

**Л. Л. Зиновьева**  
**Ускорение многозарядных ионов на синхрофазотроне**  
или  
**Как родилась релятивистская ядерная физика**

Дубненский синхрофазотрон, пущенный в 1957 году, около трех лет оставался рекордным в мире по энергии частиц в 10 Гэв. Утрата первенства в мире по энергии ускоряемых протонов заставила решать, что делать с ускорителем, чтобы эксперименты на нем оставались конкурентоспособными.

Расчеты показывали, что энергию синхрофазотрона можно было увеличить до 15 ГэВ на нуклон, но по сравнению с новыми ускорителями это было мало привлекательно. Действительно, в 1959 году в ЦЕРН начал работать ускоритель на энергию 30 Гэв, в 1960 году на ту же энергию в Брукхэвене (США), в 1967 году должны были ввести в действие ускоритель под Серпуховом на энергию 70 Гэв, в США строился ускоритель на 300 Гэв. А вот в отношении интенсивности у синхрофазотрона были хорошие перспективы, так как он имел самую большую апертуру - размер вакуумной камеры 2 x 0,4 м. Теоретически это давало возможность при энергии инжекции порядка 70 МэВ ускорять до  $10^{14}$  протонов в импульсе. Ни один ускоритель в мире не мог иметь таких проектных данных по полному току ускоренного протонного пучка.

С самого начала работы синхрофазотрона задача повышения интенсивности постоянно находилась в поле зрения ускорительщиков, так как это имело фундаментальное значение для прогресса в экспериментальных исследованиях. В момент пуска синхрофазотрона в 1957 году интенсивность составляла  $10^7$  протонов в импульсе. В результате постоянных усовершенствований, включая создание нового инжектора ЛУ-9, на январь 1964 года средняя интенсивность составила  $1,9 \times 10^{10}$  протонов в импульсе. В 1964 году В. И. Векслером было принято решение о создании инжектора на энергию 20 МэВ (ЛУ-20), который в дальнейшем должен был обеспечить интенсивность порядка  $10^{12}$  и тем самым поставить синхрофазотрон вровень со всеми ускорителями мира. К созданию нового инжектора приступили сразу же. К январю 1967 года в ЦЭМ уже был готов вакуумный танк этого ускорителя. Была сконструирована и изготовлена в ЛВЭ система трубок дрейфа.

Тогда же в январе 1967 года на XXI сессии Ученого совета ОИЯИ вплотную был поставлен вопрос о будущем физики высоких энергий в Дубне. В этой связи рассматривались два вопроса: 1) сотрудничество с Серпуховом, т. е. возможность проведения на новом ускорителе дубненскими физиками своих экспериментов, 2) перспективы ЛВЭ в Дубне, т. е. создания в Дубне своей современной базы для исследований в области физики высоких энергий.

В целом в то время дирекцией ОИЯИ поддерживалась тенденция развития в ОИЯИ физики низких энергий (ЛНФ и ЛЯР). И это направление в неявной форме конкурировало с физикой высоких энергий. Дубна же была создана в основном как центр физики высоких энергий, и по мнению таких ученых, как М. Даньш (Польша), К. Ланиус (ГДР) перспективы развития в Дубне должны были бы быть обеспечены именно в этом направлении.

По развитию физики высоких энергий в Дубне было два предложения: создание в ОИЯИ пи-мезонной фабрики и К-мезонной фабрики. Эти проекты были только в стадии обсуждения, но вопрос о дальнейшей судьбе синхрофазо-

трона встал очень остро. Надо было заранее решать, как именно в дальнейшем его реконструировать.

На этот счет прозвучало высказывание венгерского ученого Л. Пала, который признал ясной перспективу развития ОИЯИ в области физики средних и низких энергий. А в отношении физики высоких энергий он высказал опасение, что в дальнейшем ОИЯИ в этой области не сможет выполнять свою роль. Поэтому реконструкция синхрофазотрона, по его мнению, должна была произойти в направлении создания К-мезонной фабрики и одновременного использования технических возможностей этого ускорителя для ускорения многозарядных ионов. Действительно, в отношении последнего заметим, что еще в 1959 году Г. Грин в своей статье, посвященной ускорителю синхрофазотронного типа ("Ускорители", под ред. Б. Н. Яблокова, М, 1962), писал, что ускорять дейтроны, альфа-частицы и многозарядные ионы на таком ускорителе позволила бы простая перестройка электрооборудования. Но этого не делалось, так как внимание физики элементарных частиц в то время было сосредоточено на изучении соударений отдельных нуклонов.

Окончательное решение судьбы синхрофазотрона: быть ли ему в дальнейшем К-мезонной фабрикой или стать ускорителем тяжелых ионов до высоких энергий, или и то и другое вместе, зависело от технических проектов, которые по решению январской 1967 года сессии Ученого совета и КПП должна была оценить экспертная комиссия.

Совещание этой комиссии под председательством чехословацкого ученого профессора И. Улеглы состоялось в апреле 1967 года в Серпухове (Протвино). На нем присутствовало 29 человек, среди которых были представители от всех стран-участниц ОИЯИ. Всем членам совещания заранее были предоставлены материалы о перспективах развития исследований в ЛВЭ в области физики высоких энергий, связанных с предлагаемой модернизацией синхрофазотрона, и предложения о реконструкции синхроциклотрона ЛЯП. Совещание сочло необходимым развивать исследования в области физики высоких энергий в ОИЯИ по двум путям: а) создание современной базы для исследований в области физики высоких энергий в самом Институте; б) постановка и проведение экспериментов по ускорителю 70 ГэВ в Серпухове.

На совещании были заслушаны шесть докладов, из которых развитию физики высоких энергий в ЛВЭ и реконструкции синхрофазотрона были посвящены два: директора ЛВЭ И. В. Чувило "Перспективы развития исследований в Лаборатории высоких энергий, связанные с предлагаемой модернизацией синхрофазотрона" и польского физика профессора Е. Пневского из Варшавского университета "Гиперядерная спектроскопия при использовании высокоинтенсивных пучков К-мезонов". Со стороны ЛВЭ был предложен вариант повышения интенсивности пучка синхрофазотрона до  $10^{14}$  протонов в импульсе. Из обстоятельного доклада Е. Пневского следовало, что для синхрофазотрона более перспективным вариантом в сравнении с ускорением тяжелых ионов, являлся вариант протонной фабрики, предлагаемый ЛВЭ.

В итоге совещание экспертов в своем решении единогласно поддержало предложение ЛВЭ об увеличении интенсивности пучка синхрофазотрона до  $10^{14}$  протонов в импульсе. В связи с этим оно полностью одобрило программу работ по развитию синхрофазотрона, разработанную в ЛВЭ в отделе синхрофазотрона которая и была отражена в докладе И. В. Чувило. В соответствии с этой программой в текущем пятилетии (1966-1970 гг.) планировали завершить соз-

дание инжектора ЛУ-20, который должен был обеспечить интенсивность  $10^{12}$  протонов в импульсе, и разработать методику высокоэффективного вывода пучка из ускорителя.

Вывод пучка из ускорителя в самую первую очередь был связан с тем, что при интенсивности  $10^{12}$  по нормам радиационной безопасности нельзя было использовать внутренние мишени. Поэтому надо было либо делать бетонную защиту вокруг ускорителя, либо осуществить достаточно полный вывод пучка в соответствующий экспериментальный зал. Оценкой защиты занималась комиссия под председательством П. К. Маркова, сотрудника из Болгарии. Проект бетонного саркофага для ускорителя оказался очень дорогим (по тем временам 25 млн. рублей). Тогда от глобальной защиты отказались, ориентируясь на так называемый «медленный» вывод пучка. К тому времени на синхрофазотроне уже был осуществлен более легкий «быстрый» вывод пучка, который обеспечивал 80% выведенного пучка. Медленный вывод не только должен был обеспечить более 90% выведенного пучка, но и способствовать регистрации частиц электронными методами. Более того, при работе над медленным выводом не надо было останавливать ускоритель, что потребовалось бы при сооружении саркофага.

Кроме того, экспертной комиссией предлагалось к середине 1969 года разработать физическое обоснование по реконструкции синхрофазотрона для поднятия интенсивности до  $10^{13}$  и  $10^{14}$  протонов в импульсе, а также представить проектные соображения по этому вопросу. Разделение задачи повышения интенсивности на две ступени было вызвано тем, что интенсивность  $10^{13}$  можно было получить без существенных изменений системы инжекции и вообще узлов ускорения. Достижение  $10^{14}$  требовало совсем другого подхода к решению проблемы.

С отчетным докладом об итогах работы экспертной комиссии на XXII сессии Ученого совета в июне 1967 года выступил ее председатель профессор И. Улегла. При обсуждении этого доклада Г. Н. Флеров выразил сожаление, что существовавшие в то время ускорители протонов на большие энергии, которые достигали нескольких ГэВ, не обеспечивали ускорения тяжелых ионов, включая альфа-частицы. По его мнению, решение экспертной комиссии лишало ОИЯИ возможности продуктивно работать в той области, в которой в то время никто еще не работал. А именно, в этом и была изюминка. Он призывал оценить на основе научной интуиции, что можно было бы получить на протонах при интенсивности  $10^{14}$ , на дейтерии и тяжелых ионах. И тут же признавался, что в данном случае "интуиция не столь велика, но попытаться нужно и можно".

И. В. Чувило же предпочел вариант протонного ускорителя с большой интенсивностью и объяснил это тем, что в лабораториях стран-участниц такое научное направление в то время было традиционным. А то, что предлагал Флеров, касалось поворота к другим проблемам ядерной физики.

Однако Г. Н. Флерова поддержал В. П. Джелепов и предложил дополнительно рассмотреть вариант ускорения тяжелых ионов на синхрофазотроне. Но всеобщей поддержки эта идея не получила - было ясно, что ускорение тяжелых ионов на синхрофазотроне привлекательно лишь тем, что до сих пор в мире никто этого не делал. Повышение же интенсивности способствовало проведению уже вполне определенных экспериментов, в частности, предлагаемых Е. Пневским.

В результате обсуждения Ученый совет одобрил решение комиссии экспертов по рассмотрению перспектив развития физики высоких энергий в ОИЯИ и посчитал, что комиссия представила вполне конкретные рекомендации, и поэтому необходимость в запланированном втором заседании комиссии в 1967 году отпала.

Таким образом, казалось, что в июне 1967 года будущее синхрофазотрона и развитие физики в ЛВЭ определено достаточно четко. Был выдвинут целый ряд очень интересных идей, как идти к интенсивности  $10^{14}$ , и эту программу предполагалось вынести на Ученый совет в конце 1968 года. Но она так и не была реализована. Связано это было со следующими обстоятельствами.

Пока на Ученых советах решалась судьба синхрофазотрона, на нем продолжалась текущая научная работа. В 1967 году сотрудник ЛВЭ В. И. Мороз, вдохновленный результатами исследований пр-взаимодействий с помощью пропановой камеры, в которых пучки нейтронов получались при облучении мишени ускоренными протонами, решил использовать для экспериментов пучок нейтронов, полученный в результате стриппинга. Процесс стриппинга, то есть обдирка с ускоренных дейтронов протонов, давал возможность сформировать пучок нейтронов с относительно небольшим разбросом импульсов, что способствовало более успешному изучению процесса пр-взаимодействий.

В связи с этим Мороз обратился к ускорительщикам синхрофазотрона с просьбой ускорить дейтроны. В дирекции Лаборатории высоких энергий во главе с И. В. Чувило не все единодушно положительно отнеслись к этому предложению по вполне понятным причинам - ускорение дейтронов уводило с твердо намеченного пути развития синхрофазотрона. Были даже высказывания типа: "Им (то есть отделу синхрофазотрона) надо запретить не только заниматься ускорением дейтронов, но и думать об этом!". Хотя сам Чувило отнесся к задаче с пониманием.

Ускорительщики же восприняли предложение Мороза с интересом, и под руководством Л. П. Зиновьева началось его воплощение в жизнь. К середине 1968 года командой Ю. Д. Безногих, А. И. Михайлова и Г. С. Казанского были выполнены необходимые расчеты и успешно проведены первые эксперименты на линейном ускорителе ЛУ-9 (Препринт ОИЯИ, Р9-4214, Дубна, 1968).

Решение этой задачи совпало со сменой директора ЛВЭ. В середине 1968 года сначала и. о. директора, а потом и директором был назначен А. М. Балдин в связи с переходом И. В. Чувило на должность директора ИТЭФ в Москве. Как новый в Лаборатории человек, Балдин, естественно, первоначально придерживался директивного курса развития ЛВЭ, принятого ранее, и не проявил интереса к "сторонней" задаче с дейтронами, начатой еще до его прихода в Лабораторию. А тем временем в 1969 году пучок ускоренных дейтронов уже был получен на выходе линейного ускорителя, и на очереди была задача его ускорения в синхрофазотроне.

В итоге, вопреки сопротивлению администрации Лаборатории и сугубо техническим подводным камням, 5 сентября 1970 года был получен пучок ускоренных дейтронов с интенсивностью  $0,9 \times 10^{10}$  частиц в импульсе.

Месяцем позже ускоренные дейтроны были выведены из камеры синхрофазотрона методом "быстрого" вывода, разработанного к секторе И. Б. Иссинского, и на выведенном пучке группой К. Д. Толстова было проведено первое облучение ядерных эмульсий (Препринт ОИЯИ Р9-5442, Дубна, 1970).

А дальше произошло непредвиденное: как только реально на синхрофазотроне были ускорены дейтроны и альфа-частицы, Балдин проявил большой интерес к ускорению в дальнейшем и более тяжелых ядер. То, что в апреле 1967 года было единогласно отвергнуто экспертной комиссией, Балдин, пользуясь своими полномочиями директора и поддержкой директора ОИЯИ в то время Н.Н. Боголюбова, взял на вооружение для дальнейшего развития Лаборатории высоких энергий.

Хотя, собственно говоря, ничего удивительного в таком выборе не было. Когда все хорошо шло по ранее намеченному плану, зачем отступать в сторону? Но когда вопреки плану группа энтузиастов сделала то, что открывало путь в совсем неизведанную область, почему этим не воспользоваться? В науке часто отдается предпочтение новому, хотя это вовсе не является залогом значительных открытий. Задачу получения интенсивности  $10^{14}$  еще только предстояло решать в будущем, а здесь был готов путь, к которому уже раньше призывали такие известные ученые как Пал, Флеров, Джелепов.

Ускорение многозарядных ионов на синхрофазотроне обещало сделать этот ускоритель уникальным. Открывались новые возможности в изучении ядерной физики, которые А.М. Балдин определил, как «изучение систем коллективных частиц, движущихся со скоростями, близкими к скорости света. При этом надо учитывать структуру этих частиц». По его мнению в то время это была очень интересная и важная проблема теории. Новое направление А. М. Балдин назвал релятивистской ядерной физикой (РЯФ). Оно было поддержано в первую очередь Г. Н. Флеровым, а также Д. И. Блохинцевым, Б. М. Понтекорво, М. Г. Мещеряковым, В. П. Джелеповым.

Поддержка Флеровым особенно понятна - еще в бытность директором ЛВЭ И. В. Чувило Флеров с Ю. Ц. Оганесяном приходили к нему с просьбой рассмотреть возможности ускорения на синхрофазотроне многозарядных ионов. Тогда же Оганесян пытался вдохновить на ускорение многозарядных ионов ускорительщиков Серпухова и Еревана, но тщетно. Вряд ли Балдин, будучи первоначально противником ускорения дейтронов на синхрофазотроне по причине отсутствия у него интереса к физике ядер, ускоренных до релятивистских скоростей, сам бы развернул Лабораторию в новом направлении, не имея такой мощной инициативы со стороны Флерова. Да, несомненно, Георгий Николаевич Флеров является главным инициатором целенаправленных исследований в области релятивистской ядерной физики. Сам А. М. Балдин и в своих работах, и в своих выступлениях не раз отмечал это. Однако официально имя Г.Н. Флерова, как инициатора развития в Дубне релятивистской ядерной физики, не звучит.

Флеров хотел, чтобы новое направление развивалось, и поэтому всячески помогал Балдину на первых порах, как идейно, так и материально. Например, он передал из своей лаборатории в ЛВЭ группу, возглавляемую Е. Д. Донцом, которая успешно занималась проблемой получения многозарядных ионов. Именно по совету Флерова в отделе синхрофазотрона был создан лазерный источник легких ядер.

Поначалу никакой теории в новом направлении не было. Она стала создаваться лишь в конце 1970 года после того, как на синхрофазотроне были ускорены дейтроны. Самой первой теоретической работой в области релятивистской ядерной физики считается работа А. М. Балдина по масштабной инвариантности, опубликованная в январе 1971 года в сборнике «Кратких сообщений по физике», издаваемых ФИАНом (№1, 1971). Это та работа, в которой, как

принято считать, Балдиным был предсказан кумулятивный ядерный эффект, который в том же 1971 году впервые был обнаружен в экспериментах на синхротроне группой под руководством В. С. Ставинского (Сообщения ОИЯИ Р1 - 5819, 1971).

Отношение к этому результату среди физиков далеко неоднозначное. Многие считают, что подобное явление, только при более низких энергиях (675 МэВ), уже наблюдалось в 1957 году в экспериментах на синхроциклотроне ЛЯ-Па, проводимых группой под руководством М. Г. Мещерякова (ЖЭТФ, 1957, т.33, вып.5(11), с.1185-1195). Именно поэтому профессор А. В. Ефремов считает что у истоков релятивистской ядерной физики стоял М. Г. Мещеряков («Воспоминания о М.Г.Мещерякове», Дубна, 2000). В своем мнении А. В. Ефремов далеко не одинок.

Достоверно известно, что в момент написания своей работы по масштабной инвариантности Балдин знал о работе группы Мещерякова, но почему-то не упомянул ее. Поэтому его предсказание могло считаться таковым лишь для случая наблюдения уже известного явления, но при других условиях, а не как предсказание какого-то принципиально нового явления. А так как суть явления, наблюдаемого в экспериментах групп Мещерякова и Ставинского, одна и та же, то понятно, почему результат экспериментов группы Мещерякова был в 1979 году зарегистрирован открытием, а Ставинского - нет.

В дальнейшем А. М. Балдину не раз указывали на прямую взаимосвязь между работами Ставинского и Мещерякова в том, что в обоих случаях наблюдался кумулятивный эффект. Он с этим не соглашался, но так ни разу и не выступил в печати с возражениями. Последователи Балдина продолжают игнорировать работу группы Мещерякова. Один из них пояснил мне, что среди физиков в отношении этого вопроса происходит путаница. Но раз так, то что мешает ее распутать? Надо просто опубликовать, в чем именно состоит принципиальная разница между работами, о которых идет речь. Однако до сих пор это не сделано!

В начале 1970-х годов релятивистская ядерная физика только зарождалась, и ее будущее было достаточно неопределенным. Но уже в 1973 году Балдин четко выделил ряд проблем, которые должны были решаться новым направлением (Сообщения ОИЯИ 9-7148, 1973, Дубна):

- 1) исследование столкновений релятивистских ядер в связи с построением теории сильных взаимодействий;
- 2) изучение кумулятивного эффекта. (Заметим, что этот процесс первоначально помимо принципиального значения был интересен с точки зрения получения высокоэнергетических вторичных частиц с целью повышения энергий пучков ускорителей. Однако из-за малой интенсивности вторичных частиц в ускорительной технике этим не воспользовались.)
- 3) изучение прохождения релятивистских многозарядных частиц через вещество. Это интересно с точки зрения получения сведений о составе и природе космического излучения, о радиационной безопасности космонавтов и космических аппаратов;
- 4) исследования с помощью пучков релятивистских ядер ряда медико-биологических проблем, включая онкологию. (В то время такими исследованиями уже активно с 1971 года занимались в США на «Бэватроне»).

Наряду с релятивистской ядерной физикой в ЛВЭ остались прежние основные направления: бинарные реакции, электромагнитная структура элементарных частиц, множественное образование частиц, но уже к 1975 году новое направление стало лидирующим. Правда, с 1981 года лидерство перешло к спиновой физике, в которой в течение последующих двадцати лет были получены значительные результаты.

Нельзя сказать, что все единодушно приняли релятивистскую ядерную физику - скептики есть до сих пор. Некоторые полагали, что переход к изучению релятивистской ядерной физики есть "сползание от физики частиц к ядерной физике". Балдин же в течение первых нескольких лет упорно доказывал состоятельность нового направления и был убежден, что оно еще себя покажет. Возражая скептикам, он говорил, во-первых, что "очень трудно указать такую проблему физики элементарных частиц, которую нельзя было бы изучать с помощью релятивистских ядер. Во-вторых, хорошая ядерная физика много лучше плохой физики высоких энергий". Возросший интерес к релятивистской ядерной физике благодаря первым успешным исследованиям в этой области на синхрофазотроне, вдохновил Балдина на создание в ЛВЭ специального ускорителя многозарядных ионов - нуклотрона.

Для укрепления позиций нового направления Балдин организовал ежегодный международный семинар, который получил неофициальное название "Балдинская осень". После смерти Балдина в 2001 году этому семинару под названием «Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика» было присвоено имя А. М. Балдина. Сейчас он проводится один раз в два года. Релятивистской ядерной физикой начали заниматься в США, Франции, Японии.

При каждом удобном случае А. М. Балдин доказывал своим оппонентам положительный момент релятивистской ядерной физики - для целого ряда задач исследование столкновения релятивистских ядер на синхрофазотроне эквивалентно исследованию взаимодействий элементарных частиц при энергии 300 ГэВ. Такая точка зрения была убедительна не для всех. Разногласия по поводу релятивистской физики, на наш взгляд, правильно оценил Д. И. Блохинцев: "...дело в конце концов заключается не в том, какие ядра ставятся, а КТО смотрит на эти ядра и КТО думает о том, что там получается".

С принятым курсом развития в ЛВЭ релятивистской ядерной физики утвержденный прежде курс на интенсивность  $10^{14}$  протонов в импульсе был негласно отменен, а достигнутая интенсивность  $10^{12}$  с новым инжектором ЛУ-20 и реализованный "медленный" вывод не только не противоречили новому курсу, а, наоборот, способствовали ему.

Сегодня еще трудно сказать, оправдан ли был в свое время поворот от пути, утвержденного в 1967 году экспертной комиссией, в сторону развития только релятивистской ядерной физики - ведь ускорение на синхрофазотроне в свое время дейтронов вовсе не исключало реализации плана, намеченного в 1967 году. По крайней мере, революционных результатов в релятивистской ядерной физике пока нет. Но, как бы там ни было, выбор был сделан, и сегодня физика пожинает его плоды. Однако хочется заметить, что с другой стороны, история ускорения многозарядных ионов на синхрофазотроне лишней раз ярко продемонстрировала, что экспертные оценки различных советов не являются гарантом развития науки в том или ином направлении, о чем автор писала ранее («Дубна», №20, 2005).

*февраль 2006*