

**Рис. 1.** Схема ускорительного комплекса ЛВЭ синхрофазотрон-нуклотрон

Ю.К.Пилипенко, С.В.Романов, П.А.Рукояткин, И.Н.Семенюшкин, А.А.Смирнов, Ю.И.Тягущкин, С.В.Федуков, Г.Г.Ходжибагян, А.П.Царенков, К.В.Чехлов, В.И.Шарапов, И.А.Шелаев и многих других.

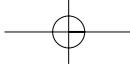
## 2. Физика элементарных частиц

За время своего существования интернациональным коллективом ЛВЭ внесен существенный вклад в развитие физики элементарных частиц и атомного ядра. Физикам ЛВЭ удалось получить целый ряд новых экспериментальных результатов, оказавших принципиальное влияние на создание современного представления о строении вещества. В этот период ими был сделан ряд открытий и впервые установлены многие ранее неизвестные закономерности, сыгравшие важную роль как в дальнейшем развитии теории сильных взаимодействий, так и в создании современной теории атомного ядра. Источниками и составными частями этого успеха в ЛВЭ являлись:

- наличие современного ускорительного комплекса синхрофазотрон-нуклотрон;
- широкое использование в экспериментах новых идей, методических разработок и новейших достижений техники, микроэлектроники и криогеники;
- наличие высококвалифицированного коллектива специалистов.

Подготовка к экспериментам на синхрофазотроне в ЛВЭ шла полным ходом еще до его запуска в следующих главных направлениях исследований:

- изучение бинарных реакций (структура нуклона);



- изучение механизма множественного образования частиц и их распада;
- изучение электромагнитных взаимодействий частиц.

Для проведения экспериментов в этих направлениях было предложено, разработано и создано большое количество разнообразной аппаратуры для экспериментальных установок. В связи с тем что в Советском Союзе не было еще опыта проведения экспериментов на таком крупнейшем в мире ускорителе, каким являлся синхрофазотрон, многое из этой аппаратуры изготавливалось впервые.

Для регистрации и идентификации частиц больших энергий были разработаны и созданы, одновременно и независимо с подобными разработками за рубежом, газовые черенковские счетчики: пороговые (регистрирующие частицы со скоростью больше некоторого порога) и дифференциальные (регистрирующие частицы заданной скорости). Одновременно была начата разработка искровых камер.

В это же время в научно-экспериментальном отделе создается группа (М.Н.Медведев, Е.Н.Матвеева, Л.Я.Жильцова, М.Д.Шафранов и др.) по разработке технологии и изготовлению пластиковых сцинтилляторов, а в криогенном отделе под руководством Л.Б.Голованова разрабатываются разного типа и размера жидководородные мишени.

#### *Изучение бинарных реакций (структура нуклона)*

В связи с тем что для протонов, ускоренных до энергии 10 ГэВ, длина волны де Бройля становится меньше размеров нуклонов, такие частицы становятся хорошим «пробником» для изучения структуры нуклонов с помощью исследования упругого рассеяния протонов на нуклонах.

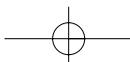
Большое значение имели выполненные в ЛВЭ эксперименты по упругому рассеянию протонов и пионов протонами с передачей очень малых и очень больших импульсов (или упругое рассеяние на очень малые и очень большие углы).

Эти исследования были инициированы классическими работами академика Н.Н.Боголюбова, в которых впервые было строго доказано, что дисперсионные соотношения есть прямое следствие общих принципов локальной квантовой теории поля: причинности, унитарности и релятивистской ковариантности.

#### *Изучение процессов упругого рассеяния на малые углы*

В 60-е годы прошлого столетия широко обсуждаемой проблемой была асимптотика адронных взаимодействий при высоких энергиях. В частности, весьма актуальным направлением исследований являлся ответ на вопрос, как ведут себя полные сечения и амплитуды бинарных реакций при сверхвысоких энергиях.

Основываясь на оптической модели, теоретики предсказывали, что полные сечения  $\sigma_{tot} \sim 2\pi r^2$  и наклон дифракционного конуса  $b = r^2/2$ ,  $d\sigma/dt \sim \exp(bt)$  стремятся к постоянному значению, поскольку адрон представляет собой (как протяженный объект) поглощающую сферу (серую или черную) с постоянным радиусом  $r$ , который много больше длины волны:  $r > \lambda$ , где  $\lambda = h/p$ . При этом действительная часть амплитуды упругого рассеяния, обусловленная в оптике коэффициентом преломления, будет стремиться к нулю:  $\rho(E) = \text{Re}A/\text{Im}A \rightarrow 0$ .



С другой стороны, другая теоретическая модель Редже, в которой была сформулирована концепция полюсов и которая претендовала в это же время стать главным элементом будущей теории сильных взаимодействий, предсказывала, что в бинарные процессы и в полные сечения главный вклад дает один полюс — померон. Предсказательная сила модели Редже была невелика, так как она содержала произвольную функцию  $f(t)$  и два важных параметра  $\alpha(0)$  и  $\alpha'$ , которые и определяли тип асимптотики полных сечений. При  $\alpha(0) \leq 1$  имеем асимптотику с убывающими или постоянными полными сечениями, а при  $\alpha > 1$  сечения полиномиально растут и, чтобы избежать противоречия с другими существующими теоретическими представлениями, модель Редже необходимо значительно усложнить путем учета перерасеяний померона. Если  $\alpha' = 0$ , то имеем аналог классической оптики с  $b = \text{const}$ . Если  $\alpha' > 0$ , то во всех дифракционных процессах будет универсальный логарифмический рост  $b$ -параметра (и радиуса области взаимодействия).

Таким образом, перед экспериментаторами была задача: проверить теоретические модели и определить, по крайней мере, три важных параметра:  $\alpha(0)$ ,  $\alpha'$  и  $\rho(E)$  с точностью не ниже (2–3%) в дифференциальном сечении во всей доступной области энергий.

Прогресс в экспериментах этого направления был достигнут в основном благодаря новой оригинальной методике, предложенной и реализованной тогда еще молодыми физиками ЛВЭ в первых экспериментах на синхрофазотроне.

Это, прежде всего, относится к разработанному в лаборатории (К.Д.Толстов и Э.Н.Цыганов) новому методу облучения ядерных фотоэмульсий пучком ускоренных протонов в направлении, перпендикулярном к их поверхности, что позволило изучать процессы упругого рассеяния на очень малые углы.

Благодаря этому методу удалось впервые исследовать упругое рассеяние протонов на протонах на малые (вплоть до  $2^\circ$  в с.с.м.) углы в интервале энергий от 3 до 9 ГэВ и получить ряд новых важных результатов. В частности, была измерена энергетическая зависимость сечения упругого  $pp$ -рассеяния на малые углы и установлено, что с возрастанием энергии сечение этого процесса сначала быстро растет (до энергии 6,2 ГэВ), а затем медленно убывает. Оценка радиуса взаимодействия при этих энергиях дала величину  $1,15 \cdot 10^{-13}$  см.

При осуществлении опытов по упругому протон-протонному рассеянию на малые углы другой группой физиков лаборатории, возглавляемой В.А.Свиридовым и В.А.Никитиным, был также предложен новый метод изучения этого процесса, обеспечивший на многие годы лидирующее положение физиков ОИЯИ в этом направлении исследований. С помощью этого метода были выполнены, в частности, первые эксперименты на крупнейших ускорителях мира: синхрофазотроне ОИЯИ (Дубна), протонных синхротронах ИФВЭ (Протвино) и ФНАЛ (Батавия, США)<sup>1</sup>.

В основе этого нового метода реализуется возможность использования многократных (около  $10^4$  раз) прохождений внутреннего пучка ускоряемых синхрофазотроном протонов через тонкую (около  $10^{-6}$  г/см<sup>2</sup>) водородосодержащую мишень,

<sup>1</sup> Bartenev V.D. et al. // Phys. Rev. Lett. 1973. V. 31. P. 1367; Yad. Fiz. 1976. V. 23. P. 759; Yad. Fiz. 1972. V. 15. P. 1174; Beznogikh G.G. // Nucl. Phys. B. 1973. V. 54. P. 97; Zolin L.S. // Yad. Fiz. 1973. V. 18. P. 55.

расположенную непосредственно в камере ускорителя, с одновременным измерением в фотоэмульсиях угла вылета и энергии частицы отдачи.

С помощью этой методики в пионерских опытах на синхрофазотроне физики впервые в мире при высоких энергиях (что принципиально) наблюдали новый физический эффект – интерференцию кулоновского и ядерного взаимодействия двух протонов. Эксперимент противоречил общепринятой теории, в том числе оптической модели: существовавшая асимптотическая картина взаимодействия при высоких энергиях оказалась несостоятельной. Явление интерференции возникает тогда, когда при определенных малых значениях угла рассеяния протонов может возникнуть ситуация, при которой роль сил электромагнитной (т.е. кулоновской) и ядерной станет сравнимой между собой. В этом случае, изучая свойства упругого рассеяния на малые углы, можно получить сведения о «размерах» испытываемого объекта и о его «прозрачности».

Описанный выше метод, благодаря высокому разрешению по энергии и углу, позволил использовать эту методику не только для изучения адронных бинарных реакций, но и для исследований процессов упругого (без развала или возбуждения ядер) рассеяния частиц на ядрах. В опытах по изучению свойств упругого протон-дейтронного рассеяния при энергии от 1 до 10 ГэВ было установлено, что дифференциальные сечения этого процесса в области малых переданных импульсов соответствуют, как и в  $pp$ -рассеянии, наличию конструктивной интерференции кулоновского и ядерного рассеяния.

Была измерена и вещественная часть амплитуды упругого протон-дейтронного рассеяния.

Сопоставление полученных этой группой данных о величине действительной части амплитуды упругого рассеяния в протон-протонных и протон-дейтронных столкновениях на малые углы позволило впервые получить также величину действительной части амплитуды протон-нейтронного рассеяния.

Результаты опытов получили широкий резонанс в мире и были зарегистрированы в Государственном реестре открытий СССР как открытие под названием «Явление потенциального рассеяния протонов высоких энергий» с приоритетом, датированным 1963 годом.

Свойства упругого пион-протонного рассеяния в области кулон-ядерной интерференции в той же области энергий были изучены в экспериментах группы физиков ЛВЭ, возглавляемой Л.Н.Струновым.

Получению новых физических результатов в этой серии опытов способствовало осуществление оригинального методического предложения – использование камеры Вильсона в режиме с пониженной чувствительностью. Режим позволял регистрировать в камере только протоны отдачи и не регистрировать поток пучковых пионов с интенсивностью около  $10^4$  частиц за цикл ускорения, пропускаемых через рабочий объем камеры, заполненной водородом.

В эксперименте была впервые получена оценка реальной части амплитуды этого процесса.

Было также установлено, что экспериментальные значения дифференциального сечения соответствовали деструктивной интерференции. Как и в  $pp$ -рассеянии, действующие здесь силы имеют характер отталкивания.

### *Изучение процессов упругого рассеяния на большие углы*

Исследования упругого рассеяния адронов на протонах на большие углы имеют большое значение для изучения структуры нуклона, так как в этих процессах, в отличие от процессов упругого рассеяния на малые углы, зондируется центральная область нуклона.

В 1962 году усилия физиков ЛВЭ были направлены на изучение неизвестных ранее свойств упругого пион-нуклонного рассеяния на угол  $180^\circ$  в лабораторной системе координат. Эти исследования были проведены группой физиков под руководством А.Л.Любимова.

Для проведения эксперимента впервые был создан магнитный спектрометр с жесткой фокусировкой для анализа частиц по импульсам, разработаны и созданы новые конструкции черенковских счетчиков. На синхрофазотроне в первых измерениях дифференциальных сечений упругого рассеяния положительных пионов на протонах на угол  $180^\circ$  при импульсе пионов 3,15 ГэВ/с (и выше) удалось впервые обнаружить существование резонансной структуры энергетической зависимости сечения указанного процесса.

Таким образом, уже в первых экспериментах на синхрофазотроне результаты исследований по упругому рассеянию адронов на нуклоне внесли много нового в представление о структуре нуклона.

В частности, нуклон стали рассматривать состоящим из некоторого «керна» плотного вещества с размерами около  $10^{-14}$  см, окруженного более «рыхлой» пионной «атмосферой» размером  $10^{-13}$  см.

### *Измерение сечений взаимодействия адронов с нуклонами*

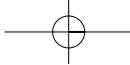
Для понимания структуры элементарных частиц и природы сил их взаимодействия на синхрофазотроне была проведена серия экспериментов, в которых измерялись полные сечения взаимодействия пионов, каонов и нейтронов с протонами при энергиях выше 1 ГэВ. Эксперименты проводились под руководством А.Л.Любимова, И.А.Савина, В.С.Ставинского и М.Н.Хачатуряна.

В результате проведенных измерений было установлено, что полные сечения взаимодействия отрицательных пионов с протонами в интервале импульсов 3–9 ГэВ/с убывают с ростом энергии падающих пионов вопреки общепринятому в то время мнению об их постоянстве.

С помощью больших жидководородных мишеней и черенковских счетчиков было впервые измерено полное сечение каон-протонного взаимодействия в области импульсов каонов от 2,7 до 4,75 ГэВ/с. Полученные данные свидетельствовали о постоянстве поведения сечений в указанной области энергий.

Наиболее трудными методически были эксперименты по измерению полных сечений взаимодействия нейтронов с протонами. Группе физиков, возглавляемой М.Н.Хачатуряном, потребовалось разработать принципиально новую аппаратуру для эффективной регистрации нейтронов с энергией в несколько ГэВ.

С помощью сложной установки, в которой использовался разработанный ими черенковский счетчик из свинцового стекла, удалось впервые измерить полные сече-



ния взаимодействия нейтронов с протонами при энергии от 2,6 до 8,3 ГэВ. Результаты измерений позволили установить, что величина этого сечения мало меняется в указанном интервале энергий, а при энергии выше 5,5 ГэВ совпадает с сечением  $pp$ -взаимодействия.

Этой же группой было также впервые измерено сечение процесса перезарядки отрицательного пиона в нейтральный пион ( $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$ ) в области очень высоких (4 ГэВ/с) импульсов пионов.

### ***Изучение механизма множественного образования частиц и их распада***

Изучение механизма множественного образования является одним из важнейших направлений ядерной физики как доминирующий процесс при взаимодействии адронов высоких энергий.

В этих экспериментах впервые родилась новая форма сотрудничества научных коллективов разных стран — «физика на расстоянии», позволившая вовлечь в проведение исследований на переднем рубеже знаний коллективы ученых, которым самостоятельное проведение подобных работ на крупнейших ускорителях было бы не под силу.

- ***Методика ядерных фотоэмульсий***

В серии первых опытов фотоэмульсионных групп, руководимых К.Д.Толстовым и М.И.Подгорецким, изучались импульсные и угловые характеристики вторичных частиц в неупругих нуклон-нуклонных и пион-нуклонных взаимодействиях в области энергий от 6 до 10 ГэВ, а также зависимости этих характеристик от множественности генерируемых вторичных частиц.

В частности, в случае протон-протонных взаимодействий было установлено, что в процессах с множественностью пионов от одного до четырех распределение нуклонов в с.ц.м. резко анизотропное, причем в протон-протонных взаимодействиях максимумы соответствуют направлению первоначального движения нуклонов (т.н. «рога Граменицкого»).

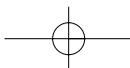
С ростом множественности пионов анизотропия несколько уменьшается, а при увеличении множественности до восьми пионов практически не наблюдается.

При изучении множественного рождения частиц в пион-нуклонных взаимодействиях с импульсами налетающих отрицательных пионов 6,8, 7,3 и 7,5 ГэВ/с было впервые установлено существование двух типов пион-нуклонного взаимодействий, соответствующих разным степеням неупругости процессов.

- ***Камерная методика***

Почти одновременно с успешным запуском синхрофазотрона в ЛВЭ было завершено изготовление 24-литровой пропановой пузырьковой камеры, сыгравшей в последующие годы чрезвычайно важную роль в получении большого объема экспериментальной информации, в становлении и развитии международного научно-технического сотрудничества ученых стран-участниц ОИЯИ и других стран.

С помощью этой пузырьковой камеры проведены облучения в пучке отрицательных пионов с импульсом до 8 ГэВ/с и на Международной конференции по физике высоких энергий 1959 года в Киеве (т. е. через два года после запуска синхрофазотро-





Сотрудники группы ядерных фотоэмульсий (слева направо): Р.М.Лебедев, И.М.Граменицкий, В.Б.Любимов

на!) были представлены первые результаты по исследованию свойств рождения странных частиц в пион-нуклонных взаимодействиях при высоких (выше 6 ГэВ) энергиях.

В частности, группой (руководители В.И.Векслер, Ван Ганчан и М.И.Соловьев) на этой конференции впервые сообщалось об обнаружении выполнения общеизвестного сейчас закона сохранения инерции барионного заряда, а также новые данные о свойствах кси-минус-гиперонов, антипротонов и антилямбда-гиперонов, образующихся в указанных выше взаимодействиях.

На следующей Рочестерской конференции в Беркли (1960 г.) физиками этой группы впервые было сообщено об обнаружении случаев множественного (более двух!) образования странных частиц, установлении явления роста сечений образования каонов и кси-минус-гиперонов с энергией налетающих пионов, а также об обнаружении случая образования и распада новой античастицы – антисигма-минус-гиперона<sup>1</sup>.

А еще через год, на такой же конференции в ЦЕРНе, та же группа впервые продемонстрировала данные об обильном рождении резонансов с участием странных частиц и сообщила об обнаружении неизвестного ранее резонанса  $f^0(980)$  – мезона, распадающегося на два короткоживущих нейтральных каона. Этот резонанс включен в таблицы мировых данных о частицах со ссылкой на первую работу группы ЛВЭ.

<sup>1</sup> Ван Ганчан и др. Рождение  $\Sigma$ -гиперона с отрицательными  $\pi$ -мезонами с импульсом 8,3 ГэВ/с // ЖЭТФ. 1960. Т. 38, вып. 4. С. 1356–1359.



Сотрудники группы ядерных фотоэмульсий (слева направо):  
В.Петержилка (ЧССР), В.В.Глаголев, В.А.Беляков

Роль сложного ядра в механизме рождения странных частиц изучалась с помощью 50-сантиметровой ксеноновой пузырьковой камеры, созданной в ЛВЭ группой под руководством Г.М. Сташкова.

Камера облучалась пучком отрицательных пионов с импульсом 9 ГэВ/с. Анализ полученных с помощью этой пузырьковой камеры фотографий проводился группой ЛВЭ (совместно с физиками ИТЭФ) под руководством И.В.Чувило и З.Стругальского.

Сравнение измеренных сечений рождения лямбда-гиперонов и нейтральных каонов на ядрах ксенона с пион-нуклонными взаимодействиями указывало на существенный вклад вторичных взаимодействий внутри ядра в сечение рождения странных частиц.

Другим достижением ЛВЭ в создании и развитии камерной методики было создание метровой жидководородной пузырьковой камеры. При конструировании и создании ее было найдено много оригинальных и изящных решений и в этом несомненная заслуга коллектива инженеров, — криогеников, физиков, конструкторов и рабочих ЛВЭ.

За время работы камеры на ней было получено около двух миллионов стереофотографий. Камера экспонировалась в пучках  $\pi^-$ -мезонов, нейтронов и легких ядер, ускоренных на синхрофазотроне — дейтронов, в том числе поляризованных, ядер  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ .

Большим международным коллективом под руководством Р.М.Лебедева и В.В.Глаголева по материалам с камеры опубликовано более 150 научных работ. Основная часть из них посвящена релятивистской ядерной физике.



Группа сотрудников сектора 24-литровой пропановой пузырьковой камеры (слева направо): Нгуен Дин Ты (НРВ), Ван Юнчан (КНР), Чен Ванлинь (КНР), В.А.Беляков, Н.А.Смирнов (СССР), Ван Цузен (КНР), Т.Хофмоэль (ПНР), А.А.Кузнецов (СССР), Ван Ганчан (КНР), А.В.Никитин, М.И.Соловьев (СССР), И.Врана (ЧССР), Дин Дацао (КНР), З.Трка (ЧССР) в 1959 году

Новые результаты получены по разделам: спектры и волновые функции легких ядер, виртуальные изобарные состояния и коалесценция, дибарионные эффекты, сравнение  $dp$ - и  $np$ -взаимодействий, фрагментация ядер на протонах.

Наибольшее количество материала было получено в пучках дейтронов (более 230 тысяч событий), что позволило использовать эти данные при разработке новых физических проектов. Созданная база данных сотрудничества по материалам экспозиций в пучках легких ядер успешно используется и сегодня при постановке новых экспериментов и анализе результатов.

При анализе снимков с метровой водородной и частично с 24-литровой пропановой пузырьковых камер, облученных в пучках монохроматических нейтронов на синхрофазотроне, были впервые обнаружены экзотические типы резонансных состояний с изотопическим спином  $5/2$  в системах  $\Delta^{++}\pi^{+}$  и  $\Delta^{-}\pi^{-}$ , а также новые резонансы, распадающиеся на два протона или два отрицательных пиона (руководитель Ю.А.Троян).

Этой же группой физиков при анализе фотографий нейтрон-протонных взаимодействий при импульсе монохроматических нейтронов  $(5,20 \pm 0,12)$  ГэВ/с было уста-



**Группа участников открытия антисигма-минус гиперона**  
 Верхний ряд (слева направо): А.А.Кузнецов, М.И.Соловьев, А.В.Никитин,  
 Е.Н.Кладницкая, Н.М.Вирясов (СССР); нижний ряд (слева направо): В.И.Векслер  
 (СССР), Дин Дацао (КНР), Ким Хи Ин (КНДР), Нгуен Дин Ты (НРВ),  
 А. Михул (СРР) у микроскопа. Перед микроскопом показана фотография  
 события с рождением антисигма-минус-гиперона

новлено также существование нового семейства неизвестных ранее резонансов в системе  $\pi^+\pi^-$ -мезонов с квантовыми числами  $\sigma_0$ -мезона. В этом семействе наиболее статистически обеспеченный резонанс при массе  $757 \text{ МэВ}/c^2$  внесен в 2000 году в таблицы мировых данных об элементарных частицах. Существование таких мезонов, как квантов скалярного поля, принципиально важно для теории.

Эта же группа также сообщила, что при изучении реакции  $np \rightarrow npK^+K^-$  наблюдается образование пятикварковых резонансов со странностью  $S=+1$  в спектре эффективных масс системы  $(nK^-)$  при значениях масс  $1,541 \pm 0,004$ ;  $1,606 \pm 0,005$ ;  $1,687 \pm 0,007$  и  $1,870 \pm 0,019 \text{ ГэВ}/c$ . Их ширина сравнима с разрешением по массе. Для наиболее значимых резонансов были определены их спины.

Таким образом, результаты всех перечисленных опытов дали возможность открыть много неизвестных ранее физических явлений и показали существенную роль



Участники международного сотрудничества метровой жидководородной пузырьковой камеры. Руководители сотрудничества: В.В.Глаголев (3-й слева в первом ряду) и Р.М.Лебедев (6-й слева во втором ряду)

периферических взаимодействий (и ограниченную применимость статистических методов) для описания процессов генерации частиц при энергии до 10 ГэВ.

#### *Изучение электромагнитных взаимодействий частиц*

В ЛВЭ группой физиков под руководством М.Н.Хачатуряна с помощью электронной установки «Фотон» (двухплечевой черенковский масс-спектрометр) был проведен большой цикл исследований по поискам новых электромагнитных распадов резонансов, а в 1964 году поставлен решающий эксперимент, доказавший существование прямого перехода векторного мезона в фотон. Эти эксперименты в прессе того времени назывались «открытием ядерных свойств света». Результаты эксперимента подтвердили предсказания модели векторной доминантности и впервые экспериментально обнаружили явление прямого перехода «фотон–вещество».

Это явление в 1971 году было зарегистрировано как открытие.

На синхрофазотроне, используя быстродействующую камеру Вильсона, группа физиков ЛВЭ (рук. Э.О.Оконов), ЛЯП и ИФВЭ ТГУ провела серию опытов по изучению свойств распадов нейтральных долгоживущих каонов.

В этих экспериментах впервые были получены данные о нарушении  $C$ -инвариантности в распадах нейтральных каонов, установлена справедливость правила  $\Delta I = 1/2$  для лептонных распадов каонов, проверено важнейшее следствие  $CP$ -инвариантности о совпадении масс покоя частиц и античастиц. Кроме того, было установлено, что гравитационные массы нейтральных каонов и антикаонов совпадают с точностью  $10^{-15}\%$ .

Анализируя снимки, полученные с помощью 50-сантиметровой ксеноновой пузырьковой камеры, группой физиков ЛВЭ, возглавляемой З.Стругальским и И.В.Чувило, совместно с физиками ИТЭФ была впервые надежно определена величина параметра нарушения  $CP$ -четности (т.е. отношение вероятности распада долгоживущих каонов на два нейтральных пиона к вероятности аналогичного распада нейтральных короткоживущих каонов). Эта величина равна  $(2,02 \pm 0,23) \cdot 10^{-3}$ .

Успеху в получении этого результата способствовала разработка и создание оригинального метода определения энергии гамма-квантов по суммарному пробегу электронов и позитронов в образованных гамма-квантами ливнях. Используя этот метод, оказалось возможным в системе из нескольких гамма-квантов надежно выделить все гамма-кванты, возникшие от распада нейтрального пиона.

Впервые явление радиационного распада положительных каонов, распадающихся на положительный пион, нейтральный пион и гамма-квант, наблюдалось в 50-сантиметровой ксеноновой пузырьковой камере, облученной положительными каонами с импульсом 470 МэВ/с.

Группой физиков ЛВЭ (руководители И.В.Чувило и Э.М.Мальцев) на этом же материале изучались свойства трех частичных распадов положительных каонов. Установлено, что эти свойства соответствуют векторному варианту универсальной четырехфермионной теории слабого взаимодействия.

В ЛВЭ первые эксперименты по изучению рассеяния частиц на электронах были начаты В.Г.Гришиным и Э.Кистеневым с помощью 24-литровой пропановой пузырьковой камеры, облученной отрицательными пионами с импульсом 4 ГэВ/с.

Результаты эксперимента установили, что величина дифференциального сечения пион-электронного рассеяния при указанной энергии хорошо согласуется с теоретическими расчетами для рассеяния на точечном электроне, при этом оценка размеров пиона дает значение  $\leq 6,6 \cdot 10^{-13}$  см.

Этот эксперимент позже нашел свое продолжение в большом цикле исследований электромагнитных размеров пионов и каонов на ускорительных комплексах ИФВЭ (Протвино) и ФНАЛ (Батавия).

### 3. Релятивистская ядерная физика

Исследования, проводимые в последнее время в ЛВЭ, главным образом относятся к области релятивистской ядерной физики.

Говоря о развитии нового научного направления — релятивистской ядерной физике в ЛВЭ, следует отметить, что оно стало возможным благодаря наличию мощной экспериментальной базы лаборатории и накопленному опыту с момента ее создания. К моменту зарождения релятивистской ядерной физики в начале 70-х годов сотруд-