

помощью дополнительных зарядов и токов. Более правдоподобна история о том, как И.Е. Тамм однажды обронил, что эффект Черенкова обратим: если достаточно быстрая частица в среде теряет энергию и тормозится, то покоящаяся частица при обдуве ее быстрой средой должна ускоряться. Само по себе это очевидно, но суть идеи состоит в том, что увлекающая сила пропорциональна квадрату заряда, как и должно быть для радиационных процессов. Поэтому на сгусток из  $N$  одинаковых частиц должна действовать сила, пропорциональная  $N^2$ , тогда как масса сгустка возрастает только как  $N$ . Поскольку число частиц может быть весьма велико, темп ускорения резко увеличивается. Из-за характерной зависимости от числа частиц, типичной для этого класса физических процессов, метод получил название когерентного (впоследствии — коллективного) ускорения.

С самого начала было ясно, что единственной материальной средой, обдувающей электронный сгусток, может быть только сильноточный электронный пучок. Однако по тем временам его требуемые параметры казались немислимыми. Несколько лучшие перспективы имело когерентное рассеяние достаточно мощной электромагнитной волны на сгустке квазинейтральной плазмы. В этом случае достижимая энергия была бы относительно невелика, но отчасти это искупалось бы большим количеством ускоряемых частиц. Наконец, еще один механизм, предложенный В.И. Векслером, состоял в ударной передаче энергии сгустка большого числа электронов малому числу протонов, также сконцентрированных в компактный сгусток.

Физические возможности, открываемые использованием коллективного ускорения, были настолько разнообразны, что, по воспоминаниям А.А. Коломенского и М.С. Рабиновича, практически каждая неделя начиналась с заявления несколько смущенного Владимира Иосифовича: "А я опять изобрел ускоритель...". Метод коллективного ускорения вместе с идеологически близкими предложениями Я.Б. Файнберга и А.М. Будкера произвели буквально сенсацию на первом Международном симпозиуме по ускорителям в CERNе. С этого момента стали восстанавливаться контакты между ускорительщиками разных стран. Неожиданность идеи была настолько велика, что вызвала недоумение у одного из патриархов физики, получившего, к вящей радости аудитории, мгновенный и довольно экспрессивный ответ Владимира Иосифовича: "А это у нас каждому студенту известно".

В несколько эйфорийной атмосфере этих предложений как-то отступало на второй план, что даже сколь угодно малый сгусток — это не элементарная частица, что ему обязательно свойственны внутренние степени свободы. Очевидным было только требование удержания его как целого. Даже в этих рамках техническое осуществление коллективного ускорения оказалось далеко не простым. Первоначальный энтузиазм многочисленных лабораторий быстро сменился пониманием того, что требуются долговременные и терпеливые исследования в совершенно новой области коллективного взаимодействия очень большого числа частиц, до некоторой степени аналогично тому, как это происходило в управляемом термоядерном синтезе. Самыми настойчивыми оказались одна американская и одна немецкая лаборатории и, конечно, лаборатория Век-

слера в Дубне. Под руководством ближайшего из учеников Векслера, В.П. Саранцева, было сооружено и опробовано несколько модификаций смекотрона, названного так из-за сходства ускоряющего электронного сгустка с кольцом дыма, выпускаемого курильщиком. Работы долгое время оставались секретными и были опубликованы только после кончины Векслера в 1966 г.

Несмотря на колоссальные пройденные и предстоящие трудности, проблематика коллективных методов ускорения не теряет актуальности и, безусловно, еще заявит о себе, но, к сожалению, уже без Владимира Иосифовича. Наиболее впечатляющие достижения были получены в последнее время на базе возбуждения плазменных волн большой амплитуды мощным коротким лазерным импульсом (так называемое кильватерное ускорение).

Векслер сделал в жизни удивительно много, сочетая работу физика-экспериментатора, изобретателя и организатора науки. Напомним лишь о созданных им двух крупнейших лабораториях — в Москве и в Дубне, отделе новых методов ускорения в Объединенном институте ядерных исследований, Отделении ядерной физики АН СССР, которое он возглавил, об организации двух научных журналов *Ядерная физика* и *Атомная энергия*, а также о деятельности в директорате Объединенного института ядерных исследований. В этом маленьком человеке с довольно хрупким здоровьем жили удивительная энергия и настойчивость. Да, он не был голубем, как сказал один из его учеников. Он мог ошибаться, иногда был предвзят, мог и ненароком обидеть. Но он всегда находил в себе силы публично признать свои ошибки, даже в споре с младшим научным сотрудником. Только после его смерти выяснилось, что он помогал материально (тайно!) нескольким студентам, будучи сам крайне непритворным в жизни. Имея за плечами трудную юность, он, как и его супруга, был комсомольцем 1920-х годов в лучшем смысле этого слова и, как многие из того поколения, испытывал впоследствии серьезные внутренние конфликты. Здесь трудно описать сколько-нибудь подробно жизнь и деятельность В.И. Векслера. Для этого больше подошла бы книга. Надеемся, что она будет написана.

PACS number: 25.20. – x

## В.И. Векслер и развитие ядерной физики в Советском Союзе

Б.С. Долбилкин, Б.С. Ратнер

### 1. Введение

Отмечая 100-летие со дня рождения академика В.И. Векслера (4 марта 1907 г.), кратко проследим его становление как выдающегося ученого. Оно тесно связано с развитием в нашей стране физики ядра и элементарных частиц — он был одним из первых исследователей космических лучей в середине 30-х годов. После войны Векслер возглавил большие коллективы, в частности ФИАНа и ОИЯИ, изучающие проблемы микромира на ускорителях, построенных за десятилетие 1948–1957 гг. на основе открытого им в 1944 г. принципа автофазировки. Первый отечественный ускоритель

электронов — синхротрон С-3 на энергию 30 МэВ был запущен группой энтузиастов во главе с В.И. Векслером в 1948 г. и около 40 лет являлся основным инструментом физических исследований в Лаборатории фотоядерных реакций ФИАНа (с 1971 г. — ИЯИ РАН).

Создание Лаборатории фотоядерных реакций (ЛФЯР ФИАН) неразрывно связано с именем Владимира Иосифовича Векслера после сооружения в начале 1948 г. первого отечественного и третьего в мире ускорителя электронов на энергию 30 МэВ — синхротрона С-3 в Эталонной лаборатории ФИАНа на территории корпуса "Б" старого здания ФИАНа по адресу 3-я Миусская ул., 3. Название лаборатории было обусловлено обстановкой секретности, связанной с атомным проектом, в котором участвовали специалисты, работавшие в то время в области атомного ядра.

Запуск синхротрона С-3 был для В.И. Векслера завершением первого этапа его становления как ученого, во время которого у него возникло твердое убеждение в необходимости нового подхода в экспериментальной ядерной физике для исследования структуры ядра и элементарных частиц, а именно перехода от изучения космических лучей, где Векслером были получены совершенно новые результаты, к экспериментам на ускорителях элементарных частиц с энергией, сравнимой с первичной энергией космического излучения.

Стремительное развитие экспериментальной ядерной физики в Советском Союзе в целом и в ФИАНе в частности было во многом определено В.И. Векслером (далее — В.И.).

Физические исследования в начале XX века проводились как в Академии наук, так и вне ее (Физико-технический институт в Ленинграде, Физическая лаборатория П.Н. Лебедева в Москве). Академия и Физико-математический институт находились в Ленинграде. В октябре 1928 г. из его состава выделился в отдельный институт наиболее обширный сейсмический отдел. После этого весь штат Физико-математического института состоял из директора, двух зав. отделами (зав. физическим отделом — Т.П. Кравец) и четырех научных сотрудников. В 1932 г. физический отдел Института возглавил С.И. Вавилов и началась его реорганизация. Летом 1934 г. по постановлению Правительства Академия и в том числе Физико-математический институт были переведены в Москву. Институт расположился в здании на 3-й Миусской улице, построенном московской общественностью в 1912 г. для лаборатории П.Н. Лебедева. Вскоре математики окончательно выделились из его состава, и Институт получил свое современное наименование — Физический институт им. П.Н. Лебедева. Именем П.Н. Лебедева как бы связывалась старая академическая школа физиков с московской [1, с. 43].

В те же годы происходило становление научного работника В.И. Векслера. После окончания в детдоме в 1925 г. школы 9-летки он по комсомольской путевке был направлен на ситценабивную фабрику им. Свердлова учеником и подручным монтера. В 1927 г. по рекомендации МГК ВЛКСМ поступил в Институт народного хозяйства им. Плеханова на электротехнический факультет. При реорганизации вузов был переведен со всем факультетом в МЭИ, который окончил экстерном в 1931 г. по специальности "рентгенотехника". Одновременно с учебой в 1930 г. поступил в ВЭИ (Всесоюзный электротехнический институт), где работал лаборантом,

старшим лаборантом, научным сотрудником, ст. научным сотрудником и зав. лабораторией. В 1934 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему "Измерение интенсивности рентгеновских лучей с помощью счетчиков Гейгера — Мюллера и разрядной камеры" (Автобиография В.И. Векслера от 11.02. 1953 г.) [2].

В то время многие приборы приходилось делать самим. В частности, В.И. сам изготавливал счетчики Гейгера, позднее — пропорциональные счетчики. Трудно себе представить столь короткий путь от поступления в вуз до получения ученой степени и от лаборанта в научно-исследовательском институте до зав. лабораторией.

Не менее яркой была деятельность В.И. после прихода в ФИАН и в дальнейшем. Он поступил 1.09.1936 г. в аспирантуру (или докторантуру, как тогда именовалась последняя) по рекомендации академика С.И. Вавилова в Лабораторию атомного ядра, руководителем которой он был в то время. В нее входило только несколько молодых специалистов, впоследствии широко известных ученых, — И.М. Франк, Л.В. Грошев, П.А. Черенков, С.Н. Вернов, М.А. Марков, Н.А. Добротин и ряд других, большая часть которых занималась Эльбрусскими космическими лучами. Исследования проводились Эльбрусской комплексной научной экспедицией (ЭКНЭ), в те годы организованной Институтом теоретической геофизики и состоявшей из физиологов, биохимиков, метеорологов, физиков. В.И. Векслер после перехода в ФИАН вскоре был назначен руководителем группы физиков по изучению космических лучей, участвовавших в работе ЭКНЭ. Измерения проводились на высотах от 2200 м (Терскол) до 4200 м ("Приют 11") и иногда 5300 м (седловина Эльбруса) в течение 1937–1940 гг. Вся аппаратура, основу которой составляли пропорциональные счетчики, разработанные В.И., изготавливалась в ФИАНе; в начале лета ее поднимали в горы и до осени проводили измерения. Доставка груза была большой проблемой, особенно на "Кругозор" и "Приют 11", куда можно было добраться только на ишаках, а поднять аппаратуру выше можно было на своих плечах или прибегая к помощи носильщиков [3]. В результате измерений было обнаружено, что на указанных высотах в составе космического излучения находится много вторичных, более тяжелых, чем электроны, частиц, идентифицированных как медленные мезоны. Докторскую диссертацию на тему "Тяжелые частицы в космических лучах" В.И. защитил в 1940 г. В то время это был передний край физики ядра, Юкава в 1935 г. предсказал мезотрон (мезон по общепринятой терминологии, введенной Гейзенбергом), а в 1937 г. с помощью фотопластинок, поднятых на воздушном шаре, были получены данные о наличии в атмосфере частиц более тяжелых, чем электроны.

Параллельно с работой в экспедиции Президиумом АН СССР 17 мая 1938 г. В.И. утверждается зам. заведующего ЛАЯ и членом Ученого совета ФИАНа. Несколько позднее, 25.11.1938 г., принимается важнейшее для развития ядерной физики Постановление Президиума АН СССР "Об организации в Академии наук работ по исследованию атомного ядра", в котором, в частности, было сказано: (...)

"4. Просить СНК СССР разрешить АН приступить в 1939 г. к строительству нового здания Физического

института с таким расчетом, чтобы возможно скорее сосредоточить работы по ядерной физике в Москве...

7. Создать при Физико-математическом Отделении АН СССР постоянную комиссию по атомному ядру в составе:

- 1) акад. С.И. Вавилова — председатель,
- 2) акад. А.Ф. Иоффе,
- 3) проф. И.М. Франка,
- 4) проф. А.И. Алиханова,
- 5) И.В. Курчатова,
- 6) Шпетного (украинский ФТИ),
- 7) В.И. Векслера — секретарь..."

Началом реального перехода В.И. от исследования космических излучений к разработке ускорителей элементарных частиц можно считать его участие в "циклотронной бригаде", созданной по инициативе С.И. Вавилова в 1940 г. в ФИАНе для постройки циклотрона. Кроме В.И. Векслера в нее входили С.Н. Вернов, Л.В. Грошев, П.А. Черенков и теоретик Е.Л. Фейнберг.

Первый в мире ускоритель — циклотрон на энергию протонов 1,2 МэВ был создан Лоуренсом в лаборатории Беркли. Попытки получить большие энергии (60 МэВ) на ускорителях этого типа окончились неудачей — после ускорения до 20 МэВ пучок частиц разваливался. В Советском Союзе циклотрон с диаметром полных носителей  $\sim 1$  м был сооружен во ФТИ в Ленинграде И.В. Курчатовым и запущен в 1940 г. Расчеты, сделанные в циклотронной бригаде, привели к выводу, что верхний предел энергии этого типа ускорителей составляет около 25 МэВ. Дальнейшую работу в этом направлении приостановила война.

ФИАН находился в эвакуации в Казани, физики переключились на оборонную тематику. После возвращения в Москву обсуждения проблемы, как преодолеть релятивистский барьер, ограничивающий предельную энергию ускоряемых частиц, возобновились. И хотя В.И. был чрезвычайно занят подготовкой первой Памирской экспедиции 1944 г., мысли о возможности создания ускорителей с энергиями на порядки большими, чем в циклотронах, постоянно "сидели" в его голове [3]. И в начале 1944 г. у В.И. возникла идея, как использовать релятивистский эффект для преодоления барьера, вскоре оформившаяся в открытие нового принципа ускорения частиц — автофазировки. Первая короткая статья В.И. была опубликована в журнале *Доклады Академии наук* (8) за 1944 г. под названием "Новый метод ускорения релятивистских частиц". Вывод из статьи звучал так: "Эта автоматически осуществляемая фазировка, обусловленная тем, что величина интервала времени между двумя последовательными ускорениями зависит от ускоряющей разности потенциалов, является общим свойством ускорителей подобного типа, позволяющим (по крайней мере, в принципе) осуществить ускорение самыми разнообразными способами и, в частности, даже в том случае, когда магнитное поле будет возрастать со временем".

Во второй статье "О новом методе ускорения релятивистских частиц" в *ДАН* (9) 1944 г. рассматривалась автофазировка в переменном во времени магнитном поле. Ускорители с постоянным полем были названы В.И. микротронами, с переменным — по предложению Э. Макмиллана (годом позже Векслера, независимо открывшего явление автофазировки) синхротронами. В.И. был готов немедленно взяться за воплощение в

жизнь своей идеи, несмотря на тяжелую ситуацию в стране и полное отсутствие опыта не только создания, но и эксплуатации каких-либо ускорителей. Такой подход был характерным для всей его деятельности.

## 2. Создание и запуск синхротрона С-3 (1945–1947 гг.)

Создание первого ускорителя было невероятно сложным. Таких устройств, как многотонные электромагниты с обмотками переменного тока, высокочастотные системы большой мощности, высоковакуумные системы, практически не было в стране. В это же время, в 1945 г., вскоре после победы в Отечественной войне, начал реализовываться атомный проект с задачей разработки атомного оружия, что в кратчайшие сроки привело к взрывному развитию атомной промышленности и ядерной физики. Вновь организованная лаборатория В.И. Векслера была включена в 1946 г. по постановлению правительства в атомный проект для сооружения ускорителей с целью быстрого развития ядерной физики и названа по соображениям секретности "Эталонной". Вскоре рядом со старым зданием ФИАНа на Миуссах были построены два здания: одно — для лаборатории Векслера (корпус "Б"), другое — для ЛАЯ, также включенной в атомный проект.

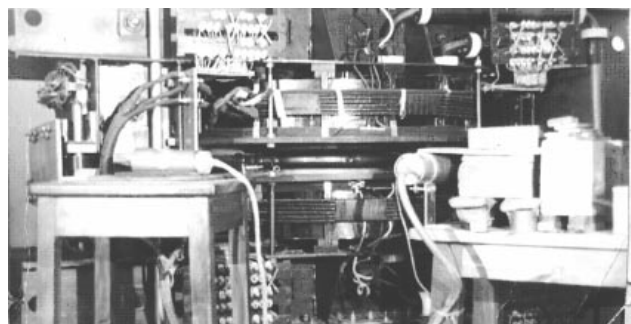
В 1946 г. лаборатория В.И. Векслера приступила к практической работе по созданию синхротрона с максимальной энергией электронов 30 МэВ. На работу был принят только окончивший МГУ физик Б.Л. Белоусов, ставший руководителем группы по сооружению синхротрона. Для проведения теоретических расчетов В.И. привлек аспиранта Е.Л. Фейнберга, теоретика М.С. Рабиновича, перед которым была поставлена задача рассмотреть проблемы устойчивости пучка будущего реального ускорителя. К середине 1946 г. в группе Белоусова работали только два человека — инженер Э.Г. Горжевская и лаборант И.Д. Кедров. В июне 1946 г. к ним присоединился демобилизованный из армии Б.С. Ратнер, перед войной окончивший МЭИ [4]. К концу 1946 г. в группе синхротрона работали уже 19 человек. Трудно представить, но к этому времени не только был собран синхротрон, но и проверены все системы и сделаны пробные запуски. С.И. Вавилову и В.И. удалось добиться изготовления электромагнита на Московском трансформаторном заводе; в Институте физических проблем была изготовлена вакуумная камера. Магнит располагался на втором этаже, там же находились вакуумная камера и система откачки, аккумуляторная батарея, подключенная к резонансному контуру, и пульт управления. Под ними на первом этаже был установлен высоковольтный трансформатор для питания магнита. Сначала планировалось в качестве инжектора воспользоваться уже изготовленным радиоактивным источником электронов, но в процессе работы было принято решение предварительно ускорять электроны до  $\sim 3$  МэВ в бетатронном режиме вихревым электрическим полем, а затем до максимальной энергии 30 МэВ — в режиме синхротрона. Для этого в центре магнита был собран сердечник из отрезков пермаллоевой проволоки, изолированных бакелитовым лаком с обмоткой, создававшей такое поле, и на нем смонтирована корректирующая обмотка. Положение равновесной бетатронной орбиты определялось минимумом градиента элект-

рического поля, который "нулевым методом" с высокой точностью измерялся обмотками, навитыми на плексигласовую шайбу, помещенную по радиусу зазора магнита, для ее перемещения на сердечнике была смонтирована корректирующая катушка. Для фокусировки пучка необходима определенная форма полюсных наконечников, дающая нужную зависимость магнитного поля от радиуса магнита. Она была подобрана В.Е. Писаревым, использовавшим специально изготовленный магнит. Над созданием высокочастотного электрического поля работали Е.М. Мороз, А.В. Беляк, Н.Г. Котельников. Сначала планировалось делать врезной резонатор, для чего надо было резать ускорительную камеру. Сотрудники предложили и сделали не требующий этого накладной резонатор, состоявший из двух половин на полистироловых изоляторах. Рационализация сэкономила месяцы работы. Для удаления электрического заряда от незахваченных в процесс ускорения электронов, скапливавшихся на внутренней поверхности камеры, она была покрыта тонким слоем серебра по методике, разработанной В.Г. Ларионовой. Чтобы избавиться от токов Фуко, в проводящем слое камеры была сделана щель. На инжектор подавался импульс амплитудой 30 кВ и длительностью 5 мкс. Каждый цикл ускорения начинался при нулевом значении магнитного поля, определяемого импульсом от катушки, намотанной на пермаллоевый сердечник, находящийся в зазоре магнита. Сдвиг во времени между инжекцией и подачей ускоряющего электрического поля варьировался формирующим устройством. Оно, как и большинство аппаратуры, было изготовлено в лаборатории.

Осенью 1946 г. начались пробные запуски ускорителя в бетатронном режиме, продолжавшиеся примерно два месяца. При этом постоянно велась доводка аппаратуры. Были уменьшена величина фазовой асимметрии магнитного поля, улучшен вакуум и т.д. Несмотря на это инжектированный в камеру импульс электронов после оборота разваливался, а причины отсутствия пучка на выходе были непонятны.

Большое начало атомного проекта оказывало сильное давление на Векслера. Через некоторое время В.И. принял важное и смелое решение прекратить попытки запуска этого варианта ускорителя и создавать более совершенный. После анализа всех возможных слабых мест выявилась необходимость изготовить электромагнит со значительно большей рабочей областью. Он относился к тем немногим частям синхротрона, которые изготавливались промышленным способом. В первой половине 1947 г. в работе Эталонной лаборатории стали заметны преимущества от ее включения в атомный проект: улучшилось финансирование, снабжение, количество сотрудников, вступил в строй новый корпус. При Московском трансформаторном заводе было создано специальное конструкторское бюро (СКБ), занимавшееся электромагнитами для ускорителей.

По техническому заданию, разработанному в лаборатории, там сконструировали и изготовили новый электромагнит с большими габаритами и межполюсным зазором со специальными обмотками для компенсации фазовой асимметрии. С учетом полученного опыта модернизировались многие узлы синхротрона. По формам мастерских ФИАН на стекольном заводе были сделаны заготовки стеклянных ускорительных камер



Синхротрон С-3 перед запуском в конце 1947 г. (Вид со стороны выхода пучка.)

эллипсоидального сечения бóльших размеров, чем первоначальные. Стеклодувы института, братья Воронковы, сваривали полукольца и впаивали шлифы для установки инжектора и мишени, откачки камеры. После этого камера отжигалась в специально изготовленной электропечи. Новая вакуумная установка была сконструирована Ю.С. Ивановым. К этому времени в стране освоили производство высоковакуумных насосов и вакуумметров.

Новый ускоритель был смонтирован уже в новом здании — корпусе "Б". Электромагнит находился на первом этаже, в подвале под ним — агрегат питания на частоту 150 Гц (также новый) и конденсаторные батареи, образующие со вторичной обмоткой электромагнита резонансный контур. В конце 1947 г. все системы прошли пробные испытания. 28 декабря 1947 г. был произведен запуск ускорителя в режиме бетатрона. Ускоренный пучок электронов зарегистрировали при первом же включении напряжения на инжектор, которое было сделано Б.Л. Белоусовым, счетчиками Гейгера, установленными в разных точках зала. Все бывшие при этом сотрудники бросились качать В.И. К 11 января 1948 г. ускоритель работал в синхротронном режиме с проектными параметрами [5]:

Максимальное магнитное поле $H$	4200 Э
Стационарная орбита электронов $R$	21,6 см
Частота ускоряющего электрического поля	216 МГц
Длительность импульса пучка $t$	1–2 мкс
Интенсивность	10 электрон $c^{-1}$
Энергия электронов	30 МэВ

Один из участников создания синхротрона, Б.С. Ратнер, вспоминает о В.И. так [6]: "Душой работ по созданию ускорителя был В.И. Векслер. Он сумел за короткий срок организовать небольшой, но очень работоспособный коллектив, увлечь людей своей идеей и успешно решить весьма сложную задачу, потребовавшую объединенных усилий физиков (экспериментаторов и теоретиков), инженеров, техников и рабочих. В.И. Векслер всячески поощрял самостоятельность и инициативу своих сотрудников. Он не прибегал к мелочной опеке, но постоянным вниманием к работе каждого поддерживал ее весьма высокий темп: люди работали с утра до позднего вечера. При этом обстановка в лаборатории была спокойной, без нервозности и суеты, которые

нередко сопутствуют срочной работе. Ближайшим помощником В.И. Векслера был Б.Л. Белоусов: его группа непосредственно собирала и запускала синхротрон".

В работе над созданием и запуском синхротрона принимали участие: А.Я. Беляк, К.И. Блинов, Л.Н. Бородовская, С.С. Бородин, Э.Л. Бурштейн, Б.Б. Гальперин, В.И. Драган-Суцев, Ф.М. Елизаров, Ю.С. Иванов, И.Д. Кедров, А.А. Коломенский, А.П. Комар, Н.Г. Котельников, Д.Д. Красильников, В.Г. Ларионова, А.В. Макаров, Э.А. Манькин, Е.М. Мороз, А.А. Николаев, В.Е. Писарев, А.В. Поросятников, М.С. Рабинович, Б.С. Ратнер, И.О. Сталь, Г.М. Страховский, П.А. Черенков, К.В. Чехлов, В.Е. Якушкин, рабочие механических и стеклотрунной мастерских, приборной группы [6]. (Примерно через 30 лет магнит синхротрона передали Политехническому музею в Москве.)

Отчет по созданию и запуску синхротрона С-3 был написан в 1949 г. под названием "Отчет по установке". Первый отдел кодовое название "С-3" зачеркнул. О физических исследованиях на нем будет рассказано ниже.

Во время постройки синхротрона появилась информация об экспериментальном подтверждении принципа автофазировки. В Англии состоялся пуск синхротрона, переделанного из бетатрона, а в США — синхротрона на энергию 70 МэВ. Началось соревнование, и В.И. не собирался уступать первенство. Еще во время работы над синхротроном С-3 в Эталонной лаборатории началось проектирование и создание узлов нового более мощного ускорителя с энергией на порядок больше первого. В 1947 г. результаты были опубликованы в отчетах ФИАНа "Физическое обоснование проектного задания на мощный резонансный ускоритель (синхротрон)", "Обоснование выбора конструкции электромагнита установки С. Технические условия на модель электромагнита для установки С".

В то время застройка Москвы заканчивалась площадью Калужской заставы (ныне — площадь Гагарина). Граница города проходила по линии окружной железной дороги, на внешней стороне которой была недавно сооружена ТЭЦ-20, далее лежали луга, поля, деревни. Напротив ТЭЦ-20 располагался питомник Ботанического сада, известный плантацией разных сортов роз, между ними пролегал узкий, чрезвычайно грязный проезд, заканчивающийся грандиозной свалкой около речки Чуры. Он так и назывался — Свалочное шоссе. Здесь, видимо рядом с требуемым мощным источником электроэнергии ТЭЦ-20, В.И. выбрал место для нового ускорителя, получившее адрес Свалочное шоссе, 19А (сейчас — проспект 60-летия Октября, 7А). Здесь в 1947–1948 гг. для ускорителя было построено новое здание. По уже упомянутым соображениям секретности оно получило название "Питомник". В этом здании в 1949 г. был запущен новый синхротрон С-25 с энергией электронов 250 МэВ, на котором впервые начались исследования фотомезонных взаимодействий, комптоновского рассеяния и др.

Практически в то же время вступает в действие протонный синхроциклотрон на 500 МэВ в Дубне, переделанный из циклотрона с применением принципа автофазировки. В конце 1948 г. появляется Отчет ФИАНа (авторы В.И. Векслер, А.А. Коломенский, В.А. Петухов, М.С. Рабинович) "Физические обоснова-

ния проектирования синхрофазотрона АН СССР на 10 ГэВ". Вскоре началось теоретическое и экспериментальное проектирование синхрофазотрона на 10 ГэВ с участием НИИЭФА в Ленинграде, лаборатории № 11 ФИАНа под руководством А.Л. Минца и др. Параллельно в ФИАНе создается его модель с энергией 180 МэВ (кодовое название проект "МКМ") для обработки задач, связанных с большой машиной, после запуска которой ускоритель был переделан в электронный синхротрон.

В.И. Векслер — главный научный руководитель и идейный лидер проекта. Для строительства синхрофазотрона была выбрана также Дубна, поселок вблизи Ивановской ГЭС на Волге. В начале 1952 г. для реализации постройки ускорителя организуется техническая дирекция строительства (ТДС-533), затем — Электрофизическая лаборатория АН (ЭФЛАН). По распоряжению Президиума АН СССР с 26 октября 1954 г. Векслер зачислен в штат ЭФЛАН с переводом на полставки по совместительству заведующим Эталонной лабораторией в ФИАНе. Фактически В.И. работал тогда в трех местах — ФИАНе, МГУ и Дубне и всюду успевал.

Сооружение такого уникального комплекса потребовало слаженной работы многих организаций — КБ, НИИ, промышленных предприятий. В кратчайшие сроки были построены железнодорожная ветка Вербилки–Дубна, электроподстанция на 140 МВт, здания физического и энергетического корпусов, появился поражающий своими размерами котлован. В 1955–1956 гг. осуществлялся монтаж магнита ускорителя, различных его узлов, контрольно-измерительной аппаратуры. Сроки были чрезвычайно сжатыми. Снова возникала масса проблем, и только энергия В.И. способствовала их решению в кратчайшее время.

К работам по запуску ускорителя приступили в начале 1957 г. Уже 15 марта 1957 г. Л.П. Зиновьев во время дежурства С.К. Есина (впоследствии руководителя строительства сильноточного протонного ускорителя — так называемой Мезонной фабрики в ИЯИ, Троицк) получил "бетатронный режим" — вводимые в ускоритель из инжектора протоны продолжали вращаться без ускоряющего поля. Через месяц, 15 апреля 1957 г., после подачи номинального тока (12500 А) в обмотки электромагнита энергия ускоренных протонов достигла 10 ГэВ. Первый в мире ускоритель с такой высокой энергией заработал. После ряда модернизаций инжектора, интенсивность пучка была повышена почти на три порядка. В 1960 г. появилась публикация о новой частице — антисигмаминусгипероне, был обнаружен D-резонанс, сделаны другие открытия.

На базе ЭФЛАН в 1956 г. был организован Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), в котором В.И. стал директором Лаборатории высоких энергий, исследовавшей физику элементарных частиц. Выдающиеся успехи В.И. неразрывно связаны с его физической интуицией, инженерным талантом. Многие годы он сам собирал изобретаемые им установки, добываясь задуманного и не чураясь никакой работы. Он был прирожденный организатор, умеющий заражать сотрудников своим энтузиазмом [3]. В 1958 г. В.И. избирают действительным членом АН СССР, с 1963 г. он, академик, — секретарь вновь созданного тогда Отделения ядерной физики. И здесь весь свой огромный талант он отдает дальнейшему развитию ядерной физики.

Параллельно В.И. продолжал заниматься исследованиями в ФИАНе, в частности на объекте "Питомник". В 1956 г. было закончено строительство второй очереди здания (левое крыло, ближе к проходной). Туда перевезли через настоящий питомник, который в то время еще частично сохранялся, синхротрон С-3, тройку, как называли его в просторечии. Переездом руководил гл. инженер установки В.Н. Логунов, а несколько студентов физфака МГУ — Ю. Гончаров (научный руководитель — Б.С. Ратнер, фотопротоны), Б. Долбилкин (научный руководитель — О.В. Богданкевич, неупругое рассеяние фотонов на ядрах индия и серебра), Ю. Меликов (научный руководитель — Е.П. Овчинников, улучшение параметров С-3), пришедших на практику в лабораторию Векслера в 1954 г., составляли "физическую" силу, работали "по специальности", как говорили физики. На "Питомник" переехала дольше других оставшаяся в старом здании часть лаборатории В.И., занятая на С-3. Другая часть сотрудников, занимавшаяся физикой электронной плазмы, коллективными методами ускорения, еще в 1951 г. переехала в новое здание ФИАНа на Ленинском проспекте. Синхротрон был смонтирован в полуподвальном этаже здания и скоро заработал снова, исследования на его пучке возобновились, положив начало изучению ядерной физики электромагнитных взаимодействий в нашей стране.

В 1948 г. Б.С. Ратнер, Ю.К. Сженев, В.Ф. Козлов провели исследование спектра тормозного излучения С-3 (Отчет ФИАНа, 1949). В то время теоретическое сечение Бете–Гайтлера еще не было проверено экспериментально. Для определения энергии фотона использовалась регистрация электронно-позитронных пар, образованных им в мишени с большим  $Z$ . Для измерений в зазор магнита с постоянным магнитным полем помещали вакуумную камеру с мишенью и двумя самодельными счетчиками Гейгера. Экспериментальный спектр оказался в согласии с теоретическим в пределах погрешности измерений, что дало возможность в дальнейшем определять сечения фотоядерных реакций. Позднее, в 1962 г., тормозной спектр фотонов С-3 был измерен с лучшей точностью [7].

В здании ФИАНа на Миуссах кабинет В.И. находился рядом с комнатой № 16, в которой располагался ускоритель С-3. Векслер не часто бывал там после начала исследований на С-25, но всегда интересовался, как идут дела, какие проблемы, и обычно давал полезные советы. Это случалось, правда, реже, когда группа С-3 переехала на "Питомник", и совсем редко после перехода В.И. на постоянную работу в Дубну. Однако В.И. успевал руководить в ФИАНе начатыми работами, особенно его интересовали идеи коллективных методов ускорения. На семинарах в лаборатории В.И. был очень активен, глубоко погружаясь в каждую тему. Так бы, наверное, продолжалось и далее, но в 1959 г. было принято Постановление Совета Министров СССР "Об ограничении совместительства по службе".

Официальным днем создания Лаборатории фотоядерных реакций ФИАНа следует считать 1 декабря 1959 года. За три недели до этого, 9 ноября 1959 г., директором ФИАНа академиком Д.В. Скобельцыным был подписан приказ о разделении лаборатории, возглавляемой В.И. Векслером, который в сокращенном виде приводится ниже [2].

**ПРИКАЗ**  
**ПО ФИЗИЧЕСКОМУ ИНСТИТУТУ**  
им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА АКАДЕМИИ НАУК СССР  
г. Москва № 369 от 9 ноября 1959 г.

1. В соответствии с решением Ученого Совета Института разделить с 1 декабря с/г Лабораторию ускорителей и фотоядерных реакций на три самостоятельных лаборатории с подчинением их непосредственно Дирекции Института:

а) Лаборатория ускорителей (зав. Лабораторией акад. В.И. Векслер, зам. зав. Лабораторией — зав. сектором д-р ф.м.н. М.С. Рабинович, главный инженер Лаборатории М.Г. Седов, зам. зав. по АХЧ Леман).

б) Лаборатория фотомезонных процессов (и.о. зав. лабораторией — зав. сектором д-р ф.м.н. П.А. Черенков, зам. зав. лабораторией канд. ф.м.н., мл. научн. сотр. А.Н. Горбунов, зам. зав. лабораторией по АХЧ С.А. Покровский).

в) Лаборатория фотоядерных реакций (и.о. зав. лабораторией — ст.н.сотр. Л.Е. Лазарева, главный инженер лаборатории В.Н. Логунов).

По утверждении разделения Лаборатории ускорителей и фотоядерных реакций в Президиуме АН СССР объявить конкурс на вакантные должности заведующих лабораториями фотомезонных процессов и фотоядерных реакций.

2. Поручить ученому секретарю Института профессору Н.Н. Соболеву и пом. директора по кадрам Р.Г. Трофименко в недельный срок подготовить все материалы по разделению Лаборатории ускорителей и фотоядерных реакций, необходимые для представления в Отделение физ.мат. наук АН СССР.

п.п. Директор ФИАН, академик Д.В. Скобельцын

Однако через три месяца в исполнение Постановления Совмина СССР был издан Приказ по ФИАНу [2], где сказано: "3. Освободить от работы с 15 февраля 1960 г. заведующего лабораторией ускорителей академика В.И. Векслера". Поэтому несколько позднее уже Лаборатория ускорителей разделилась на лаборатории собственно ускорителей (зав. А.А. Коломенский), физики плазмы (зав. М.С. Рабинович) и синхротрона С-68, созданного в начале 50-х в качестве модели протонного синхрофазотрона (проект МКМ), а затем, после его запуска, переделанного в ускоритель электронов с максимальной энергией 680 МэВ, так называемый "склад-2" (зав. В.А. Петухов).

Итак, только из лаборатории, созданной непосредственно В.И. Векслером и называемой со времени подключения ядерных лабораторий ФИАНа к атомному проекту Эталонной, вышло пять полноценных лабораторий. Кроме того, В.И. вел очень большую научно-организаторскую работу по космическим лучам в ЛАЯ, где он с 1938 г. был заместителем заведующего, в рамках которой он организовал Эльбрусскую и Памирскую экспедиции, а также в лаборатории космических лучей. Биография В.И., в целом, неразрывно связана с необычайно быстрым развитием в стране ядерной физики. Если в 1936 г. ядерной физикой занимался десяток ученых, то в 60-х годах исследования проводились большими трудовыми коллективами. Установки для экспериментов в области физики высоких энергий стали грандиозными по размеру и несоизмеримо более слож-

ными по сравнению с предшествующими. Их созданием в СССР занимались новые отрасли промышленности. В 1963 г. было создано Отделение ядерной физики АН СССР во главе с Векслером. Такова краткая предыстория появления Лаборатории фотоядерных реакций в ФИАНе.

### 3. Лаборатория фотоядерных реакций ФИАНа (с 1971 г. — ИЯИ АН)

Заведующей ЛФЯР с 1960 по 1986 гг. была Любовь Ефремовна Лазарева. Основные вехи ее научной биографии до 1960 г.:

— пришла в ФИАН студенткой-дипломницей физфака МГУ (1936 г.);

— поступила на работу в ФИАН (1937 г.);

— участвовала в экспедиции на Памир, урочище Чечекты, под руководством В.И. осенью 1944 г., где вела эксперименты по регистрации тяжелых частиц в космических лучах пропорциональными счетчиками с аспирантами В.И. Векслера — Л. Беллом и Н. Биргер. Были обнаружены ливни, состоящие из большого числа частиц высоких энергий, проходящих через 6 см свинца;

— защитила под руководством Д.В. Скобелевца и В.И. Векслера кандидатскую диссертацию на тему "Атмосферные ливни космических лучей на высоте 3860 м над уровнем моря" в конце 1945 г.

В течение 40 лет ускоритель С-3 был основным инструментом для физических исследований ЛФЯР, на его пучке детально изучались фотоядерные реакции в области гигантского дипольного резонанса (ГДР). Основными направлениями экспериментов были

— реакции с испусканием протонов и нейтронов;

— фотоделение;

— неупругое рассеяние фотонов;

— сечения поглощения легкими и средними ядрами, тонкая структура ГДР;

— сечения поглощения тяжелыми ядрами, деформация ядер.

Б.С. Ратнер вместе с Е.М. Лейкиным и Р.М. Осокиной были пионерами в исследовании фотопротонных реакций на С-3. В 1954 г. он защитил кандидатскую диссертацию "Изучение реакции  $(\gamma, p)$ , вызванной квантами с энергией до 30 МэВ". В ней приведены результаты



В.И. Векслер, заведующий лаборатории космических лучей, и м.н.с. Л.Е. Лазарева на семинаре в лаборатории (1945 г.).

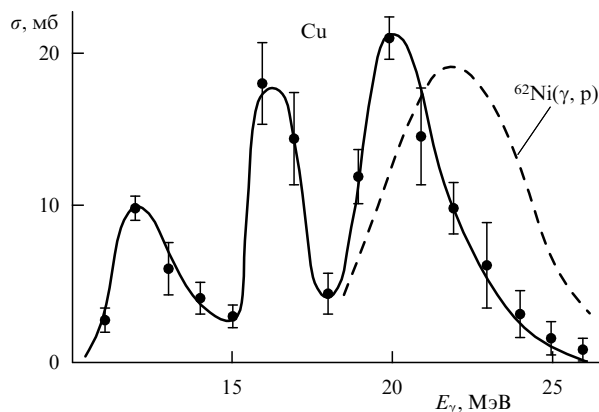


Рис. 1. Сечение реакции  $\text{Cu}(\gamma, p)$  для протонов с энергией  $> 5$  МэВ [8].

исследований энергетического и углового распределения протонов, испускаемых ядрами Al, Cu, Ni, Pb, и показано существование другого механизма распада, кроме статистического. Его признаком являлась сильная зависимость в ядре Cu доли быстрых протонов при изменении максимальной энергии спектра фотонов, по видимому, отражающая оболочечную структуру ядра. Сечение реакции  $\text{Cu}(\gamma, p)$  для протонов с энергией больше 5 МэВ имеет три резонанса примерно равной амплитуды [8] (рис. 1). Были также измерены сечения испускания быстрых нейтронов для ядер с  $A \sim 60$  для изучения распада входных состояний этих ядер в области ГДР. Нейтроны с энергией  $\epsilon_n \geq 3,7$  МэВ регистрировались быстродействующим спектрометром из стильбена по протонам отдачи. Выяснилось, что структура сечения энергичных нейтронов реакции  $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)$  имеет вид, в целом характерный для аналогичной структуры полного сечения этой реакции. Однако положение двух максимумов в области 21–23 МэВ было смещено на величину  $\sim 1$  МэВ. Измерения при максимальной энергии фотонов 19,0 МэВ показали, что спектр фотонейтронов имеет равновесный характер, т.е. распад при  $E < 19$  МэВ происходит лишь в более сложные состояния [8].

Важным фактором надежности результатов являлась стабильность верхней границы тормозного спектра. Работа по ее стабилизации велась сначала в группе О.В. Богданкевича, затем — Б.С. Ратнера. В итоге ошибка в определении  $E_{\gamma\text{max}}$  составила  $\pm 1,5$  кэВ, абсолютная калибровка шкалы энергии — 10 кэВ. Такие параметры дали возможность измерять тонкую структуру ГДР около порогов реакции  $(\gamma, p)$  на ядрах  $^{53}\text{Cr}$ ,  $^{62,64}\text{Ni}$  [9] и продолжить изучение входных состояний ядер при формировании ГДР. Позднее надежность данных была повышена в результате автоматизации эксперимента на базе ЭВМ "Электроника-60" и СМ-4 для измерения набора кривых выхода и поддержания стабильности спектра.

Прямые измерения полного сечения фотопоглощения легких ядер с целью обнаружения тонкой структуры гигантского резонанса методом ослабления стали пионерской работой мирового уровня. В то время структура в полных сечениях взаимодействия фотонов с ядрами экспериментально не была установлена, известны были лишь глобальные параметры ГДР. Для надежной регистрации требовалась аппаратура с высоким энергетиче-

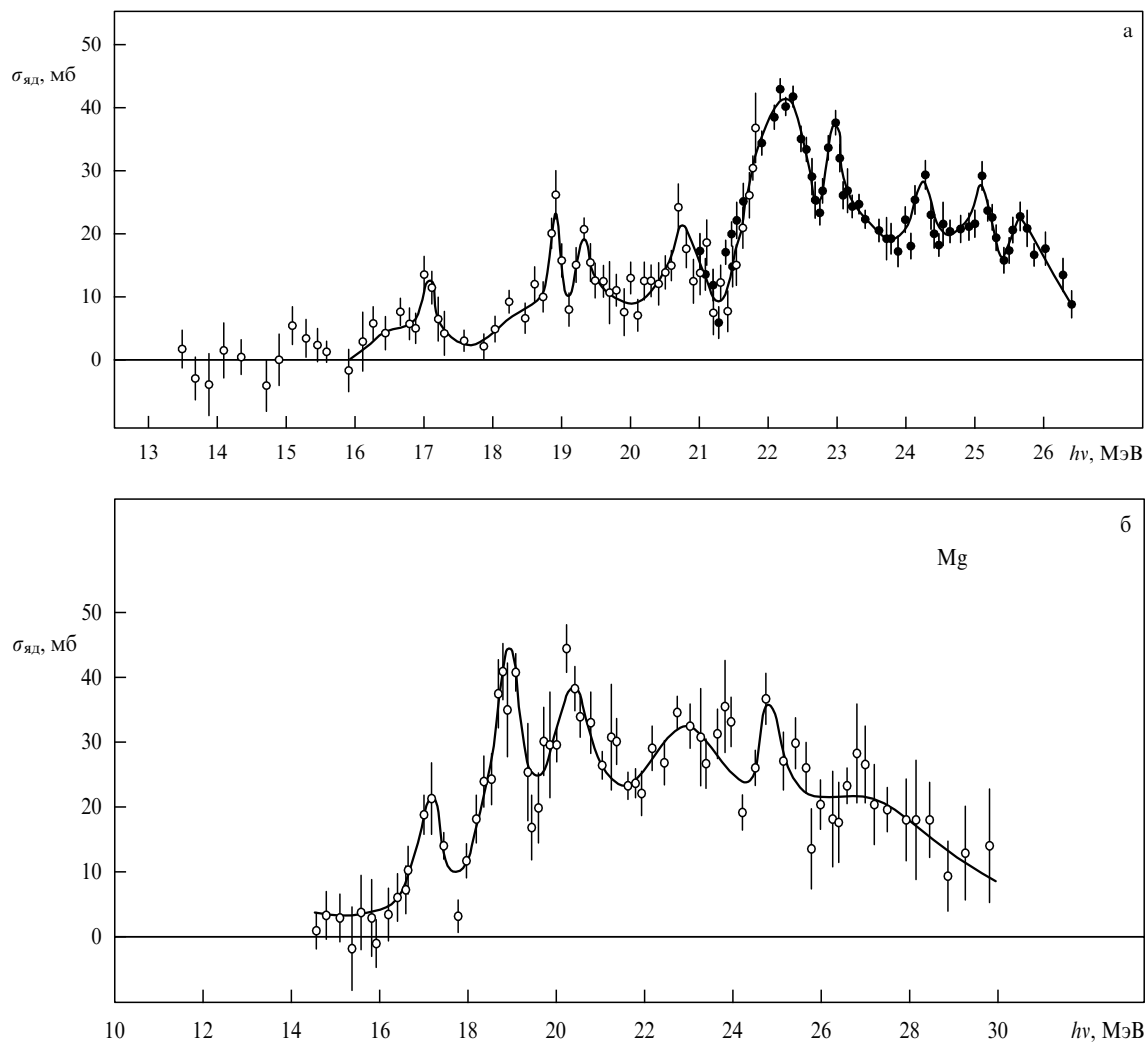


Рис. 2. (а) Сечение поглощения  $\gamma$ -квантов ядром  $^{16}\text{O}$  в области ГДР [10]. (б) Сечение поглощения фотонов ядром Mg в области ГДР [11].

ским разрешением. Для этого в ЛФЯР был создан магнитный парный спектрометр. Магнитное поле в рабочей области диаметром 40 см было однородным в пределах 0,05 % и поддерживалось ЯМР с точностью 0,01 %. В вакуумной камере помещался радиатор (золотая фольга толщиной  $10 \text{ мг см}^{-2}$ ), на который попадал после ослабления тормозной спектр фотонов. Позади щелей с размерами 0–6 мм, ограничивающих телесный угол, находились сцинтилляционные счетчики, включенные на совпадения и антисовпадения. Разрешение по энергии при 20 МэВ составляло 100 кэВ при ширине щелей 2 мм и  $\sim 200$  кэВ при ширине 4 мм. Для уменьшения систематических ошибок попеременно измерялось отношение  $N_0/N$  числа истинных совпадений без поглотителя к числу совпадений, когда поглотитель находился в пучке. Ядерное сечение определялось вычитанием из полного сечения взаимодействия фотонов сечений атомных процессов с дополнительной нормировкой ниже порога парциальных реакций. Для повышения статистической точности с 1962 г. в лаборатории использовался 9-канальный парный спектрометр со светосилой почти на порядок большей, чем предыдущий. С той же целью часть измерений была сделана на С-25; интенсивность фотонов в области ГДР оказалась в несколько раз выше, чем на С-3. (Методика подробно изложена в [10, 11].)

В области ГДР были определены сечения поглощения фотонов ядрами [10–12]

$$^9\text{Be}, ^{12}\text{C}, ^{16}\text{O}, ^{19}\text{F}, ^{\text{nat}}\text{Mg}, ^{27}\text{Al}, ^{32}\text{S}, ^{40}\text{Ca}, ^{55}\text{Mn}, ^{56}\text{Fe}.$$

С более высокой точностью и лучшим ( $\leq 0,5\%$ ) энергетическим разрешением было измерено дважды магическое ядро  $^{16}\text{O}$  [10]. В его сечении поглощения в интервале 13,5–27,0 МэВ было зафиксировано девять резонансов (рис. 2а). Нижние три (17,2, 19,0, 19,4 МэВ) расположены на низкоэнергичном склоне ГДР и на них приходится 14 % его интенсивности.

Интегральное сечение в указанном интервале равно  $170 \pm 20 \text{ МэВ мб}$  или 50 % величины, определяемой правилами сумм ТРК. Теоретические расчеты ГДР в ядре  $^{16}\text{O}$  предсказывали пять резонансов, причем 67–74 % интенсивности сосредоточено в максимуме  $22,3 \pm 0,2 \text{ МэВ}$ , что противоречит эксперименту. Лучшее согласие получено с расчетом, учитывающим примесь более высоких конфигураций. В нем предсказано шесть резонансов, из них пять оказались близкими по распределению к экспериментальному результату, но в первом при 18 МэВ расчетная интенсивность (1 %) была значительно меньше, чем для измеренного сечения (14 %) [10].



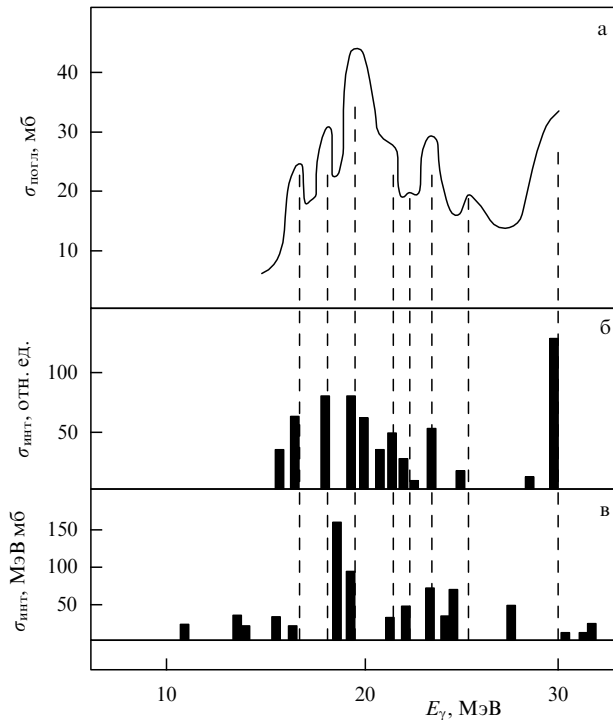


Рис. 3. Сравнение экспериментального сечения поглощения  $\gamma$ -квантов ядром  $^{32}\text{S}$  (а) с теоретическими расчетами (б, в) [12].

Практически полное совпадение структуры в сечении поглощения и основных парциальных реакций ( $\gamma, p$ ) и ( $\gamma, n$ ) можно рассматривать как указание на проявление зарядовой симметрии ядерных сил.

Результат измерения сечения поглощения фотонов ядром  $^{16}\text{O}$  и его структуры был признан классической работой по фотоядерным реакциям. (Он приводится и обсуждается в книге Н. Бора и В. Моттельсона *Структура атомного ядра*.)

Примером измерения сечения поглощения ядра из следующей sd-оболочки является эксперимент с  $^{nat}\text{Mg}$ . В области энергий возбуждения 15,0–30,0 МэВ в сечении Mg находится шесть резонансов, причем среднее сечение практически постоянно в интервале 19–26 МэВ (рис. 2б), в то время как теоретические расчеты предсказывают две группы переходов ( $K = 0$  и 1) с максимальными значениями при 17–18 и 22–25 МэВ [11].

Структура сечения поглощения  $\gamma$ -квантов была исследована также и для ядра  $^{32}\text{S}$  с замкнутыми подоболочками  $1d_{5/2}$  и  $2s_{1/2}$  [12]. При энергии 19,6 МэВ находится основной максимум ГДР, ему соответствует 38% интегрального сечения по измеренному интервалу. Резонансы в полном сечении повторяются в парциальных реакциях ( $\gamma, n$ ) и ( $\gamma, p_0$ ).

Из сравнения сильно структурированного экспериментального сечения (рис. 3а) с двумя вариантами теоретических расчетов по модели оболочек (рис. 3б, в) можно заключить об их удовлетворительном согласии [12]. Теория предсказывает расщепление ГДР ядра  $^{32}\text{S}$  в соответствии с переходами из незаполненной ( $1d-2s \rightarrow 1f-2p$ )- и заполненной ( $1p \rightarrow 1d-2s$ )-оболочек. Первой группе отвечают резонансы в области 16,5–18,5 МэВ, второй — резонансы при более высоких энергиях. Совокупность полных сечений по легким ядрам дает возможность проверить различные модельные подходы

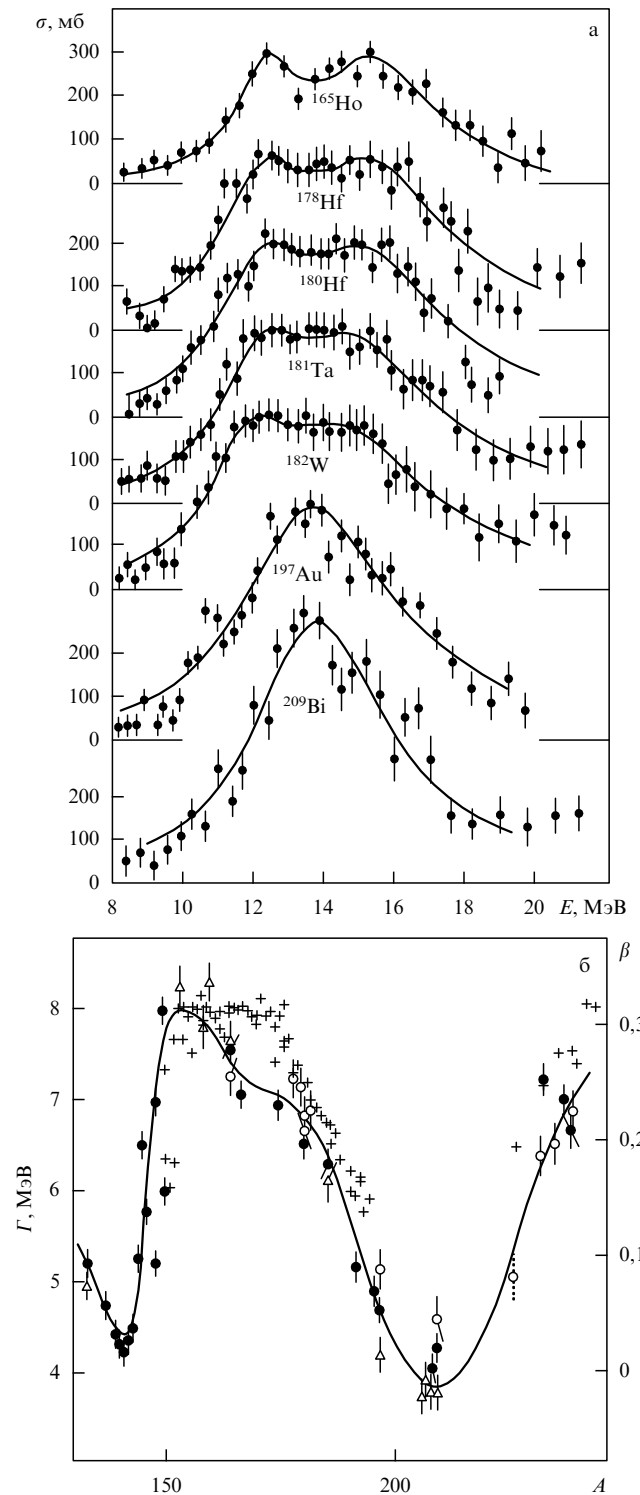


Рис. 4. Полные сечения поглощения  $\gamma$ -квантов ядрами с  $165 \leq A \leq 209$  (а) и разница ширины гигантского резонанса  $\Gamma$  и параметра ядерной деформации  $\beta = (E_2 - E_1)/A^{1/3}$  вблизи заполненной нейтронной оболочки  $N = 108$  (б) [13].

к расчетам ГДР, в том числе и расщепление ГДР в ядрах ( $1d-2s$ )- и ( $1f-2p$ )-оболочек.

В последующие годы метод поглощения применяли для измерения полных сечений фотопоглощения тяжелых ядер, для которых ядерная часть сечения не превышает 1% от измеряемого для суммарного (атомное + ядерное) сечения. Связанная с малостью ядерной

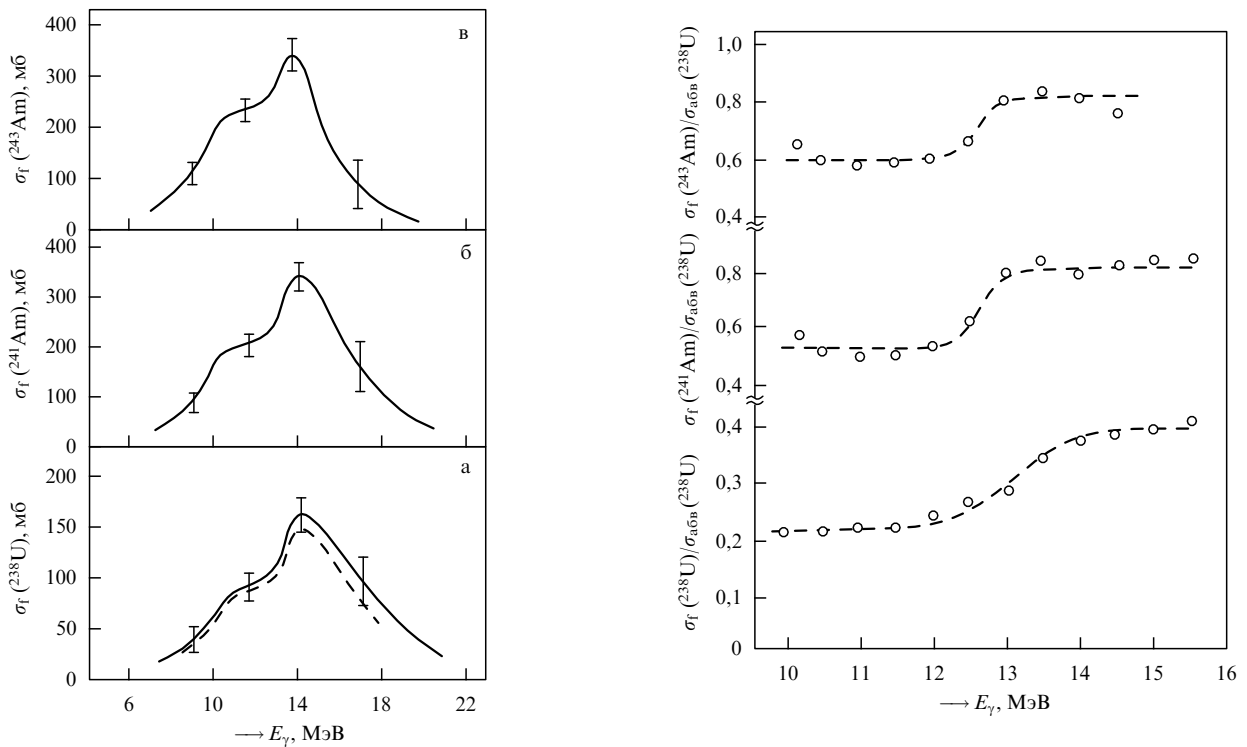


Рис. 5. Сечения фотоделения ядер  $^{238}\text{U}$  (а),  $^{241}\text{Am}$  (б) и  $^{243}\text{Am}$  (в) в зависимости от энергии фотонов. Справа показаны отношения сечений деления к полным сечениям фотопоглощения (делимости) для этих ядер [15].

составляющей сечения необходимость измерений с очень высокой статистической точностью (лучше 0,1 %) потребовала использования спектрометра с эффективностью регистрации, близкой к 100 %. Для этой цели был создан сцинтилляционный спектрометр полного поглощения на основе кристалла NaJ(Tl) большого объема, на котором были выполнены две серии многочисленных измерений на ядрах лантанидов и актинилов (всего 18 изотопов) [13, 14].

Влияние оболочечных эффектов на характер ГДР изучалось на ядрах в районе деформированной нейтронной подоболочки  $N = 108$ . Полученные полные сечения фотопоглощения для ядер в диапазоне  $165 < A < 209$  (рис. 4) позволили прояснить причины экспериментально наблюдаемого расхождения в поведении ширины гигантского резонанса  $G$  и параметра ядерной деформации  $\beta$ . На рисунке отчетливо прослеживается влияние на ширину гигантского резонанса эффекта заполнения нейтронной подоболочки  $N = 108$  [13]. Результаты уникальных до сих пор измерений на группе ядер актинилов указывают на схожесть "переходных" эффектов, наблюдаемых на ядрах с количеством нейтронов и протонов вблизи магического числа 90, что подтверждает справедливость принципа зарядовой независимости ядерных сил [14].

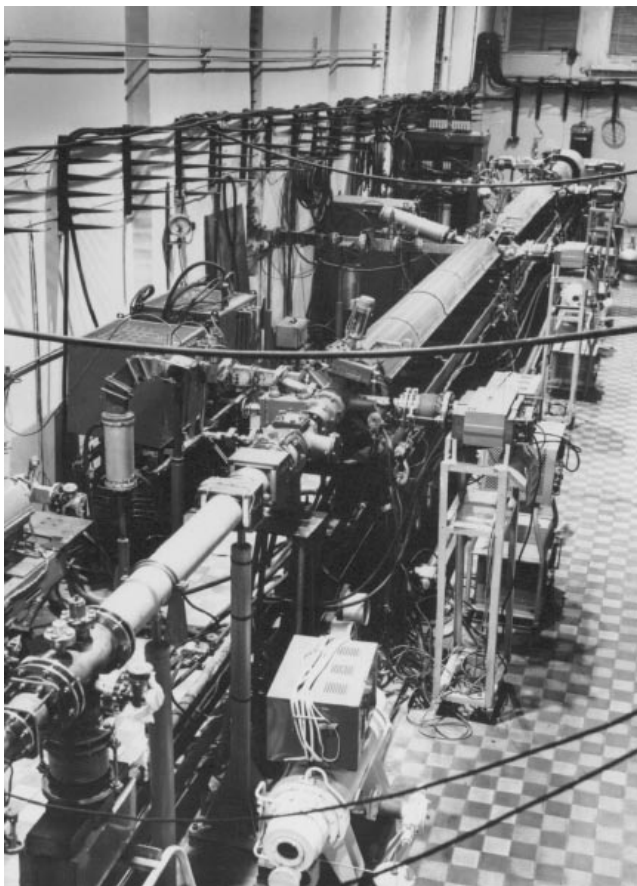
Полученные данные по полным сечениям фотопоглощения тяжелых ядер стали важным материалом для проверки справедливости многочисленных коллективных моделей ядер, в том числе постоянства отношения  $\sigma^{\text{int}}/\Sigma^{\text{TRK}}$  для ядер с  $232 \leq A \leq 239$ .

На синхротроне С-3 впервые измерены сечения фотоделения трансурановых ядер  $^{241}\text{Am}$  и  $^{243}\text{Am}$  в области гигантского дипольного резонанса и определены нейтронные и делительные ширины для указанных ядер [15]. Точность определения и стабильность энергии электро-

нов, ускоренных в синхротроне, в течение длительного времени измерений была не хуже  $\pm 10$  кэВ. Осколки деления регистрировались искровыми камерами с коронным разрядом. Результаты измерений представлены на рис. 5, откуда видно, что в области энергий от  $\sim 8$  МэВ до порога реакции  $(\gamma, \text{nf})$ , равного примерно 12,5 МэВ, делимости постоянны в пределах ошибок ( $\pm 8$  %) и для всех исследованных ядер ведут себя подобным образом. Полученные отношения выходов дают следующие значения делимостей:  $^{241}\text{Am} — 0,53 \pm 0,03$ ,  $^{243}\text{Am} — 0,61 \pm 0,04$ . Эти данные не согласуются с предсказаниями модели жидкой капли и указывают на то, что структура барьера имеет сложный (двугорбый) характер.

В 1963 г. с помощью В.И. Векслера, для которого создание ускорителей продолжало оставаться высшим приоритетом, принимается решение о строительстве двух новых ускорителей — синхротрона С-25Р с энергией 1,3 ГэВ в фотомезонной лаборатории ФИАН в Троицке, запущенного в 1972 г. (большая территория за городом была выбрана с расчетом на сооружение в будущем ускорителя с более высокой энергией), и линейного ускорителя электронов на энергию 50 МэВ в ЛФЯР, подвальное помещение для которого было построено к зданию "Питомника". В 1970 г. ускоритель начал работать (впоследствии (1978 г.) его энергия была увеличена до 100 МэВ).

Начало работы ускорителя совпало с переводом ЛФЯР во вновь организованный в 1971 г. Институт ядерных исследований АН (ИЯИ). Были образованы новые группы по изучению рассеяния электронов и квазимонохроматических аннигиляционных фотонов. В течение нескольких лет эти небольшие группы занимались созданием сложных комплексов современной аппаратуры для исследования электро- и фотоядерных реакций. Для изучения рассеяния электронов была создана



Линейный ускоритель электронов на энергию 50 МэВ, после модернизации — на 100 МэВ (ЛУЭ-100) ЛФЯР.

уникальная установка мирового уровня [16]. Ее основу составлял магнитный спектрометр с "магическим углом" с собственным разрешением  $\sim 10^{-4}$  и стабильностью  $\sim 10^{-5}$ . Пучок электронов на мишень подавался оригинальной трехмагнитной системой формирования, обеспечивающей разрешение по энергии электронов  $10^{-3}$ . Общее разрешение установки составило  $\sim 2 \times 10^{-3}$ . Из экспериментов по рассеянию электронов были определены распределение заряда на ядре  $^{12}\text{C}$ , параметры основного и низколежащих возбужденных состояний ядра  $^{27}\text{Al}$ .

Вторая система формирования пучка создавалась и настраивалась для экспериментов с  $\gamma$ -квантами от аннигиляции позитронов. В частности, на ней было измерено сечение реакции  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)$  в области энергий 12–25 МэВ [17].

В ЛФЯР активно велись актуальные теоретические работы (Б.А. Тулупов, Р.А. Эрамжян). После Л.Е. Лазаревой заведующим ЛФЯР по 1998 г. стал Р.А. Эрамжян, затем — В.Г. Недорезов. Ускорители С-3 и ЛУЭ-100 закончили работу в начале 90-х годов.

Выросшая из лаборатории ускорителей и фотоядерных реакций В.И. Векслера ЛФЯР по количеству и качеству научных результатов стала одной из ведущих лабораторий мира по исследованию электромагнитных взаимодействий ядер в области энергий, получаемых на ускорителях С-3, ЛУЭ-100, частично С-25. Многие из работ ЛФЯР получили международное признание и стали классическими.

## Список литературы

1. Вавилов С И *УФН* **28** 1 (1946)
2. *Материалы Мемориального кабинета В.И. Векслера* (М.: ЛФЯР ИЯИ РАН)
3. *Воспоминания о В.И. Векслере* (Отв. ред. М А Марков, А Н Горбунов) (М.: Наука, 1987)
4. Ратнер Б С, Препринт № 1108 (М.: ИЯИ, 2003); Болотовский Б М, Ратнер Б С, Препринт № 1177 (М.: ИЯИ, 2007)
5. "Отчет по установке, ФИАН им. П.Н. Лебедева, лаборатория В.И. Векслера (1949)" *Труды ФИАН* **19** 98 (1963)
6. Ратнер Б С *Атомная энергия* **34** 499 (1973)
7. Долбилкин Б С, Запечалов В А, Корин В И, Николаев Ф А *ЖЭТФ* **44** 866 (1963)
8. Ратнер Б С *ЖЭТФ* **46** 1480 (1964); *ЯФ* **21** 1147 (1975)
9. Вербицкий С С, Лапик А М, Ратнер Б С, Щитов В П *Изв. АН СССР. Сер. физ.* **48** 1023 (1984); Ратнер Б С *Изв. РАН Сер. физ.* **62** 1726 (1999)
10. Долбилкин Б С, Корин В И, Лазарева Л Е, Николаев Ф А *Письма в ЖЭТФ* **1** (5) 47 (1965); Долбилкин Б С *Труды ФИАН* **36** 18 (1966)
11. Dolbilkin B S, Korin V I, Lazareva L E, Nikolaev F A, Zapevalov V A *Nucl. Phys.* **72** 137 (1965)
12. Долбилкин Б С, Исаков А И, Корин В И, Лазарева Л Е, Николаев Ф А *ЯФ* **8** 1080 (1968)
13. Гуревич Г М, Лазарева Л Е, Мазур В М, Солодухов Г В *Письма в ЖЭТФ* **23** 411 (1976)
14. Gurevich G M, Lazareva L E, Mazur V M, Soloduchov G V, Tulupov V A *Nucl. Phys. A* **273** 326 (1976)
15. Корецкая И С, Кузнецов В П, Лазарева Л Е, Недорезов В Г, Никитина Н В *ЯФ* **30** 910 (1979)
16. Batjunin A V, Dolbilkin B S, Kondratiev R L, Lisin V P *Proc. Sendai Conf. Electro- and Photoexcitations. Suppl. Res. Rep. Lab. Nucl. Sci. Jpn* **10** 313 (1977)
17. Джилаваня Л З, Кучер Н П *ЯФ* **30** 294 (1979)

PACS number: 29.20.Lq

## Исследования на Синхрофазотроне

В.А. Никитин

### 1. Введение

Выдающийся советский ученый В.И. Векслер имел блестящий талант ученого и организатора. В сложные послевоенные годы он возглавил смелый проект создания самого большого в то время ускорителя — Синхрофазотрона. На Синхрофазотроне был сделан ряд фундаментальных открытий и выполнены пионерские исследования в физике высоких энергий: изучены распадные свойства К-мезонов и векторных мезонов, измерены полные и дифференциальные сечения взаимодействия пионов, протонов и К-мезонов с протонами, получены пучки ядер, в том числе поляризованных дейтронов, заложены основы релятивистской ядерной физики и др. Исследования на Синхрофазотроне создали основу для широкого международного сотрудничества ученых. Развитие техники эксперимента привело к прогрессу в смежных областях науки и прикладных исследованиях.

### 2. Нестареющее наследство В.И. Векслера

В этом году (2007 г.) научная общественность отмечает 100-летие со дня рождения выдающегося советского