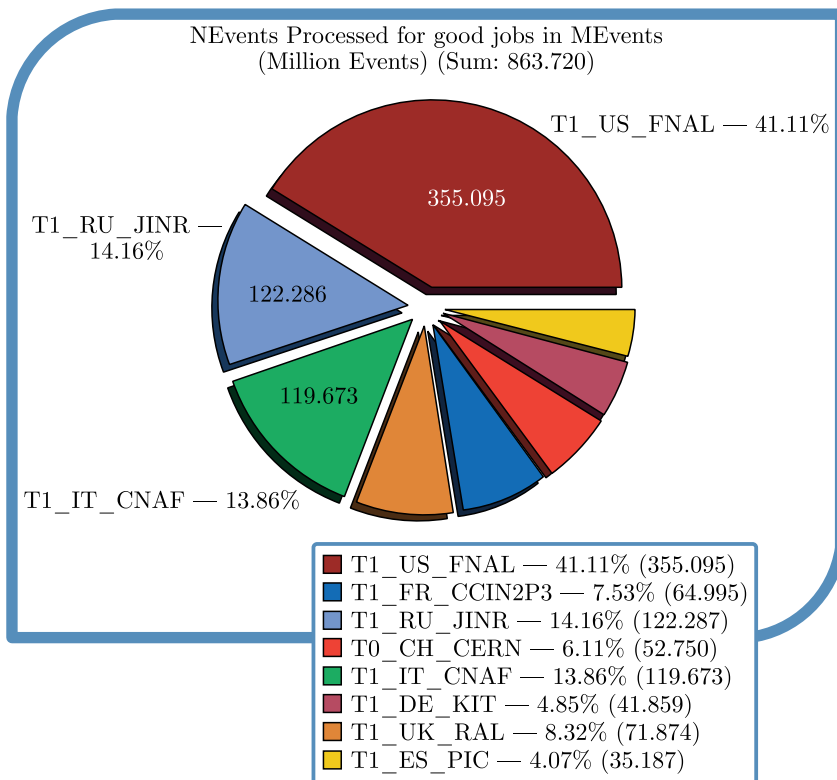


ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

В 2015 г. введен в эксплуатацию центр уровня Tier-1 для эксперимента CMS на Большом адронном коллайдере (ЛHC, ЦЕРН). С 2017 г. сайт Tier-1 ОИЯИ — одного из центров хранения и обработки данных эксперимента CMS на ЛHC — занимает второе место в мире; на нем обработано более 120 млн событий, что превосходит 14% от общего числа. Этот грид-компонент Многофункционального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ рассматривается как прототип центра обработки и хранения данных мегапроекта NICA. Создание центра уровня Tier-1 в ОИЯИ открыло новую перспективу исследований в области аналитики больших данных.



Вклад мировых центров уровня Tier-1 в обработку экспериментальных данных CMS
(в миллионах обработанных событий) за 2017 г.

- *Astakhov N. S. et al.* // JINR GRID TIER-1@TIER-2, CEUR Workshop Proc. (CEUR-WS.org). Proc. of the XXVI Intern. Symp. on Nuclear Electronics & Computing (NEC'2017), 2017.

В 2018 г. введен в эксплуатацию суперкомпьютер «Говорун» — гетерогенная вычислительная платформа, содержащая как CPU вычислительные компоненты, так и ускорители вычислений GPU NVIDIA V100 (DGX) для ресурсоемких, массивно-параллельных расчетов. Данный суперкомпьютер занимает 17-е место в мировом списке IO500 (июль 2020 г.) и является первым по скорости обработки данных среди российских суперкомпьютеров. Суперкомпьютер «Говорун» представляет собой инновационную гиперконвергентную программно-определяемую систему, обладающую уникальными свойствами по гибкости настройки под задачу пользователя, обеспечивающую максимально эффективное использование вычислительных ресурсов. Это свойство позволяет создавать высокоскоростную систему хранения и обработки данных со скоростью порядка 300 Гб/с на чтение/запись, что является чрезвычайно эффективным инструментом для обработки больших массивов данных. Результаты, полученные с использованием ресурсов суперкомпьютера «Говорун» в период с июля 2018 г. по сентябрь 2020 г., представлены в более чем 80 публикациях.



Суперкомпьютер «Говорун»

- Суперкомпьютер «Говорун»: http://hlit.jinr.ru/about_govorun/.
- *Kircher M., Trinter F., Grundmann S., Vela-Perez I., Brennecke S., Eicke N., Rist J., Eckart S., Houamer S., Chuluunbaatar O., Popov Yu. et al.* // Nature Phys. 2020. V. 16. P. 756–760.

Создана имитационная модель системы хранения и обработки данных ускорительного комплекса NICA (ОИЯИ). В качестве платформы для модели выбрана система GridSim. Созданная система моделирования позволяет проводить разнообразные эксперименты с исследуемым объектом, не прибегая к их физической реализации.

- *Кореньков В. В., Нечаевский А. В., Трофимов В. В.* // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. № 4. С. 37–44.

Предложен подход к созданию облачных автономных грид-инфраструктур, предназначенных для решения различных задач в области облачных и грид-технологий, а также описана реализация такого комплекса и опыт его использования. На основе разработанного подхода создан специализированный облачный программно-аппаратный комплекс в составе ЦИВК ОИЯИ.

- *Кутровский Н. А.* // Информатизация образования и науки. 2013. № 4(20). С. 15–29.

На основе смоделированных событий, генерированных с помощью пакета GEANT3 в среде СВМ-ROOT, выполнена оценка эффективности и производительности алгоритма распознавания траекторий заряженных частиц на многоядерном сервере ОИЯИ. Алгоритм продемонстрировал высокую эффективность реконструкции треков (96–97 %) при низком уровне некорректно найденных треков (2–4 %). Достигнута высокая скорость обработки событий на одном ядре, равная в среднем 220 мс на одно центральное событие и 25 мс на одно смешанное событие. Показано, что с увеличением числа включаемых в обработку ядер практически линейно растет количество обработанных событий.

- *Кулаков И. С. и др.* // Письма в ЭЧАЯ. 2013. Т. 10, № 2(179). С. 253–267.

Исследована возможность регистрации распадов $J/\psi \rightarrow e^+e^-$, рождающихся в AuAu-соударениях при энергии пучка 25 ГэВ/нуклон на установке СВМ (GSI, Германия). Для выделения сигнальных событий в условиях доминирующего фона разработаны специальные критерии отбора и подобрана оптимальная толщина мишени. Предложена эффективная методика по определению критических границ для указанных критериев отбора. Показано, что используемые критерии позволяют надежно и с высокой скоростью осуществить набор приемлемой статистики распадов $J/\psi \rightarrow e^+e^-$.

- *Дереновская О. Ю., Васильев Ю. О.* // Письма в ЭЧАЯ. 2013. Т. 10, № 5(182). С. 694–705.

Разработана новая система моделирования грид- и облачных сервисов, ориентированная на повышение эффективности разработки системы хранения и обработки данных ускорительного комплекса NICA. В системе реализован подход учета качества работы уже функционирующей системы при проектировании ее дальнейшего развития за счет объединения самой программы

моделирования с системой мониторинга реального (или модельного) грид-облачного сервиса через специальную базу данных. Приведен пример применения программы для моделирования достаточно общей облачной структуры, которая может быть использована и вне рамок физического эксперимента.

- *Кореньков В. В. и др.* // Компьютерные исследования и моделирование. 2014. Т. 6, № 5.

Проведен сравнительный анализ пакетов моделирования облачных инфраструктур: CloudSim, iCanCloud, CReST. Эти программные пакеты позволяют создавать модели облачных систем с определенной функциональностью и конфигурацией. Готовая модель запускается на симуляцию, в результате чего системы моделирования предоставляют статистическую информацию по наиболее важным характеристикам: время выполнения задач, жизненный цикл виртуальных машин, использование ресурсов. Анализируя эту информацию, разработчик может выявить узкие места в модели и предусмотреть пути решения проблем, проверив результат следующей итерацией симуляции.

- *Кореньков В. В., Муравьев А. Н., Нечаевский А. В.* // Системный анализ в науке и образовании. 2014. Вып. № 2.

Разработаны подходы для обеспечения интеграции контента и интероперабельности информационных систем, сопровождающих научные исследования в ОИЯИ, а именно: сервера научных документов JINR Document Server (JDS), информационно-аналитической системы «Персональная информация о сотрудниках ОИЯИ» (Personal INformation (PIN)) и системы управления научными мероприятиями Indico. Конечной целью данной разработки является комплексная автоматизация научно-исследовательской деятельности ОИЯИ на основе интернет-технологий.

- *Заикина Т. Н. и др.* // Тр. XVI Всерос. конф. RCDL-2014. Дубна, 2014. С. 349.

Разработана программа ROTNEA на языке Фортран 77 для расчета с заданной точностью собственных значений, поверхностных собственных функций и их первых производных по параметру параметрического самосопряженного двухмерного эллиптического дифференциального уравнения с условиями Дирихле и/или Неймана в конечной двумерной области. Программа вычисляет также потенциальные матричные элементы — интегралы от произведения поверхностных функций и/или первых производных от поверхностных функций по параметру. Собственные значения, зависящие от параметра и матричных элементов, вычисленные программой ROTNEA, могут быть использованы для решения с помощью программы KANTBP задач на связанные состояния и многоканальных задач рассеяния для систем связанных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка.

- *Gusev A. A. et al.* // Comp. Phys. Commun. 2014. V. 185. P. 2636–2654.

Проведено численное исследование комплексов локализованных структур в двух динамических системах, каждая из которых имеет множество физических приложений. Первая система описывается нелинейным уравнением Шредингера с внешней накачкой и диссипаций (NLS). Вторая — уравнением двойного синус-Гордона (2SG). Численный анализ в обоих случаях основан на продолжении соответствующих стационарных решений по параметрам и численном решении линеаризованной задачи на собственные значения для анализа устойчивости и бифуркаций. Мультисолитонные комплексы NLS исследуются для случая слабой и нулевой диссипации. Для первой системы продемонстрировано существование устойчивых и неустойчивых мультисолитонных структур в случае малой диссипации. Численные результаты, полученные на основе вышеизложенного подхода, подтверждаются прямым численным решением исходного уравнения в частных производных. Для второй системы свойства мультифлюксонных решений 2SG исследованы в зависимости от параметра второй гармоники. Показано, что учет второй гармоники приводит к изменению свойств известных решений и появлению новых сосуществующих флюксонных состояний.

- Земляная Е. В., Алексеева Н. В., Атанасова П. Х. // Вестн. РУДН. Сер.: Математика. Информатика. Физика. 2014. № 2. С. 363.

Показано, что соотношение унитарной $U(d)$ -эквивалентности между элементами пространства \mathbb{R}_+ смешанных состояний d -мерной квантовой системы определяет пространство орбит $\mathbb{R}_+/U(d)$ и обеспечивает его описание в терминах кольца $\mathbb{R}[\mathbb{R}_+]^{U(d)}$ $U(d)$ -инвариантных многочленов. Доказано, что полуалгебраическая структура пространства $\mathbb{R}_+/U(d)$ полностью определяется двумя основными свойствами матриц плотности: их положительной полуопределенностью и эрмитовостью. В частности, показано, что неравенства Процессии–Шварца для элементов базиса кольца инвариантов для $\mathbb{R}[\mathbb{R}_+]^{U(d)}$, определяющие пространство орбит, выполняются тождественно для всех элементов \mathbb{R}_+ .

- Гердт В. П., Хведелидзе А. М., Палий Ю. Г. // Зап. науч. семинаров ПОМИ. 2014. Т. 421. С. 68.

Предложен метод приближенного вычисления матричнозначных функциональных интегралов, порожденных решением уравнения Дирака. Эти интегралы определяются на одномерных непрерывных путях $x: |s, t| \rightarrow \mathbb{R}$ и принимают значения в пространстве комплексных $d \times d$ матриц. Матричнозначные интегралы широко используются в релятивистской квантовой механике для изучения частиц в электромагнитном поле. А именно, интегралы применяются для того, чтобы представить фундаментальное решение задачи Коши для уравнения Дирака. Предложенный метод основан на разложении функционала в ряд. Члены ряда имеют вид произведения линейных функционалов с возрастающей суммарной степенью. Развитый метод применим в случае малых и больших параметров, входящих в интеграл.

- Айрян Э. А., Малютин В. Б. // Вестн. РУДН. Сер.: Математика. Информатика. Физика. 2014. № 1. С. 43.

Программа для вычислений геометрических характеристик ядро-ядерных взаимодействий, широко применяемая на RHIC и LHC, адаптирована для экспериментов NICA/MPD и CBM. Для задания профиль-функции нуклон-нуклонных соударений используется параметризация, ранее предложенная авторами. Для определения ядерных параметров используется подход, широко известный в физике низких и промежуточных энергий. Программа расширена возможностью учета грибовского неупругого экранирования.

- Галоян А. С., Ужинский В. В. // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1. С. 231–236.

Модель микроскопического оптического потенциала (ОП) применена для анализа упругого рассеяния $^{10,11}\text{Be}$ протонами и ядрами и анализа сечений неупругого рассеяния π -мезонов ядрами ^{28}Si , ^{58}Ni , ^{208}Pb при энергии 291 МэВ. Распределения плотности ядер $^{10,11}\text{Be}$, полученные в модели генераторных координат и квантовым методом Монте-Карло, использованы для расчета ОП и затем дифференциальных сечений упругого рассеяния этих ядер на протонах и ядрах ^{12}C . Для анализа сечений неупругого рассеяния π -мезонов использовались параметры πN -амплитуды в ядерной среде, полученные ранее из анализа данных упругого рассеяния на тех же ядрах. Определены параметры глубины реальной и мнимой частей ОП с учетом известной зависимости объемных интегралов ОП от энергии. Полученные потенциалы можно использовать в дальнейших расчетах сечений реакций с участием этих ядер.

- Zemlyanaya E. V., Spasova K., Lukyanov K. V., Antonov A. N., Gaidarov M. K. // Phys. Rev. C. 2015. V. 91. P. 034606;
- Lukyanov V. K., Zemlyanaya E. V., Lukyanov K. V., Ellithi A. Y., Abdul-Magead I. A. M. // Intern. J. Mod. Phys. E. 2015. V. 24, No. 4. P. 1550035;
- Лукьянов В. К., Земляная Е. В., Лукьянов К. В. // ЯФ. 2015. Т. 78, № 1. С. 147–155.

Предложен алгоритм реконструкции треков заряженных частиц на основе фильтра Калмана. Данный алгоритм применяется для решения одной из ключевых задач эксперимента CBM (GSI, Германия) — распознавания траекторий заряженных частиц и определения их параметров. В связи с тем, что в эксперименте CBM планируется полная реконструкция сигнальных событий в реальном времени эксперимента, разрабатываемые алгоритмы должны быть быстрыми, максимально использующими возможности современных многоядерных процессоров и GPU-архитектур. Расчеты проведены на высокопроизводительном сервере с двумя процессорами Intel Xeon X5660 и видеокартой Nvidia GTX GPU 480.

- Аблязимов Т. О. и др. // Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 4. С. 828.
- Ablyazimov T. O., Zyzak M. V., Ivanov V. V., Kisel P. I. // Part. Nucl., Lett. 2015. V. 12, No. 3. P. 423–427.

С помощью промежуточного программного обеспечения Interware DIRAC (Distributed Infrastructure with Remote Agent Control) были объединены вычислительные ресурсы Tier1/Tier2 ОИЯИ, суперкомпьютера «Говорун»,

облачных сред ОИЯИ и организаций его стран-участниц, кластера NICA, кластера Национального автономного университета Мексики (UNAM) и ресурсы хранения: dCache, EOS и сверхбыстрая система хранения данных Lustre. С использованием этой распределенной инфраструктуры выполняется программа Монте-Карло моделирования данных экспериментов мега-сайенс-проекта NICA.

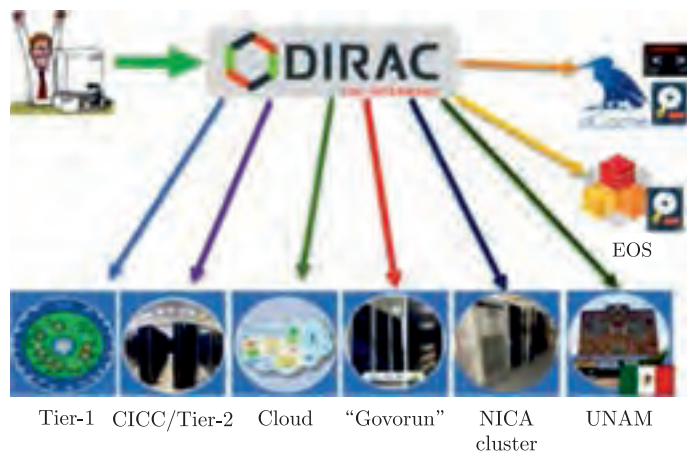


Схема интеграции географически-распределенных гетерогенных ресурсов на основе DIRAC Interware

- *Kutovskiy N. et al.* Integration of Distributed Heterogeneous Computing Resources for the MPD Experiment with DIRAC Interware // Phys. Part. Nucl. (in press).