



История Отделения физики высоких энергий (ОФВЭ, Отделение), началась в стенах Ленинградского Физико-Технического Института (ЛФТИ). Вскоре после решения правительства об организации в Гатчине филиала ЛФТИ, специально ориентированного на исследования в области ядерной физики, и решения о сооружении там протонного синхротрона на рекордную для этого типа ускорителей энергию 1000 МэВ, **в 1963 году было принято решение об образовании лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ), основу которой составил коллектив лаборатории рентгеновских и гамма-лучей ЛФТИ.**



*Академик УССР
А. П. Комар*



*Член корреспондент РАН
А. А. Воробьев*

Первым заведующим ЛФВЭ стал академик УССР А. П. Комар, руководивший этой лабораторией вплоть до 1971 года. Затем Отделение возглавил член-корреспондент РАН А. А. Воробьев.

Отделение физики высоких энергий сегодня - это зрелый и дружный коллектив, состоящий из **134 сотрудников**. В их числе **72 научных сотрудника** (из них **12 докторов наук, 33 кандидата наук**), **43 инженерно-технических работника, 19 рабочих и лаборантов.**

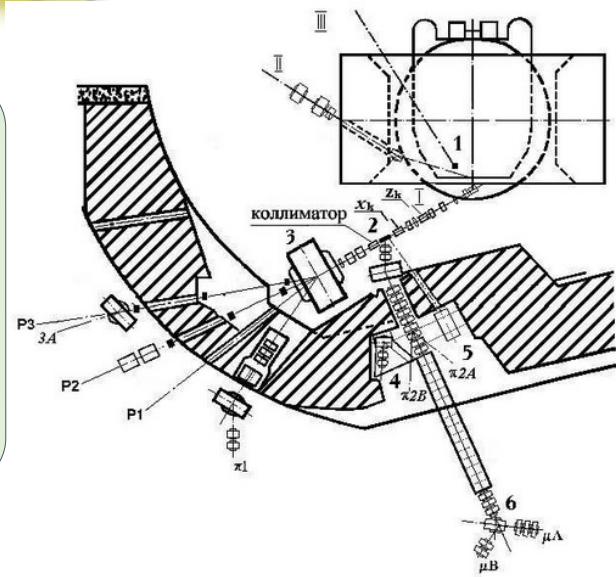


Синхроциклотрон на энергию протонов 1000 МэВ



Синхроциклотрон СЦ-1000 с интенсивностью выведенного протонного пучка 1 мкА **запущен в эксплуатацию в 1970 году и является базовой экспериментальной установкой института.** Распоряжением Правительства РФ №2125-р от 30 декабря 2009 г. синхроциклотрон включен в Перечень уникальных ядерно-физических установок.

Схема трактов транспортировки пучков синхроциклотрона



- I - основной протонный пучок
- II - второй параллельный пучок протонов
- III - нейтронный пучок
- 1 - нейтрон образующая мишень
- 2 - внешняя мезон образующая мишень
- 3 - разводящий магнит СП-40
- π1 - π-мезонный канал высоких энергий
- 4-π2B, 5-π2A - направления вывода π-мезонных пучков низких энергий
- 6 -μA, μB - направления вывода пучков μ-мезонов

На базе синхроциклотрона действует центр коллективного пользования «Гатчинский Протонный Комплекс», который специализируется на фундаментальных и прикладных работах, связанных с использованием протонных пучков синхроциклотрона



Изучение тройного деления ядер

В 1966 г. под руководством А.А. Воробьева был разработан и установлен на канале реактора ВВР-М время-пролетный магнитный спектрометр. Были проведены измерения инклюзивных энергетических спектров легких ядер, испускаемых в процессе тройного деления. Выполненный кинематический анализ показал, что **начальные осколки имеют достаточно высокую энергию (~30 МэВ)**, что исключает статистическую модель деления ядер и следовательно надо развивать динамическую модель деления ядер.

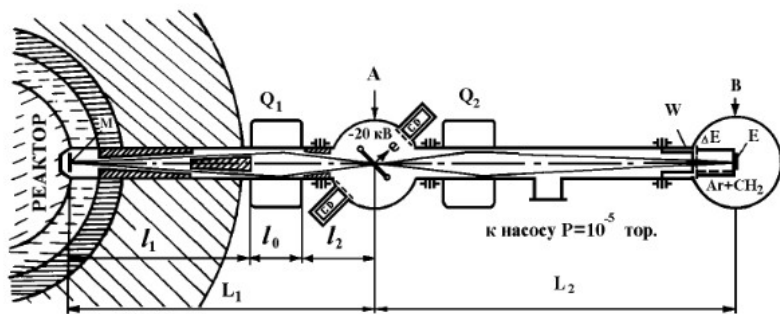
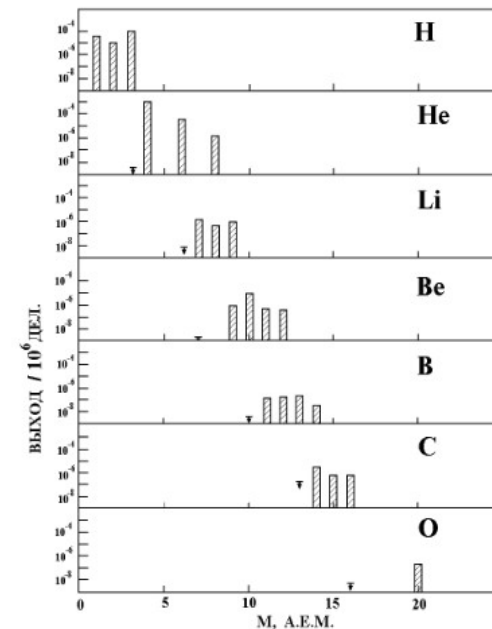
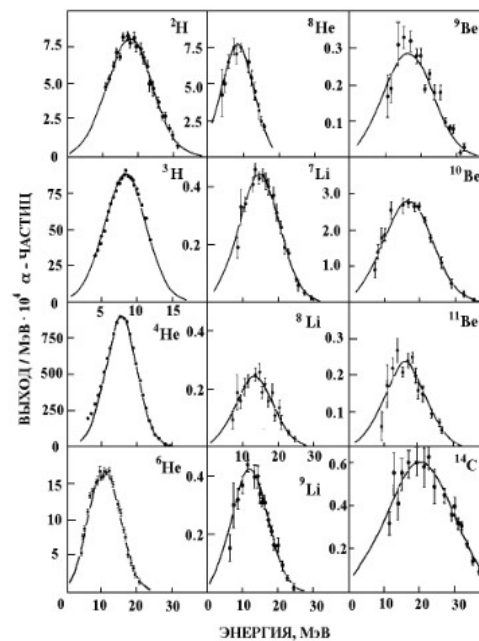


Схема магнитно-пролетного масс спектрометр
M – мишень из делящегося вещества;
Q₁ и Q₂ – дублеты квадрупольных линз;
CD - сцинтилляционный детектор электронов вторичной эмиссии;
W – вакуумно-плотное окно толщиной 50 мкг/см²;
E - полупроводниковый детектор;
ΔE – ионизационная камера с сеткой при давлении (50 ÷ 200) Тор.



Энергетические и массовые распределения легких ядер, полученные в делении ²³⁹Pu тепловыми нейтронами.



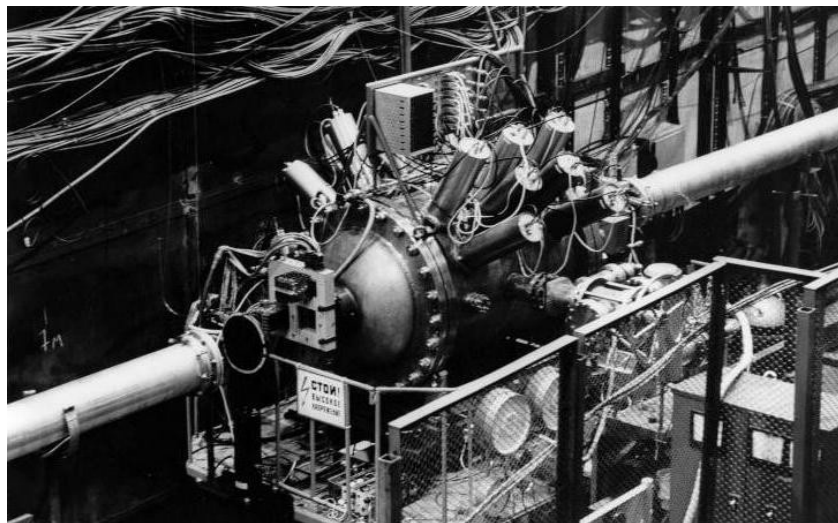
Измерения дифференциальных сечений упругого pp -рассеяния на малые углы



В 1972 г. группой А.А. Воробьева было завершено создание установки **ИКАР**, использовавшейся на синхроциклотроне для измерения дифференциальных сечений упругого pp -рассеяния на малые углы в диапазоне энергий 500–1000 МэВ. В результате **было определено отношение реальной части амплитуды pp -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 1975 г. были проведены эксперименты по измерению упругого π - p и π - ${}^4\text{He}$ рассеяния при энергии 40 ГэВ в ИФВЭ (Протвино).**



Сотрудники ОФВЭ у корпуса первой модификации камеры ИКАР.



Установка ИКАР для измерения упругого pp рассеяния на ускорителе У-70 в ИФВЭ (Протвино)

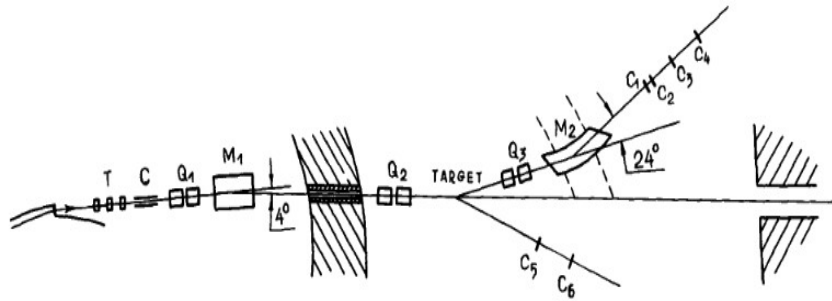


Участники эксперимента в ИФВЭ

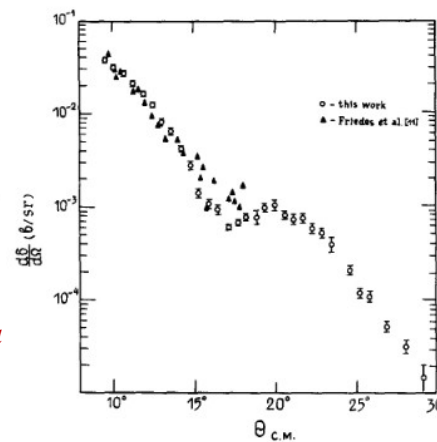


С. Л. Белостоцкий

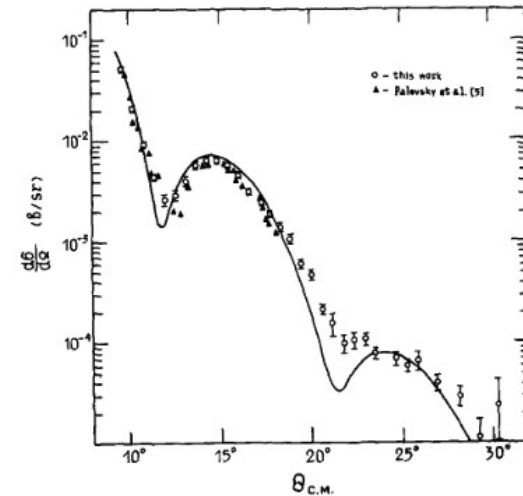
В 1971 г. С. Л. Белостоцким с сотрудниками было завершено создание магнитного спектрометра МАП и начались измерения дифференциальных сечений упругого рассеяния протонов с энергией 1 ГэВ на ядрах. Анализ измеренных сечений с помощью теории многократного рассеяния Глаубера позволил **получить информацию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



Экспериментальная установка: спектрометр МАП и система транспортировки протонного пучка. С — коллиматор, Т, Q1, Q2 — квадрупольные магнитные линзы, а M1 — изгибающий магнит системы транспортировки пучка. Q3 и M2 — квадрупольные магнитные линзы и магнит магнитного спектрометра.



Дифференциальное сечение для неупругого рассеяния протонов с энергией 1 ГэВ на ^{12}C с возбуждением уровня 4,43 МэВ.



Дифференциальное сечение упругого рассеяния протонов с энергией 1 ГэВ на ^{40}Ca .



В течение 1972 – 1980 гг. на СЦ-1000 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.

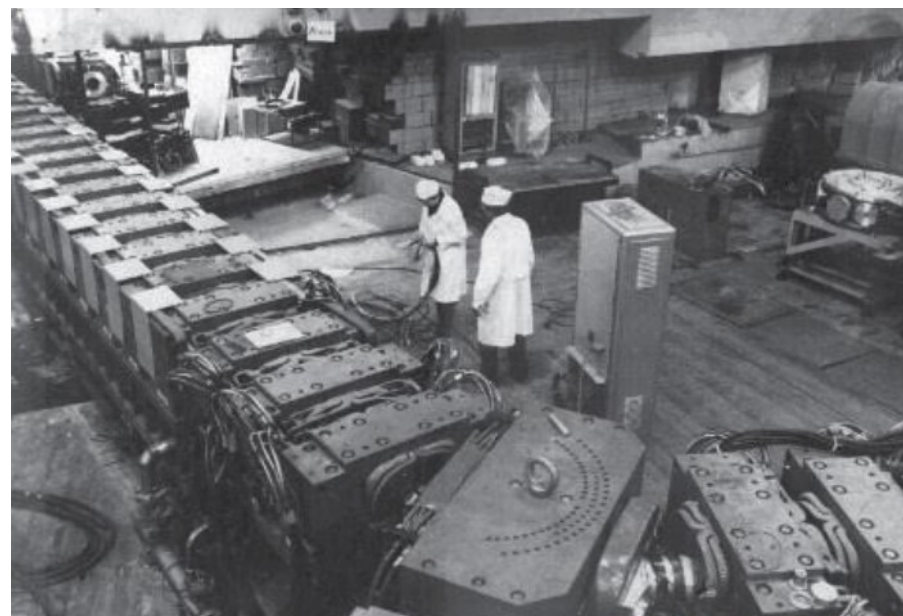
Мезонные пучки СЦ-1000

Частицы	P, МэВ/с	□P/P, %	Интен., част/сек	Канал
□ ⁺ □ ⁻	450 450	6 6	10 ⁶ 6×10 ⁶	π1-канал ахром. режим
□ ⁻ □ ⁺	250 250	2,5÷12 2,5÷12	10 ⁵ ÷5×10 ⁵ 3×10 ⁵ ÷10 ⁷	π2-канал ахром. режим
□ ⁺	29	12	3×10 ⁴	Поверхностные мезоны
□ ⁻ □ ⁺	160 170	10 10	9×10 ⁴ 3×10 ⁵	Сепарированные пучки

Нейтронный пучок СЦ-1000

Энергия, МэВ	Интен., част/сек	Длительность имп., нс	Частота, гц
10 ⁻² ÷8×10 ²	3×10 ¹⁴	10	50

Мюонный канал СЦ-1000

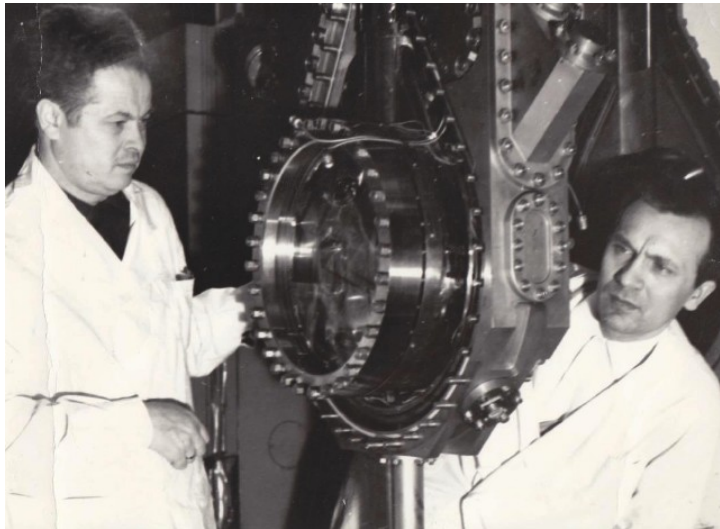




Измерение разницы масс изобар Δ^- и Δ^{++}



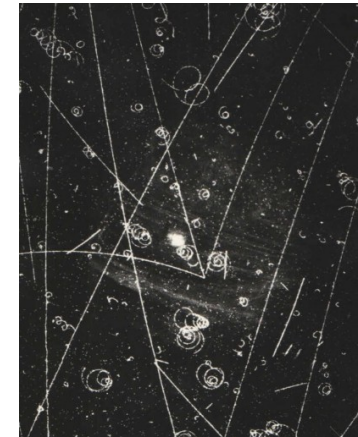
В 1972 г. группа Г.Л. Соколова сектора М.М. Макарова завершила создание жидководородной пузырьковой камеры, наполняемой водородом и дейтерием. С ее помощью начались исследования π^-p , π^+p , pp и pn взаимодействий. Были измерены сечения рождения π -мезонов на нейтроне при нескольких энергиях в околопороговой области. **В 1976 году была измерена разность масс изобар Δ^- и Δ^{++} : $(5,9 \pm 3,1)$ МэВ**, что в два раза улучшило точность предыдущего эксперимента



Монтаж криогенной пузырьковой камеры основными ее создателями Г.Л. Соколовым (слева) и В.И. Медведевым (справа).



Коллектив криогенного отдела, создавший водородную пузырьковую камеру и обеспечивавший ее работу в экспериментах



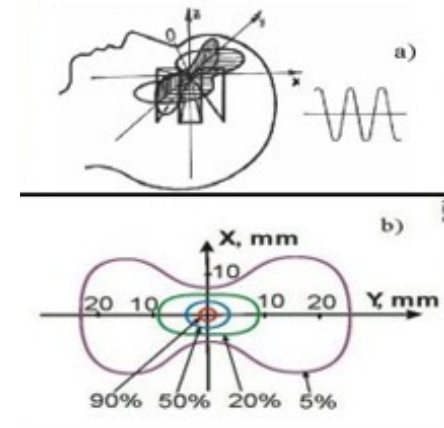
Типичный пример фотоснимка с водородной пузырьковой камеры, находящейся в магнитном поле и облученной пучком нейтронов. На снимке хорошо просматривается событие реакции $pn \rightarrow ppn$



Медицинский протонный комплекс



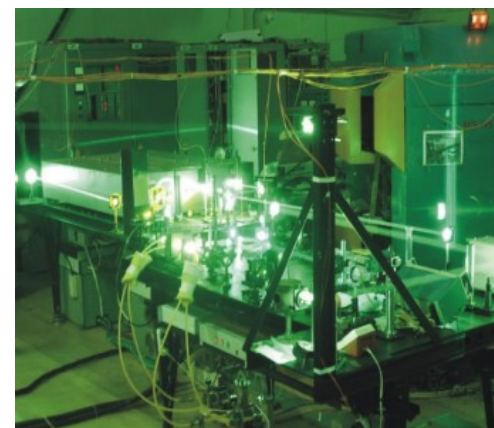
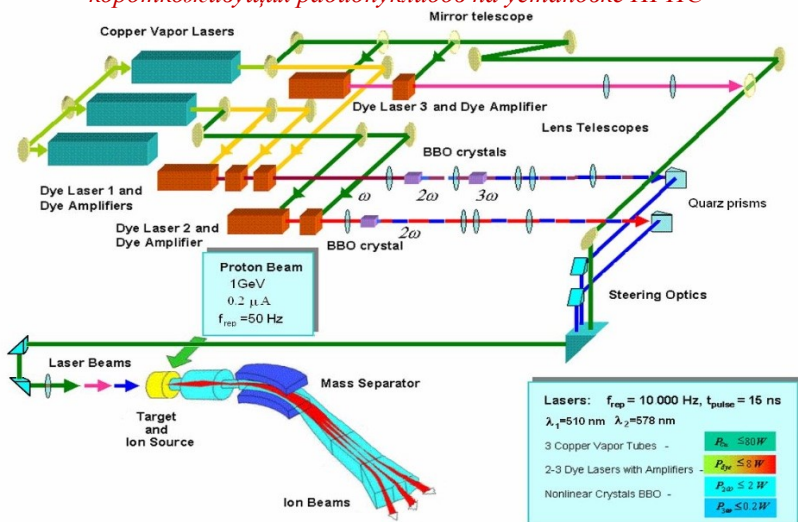
В 1975 г. был создан медицинский протонный комплекс, включающий медицинский протонный тракт и зал облучения пациентов, и было начато лечение больных методом облучения протонами с энергией 1 ГэВ напролет - так называемый «Гатчинский метод» (высокое отношение дозы в центре облучаемого объекта к дозе на поверхности головы – до 200).
За 1975–2013 гг. курс лечения заболеваний головного мозга прошли 1394 больных.





Одним из наиболее эффективных и универсальных методов производства интенсивных радиоактивных ионных пучков изотопов различных элементов Периодической системы для проведения различных физических экспериментов является метод ISOL (Isotope Separator On-Line), использующий масс-сепаратор в линию с ускорителями протонов большой интенсивности и энергией около 1 ГэВ. **Первая в СССР Isotope Separator On-Line (ISOL) установка ИРИС (Исследование Радиоактивных Изотопов на Синхроциклотроне), была создана в ПИЯФ в 1975 г. под руководством Э. Е. Берловича.**

Схема универсальной лазерной системы резонансной ионизации короткоживущих радионуклидов на установке ИРИС



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. Использование этого источника позволило повысить на несколько порядков чувствительность метода лазерной спектроскопии. Лазерный ионный источник стал широко использоваться как в ПИЯФ, так и в зарубежных установках, в том числе на установке ISOLDE в ЦЕРН.

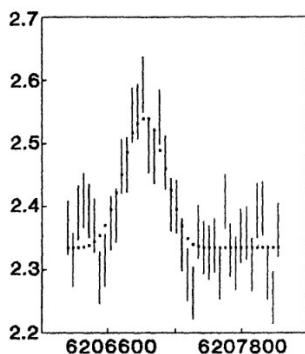
За время работы комплекса обнаружено и исследовано около 300 ядер удаленных от полосы β - стабильности, 17 из которых были открыты и исследованы впервые. В области атомных чисел $A = 140-180$, обнаружена резонансная структура силовых функций β -распада ядер.



Исследования рентгеновского излучения адронных атомов



А. И. Смирнов



*Спектр рентгеновской линии
перехода 5g-4f в $\Sigma^{-12}\text{C}$
атоме в левом положении
прибора. По оси X угловые
показания интерферометра.
По оси Y счет с детектора
на 10^{12} протонов. Точки
результат фитирования.*

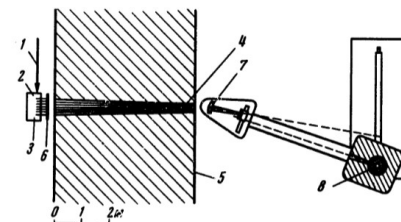
В ПИЯФ была разработана новая кристалл-дифракционная методика исследования рентгеновского излучения адронных атомов, основанная на использовании в качестве источника излучения мишени, облучаемой первичным протонным пучком - "Gatchina type target". В 1975 г. этим методом А. И. Смирновым в эксперименте, выполненном в ПИЯФ на пучке протонов с энергией 1 ГэВ, с помощью созданного кристалл-дифракционного спектрометра с рекордной в то время точностью была измерена масса π -мезона. В последующих опытах в ИФВЭ в 80-х годах на пучке протонов с энергией 70 ГэВ были выполнены измерения масс K -мезона и Λ -гиперона, которые остаются наиболее точными до настоящего времени. Исследования π -мезоатомов были продолжены в PSI (Швейцария).

Результаты измерения масс K -мезона и Λ -гиперона остаются наиболее точными до настоящего времени

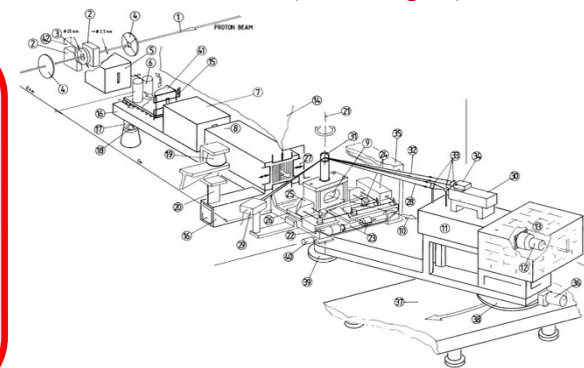
$$M_K = 493.696 \pm 0.007 \text{ МэВ.}$$

$$M_\Lambda = 1107.45 \pm 0.04 \text{ МэВ}$$

*Схема расположения
кристалл дифракционного
спектрометра на пучке СЦ-
1000*



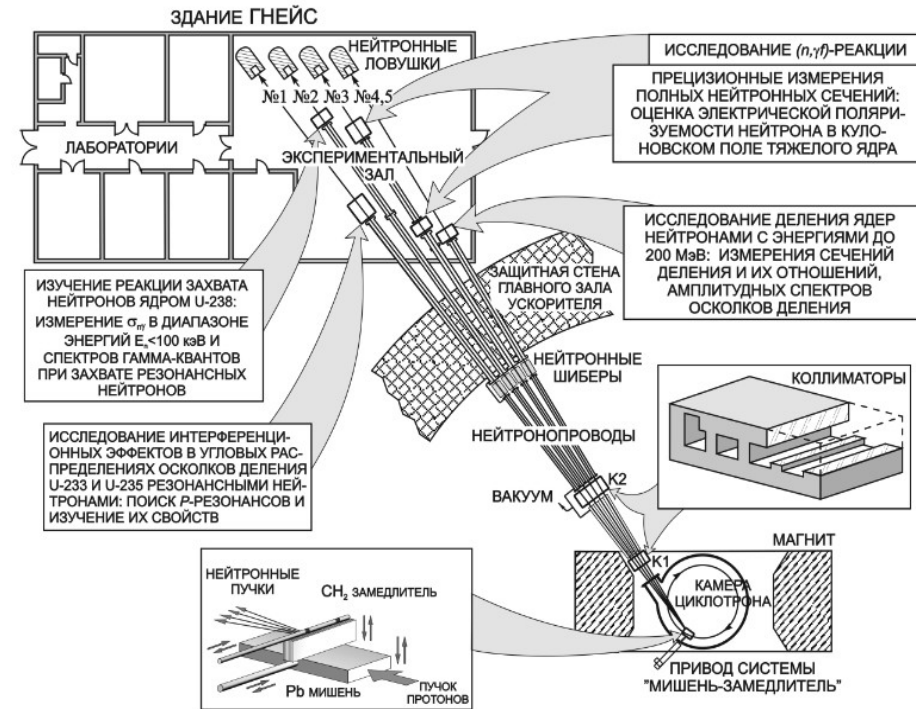
*Схема кристалл
дифракционного спектрометра
по ДюМонду изготовленному в
ПИЯФ для экспериментов с
пионными мезоатомами в PSI
(Швейцария)*





В 1976 г. был запущен время-пролетный нейтронный спектрометр ГНЕЙС, работающий на основе системы однооборотного сброса пучка синхроциклотрона ПИЯФ, предназначенный для исследования взаимодействия нейтронов с ядрами в диапазоне энергий от 10^{-2} эВ до 200 МэВ, а также 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 установкам. На спектрометре ГНЕЙС были выполнены разнообразные ядерно-физические исследования, имеющие как фундаментальный, так и прикладной характер: **измерены сечения деления ядер, измерены угловые распределения и анизотропии осколков деления, измерены сечения и спектры гамма-квантов реакции радиационного захвата, измерены асимметрии типа «вперёд – назад» разлёта осколков деления.**

Общий вид нейтронного спектрометра ГНЕЙС



У входа в ангар ГНЕЙС (слева направо) А.С. Воробьёв, Л.А. Вайшинене, О.А. Щербаков и А.М. Гагарский

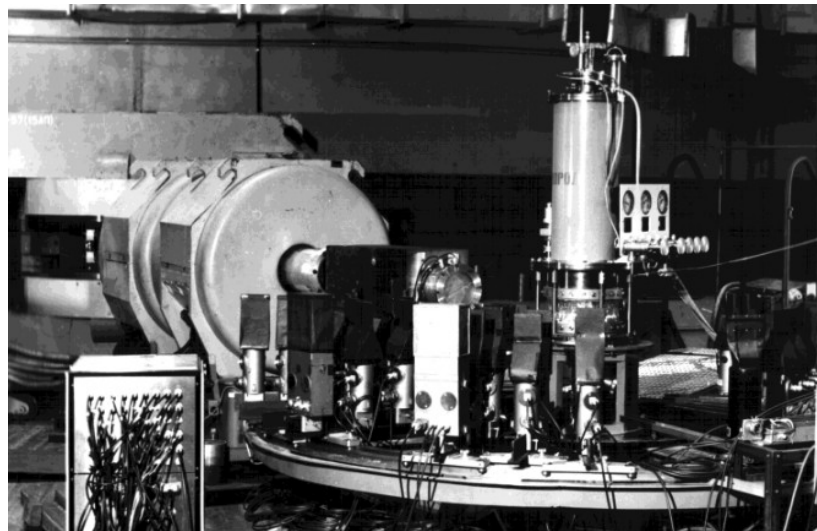


Измерение дифференциальных сечений упругого π -р-рассеяния

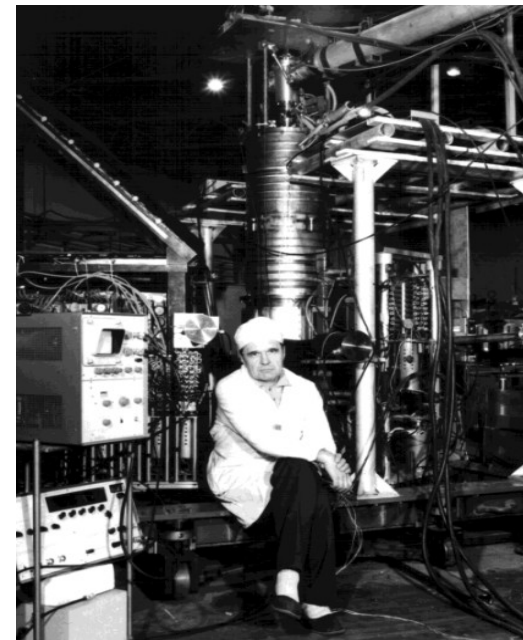


В 1976 г. С.П. Кругловым с сотрудниками были выполнены прецизионные измерения дифференциальных сечений упругого рассеяния π -мезонов на протонах в области энергий 300–600 МэВ на СЦ-1000. **Измерены параметры вращения спина A и R в упругом π -р рассеянии.** Эти результаты легли в основу фазового анализа π -р-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.

С.П. Круглов



Фотография жидко-водородной мишени и многоканального годоскопа сцинтилляционных счётчиков.



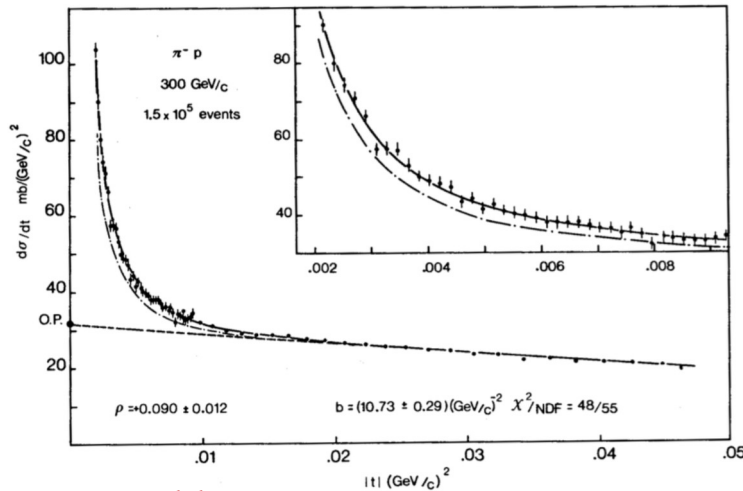
Общий вид экспериментальной установки для измерения параметров поворота спина



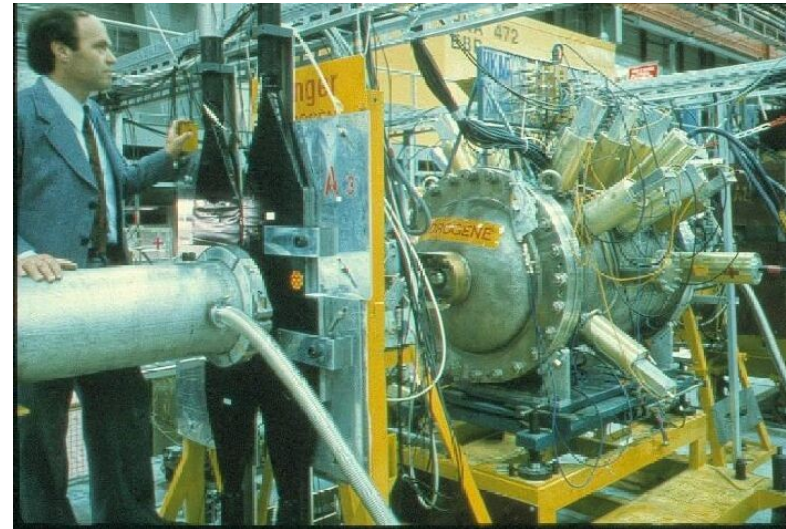
Измерения сечений малоуглового pp - и p - рассеяния



В 1976–1980 гг. группой Воробьева А.А. с помощью установки ИКАР были проведены **измерения сечений малоуглового pp - и p -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.**



Измеренное дифференциальное сечение pp -рассеяния при энергии 300 ГэВ. Пунктирно штриховой линией показана теоретическая зависимость при $\rho=0$ (отношение действительной к мнимой части амплитуды рассеяния вперед), b -логарифмический наклон дифференциального адронного упругого сечения

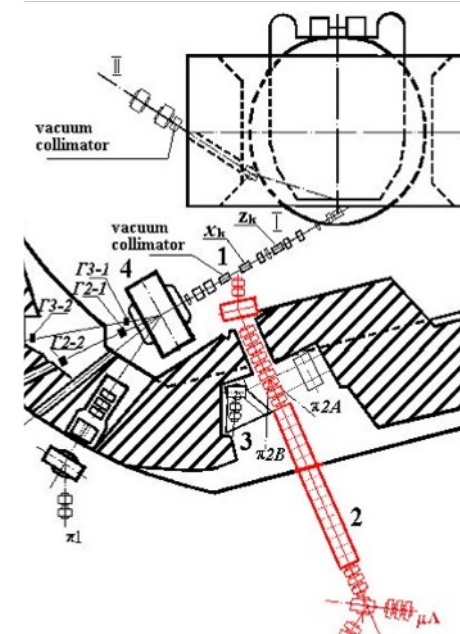


Установка ИКАР для измерения упругого pp - и p -рассеяния на ускорителе SPS в ЦЕРН



В 1978 г. на мюонном канале синхроциклотрона под руководством В.А. Гордеева и В.П. Коптева была создана μ SR установка для исследования магнитной структуры конденсированных сред методом вращения спина мюона. На μ SR-установке исследовались (С.И. Воробьевым с сотрудниками) высокотемпературные сверхпроводники, магнетизм в материалах с памятью формы (сплавы $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$), сплавы со случайным конкурирующим взаимодействием ($\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Cr}$, $\text{Pd}_{0,984}\text{Fe}_{0,016}$) $_{0,95}\text{Mn}_{0,05}$), взаимодействие ферроэлектричества и ферромагнетизма (редкоземельные манганиты, манганаты и ортоферриты), магнитные свойства феррожидкостей с наночастицами Fe_3O_4 и CoFe_2O_4 в воде и в эластомерной полимерной матрице.

В настоящее время исследования μ SR-методом в РФ ведутся только в ПИЯФ на СЦ-1000.



μ SR установка.



С 1973 г. по 2008 г. физики ОФВЭ активно участвовали в нескольких экспериментальных программах, выполнявшихся в ядерном центре Saclay (Франция) на ускорителях Saturne I и Saturne II. Были **измерены дифференциальные сечения упругого и неупругого рассеяния протонов с энергией 1 ГэВ на ряде ядер изотопов Ca, Ni, и Ti**. С помощью ионизационного спектрометра ИКАР исследовалось малоугловое рассеяние поляризованных нейтронов на протонах при энергии нейтронов 378–1135 МэВ. В эксклюзивном эксперименте с полным восстановлением кинематики реакции исследовался процесс развала поляризованных дейтронов с энергией 2 ГэВ при их взаимодействии с жидководородной мишенью. С помощью созданного в ПИЯФ трекового детектора установки SPES4-π было исследовано рассеяние α-частиц с энергией 4 ГэВ на ядрах водорода с целью изучения Роперовского резонанса.



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.



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

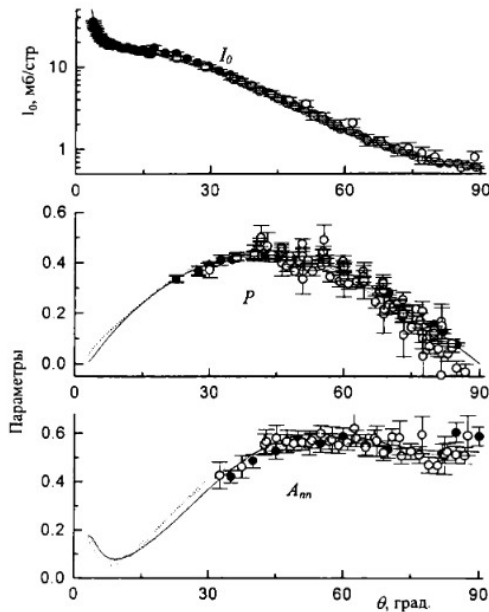


Измерение поляризационных параметров в упругом pp рассеянии

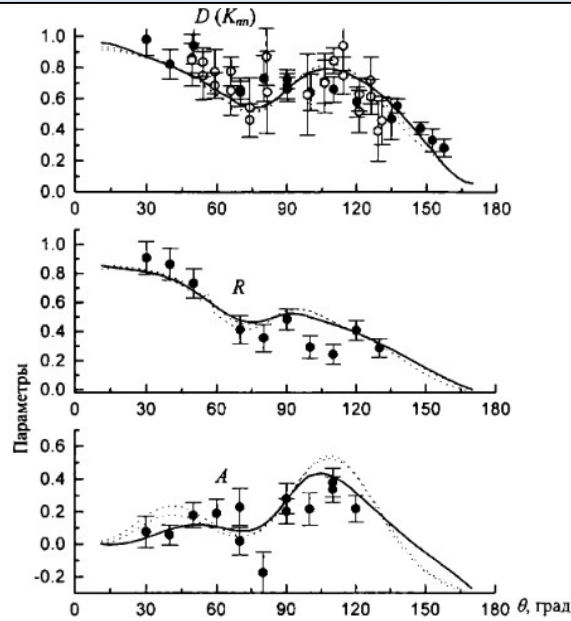


В. Г. Вовченко

В 1980–1988 гг. В. Г. Вовченко с сотрудниками 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.



I_0 , P и A_{nn} при энергии 1.0 ГэВ. Анализ ПИЯФ – сплошная линия, точечная линия - Phys. Rev. C 62 034005-1, 2000, экспериментальные данные ПИЯФ - темные кружки, другие данные - светлые кружки.



Параметры $D(K_m)$, R и A при энергии 1.0 ГэВ. Анализ ПИЯФ - сплошная линия, точечная линия - Phys. Rev. C 62 034005-1, 2000, экспериментальные данные ПИЯФ - темные кружки, данные Сакле - светлые кружки.

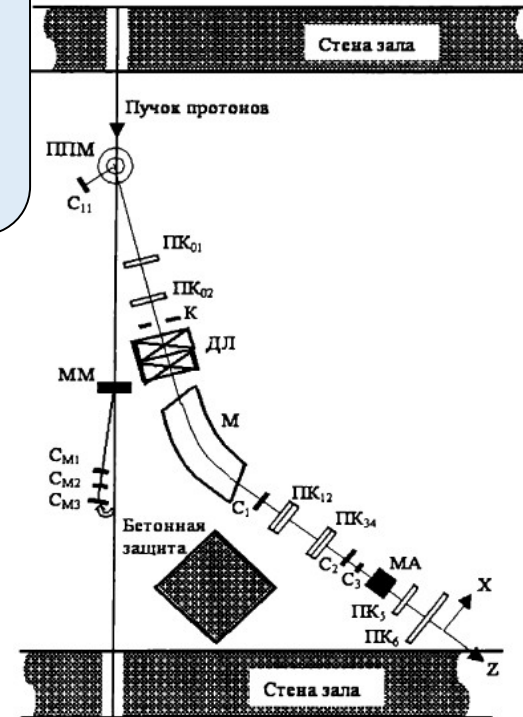
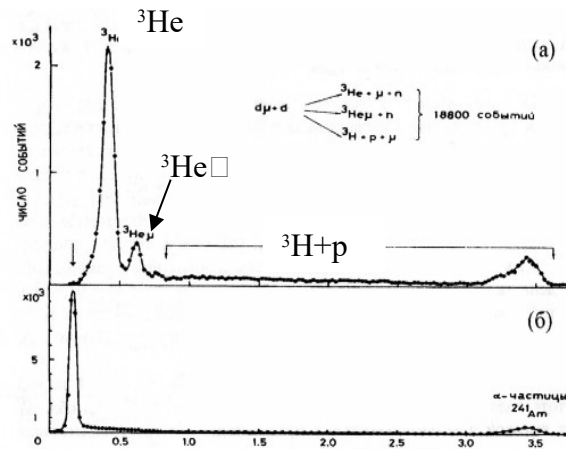
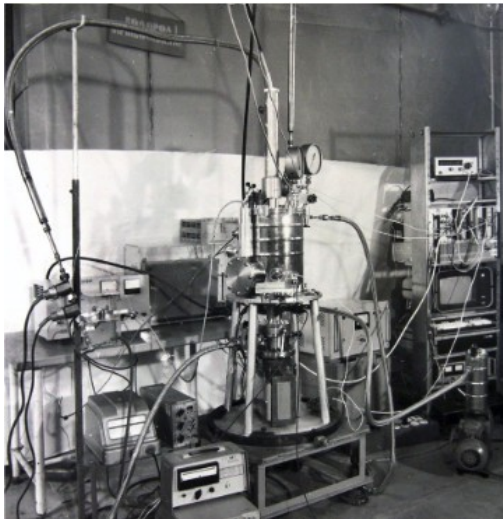


Схема экспериментальной установки. К-коллиматор, ДЛ – дуплет квадрупольных линз, М - магнит, С - сцинтилляционные счетчики, ПК - пропорциональные камеры, МА - мишень-анализатор, ММ - мишень монитора.



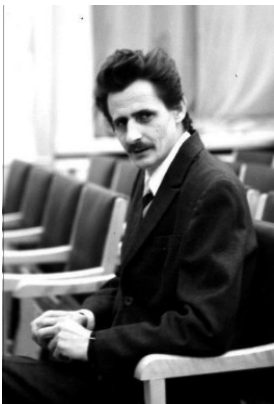
В 1980–1996 гг. А.А. Воробьевым с сотрудниками был предложен и разработан новый эффективный метод исследования $d\text{-}\mu\text{-}d$ и $d\text{-}\mu\text{-}t$ синтеза, использующий ионизационную камеру высокого давления, наполненную водородом (дейтерием) в качестве «активной» мишени и одновременно в качестве детектора заряженных продуктов синтеза. **Выполнен ряд экспериментов на ускорителях ПИЯФ и PSI (Швейцария).** Получены новые данные по $d\text{-}\mu\text{-}t$ синтезу и **с высокой точностью измерены практически все параметры $d\text{-}\mu\text{-}d$ 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.



Первая криогенная установка, созданная в Гатчине для исследования $dd\mu$ -катализа (1987 г.).

Энергетическое распределение событий dd -синтеза, зарегистрированных ионизационной камерой.

Сотрудники ОФВЭ, участвовавшие в экспериментах в ПИЯФ.



Ю.В. Доенко

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. Доенко с сотрудниками изучен ряд ядер, от самых лёгких (^2H) до тяжёлых (^{208}Pb). 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.

Пример измеренных спектров энергий связи нуклонов в ядрах ^{23}Na , $^{24,25,26}\text{Mg}$, ^{27}Al

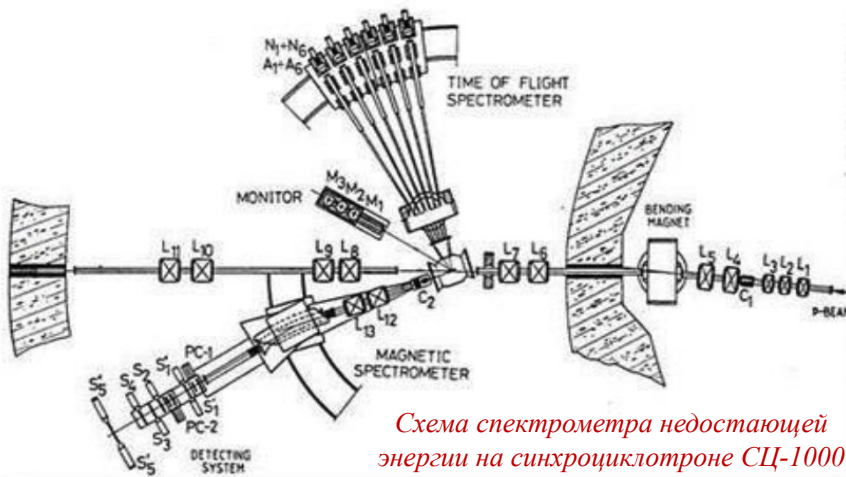
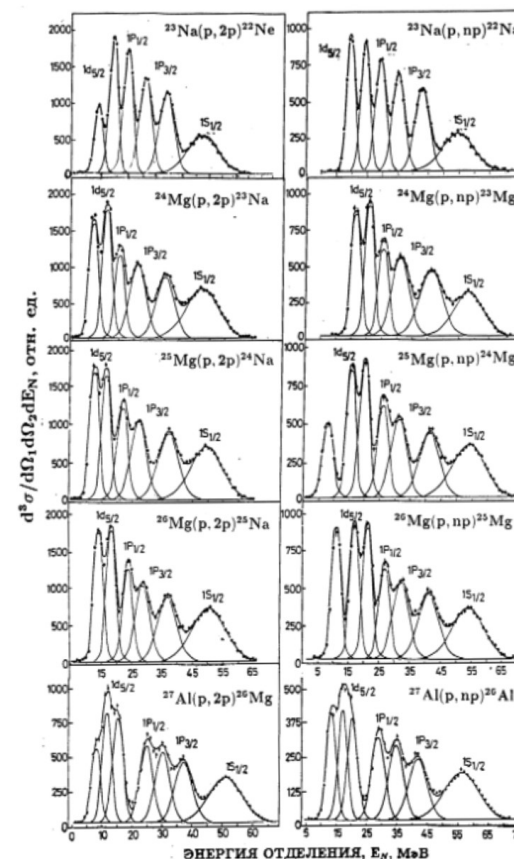


Схема спектрометра недостающей энергии на синхротроне СЦ-1000



Член-корреспондент АН СССР
О.И. Сумбаев.

Эффект объемного захвата заряженных частиц при каналировании был предсказан О. И. Сумбаевым. В отличие от обычного каналирования, где частицы должны войти в кристалл под очень малым углом (углом Линдхарда), объемный захват позволяет захватывать частицы, падающие на кристалл под углами, многократно превышающими угол каналирования. **В 1982 г. В. М. Самсонов с сотрудниками экспериментально обнаружили этот эффект используя протонный пучок синхроциклотрона СЦ-1000.**

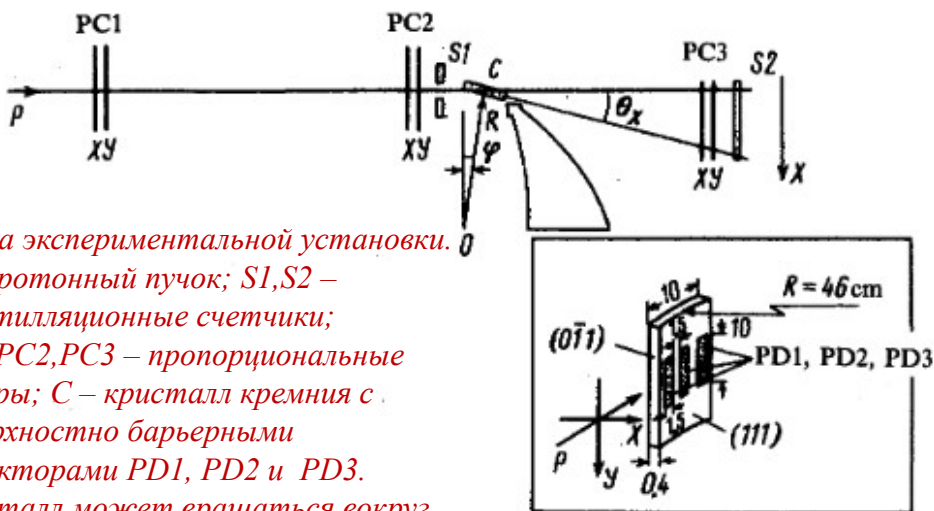
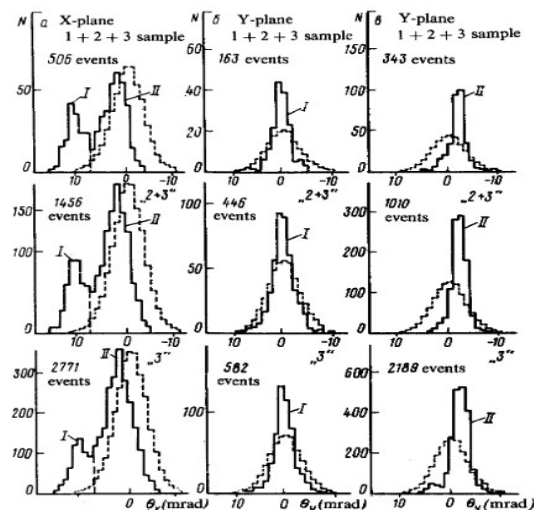


Схема экспериментальной установки.
P – протонный пучок; S1, S2 –
сцинтилляционные счетчики;
PC1, PC2, PC3 – пропорциональные
камеры; C – кристалл кремния с
поверхностно барьерными
детекторами PD1, PD2 и PD3.
Кристалл может вращаться вокруг
оси O, которая совпадает с осью
цилиндра по которому кристалл
изогнут



Угловое распределение частиц которые прошли через кристалл и которые были отобраны в соответствии с критерием малых потерь в PD1+PD2+PD3, PD2+PD3 и PD3. Кристалл поворачивался на угол 8 мрад. Штрихованная линия показывает прямой пучок до половины числа каналированных частиц



В. П. Коптев



В.П. Коптев в измерительном зале синхротрона

В 1984 г В. П. Коптевым с сотрудниками, 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 от 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:**

$$\tau_{\pi^+} = (2.60361 \pm 0.00052) \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

$$\tau_{K^+} = (1.2451 \pm 0.0030) \cdot 10^{-8} \text{ с}$$



В 1983–1984 гг. был проведен первый совместный ПИЯФ-FNAL эксперимент E715, сразу после запуска во FNAL ускорителя Тэватрон. Эксперимент был посвящен решению обсуждавшейся в то время проблемы бета-распада сигма-гиперонов $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$. **ПИЯФ предложил проект эксперимента, разработал и изготовил детектор переходного излучения.** Эксперимент был успешно выполнен на гиперонном канале Тэватрона и получил высокую оценку в научных кругах.



Сотрудники ОФВЭ участники эксперимента E715



Пропорциональные камеры для детектора переходного излучения, изготовленные в ПИЯФ.



Снимок из CERN Courier из заметки про эксперимент E715 озаглавленной – «Загадка распада сигма минус гиперона решена».



Исследование редких распадов гиперонов во FNAL



В конце 80-х и начале 90-х годов во FNAL на гиперонном канале были успешно проведены эксперименты E761 и E781 по изучению свойств гиперонов и очарованных частиц. Был получен ряд новых данных, в том числе **исследованы радиационные распады Σ^+ и Ξ^- гиперонов, измерены магнитные моменты Σ^- , Σ^+ и Ξ^- гиперонов и измерен зарядовый радиус Σ^- гиперона.** В эти эксперименты ПИЯФ внес большой вклад как в идейном плане, так и в плане создания экспериментального оборудования.



Генеральный директор FNAL Леон Ледерман (L. Lederman) обсуждает с участниками эксперимента E761 в январе 1987 г. проект эксперимента (spokesperson А. А. Воробьев)



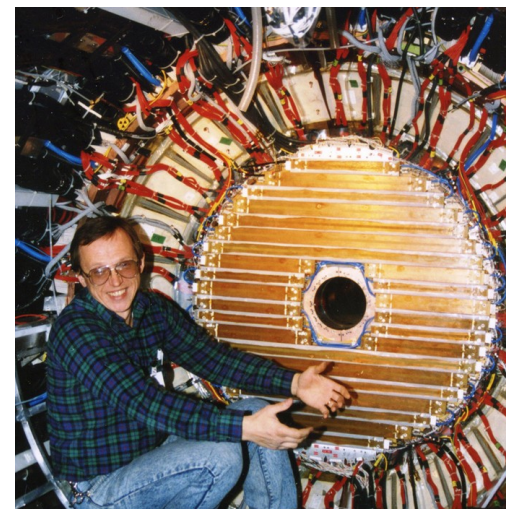
Генеральный директор FNAL Джон Пиплз (J. Peoples) и директор ПИЯФ А. А. Воробьев подписывают в ноябре 1990 г. соглашение о проведения эксперимента E761.



1986–2000 гг. ПИЯФ участвовал в коллайдерном эксперименте L3 – одном из крупнейших экспериментов, проводившихся на Большом электрон-позитронном коллайдере (LEP) 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, а именно: в **исследование тяжелых сцинтилляторов (вольфраматов, BGO), создание торцевого координатного детектора (FTC) для экспериментальной установки**. Сотрудники ПИЯФ участвовали в эксперименте L3 в наборе данных и их анализе.



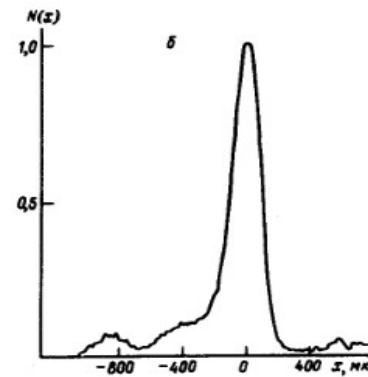
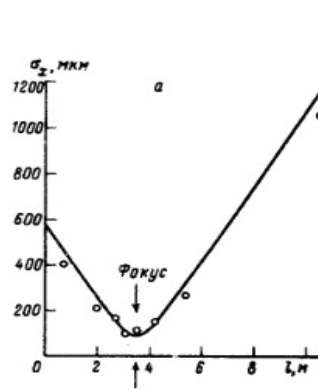
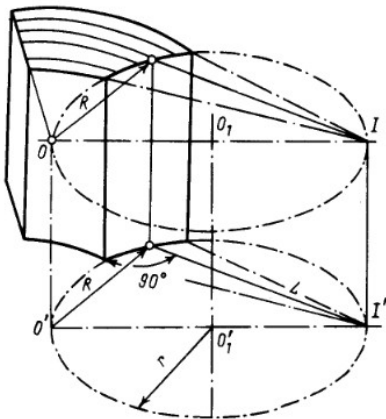
Сотрудники ОФВЭ в шахте на фоне детектора L3.



Г. Е. Гаврилов на фоне трекера FTC, созданного в ПИЯФ и установленного в детектор L3.



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** (Письма в ЖЭТФ т. 54 вып.9 стр. 485, 1991).



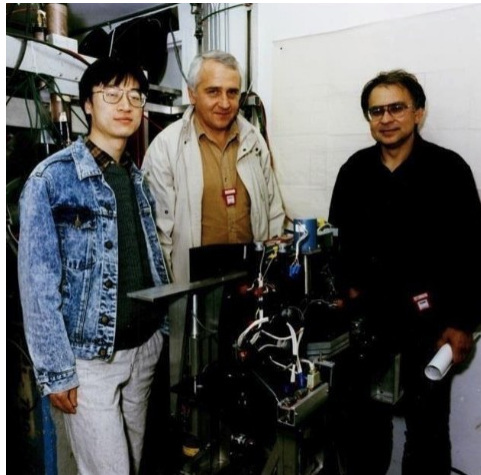
Принцип фокусировки пучка кристаллом. OO' - линии на которых лежат центры кривизны кристаллографических плоскостей. O_1O_1' - ось цилиндра радиуса r , по которому обрабатывается торец кристалла. II' - линия фокуса в которой сходятся касательные к изогнутым плоскостям, согласно известной геометрической теореме.

а - Огибающая сфокусированного монокристаллом пучка, Точки эксперимент, линия - расчет для идеальной фокусировки. б - Профиль пучка в кроссовере (3,5 м от кристалла)

Изображение отклоненного пучка на трех эмульсиях, расположенных на расстоянии 0,7; 2; 3,5 м от кристалла. (Справа виден не отклоненный пучок с ореолом вторичных частиц, а также шлейф деканализованных в изогнутой части кристалла частиц)



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).



Сотрудники ОФВЭ В.М. Самсонов и А.В. Ханзадеев около установки с изогнутыми кристаллами для вывода пучка из ускорителя Тэватрон (FNAL, США).

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. М. Самсонов

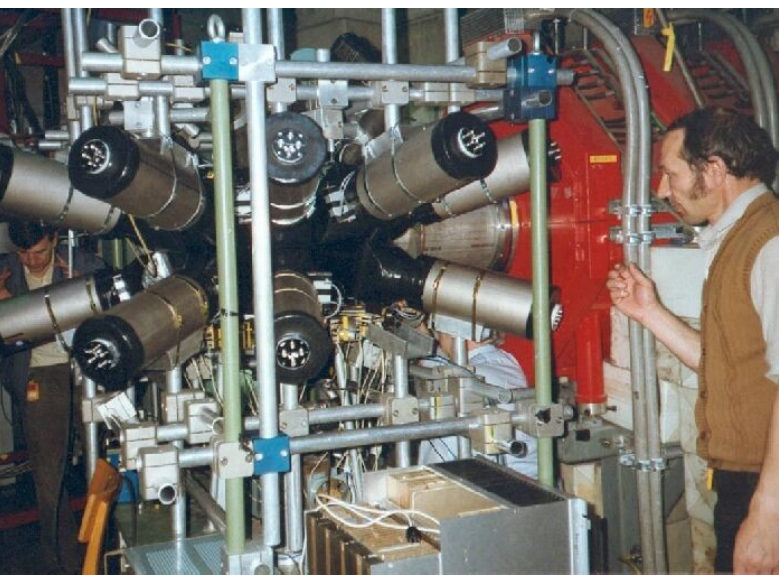


А. И. Смирнов

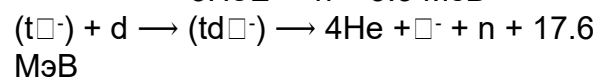
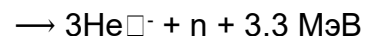
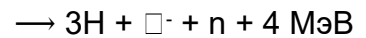
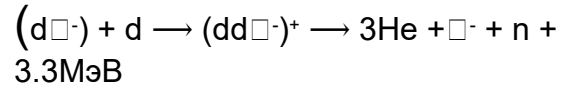
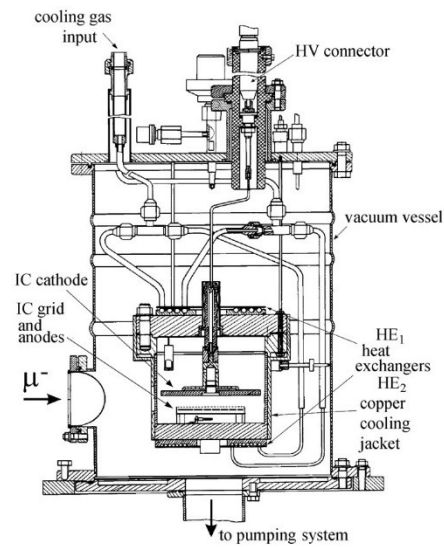


В 1993 – 2002 г. в ПИЯФ под руководством А.А. Воробьева был разработан новый экспериментальный метод, позволивший **измерить на пучке мезонов мезонной фабрики PSI в Швейцарии скорость μ захвата ядрами ^3He с высокой точностью, превышающей на порядок точность выполненных ранее экспериментов.**

Установка для исследования мюонного катализа dd- и dt- синтеза изготовленная в ПИЯФ на мюонном канале в PSI (Швейцария).



Схематическое изображение установки для исследования мезокатализа dd-синтеза в ПИЯФ.



$$\epsilon^*(\text{fit}) = -1,9651(7) \text{ эВ}$$

$$\epsilon^*(\text{теория}) = -1.9646(5) \text{ эВ}$$

Вероятность прилипания мюона к ядру ^3He :

$$\omega_d(\text{эксп}) = 12.24(6) \%$$

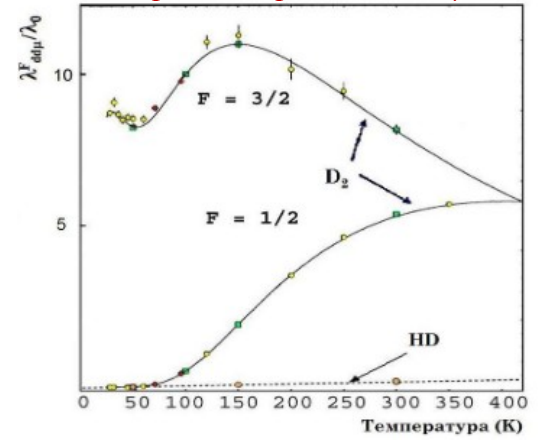
$$\omega_d(\text{теория}) = 12.3(4) \%$$

Вероятности прилипания мюона к ядру ^4He :

$$\omega_h(\text{экспер}) = 0.58(4) \%$$

Т.е. предельное число циклов $td\bar{\nu}$ -катализа равно 175.

скорость образования ddt.





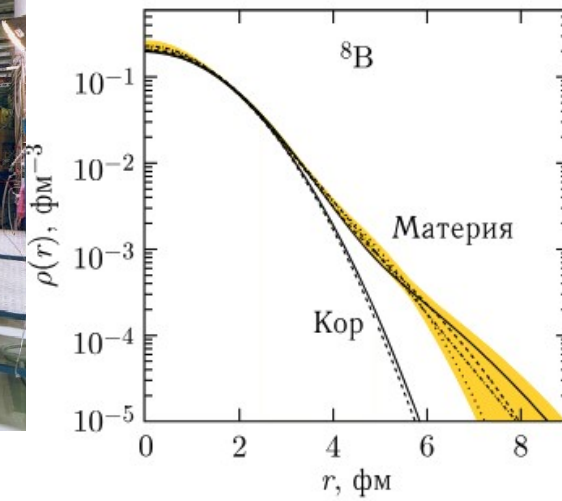
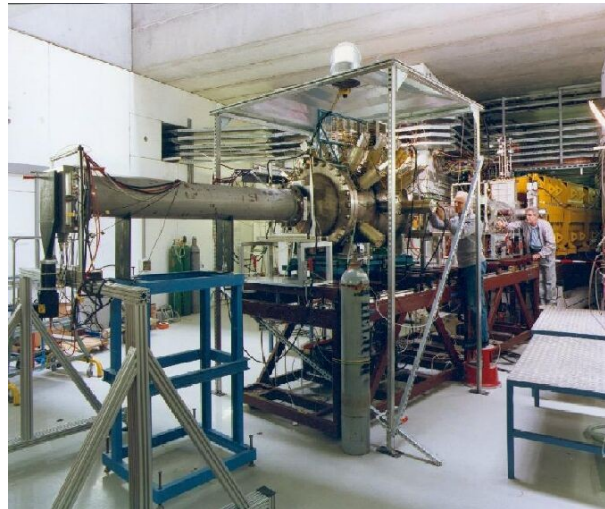
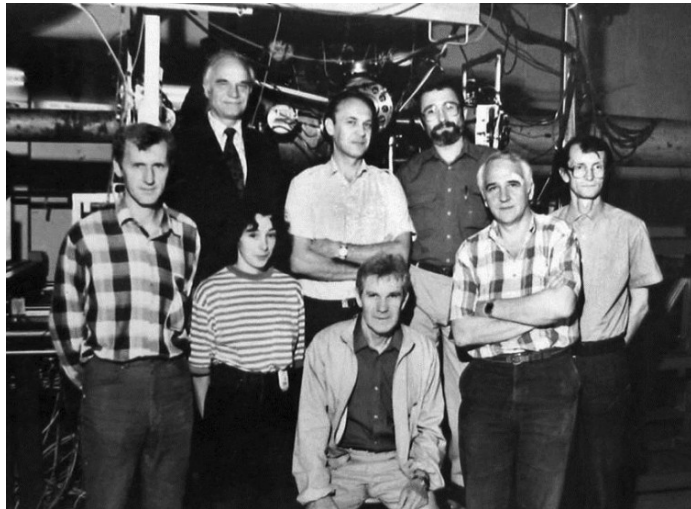
Исследование структуры экзотических ядер



В 1992–2011 гг. в цикле экспериментов, проведенных 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.

Участники первого эксперимента с ИКАР-ом в GSI. Ионизационная камера ИКАР на пучке в GSI.

Распределения ядерной материи
кора и полной ядерной материи в
ядре ^8B , полученные в анализах
экспериментальных данных по
упругому рассеянию протонов.





Изучение спиновой структуры нуклонов – эксперимент HERMES

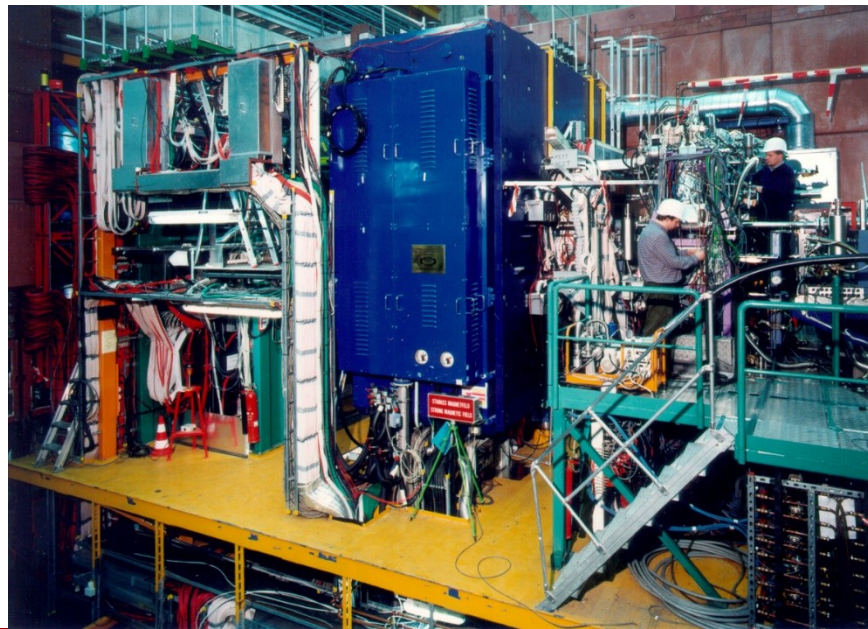


В 1993-2006 гг. группа ПИЯФ под руководством С.Л.Белостоцкого участвовала в эксперименте HERMES, проводившемся на ускорителе HERA (DESY, Германия). Целью эксперимента HERMES являлось изучение спиновой структуры протонов и нейтронов в глубоконеупругом рассеянии электронов. Одним из наиболее важных результатов этого эксперимента стало определение вклада кварков в величину спина нуклона: **измеренный суммарный спин кварков-партонов составляет $\Delta\Sigma q = 0,330 \pm 0,025$. Была измерена поляризация глюонов – интегральное значение составило $\Delta g/g = 0,049 \pm 0,034$.**



С.Л.Белостоцкий

Общий вид спектрометра эксперимента HERMES.



Установка пропорциональных камер, изготовленных в ПИЯФ в зазор магнита.



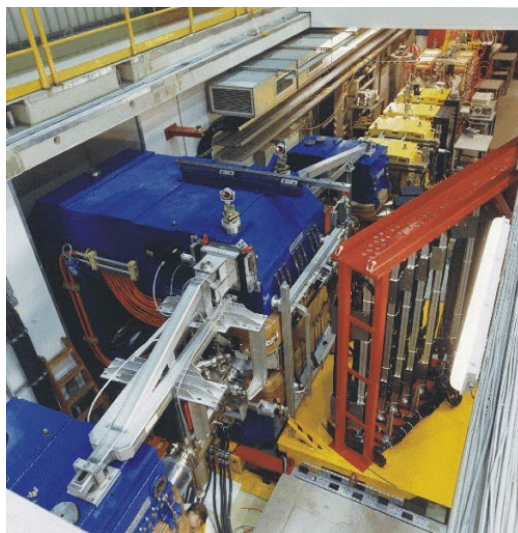
Часть группы физиков ПИЯФ перед установкой пропорциональных камер в зазор магнита спектрометра HERMES.



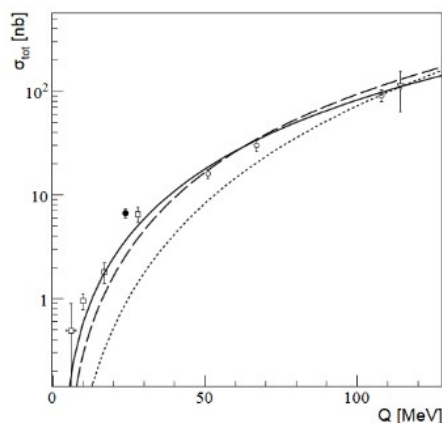


В 1995-2015 гг. группа сотрудников ОФВЭ ПИЯФ под руководством В.П. Коптева принимала участие в создании магнитного спектрометра ANKE, установленного на внутреннем накопительном кольце ускорителя COSY (FZ-Julich, Германия). Главной особенностью эксперимента стал **предложенный физиками ПИЯФ метод регистрации задержанного сигнала от распада K^+ -мезонов, позволивший улучшить соотношение сигнал-фон в 10^5 раз.** Было проведено комплексное **исследование рождения странных мезонов и барионов в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных взаимодействиях**, которое позволило выявить особенности взаимодействия странных частиц с обычной материей.

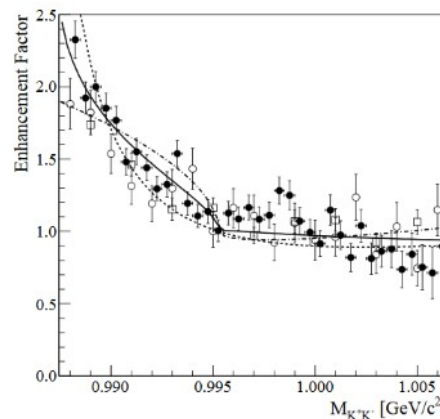
Спектрометр ANKE.



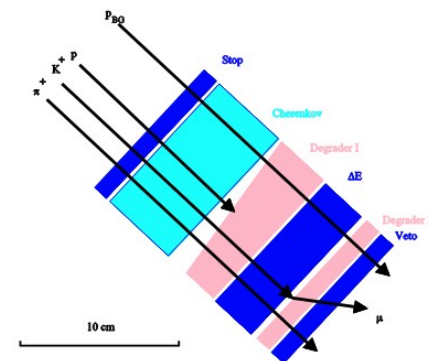
Полные сечения реакции $pp \rightarrow pp\{K+K-\}n\pi-\phi$.



Обнаруженный эффект перерасеяния каонов вблизи открытия порога нейтрального канала.

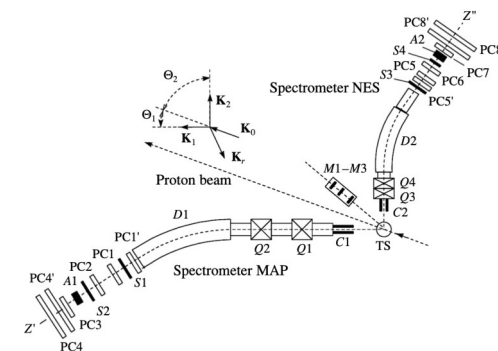


Рисунок, иллюстрирующий устройство и принцип действия детектора K^+ мезонов.



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).

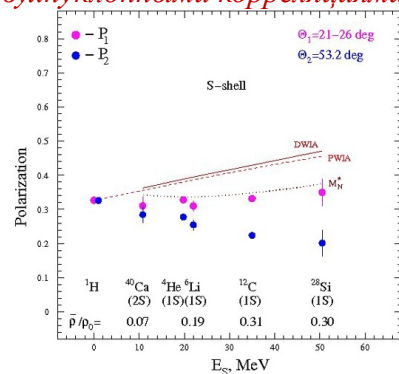
Схема спектрометра МАП&НЭС



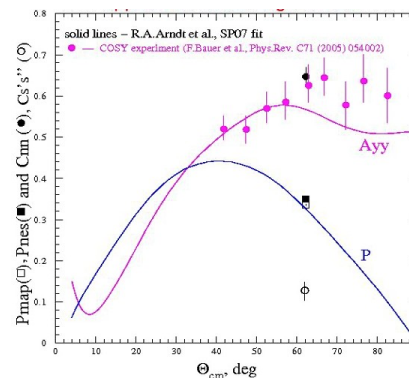
О. Миклухо и Т. Норо (Т. Норо) (рук. эксперимента с японской стороны)

Разница поляризаций P_1 и P_2 возможно обусловлена взаимодействием протона отдачи (2) с двухклонными корреляциями в ядрах.

Впервые с высокой точностью измерен параметр корреляции поляризаций C_{nn} в (p, 2p) - реакции с ядром ${}^4\text{He}$.



Поляризация вторичных протонов P_1 (МАП) и P_2 (НЭС) в (p, 2p) рассеянии под углами $\theta_1 = 21 \pm 26^\circ$ и $\theta_2 = 53, 2^\circ$ на протонах S-оболочки ядер ${}^{40}\text{Ca}(2S)$, ${}^4\text{He}(1S)$, ${}^6\text{Li}(1S)$, ${}^{12}\text{C}(1S)$, ${}^{28}\text{Si}(1S)$ в зависимости от их энергии связи S-оболочки E_s в исследуемом ядре.



Поляризационные параметры в упругом pp - рассеянии. Черный и пустой квадрат – измеренная поляризация (P) в канале спектрометра НЭС (P_{nes}) и спектрометра МАП (P_{map}); черная точка – измеренный параметр корреляции поляризаций C_{nn} ; сплошные кривые – результат вычислений поляризации P и корреляционного параметра A_{uu} в рамках парциально-волнового фазового анализа данных по упругому NN взаимодействию.

В 2004–2007 гг. группой ПИЯФ под рук. А.А. Воробьева на мезонной фабрике в институте Пауля Шеррера (PSI) методом, предложенным в ПИЯФ, в эксперименте МиСар **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

Скорость захвата:

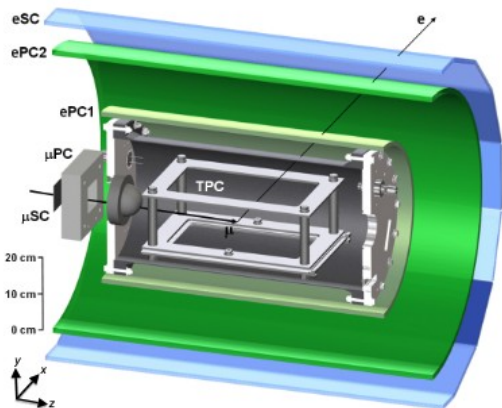
$$\lambda_s = (714,9 \pm 5,4_{\text{stat}} \pm 5,1_{\text{sys}}) \text{ c}^{-1}$$

Псевдоскалярная константа связи протона:

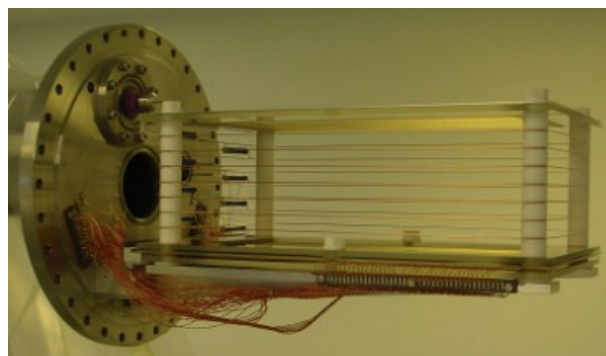
$$g_p(q^2_0 = 0,88 \text{ m}^2) = 8,06 \pm 0,55$$

$$g_p^{\text{theory}} = 8,26 \pm 0,23$$

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



Вид сбоку на TPC после ее сборки



Участники МиСар коллаборации от ПИЯФ





Эксперимент D0: Открытие t-кварка



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. **В 1995 году был открыт t-кварк.** 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) Bs- мезонов.**

Схематический вид детектора D0

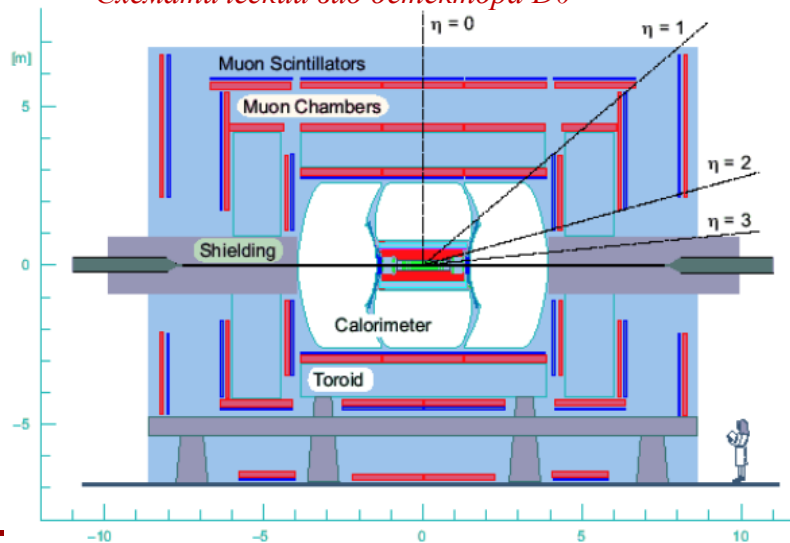
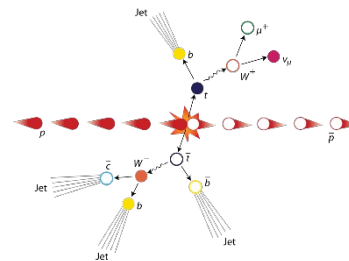
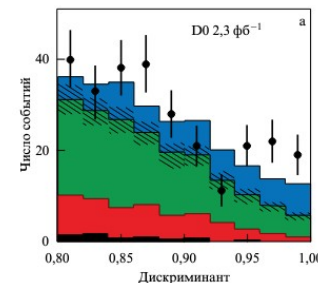
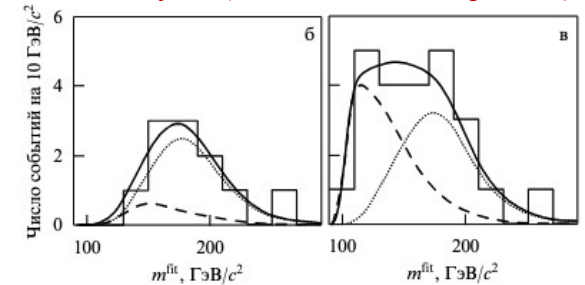


Диаграмма иллюстрирующая процесс рождения t-кварка



Распределение по массе восстановленных событий l+jets (сплошные гистограммы)



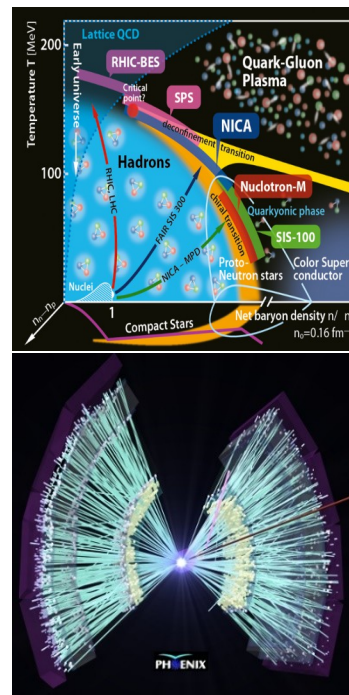
Распределение дискриминанта мультивариационного анализа данных – сигнал от рождения одиночного t-кварка показан синим цветом.



Эксперимент PHENIX (BNL, США): Открытие кварк глюонной плазмы



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 Бруксгейвской национальной лаборатории. **В ПИЯФ были разработаны и созданы уникальные дрейфовые камеры для центральной трековой системы установки PHENIX. Центральный магнит установки был изготовлен в НИИЭФА.** 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.**





Эксперимент CMS: CSC мюонные камеры



Торцевая Мюонная Система детектора CMS (EMU – Endcap Muons) является одной из основных подсистем детектора CMS. Детектирующими элементами этой системы являются многопроволочные пропорциональные камеры с катодными стрипами. Всего система EMU содержит 468 мюонных камер, размещенных на шести железных дисках-магнитопроводах диаметром 14 метров каждый. Общая площадь мюонных камер составляет около 1000 кв. метров. **120 мюонных камер были изготовлены в ПИЯФ. Каждая мюонная камера состоит из шести детектирующих слоев, так что фактически нужно было изготовить 720 однослойных камер общей площадью более 1400 кв. метров с общим числом анодных нитей около пятисот тысяч.**





Эксперимент CMS: CSC мюонные камеры



*Трейлер с двадцатью мюонными камерами
в ПИЯФ перед отправкой в ЦЕРН*



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



*Сотрудники ОФВЭ в ЦЕРН в
тестовой зоне камер CSC*



*Генеральный директор ЦЕРН Р. Аутар и
Министр образования и науки РФ А.
Фурсенко у испытательного стенда
мюонных камер в ЦЕРНе. Пояснения
даёт П. Левченко*



*Процесс установки мюонной камеры
мюонный диск в наземном зале CMS*



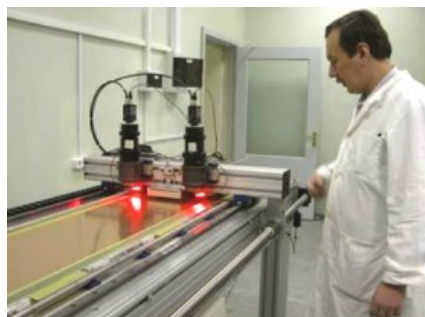
*Момент спуска одного из мюонных
дисков в подземный зал CMS*



Эксперимент ЛНСб: Мюонная система



Концепцию всего эксперимента эксперимента ЛНСб, а также концепцию и принцип работы мюонной системы эксперимента ЛНСб были сформулированы группой ПИЯФ под руководством А.А. Воробьева в 1997 году. Было показано, что мюонная система может самостоятельно вырабатывать триггер, используя только информацию с мюонных камер. Проект Мюонной системы был сформулирован в Мюонном TDR. Группа ПИЯФ предложила **использовать специально разработанные в ПИЯФ быстродействующие мюонные камеры с анодными и/или катодными падами. Мюонная Система ЛНСб в целом содержит 1380 мюонных камер, 600 из которых были собраны в ПИЯФ.** Сотрудники группы ПИЯФ обеспечили ввод в эксплуатацию, стабильность работы и модернизацию мюонной системы в ходе первых двух этапов работы ЛНС, а также провели ее модернизацию и подготовку к третьему сеансу набора данных.



Сотрудники ОФВЭ участвовавшие в создании мюонных камер эксперимента ЛНСб.

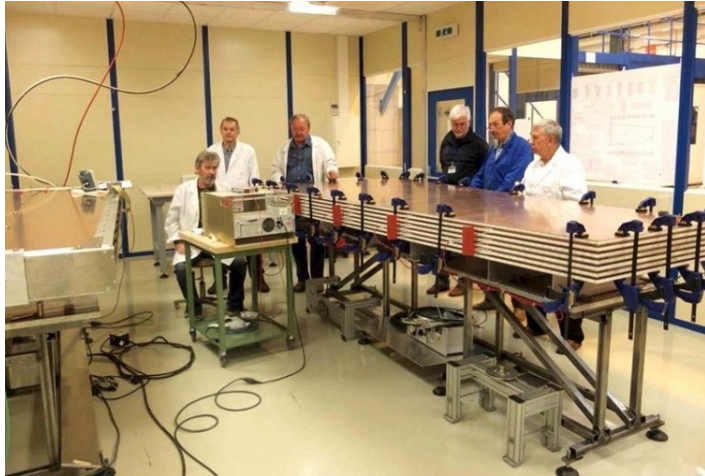




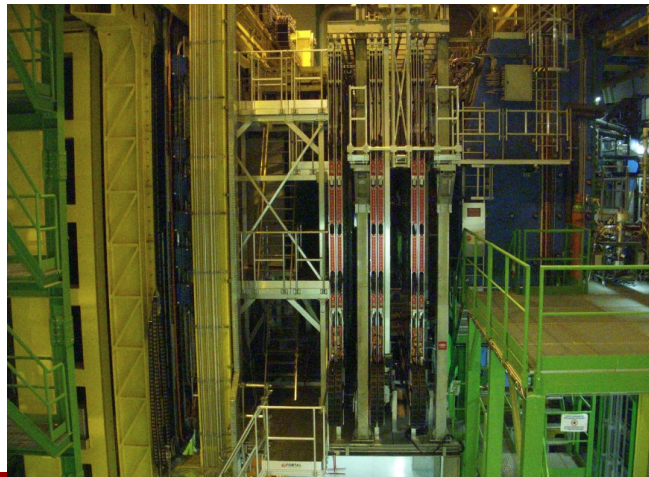
Эксперимент ЛНСб: Мюонная система



Тестирование мюонных камер ЛНСб в ЦЕРН.



*Вид сбоку на мюонную систему
детектора ЛНСб*



*Монтаж мюонных камер в Мюонной
Системе ЛНСб.*



*Тестирование мюонных камер
ЛНСб. Б.В.Бочин и А.А.Воробьев*



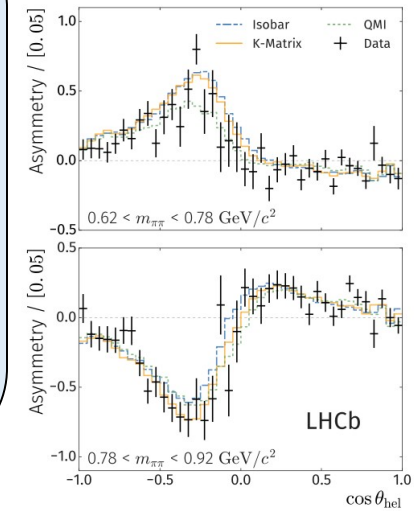
*Сотрудники ПИЯФ, принимавшая
участие в монтаже Мюонной
Системы ЛНСб в ЦЕРН*



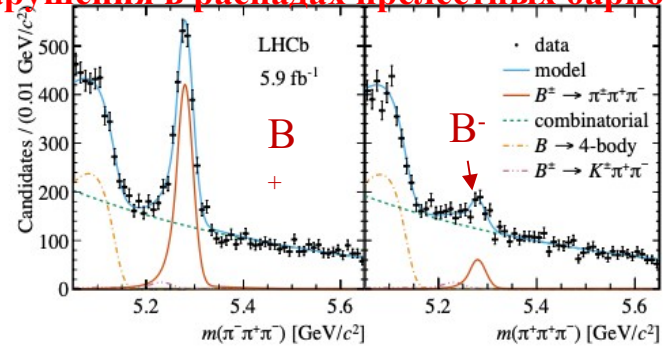


Нарушение CP-симметрии приводит к различию между материей и антиматерией. За последние 15 лет анализ данных LHCb, привёл ко многим открытиям в изучении CP-нарушения. Среди этих исследований **шесть прорывных результатов LHCb** (по годам):

- 2012: Наблюдение прямого CP-нарушения в распадах $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$;
- 2013: Наблюдение прямого CP-нарушения в распадах $B^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$;
- 2019: Наблюдение прямого CP-нарушения в распадах очарованных мезонов;
- 2020: Наблюдение зависящего от времени CP-нарушения в распадах $B^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$;
- 2020: Наблюдение нового типа проявления CP-нарушения в интерференции между резонансом спина 1 $\rho(770)$ и вкладом S-волны спина 0 в распад $B^+ \rightarrow \rho^0 \pi^+$;
- 2025: Наблюдение прямого CP-нарушения в распадах прелестных барионов.

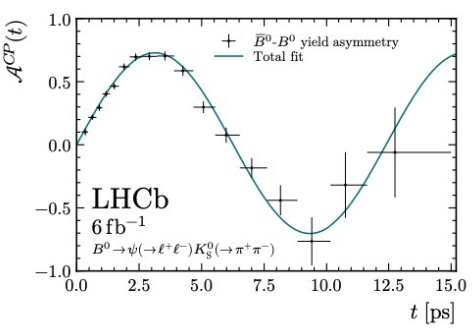


CP-нарушение, возникающее в результате интерференции между амплитудами S-волны и P-волны в распадах $B^+ \rightarrow \rho(770)^0 \pi^+$. CP-асимметрия как функция угла спиральности в областях ниже (верхняя панель) и выше (нижняя панель) резонансного полюса $\rho(770)$.



Наблюдение прямого нарушения CP-инвариантности в распадах $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$. На графиках видно явное подавление распадов B^+ мезонов по сравнению с B^- мезонами, что демонстрирует разницу в поведении вещества и антивещества.

Временная зависимость CP-асимметрии для распада $B^0 \rightarrow \psi K_S^0$. Точки - данные LHCb. Кривая соответствует модели, используемой для извлечения параметров распада, включая угол β матрицы CKM.

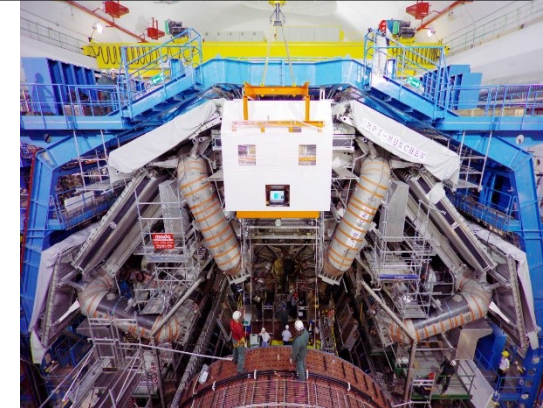




Эксперимент ATLAS : детектор TRT



В течение 2001- 2005 годов в ПИЯФ были собраны и испытаны 50 модулей для торцевой части детектора переходного излучения TRT, каждый из которых содержит четыре слоя дрейфовых трубок из каптона диаметром 4 мм. **Торцевая часть детектора TRT, собранная в ПИЯФ, содержит более 150000 дрейфовых трубок.** В работе по сборке и испытаниях модулей детектора TRT участвовало более 30 сотрудников отделения. **Впервые в мире коллаборация ПИЯФ, ОИЯИ, МИФИ и ЦЕРН создала крупномасштабный детектор переходного излучения для коллайдерного эксперимента.**



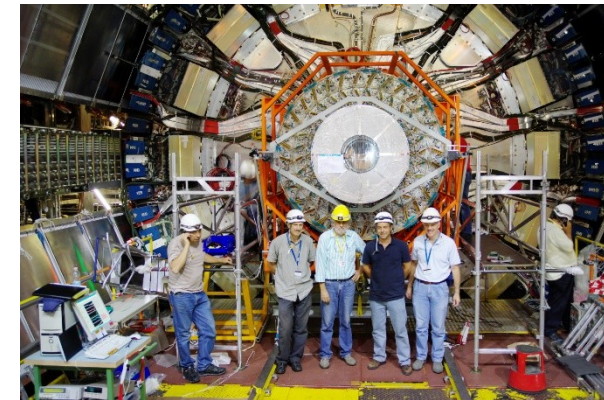
Сборка модулей детектора TRT в ПИЯФ.

Сотрудники ОФВЭ на фоне последнего модуля детектора TRT, собранного в ПИЯФ перед отправкой в ЦЕРН.

Детектор ATLAS перед установкой детектора TRT.



Торцевая часть детектора TRT, собранная из модулей произведенных в ПИЯФ.



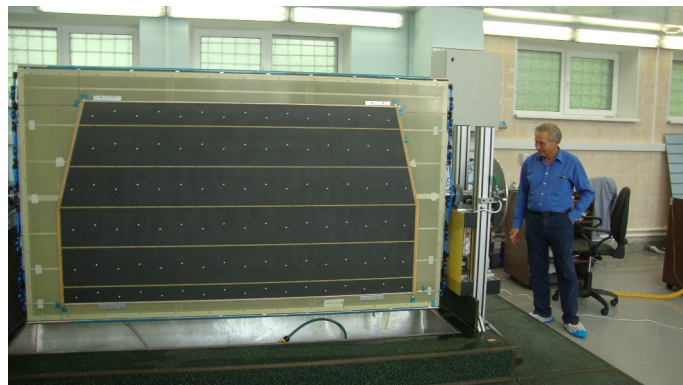
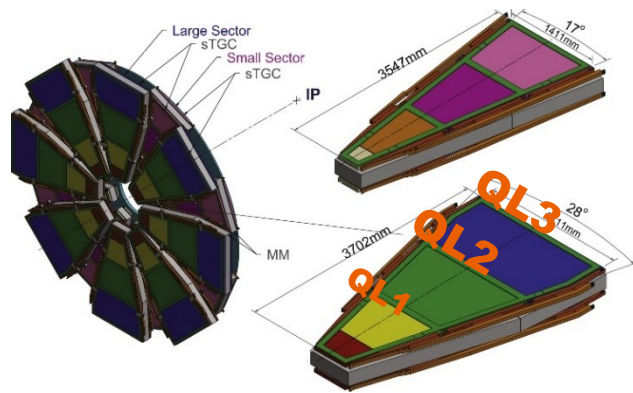
Установка детектора TRT в детектор ATLAS.



Эксперимент ATLAS : TGC камеры



В течение 2014- 2018 годов в ПИЯФ были собраны и испытаны 32 квадруплета тонкозазорных камер (sTGC) для модернизации передней части мюонного спектрометра, каждый из которых содержит четыре слоя пропорциональных камер с зазором анод-катод 2 мм. ПИЯФ отвечал за сборку самых больших по размеру квадруплетов 1,5x2 м (QL3). Собранные камеры были установлены в переднюю часть мюонного спектрометра и включены в триггерную систему детектора ATLAS.



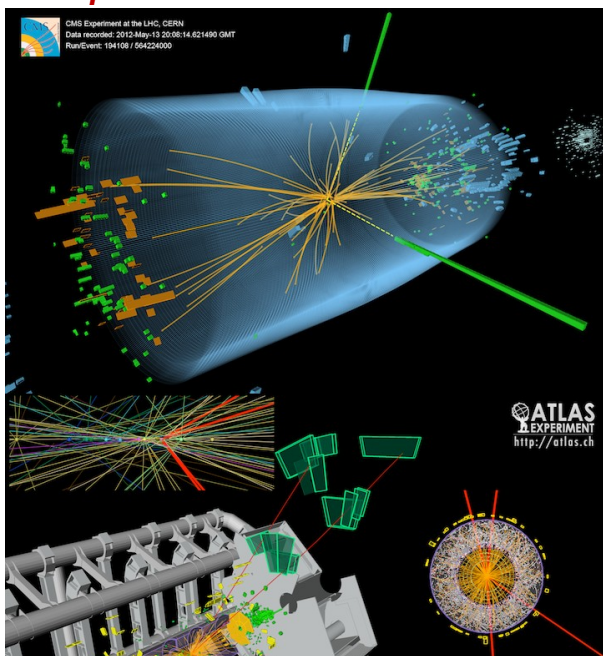


Эксперимент ATLAS и CMS: открытие бозона Хиггса

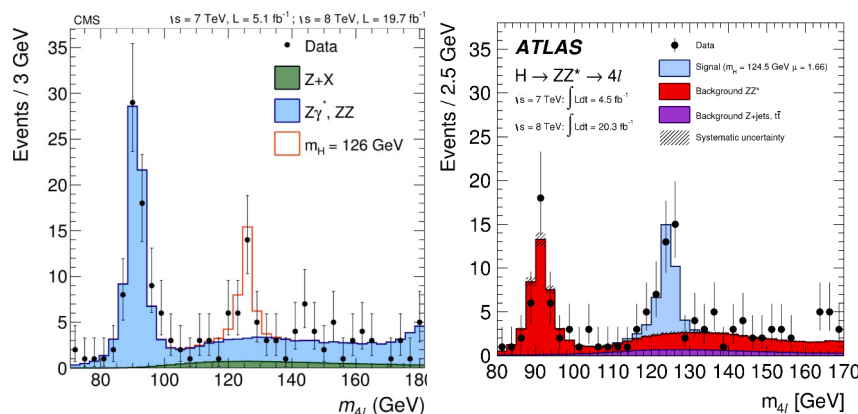


В экспериментах CMS и ATLAS в 2012 году был открыт бозон Хиггса – ключевая частица современной теории элементарных частиц. О важности этого открытия свидетельствует тот факт, что в связи с обнаружением бозона Хиггса теоретикам Питеру Хиггсу и Франсуа Энглеру, предсказавшим много лет назад существование этой частицы, в 2013 г. была присуждена Нобелевская премия по физике. **Среди авторов публикаций об этом открытии 21 сотрудник ОФВЭ, которые занимались как поддержанием работоспособности детекторов, так и анализом физических данных**

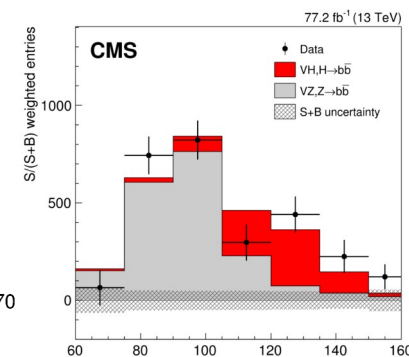
Отображение событий рождения бозона Хиггса



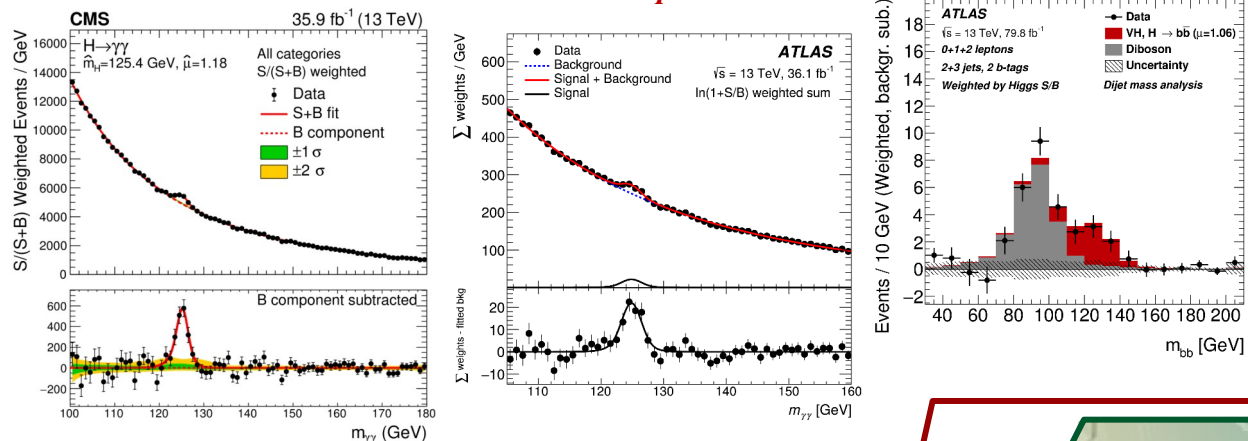
Распад Хиггс-бозона на четыре лептона



Распад Хиггс-бозона на два b-кварка



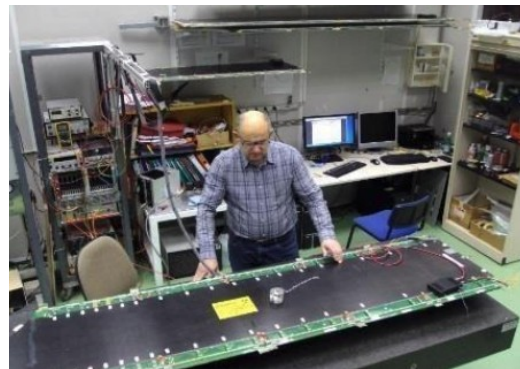
Распад Хиггс-бозона на два фотона



События рождения бозона Хиггса, зарегистрированные детекторами CMS (вверху) по распаду на два фотона (зеленые линии) и ATLAS (внизу) по распаду на четыре мюона (красные линии).



В период создания детектора ALICE **ПИЯФ** был одним из основных участников коллаборации, **ответственных за разработку мюонного спектрометра**. Спектрометр состоит из большого дипольного магнита, поглотителей, пяти трековых станций, мюонного фильтра и триггерных камер. **В ПИЯФ были разработаны многопроводочные пропорциональные камеры с падовой структурой катодов (СРС) для мюонного спектрометра и была выполнена сборка 38 модулей СРС (четверть от общего числа).**

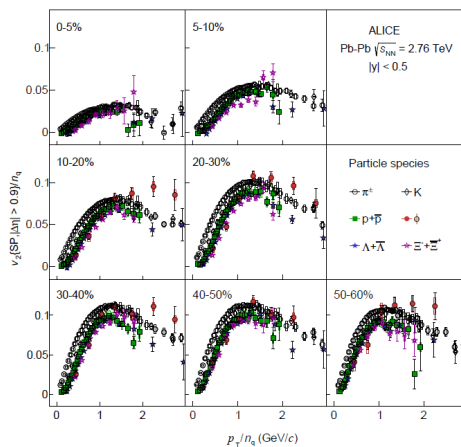
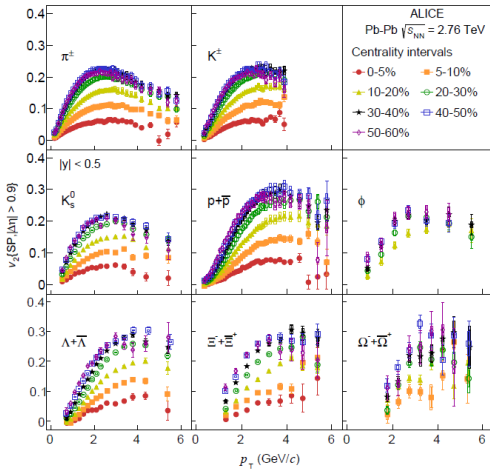


Детектор ALICE:
Вес 10000 тонн.
Длина 26
метров
Высота 16 метров.
18 детекторных
подсистем



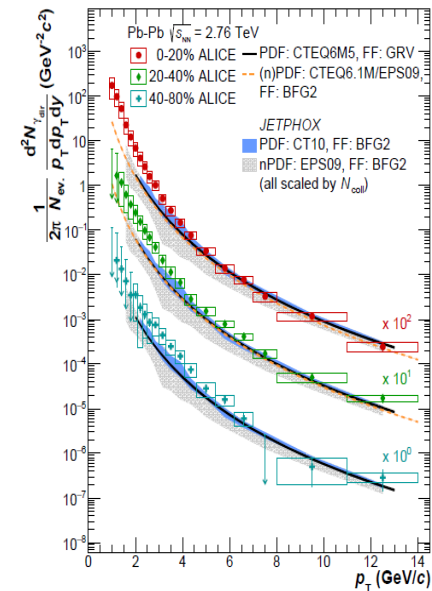
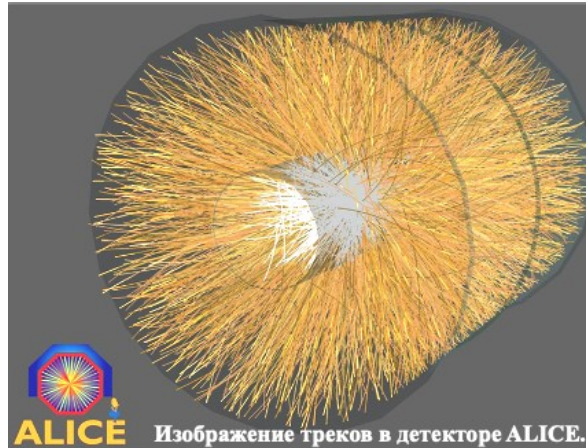


В эксперименте ALICE подтверждено фундаментальное открытие об образовании в центральных столкновениях ультрарелятивистских тяжелых ионов сильновзаимодействующей кварк-глюонной плазмы, обладающей признаками почти идеальной жидкости с отношением сдвиговой вязкости к энтропии близким к унитарному пределу и температурой на начальной стадии ее эволюции, достигающей значений 300 МэВ, т.е. $T \approx 3.5 \cdot 10^{12}$ градуса.



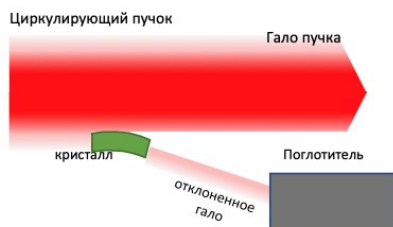
Анализ аномального выхода прямых фотонов с небольшими поперечными импульсами (красные точки) свидетельствует о том, что на начальной стадии эволюции кварк-глюонной среды, сформированной в центральных столкновениях ядер свинца, температура достигала значений 300 МэВ, т.е. $T \approx 3.5 \cdot 10^{12}$ градуса. Это в два раза выше температуры деконфайнмента адронной материи (160-170 МэВ), предсказанной в КХД моделях на решетке, и в 100000 раз превышает температуру в центре Солнца.

Одно из указаний на формирование кварк-глюонной жидкости – наблюдение коллективных эллиптических потоков адронов, рожденных в столкновениях ядер свинца (рисунок слева). Такие потоки характерны для гидродинамической эволюции почти идеальной жидкости с эллиптически асимметричным значительным градиентом давления. Приближенный кварковый скейлинг этих потоков (справа) свидетельствует о том, что они формируются при эволюции кварковой среды.

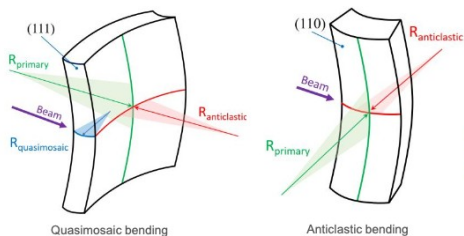


Исследования по прикладному применению кристаллов для задач отклонения, выведения и коллимации пучков высоких энергий ведутся в ПИЯФ под руководством Ю.М. Иванова в рамках международного эксперимента UA9. Успехи исследований кристаллической коллимации пучков ЛНС привели к размещению 4-х кристаллов с углом изгиба около 50 мкрад на пучках ЛНС для очистки гало пучка. При этом, три кристалла были разработаны ПИЯФ (Гатчина) и один совместно с ИФВЭ (Протвино) и INFN (Италия).

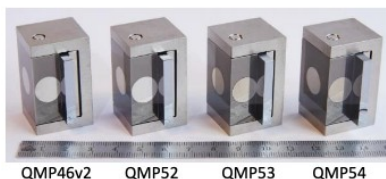
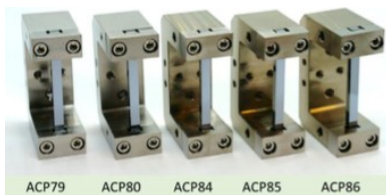
Принцип кристаллической коллимации



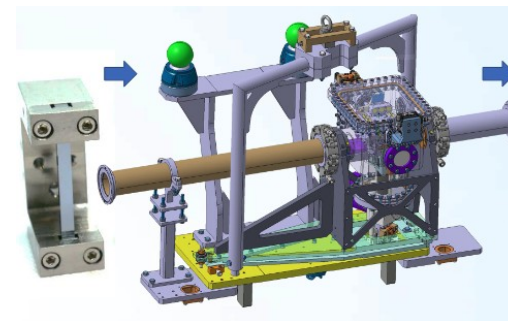
Принципы изгиба кристаллов



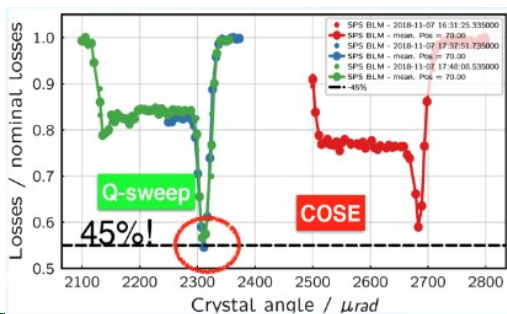
Изогнутые кристаллы для кристаллической коллимации пучков ЛНС, разработанные в ПИЯФ



Для ориентирования каждого из 4-х кристаллов в ЦЕРН при участии ПИЯФ в сотрудничестве с промышленными компаниями были разработаны высоковакуумные прецизионные гониометры с угловым приводом на основе пьезоэффекта.

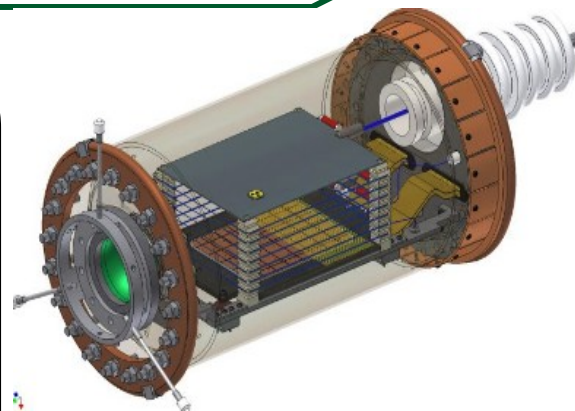


Демонстрация длительного применения кристалла в системе вывода и подтверждение снижения потерь до 43-45% в режиме каналирования и до 22% в режиме объёмного отражения.





Эксперимент MuSun является продолжением и развитием серии работ по изучению захвата мюона легкими ядрами, которые проводит ОФВЭ в составе международной коллаборации на высокоинтенсивном мюонном источнике Институт Пауля Шеррера (PSI) в Филлигене, Швейцария. **Цель эксперимента MuSun — прецизионное (1,5 %) измерение скорости захвата мюона дейтроном. Центральный детектор эксперимента — криогенная время-проекционная камера (CryoTPC), сочетающая свойства детектора и мишени спроектирована и изготовлена в ПИЯФ.**

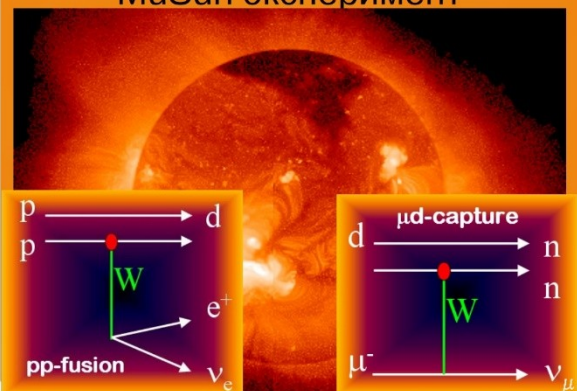


Стабилизация температуры в CryoTPC на уровне 31 К позволила подавить влияние канала реакции, связанного с образованием $dd\mu$ -молекулы, в 50 раз.

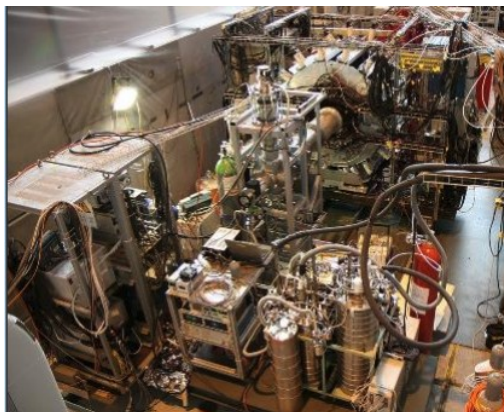
Изотопная очистка газа до уровня 100 ppb позволила полностью подавить влияние канала реакции образования $pd\mu$ -молекулы.

Поддержание химической чистоты газа на уровне ~1ppb полностью исключило влияние канала реакции перехвата мюона на примесь с высоким зарядовым числом.

Захват мюона дейтроном
MuSun эксперимент



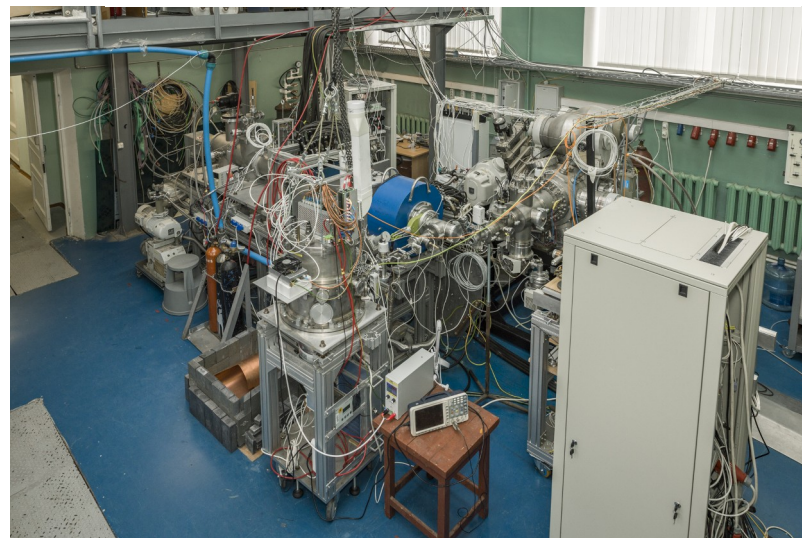
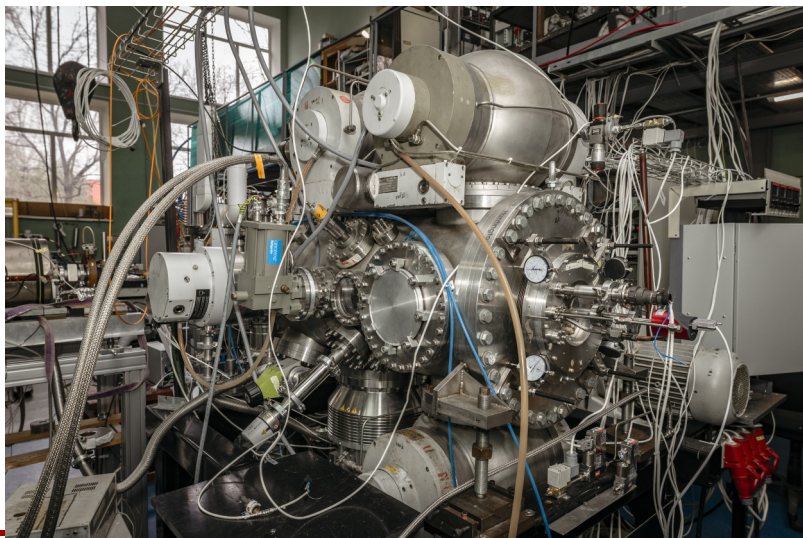
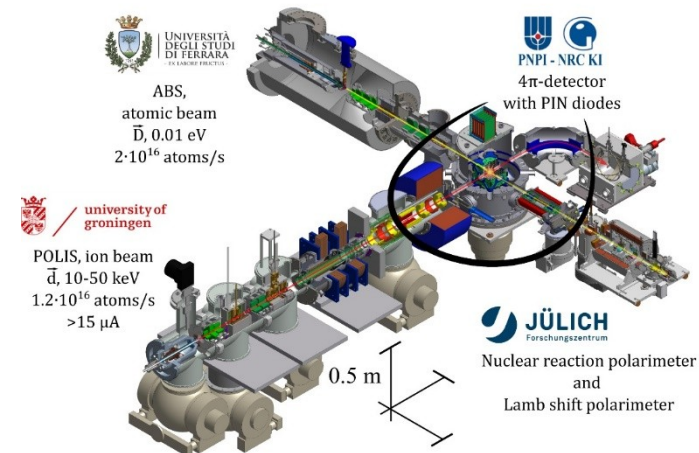
*Установка MuSun в
экспериментальном зале PSI*





Эксперимент PolFusion (Polarized Fusion) — это уникальный международный научный проект, реализуемый в Петербургском институте ядерной физики (ПИЯФ) НИЦ «Курчатовский институт». Его цель — изучение сечений реакций dd -синтеза (синтеза дейтерия) при использовании поляризованных пучков дейтронов, что необходимо для понимания спиновых эффектов в термоядерных реакциях

Схема установки PolFusion





Ю.Н. Новиков

Ионная ловушка SHIPTRAP на линейном ускорителе UNILAC в GSI (FAIR) предназначена для измерения масс трансурановых и, прежде всего, сверхтяжелых элементов таблицы Д. Менделеева. При активном участии физиков ПИЯФ, впервые были проведены прецизионные измерения масс ядер сверхтяжелых элементов с относительной точностью до 10^{-8} , а именно, ядер изотопов Нобелия и Лоуренсия: ^{252}No , ^{253}No , ^{254}No , ^{255}Lr , ^{256}Lr . Руководителю группы ПИЯФ в этой работе Ю.Н. Новикову вместе с тремя немецкими коллегами в мае 2013 г. Была присуждена международная премия им. Г.Н. Флерова.

The SHIPTRAP

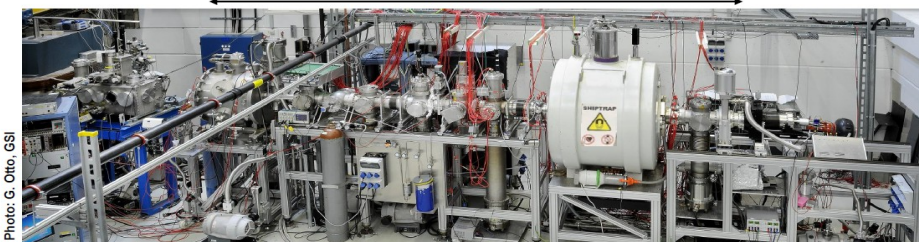
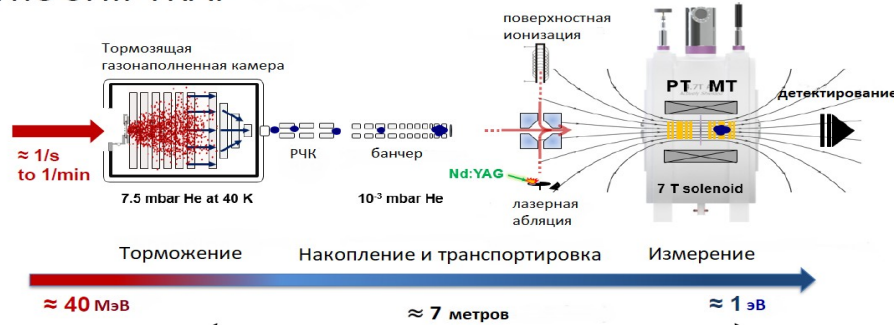
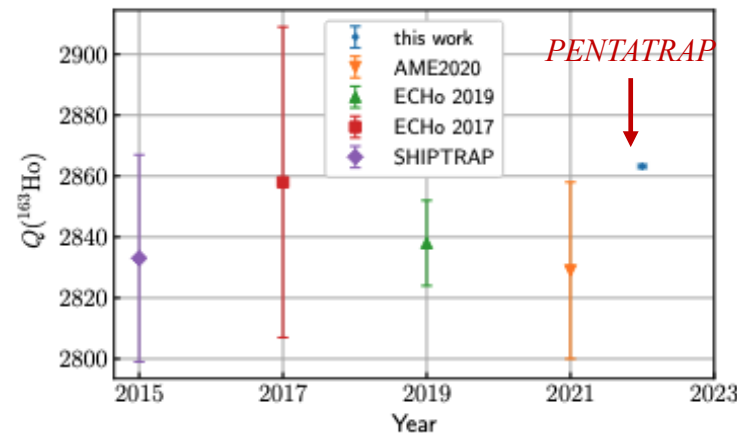
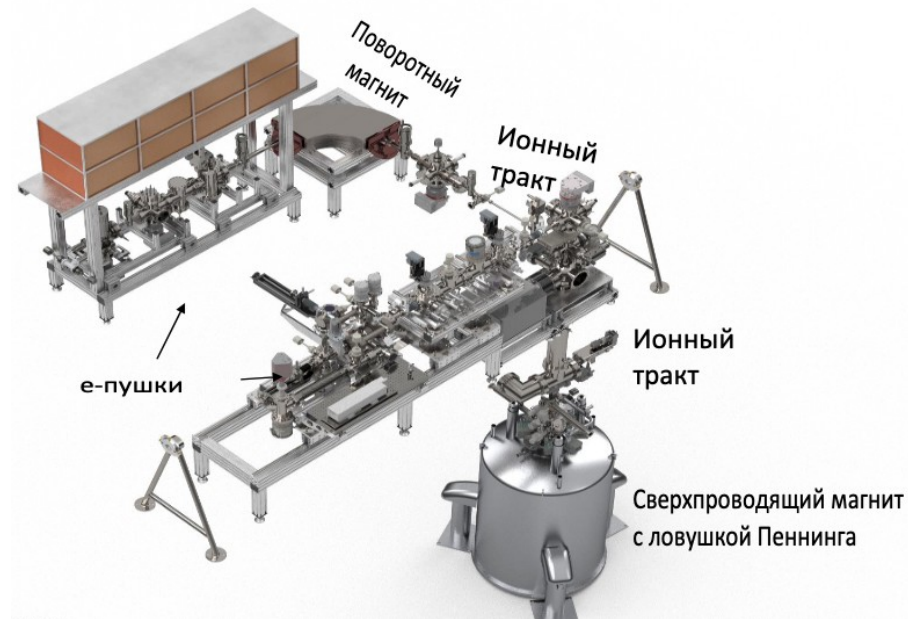


Photo: G. Otfro, GSI

Выполненные измерения позволили по цепочкам альфа-распадов определить массы ещё около 30 нуклидов сверхтяжёлых элементов вплоть до Ds (Z=110). Полученный ландшафт масс привёл к выводу о наличии **двух небольших островков стабильности около нуклидов с нейтронными числами N=152 и N=162**, расположенных на подступах к предполагаемому большому острову стабильности Сверхтяжёлых элементов.



В институте Макса Планка в Гейдельберге (Германия) проводятся регулярные исследования на тандеме из пяти ионных ловушек PENTATRAP. Установка, которой нет аналогов в мире, предназначена главным образом для ультра-прецизионного измерения масс нуклидов (относительная точность $\sim 10^{-9} \div 10^{-11}$). **Первые результаты были получены на ней с непосредственным участием сотрудников Лаборатории физики экзотических ядер ОФВЭ, которые были заняты в проекте с первых дней его реализации.**



Ультра-прецизионное измерение энергии распада «нейтринного» нуклида ^{163}Ho с точностью 0.6 эВ

Обнаружено новое высокоспиновое изомерное состояние иона ^{208}Pb , продолжение поиска кандидата с наименьшей шириной