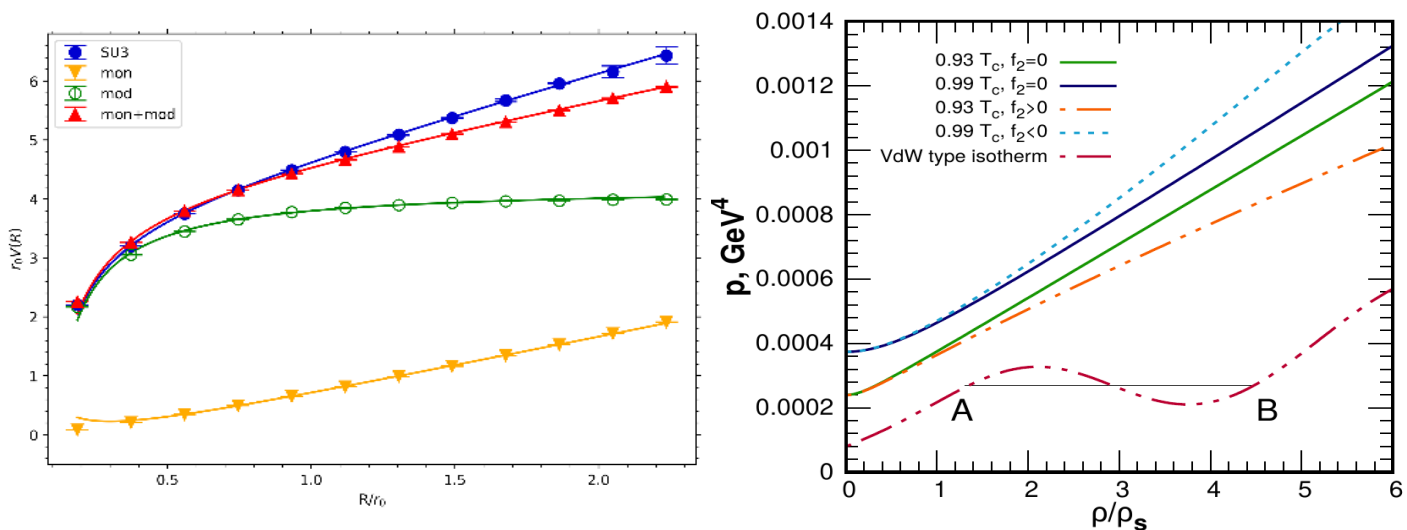


Рис. 1.

Слева: сравнение неабелевого потенциала $V(R)$ (заполненные кружки) с суммой $V_{mon}(R)+V_{mod}(R)$ (заполненные треугольники). $V_{mod}(R)$ (пустые кружки) и $V_{mon}(R)$

(заполненные перевернутые треугольники) также изображены. Сплошные кривые показывают подгонку к корнелльскому потенциалу $V_0 + \alpha/R + \sigma R$.

Справа: изотермы сильно взаимодействующей материи в плоскости «плотность-давление»: изотермы для околокритических температур получены путём решёточного моделирования, с учётом экстраполяции аналогичных результатов для высоких температур. Нижняя кривая показывает изотерму Ван-дер-Ваальсовского типа, отвечающую фазовому переходу со скачком барионной плотности при больших барионных плотностях (поиски которого ведутся разными коллаборациями).

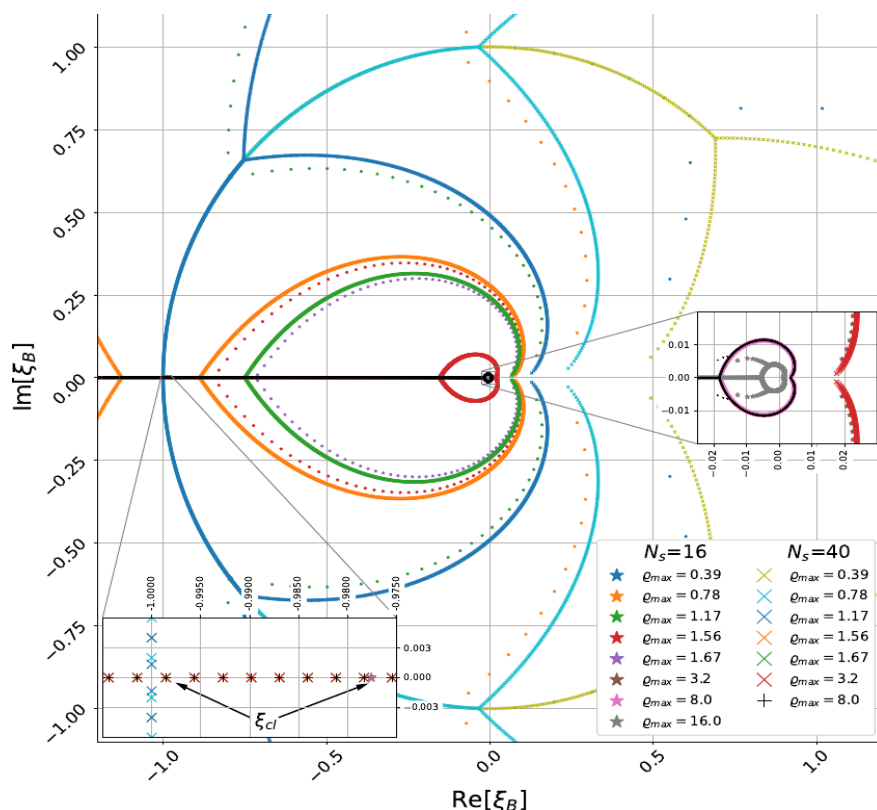


Рис.2. Положение нулей Ли-Янга статсуммы КХД при температурах выше температуры Роберге-Вайсса.

Показано, что при улучшении аппроксимации большой канонической статсуммы полиномом, нули Ли-Янга выстраиваются вдоль отрицательной вещественной полуоси, что соответствует фазовому переходу Роберге-Вайсса первого рода в плоскости «мнимый барионный химпотенциал — температура», а плотность нулей Ли-Янга, равная скачку барионной плотности на линии фазового перехода, отлична от нуля (вкладка снизу). На вкладке справа показано, что степень близости нулей к физической области нуждается в дополнительном исследовании.

Публикации со ссылками на использование центрального Linux-кластера ИФВЭ при работе по данному проекту/теме (за текущий год):

№ п/п	Наименование	Авторы	Издание (полная библиографическая информация)	Дата выхода	Краткое о
1	«Численное исследование перехода Роберге-Вайсса»	В.Г.Борняков, . Н.В.Герасименюк, В.А.Гой, А.А.Корнеев, А.В.Молочков, А.Накамура, Р.Н.Роголёв	Phys.Rev. D107 (2023), 014508; e-print arXiv:2203.06159	13.01.2023	На основе оценки б химпотенциале в ра в решёточной регул асимптотических ф статсумм показано, при высоких темпер отрицательной веще фугитивности, что с плоскости «мнимый температура», пред
2	«Разложение статического потенциала в SU(3) глюодинамике»	В.Г.Борняков, И.Е.Кудров	JETP Lett., том 117, номер 5, (2023) стр. 328-331. DOI:10.1134/S0021364023600209	01.03.2023	Вычислены вклады компонент калибров взаимодействия ста глюодинамике. Мод получается в резуль неабелева калибров имеющих в его аб В отличие от моноп плохо, а в SU(3) тео
3	«Нули Ли-Янга в плоскости барионной фугитивности: роль больших плотностей»	В.Г.Борняков, Н.В.Герасименюк, В.А.Гой, А.А.Корнеев, А.В.Молочков, А.Накамура, Р.Н.Роголёв	Particles, том 6, №3 (2023) стр.834-846; DOI:10.3390/particles6030053	07.09.2023	Показано, что асимп методом перевала д канонических статс отличие от алгебраи численных оценок. асимптотического р перевала улучшает канонической статс лидирующего члена
4.	«Оценка распределений по барионному числу на основе решёточного моделирования »	Р.Н.Роголёв, В.А.Гой	<i>Particles</i> , том 6, №3, (2023) стр.771-783 DOI:10.3390/particles6030049	23.08.2023	При $T > T_{RW}$, асимпт статсумм при $n \rightarrow \infty$ $\epsilon > 0$ и убывает с пад при $T \rightarrow \infty$ и $\epsilon \rightarrow 0$ при $T \rightarrow T_{RW}$. Ха $Z_c(n)$ при $n \rightarrow \infty$ для недоисследованным

					падением температуры при $T \sim T_C$, в соответствии с успешной моделью
5	«Переход Роберге-Вайсса в подходе Ли-Янга»	В.Г.Борняков, Н.В.Герасименюк, В.А.Гой, А.А.Корнеев, А.В.Молочков, А.Накамура, Р.Н.Роголёв	PHYSICS OF PARTICLES AND NUCLEI LETTERS, том 20, №3 (2023) стр.438-442 DOI:10.1134/S1547477123030573	22.06.2023	Установлено, что, при $T > T_{RW}$, нули Ли–Янга в вещественной плоскости соответствуют скачку Роберге–Вайсса.

Общие запрашиваемые ресурсы на кластере для работы в 2024 году:

Тема работ	Ответственный за тему	CPU (число слотов Intel Xeon 2.6GHz)	GPU (число карт Nvidia Tesla M2090)	Data disk (/lustre/ihep.su TB)	Tape (/castor/ihep.su TB)
«Исследование непертурбативных явлений в КХД в решеточной регуляризации»	Р.Н.Роголёв	100	1	20	10