

**2024:**

1 2 3 4 5 6 7 8

2023:1 2 3 4 5 6 7-8 9 10
11 12 13 14 15 16 17
18 19 20 21 22 23 24
25 26 27 28 29 30 31
32 33 34 35 36 37 38
39 40 41 42 43 44 45
46 47 48 49-50**2022:**1-2 3 4 5 6 7 8-9 10
11 12 13 14 15 16 17
18 19 20 21 22 23 24
25 26 27 28 29 30 31-
32 33 34 35 36 37 38
39 40 41 42 43 44 45
46 47 48 49 50-51**2021:**1-2 3 4 5-6 7 8 9 10
11 12-13 14 15 16 17
18 19 20 21 22 23 24
25 26 27 28 29-30 31
32 33 34 35 36 37 38-
39 40 41 42 43 44 45
46 47 48 49 50**Номер 8 (4706)**

от 29 февраля 2024:

- NICA: первое охлаждение соленоида MPD
- Награды
- Премии ОИЯИ за 2023 год
- О Центре протонной терапии в Дубне
- "Благодаря их усилиям, настойчивости и таланту..."
- Научная школа на Кубе
- Музей истории науки и техники ОИЯИ
- МКО-2024 в Дубне: возвращение традиций
- В будущем будет только лучше
- От первых наблюдений космических лучей к физике релятивистских ядер
- 16 лет тому назад

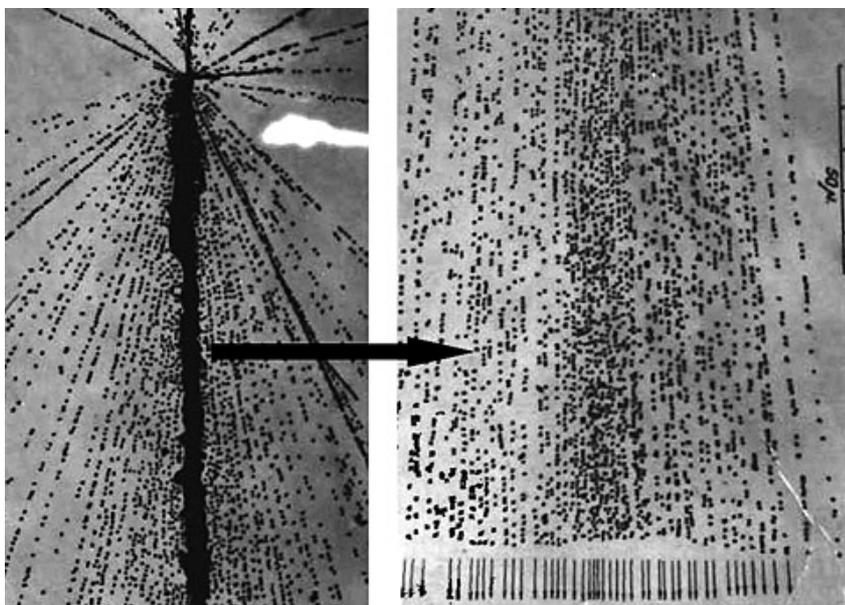
[№ 8 в формате pdf](#)

В лабораториях Института

От первых наблюдений космических лучей к физике релятивистских ядер

Начало в № 7 от 21 февраля

В Москве были освоены технологические и аналитические основы метода ядерной эмульсии в отношении релятивистских частиц, позволившего выполнить основополагающие наблюдения релятивистских частиц в высотных облучениях. На рисунке представлена проективная фотография взаимодействия ядра с гигантской энергией в ядерной эмульсии, приведшего к грандиозной множественности вторичных частиц. Следы в струе фрагментов могут быть полностью определены. Полнота и достоверность наблюдения следов ядерных реакций, уникальное разрешение и гибкость применения этого метода остаются непревзойденными и поныне.



Макрофотография взаимодействия ядра космического происхождения в ядерной эмульсии. ФИАН, начало 50-х годов (предоставлена Г.И.Орловой)

Создание отечественной толстослойной ядерной эмульсии к запуску синхрофазотрона стало отправным пунктом получения первых физических результатов. Стоит напомнить, что это событие вызывало сомнение за рубежом. Так, нобелевский лауреат С.Пауэлл, открывший π -мезон, связал согласие физикам ФИАН на переиздание своего фундаментального труда в СССР с предоставлением фотопластинок, объективно подтверждающих успех ускорителя. Фотографии характерных взаимодействий вошли в русское издание. Анализ первых облучений позволил дать обзор топологии ядерных звезд и провести угловые измерения выходящих следов. По настоящее время сохраняют уникальность наблюдения полного разрушения ядер мишени и когерентного образования мезонов в событиях, не сопровождающихся следами фрагментации мишени. Облучения стопок эмульсии продолжались в 1960-е гг. в отношении упругого рассеяния как источника информации о структуре протонов.

Открытие распадов странных частиц в ядерной эмульсии, облучавшейся в стратосфере, привело к созданию пузырьковых камер, охватывавших на много порядков большие объемы детектирования в магнитном поле. С уровнем исследований и размахом инноваций в США в этом направлении позволяет ознакомиться нобелевская лекция Л.Альвареца. Решением для ЛВЭ стало создание 40-сантиметровой пузырьковой камеры на основе сжиженного пропана. Для ее облучения был сформирован внешний пучок π^- -мезонов с импульсом 8,3 ГэВ/с.

Анализ 40 тысяч фотографических кадров, сделанных на этой камере, оказался исключительно продуктивным. Флагманским результатом ЛВЭ стала идентификация в 1960 г. распада, не наблюдавшегося ранее, анти-сигма-минус-гиперона на π^+ -мезон и антинейтрон. Последний проявился в звезде аннигиляции. В вершине образования анти-сигма-минус-гиперона присутствуют следы K^- и распадов пары K^0 -анти- K^0 мезонов (так много "странности" сразу!). Столь ясно интерпретируемая фотография использовалась как символ физики элементарных частиц в изданиях ОИЯИ. Приятно отметить, что этот канал идентификации был использован недавно в эксперименте ALICE на Большом адронном коллайдере.

Принципиальным фактором успехов стало привлечение В.И.Векслером на синхрофазотрон к проекту общегосударственного значения двух групп выпускников физического факультета МГУ. Отвечая скептикам,

он настаивал: "Молодежь меня не подведет!" Среди соавторов первых публикаций встречаем имена молодых ученых: Е.Н.Кладницкой, Л.Н.Струнова, Э.Н.Цыганова, В.А.Белякова, В.А.Никитина, А.В.Никитина. Мировой уровень, на который вышел ОИЯИ, способствовал выбору Дубны в 1964 г. для проведения XII Международной (Рочестерской) конференции по физике высоких энергий.

Для развития физики частиц вплоть до антипротонов в 1965 г. была предложена концепция синхрофазотрона как источника вторичных частиц, генерируемых на его внутренних мишенях. Прежде всего требовался рост на три-четыре порядка интенсивности циркулирующих протонов, что означало создание нового линейного ускорителя для инжекции. Возник проект создания мощной бетонной защиты над кольцом. Затем требовалось создание каналов сепарированных пучков вторичных частиц, включая электростатические сепараторы К-мезонов и антипротонов, которые размещались в пристроенном корпусе 1Б. Нейтронный канал с проводкой через 1Б в корпус водородной камеры был реализован при фрагментации релятивистских дейтронов.

Предложенная парадигма оказалась мощным стимулом для развития в ЛВЭ экспериментальных методов, сделавших возможными эксперименты по релятивистской ядерной физике в 70-е гг. В фокусе усилий оказалось создание двухметровой пропановой, ксеноновой, однометровой водородной и стримерной камер. Развивались методы электронных экспериментов: черенковские газовые счетчики, органические пластинчатые сцинтилляторы, многопроволочные искровые и пропорциональные камеры, черенковские детекторы полного поглощения, наносекундная электроника, сопряжение с компьютерами. Требовалось развитие криогенных мишеней, ядерной электроники и сопряжение с электронными вычислительными машинами, которые только стали появляться. Наверняка этот список не полон, и стоит обратиться к годовым отчетам ОИЯИ того периода.

На этом пути были не только успехи, но и разочарования. Прежде всего не удалось получить ожидаемую интенсивность сепарированных пучков. В то же время ресурсы и опыт ученых и специалистов ЛВЭ потребовались для престижных экспериментов в Институте физики высоких энергий (Протвино), где в 1967 г. был запущен жесткофокусирующий синхротрон У-70 на рекордную энергию протонов к 50-летию Великой Октябрьской социалистической революции. Появившись на новой границе физики высоких энергий, этот ускоритель переключил на себя внимание не только физиков Советского Союза и стран-участниц ОИЯИ, но и ЦЕРН, и США.

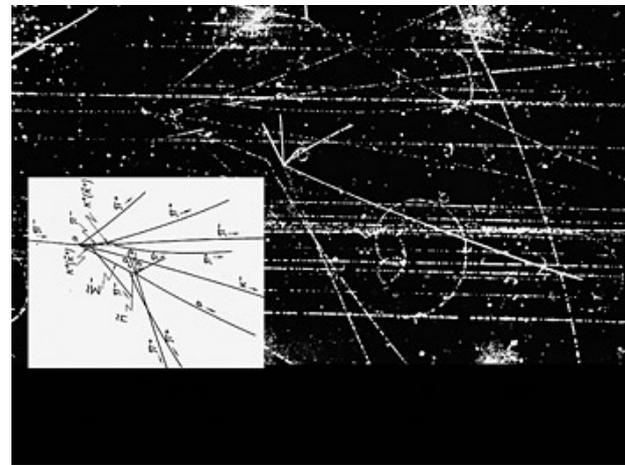
Усугубил сложности безвременный уход из жизни в 1966 г. В.И.Векслера - харизматичной личности, умевшей брать на себя ответственность, решать не только научно-технические, но и организационные вопросы беспрецедентной сложности. И.В.Чувилло ("правая рука Векслера") возглавил Институт экспериментальной физики, где уже действовал жесткофокусирующий синхротрон У-10, служивший прототипом Серпуховского ускорителя У-70. Возникли предложения о полной ориентации ЛВЭ на работу в ИФВЭ с соответствующими решениями в отношении синхрофазотрона и главной части коллектива ЛВЭ, связанного с ним.

Для вывода ситуации из кризиса и сохранения в действии дорого давшего научного капитала требовалось в сжатые сроки обновить программу-повестку внутренних экспериментов ЛВЭ. Условия определяли, с одной стороны, научная актуальность и перспективность, а с другой - реальные заделы ЛВЭ и бюджетный компромисс с возникшими внешними обязательствами. М.А.Марков, сменивший В.И.Векслера на посту академика-секретаря Отделения ядерной физики Академии наук СССР, выдвинул на пост директора ЛВЭ своего ученика А.М.Балдина.

Начав свою работу в ФИАН по физическому обоснованию синхрофазотрона, А.М.Балдин к тому времени получил признание как теоретик в области физики электромагнитных взаимодействий адронов и ядер. Он сотрудничал с ЛВЭ в поиске

электромагнитных распадов векторных мезонов, увенчавшимся первым наблюдением распада $\phi \rightarrow e^+e^-$. Неслучайно, что это направление стало темой первого международного семинара по проблемам физики высоких энергий, проведенного в сентябре 1969 г. под председательством А.М.Балдина. Со временем тематика этого форума расширилась на множественные процессы, предельную фрагментацию ядер, квантовую хромодинамику. Семинар приобрел статус крупной конференции со значительным международным и российским участием.

Отправными пунктами для А.М.Балдина в формулируемом им научном направлении и названном им "Релятивистская ядерная физика" стали только что появившиеся в ИФВЭ данные, продемонстрировавшие масштабно-инвариантное поведение инклюзивных спектров рожденных адронов. С другой стороны, исследование глубоко-неупругого рассеяния электронов в Стэнфорде (США) указывало на точечно-подобную (или партонную) структуру нуклонов. Также в пользу такой картины свидетельствовала



Фотография в пузырьковой камере образования и распада анти-сигма-минус-гиперона на антинейтрон, проявившийся в звезде аннигиляции, и π^- -мезон (предоставлена А.А.Кузнецовым)



М.А.Марков и А.М.Балдин. Фото Ю.А.Туманова

справедливости правил кваркового счета Матвеева - Мурадяна - Тавхелидзе для упругого рассеяния адронов с большими передачами импульсов.

А.М.Балдин предложил распространить гипотезу масштабной инвариантности на столкновение релятивистских ядер как следствие точечного механизма взаимодействия ядерных нуклонов. Проверка гипотезы требовала исследования образования пионов в области предельной фрагментации, что при энергии около 3 ГэВ на нуклон требовало выхода за пределы нуклон-нуклонной кинематики. А.М.Балдин вспоминал краткий разговор с Р.Фейнманом во время конференции Американского института физики в 1971 г., который звучал примерно так: "Я знаю, когда переменная Фейнмана может быть больше единицы". Ответ: "Нет, это невозможно... (пауза)..., а, ну, конечно, в ядрах!".

В 70-80-х годы были проведены исчерпывающие измерения инклюзивных спектров кумулятивных адронов, включая антипротоны, барионных фрагментов в группе В.С.Ставинского в ЛВЭ и Г.А.Лексина в Институте теоретической и экспериментальной физики в Москве. Они составляют уникальный пласт физической картины партонных степеней свободы в ядерной материи и дали основу для развития под руководством А.М.Балдина представлений об автомодельном поведении множественного рождения частиц в столкновениях адронов и ядер на основе данных с пузырьковых камер.

Ускорение на синхрофазотроне дейтронов, приведшее к открытию кумулятивного эффекта, стало предпосылкой начала новых экспериментов под руководством Л.Н.Струнова и Л.С.Ажгирея по изучению волновой функции дейтрона на малых межнуклонных расстояниях. Мировой уровень в исследовании спиновых аспектов в структуре дейтрона был достигнут благодаря созданию в 80-е годы под руководством Ю.К.Пилипенко источника поляризованных дейтронов. На его основе в 90-е годы были начаты эксперименты с поляризованной протонной мишенью, доставленной из DAPhNIA (Сакле).

Выведенные пучки легких ядер, полученные от электронно-лучевого и лазерного источников, позволили провести обзорные исследования методом ядерной эмульсии в двухметровой пропановой камере, а также в однометровой пузырьковой и стримерной камерах. Все затронутые темы заслуживают отдельных ретроспективных обзоров.

В практическом плане эксперименты по релятивистской ядерной физике, проведенные в 70-х гг., дали жизненно важный импульс для модернизации и регулярной работы синхрофазотрона. Под руководством Л.П.Зиновьева был запущен в работу новый линейный инжектор, а под руководством И.Б.Иссинского осуществлен медленный вывод пучка на четыре порядка большей интенсивности, чем у внутреннего пучка в 60-е годы. Тем самым защита над ускорителем утратила актуальность. Министр среднего машиностроения СССР Е.П.Славский поддержал инициативу А.М.Балдина о строительстве нового 205-го корпуса выведенных пучков, что было осуществлено под руководством Л.Г.Макарова (впоследствии "локомотив" проекта Нуклотрон). Имея, по оценке Д.В.Скобельцына, 20-летний ресурс, огромный вакуумный объем камеры синхрофазотрона поддерживался в работоспособном состоянии до завершения его эксплуатации в конце 90-х годов. Таким образом, целенаправленное совершенствование ускорителя, активное проведение экспериментов на нем, формулирование выводов и обобщений взаимно подталкивали друг друга, привлекая все более широкий круг пользователей. Представляется, что в этой тесной взаимосвязи кроется секрет становления релятивистской ядерной физики, ее выхода на мировой уровень и создания предпосылок для строительства Нуклотрона в 80-е годы.



А.Д.Коваленко, А.И.Малахов и А.М.Балдин на заседании Международного семинара по проблемам физики высоких энергий (90-е гг.). Фото Ю.А.Туманова

Этот научно-исторический урок В.И.Векслера и А.М.Балдина, их предшественников, соратников и последователей сохраняет свою актуальность. На этой платформе формировалось участие в экспериментах по релятивистской ядерной физике в ведущих ускорительных центрах мира.

Ретроспективный взгляд на историю ЛФВЭ поучителен и по сей день, так как позволяет приложить и экстраполировать своего рода стрелу времени. Факсимиле почти забытых статей и воспоминаний, накапливаемых на сайте эмульсионного эксперимента БЕККЕРЕЛЬ, вслед за изданиями ОИЯИ и в интернете, позволяют проникнуться вдохновляющей атмосферой первых шагов в этом направлении и проследить на фактах научный рост ЛФВЭ.

Поскольку ЛФВЭ в фокусе очерка, то автор позволил себе не останавливаться на зарубежных этапах, ведущих отсчет с открытия в 1949 г. релятивистских ядер в стратосфере. Среди них развертывание в 70-х годах исследований с релятивистскими тяжелыми ионами на Бевалаке в Лаборатории имени Лоуренса в Беркли (США). Еще один крупный шаг - физика релятивистских малонуклонных систем, составившая повестку сначала на слабо фокусирующем САТУРНе (СЕА, Сакле, Франция), продолжавшуюся на жесткофокусирующем САТУРН-2 (Лаборатория DAPHNIA-CEA). Ретроспективное рассмотрение прогресса этих лабораторий было бы весьма поучительным. Их достижения представлены и отмечены в трудах Международных семинаров, превратившихся в 70-80-х годах в признанную международную конференцию.

Наш сайт becquerel.jinr.ru, ориентированный в основном на идущий эксперимент БЕККЕРЕЛЬ, может служить отправным пунктом в отечественную историю физики высоких энергий. Исторические материалы накапливаются в фоновом режиме во избежание утраты или забвения. В противном случае есть риск забыть о впечатляющем развитии физики микромира больше, чем зачастую наши современники знают. Поскольку непосредственное цитирование здесь затруднено, автор готов помочь в поиске как цитируемых материалов, так и многих других, а также заинтересован в его пополнении. По очевидным историческим причинам большая часть раритетов на сайте БЕККЕРЕЛЬ представлена на русском языке, а давние публикации добавляются по мере обнаружения. Сборник аннотаций конференции в Дубне в 1964 г. недавно добавлен в раздел [papers/books](#). Через этот же раздел доступны главы годовых отчетов ЛФВЭ ОИЯИ с 1965 г. Удачным источником для самостоятельных поисков служит база данных INSPIRE, на которой имеются материалы Международных конференций по физике высоких энергий с 50-х гг.

Автор благодарен профессору А.И.Малахову за приглашение представить доклады по случаю 65-летия запуска синхрофазотрона в 2022 г. и открытия XXV Международного семинара по физике высоких энергий ("Балдинская осень - 2023"). Работа И.Г.Зарубиной над сайтом БЕККЕРЕЛЬ, начатая по ее инициативе в 2004 г. и продолжающаяся по настоящее время, заслуживает искренней признательности.

Павел ЗАРУБИН,
начальник сектора обработки толстослойных эмульсий ЛФВЭ