

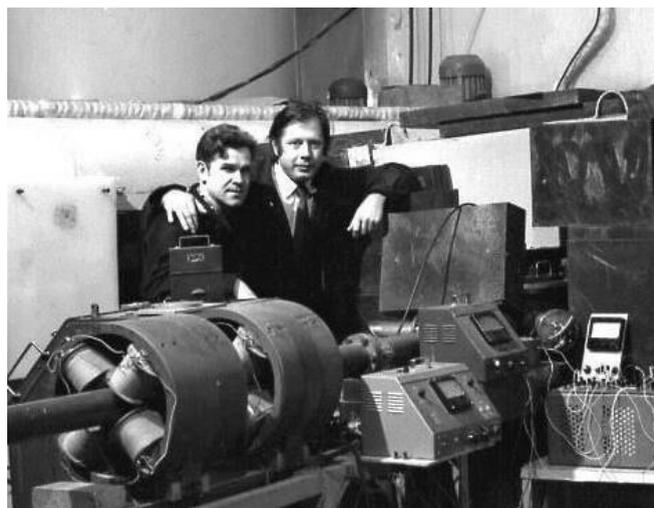
Хронология наиболее значимых событий в ОФВЭ



Первый заведующий ЛФВЭ
Антон Пантелеймонович
Комар.

В 1963 г. под руководством академика УССР [А.П. Комара](#) (30.01.1904 – 14.03.1985) была создана Лаборатория Физики Высоких Энергий (ЛФВЭ, в дальнейшем – Отделение Физики Высоких Энергий, [ОФВЭ](#)). В состав ЛФВЭ вошли следующие научные подразделения: сектор “Мезоны и мезоатомы” – зав. сектором [С.П. Круглов](#) (05.04.1929 – 20.01.2014), сектор “Структура ядра” – зав. сектором [А.А. Воробьев](#), сектор “Спектроскопия ядер глубокого расщепления” – зав. сектором [Э.Е. Берлович](#) (10.04.1910 – 09.01.1992), сектор “Мезоядерные реакции”, зав. сектором [М.В. Стабников](#) (01.01.1930 – 18.06.2005) и сектор “Прямые ядерные взаимодействия” – зав. сектором [Б.А. Бочагов](#) (31.12.1923 – работал до 1979 года).

В 1966 г. под руководством А.А. Воробьева был разработан и установлен на канале реактора ВВР-М время-пролетный магнитный спектрометр. С помощью этого спектрометра были проведены детальные измерения инклюзивных энергетических спектров легких ядер, испускаемых в процессе [тройного деления](#). В результате проведенных исследований были получены важные сведения о механизме тройного деления ядер.



На фотографии слева направо: Д.М. Селиверстов,
И.А. Кондуоров



- в 1967 г. осуществлен пробный пуск [синхроциклотрона ПИЯФ](#) с энергией ускоренных протонов 750 МэВ. К 1969 г. была достигнута проектная энергия ускоренных протонов 1 ГэВ, и с апреля 1970 г. началась регулярная [эксплуатация](#) синхроциклотрона СЦ-1000 - самого мощного в истории ускорителя этого типа.

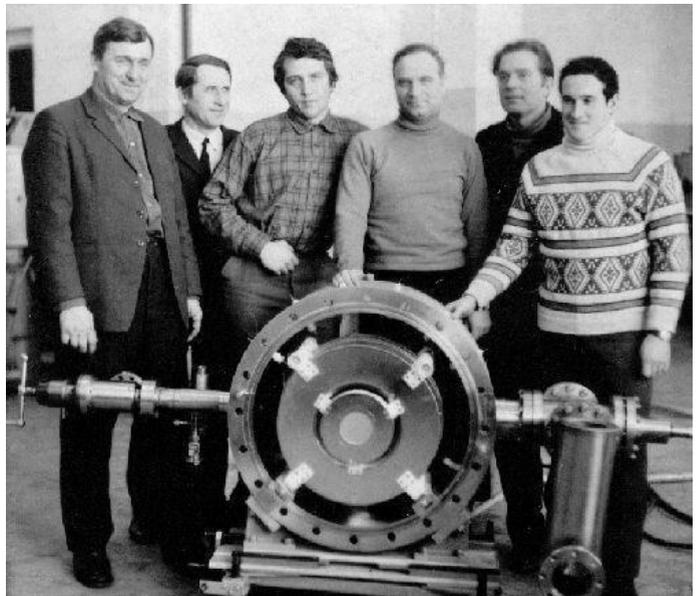
В 1968 г. заключено [Соглашение](#) о научном сотрудничестве ФТИ с Европейским центром ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве.

([Презентация Воробьева А.А.](#) (слайды 19-22) – “...Вам нужно обязательно поехать в ЦЕРН” - выступление Воробьева А.А. на торжественном заседании Ученого Совета, посвященное [45-летию](#) образования ПИЯФ. Информация в книге «[ОФВЭ- страницы истории](#)» - страницы 28-29)

В 1970 г. по предложению А.А. Воробьева в ОФВЭ началась разработка физического прибора нового типа – активной газовой мишени для исследования упругого рассеяния адронов на малые углы. Было создано несколько модификаций установки [ИКАР](#), которая является одновременно и газовой мишенью и ионизационным детектором ядер отдачи, которые явились концептуальной основой успешных экспериментов в ПИЯФ (Гатчина), в ИФВЭ (Протвино), в ЦЕРН (Женева), в Центре ядерных исследований Сакле и в ГСИ (Дармштадт).

Слева направо:

А.И. Алексеев, В.А. Королев,
А.В. Ханзадеев, Г.А. Королев,
В.М. Гущин и Е.М. Маев
у корпуса первой модификации
камеры ИКАР.

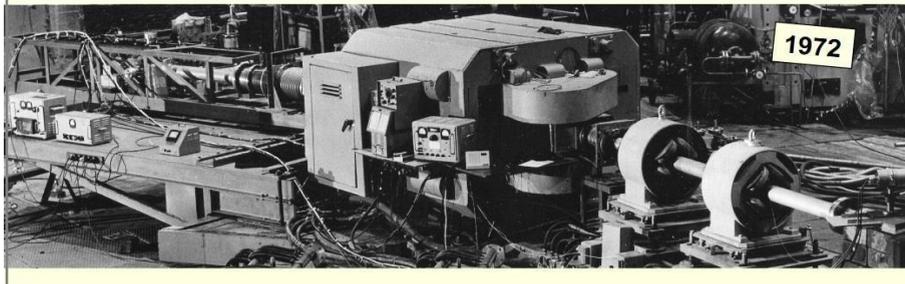


В 1971 г. [А.А. Воробьев](#) был избран заведующим ЛФВЭ ([ОФВЭ](#)).

Январь 1971 года – считается началом отсчета существования [Отдела радиоэлектроники](#) ([ОРЭ](#)). К тому времени свершилась основополагающая череда событий: в 1967 году был произведен физический запуск синхроциклотрона – ускорителя протонов до энергии 1 ГэВ, а в 1970 году – вывод пучка в экспериментальный зал. В экспериментальном зале при сравнительно удовлетворительном состоянии детекторной части предстояло в короткие сроки создать приборную базу, разработать и изготовить прикладную электронику, приобрести необходимую вычислительную технику и т.д. К тому времени группы разработчиков были заняты созданием электроники для экспериментов с ионизационной камерой [ИКАР](#), магнитным анализатором протонов ([МАП](#)), нейтронным спектрометром и другими детекторами.

Упругое рассеяние протонов с энергией 1000 МэВ на ядрах

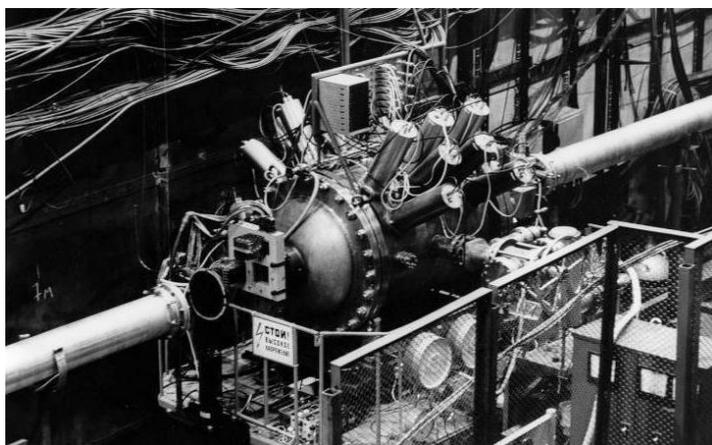
- Оптимальная энергия
- Применимость теории (Глаубера)
- Удачные параметры СЦ-1000
- Спектрометр высокого разрешения



В 1971 г. [С.Л. Белостоцким](#) (22.07.1938-25.06.2020) с сотрудниками было завершено создание магнитного [спектрометра МАП](#) и начались измерения дифференциальных сечений упругого рассеяния протонов с энергией 1 ГэВ на ядрах. Анализ измеренных сечений с помощью теории многократного рассеяния Глаубера позволил получить информацию о распределении ядерной материи в исследованных стабильных ядрах в широком диапазоне масс от ^3He до ^{208}Pb .



В 1972 г. группой А.А. Воробьева было завершено создание установки **ИКАР**, с успехом использовавшейся на гатчинском синхроциклотроне для измерения дифференциальных сечений упругого рр-рассеяния на малые углы в диапазоне энергий 500–1000 МэВ. В результате анализа измеренных сечений рассеяния в области кулон- ядерной интерференции было определено отношение реальной части амплитуды рр- рассеяния вперед к мнимой части, а также был определен параметр наклона дифракционного конуса. Эти измерения подтвердили справедливость дисперсионных соотношений при промежуточных энергиях, о якобы нарушении которых ранее заявляла группа английских физиков. В дальнейшем конструкция установки была усовершенствована и подготовлена для работы на пучках высокой энергии. В 1975 г. были проведены успешные эксперименты по измерению упругого π -р и π - ^4He рассеяния при энергии 40 ГэВ в ИФВЭ (Протвино).



Спектрометр ИКАР и участники эксперимента в ИФВЭ.



Мюонный канал, 1976 год

В течение 1972 – 1980 гг. на СЦ ПИЯФ был создан ряд новых [трактов пучков](#) (каналов вывода пучков) пи-мезонный, медицинский протонный тракт, комбинированный пи-мю-мезонный канал на внешней мишени, тракт поляризованных протонов и высокоэнергетический нейтронный тракт. Создание этих трактов значительно расширило экспериментальные возможности ускорителя и программу научных и прикладных работ, выполняемых на его пучках.

В 1972 г. группа Г.Л. Соколова сектора [М.М. Макарова](#) (07.12.1934 - 05.12.1987) завершила создание жидководородной пузырьковой камеры, наполняемой водородом и дейтерием, и с ее помощью начались исследования π^+p , π^-p , pp и $p\bar{p}$ взаимодействий.

На фото показан монтаж пузырьковой камеры ее основными создателями Г.Л. Соколовым (слева) и [В.И. Медведевым](#).



В 1975 г. был создан медицинский протонный комплекс, включающий медицинский протонный тракт и зал облучения пациентов, и было [начато лечение](#) больных методом облучения протонами с энергией 1 ГэВ напролет - так называемый "[Гатчинский метод](#)". За 1975–2013 гг. весьма эффективный курс лечения заболеваний головного мозга прошли 1394 больных. Смотри также «Некоторые этапы создания медицинского комплекса на СЦ-1000 ПИЯФ НИЦ Курчатовский институт (Карлин Д.Л.)» в ссылке [http://hepd.pnpi.spb.ru/hepd/history/HEPD-pages of history.pdf](http://hepd.pnpi.spb.ru/hepd/history/HEPD-pages%20of%20history.pdf) (страница 212).



В 1975 г. под руководством [Э.Е. Берловича](#) был запущен масс-сепаратор **ИРИС**, работающий в линию с синхроциклотроном ПИЯФ. Масс-сепараторный комплекс ИРИС предназначен для исследования ядер, удаленных от полосы β -стабильности. На масс-сепараторе ИРИС было обнаружено более десяти новых изотопов, методами α - и β -спектрометрии определены значения около 60 масс ядер в области атомных чисел $A = 140-180$, обнаружена резонансная структура силовых функций β -распада ядер. См. также «[History IRIS.pdf](#)».



В ПИЯФ была разработана новая кристалл-дифракционная [методика](#) исследования рентгеновского излучения адронных атомов, основанная на использовании в качестве источника излучения мишени, облучаемой первичным протонным пучком. Новый подход позволил на два порядка повысить скорость счета полезных событий.

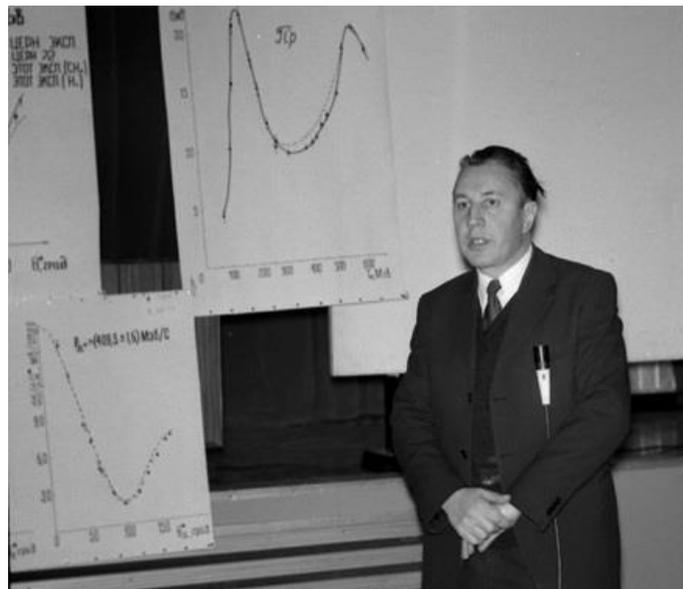
В 1975 г. этим методом [А. И. Смирновым](#) (28.06.1937 - 29.01.1996) с сотрудниками в эксперименте, выполненном в ПИЯФ на пучке протонов с энергией 1 ГэВ, с помощью созданного ПИЯФ кристалл-дифракционного спектрометра с рекордной в то время точностью была измерена масса π^- мезона, что, в частности, позволило уточнить значение массы μ мезона. В последующих опытах в ИФВЭ в 80-х годах на пучке протонов с энергией 70 ГэВ были выполнены измерения масс K^- -мезона и Σ^- -гиперона, которые остаются наиболее точными до настоящего времени.



На основе системы однооборотного сброса пучка на синхроциклотроне ПИЯФ в 1976 г. был запущен время-пролетный нейтронный спектрометр [ГНЕЙС](#), предназначенный для исследования взаимодействия нейтронов с ядрами в диапазоне энергий от 10–2 эВ до 200 МэВ и для радиационных испытаний компонентов электроники. Благодаря своим параметрам – высокой интенсивности и короткой вспышке – спектрометр ГНЕЙС сохраняет лидирующие позиции по экспериментальным возможностям и успешно конкурирует с аналогичными зарубежными установками.

На фотографии у ангара **ГНЕЙС**. Слева направо: Воробьев А.С. (зав. лаб. ЛРФ ОПР), Вайшнене Л.А. (с.н.с. ЛКОЗЧ ОФВЭ), Щербаков О.А. (с.н.с. ЛРФ ОПР), Гагарский А.М. (рук. группы ГФДЯ ОНИ).

В 1976 г. [С.П. Кругловым с сотрудниками](#) были выполнены прецизионные измерения дифференциальных сечений упругого рассеяния π -мезонов на протонах в области энергий 300–600 МэВ на СЦ-1000. Также измерены параметры вращения спина A и R в упругом π -р рассеянии. Эти результаты легли в основу фазового анализа π -рассеяния при энергиях от 160 до 600 МэВ, в котором получены наиболее точные в этой области энергий парциальные пион-нуклонные амплитуды, обнаружено нарушение зарядовой независимости в P_{33} -амплитуде.



В 1976–1980 гг. группой Воробьева А.А. с помощью установки ИКАР были проведены измерения сечений малоуглового pp - и pr -рассеяния в диапазоне энергий 30–345 ГэВ в ЦЕРН (эксперименты **WA9** и **NA8**). Было показано, что дисперсионные соотношения справедливы и при высоких энергиях, а поведение полных сечений рассеяния адронов при увеличении энергии носит универсальный характер, причем наблюдаемый рост сечений оказывается предельно возможным. Также показано, что скорость сужения дифракционного конуса при высоких энергиях и малых переданных импульсах не зависит от сорта частиц в согласии с теорией Грибова-Редже. Эти результаты получили высокую оценку в ЦЕРН. Эксперименты WA9 и NA8 были включены в число лучших работ, выполненных на ускорителе SPS. В 1983 г. цикл работ по дифракционному рассеянию протонов при высоких энергиях (выполненный в ПИЯФ, ИФВЭ и ЦЕРН) был удостоен [Государственной премии СССР](#):

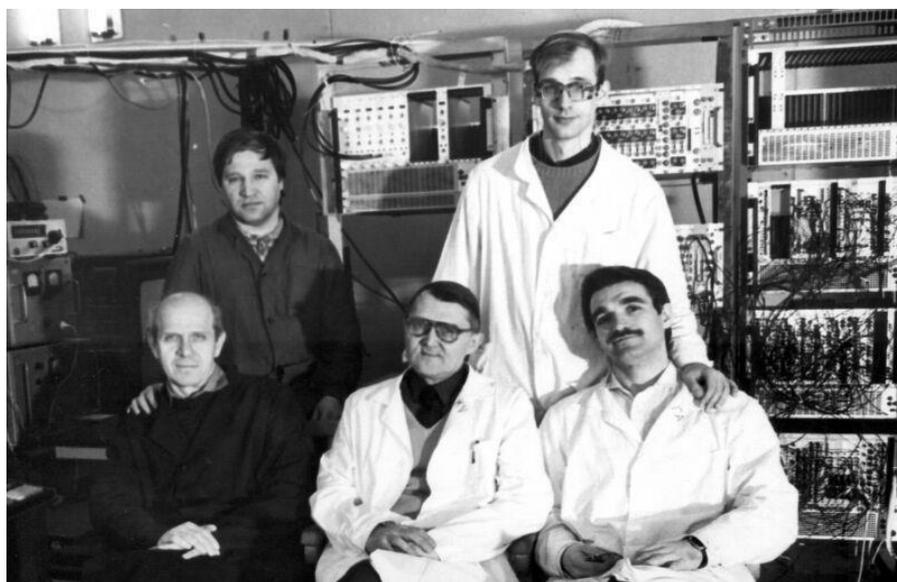
ЦЕРН, 1976 г. Участники эксперимента WA9 отмечают успешное начало измерений.
Крайний слева – А.А. Воробьев.



На праздновании 25-летия ЦЕРН (1979) результаты экспериментов WA9 и NA8 были отмечены в числе высших достижений ЦЕРН

Гос.премия СССР А.А.Воробьев

Nuclear Physics B217 (1983) 285-335
А.А.Воробьев, А.С.Денисов, А.П.Кашук,
Г.А.Королев, А.В.Куликов, Э.М. Спириденков,
И.И.Ткач, В.А.Щегельский



В ОФВЭ на мюонном канале синхроциклотрона ПИЯФ в **1978** г. под руководством [В.А. Гордеева](#) (02.08.1941 – 07.10.2010) и [В.П. Коптева](#) (15.11.1939 – 12.01.2012) была создана [μSR установка](#) для исследования магнитной структуры конденсированных сред методом вращения спина мюона. На установке μSR исследовались (С.И. Воробьевым с сотрудниками) высокотемпературные сверхпроводники, марганецсодержащие сплавы типа $Cu_{1-x}Mn_x$, $La_{0.85}Sr_{0.15}MnO_3$, $Pt_3(Fe_{1-x}Mn_x)$ и $Pd_{95}(Fe_{1-x}Mn_x)$, взаимодействие ферроэлектричества и ферромагнетизма, магнитные свойства феррожидкостей с наночастицами $CoFe_2O_4$ в воде и в эластомерной полимерной матрице. В настоящее время [исследования μSR методом](#) в РФ ведутся только в ПИЯФ.



А.А. Воробьев, Э.М. Спириденков и Г.А. Королев у спектрометра **ИКАР** в Сакле.



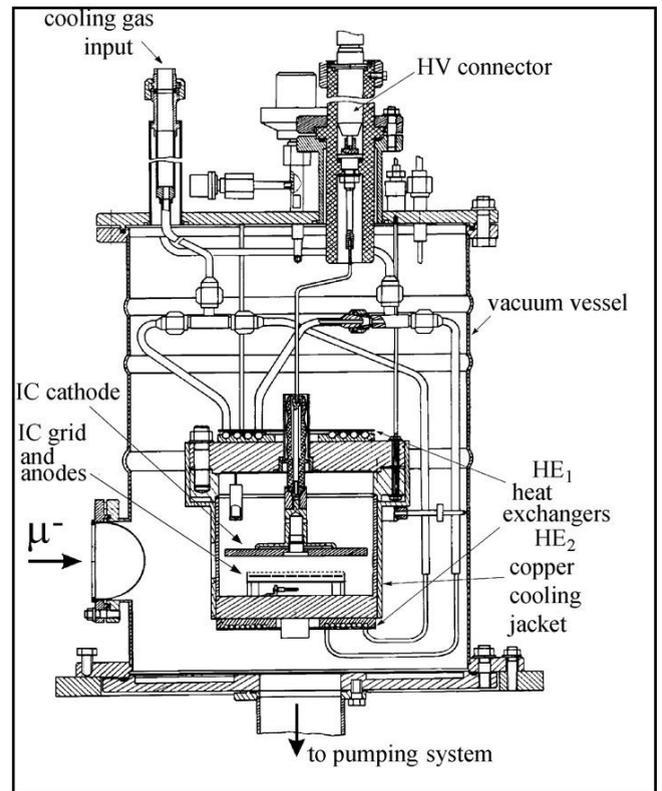
[Г.Д. Алхазов](#) и физики из Сакле обсуждают результаты [совместного эксперимента](#) по измерению сечений упругого рассеяния протонов с энергией 1 ГэВ на ядрах изотопов кальция.



[В.Г. Вовченко](#) (18.10.1931 – 30.11.2015) с сотрудниками в 1980–1988 гг. измерили на СЦ-1000 поляризационные параметры P , R , D и A упругого pp рассеяния в области энергий протонов 1 ГэВ. Полученные данные позволили провести фазовый анализ pp рассеяния при энергии 1 ГэВ.

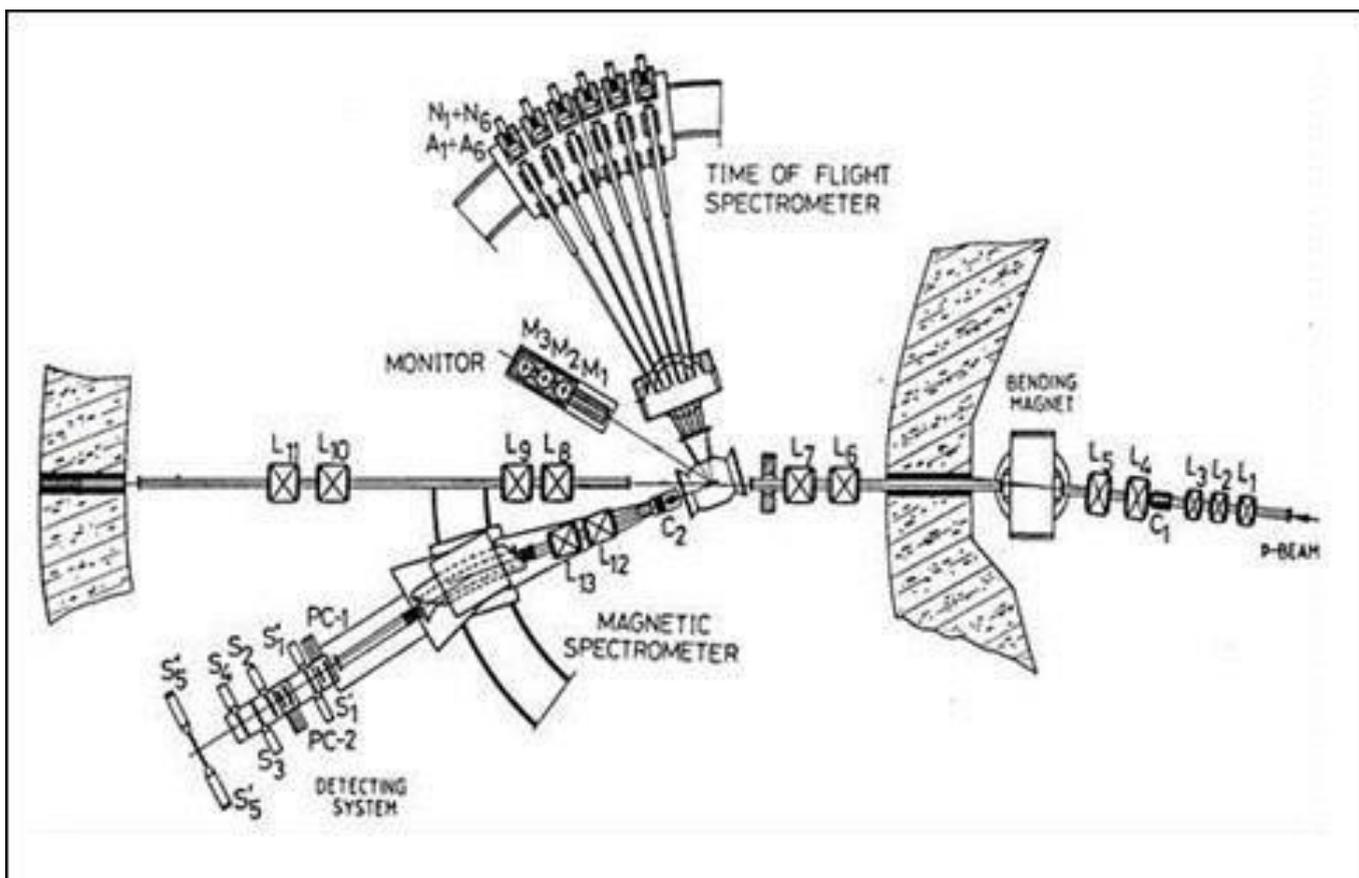
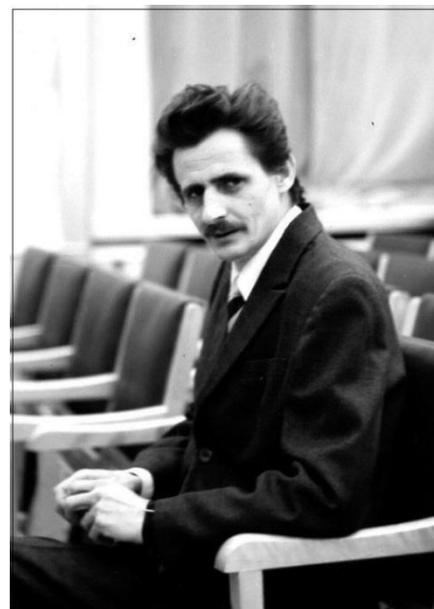
В 1980–1996 гг. А.А. Воробьевым с сотрудниками был предложен и разработан новый эффективный [метод исследования d-μ-d и d-μ-t синтеза](#). Выполнен ряд экспериментов на ускорителях ПИЯФ и PSI (Швейцария). Получены новые данные по d-μ-t синтезу и с высокой точностью измерены практически все параметры d-μ-d синтеза, составляющие сегодня основную базу данных теории мезокатализа. Цикл экспериментальных исследований мюонного захвата и мюонного катализа ядерных реакций синтеза был отмечен в 2003 г. **премией имени А.Ф. Иоффе** Правительства СПб и СПб НЦ РАН.

На рисунке справа: Схематическое изображение установки для исследования мезокатализа dd-синтеза.



Стоят, слева направо: Ю.С. Григорьев, Ю.В. Смиренин, С.М. Козлов, В.И. Поромов, А.Д. Еремеев, Г.Е. Петров, А.И. Ильин. Сидят, слева направо: А.А. Васильев, Г.Г. Семенчук, Е.М. Маев, Л.Б. Петров. На переднем плане: А.А. Андреев и А.Н. Шапарев

На синхротронном ПИЯФ при энергии 1 ГэВ с помощью корреляционного спектрометра недостающей энергии, способного одновременно детектировать протоны и нейтроны в реакциях ($p,2p$) и (p,pn), в кинематически полных опытах в 1982–1996 гг. Ю.В. Доценко (06.12.1939 – работал до 30.04.2003 года) с сотрудниками изучен ряд ядер, от самых лёгких до тяжёлых. Для большинства изученных ядер впервые измерены нейтронные спектры дырочных состояний, и впервые в тяжёлых ядрах измерены энергии глубоких протонных дырочных состояний. Анализ данных позволил определить среднеквадратичные радиусы и квадрупольные моменты распределений плотности нуклонов на выделенных оболочках:

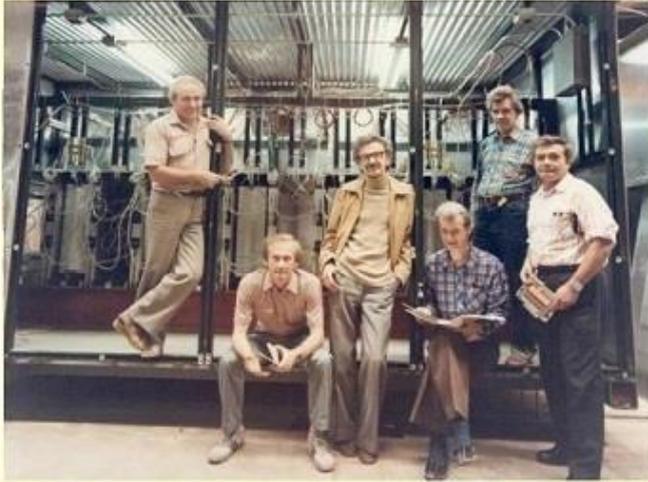
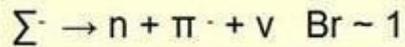
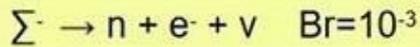


Спектрометр недостающей энергии для изучения квазиупругого рассеяния.

По предложению ПИЯФ в 1983–1996 гг. в Национальной Лаборатории им. Ферми (FNAL-США) были выполнены эксперименты [E715](#) и [E761](#) (spokesman А.А. Воробьев). С использованием разработанного и созданного в ПИЯФ детектора переходного излучения с высокой точностью была измерена асимметрия бета распада Σ^- гиперона. В отличие от имевшихся ранее данных, новый результат оказался в точном согласии с предсказаниями модели SU(3) Кабиббо. В рамках эксперимента E761 [В.М. Самсоновым](#) (15.02.1946-13.11.2020) был также предложен, подготовлен и реализован эксперимент по обнаружению эффекта прецессии спина Σ^+ - гиперона, проходящего в режиме каналирования в изогнутом кристалле из кремния. Впервые экспериментально наблюдаемый эффект явился основой метода прямого измерения магнитных моментов короткоживущих частиц. С высокой точностью были измерены магнитные моменты Σ^- , Σ^+ , Σ^-_{bar} и Ξ^- гиперонов:

FNAL Эксперимент E715

“Загадка распада сигма минус гиперона”



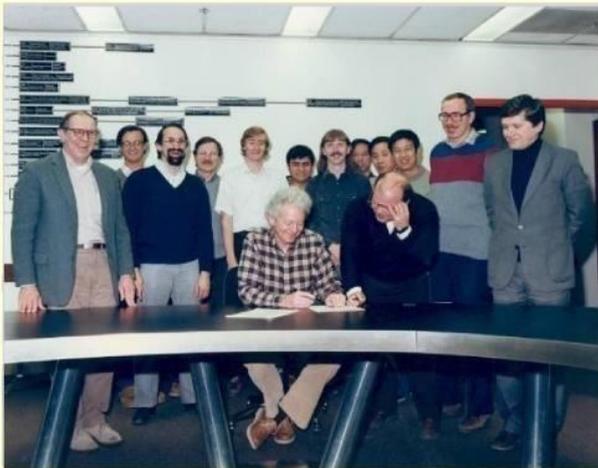
Участники эксперимента E715
(1984)

А.А.Воробьев, В.Т.Грачев, А.С.Денисов,
Д.М.Селиверстов, Н.Н.Смирнов,
Н.К.Терентьев, И.И.Ткач, В.А.Щегельский



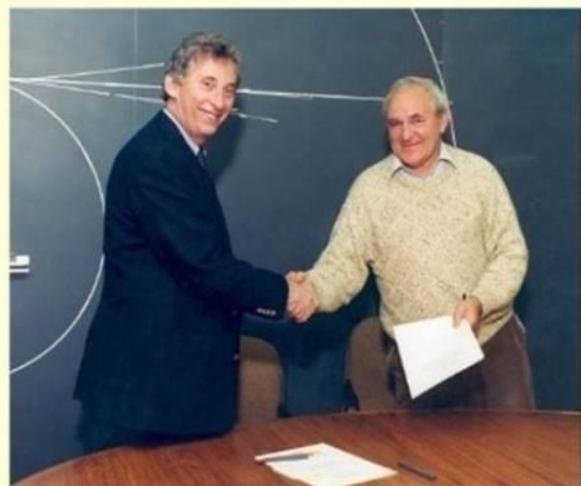
Снимок, в CERN Courier
в заметке, озаглавленной
“загадка распада сигма минус гиперона
решена”

FNAL Эксперименты E761и E781

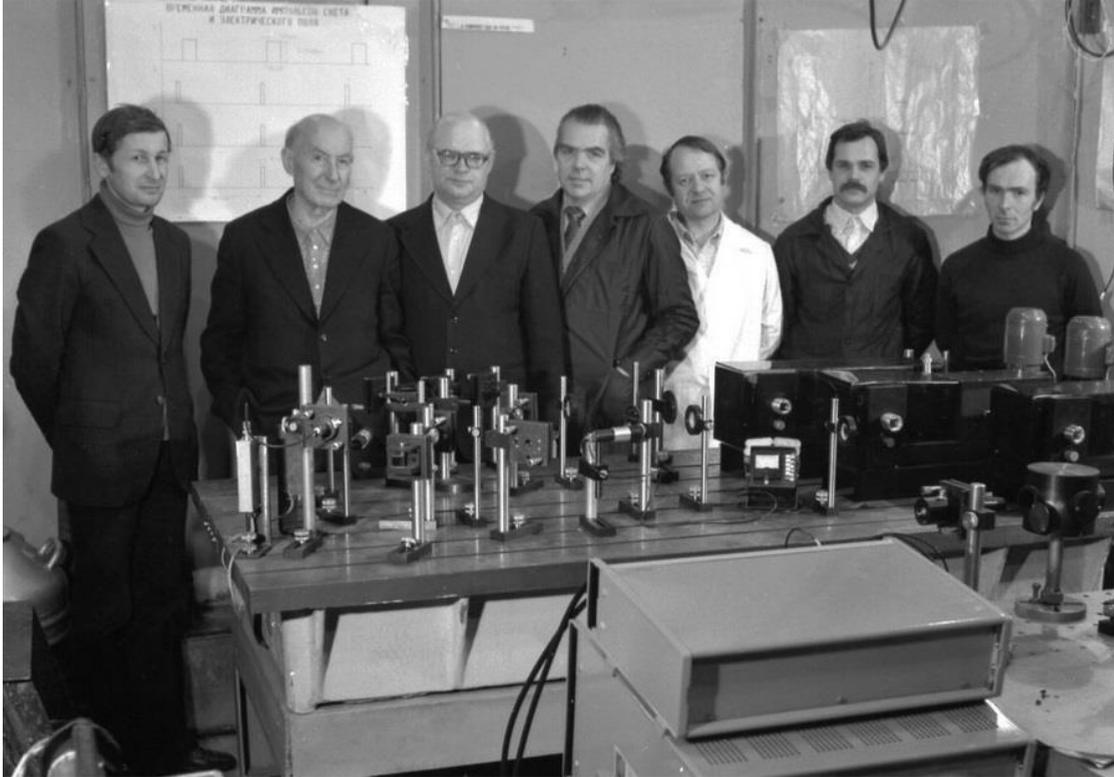


Генеральный директор ФНАЛ **L.Lederman**
подписывает План проведения
эксперимента E761 (Spokesperson А.Воробьев)
1988

Генеральный директор ФНАЛ **J.Peoples**
подписывает Соглашение
о проведении эксперимента E761
(1992)



В 1983 г. на масс-сепараторном [комплексе ИРИС](#) СЦ-1000 был создан лазерный спектрометр для измерения сверхтонкого расщепления и изотопических сдвигов оптических переходов нестабильных изотопов и были получены первые экспериментальные результаты. При этом впервые в мировой практике для исследования нестабильных ядер был использован метод резонансной ионизационной спектроскопии. Метод оказался очень эффективным и в дальнейшем стал также применяться за рубежом:



Сотрудники ИРИС у лазерной установки. Слева направо: Г.Д. Алхазов, Э.Е. Берлович, В.П. Денисов, В.С. Иванов, Ю.С. Блинников, А.Г. Дернятин, А.Е. Барзах.

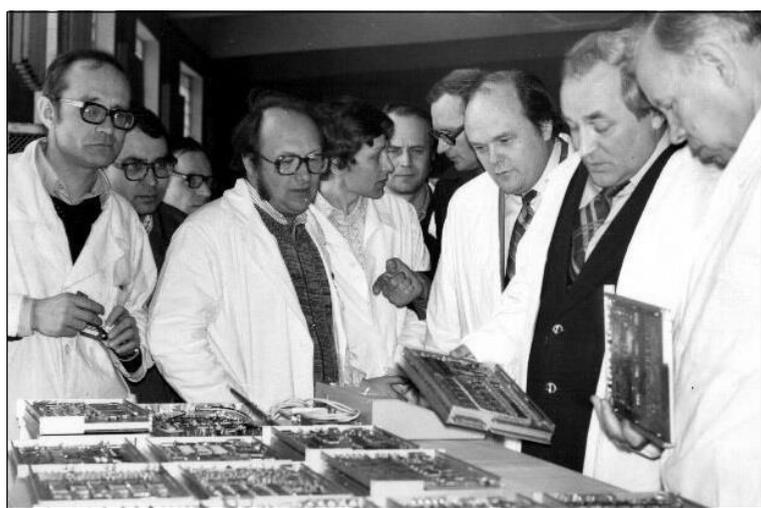
В 1984 г. [В.Н. Пантелеевым](#), [Г.Д. Алхазовым](#) и [Э.Е. Берловичем](#) был предложен и запатентован метод высокотемпературного лазерного ионного источника для селективного получения ионов радиоактивных изотопов. Предложенный ионный источник показал высокую эффективность. Использование этого источника позволило повысить на несколько порядков чувствительность метода лазерной спектроскопии. Лазерный ионный источник стал широко использоваться как в ПИЯФ на масс-сепараторном комплексе ИРИС СЦ-1000, так и в зарубежных установках, в том числе на установке ISOLDE в ЦЕРН. С помощью лазерного ионного источника были измерены изотопические сдвиги и сверхтонкая структура у большого числа удаленных от полосы стабильности нейтронно-дефицитных ядер изотопов редкоземельной области:



Обсуждение эксперимента коллаборацией ИРИС - ОИЯИ с участием иностранных ученых из Дубны (Э. Е. Берлович - в центре)

В.Н. Пантелеев (второй слева) с представителями лабораторий INFN (Леньяро, Италия), GANIL (Каен, Франция) и ISOLDE (ЦЕРН). Обсуждение результатов экспериментов по исследованию мишеней на установке ИРИС.

[В.П. Коптевым](#) с сотрудниками в 1984 г. был предложен и разработан новый метод измерения времени жизни π^+ и K^+ - мезонов, основанный на использовании периодичности временной микроструктуры пучка протонов, взаимодействующих с мишенью, в которой рождаются π^+ или K^+ - мезоны, и детектирования μ^+ - мезонов распада π^+ или K^+ - мезонов, остановившихся в той же мишени. Измеренные этим методом на СЦ-1000 значения времени жизни π^+ и K^+ - мезонов остаются до настоящего времени одними из наиболее точных в мировой базе данных:



Неустроев П.В.

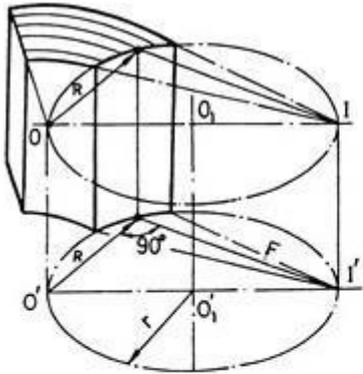
В 1985 г. за [разработку на основе международного стандарта КАМАК](#) и организацию производства аппаратуры для создания систем автоматизации научных и научно-технических исследований сотрудники ПИЯФ (от ОФВЭ – П.В. Неустроев) были удостоены премии Совета Министров СССР.

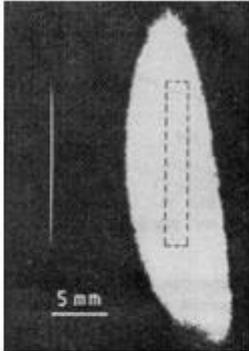


В 1986–2000 гг. ПИЯФ участвовал в [эксперименте L3](#) – одном из крупнейших экспериментов, проводившихся на Большом электрон-позитронном коллайдере в Европейском центре ядерных исследований ЦЕРН. Целью эксперимента L3 была проверка предсказаний Стандартной Модели. С высокой точностью были получены многочисленные экспериментальные данные, явившиеся блестящим подтверждением основных выводов Стандартной Модели элементарных частиц. Важнейшим результатом явилось [заключение](#) о том, что в

природе существуют только три поколения легких нейтрино. Важными результатами явились также измерение массы W -бозона и предсказание массы топ-кварка, открытого позднее прямыми измерениями на Тэватроне в США. ПИЯФ внес крупный вклад в создание экспериментального комплекса L3. [Сотрудники ПИЯФ](#) участвовали в эксперименте L3 в наборе данных и их анализе.

В 1991 г. А.И. Смирновым был предложен новый метод фокусировки пучков заряженных частиц, каналирующих в изогнутом кристалле. В результате экспериментов, проведенных на ускорителе У-70 в ИФВЭ, удалось отклонить и сфокусировать пучок протонов с энергией 70 ГэВ до размера 50 мкм при первоначальной ширине пучка 2 мм:





Принцип фокусировки:
 $F^2 = 4r^2 - R^2$
 F – фокусное расстояние,
 R – радиус изгиба кристалла,
 r – радиус грани кристалла.

Эксперимент в ИФВЭ: входной и отклоненный фокусирующим кристаллом пучки протонов с энергией 70 ГэВ на ядерной эмульсии, помещенной в фокусе кристалла. Пунктиром показана входная грань кристалла (Письма в ЖЭТФ, том 54, вып. 9, стр. 485-488, 1991).



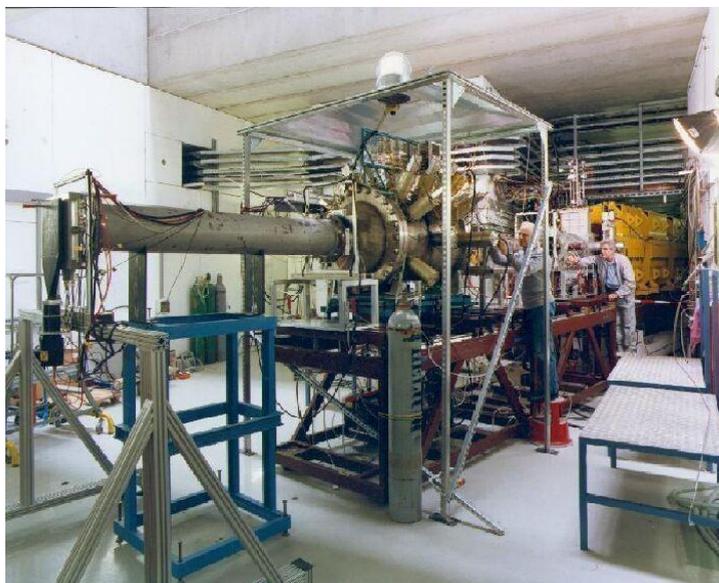
А.И.Смирнов, предложивший принцип фокусировки, и Ю.П.Платонов, воплотивший идею и создавший первые фокусирующие кристаллы.

В 1991 г. [А.А. Воробьев](#) избран членом-корреспондентом АН СССР.



В 1992 г. Лаборатория Физики Высоких Энергий (ЛФВЭ) была реорганизована в Отделение Физики Высоких Энергий ([ОФВЭ](#)).

В цикле экспериментов, проведенных в 1992–2011 гг. на пучках легких ионов в ядерном центре GSI (Дармштадт, Германия) с созданной в ПИЯФ установкой ИКАР, была изучена пространственная структура ядер изотопов He, Li, Be, B и C. Измерены размеры (среднеквадратичные радиусы) нейтронного гало в ядрах ^6He , ^8He , ^{11}Li , ^{14}Be и ^{15}C , а также протонного гало в ^8B . Определены размеры нейтронной (протонной) “шубы” в изученных ядрах:



Установка ИКАР на пучке “экзотических” ядер в GSI, Дармштадт

Спектрометр ИКАР
в экспериментальном зале в GSI



Участники первого эксперимента с ИКАР-ом в ГСИ.

В 1993-2006 гг. [группа ПИЯФ](#) под руководством [С.Л.Белостоцкого](#) (22.07.1938-25.06.2020) участвовала в эксперименте HERMES, проводившемся на ускорителе HERA (DESY, Германия). Целью эксперимента HERMES являлось изучение спиновой структуры протонов и нейтронов в глубоконеупругом рассеянии электронов. Одним из наиболее важных результатов этого эксперимента стало определение вклада кварков в величину спина нуклона:

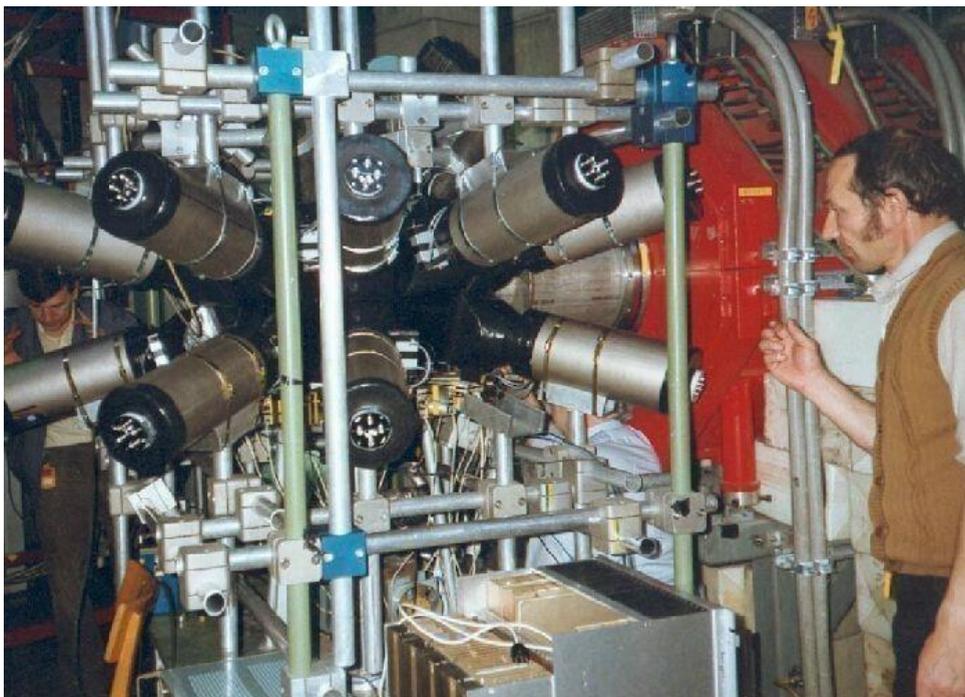


Зав. лабораторией малонуклонных систем ОФВЭ С.Л. Белостоцкий



Часть группы физиков ПИЯФ перед установкой пропорциональных камер в зазор магнита спектрометра HERMES. Слева направо: С. Патричев, А. Изотов, Г. Гаврилов, А Киселев, О. Миклухо

1993 г. в ПИЯФ [под руководством А.А. Воробьева](#) был разработан новый экспериментальный метод, позволивший измерить на пучке мезонов мезонной фабрики PSI в Швейцарии скорость μ захвата ядрами ${}^3\text{He}$ с высокой точностью, превышающей на порядок точность выполненных ранее экспериментов. В результате удалось надежно определить величину индуцированного псевдоскалярного форм-фактора в этом процессе.



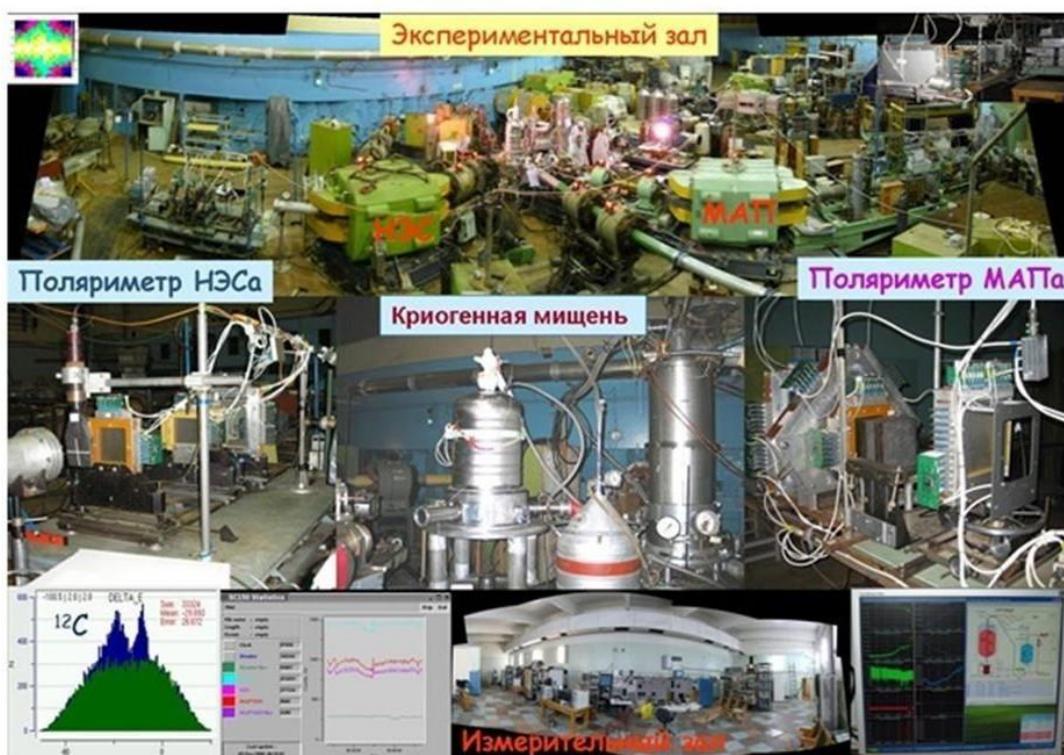
Гатчинская установка для исследования мюонного катализа dd- и dt- синтеза на мюонном канале Швейцарской мезонной фабрики, рядом стоит ведущий инженер-электроник Петров Г.Е..



В 1993 г. в ОФВЭ группой физиков ([О.В. Миклухо](#), А.Ю. Киселевым и др.) было завершено строительство уникального [двухплечевого магнитного спектрометра](#), каждое плечо которого оснащено протонным поляриметром. Спектрометр создавался для исследования на СЦ-1000 поляризационных характеристик (p , $2p$)-реакции с ядрами с выделением их оболочечной структуры. В первых экспериментах (1993–1999 гг.), в которых исследовалась спиновая структура легких ядер, были обнаружены поляризационные эффекты, связанные с модификацией свойств адронов в ядерной среде. Это явление в дальнейшем (2000–2006 гг.) исследовалось в совместных экспериментах с группой японских физиков из Исследовательского центра ядерной физики RCNP (Осака, Япония).

На фото: О. Миклухо и Т. Норо (Т. Noro) (рук. эксперимента с японской стороны)

Двухплечевой магнитный спектрометр МАП&НЭС



С 1993 года началось сотрудничество группы Ю.Н. Новикова с ГСИ (Дармштадт) на накопительном кольце ESR релятивистских ионов. По программе физических исследований, разработанной с немецкими коллегами, был осуществлен широкомасштабный эксперимент по изучению свойств релятивистских нейтроно-дефицитных голых ядер. Был изучен огромный массив, состоящий из 580 нуклидов, для 70 из них были впервые измерены массы, обнаружен эффект изменения времён жизни голых изомерных уровней, определены положения границ протонной и двупротонной радиоактивности многие другие эффекты. За цикл этих работ в 1999 году коллектив эксперимента получил почётную **медаль Международного Союза Общей и Прикладной физики (IUPAP)**.

Успех экспериментов на накопительном кольце ESR способствовал созданию нового проекта PLIMA, предложенного для будущего накопительного кольца нового комплекса FAIR в Дармштадте. Координатором этого проекта был избран Ю.Н. Новиков, руководивший проектом до 2006 года.

С 1994 г. по 2003 г. группа физиков ПИЯФ под руководством [С.П.Круглова](#), активно участвовала в совместных экспериментах по изучению πp - и $K p$ -реакций с образованием нейтральных частиц в конечном состоянии, которые выполнялись с помощью много-кристального детектора Crystal Ball в Брукхэйвенской национальной лаборатории (США). Продолжением этих работ явилась программа исследования фоторождения нейтральных мезонов на электронном микротроне МАМІ-С с энергией 1,5 ГэВ в Майнце (ФРГ):

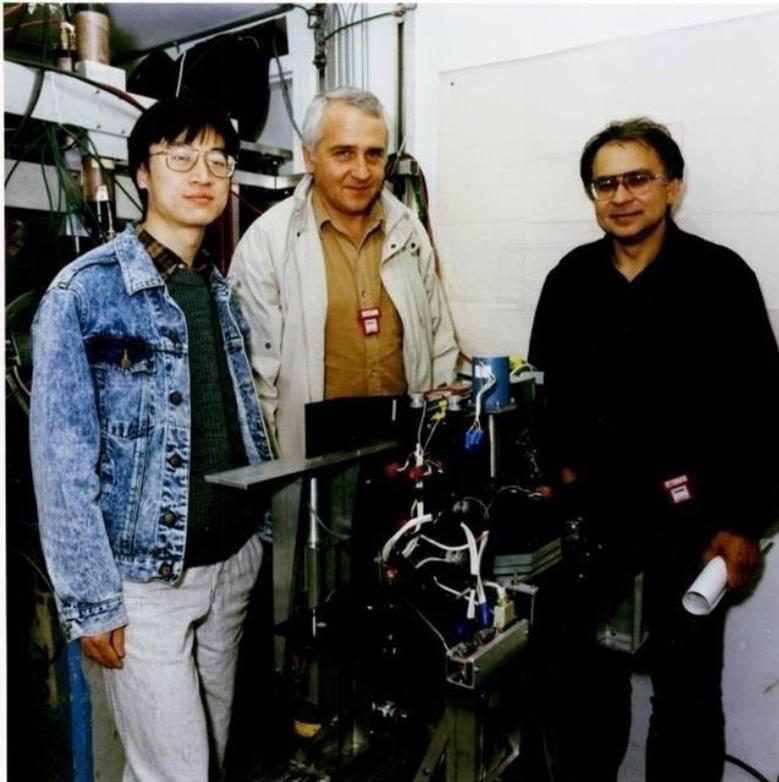


В 1994 г. Отделом вычислительных систем ОФВЭ ПИЯФ запущена 6-процессорная вычислительная станция SGI-3000 под ОС Unix (получена из DESY).

В 1994-1995 гг. Отделом вычислительных систем ОФВЭ под руководством А.Е. Шевеля был выполнен исключительно важный комплекс работ по созданию локальной компьютерной сети ОФВЭ, компьютерного кластера, спутникового канала в Интернет (через DESY) ёмкостью 64 Kbit мейл- сервера и взб-сервера ПИЯФ, которые способствовали интеграции ОФВЭ и ПИЯФ в Мировое информационное пространство. (См. также [ComputingHistory-2021-03-15.pdf](#)).



На фото слева-направо: А.Е.Шевель – с.н.с., руководитель отдела, А.Н.Лодкин –вед. инж.-программист, Т.С.Сереброва –вед. инж.-программист, В.В.Леонтьев – вед.инж-электроник, А.А.Орешкин – вед. инж.-программист (фото 2003г.)



В 1995 г. в эксперименте E853 (FNAL, США) при участии [сотрудников ОФВЭ](#) В.М. Самсонова и А.В. Ханзадеева был выведен из ускорителя пучок протонов с энергией 1 ТэВ с помощью изогнутого кристалла кремния. Впервые в мировой практике вывод пучка был осуществлен из сверхпроводящего ускорителя при продолжении набора статистики в коллайдерных установках (D0 и CDF).

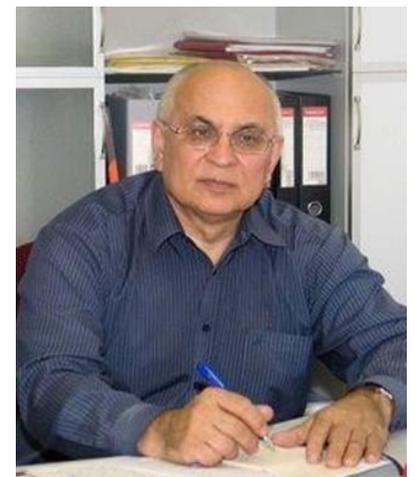
Справа налево:
В.М. Самсонов, А.В. Ханзадеев



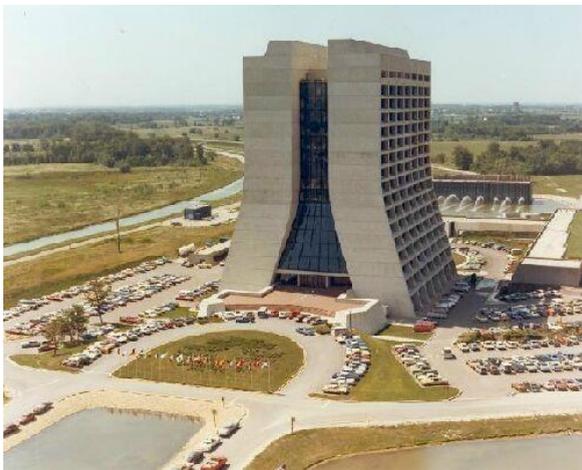
В 1995-2015 гг. группа сотрудников ОФВЭ ПИЯФ под руководством В.П. Коптева [принимала участие](#) в разработке магнитного спектрометра ANKE в экспериментальной программе, проводившейся на ускорителе COSY (FZ-Jülich, Германия). Главной особенностью эксперимента стал предложенный физиками ПИЯФ метод регистрации задержанного сигнала от распада K^+ мезонов, позволивший улучшить соотношение сигнал-фон в 105 раз. В результате было проведено комплексное исследование рождения странных мезонов и барионов в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных реакциях, которое позволило выявить особенности взаимодействия странных частиц с ядерной материей.



В 1996 г. [В.М. Самсонов](#) и [А.И. Смирнов](#) были удостоены [Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники](#) за создание новых методов управления пучками частиц высоких энергий на ускорителях с помощью изогнутых кристаллов и их реализацию. Это достижение явилось результатом многолетних исследований по физике взаимодействия частиц высоких энергий с кристаллами. Созданная уникальная экспериментальная установка с «живой мишенью» – изогнутым полупроводниковым монокристаллом – мультidetектором



позволила в серии экспериментов детально изучить процесс прохождения заряженной частицы через кристалл, что привело к наблюдению ряда физических эффектов, среди которых наиболее значимый – «эффект объемного захвата» частицы в режим каналирования.



В 1996–2013 гг. ПИЯФ принимал участие в коллайдерном эксперименте D0 в Национальной Ускорительной Лаборатории им. Ферми (FNAL, США) посвященном изучению процесса столкновения протонов с антипротонами с суммарной энергией сталкивающихся частиц 2 ТэВ. Главными задачами эксперимента D0 являлись прецизионная проверка Стандартной Модели и поиски проявлений Новой физики. Группа ПИЯФ внесла крупный методический вклад в установку D0, как в систему сбора информации с 50 000 каналов мюонного детектора, так и в программное обеспечение. В эксперименте D0 был получен ряд важных результатов. Была значительно повышена точность измерения масс t -кварка и W -бозона, было получено свидетельство о рождении одиночных t -кварков, впервые были определены нижний и верхний пределы частоты осцилляций (переходов из частицы в античастицу и обратно) B_s - мезонов: (см. http://hepd.pnpi.spb.ru/hepd/articles/PNPI_2013-2018.pdf - стр.134-145)

кварка и W -бозона, было получено свидетельство о рождении одиночных t -кварков, впервые были определены нижний и верхний пределы частоты осцилляций (переходов из частицы в античастицу и обратно) B_s - мезонов: (см. http://hepd.pnpi.spb.ru/hepd/articles/PNPI_2013-2018.pdf - стр.134-145)

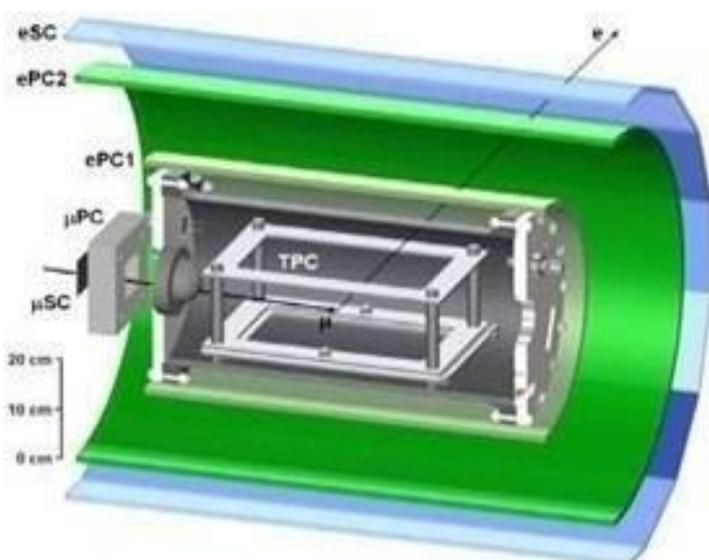


П.В.Неустроев в комнате управления эксперимента D0.



Л.Н.Уваров у крейтов с электроникой MDT

На мезонной фабрике в институте Пауля Шеррера (PSI) методом, предложенным в 1997 г. группой ПИЯФ под рук. А.А. Воробьева, в эксперименте MuСар в 2004–2007 гг. были выполнены прецизионные измерения скорости мюонного захвата в водороде и впервые достаточно точно была определена одна из фундаментальных характеристик протона – псевдоскалярная константа формфактора протона g_p . Измеренная величина g_p оказалась в согласии с предсказаниями Стандартной Модели.



Схематическое изображение установки в разрезе для измерения скорости мюонного захвата в водороде.



Участники MuCap коллаборации от ПИЯФ:

В.А.Андреев, В.А.Ганжа, П.А.Кравцов, А.Г.Крившич, М.П.Левченко, Е.М.Маев, О.Е.Маев, Г.Е.Петров, Г.Н.Шапкин, Г.Г.Семенчук, М.А.Сорока, А.А.Васильев, А.А.Воробьев, М.Е.Взнуздаев.

По предложению группы ПИЯФ в **1996** г. на ISOLDE в ЦЕРН был проведён эксперимент под руководством Ю.Н. Новикова по поиску неизвестного нуклида ^{73}Rb , свойства которого критически важны для объяснения процесса быстрого протонного захвата (gp) в звёздных условиях, ответственного за производство энергии в природе. Полученный в эксперименте результат о протонной нестабильности этого нуклида свидетельствовал о продолжении процесса захвата в тяжёлую нуклидную область. Примечательно, что это был первый физический эксперимент на ISOLDE, в котором спонсором международной коллаборации был российский учёный Ю.Новиков.

В дальнейшем вопрос о протяженности gp -процесса исследовался на установке IGISOL в Ювяскюля (Финляндия) с использованием ионной ловушки JYFLTRAP. Из полученного ландшафта масс в области массового числа $A=100$ был сделан вывод о «просачивании» этого процесса в ещё более тяжёлую область, что противоречило сложившимся представлениям о его завершении в районе $A=108$.

В **1999** году Ю.Н. Новиков был избран в комитет по ядерной физике Европейского физического общества, проработав на этом посту в качестве представителя России два срока до 2005 года с ответственностью за проведение международных конференций и молодёжной политики.

В **1998** г. Отделом вычислительных систем ОФВЭ ПИЯФ запущен один из первых в РФ вычислительный кластер под ОС Линукс с системой управления пакетными заданиями CODINE.

В **2000** г. Отделом вычислительных систем ОФВЭ ПИЯФ запущен один из самых первых в Российской Федерации сегмент сети GRID.

С 2000 г. [ПИЯФ участвует](#) в международном эксперименте [PHENIX](#) по исследованию протон- протонных, протон- ядерных и ядро-ядерных столкновений при высокой энергии на ускорителе RHIC Брукхейвенской национальной лаборатории. В ПИЯФ были разработаны и созданы уникальные дрейфовые камеры для центральной трековой системы установки PHENIX. [Физики ОФВЭ](#) участвуют в проведении эксперимента и играют ведущую роль в анализе образования векторных мезонов в ядерных столкновениях. Одним из наиболее важных результатов эксперимента PHENIX стало обнаружение в 2004 г. нового состояния ядерной материи – кварк-глюонной плазмы со свойствами почти идеальной жидкости.



В 2006 г. в ПИЯФ было завершено производство оборудования для экспериментов на Большом Адронном Коллайдере (LHC). Были изготовлены 120 больших мюонных камер и 10 000 каналов высоковольтного питания для эксперимента CMS; детектор переходного излучения, состоящий из более 370 000 дрейфовых трубок, для эксперимента ATLAS; 660 многопроволочных пропорциональных камер для эксперимента LHCb и многопроволочные пропорциональные камеры с падовой структурой катодов для мюонного спектрометра эксперимента ALICE. В изготовлении оборудования для экспериментов LHC активное участие принимали [Лаборатория физики элементарных частиц](#) (А.А. Воробьев с сотрудниками), [Лаборатория кристаллооптики заряженных частиц](#) (Иванов Ю.М. с сотрудниками), [Лаборатория релятивистской ядерной физики](#) (В.М. Самсонов с сотрудниками), [Лаборатория адронной физики](#) (О.Л. Федин с сотрудниками), [Отдел мюонных камер](#) (В.С. Козлов с сотрудниками), [группа мюонных камер](#) (Б.В. Бочин с сотрудниками) и [Отдел радиоэлектроники](#) (В.Л. Головцов с сотрудниками).



Сотрудники института, принимавшие [участие в создании детектора TRT в ПИЯФ](#)



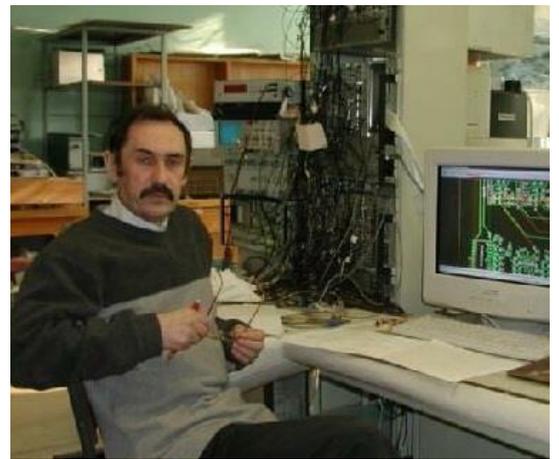
О.Е.Маев, монтаж мюонной системы LHCb



Л.Н.Уваров и В.Л.Головцов демонстрируют работу триггерного процессора



Тестирование камер LHCb.
Б.В.Бочин и А.А.Воробьев



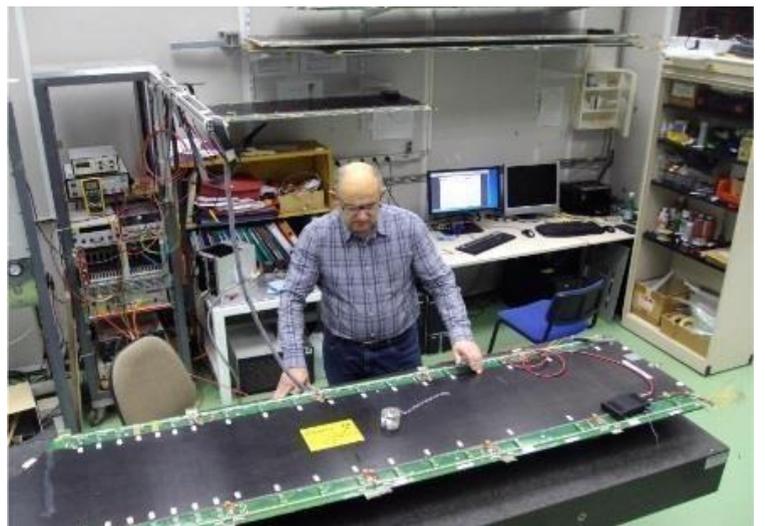
Ведущий разработчик
CMS EMU HV- системы С.С.Волков



Команда ОФВЭ, изготовившая 120 мюонных камер CMS, перед последней отправкой камер в ЦЕРН



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



С 2006 года начинается новый долгосрочный период, связанный с освоением методики ионных ловушек, в международном сотрудничестве с [Лабораторией физики экзотических ядер](#) (ЛФЭЯ) под руководством [Ю.Н. Новикова](#). Сотрудники лаборатории С. Елисеев и Г. Воробьев приняли прямое участие в запуске установки SHIPTRAP в ГСИ (Дармштадт). В 2008 г. был начат эксперимент по измерению масс нуклидов трансфермиевой области – нобелия и лоуренсия, который получил успешное завершение в 2018 году. Эксперименты позволили воспроизвести массовый ландшафт нейтронодефицитных сверхтяжёлых нуклидов и подтвердить экспериментально наличие малых областей стабильности (при числе нейтронов $N=152$ и 162) на подступах к загадочному острову стабильности.

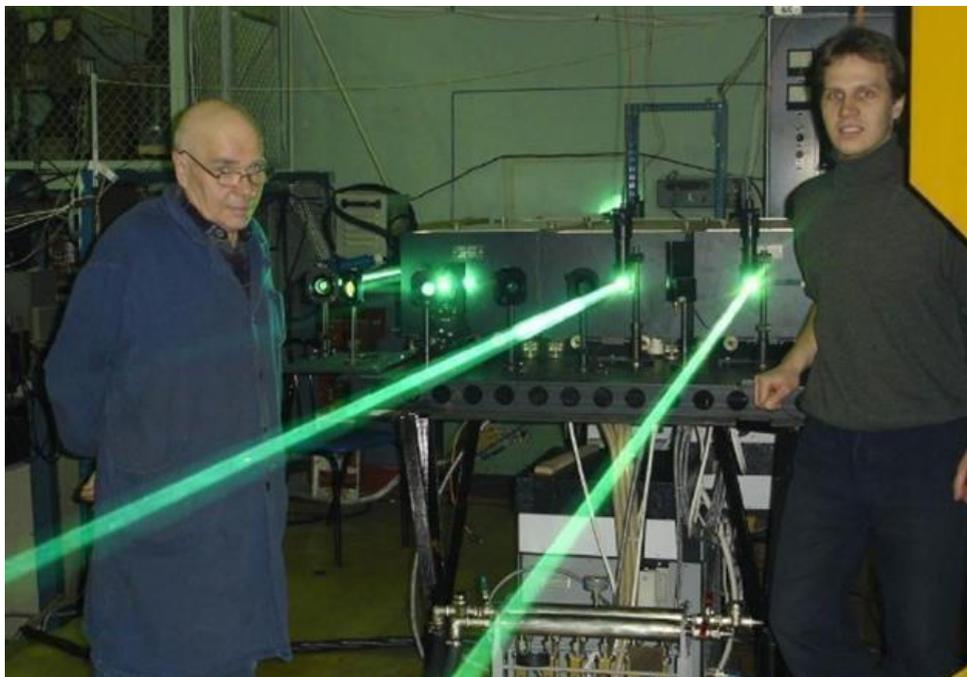


В 2002-2006 гг. Ивановым Ю.М. с сотрудниками при изучении каналирования протонов высоких энергий в упругоквазимозаичных кристаллах кремния на ускорителях ИФВЭ и ПИЯФ был экспериментально обнаружен эффект объемного отражения (Phys. Rev. Lett. 97 (2006) 144801; Письма в ЖЭТФ, 84 (2006) 445–450). Исследование нового эффекта было продолжено в ЦЕРН в рамках проекта H8-RD22, который в 2009 году был преобразован в эксперимент UA9, имеющий целью создание высокоэффективной системы кристаллической коллимации пучков Большого адронного коллайдера.



Слева - В.В. Скоробогатов, изготовивший первые упругоквазимозаичные кристаллы кремния для каналирования. Справа – В.А. Горбунов и Ю.М. Иванов в момент установки кристалла на пучок синхроциклотрона ПИЯФ.

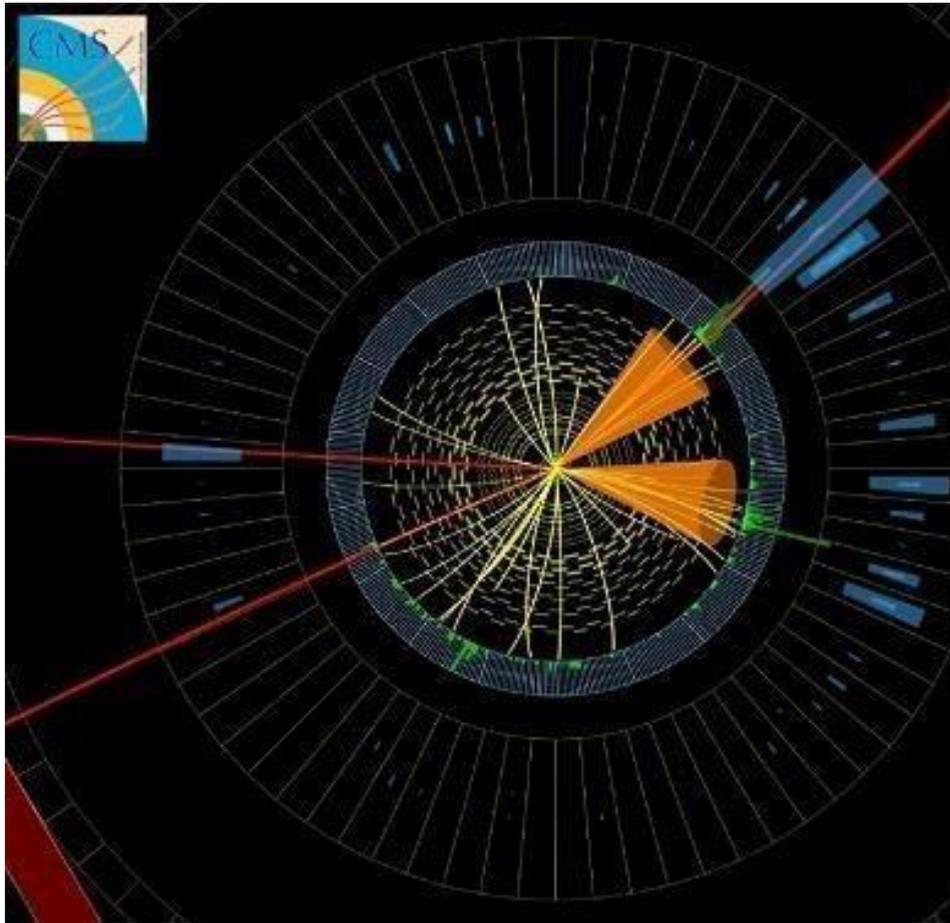
В 2009 г. в ПИЯФ на масс-сепараторном комплексе ИРИС была создана новая лазерная установка [УЛИСС](#), позволяющая селективно ионизовать атомы с высоким потенциалом ионизации. Новая установка существенно расширила возможности исследования ядер, удаленных от полосы бета-стабильности.



Сотрудники Лаборатории короткоживущих ядер В.С. Иванов и П.Л. Молканов за настройкой системы лазеров накачки установки УЛИСС.



В экспериментах [CMS](#) и [ATLAS](#) в 2012 г. был открыт бозон Хиггса – ключевая частица Стандартной Модели (СМ) - современной теории элементарных частиц. О важности этого открытия свидетельствует тот факт, что в связи с обнаружением бозона Хиггса теоретикам Питеру Хиггсу и Франсуа Энглеру, предсказавшим много лет назад существование этой частицы, в 2013 г. была присуждена Нобелевская премия по физике. Среди авторов публикаций об этом открытии – 21 сотрудник ОФВЭ.

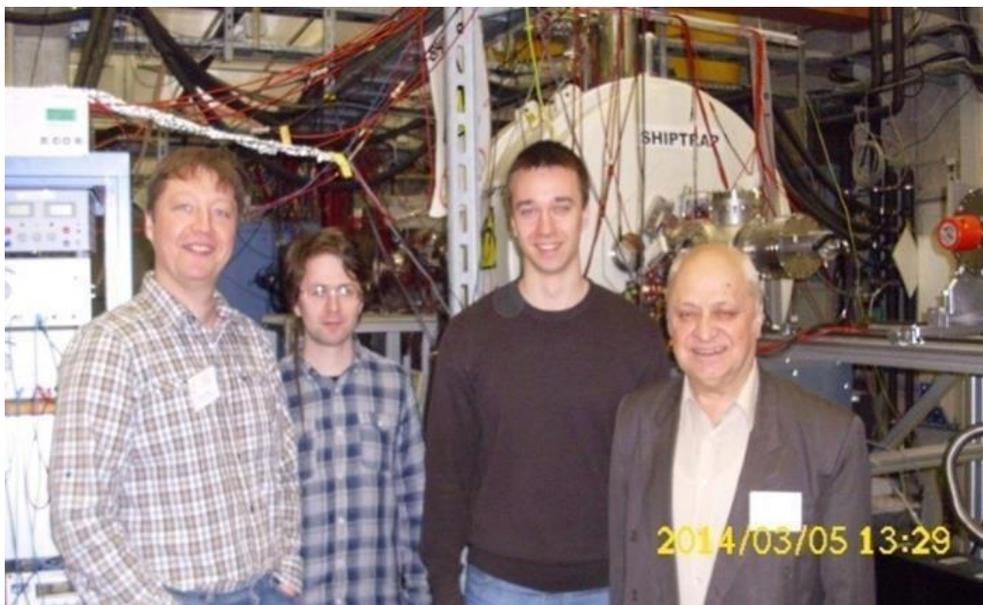


В эксперименте **CMS** при активном [участии физиков](#) ОФВЭ в **2012** году впервые было получено указание на электрослабое образование Z бозона в адронных взаимодействиях при ассоциативном рождении адронных струй. Этот процесс, подтвержденный впоследствии экспериментом ATLAS, чувствителен к вершине самодействия электрослабых бозонов и к возможным проявлениям физики за пределами Стандартной Модели.

В Ядерном центре тяжелых ионов GSI в Дармштадте на установке **SHIPTRAP** были проведены прецизионные измерения масс ядер сверхтяжелых элементов. В ознаменование пионерской деятельности по измерению масс трансфермиевых нуклидов с помощью ионной ловушки профессора М. Block, К. Blaum, [Ю.Новиков](#) и Н.-J. Kluge в **2013** г. были удостоены [Международной премии им. Г.Флерова](#).



В **2012-2013** г.г. сотрудник Лаборатории физики экзотических ядер С. Елисеев предложил и осуществил технически принципиально новый метод регистрации резонансной частоты в ловушке, используя метод фазового отображения сигнала. Это позволило в несколько раз улучшить точность измерения масс на установке SHIPTRAP. Метод получил мировое признание и был взят на вооружение в различных лабораториях: на ISOLDE, JYFLTRAP (с помощью Д. Нестеренко), TRIGATRAP в Университет Майнца (при посредничестве С. Ченмарева).



Сотрудники ЛФЭЯ после эксперимента на установке SHIPTRAP.
Слева-направо: С.А.Елисеев, Д.А.Нестеренко, П.Филянин и Ю. Новиков.

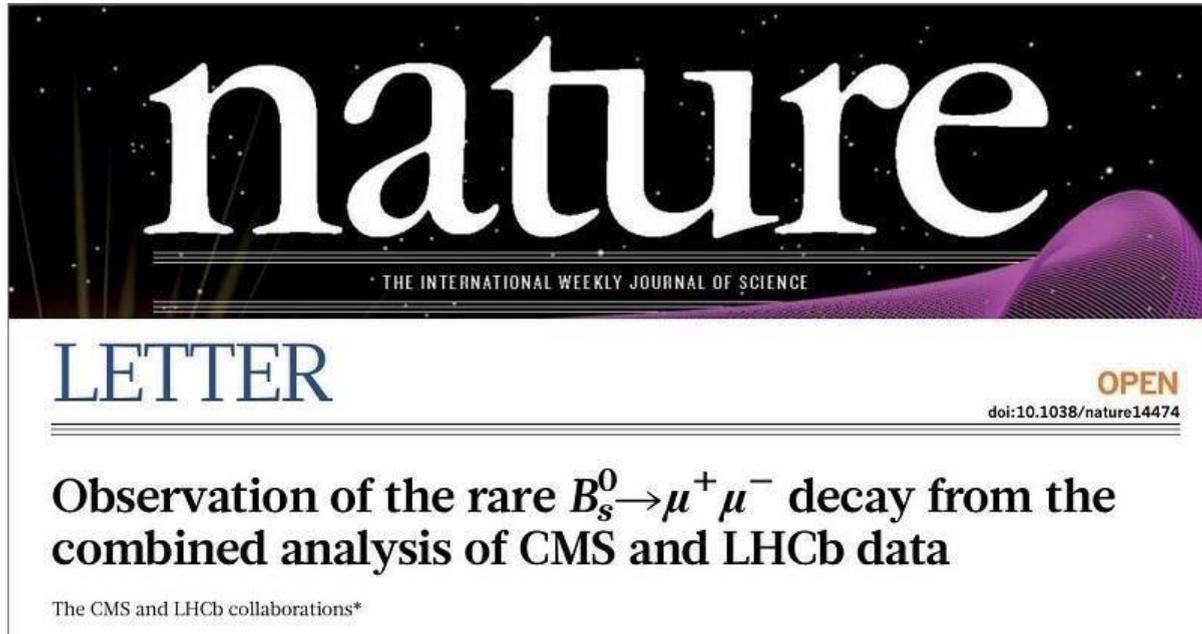
В **2012** году ЛФЭЯ ОФВЭ ПИЯФ вошла в проект ЕСНО (Electron Capture by Holmium), главной целью которого является измерение массы нейтрино. В этом проекте главной зоной ответственности является измерение разности масс нуклидов ^{163}Ho и ^{163}Dy с точностью в 1эВ, выполненное на запущенном в 2018 году комплексе ионных ловушек PENTATRAP в институте М.Планка в Гейдельберге (Германия).



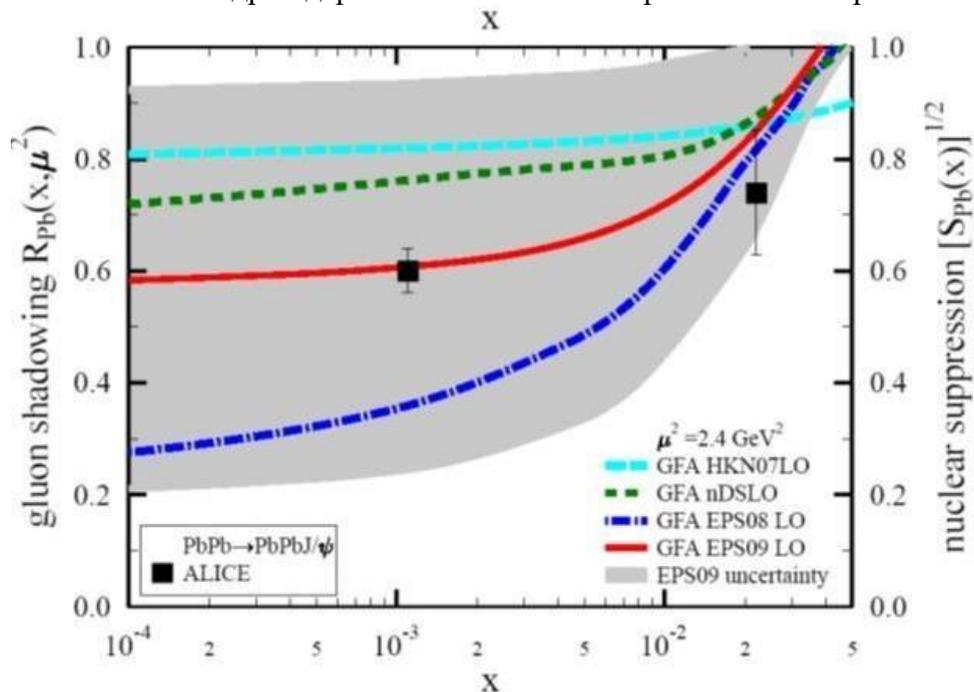
ЕСНО collaboration meeting June 2021

- Организационное собрание в университете Гейдельберга по созданию коллаборации ЕСНО.
Второй справа – Ю.Новиков, пятый справа – С.Елисеев.

В эксперименте LHCb при активном участии физиков ОФВЭ в 2013 г. впервые было получено указание на распад B_s мезона на два мюона. Согласно Стандартной Модели (СМ), такой распад может происходить с очень малой вероятностью. Величина вероятности распада B_s мезона на два мюона, определенная совместно экспериментами LHCb и CMS, согласуется со СМ. Полученный результат закрывает ряд новых теорий и является сильным аргументом в пользу расширения области применимости СМ: (<https://www.nature.com/articles/nature14474>):



В 2013–2014 гг. при значительном вкладе сотрудников ОФВЭ (М.Б. Жалов, В.В. Иванов, Е.Л. Крышень, М.В. Малаев, В.Н. Никулин, В.М. Самсонов, А.В. Ханзадеев) в эксперименте ALICE в ультра-периферических столкновениях ядер свинца впервые было измерено сечение фоторождения J/ψ мезонов на ядре при энергии на нуклон $W_{\text{yp}} \approx 90$ ГэВ в системе центра масс фотон-ядерного взаимодействия. Теоретический анализ этих данных (М.Б. Жалов, Е.Л. Крышень, В.А. Гузей и М.И. Стрикман) позволил практически безмодельным способом впервые оценить экранировку ядерных глюонов в тяжелых ядрах в области малых x (черные маркеры при $x \approx 0.02$ и $x \approx 0.001$). Сравнительно малые ошибки в извлеченном факторе подавления позволяют существенно снизить характерные для предсказаний в рамках Глобальных Анализов партонных распределений в ядрах неопределенности в величине ядерных глюонных экранировок. Прецизионное знание ядерных глюонных экранировок исключительно важно для оценки множества жестких КХД процессов на ядрах и при исследовании механизмов формирования Кварк-Глюонной Плазмы в ядро-ядерных столкновениях при высоких энергиях.





31 августа – 5 сентября 2015 г. в Санкт-Петербурге состоялась 3-я ежегодная конференция «Физика Большого Адронного Коллайдера (БАК)» — The Third Annual Conference on Large Hadron Collider Physics ([LHCP2015](http://lhcp2015.org)), одним из основных организаторов которой являлся НИЦ КИ - ПИЯФ. LHCP2015 – результат слияния и логическое продолжение двух крупнейших научных мероприятий, посвященных обсуждению результатов, полученных на предыдущем поколении коллайдеров. Первые две конференции из новой серии «Физика Большого Адронного Коллайдера» состоялись в мае 2013 г., Барселона, Испания и в июне 2014 г., Нью-Йорк, США.

В работе LHCP2015 приняло участие более 350 ученых из более 35 стран мира. Конференция LHCP2015 объединила представителей всех четырех научных коллабораций БАК (ЦЕРН, Швейцария), а также физиков-теоретиков. Эта конференция стала форумом для активных дискуссий между экспериментаторами и теоретиками по таким темам, как физика Стандартной модели и за ее пределами, бозон Хиггса, новые частицы и новые взаимодействия, суперсимметрия и физика столкновения тяжелых ионов.

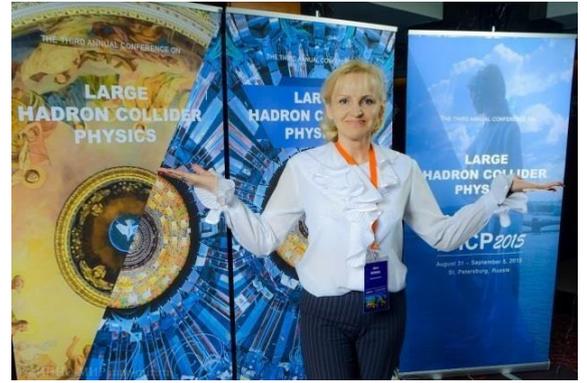
После открытия бозона Браута-Энглера-Хиггса в 2012 г. и двухлетней остановки на модернизацию БАК возобновил свою работу в июне 2015 года. Впервые с момента его создания энергия р-р соударений достигла проектной мощности 13 ТэВ — то есть стала приблизительно соответствовать энергиям, которые имели частицы после одной миллиардной доли секунды от начала Большого взрыва. Это позволяет провести экспериментальную проверку смелых гипотез о структуре пространства-времени и продолжить поиск новых элементарных частиц, составляющих основу Темной материи Вселенной.

Все эксперименты БАК специально к конференции приурочили опубликование новейших результатов при новой максимальной энергии 13 ТэВ, а также новые результаты обработки данных, накопленных в ходе первого сеанса работы БАК.

Выбор Санкт-Петербурга в качестве принимающего LHCP2015 города стал для России не только огромной честью, но и своеобразным признанием того значительного вклада, который вносят российские ученые, инженеры и программисты как в проекты, связанные с БАК, так и со всем комплексом ЦЕРН, крупнейшей в мире лаборатории фундаментальной физики микромира.

<http://hepd.pnpi.spb.ru/lhcp2015/>





6 сентября 2015г. НИЦ КИ – ПИЯФ совместно с ЦЕРН, РАН, СПбПУ, СПбГУ и МГУ провели приуроченное к конференции LHCP2015 научно-популярное мероприятие “[LHCP2015 Outreach Event](http://hepd.pnpi.spb.ru/lhcp2015/outreach/)” в СПбПУ, которое посетило более 250 школьников и студентов Санкт-Петербурга. Ведущие мировые ученые - академик В.А. Рубаков (ИЯИ РАН), профессор Г. Мицельмахер (Ун. Флориды), Т. Куртыка (ЦЕРН) и другие прочитали научно-познавательные лекции, в которых рассказали о работе на БАК и путях привлечения российской молодёжи в науку, физике элементарных частиц, настоящем и будущем физики высоких энергий и провели общую дискуссию в формате «вопрос-ответ».

<http://hepd.pnpi.spb.ru/lhcp2015/outreach/>

В коллаборации UA9 при активном участии Ю.М. Иванова с сотрудниками Лаборатории кристаллооптики заряженных частиц ОФВЭ в 2015 г. на пучках Большого Адронного Коллайдера (БАК) были проведены эксперименты по каналированию в изогнутых кристаллах протонов с энергией 450 ГэВ и 6,5 ТэВ и ионов с энергией 450 ГэВ. Впервые было продемонстрировано каналирование частиц столь высокой энергии и подтверждена возможность кристаллической коллимации пучков в БАК.



Ю.А.Гавриков в момент настройки гониометра с кристаллом в туннеле ускорителя ЦЕРН.

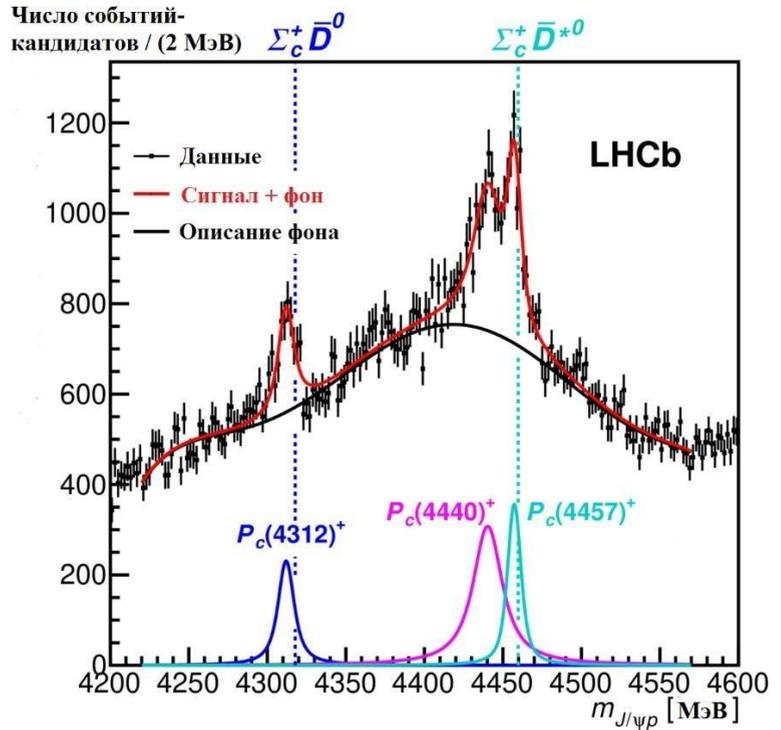


С мая 2017 года [А.А. Воробьев](#), профессор, доктор физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН назначен [научным руководителем](#) Отделения физики высоких энергий Петербургского института ядерной физики имени Б.П.Константинова НИЦ «Курчатовский институт».

В 2017 г. на должность руководителя Отделения физики высоких энергий Петербургского института ядерной физики имени Б.П.Константинова НИЦ «Курчатовский институт» был назначен заведующий [Лабораторией адронной физики](#), доктор физ.-мат. наук [О.Л. Федин](#).

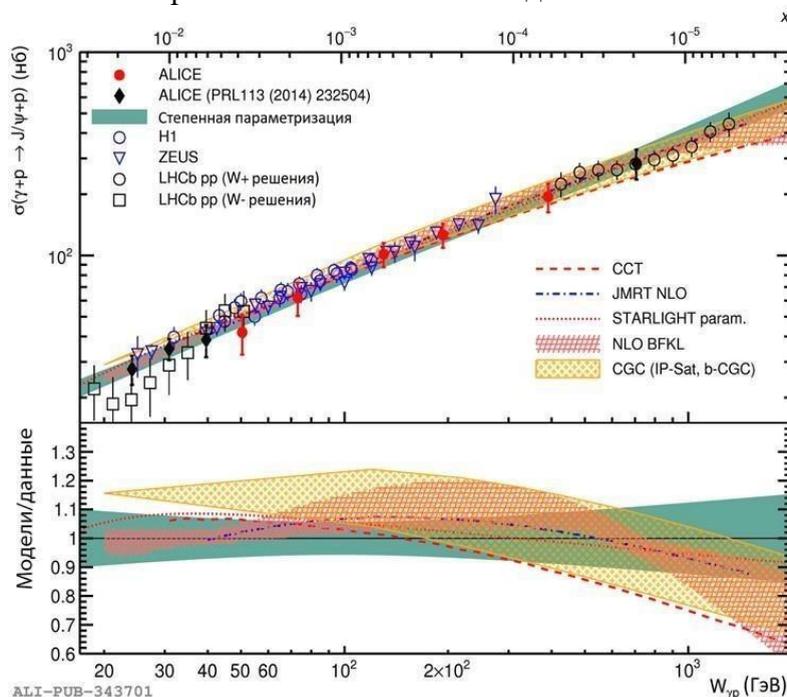


В **2014-2019** гг. экспериментом LHCb было достоверно установлено существование экзотических адронных состояний: пентакварков и тетракварков, характеризующихся скрытым очарованием. Их регистрация стала возможной благодаря стабильной работе Мюонной Системы [детектора](#), разработанной, созданной, введённой в эксплуатацию и поддерживаемой группой сотрудников Отделения (руководитель группы А.А. Воробьев):



В **2017- 2019** гг в экспериментах LHCb и ALICE при значительном вкладе сотрудников ОФВЭ и ОТФ ПИЯФ (Г.Д.Алхазов, Н.Ф. Бондарь, А.А. Воробьев, А.А. Дзюба, М.Б. Жалов, В.В. Иванов, С.Н.Котряхова, Е.Л. Крышень, О.Е. Маев, М.В. Малаев, В.Н. Никулин, М.Г. Рыскин, В.Г. Рябов, Ю.Г. Рябов, Н.Р. Сагидова, В.М. Самсонов, А.В. Ханзадеев, А.Д. Чубыкин) впервые измерено сечение жесткого эксклюзивного адронного процесса $\gamma p \rightarrow J/\Psi p$ при энергиях $W_{\gamma p}$ от 20 ГэВ до 2 ТэВ. Это позволило изучить поведение глюонной плотности в нуклоне в области $2 \cdot 10^{-2} \geq x \geq 2 \cdot 10^{-6}$.

Результаты измерений и их сравнение с теоретическими расчетами показали, что даже при столь малых $x \approx 2 \cdot 10^{-6}$ явных признаков наступления режима насыщения глюонной плотности в нуклоне в энергетической зависимости измеренных сечений не наблюдается.



Вместе с тем, предсказанное в NLO БФКЛ значение интерсепта жесткого БФКЛ померона позволяет описать поведение измеренного сечения степенной зависимостью $\sigma_{(\gamma p \rightarrow J/\psi p)} \propto s^{0.3}$ в области энергий $0.4 \text{ ТэВ} \leq \sqrt{s} \leq 2 \text{ ТэВ}$. Сравнение результатов **LHCb** и **ALICE** с более детальными расчетами в NLO БФКЛ действительно демонстрирует разумное описание роста сечения с энергией, являясь наглядным проявлением БФКЛ физики с конформным нулевым спином - роли БФКЛ померона в жестких КХД процессах при высоких энергиях.

Значительным был также вклад сотрудников ОФВЭ В.Г. Рябова, Ю.Г. Рябова и М.В. Малаева в измерение и анализ выходов адронных резонансов в центральных ядро-ядерных столкновениях в эксперименте **ALICE** на LHC. Полученные результаты позволили более детально исследовать процесс эволюции экстремального состояния ядерного вещества с момента адронизации кварк-глюонной плазмы до свободного разлета рожденных в этом процессе частиц, т.е. фактически определить характерные времена жизни адронной фазы.

В **2019-2020** гг. благодаря беспрецедентной точности в измерении масс, достигнутой на **PENTATRAP**, при участии ЛФЭЯ ОФВЭ, удалось идентифицировать в $^{187}\text{Re}^{29+}$ и $^{187}\text{Os}^{30+}$ новое явление - долгоживущей высокоспиновой атомной изомерии. Оно наблюдалось впервые и было объяснено попаданием спина внешнего электрона в своеобразную «спиновую ловушку». Результаты опубликованы в журнале Nature 581 (2020) 42-46.

С. Елисеев с камерой ловушек PENTATRAP. Рядом – директор института М.Планка профессор, доктор К.Блаум.

