

СЗМ
0-292

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



ДУБНА

1956-1981

Лаборатория ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

А.М.БАЛДИН,
член-корреспондент АН СССР,
директор ЛВЭ

Целью деятельности ЛВЭ в течение четвертьвековой ее истории являлось получение информации о свойствах элементарных частиц, постановка и проведение экспериментов, существенно влияющих на создание теории фундаментальных взаимодействий.

Деятельность лаборатории основана на создании новых и развитии существующих базовых экспериментальных установок и экспериментальной аппаратуры универсального назначения, крупных детекторов и методик, позволяющих вести исследования на крупнейших ускорителях мира в Серпухове, Батавии, ЦЕРНе, Дубне в области физики высоких энергий.

Основу научной проблематики ЛВЭ составляет изучение физики сильных взаимодействий, структуры адронов и проблем релятивистской ядерной физики, включая вопросы кварк-партоновой структуры ядра, фазового перехода адронная материя - кварк-глюонная плазма, а также изучение электромагнитной структуры адронов, поиск редких распадов частиц и новых резонансных состояний.

Большой объем первичной экспериментальной информации, получаемый на физических установках лаборатории, позволяет организовывать крупные международные сотрудничества по обработке этой информации как в ОИЯИ, так и в многочисленных институтах стран-участниц. Эта форма организации научных исследований получила название "физика на расстоянии". Необходимо подчеркнуть, что число физиков, работающих вне ЛВЭ и использующих получаемую на ее установках первичную информацию, превышает примерно в 10 раз число физиков, постоянно работающих в ЛВЭ. Участие в исследованиях значительного числа временных и прикомандированных научных сотрудников обеспечивает подготовку кадров для стран-участниц ОИЯИ, что является одной из основных задач ЛВЭ.

В связи с необходимостью создания уникальных и конкурентоспособных условий проведения экспериментов крупнейшей задачей лаборатории является постоянное развитие собственной ускорительной базы и участие в создании ускорительно-накопительного комплекса в ИФВЭ (Серпухов).

Мощная методическая и техническая база лаборатории позволяет наряду с эксплуатацией и развитием систем синхрофазотрона создавать практически любые современные детекторы частиц высоких энергий.

Лаборатория высоких энергий - самая большая лаборатория в ОИЯИ. В ее штате свыше 1100 сотрудников, в том числе 97 кандидатов и 23 доктора наук.

Основными структурными единицами лаборатории являются 3 научных отдела, 6 - научно-технических, выполняющих специализированные функции, отдел эксплуатации аппаратуры, энерго-технологический отдел, КБ и цех опытного производства, административно-хозяйственное подразделение.

Своим становлением ЛВЭ обязана Физическому институту им. П.Н.Лебедева АН СССР (ФИАН), где были подготовлены ведущие специалисты лаборатории, заложены идейные, методические и технические основы физики высоких энергий, а в 1949-1950 гг. разработано физическое обоснование дубненского синхрофазотрона - главной базовой установки лаборатории. В ФИАНе в августе 1944 г. В.И.Векслер, впоследствии академик и первый директор лаборатории, открыл знаменитый принцип автофазировки - основной принцип всех действующих, строящихся и проектируемых ускорителей на высокие энергии.

Как самостоятельное учреждение лаборатория начала свое существование в 1953 г. (тогда она называлась Электрофизической лабораторией Академии наук СССР - ЭФЛАН). В 1956 г. после образования Объединенного института ядерных исследований Советский Союз передал ЭФЛАН в состав ОИЯИ.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Научные направления ЛВЭ определялись запросами теории и конкурентоспособными методическими и техническими возможностями лаборатории. Если в пятидесятых и шестидесятых годах наибольший интерес теоретиков вызывали бинарные реакции, проверка дисперсионных соотношений, асимптотических теорем, систематика элементарных частиц, то в конце шестидесятых и особенно в семидесятые годы наибольшее значение для теории приобрели множественные, глубоконеупругие процессы, проверка кварковых моделей, а затем и квантовой хромодинамики.

Лаборатории высоких энергий удалось создать возможности экспериментального исследования этих проблем и внести заметный вклад в ответы на поставленные теорией вопросы. Однако из-за бурного развития физики высоких энергий каждый вновь запускаемый ускоритель "держит рекорд" по параметрам пучков лишь в течение нескольких лет. Уникальность же условий эксперимента часто играет определяющую роль в получении значимых для теории результатов.

Синхрофазотрон, запущенный в 1957 г., в начале шестидесятых годов утратил лидирующее положение в связи с запуском более мощных ускорителей в США, Западной Европе, а затем и Серпухове. Перед коллективом лаборатории стояла трудная задача - поиск направлений исследований, которые смогли бы ответить на наиболее острые вопросы физики высоких энергий и позволили бы предоставить физикам, работающим на базе установок ОИЯИ, конкурентоспособные условия для экспериментов.

Выход из создавшегося положения состоял в развитии оригинальных методик эксперимента и развертывании исследований на крупнейших ускорителях мира. Работа на крупнейших ускорителях и, прежде всего, на ускорителе ИФВЭ была инициирована и активно поддержана директором ОИЯИ академиком Н.Н.Боголюбовым. В конце шестидесятых - начале семидесятых годов коллективом лаборатории за короткий срок созданы (а частично переориентированы) три крупные электронные установки и две пузырьковые камеры, установленные затем на серпуховском ускорителе. Оперативный выход на лидирующий ускоритель позволил лаборатории не только получить ряд важных научных результатов, но и решить проблему обеспечения физиков стран-участниц уникальной экспериментальной информацией. Однако основной задачей оставался поиск возможностей, связанных с развитием собственной ускорительной базы ОИЯИ. Такие возможности были найдены на основе предложения об исследовании ядерных столкновений с большими передачами импульса и создания нового научного направления - релятивистской ядерной физики. Методической основой этого направления явилось создание комплекса медленного вывода, что позволило иметь интенсивные первичные пучки частиц, а также преобразование синхрофазотрона в первый ускоритель релятивистских ядер.

Возникшее научное направление имеет прямое отношение к наиболее актуальным проблемам теории - проверке квантовой хромодинамики, поискам кварковой экзотики, исследованию мультикварковых систем и др. Оригинальность направления и уникальность пучков синхрофазотрона обеспечивают высокую конкурентоспособность исследований на всю пятилетку 1981-1985 гг.

В области релятивистской ядерной физики в ЛВЭ получен ряд результатов на уровне открытий, получивших широкое при-

знание. Это более всего касается универсальных закономерностей кумулятивного эффекта.

Работы на сторонних ускорителях хорошо дополняют работы на синхрофазотроне в исследовании проблем квантовой хромодинамики. При создании крупных экспериментальных установок лаборатория придерживается хорошо зарекомендовавшей себя практики многократного и максимального их использования как на сторонних ускорителях, так и на синхрофазотроне, что обеспечивает высокую эффективность вкладываемых средств и ресурсов.

Изучение бинарных процессов

Изучение поведения амплитуд бинарных реакций в зависимости от энергии взаимодействующих частиц позволило провести проверку дисперсионных соотношений, которые, как было показано в трудах академика Н.Н.Боголюбова, являются строгим следствием общих аксиом квантовой теории поля.

Сразу же после запуска ускорителя в лаборатории широким фронтом были развернуты эксперименты по изучению характеристик взаимодействия частиц с энергией до 10 ГэВ. В результате проведенных измерений установлено, что полные сечения взаимодействия отрицательных пи-мезонов с протонами в интервале импульсов 3-9 ГэВ/с убывают с ростом энергии падающих пи-мезонов вопреки общепринятому в то время мнению об их постоянстве. Измерены также полные сечения взаимодействия положительных пи-мезонов и К-мезонов с протонами с помощью разработанных в ЛВЭ криогенных мишеней.

В 1962 г. усилия физиков лаборатории были направлены на изучение неизвестных ранее свойств упругого пион-протонного рассеяния на угол 180° в лабораторной системе координат. В результате этих опытов установлена резонансная структура энергетического хода этого процесса. Для проведения эксперимента впервые был создан магнитный спектрометр с жесткой фокусировкой для анализа частиц по импульсам, разработаны и созданы новые конструкции черенковских счетчиков.

В этом и последующих экспериментах успех научных коллективов лаборатории в получении новых физических результатов всегда приходил благодаря использованию в экспериментальной установке новых методических разработок, многие из которых соответствовали мировому уровню.

Так, например, изучению упругого пион-протонного и пион-гелиевого рассеяния способствовало создание особого режима камеры Вильсона - режима пониженной чувствительности, при

котором колоссальные потоки пучковых частиц не видны, а частицы отдачи легко регистрируются. Эти эксперименты, возглавляемые доктором физ.-мат.наук Л.Н.Струновым, обнаружили существенное отличие от ожидавшегося теоретиками чисто дифракционного характера рассеяния и позволили провести проверку дисперсионных соотношений. Проведение повторной серии измерений упругого пион-протонного рассеяния, но уже с помощью новой полностью автоматизированной установки - искрового спектрометра на линии с ЭВМ, впервые сооруженного в ОИЯИ, вновь подтвердило справедливость дисперсионных соотношений. Последующие эксперименты на серпуховском ускорителе при энергии 40 ГэВ также показали согласие с теорией дисперсионных соотношений.

Другой группой физиков, возглавляемой доктором физ.-мат.наук В.А.Свиридовым (и впоследствии - доктором физ.-мат.наук В.А.Никитиным) был предложен метод исследования реакций упругого рассеяния на малые углы частиц при высоких энергиях с помощью измерения в фотоэмульсиях импульсов и углов частиц отдачи. Для этого на пути внутреннего пучка ускорителя, имеющего большую интенсивность, помещалась тончайшая (3 мкм) пленочная водородсодержащая мишень. За счет многократного прохождения первичного пучка протонов через мишень число полезных событий упругого протон-протонного рассеяния стало измеряться десятками тысяч за один импульс работы синхрофазотрона. В результате проведенных опытов установлено, что в амплитуде pp -рассеяния имеется не только мнимая, но и реальная часть. Позже фотоэмульсии были заменены на полупроводниковые детекторы, а тонкая пленочная мишень - на струйную газовую водородную мишень, и установка подключена на линию с ЭВМ. В результате серии экспериментов, сделанных на серпуховском ускорителе с использованием новой методики, получены важные научные результаты: до энергии 70 ГэВ простая дифракционная модель не соответствует природе взаимодействия частиц, так как ядерная материя характеризуется не только коэффициентом поглощения, но и определенным коэффициентом преломления. Установлено также, что радиус сильного μk -нуклонного взаимодействия растет с увеличением энергии налетающих нуклонов. Многие теоретические исследования использовали полученные экспериментальные данные.

Дальнейшее развитие этого метода позволило физикам ЛВЭ под руководством профессора А.А.Кузнецова, доктора физико-математических наук В.А.Никитина и кандидата физико-математических наук С.В.Мухина провести большую серию экспериментов на ускорителе в Батавии (США). Первым экспериментом явилось изучение упругого pp -рассеяния на малые углы в интервале энергий от 8 до 400 ГэВ. Затем исследовались pD - и pHe -рассеяние. В этих экспериментах применялись газовые струйные мишени из водорода, дейтерия и гелия, разработанные группой

специалистов под руководством Ю.К.Пилипенко. На большом статистическом материале (сотни миллионов событий) измерена энергетическая зависимость радиуса действия ядерных сил в нуклон-нуклонных взаимодействиях. Обнаружено, что коэффициент преломления в ядерном веществе зависит от энергии (при 330 ГэВ он меняет также и знак, с отрицательного на положительный). Полученные результаты имели большое значение для проверки дисперсионных соотношений в новой области энергий.

Академиком И.Я.Померанчуком была выдвинута гипотеза о том, что при очень высоких энергиях сечения взаимодействия частиц и античастиц с веществом совпадают. Первые измерения полных сечений взаимодействия, выполненные в новой области энергий, поставили под сомнение это утверждение. Проверка выполнимости этого утверждения, или, как тогда говорили, теоремы, проводилась группой под руководством доктора физико-математических наук И.А.Савина и впоследствии под руководством кандидата физико-математических наук М.Ф.Лихачева. На К-мезонном пучке серпуховского ускорителя была создана установка - бесфильмовый искровой спектрометр с проволочными искровыми, затем пропорциональными камерами на линии с ЭВМ. Кроме того, в установку входили сцинтилляционные годоскопы, детекторы электронов, мюонов, уникальные 3-метровые жидководородные и дейтериевые мишени, разработанные под руководством кандидата технических наук Л.Б.Голованова. Полученные данные записывались на магнитные ленты и в дальнейшем обрабатывались учеными Дубны, Будапешта, Праги, Берлина, Софии, Тбилиси. В эксперименте исследовалась регенерация K^0 -мезонов на водороде, дейтерии и углероде при энергиях от 10 до 50 ГэВ. Результаты проведенных опытов с высокой точностью показали справедливость теоремы Померанчука и основанных на ней асимптотик. С помощью этой установки были также исследованы некоторые свойства K^0 -мезонов.

Исследование механизмов образования и распада частиц

Одним из традиционных направлений в лаборатории является изучение свойств частиц и исследование их множественного образования как доминирующего процесса при взаимодействии адронов. В лаборатории созданы 3 жидководородные камеры (0,4 м, 1 м и 2 м по длине корпуса камеры), 2 пропановые пузырьковые камеры (0,5 м и 2 м), ксеноновая камера (0,5 м). Методика пузырьковых камер стала основной при изучении множественного образования частиц.

Совместно с учеными стран-участниц проведены подробные исследования отдельных реакций с образованием обычных и стран-

ных частиц в π^-p , $p\bar{p}$, $\bar{p}p$, π^-C , nC , $\pi^{+}He$, Dp и др. взаимодействиях при различных импульсах налетающих частиц. Получена и проанализирована обширная информация о свойствах рождаемых частиц и резонансов (например, импульсные и угловые распределения, величины средней множественности, сечения образования частиц и т.д.), выяснены основные черты периферического, кластерного и других механизмов образования частиц, проведены сопоставления со многими современными моделями множественного рождения частиц.

С помощью камерной методики получен ряд значительных результатов. В марте 1960 г. с помощью 24-литровой (0,5 м) пропановой камеры в пучке отрицательных пионов с импульсом около 8 ГэВ/с обнаружен случай образования и распада новой античастицы антисигма-минус-гиперон. Это явление зарегистрировано в качестве научного открытия.

На этой же камере впервые было показано обильное рождение резонансов (кратковременные образования из частиц, живущие $\sim 10^{-23}$ с) с участием странных частиц. На двухметровой пропановой камере при импульсе 40 ГэВ/с в π^-p -взаимодействиях, т.е. при очень высоких энергиях показано, что вторичные пионы (80% от числа всех образованных пи-мезонов) являются продуктами распада резонансов. Этот результат был подтвержден в других лабораториях мира. В указанных взаимодействиях также обнаружена линейная корреляция в рождении нейтральных и заряженных пи-мезонов, изучено проявление масштабной инвариантности при высоких энергиях.

По методу, разработанному в лаборатории под руководством доктора физико-математических наук М.И.Подгорецкого, оценены размеры области испускания пи-мезонов интерференционным эффектом в парах тождественных пи-мезонов. Подробно изучены процессы и получены спектры инклюзивного (выборочного) образования частиц (π^-p - и π^-C -взаимодействия при 40 ГэВ/с, $\bar{p}p$ -взаимодействия при 23 ГэВ/с). Эти результаты дают возможность проверить расчеты, выполненные на основе кварковой модели, и позволяют получить информацию о структурных функциях кварков в протонах и антипротонах.

При изучении дейтрон-протонных взаимодействий при импульсе 3,3 ГэВ/с обнаружены пространственные корреляции нуклонов в результате взаимодействия в конечном состоянии нейтрона и протона, установлен большой вклад процессов с переворотом спина в сечение перезарядки нейтрона на протоне и существенный вклад процессов с изобарой в промежуточном состоянии.

С помощью электронной установки - 90-канального черенковского масс-спектрометра "Фотон", изучено образование η -мезонов в π^-p -взаимодействиях при 3,3 и 4,75 ГэВ/с в области

малых переданных импульсов. Обнаружена большая доля амплитуды с переворотом спина: 86% (3,3 ГэВ/с) и 83% (4,75 ГэВ/с).

В лаборатории проводились работы по программе поиска новых короткоживущих частиц с квантовым числом "шарм". С помощью метода ядерных фотоэмульсий большой группой ученых под руководством доктора физико-математических наук К.Д.Толстова на основе анализа 24 тыс. звезд, образованных протонами с энергией 70 ГэВ и пи-мезонами с энергией 60 ГэВ, найдено 4 случая, которые могут быть интерпретированы как лептонные распады новых частиц с временем жизни 10^{-14} с. Участники другого большого сотрудничества под руководством кандидата физико-математических наук М.Ф.Лихачева с помощью бесфильмового искрового спектрометра БИС-2 в пучке нейтронов с энергией 50 ГэВ на серпуховском ускорителе провели поиск новых частиц, распадающихся на гипероны и каоны или гипероны и пионы на уровне сечений их образования $1,0$ мкб.

С помощью ксеноновой 0,5-м камеры совместно с ИТЭФ впервые надежно определена величина параметра нарушения CP-четности, т.е. отношение вероятности распада долгоживущих каонов на два нейтральных пи-мезона к вероятности аналогичного распада короткоживущих нейтральных каонов. Эта величина равна $(2,02 \pm 0,23) \times 10^{-3}$.

В 1970 г. это были самые точные данные в мире, которые подтверждали гипотезу существования пятого класса взаимодействий (сверхслабого) и устраняли противоречивость имевшихся в то время экспериментальных данных.

При исследовании свойств K^0 -мезонов совместно с ЛЯП и ИФ АН ГССР впервые получены данные о нарушении C-инвариантности в распадах K^0 -мезонов, показана справедливость правила $\Delta I = 1/2$ для лептонных распадов каонов, проверено важнейшее следствие СРТ-инвариантности о совпадении масс покоя частиц и античастиц. Найдено, что гравитационные массы K^0 -мезонов и K^0 -мезонов совпадают с точностью $10^{-15}\%$.

Успех указанных выше исследований был обусловлен наличием уникальных пучков (монохроматические нейтроны, сепарированные антипротоны и др.), хорошо отработанной методикой, надежно работающим оборудованием, наличием действующих программ обработки, хорошо налаженным международным сотрудничеством, включая страны-неучастницы (Франция, Финляндия и др.). Все результаты по множественному образованию частиц были получены с помощью пучков синхрофазотрона с энергией 10 ГэВ и серпуховского ускорителя с энергией 70 ГэВ.

Физика электромагнитных взаимодействий как новое научное направление возникла в результате создания в ФИАН электронных синхротронов, которые явились первыми реализациями принципа автофазировки. Опыт, приобретенный при создании этих ускорителей, их эксплуатации и постановках первых экспериментов, лег в основу создания синхрофазотрона. Параллельно с разработкой физического обоснования синхрофазотрона на основе синхротронов ФИАН были начаты эксперименты, приведшие к обнаружению, а затем и детальному изучению процессов фоторождения мезонов. За большой цикл работ по фоторождению пионов группа физиков, в том числе физиков, ставших впоследствии сотрудниками ОИЯИ, удостоена Государственной премии СССР.

На синхрофазотроне реализованы идеи об использовании протонных ускорителей для исследования электромагнитных процессов. В ЛВЭ проведен цикл исследований по поискам новых электромагнитных распадов резонансов, а в 1964 г. поставлен решающий эксперимент, доказавший существование прямого перехода векторного мезона в фотон. Эти эксперименты, проведенные под руководством профессора М.Н.Хачатуряна, назывались в журналах и газетах того времени "открытием ядерных свойств света". Прямые переходы фотон - векторные мезоны подтвердили модель векторной доминантности и сыграли в последующем большую роль в физике частиц. Именно с их помощью в США обнаружены J/ψ -частицы. Работы, впервые доказавшие существование прямого перехода фотон-векторный мезон, зарегистрированы как открытие.

В качестве открытия также зарегистрировано предсказание и обнаружение электромагнитной поляризуемости элементарных частиц (на примере протона).

В лаборатории проведен цикл работ по поискам новых электромагнитных распадов резонансов.

Группа ученых лаборатории под руководством Э.Н.Цыганова совместно с американскими физиками несколько лет занимается проблемой измерения электромагнитного радиуса пи-мезона и К-мезона.

С помощью бесфильмового искрового спектрометра на серпуховском ускорителе путем прямого рассеяния пионов с импульсом 50 ГэВ/с на электронах в водородной мишени определен электромагнитный радиус пиона, равный $0,78 \pm 10$ Фм. В аналогичном эксперименте на ускорителе в Батавии (США) при импульсе 100 ГэВ/с измерено значение радиуса, равное $0,56 \pm 0,04$ Фм. Оба результата по величине электромагнитного радиуса пиона находятся в согласии с предсказаниями модели векторной доминантности. Данные при импульсе 250 ГэВ/с обрабатываются.

Впервые получено значение радиуса К-мезона при импульсе 250 ГэВ/с, равное $0,51 \pm 0,07$ Фм. Для экспериментов по определению радиуса К-мезона в лаборатории были изготовлены дрейфовые камеры с рекордными параметрами, что обеспечило успех в проведении данного эксперимента.

На ускорителе ЦЕРНа ученые лаборатории под руководством доктора физико-математических наук И.А.Савина с сотрудниками других лабораторий ОИЯИ и ЦЕРНа приняли участие в создании большой установки NA-4 для поиска новых частиц и изучения глубокоэластичного рассеяния мюонов на мишенях из водорода, дейтерия и углерода в области максимально возможных энергий и переданных 4-импульсов. В Дубне и ЦЕРНе проводится обработка полученных данных при энергии мюонов от 120 до 280 ГэВ.

Релятивистская ядерная физика

Начиная с 1970 г., в лаборатории успешно развивается новое научное направление - релятивистская ядерная физика. Ускорение дейтронов, а затем и легких ядер до рекордных энергий на синхрофазотроне позволило поставить принципиально новые задачи о свойствах мультимезонных систем в области больших передач импульса. Проблема описания сложных, составных объектов, для которых существенны релятивистские эффекты, в последнее время приобрела первостепенное значение в связи с развитием кварковых моделей адронов. Релятивистская ядерная физика дает возможность изучать не только поведение ядерной материи на малых межнуклонных расстояниях и при экстремальных условиях (высокие давления и температуры), но и принципиально новое состояние адронной материи - кварковую плазму. Изучение таких состояний может пролить свет на такие центральные проблемы физики элементарных частиц, как конфайнмент, мультикварковые взаимодействия, дать принципиально новые проверки квантовой хромодинамики. А.М.Балдиным предложена программа исследований по релятивистской ядерной физике, введено понятие кумулятивного эффекта, предсказаны основные закономерности этого эффекта и сформулированы критерии, выделяющие области энергий, соответствующие проявлениям свойств кварковой материи. В частности, обобщение на ядра свойств адронной материи позволило установить границу области предельной фрагментации ядер, которая должна начинаться в области энергий 3,5-4 ГэВ/нуклон. Последнее обстоятельство ставит дубненский синхрофазотрон в исключительное положение единственного ускорителя, обладающего пучками ядер с энергией выше этой границы. Группой физиков под руководством доктора физико-математических наук В.С.Ставинского, начиная с 1971 г., выполняется большая программа исследований кумулятивных явлений. Впервые обнаружено новое явление - кумулятивное мезообразование. Детально изучена предельная фрагментация ядер. Подробно исследованы угловые, энер-

гетические и другие зависимости кумулятивных пионов, протонов, дейтонов и ядер трития, образующихся в процессах предельной фрагментации ядер 23 элементов таблицы Менделеева. Обнаружены аномальные зависимости кумулятивного образования частиц от атомного номера. Обнаруженные закономерности кумулятивного образования частиц вызвали большой интерес теоретиков.

Сейчас эксперименты в области релятивистской ядерной физики ведутся широким фронтом с помощью электронной и камерной методик в одиннадцати группах физиков. Эти исследования обеспечиваются уникальными пучками синхрофазотрона: дейтонами с импульсом 11 ГэВ/с, альфа-частицами с импульсом 17 ГэВ/с, ядрами углерода с импульсом 50 ГэВ/с, ядрами кислорода с импульсом 80 ГэВ/с. Изучались процессы упругого и неупругого рассеяния DD, pC, DC, αC , αLi , αNe , CC, αp , αp , αTa , αTa и др. взаимодействий. Определены величины сечений взаимодействий, зависимости средней множественности образованных частиц от атомного номера налетающего ядра и т.д.

Помимо специфики релятивистской ядерной физики исследования с релятивистскими ядрами позволяют решать те же проблемы, которые решаются в физике элементарных частиц при высоких энергиях, т.е. проблемы внутренней структуры адронов. Подтверждением этого является обнаружение нового явления "осцилляций в дифференциальных сечениях". Это явление, предсказанное в теории pp-рассеяния, было одновременно обнаружено с помощью установки "Альфа" в пучке релятивистских альфа-частиц на синхрофазотроне и в ИФВЭ (Серпухов) в пучке пионов.

Ряд экспериментов, проводимых в лаборатории, связан с проверкой выводов квантовой хромодинамики. Пионерские работы по поискам многобарионных систем под руководством кандидата физико-математических наук Б.А.Шахбазяна привели к обнаружению нового класса экзотических систем с гиперзарядом $Y \leq 1$. Измеренные значения масс и ширины оказались равными:

$$\begin{aligned} M(\Lambda p) &\approx 2256 \text{ МэВ}, & \Gamma &= 11 \text{ МэВ}, \\ M(\Lambda \Lambda) &\approx 2365 \text{ МэВ}, & \Gamma &= 47 \text{ МэВ}, \\ M(\Lambda \Lambda p) &\approx 3568 \text{ МэВ}, & \Gamma &= 60 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

Эти результаты инициировали работы теоретиков, занимающихся кварковыми моделями адронов на основе так называемых "мешков" (образное название феноменологического описания области заключения кварков). Свойства существующих "мешков" позволяют "помещать" в них нестандартное число кварков. Исследуемые Б.А.Шахбазяном резонансы (Λp) и ($\Lambda \Lambda$) согласно этой модели интерпретируются как шестикварковые образования в одном "мешке". Подтверждение этих идей означало бы обнаружение сверхплотного состояния ядерной материи.

С помощью метода ядерных фотоэмульсий под руководством профессора К.Д.Толстова впервые в 1959 г. в лаборатории было обнаружено новое физическое явление - полное разрушение ядер брома и серебра под действием протонов с энергией 9 ГэВ, т.е. частицами высоких энергий. Затем исследован полный распад серебра и свинца при облучении ядерной фотоэмульсии пучками протонов с энергией 70 ГэВ, альфа-частицами 17 ГэВ и ядрами углерода 50 ГэВ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ НОВЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Успешное проведение экспериментов, в которых принял участие большой интернациональный коллектив Лаборатории высоких энергий, стало возможным только благодаря созданию новых и совершенствованию имеющихся экспериментальных физических установок с учетом самых перспективных методов детектирования частиц, а также за счет широкого использования в эксперименте ЭВМ и новейших достижений техники и микроэлектроники.

На синхрофазотроне, серпуховском ускорителе и других ускорителях работали и продолжают работать полностью автоматизированные установки:

- Фотон - черенковский масс-спектрометр на 90 каналов для изучения электромагнитной структуры адронов;
- БИС-2 - бесфильмовый искровой спектрометр, работающий по программе поиска новых очарованных частиц;
- СКМ-200 - стримерная камера длиной 2 м для исследований в области релятивистской физики;
- “Диск-2“ - установка из сцинтилляционных и черенковских счетчиков с поворотным плечом для изучения кумулятивного образования частиц;
- СЯО - спектрометр ядер отдачи на базе полупроводниковых детекторов и дрейфовых камер с тонкой мишенью на внутреннем пучке синхрофазотрона для исследования дифракционного взаимодействия протонов с легкими ядрами и фрагментации ядер;
- Альфа - спектрометр с пропорциональными и дрейфовыми камерами для исследования упругого рассеяния релятивистских ядер при малых передачах и спектра возбуждений малонуклонных систем;
- Тау - спектрометр с дрейфовыми камерами и тонкой мишенью на внутреннем пучке серпуховского

NA-4	ускорителя для поиска распада новых короткоживущих частиц; тороидальный спектрометр на ускорителе СПС (ЦЕРН) для исследования глубоконеупругого рассеяния мюонов на водороде, дейтерии и углероде, а также для поиска новых частиц;
"Кристалл"	- спектрометр с дрейфовыми камерами для изучения явления каналирования частиц высоких энергий в монокристаллах;
"Резонанс"	- стримерная камера с жидководородной мишенью в магнитном поле для изучения редких процессов во взаимодействиях элементарных частиц;
"Людмила"	- двухметровая жидководородная пузырьковая камера, работающая в пучках серпуховского ускорителя (протоны - 35 ГэВ/с, антипротоны - 23 ГэВ/с, антидейтоны - 11,5 ГэВ/с) по программе изучения множественного образования частиц;
2м-ППК	двухметровая пропановая пузырьковая камера, облученная отрицательными пионами с импульсом 40 ГэВ/с на серпуховском ускорителе для исследования множественного образования частиц и пучками протонов с энергией 10 ГэВ и ядрами дейтерия, гелия, углерода с энергией 4,5 ГэВ/нуклон на синхрофазотроне для исследований в области релятивистской ядерной физики;
Однометровая жидководородная камера	- облучена на синхрофазотроне пионами с импульсом 5,0 ГэВ/с, моноэнергетическими нейтронами в области 1-5 ГэВ, ядрами дейтерия с импульсом 3,3 ГэВ/с, альфа-частицами с импульсами 8,5 и 13,5 ГэВ/с по программе множественного образования частиц и релятивистской ядерной физики.

Широко используется методика толстослойных ядерных фотоэмульсий. В лаборатории работает единственный в странах-участницах центр для химической обработки фотоэмульсионных камер, облученных в пучках синхрофазотрона, а также на других ускорителях и в космосе. В 1972 г. в лаборатории были проявлены эмульсии, облученные на спутниках по программе "Интеркосмос". В этом же центре проводятся эмульсионные работы ЦЕРНа и ряда стран Западной Европы, посвященные исследованиям шарма.

Методические исследования в лаборатории включают:

а/ разработку и внедрение в эксперимент современной электронной аппаратуры и новых методов детектирования частиц,

б/ разработки в области использования ЭВМ в физических экспериментах, инженерных работах,

в/ развитие и использование в физических и инженерных работах криогенных систем, включая сверхпроводящие системы.

Специалисты лаборатории под руководством кандидата технических наук И.Ф.Колпакова и доктора технических наук С.Г.Басиладзе, начиная с 1970 г., впервые в ОИЯИ внедрили стандарт КАМАК при разработке электронной аппаратуры для экспериментальных установок в физике высоких энергий. За 9 лет разработано свыше 140 различных типов модулей КАМАК в области вычислительной техники и быстрой электроники. Большая работа по созданию системы модулей и интерфейсов позволила успешно автоматизировать основные физические и электрофизические установки лаборатории. Завершено создание системы, управляющей режимами работы синхрофазотрона и медленным выводом частиц, создана система определения интенсивности ядерных пучков на основе микропроцессора, автоматизирована работа ряда стендов, включая стенд для испытаний сверхпроводящих магнитов и линз.

В лаборатории создан вычислительный центр с базовой ЭВМ ЕС-1040. Его постоянное развитие обеспечивает возможность обработки физических результатов как в режиме "на-линии" с установками, так и "вне-линии". Сотрудники лаборатории используют терминал к ЭВМ CDC-6500(ЭВМ находится в ЛВТА), а также более 10 малых ЭВМ.

Успешная разработка электронных блоков в стандарте КАМАК отмечена первой премией ОИЯИ (совместно с ЛЯП).

С 1970 г. в лаборатории ведутся разработки многопроходных детекторов - искровых пропорциональных и дрейфовых камер для физических экспериментов на синхрофазотроне и серпуховском ускорителе для диагностики пучков. В 1974 г. в лаборатории завершено создание крупной установки "Фотон", в которую вошли 32 проволочные двухкоординатные искровые камеры размером $1 \times 1 \text{ м}^2,6$ пропорциональных камер, электронная аппаратура в стандарте КАМАК для съема, регистрации и передачи на ЭВМ HP2116В данных с искровых и пропорциональных камер. Эта установка была одной из крупнейших в странах-участницах. Для системы диагностики пучка установки "Людмила" создано 10 двухкоординатных пропорциональных камер, работающих в условиях больших загрузок - около 10^{12} частиц в секунду. Система успешно используется с 1977 г. для настройки и контроля параметров пучка. В лаборатории разработаны детекторы с высоким пространственным и энергетическим разрешением. Успешное проведение экспериментов на ускорителе в Батавии по определению электромагнитных радиусов пиона и каона при энергии 100 и 250 ГэВ, а также экспериментов по каналированию стало возможным благодаря созданным в лаборатории дрейфовым камерам с

разрешением 60 мкм. Для создаваемого нового варианта спектрометра ядер отдачи исследована пропорциональная камера с дрейфовым промежутком, для которой получено разрешение по энергии 1,5% для альфа-частиц с энергией 5 МэВ.

В лаборатории создана большая криогенная база для разработки и применения приборов криогенной техники в большинстве проводимых здесь экспериментов. Сотрудники отдела профессор А.Г.Зельдович и доктор технических наук Е.И.Дьячков внесли решающий вклад в создание криогенной части однометровой жидководородной камеры. Двухметровая водородная камера "Людмила" создавалась под руководством кандидата физико-математических наук Н.М.Вирясова с использованием опыта, полученного при сооружении однометровой камеры. Для проведения физических экспериментов на пучках было создано 15 мишеней с жидким водородом, жидким дейтерием и жидким гелием с длинами от 0,15 до 3 м. Некоторые мишени оказались прецизионными и позволили поддерживать постоянное количество водорода на пути частиц с точностью 0,05%. Созданы полностью неметаллические жидководородные мишени для применения в стримерных камерах в условиях сильных электрических и магнитных полей. Экспериментальным достижением были разработки на уровне изобретений газовых струйных мишеней из водорода, дейтерия и гелия, успешно работавших в ИФВЭ (Серпухов) и в первых совместных экспериментах ОИЯИ-ФНАЛ после запуска ускорителя в Батавии. Сотрудники криогенного отдела создали образец криогенного источника поляризованных дейтронов с током до 150 мкА, не имеющий аналогов в мировой практике. Проведены исследования электрической прочности изоляции при температуре жидкого гелия, термодинамических характеристик пузырьковых камер, процессов фильтрации жидкого водорода, резистивного состояния и токонесущей способности сверхпроводящих сплавов, проведены работы по автоматизации процессов ожигения, разработаны водородные и гелиевые ожигатели дроссельного типа, установки с расширительными машинами-детандерами.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Помимо исследований, относящихся к изучению фундаментальных свойств материи, в лаборатории ведутся работы прикладного характера, выполняются заказы различных организаций стран-участниц.

С 1975 г. под руководством доктора технических наук Ю.В.Заневского начались работы по применению детекторов излучений физики высоких энергий в медико-биологических исследованиях. Интересным и эффективным оказалось применение пропорциональных камер в молекулярной биологии для обработки тонкослойных

радиохроматограмм. Созданный в лаборатории высокочувствительный прибор позволил вести обработку хроматограмм размером до 200x200 мм² неразрушающим методом и значительно сократить время измерений: от нескольких дней до 20 минут. К прибору подключено запоминающее устройство, ЭВМ и телевизионный монитор.

Развивается и другое направление - ионная радиография. Впервые в странах-участницах на пучке альфа-частиц с энергией 200 МэВ/нуклон испытана установка на линии с ЭВМ для радиографии объектов и проведены оценки основных параметров метода. Было показано, что метод обладает высокой чувствительностью, разрешением по плотности объектов лучше 0,1%, пространственным разрешением 2 мм. Ионная радиография обеспечивает получение значительно большей информации о тонкой анатомической структуре объекта, при этом доза облучения в тысячу раз меньше по сравнению с любыми другими методами лучевой диагностики.

Опыт использования автоматизированных систем в физике высоких энергий вызвал интерес специалистов, работающих в области автоматизации различных процессов, играющих существенную роль в народном хозяйстве стран-участниц.

Химическая группа лаборатории много лет занимается изготовлением и исследованием сцинтилляторов. Группа не только обеспечила проведение всех экспериментов в ЛВЭ, но также и во многих институтах СССР и других стран-участниц. Освоено производство пластических сцинтилляторов от тонких пленок до больших блоков.

Прикладные исследования и работы ведутся и в других подразделениях лаборатории.

УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛАБОРАТОРИИ

Среди основных достижений лаборатории следует отметить работы ее основателя академика В.И.Векслера по разработке новых принципов ускорения, которые определили главные направления создания ускорителей частиц высоких энергий. В.И.Векслером предложен принцип автофазировки, реализованный в крупных современных ускорителях, а также коллективный метод ускорения частиц. Для осуществления этого метода в ЛВЭ был создан специальный отдел, который позднее выделился в самостоятельное подразделение ОИЯИ - Отдел новых методов ускорения во главе с доктором физико-математических наук В.П.Саранцевым.

Пучок протонов с проектной кинетической энергией 10 ГэВ (или с импульсом 10,9 ГэВ/с) получен на синхрофазотроне ОИЯИ в апреле 1957 г. После введения в эксплуатацию в 1961 г. линейного ускорителя ЛУ-9 интенсивность внутреннего пучка ускорителя возросла до 8×10^{10} протонов за цикл. За все годы после запуска ускорителя наряду с его широким использованием для проведения экспериментов по физике высоких энергий в отделе под руководством кандидата физико-математических наук И.Н.Семенишкина и доктора технических наук Л.П.Зиновьева проводилось совершенствование его основных узлов, улучшение технических параметров с целью расширения возможностей синхрофазотрона для проведения новых исследований в физике частиц и ядер.

Широкие возможности для повышения интенсивности ускоряемых частиц дало введение в эксплуатацию линейного ускорителя ЛУ-20 в 1974 г. Несколько ранее на синхрофазотроне были ускорены ядра дейтерия (1970 г.) и ядра гелия (1973 г.) до максимального импульса 5,4 ГэВ/с на нуклон. Для расширения набора ускоряемых ядер в отделе синхрофазотрона с 1971 г. под руководством кандидата физико-математических наук Е.Д.Донца начались работы по созданию электронно-лучевого источника многозарядных ионов (установка "Крион"), а с 1975 г. совместно с МИФИ (Москва) - работы по созданию лазерного источника многозарядных ионов.

Введение в эксплуатацию дебанчера пучка и проведение большого объема работ по коррекции дефигурированного магнитного поля в рабочей области камеры синхрофазотрона (руководитель - М.А.Воеводин) позволили получить следующие максимальные величины интенсивностей частиц и ядер:

протоны	до 4×10^{12} р/цикл,
дейтоны	до 3×10^{11} d/цикл,
альфа-частицы	до 4×10^{10} α /цикл,
ядра углерода	до 4×10^6 ядер/цикл,
ядра азота	до 2×10^5 ядер/цикл,
ядра кислорода	до 2×10^5 ядер/цикл.

Для более эффективного использования пучков синхрофазотрона и создания пучков высокой интенсивности под руководством кандидата технических наук И.Б.Иссинского в 1972 г. была создана система медленного вывода ускоренного пучка за время 0,4 с с эффективностью вывода около 94%, что явилось рекордным достижением для класса ускорителей, к которым относится синхрофазотрон. Интенсивность выведенного пучка протонов на много порядков величины превышает использовавшиеся ранее пучки вторичных частиц. Работа на выведенном пучке позволила начать эксперименты принципиально нового класса. Для обеспечения работы пузырьковых камер в 1975 г. введена в эксплуатацию система быстрого вывода пучка за время около 1 мс, а в 1976 г. осуществлена совместная

работа систем медленного и быстрого выводов в одном цикле ускорения, что, по существу, вдвое увеличило эффективность использования ускорителя на физический эксперимент. В 1978 г. из синхрофазотрона выведен пучок альфа-частиц с импульсом 0,64 ГэВ/с на нуклон, на котором проведен методический эксперимент по ионной радиографии и созданы возможности для медико-биологических исследований. Управление режимом системы медленного вывода осуществляется при помощи ЭВМ ЕС-1010.

На синхрофазотроне задействована система измерения интенсивности ускоряемого пучка в пределах от 10^5 до 10^{14} элементарных зарядов частиц.

В настоящее время для обеспечения физических экспериментов используются 11 каналов заряженных частиц с 97 элементами магнитной оптики. Для измерения индукций магнитных полей до величины 6 Т и выше разработана и изготовлена магнитометрическая аппаратура, основанная на принципе ядерного магнитного резонанса, с точностью не хуже 0,010%. Для настройки и контроля параметров некоторых каналов вторичных частиц введена в эксплуатацию автоматизированная система на базе ЭВМ ЕС-1010.

Работы по созданию базовых установок и их эксплуатации, по ускорительной технике, а также прикладным исследованиям требуют гигантских инженерных сооружений, большого объема механических работ, высокой технологической культуры, требуют решения сложных проблем энерго-, газо- и водообеспечения лаборатории. Эта сторона деятельности ЛВЭ обеспечивается высококвалифицированным инженерно-техническим персоналом лаборатории во главе с главным инженером ЛВЭ Л.Г.Макаровым (до него этот участок работы возглавлял Н.И.Павлов).

Базовое производственное подразделение ЛВЭ вначале называлось экспериментальными мастерскими, оно непрерывно развивалось и укреплялось, росла его значимость для лаборатории. В 1974 г. экспериментальные и эксплуатационные мастерские объединены в единое производственное подразделение, руководимое Б.К.Курятниковым. В этот период была проведена реконструкция помещений и производственных участков, изменена организационная структура производства. Развитие опытного производства продолжается и в настоящее время. Современное опытное производство представляет собой хорошо организованное и развитое подразделение лаборатории, способное решать широкий набор технологических задач, выдвигаемых физикой высокой энергии, среди которых создание практически всех механических узлов сложнейших экспериментальных установок, различного криогенного оборудования, оборудования быстрого и медленного выводов синхрофазотрона, ионного источника "Крион", модельных магнитов для нуклотрона, вакуумных и магнитных систем каналов

пучков и другого оборудования, подчас не имеющего аналогов в мировой практике.

Разработка и техническое оформление заказов подразделений лаборатории в опытное производство осуществляются конструкторским бюро. В этом немногочисленном подразделении под руководством Е.А.Матюшевского работают опытные конструкторы, хорошо знающие специфику лаборатории.

Эксплуатацией и развитием уникального по своей мощности и сложности электротехнического комплекса, включающего систему питания синхрофазотрона и источник питания каналов транспортировки пучков частиц, руководит кандидат технических наук А.А.Смирнов. Благодаря созданию системы эффективных защит от разрушения электрооборудования большими аварийными токами и проведению других работ снижены до 1,3% простои работы ускорителя из-за неполадок в системе питания. В большой степени снижены пульсации выпрямленного напряжения в системе питания магнитного поля ускорителя в режиме "площадка тока", в системе питания совершен переход на полупроводниковую технику. Сотрудниками научно-инженерного электротехнического отдела получено более 30 авторских свидетельств на изобретения, подано и внедрено около 400 рационализаторских предложений. На уровне изобретения разработан и внедрен новый способ связи частоты ускоряющего напряжения с величиной магнитного поля ускорителя, что повысило стабильность положения пучка по радиусу и надежность ускорения частиц и ядер.

Энерготехнологический отдел, возглавляемый В.С.Григорашенко, обеспечивает обслуживание и развитие большого энергетического хозяйства лаборатории. Отдел ведет планомерную работу по модернизации оборудования, разрабатывает проекты и ведет монтажные и наладочные работы по энерго- и водообеспечению как собственно ускорителя, так и других потребителей.

Электрофизические работы, создание систем магнитных каналов, выводных магнитных систем, систем газообеспечения искровых и пропорциональных камер, создание магнитометрических систем, а также внедрение, а частично и создание технологии изготовления сверхпроводящих материалов - все это входит в круг задач отдела экспериментальной электрофизической аппаратуры, возглавляемого С.А.Аверичевым.

Работа производственных отделов, функциональных подразделений и служб ЛВЭ нацелена на создание оптимальных условий работы физиков, на максимальный выход первичной информации с экспериментальных установок для обеспечения "физики на расстоянии".

РАБОТЫ ПО ПРОЕКТАМ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ И УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В связи с тем, что релятивистская ядерная физика является одним из важнейших направлений научных исследований в ОИЯИ, перспектива развития ЛВЭ связывается с непрерывным развитием синхрофазотрона в ускорительный комплекс тяжелых ионов (УКТИ). Важной частью этого комплекса станет создаваемый совместно с ИАЭ (Москва) тяжелоионный синхротрон (ТИС), который будет бустером вначале для синхрофазотрона, а затем для основного кольца нуклотрона. Предполагается, что нуклотрон будет жестко-фокусирующим ускорителем релятивистских ядер, основанным на технике сверхпроводимости, более экономичным и ускоряющим ядра до больших энергий, чем синхрофазотрон.

По проекту ТИС подготовлено предложение о создании синхротрона на кинетическую энергию до 250-300 МэВ/нуклон (по урану), в котором сформулирована проблематика исследований и изложены технические решения по основным узлам и режимам работы синхротрона.

Для проведения экспериментальных и проектных работ по нуклотрону создана современная исследовательская база: стенд для испытания импульсных сверхпроводящих магнитов, уникальная установка для калориметрического измерения потерь в коротких образцах сверхпроводников, помещенных в переменное магнитное поле, система питания сверхпроводящих магнитов и преобразовательной установки со схемой программного управления и эвакуации энергии мощностью 160 кВт и током 8000 А; на уровне изобретения разработана технология и создана установка для изготовления кабеля круглого и прямоугольного сечения из сверхпроводника. Подробно исследованы более десятка импульсных сверхпроводящих магнитов с железным сердечником для полей с индукцией 2,5 Т, изучаются способы охлаждения этих магнитов до гелиевых температур, изучаются возможности изготовления отдельных узлов ускорителя, накапливается опыт работы по изготовлению и эксплуатации сверхпроводящих устройств. Группа инженеров и физиков ЛВЭ под руководством доктора технических наук И.А.Шелаева создала импульсные дипольные и квадрупольные магниты, на базе которых удалось построить несколько полномасштабных секций модели сверхпроводящего ускорителя.

Опыт, накопленный сотрудниками ЛВЭ в области криогенной техники и физики низких температур, позволяет сделать заметный вклад в разработку ускорительно-накопительного комплекса, создаваемого на базе серпуховского ускорителя (УНК). Научное

руководство созданием криогенных систем УНК возложено на руководителя научно-исследовательского криогенного отдела профессора А.Г.Зельдовича.

НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО СО СТРАНАМИ-УЧАСТНИЦАМИ

С самого начала образования ЛВЭ особое внимание было направлено на организацию и осуществление международного научного сотрудничества лаборатории со странами-участницами ОИЯИ и рядом стран-неучастниц. В настоящее время ведется сотрудничество практически по всем темам научных исследований со всеми основными научно-исследовательскими учреждениями всех стран-участниц.

Основой для первых совместных работ явились исследования, проводившиеся в ЛВЭ с помощью ядерных фотоэмульсий. В числе первых были институты НИКФИ (Москва), ИЯФ (Ташкент), ФИАН (Москва), РИАН (Ленинград) и др. К настоящему времени во многих научных центрах ведется обработка экспериментальной информации, присылаемой из Дубны в виде магнитных лент, получаемых в режиме работы физических установок на линии с ЭВМ, слоев ядерных фотоэмульсий, фотоснимков с пузырьковых камер, изготавливаются отдельные узлы для установок ЛВЭ (Алма-Ата, Ташкент и др.).

К основным направлениям международного сотрудничества относятся проведение совместных исследований на синхрофазотроне и крупнейших ускорителях мира (ИФВЭ (Серпухов), ФНАЛ (Батавия), ЦЕРН), совместная обработка и анализ экспериментальных данных, обмен опытом и осуществление консультаций с учреждениями стран-участниц, взаимное командирование научных специалистов для проведения совместных работ и участия в рабочих совещаниях, симпозиумах, конференциях, подготовка и воспитание высококвалифицированных научных и инженерных кадров для стран-участниц ОИЯИ. Многие высококвалифицированные специалисты, начинавшие работать в ЛВЭ молодыми сотрудниками, сейчас возглавляют ответственные участки работы в своих странах.

Лаборатория обеспечивает свыше 60 научно-исследовательских учреждений из 15 стран первичной информацией, подлежащей дальнейшей обработке, что дало возможность многим лабораториям осуществлять совместные и оригинальные исследования непосредственно у себя в странах с привлечением более широкого круга научных работников, в том числе и научной молодежи. Заметное участие в исследованиях, проводимых в ЛВЭ, принимают физики стран-неучастниц ОИЯИ: Франции, Финляндии, США, ФРГ, Югославии, Индии.

Для проведения научных исследований по темам в ЛВЭ создано свыше 17 совместных групп (сотрудничеств), среди которых надо отметить большие коллективы для обработки информации с двухметровой пропановой камеры (руководители М.И.Соловьев и В.Г.Гришин), с двухметровой жидководородной камеры "Людмила" (руководитель И.М.Граменицкий), с установок БИС-2 (руководитель М.Ф.Лихачев), СКМ-200 (руководитель Э.О.Оконов), с установки "Кристалл" (руководитель Э.Н.Цыганов), на основе фотоэмульсий (руководитель К.Д.Толстов).

Со стороны ЛВЭ обеспечивается организационная часть совместных работ, публикация научных результатов через издательский отдел ОИЯИ, проведение в Дубне рабочих совещаний по сотрудничеству. Как правило, результаты работ, выполненных совместно, вызывают большой интерес мировой научной общественности, а представители интернациональных коллективов регулярно участвуют в крупнейших международных конференциях, симпозиумах, семинарах.

Сотрудничество лаборатории с научными центрами стран-участниц ОИЯИ является исключительно взаимовыгодным. На ближайшую пятилетку ученые ЛВЭ имеют большую и четкую программу физических исследований на ускорителях Дубны, Серпухова, ЦЕРНа и Батавии на основе международного сотрудничества с институтами стран-участниц ОИЯИ и других стран. План развития ЛВЭ предусматривает дальнейшую концентрацию усилий на создании и модернизации материально-технической базы исследований, обеспечивающих получение результатов, играющих важную роль в развитии теории.

