

## Лаборатория Релятивистской Ядерной Физики

М.Б. Жалов, В.М. Самсонов, А.В. Ханзадеев

Исторически датой рождения Лаборатории Релятивистской Ядерной Физики (ЛРЯФ) можно считать 1986 год, когда по инициативе директора Отделения Физики Высоких Энергий профессора А.А. Воробьева был организован Отдел Детекторов Излучений (ОДИ) под началом доктора физ.-мат. наук В.М. Самсонова. Вновь созданный отдел предназначался для проектирования и создания детекторных систем любого типа для крупномасштабных международных экспериментов. В состав ОДИ вошли: группа физиков, в основном из секторов А.А. Воробьева и О.И. Сумбаева, группа пропорциональных камер, группа сцинтилляционной техники, группа гибридной микроэлектроники, группа полупроводниковых детекторов. Одними из значимых результатов начальной деятельности ОДИ явились проектирование и создание мюонного форвардного трекера и исследования тяжелых сцинтилляторов (вольфраматов, VGO) для центрального электромагнитного калориметра установки L3 на электрон-позитронном коллайдере в ЦЕРН. По этим работам были впоследствии защищены три кандидатские диссертации (А.Г. Крившич, В.В. Яновский, 1991 г., В.В. Курятков, 2006 г.) Важным этапом этого периода явилось участие в международном эксперименте E761, выполнявшегося на гиперонном канале Лаборатории им. Э. Ферми (США). В рамках этого проекта сотрудниками отдела был предложен, подготовлен и реализован эксперимент по обнаружению эффекта прецессии спина  $\Sigma^+$ -гиперона при его прохождении в режиме каналирования в изогнутом кристалле из кремния. Экспериментально наблюдаемый эффект является основой метода прямого измерения магнитных моментов короткоживущих частиц, таких как очарованные и прелестные барионы. Опыт, приобретенный в эксперименте E761, позволил сформулировать предложение и осуществить эксперимент по выводу пучка положительно заряженных частиц с энергией 1 ТэВ с помощью изогнутого кристалла кремния (эксперимент E853). Впервые в мировой практике вывод пучка был осуществлен из сверхпроводящего ускорителя при продолжении набора статистики в коллайдерных установках D0 и CDF. По итогам этих работ В.М. Самсонову была присуждена Государственная премия РФ (1996 г.), были защищены докторская (А.В. Ханзадеев, 1999 г.) и кандидатская (В.В. Баублис, 1997 г.) диссертации.

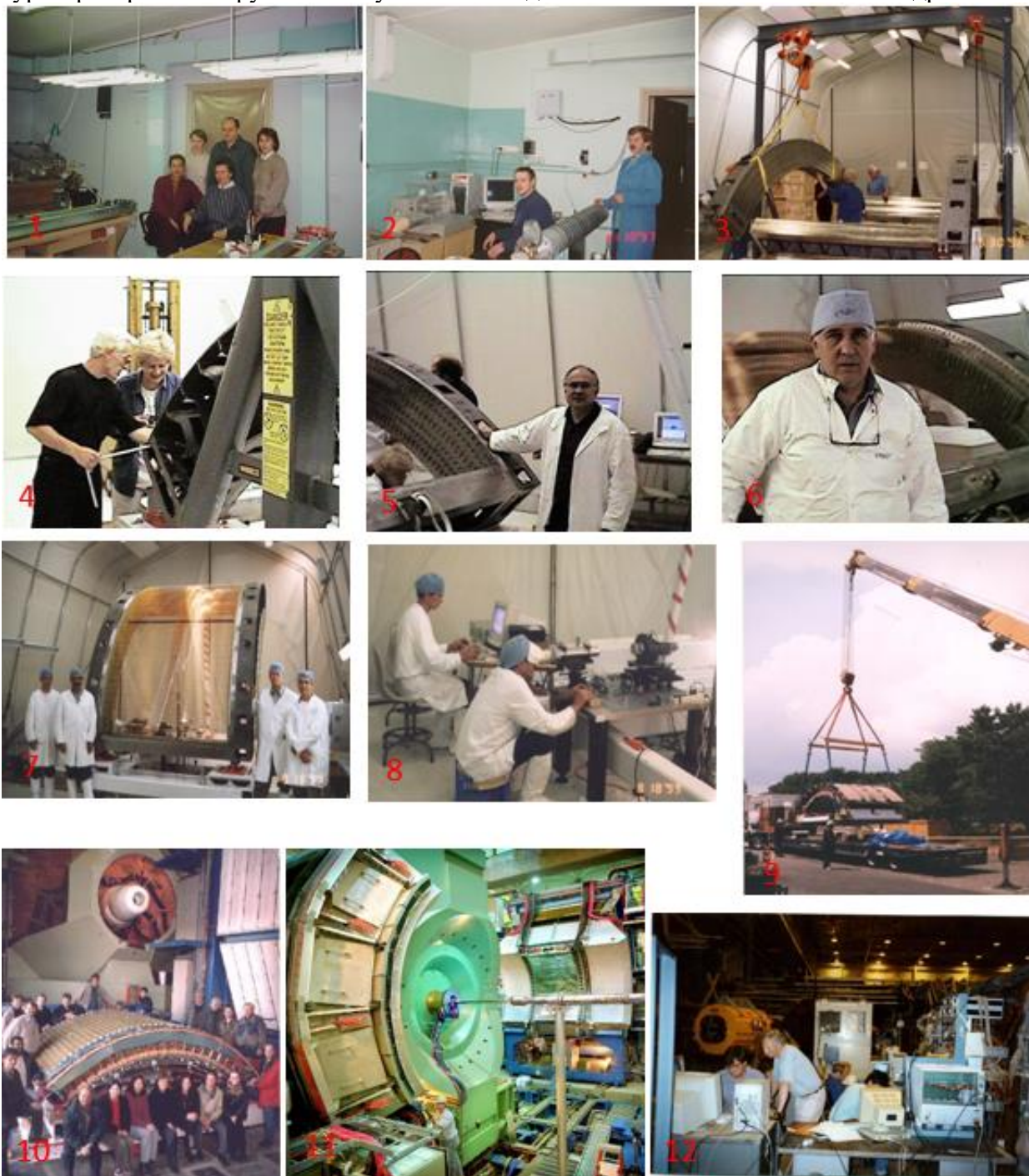
Эксперимент E853 выполнялся коллективом уже не отдела, а Лаборатории детекторов излучений (ЛДИ). В силу различных причин в 1992 году ОДИ был разделен на четыре структурных подразделения, одно из которых, в основном состоящее из группы физиков, превратилось в лабораторию (ЛДИ), руководимую В.М. Самсоновым.

Важнейший этап в истории лаборатории произошел в начале 90-х годов, когда директор ОФВЭ А.А. Воробьев предложил принять участие в международном эксперименте RHENIX по исследованию взаимодействия тяжелых ядер при энергиях вплоть до  $\sqrt{s} = 200$  А ГэВ на новом коллайдере RHIC в Брукхейвенской Национальной Лаборатории (США). Собственно, с участия в эксперименте RHENIX научная деятельность ЛДИ приобрела четкую направленность и в 2003 году ЛДИ была переименована в Лабораторию Релятивистской Ядерной Физики (ЛРЯФ).

Вклад ЛРЯФ в создание экспериментальной установки RHENIX трудно переоценить. Коллективом лаборатории были спроектированы и созданы уникальные дрейфовые камеры, являющиеся основным центральным трекером эксперимента RHENIX.

Достаточно сказать, что не менее 90% всех физических результатов эксперимента RHENIX были получены с привлечением информации от центральной трековой системы. Дрейфовые камеры исключительно успешно проработали в течение всех циклов экспериментальных измерений, начиная с 2000 года и вплоть до 2016 года, когда эксперимент RHENIX завершил работу на пучках коллайдера. В анализе данных,

накопленных в сеансах на ускорителе RHIC, сотрудники ЛРЯФ до сих пор занимают свою тематическую «нишу», реализуя программу изучения адронных мод распада легких мезонов, рожденных в столкновении ядер. На протяжении ряда лет В.Г. Рябов являлся куратором рабочей группы по изучению выходов и потоков легких и тяжелых адронов.



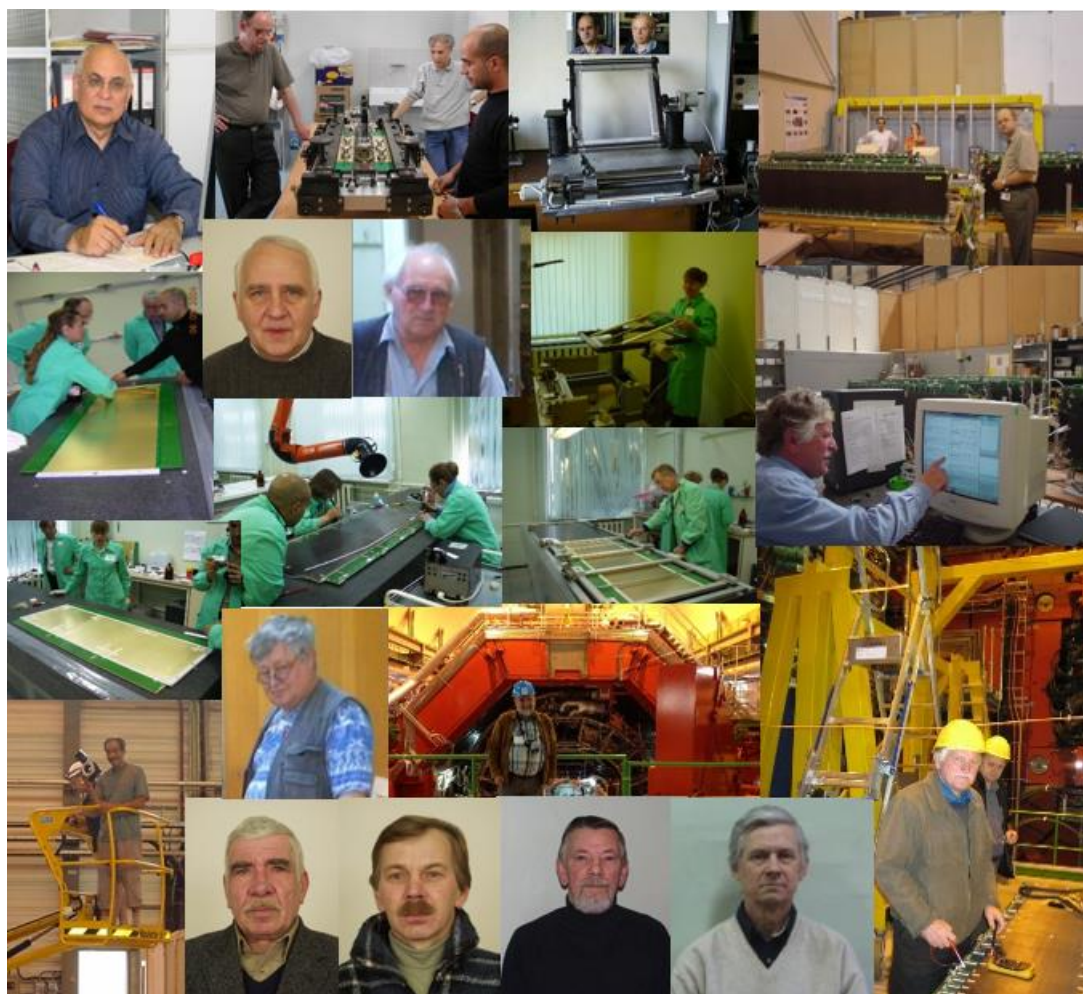
#### Реализация проекта PHENIX

- 1, 2 – участок производства сеток дрейфовых камер;  
 3, 4, 5, 6, 7, 8 – сборка дрейфовых камер и метрологические измерения в университете Стони Брук;  
 9, 10 – транспортировка в БНЛ;  
 11 – одна из камер в составе установки PHENIX в зоне столкновения пучков;  
 12 – смены на ускорителе

Главным фундаментальным результатом эксперимента PHENIX стало открытие нового состояния ядерной материи (2005 год). Большая совокупность данных позволила убедительно продемонстрировать, что при достаточно высоких температурах порядка 200 МэВ, создаваемых в центральных столкновениях ядер на коллайдере RHIC, в пространственной области, существенно превышающей размеры тяжелого ядра, в зоне взаимодействия ядер формируется кварк-глюонная среда, обладающая свойствами почти идеальной сильновзаимодействующей жидкости. По итогам работы в эксперименте ФЕНИКС сотрудниками лаборатории защищена одна докторская диссертация (В.Г. Рябов, 2008 г.) и четыре кандидатских (В.Г. Рябов, 2001 г., Ю.Г. Рябов, 2007 г., Д.О. Котов, 2010 г., Д.А. Иванищев, 2011 г.)

С самого начала эпохи Большого Адронного Коллайдера (LHC) в ЦЕРН (1997 год) лаборатория стала участником коллаборации ALICE, нацеленной на исследования взаимодействия ядер при энергиях вплоть до  $\sqrt{s} = 5,5$  А ТэВ с основным акцентом на детальное изучение свойств высокотемпературной кварк-глюонной плазмы.

Сотрудники Лаборатории (В.М. Самсонов, А.В. Ханзадеев, В.Н. Никулин, Б.Г. Комков, Е.В. Рощин, О.П. Тарасенкова, В.В. Иванов, Н.М. Мифтахов, Г.В. Рыбаков) приняли участие в разработке и создании трековой системы мюонного спектрометра установки ALICE. Именно в ПИЯФ была предложена и реализована принципиально новая концепция трековых камер. Для этого в лаборатории был создан экспериментальный участок и освоена технология производства камер, разработаны уникальное оборудование и ряд специальных испытательных стендов.



Участники производства, тестирования и установки трековых камер в мюонный спектрометр эксперимента ALICE

Наряду с участием в экспериментальных сеансах, обеспечением надежной работы мюонного спектрометра и разработкой триггерных систем (Е.Л. Крышень) сотрудники Лаборатории активно вовлечены в анализ данных эксперимента ALICE по нескольким направлениям. Опыт и методики анализа экспериментальных данных, наработанные в эксперименте PHENIX, были успешно адаптированы и применены (В.Г. Рябов, Ю.Г. Рябов, М.В. Малаев) для изучения свойств легких адронов в различных сталкивающихся системах при энергиях коллайдера LHC. Анализ всей совокупности экспериментальных данных, полученных в эксперименте ALICE к настоящему времени, убедительно демонстрирует, что в столкновениях ультрарелятивистских тяжелых ионов действительно формируется очень плотная сильновзаимодействующая кварк-глюонная материя. Более того, оказалось, что в ультрарелятивистских протон-протонных столкновениях с большой множественностью рождаемых частиц также возможно образование капель кварк-глюонной плазмы. По результатам анализа данных, полученных в эксперименте ALICE, на сегодняшний день защищена 1 кандидатская диссертация (М.В. Малаев, 2016 г.)

Параллельно в Лаборатории активно развивается программа теоретических исследований (М.Б. Жалов, В.А. Гузей) процессов фоторождения векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях протонов и ядер, жестких процессов в Квантовой Хромодинамике, эффектов ядерных экранировок партонных распределений. В рамках этой программы обеспечивается теоретическая поддержка экспериментов на коллайдерах. Объединение усилий теоретиков и экспериментаторов (Е.Л. Крышень) позволило занять лидирующие позиции в исследованиях ультрапериферических столкновений протонов и тяжелых ядер на LHC.

Естественным продолжением научной программы по изучению свойств материи, создаваемой в экстремальных условиях взаимодействия ядер, явилось участие лаборатории с 2003 года в эксперименте CBM, принятом к постановке на строящемся в GSI (Дармштадт, Германия) ускорительном комплексе FAIR, а с 2018 года в запланированном эксперименте MPD на строящемся в ОИЯИ (Дубна) коллайдере NICA. Оба эти эксперимента, в отличие от PHENIX и ALICE, нацелены на изучение состояния ядерного вещества при сравнительно низких температурах, но высоких значениях барионной плотности, то есть, как предполагается, в условиях более близких к состоянию ядерной материи во внутренней области нейтронных звезд. Программа исследований включает поиск критических точек, сигнализирующих о фазовых переходах, изучение уравнения состояния ядерной материи при высоких барионных плотностях. Уместно отметить, что по результатам теоретического исследования уравнения состояния ядерного вещества при больших барионных плотностях в рамках релятивистских ядерных моделей сотрудник ЛРЯФ Е.Л. Крышень в 2012 году защитил кандидатскую диссертацию.

Один из основных пунктов физической программы CBM – изучение лептонных мод распада легких векторных мезонов и очарованных частиц, производимых при взаимодействии ядер. Для реализации этого пункта с участием ЛРЯФ создаются две подсистемы CBM: мюонный детектор MUCH, состоящий из распределенного адронного поглотителя, между слоями которого расположены трековые станции, и черенковский детектор кольцевого действия RICH. В 2013 году с участием ЛРЯФ были подготовлены и защищены Технические проекты (TDR) обеих подсистем.

Сотрудниками ЛРЯФ в составе коллабораций PHENIX, ALICE и CBM опубликовано более 400 статей с суммарным индексом цитирования более 50000 в ведущих журналах с импакт-фактором, как правило, на уровне 4 и выше (Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. C, Physics Letters B, JHEP, Eur. Journal of Physics и др.).

На протяжении всех лет существования лаборатории активно реализуется плодотворное сотрудничество с кафедрой «Экспериментальная ядерная физика» СПбГПУ. Сотрудники лаборатории читают ряд курсов по физике детекторов и ядерной

физике высоких энергий. Шесть выпускников кафедры успешно начали и продолжают научную работу в лаборатории.