

В. А. Никитин

ПЕРВЫЕ ОБОРОТЫ ПУЧКА УСКОРИТЕЛЯ*

Один случай может определить всю жизнь.

В. И. Вернадский

Наиболее успешные исследования, в которых мне довелось участвовать, были выполнены на первых оборотах пучка ускорителя, когда его создатели еще едва осознавали, что машина обретает жизнь, еще кружилась голова от успеха и шампанского, а корреспонденты еще не успели взять интервью об установлении рекорда в ускорении частиц. Так было в 1957–1959 гг. на дубненском синхрофазотроне при энергии протонов 10 ГэВ, потом в 1968 г. в Серпухове (энергия 70 ГэВ) и в 1972 г. в Батавии в США (энергия 200 ГэВ). Оперативность получения данных определялась методикой эксперимента — использованием тонкой внутренней мишени. Я расскажу о первых шагах на пути, который привел к широкому распространению метода.

Зимой 1956 г., будучи студентом пятого курса физического факультета МГУ, я сдавал экзамен по нейтронной физике Константину Дмитриевичу Толстову. Он поставил мне отличную оценку и пригласил приехать на практику в Дубну. Я, не задумываясь, согласился и в апреле оказался в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Неизгладимое впечатление произвела на меня первая встреча с ускорителем, когда нам, студентам, показывали лабораторию. Мы вошли в огромный круглый зал через железнодорожные ворота. Как раз в это время паровоз проталкивал туда платформу с блоками магнита. Они были подхвачены краном и перенесены на бетонное основание. Монтаж магнита близился к завершению. Разорванное кольцо воспринималось как хребет фантастического дракона. Взгляд не мог охватить его целиком. Изгибаясь, оно терялось в полумраке огромного цирка. В голубом тумане сыпались искры электросварок. На первом плане среди хаоса труб и кабелей угадывалась камера ускорителя. Здесь будет циркулировать пучок протонов с космической энергией! Я заглянул внутрь черной полости, и сомнение мурашками пробежало по моей спине: неужели существуют воля и технология, способные с ювелирной точностью привести тысячи тонн

*Объединенному институту ядерных исследований — 40 лет. Хроника. Воспоминания. Размышления. Дубна, 1996. С. 139–147.

разнородного оборудования к гармоническому целому, к воплощению идеи?! Вот они, последние ступени на тысячелетнем пути к Тайне Бытия!

Романтичность восприятия, конечно, была подготовлена блестящими лекциями и семинарами на физфаке. Мы учились у выдающихся педагогов и ученых: Л. Д. Ландау, А. А. Власова, М. А. Маркова, Д. Д. Иваненко. Последний будоражил воображение открытием в космических лучах странной материи и созданием систематики элементарных частиц. Он полагал, что на наших глазах в структуре материи проясняются важнейшие недостающие звенья, и за этим в ближайшее время последует теоретическое обобщение, не менее значимое, чем открытие атомного ядра и квантовой механики в начале века. Впечатляющий прогресс в создании ускорителей в США и СССР дает базу для этого прорыва.

Ощущение уникальности происходящих событий, их исторической значимости наполняло жизнь особым ароматом. Физика и физики были в моде и в фокусе общественного внимания.

Сектор К. Д. Толстова, где я работал, использовал для регистрации частиц методику ядерных эмульсий. Основную часть времени экспериментатора поглощали «мелочи жизни»: освоение техники работы с микроскопом, исследование образцов эмульсий и др. Вскоре добавились задачи, требующие инженерных знаний и понимания динамики пучка ускорителя. Передо мной и Виктором Алексеевичем Свиридовым была поставлена задача облучения эмульсии на внутреннем пучке ускорителя. Вывод пучка представлялся сложной и отдаленной проблемой. Поэтому нужно было ловить протоны на орбите, в вакуумной камере ускорителя. Мы проработали три варианта облучения. В первом варианте пучок сначала попадает на вспомогательную мишень, которая забрасывает его на эмульсионную камеру. Процесс должен быть рассчитан так, чтобы эмульсия облучалась равномерно и с заданной интенсивностью. Во втором варианте пучок с большой интенсивностью облучает только тяжелую вольфрамовую мишень. На рядом расположенную эмульсионную камеру попадают только вторичные частицы. Первичный пучок не должен ее засвечивать. Таким способом предполагалось искать странные частицы и другие экзотические события. Третий способ был весьма изощренным: пучок забрасывается на водородную мишень, стационарно помещенную в нерабочей зоне камеры ускорителя. Вторичные частицы от водородной мишени регистрируются эмульсионной камерой.

Все три варианта были реализованы! Для первых двух был изготовлен герметический цилиндрический сосуд, в котором помещалось около литра эмульсии. Этот сосуд назывался жбаном. Его укрепляли на

штоке пневматической мишени. В конце цикла ускорения пневматическое устройство «выстреливало» жбан на заданный радиус в вакуумной камере ускорителя. Вариацией частоты ускоряющего поля пучок наводился на предварительную мишень — флажок. Толщина флажка рассчитывалась так, чтобы в результате ионизационных потерь равновесная орбита частиц сдвигалась в область эмульсионной стопки. На последующих оборотах пучок облучал эмульсию.

Эта программа начала выполняться сразу после запуска ускорителя в марте 1957 г. Первые же результаты доставили нам эстетическое удовлетворение. Оказалось, что вся эта механика довольно точно работает в соответствии с расчетом. В проведении облучений активно участвовали В. Б. Любимов и М. Г. Шафранова. Большое внимание уделял нам первый вице-директор института польский ученый, профессор Мариан Янович Даньш. Он был большим знатоком метода ядерных эмульсий, поэтому совещания с ним оказывались продуктивными. Часто он приглашал нас вечером к себе домой. Мы устраивались за круглым столом. Хозяин раскуривал трубку. Никто из нас не курил, поэтому жена М. Я. Даньша ставила перед нами чашу с шоколадными драже. Мне это казалось шикарным и радушным жестом. Впрочем, про лакомство вскоре забывали, так как хозяин настраивал всех на плотную работу.

Последний вариант с водородной мишенью потребовал довольно длительной обработки. Сложными оказались расчеты движения пучка в рассеянном поле ускорителя. На моем столе часами скрежетал электромеханический арифмометр «Рейнметалл» — чудо вычислительной техники пятидесятых годов: одна операция с плавающей запятой в секунду, не считая времени набора данных на клавиатуре. В случае ошибки оператора машину заклинивало. Приходилось залезать внутрь или вызывать мастера. Сейчас об этом страшно вспомнить. Где-то я прочитал, что если бы Энрико Ферми в 1940 г. подарили современный калькулятор, то реактор и ядерный взрыв были бы осуществлены значительно раньше. С этим я согласен — знаю по собственному опыту.

Директор лаборатории Владимир Иосифович Векслер часто заходил к нам. Смотрел на графики траекторий частиц и скептически улыбался. Ускоритель не был рассчитан на такие фокусы с пучком. Технически приемлемого решения не просматривалось. Нужно было делать специальный шлюз для водородной мишени на линейном участке ускорителя. А это означало длительный перерыв в работе машины. К. Д. Толстов ходил к В. И. Векслеру с таким предложением, по получил отказ. Наконец, мы нашли компромиссное решение. Пришлось применять две пневматические мишени одновременно. Одна несла флажок, забрасывающий пучок глубоко в нерабочую зону камеры уско-

рителя, а другая, называемая перехватчиком, защищала водородную мишень от частиц, выбывших из ускорения и создающих фон.

Интересно вспомнить и криогенную часть этого проекта. Удивительно, но факт: никто не требовал от нас соблюдения правил техники безопасности. Мы заносили 20-литровый сосуд Дьюара с жидким водородом на линейный участок ускорителя, соединяли коммуникации с мишенью и начинали заливку водорода в сосуд, расположенный в камере ускорителя. Испаряющийся водород с угрожающим шипением выходил прямо в зал синхрофазотрона. Специальную вентиляцию было нелегко сделать, да и не было у нас на это ни времени, ни желания. Остается только удивляться, почему мы ни разу не взорвались и не погорели. Сейчас такая «работа» представляется немыслимой дерзостью. Но все хорошо, что хорошо кончается!

Конечно, технику безопасности необходимо соблюдать. И все-таки как приятно вспомнить времена, когда бумажная бюрократическая работа не перегружала физиков! Не было комиссий по технике безопасности, темпланов, письменных проектов экспериментов и их многоступенчатых утверждений. Доверяли конкретному исполнителю. По современной политической терминологии, это было время сильной директорской власти. Что делать и чего не делать — В. И. Векслер решал быстро и однозначно. Иногда с его резким суждением не соглашались на том основании, что для принятия решения или выполнения конкретной работы у исполнителя не хватало времени или ресурсов. Коронный ответ Векслера был лаконичен:

— Считайте, что Вы выпали из тележки. Все!

Помню заседание НТС, которое, как всегда, начал Владимир Иосифович. Но в самом начале его вызвали на ускоритель. Обсуждение продолжили под председательством В. Г. Гришина. Оно было долгим и неясным. Наконец, возвратился В. И. Векслер. Гришин коротко сообщил ему проект решения. В. И. отреагировал мгновенно и резко:

— Чепуха! Поступим по-другому...

Гришин возразил:

— Владимир Иосифович, но Вы же не участвовали в обсуждении и не знаете наших аргументов.

— Да, но я приехал не из Нигерии и не первый раз сажусь в это кресло.

На этом НТС закончился.

Говорят, что были ошибки и были жертвы этих ошибок. Моя память этого не сохранила... Однако я увлекся эмоциями. Кстати, еще одна коронная фраза В. И.:

— Это все Ваши эмоции. Переходите к делу!

Следуя этому завещанию, возвращаюсь к моей теме.

Одна из решаемых физических задач состояла в исследовании упругого рассеяния протонов на протонах. Теоретически этот процесс происходит по крайней мере по двум причинам. Между протонами действуют электромагнитные, ядерные и другие силы, которые приводят к рассеянию пучка на протонах, содержащихся в мишени. Это называется потенциальным (силовым) рассеянием. Второй механизм — дифракция. Она происходит из-за того, что часть падающей волны поглощается. (В квантовой механике движущаяся частица описывается волной.) Образуется тень. А по правилам оптики волна огибает препятствие, отклоняясь в область тени, т. е. дифрагирует. Измеряя на опыте угловое распределение рассеяния, можно «сфотографировать» частицу: определить ее размер, прозрачность, коэффициент преломления. На более точном и формальном языке задача эксперимента формулируется так: измерить дифференциальное сечение упругого pp -рассеяния, восстановить действительную и мнимую части амплитуды рассеяния, т. е. найти амплитуду и фазу рассеянной волны.

Оптическая аналогия и рассуждение о тени справедливы, если длина зондирующей волны (пучка) меньше характерного размера области взаимодействия частиц. Согласно квантовой механике длина волны уменьшается с ростом энергии частиц. В области выше 1 ГэВ задача о «фотографировании» частиц становится правомерной.

Экспериментальные данные служат основанием для развития теории. Очень важно проверить основные аксиомы квантовой теории поля. Из них вытекает определенная связь между действительной и мнимой частями амплитуды рассеяния — дисперсионное соотношение. В 50-х годах это направление успешно развивали Н. Н. Боголюбов, И. Я. Померанчук и их ученики.

Директор института Дмитрий Иванович Блохинцев проявлял интерес к нашим работам и оказывал нам моральную поддержку. Обсуждая с нами аксиоматику квантовой теории поля, он обращал внимание на возможность нарушения принципа причинности при высоких энергиях. На малых расстояниях пространство-время может быть квантованным, т. е. иметь ячеистую структуру и свойства, отличные от тех, что известны в макромире. Можно даже ожидать нарушения законов сохранения энергии-импульса! Поэтому Д. И. Блохинцев обращал внимание на важность прецизионной проверки кинематики ядерных процессов.

Итак, речь идет об исследовании дифракции протонов. Как и в оптике, дифракция характеризуется малыми углами рассеяния. При энергии 10 ГэВ дифракционный конус лежит в области меньше $1,5^\circ$, причем особый интерес представляют углы меньше $0,5^\circ$, где смешива-

ются и интерферируют волны от электромагнитного и ядерного взаимодействий, что позволяет с большой точностью определить фазу рассеянной волны. Поиск событий рассеяния на малые углы и их измерение достаточно успешно проводятся в ядерной эмульсии. Но этот классический метод весьма трудоемкий: один опытный просмотрщик за день работы с микроскопом находит несколько десятков событий упругого *pp*-рассеяния. Было выдвинуто несколько остроумных предложений по усовершенствованию техники эксперимента с эмульсией: быстрый просмотр по следу (М. И. Подгорецкий), обогащение эмульсии водородом (М. Г. Шафранова), облучение эмульсии в жидком водороде (К. Д. Толстов), перпендикулярное облучение эмульсии (Э. Н. Цыганов). Но радикального решения проблемы увеличения статистики это не дало. В лучшем случае удавалось набрать и обработать около тысячи событий упругого рассеяния за разумный срок порядка года.

Наш опыт манипуляции пучком и облучения внутренней мишени подсказал новый подход к решению задачи. В классической постановке опыта эмульсия совмещает функции мишени и регистратора. Она не допускает облучения большим потоком первичного пучка — темнеет, и найти в ней нужное событие становится невозможно. Следовательно, нужно разделить функции мишени и регистратора: в ускоритель поместить водородосодержащую мишень, а эмульсию удалить на безопасное расстояние и регистрировать в ней частицы отдачи от упругого *pp*-рассеяния. Эта идея была осознана достаточно быстро. Но потребовалось значительное время на преодоление психологического барьера. Простой расчет показывал, что для устранения многократного рассеяния частиц отдачи мишень должна быть тонкой, очень тонкой — не более одного микрона полиэтилена. А это значит, что пучок будет с ней редко взаимодействовать, и мы опять остаемся с малой статистикой. Стали размышлять о применении магнитных фокусирующих линз для увеличения телесного угла установки. Но за этим следовали другие трудности. В. А. Свиридов, кажется, первым превозмог сомнения, и мы быстро вышли на финишную прямую. Об этом написал В. И. Векслер в институтской газете «За коммунизм» в 1963 г. Его статья называется «Эксперимент года». Вот выписка из статьи:

Эксперимент проводился следующим образом. В камеру синхрофазотрона помещалась очень тонкая мишень. При этом удалось осуществить такой режим работы ускорителя, при котором один и тот же протон проходил через мишень не один раз, а несколько тысяч раз. Таким образом, эффективность ускоренного пучка в этом случае возросла в тысячи раз. Поэтому от мишени получен достаточно интенсивный пучок протонов отдачи. Группе экспериментаторов, ведущих

исследование под руководством В. А. Свиридова, удалось зарегистрировать 22 тыс. случаев протонов отдачи. Применяя различные статистические методы обработки, удалось доказать, что мы имеем здесь дело с упругим рассеянием и с большой точностью измеряем характеристики этого процесса. Метод открывает возможность исследовать рассеяние на очень малые углы, когда взаимодействие происходит на больших расстояниях между частицами. Бомбардирующая частица (протон) взаимодействует только с верхними слоями протона-мишени, если можно так сказать, с его стратосферой. В этом новизна эксперимента и его результатов. Обнаружены новые свойства процессов упругого рассеяния, которые являются либо проявлением до сих пор неизвестных свойств строения нуклонов, либо проявлением каких-то новых сил взаимодействия между ними.

Этот метод был впервые применен в Дубне и в настоящее время используется в исследованиях в научных центрах стран-участниц Института. У нас есть сведения, что в ЦЕРН будут проводить исследования в области физики частиц этим новым методом. Экспериментаторам не часто удается находить подобные методы, открывающие новые возможности для исследований. Вот почему я считаю возможным назвать этот эксперимент экспериментом года нашей лаборатории и отметить его авторов В. А. Свиридова, В. А. Никитина, Л. Ф. Кириллову, Л. Н. Струнову и М. Г. Шафранову.

Новое свойство нуклонов, упоминаемое В. И. Векслером, на языке оптики можно назвать преломляющей способностью ядерного вещества. Это приводит к значительному сдвигу фазы рассеянной волны, или к действительной части амплитуды рассеяния. То есть нуклон не просто серый шарик, на котором происходит только поглощение и дифракция падающей волны. Механизм взаимодействия при высокой энергии оказался сложнее, чем предполагалось априори. Позже этот результат был интерпретирован теоретически с помощью дисперсионных соотношений и других моделей. Он зарегистрирован в СССР как открытие.

Зарубежные лаборатории интенсивно работали над этой же задачей. Наши результаты были повторены всего через полгода в Брукхейвене (США) и в ЦЕРН.

Метод тонкой внутренней мишени получил признание и широкое распространение после создания в ЛВЭ газовой струйной сверхзвуковой водородной мишени. Эта техника пришла из термоядерных установок. Для ускорителя задачу впервые сформулировал в 1964 г. К. Д. Толстов. Модель мишени была создана в ЛВЭ в 1967 г. (Л. Н. Золлин, В. А. Никитин, Ю. К. Пилипенко). В 1968 г. струйная мишень была установлена на серпуховском ускорителе. Другой качественный

скачок произошел в 1965 г. По предложению и при участии Л. И. Лапидуса и Ю. К. Акимова эмульсия как регистратор была заменена на кремниевые полупроводниковые детекторы. Это открыло дорогу для автоматизации метода на базе ЭВМ, что и было достигнуто в серпуховской серии работ.

Я начал эти воспоминания с романтических 50-х годов. В заключение попытаюсь оценить, что из ожиданий тех далеких лет воплотилось в реальность, а что оказалось иллюзией.

В области ускорительной техники действительность превзошла самые смелые предположения. В год запуска синхрофазотрона никто не мог представить себе современных сверхпроводящих коллайдеров с длиной кольца 27 км. Антипротоны тогда с трудом наблюдали единицами. Никто бы не поверил в возможность накопления и ускорения антипротонов. Важно при этом отметить, что идея ускорителя со встречными пучками и многие другие идеи в области ускорителей были выдвинуты советской школой физики.

В области техники эксперимента действительность тоже оказалась богаче фантазии. Мы начинали с того, что записывали в журнал одно событие за другим и потом долго рассматривали каждое из них. Невозможно было представить установки с миллионами каналов регистрации и скоростью передачи и обработки данных в сотни миллионов байт в секунду. Еще 10 лет назад телекс был самым оперативным видом связи, а доступ к нему ограничен. Мировая система электронной связи совершила непредсказуемую революцию и в мышлении, и в технологии исследований.

Технологии, развитые для физики высоких энергий или под ее влиянием, нашли широкое применение в смежных областях науки и практики. Это особенно касается информатики (базы данных), вычислительной техники (многопроцессорные суперЭВМ), медицине (томографы и радиологическая диагностика), производстве сверхпроводящих материалов. Интеллектуальный потенциал фундаментальной науки в полной мере служит образованию.

Д. Д. Иваненко оказался прав, ожидая существенных изменений в представлениях о сущности элементарных частиц. Был открыт более глубокий уровень структуры материи. В 80-х годах была сформулирована стандартная модель частиц, которая базируется на весьма ограниченном числе фундаментальных принципов и параметров. Главный из них — понятие калибровочного поля. Аналог таблицы Менделеева в физике частиц включает 6 кварков, 6 лептонов и несколько калибровочных бозонов — переносчиков взаимодействия. Это на данном этапе исследований элементарные составляющие материи. Огромный

«зоопарк» частиц — их в таблице более 500 — сводится к этим конститuentам. (Интересно, что еще В. Гейзенберг в своей последней обзорной работе, опубликованной в 1977 г., считал кварковую модель неудачной и временной. Великие тоже могут ошибаться!)

Итак, ожидаемая революция действительно произошла. Но, к сожалению, ее прямые последствия весьма скромны. Открытие механики Ньютоном, электродинамики Фарадеем и Максвеллом, создание теории относительности и квантовой механики последовательно преобразовало духовное и материальное лицо цивилизации. Ничего подобного не последовало (и не предвидится) за созданием стандартной модели. Наши знания об элементарных частицах остаются в стенах наших лабораторий. Может быть, еще не пришло время? Ясно видно, что объекты, энергии и масштабы, которыми оперирует фундаментальная физика, на 3–6 порядков величин лежат впереди (или сбоку?) от области применимости практической технологии. Но мы желаем остаться оптимистами и сохранить энтузиазм и преданность профессии. Нам необходимо убедить правительство в нашей правоте: мы работаем на эпоху, когда человечество станет космическим фактором. В космосе будут отлавливаться черные и белые дыры. Черные дыры послужат лабораторией для исследования квантовой гравитации. Белые дыры дадут изобилие света и тепла. Топологические неоднородности пространства в виде космических монополей и червей будут работать как реакторы для полного разложения вещества, благодаря чему цивилизация будет оперировать источниками энергии, сравнимыми по мощности со звездами.