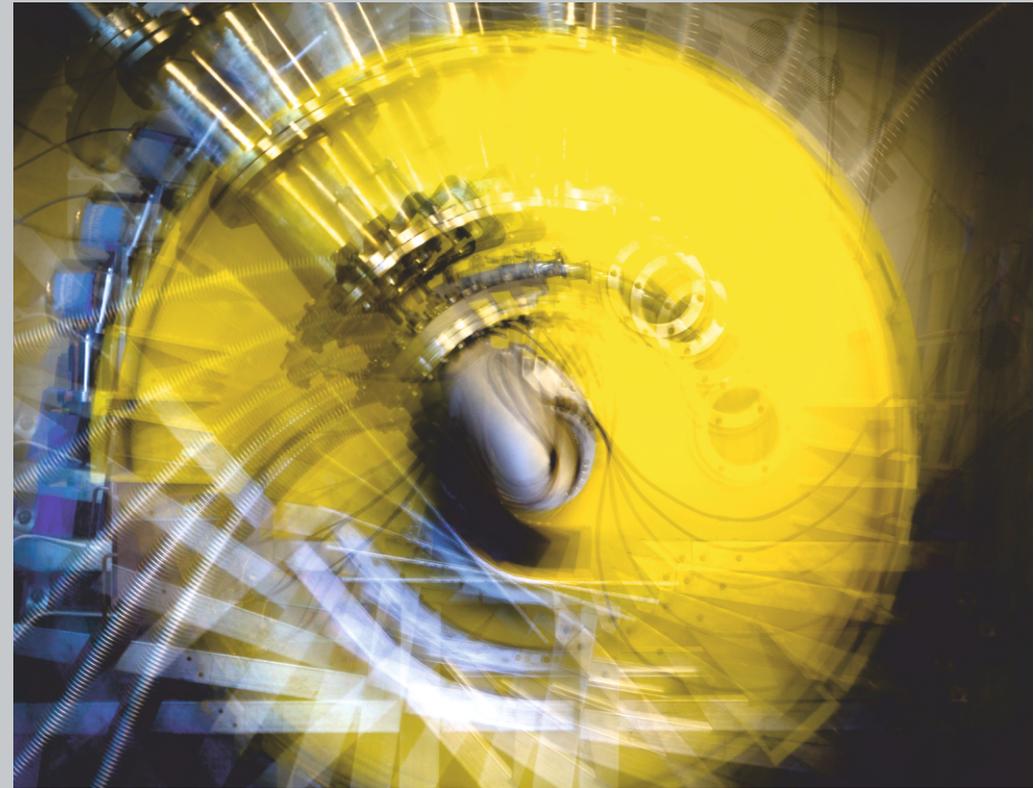


Реактор ВВР-М и нейтронные исследования

Страницы истории

Выпуск 1



Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова

Страницы истории

Выпуск 1

Реактор ВВР-М и нейтронные исследования

Гатчина
2016

УДК 539.18;621.039

Страницы истории. Выпуск 1.

Реактор ВВР-М и нейтронные исследования. – Гатчина: Издательство ФГБУ «ПИЯФ» НИЦ «Курчатовский институт», 2016. – 240 с.; 139 ил.

Редакционная коллегия выпуска:

В. Л. Аксенов, К. А. Коноплев, В. В. Федоров

Настоящий сборник открывает серию «Страницы истории», посвященную становлению и развитию Института, научным достижениям и, самое главное, людям, благодаря которым Институт стал всемирно признанным научным центром. В первом выпуске рассказывается о реакторе ВВР-М, с которого началась история Института, и о развитии одного из основных научных направлений – исследованиях строения вещества с использованием нейтронов.

Сборник увидит свет в преддверии 45-летия со дня создания Института.

Редакционно-издательский совет:

В. Л. Аксенов – член-корреспондент РАН, научный руководитель Института (председатель);
С. В. Саранцева – доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе (ученый секретарь);

Я. И. Азимов – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отделения теоретической физики;

Г. Д. Алхазов – доктор физико-математических наук, заместитель руководителя Отделения физики высоких энергий;

Г. А. Багиян – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Отделения молекулярной и радиационной биофизики;

А. А. Береснев – и. о. начальника издательско-полиграфического отдела;

В. В. Воронин – доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе;

В. Ф. Ежов – кандидат физико-математических наук, руководитель Отделения перспективных разработок;

К. Н. Ермаков – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отделения перспективных разработок;

К. А. Коноплев – кандидат технических наук, главный научный сотрудник отдела физики и техники реакторов;

Л. Н. Литатов – академик РАН, руководитель Отделения теоретической физики;

Д. Ю. Минкин – доктор технических наук, директор Института;

Ю. Н. Новиков – доктор физико-математических наук, заведующий Лабораторией физики экзотических ядер Отделения физики высоких энергий;

Е. Ю. Оробец – ведущий редактор издательско-полиграфического отдела;

В. В. Федоров – доктор физико-математических наук, заведующий Лабораторией рентгеновской и гамма-спектроскопии Отделения нейтронных исследований

ISBN 978-5-86763-378-3

© ФГБУ «ПИЯФ» НИЦ «Курчатовский институт», 2016

Предисловие

Настоящий сборник открывает серию «Страницы истории», посвященную становлению и развитию Института, научным достижениям и, самое главное, людям, благодаря которым Институт (которому в этом году исполняется 45 лет) стал всемирно признанным научным центром. В первом выпуске рассказывается о реакторе ВВР-М, с которого началась история Института, и о развитии одного из основных научных направлений – исследованиях строения вещества с использованием нейтронов.

В июне 1956 года заместитель начальника Лаборатории измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН, ныне Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт») академик А. П. Александров утвердил техническое задание на разработку реактора ВВР-М, тогда же начались строительные работы объекта № 576 Физико-технического института АН СССР (ФТИ) в Орловой роще вблизи Гатчины. Одновременно начались работы по изменениям (с целью увеличения мощности) базового проекта реактора ВВР-С на мощность 2 МВт, разработанного для серийного изготовления. Работы и строительство проводились под руководством инициатора проекта профессора Л. И. Русинова силами лаборатории № 10, которая постепенно превращалась в филиал ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР в Гатчине. Филиал был образован в 1958 году на основании постановления Президиума АН СССР (№ 459-011/с/ от 10.07.1958). Руководство филиалом было возложено на профессора Д. Н. Каминкера – заместителя директора ФТИ академика Б. П. Константинова.

Физический пуск реактора ВВР-М был произведен 29 декабря 1959 года, в июле 1960 года была выполнена первая экспериментальная работа, а через год реактор начал систематическую работу

на мощности 10 МВт. После безвременной кончины Л. И. Русинова в 1960 году лаборатория № 10 была преобразована в Лабораторию нейтронных исследований (ЛНИ) с тремя секторами. В дальнейшем ЛНИ развилась в Отделение нейтронных исследований (ОНИ) уже в составе Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова Российской академии наук (ПИЯФ РАН) – переименованного в 1991 году Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР (ЛИЯФ). ЛИЯФ был создан в 1971 году под руководством первого директора члена-корреспондента РАН О. И. Сумбаева на основе филиала ФТИ. В 2010 году Институт был включен в программу совместной деятельности организаций, участвующих в пилотном проекте по созданию Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ КИ). В сентябре 2011 года Институт был выведен из состава РАН и присоединен к НИЦ КИ.

За прошедшие с начала работы реактора ВВР-М годы в области нейтронных исследований был получен целый ряд выдающихся научных результатов. Развитые оригинальные экспериментальные методы, широко применяемые как в нашей стране, так и за рубежом, позволили Институту занять лидирующие позиции в мире в исследованиях с использованием поляризованных, холодных и ультрахолодных нейтронов, дифракции нейтронов и малоуглового рассеяния.

Успешная деятельность ЛНИ-ОНИ обусловлена также и высоким уровнем научной инфраструктуры Института и взаимодействием с другими научными подразделениями – созданными в филиале ФТИ лабораториями и затем преобразованными в отделения: теоретической физики, физики высоких энергий, молекулярной и радиационной биофизики; отдел физики и техники реакторов.

В конце 60-х годов начались работы по проектированию нового реактора ПИК, а в 1976-м – его строительство. Уже в конце 1970-х годов на реакторе ВВР-М началась активная подготовка к исследованиям на строящемся реакторе. После черновильской аварии проект реактора был подвергнут полной ревизии и переработке к 1991 году с учетом новых норм безопасности. Строительство было возобновлено, однако средства выделялись нерегулярно, работы велись с перерывами, и графики строительных работ не выполнялись. Перспективы завершения проекта оставались весьма туманными.

Ситуация кардинально изменилась после того как Институт вошел в состав НИЦ КИ. Была обеспечена стабильность получения средств, выделяемых правительством РФ на сооружение реакторного комплекса ПИК (РК ПИК), из программы совместной деятельности финансирование Института было увеличено в два раза. В декабре 2013 года завершилось строительство второго и третьего пусковых комплексов реактора ПИК. После окончания оформительских процедур и сдачи построенного комплекса в эксплуатацию начнутся работы по наладке, испытанию и аттестации систем на соответствие нормативам в области использования атомной энергии, оформление разрешений на этапы энергетического пуска реактора и ввода его в эксплуатацию.

Одновременно продолжалась работа по созданию комплекса экспериментальных станций для реактора ПИК. На первом этапе планируется 12 подобных станций. Из них две станции будут перенесены с реактора ВВР-М, семь – были доставлены в Институт в 2012 году из Исследовательского центра Геестхахта (Германия) и в настоящее время проходят стадию наладки и адаптации. Три станции будут перенесены из Европейского центра нейтронных исследований – Института им. Лауэ – Ланжевена (ИЛЛ, Гренобль, Франция). Эти станции созданы в ОНИ, и в настоящее время с их помощью на реакторе ИЛЛ проводятся эксперименты.

Кроме того, в 2014 году началась разработка проекта оснащения РК ПИК на втором этапе 20 современными экспериментальными станциями для проведения научных исследований. Были образованы 12 рабочих групп из сотрудников Института и наших коллег из исследовательских центров России и Европы. В работе над концепцией проекта принимали участие более 50 ученых. Было проведено 12 национальных и международных рабочих совещаний по тематике концепции. В соответствии с общей концепцией рабочими группами были представлены технические рекомендации, необходимые для проведения проектных работ и конструирования.

На базе РК ПИК планируется создание Международного центра нейтронных исследований (МЦНИ). В 2014 году подписано соглашение с Исследовательским центром Юлиха, который является координатором участия научных центров Германии в создании МЦНИ в Гатчине. Реактор ПИК, наряду с реактором ИЛЛ и строящимся в Швеции импульсным

источником ESS, включен в качестве базы для исследований в стратегии развития нейтронных наук в Европе. Формирование научной программы и программы создания приборной базы реактора ПИК проходит в координации с другими нейтронными центрами, в первую очередь с ОИЯИ (Дубна), Исследовательским центром Юлиха на базе реактора Технического университета Мюнхена (Германия), ILL (Гренобль, Франция) и ESS (Лунд, Швеция). Мы предполагаем участие физиков Европы в дальнейшей разработке концепции и последующем проектировании и создании экспериментальных станций. Собственно, с реализации программы создания комплекса экспериментальных станций на реакторе ПИК и начинается создание МЦНИ.

В марте 2015 года в Гатчине состоялось первое заседание Международного комитета по нейтронным наукам НИЦ КИ, на котором была рассмотрена программа создания МЦНИ и концепция комплекса 20 экспериментальных станций. Были определены составы шести международных экспертных групп по направлениям экспериментальных исследований. В течение года эти экспертные группы провели анализ предложений Института и сформировали предложения по их реализации. Эти предложения будут учтены при проектировании станций.

Вся эта деятельность опирается на опыт работы на реакторе ВВР-М.

С 31 декабря 2015 года реактор ВВР-М переведен в режим длительного останова в связи с окончанием лицензии на эксплуатацию и отсутствием средств на выполнение необходимых для лицензирования ремонтных работ. Вместе с тем возможность работы реактора по его техническим параметрам сохраняется, как и востребованность в нем, особенно в связи с проектом источника ультрахолодных нейтронов на основе сверхтекучего гелия (см. статью А. П. Сереброва в сборнике).

Настоящий сборник подготовлен на основе издания ПИЯФ РАН «Реактору ВВР-М – 50 лет. Сборник воспоминаний и научных статей» (редакторы-составители Н. А. Грошева и Г. А. Кирсанов, Гатчина, 2009).

Редакционно-издательский совет

Часть 1

Реактор ВВР-М

Нейтроны для большой науки*

К. А. Коноплев

Лаборатория № 10 профессора Л. И. Русинова



Профессор
Л. И. Русинов**

Меня приняли на работу в Физико-технический институт (тогда без имени А. Ф. Иоффе), в лабораторию № 10, в марте 1954 года. После окончания ЛПИ распределение первоначально намечалось на один из объектов Минсредмаша, но ФТИ расширял ядерную тематику и получил значительную квоту на выпускников. Для меня это стало прекрасной возможностью работать тем, кем я и хотел – инженером-исследователем. Но это в дальнейшем, а пока после защиты дипломного проекта образовалась длительная пауза – каникулы. Что-то не ладилось с выполнением плана ЛПИ по выпускникам 1953 года, и тем, у кого диплом был

* Статья составлена на основе публикации в сб. «Реактору ВВР-М – 50 лет». Изд-во ПИЯФ РАН: Гатчина, 2009.

** Лев Ильич Русинов – автор открытия изомерии искусственно радиоактивных ядер (совместно с И. В. Курчатовым, Б. В. Курчатовым и Л. В. Мысовским).

готовов, предложили защититься не в феврале 54-го, а досрочно – в декабре 53-го. Руководителем моей дипломной работы был Борис Павлович Константинов – заведующий кафедрой разделения изотопов на физмехе. Это была не самая главная его работа, Б. П. создавал новую отрасль в атомной промышленности СССР. Иллюзий о том, что Б. П. может уделить мне много внимания после формулировки задачи, не было, но действительность превзошла все ожидания: за год работы на кафедре руководитель разговаривал со мной двадцать минут во время общего обхода кафедры. Меня удивило и обрадовало, что на защите диплома председатель комиссии Антон Пантелеймонович Комар довольно подробно прокомментировал результаты, похвалил самостоятельность и потребовал доказательства приведенной точности результатов измерений. Моими пояснениями остался доволен.

На самом деле предоставление самостоятельности было стилем ФТИ, и такое начало сыграло важную роль в дальнейшей работе, особенно в создании реактора ВВР-М. В написанном мною дипломе, насколько я понимаю, Б. П. ничего, кроме выводов, не читал и на защите не присутствовал, но меня запомнил, и это тоже стало важным, когда Б. П. возглавил ФТИ и давал добро на пуск реактора ВВР-М.

Итак, в конце декабря получаю в канцелярии ЛПИ диплом, сопровождаемый невнятными словами «безда – ты», и это означало, что надо ждать распределения на работу.

Протрезвев после всех празднований, включая новогодние, хожу две недели ежедневно на час-полтора в Эрмитаж (когда еще удастся посетить!) и жду вызова. Жду месяц, другой. Получаю стипендию, но уже без доплаты за работу на кафедре. В феврале сходил на защиту Раи Комаровой – моей будущей жены. Наконец в марте выдают направление, но не в далекие места, а рядом – в Физтех, в лабораторию профессора Льва Ильича Русинова.

Заполняю длиннющие анкеты, отвечаю на, наверное, сотню вопросов, включая «Чем вы занимались до 1917 года?». Изю всех сил избегаю ехидных ответов типа «существовал в виде яйцеклетки», но волнуюсь – приглашения для оформления на работу нет, хотя прошел месяц. Есть только телефонный разговор со Львом Ильичом Русиновым. Он возмущен, почему до сих пор не работаю, и предлагает трудиться до оформления и получения права на вход в ФТИ. Иду получать задание, у входа меня встречает сотрудник лаборатории В. С. Гвоздев. Показывает мне

картотеку ядерной изомерии, которую я должен продолжить, пользуясь Публичной библиотекой. Чем занимается лаборатория № 10, я не знал, и только возмущение Адика Гвоздева тем, что у меня нет никакого представления об изомерном переходе, главной теме лаборатории, немного прояснило ситуацию. Секретность в те годы в ФТИ процветала. Названия лабораторий – секрет, что делается в соседней комнате – секрет, все записи только в «прошнурованной и пролистованной» тетради из первого отдела.

У профессора Русинова главной работой было руководство лабораторией ядерной изомерии, но он также продолжал работу и на комбинате «Маяк» в Челябинске-40. Уезжал он иногда на пару недель, иногда дольше, как мы называли, «на площадку». Из выпуска физмеховцев 1954 года в лаборатории Л. И. Русинова работали Е. Мазец, А. Дюмин, В. Звездин, В. Филиппов и Ю. Филиппов. В дальнейшем лаборатория довольно быстро разрасталась. В первые годы практически каждый работал над собственной темой.

Я получил от Русинова задание изготовить мишень из индия для облучения нейтронами в реакторе и дальнейшего исследования на бета-спектрометре. Никаких сведений об облучении в реакторе у меня не было, зато требования к мишени для бета-спектрометра можно было почерпнуть из многочисленных зарубежных публикаций. Эта работа закончилась моей единственной публикацией по ядерной изомерии (совместно с Л. И. Русиновым, Р. Я. Мецхвалишвили и В. А. Романовым). Честно признаюсь, что к написанию статьи Русинов меня не допустил, как и к прочтению окончательного текста. И к облучению на реакторе я отношения не имел, это Русинов организовал сам. На каком реакторе проводилось облучение, я так и не знаю. Могу только догадываться, что едва ли мишень перевозили на Урал в «Маяк», скорее всего, облучил ее Русинов в Москве, на реакторе РФТ (МР) в ЛИПАН (Лаборатории измерительных приборов АН СССР, преобразованной впоследствии в Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова). Хотя по требованиям к высоким температурам при облучении нельзя исключить и «Маяк».

В дальнейшем мишени я делал для более мягких условий облучения, сам отвозил их в Москву, в п/я В-8315 (ИТЭФ), и сам получал облученные для транспортировки в ФТИ и дальнейших измерений. Эта работа статьи не принесла, а из всех неприятностей две особенно запомнились. За перевозку самолетом «коротышей» тогдашний директор

ФТИ А. П. Комар объявил мне выговор, а моя оценка мощности реактора оказалась случайно точной, хотя метод был неверным. Это привело к обвинению в раскрытии секретных данных и обещанию отдать под спецсуд.

Попытка использовать для получения радиоактивных ядер имеющиеся в лаборатории радий-бериллиевые источники по одному кюри с самого начала была обречена на неудачу. На таких низких потоках ничего нового сделать нельзя. Единственный результат – оснащение двух латунных сфер с радием держателем, позволяющим в дальнейшем манипулировать с ними, не касаясь руками.

От нуля до физпуска

Для Русинова было ясно, что нужно иметь в ФТИ свой реактор, и он с огромным энтузиазмом взялся за это дело. Лев Ильич сам «пробивал» нужные решения, используя помощь И. В. Курчатова, в лаборатории которого начинал свою научную деятельность и с кем был связан до конца жизни. В лаборатории для подготовки к будущему использованию реактора Лев Ильич организовал семинар по только что изданной книге С. Глесстона и М. Эдлунда «Основы теории ядерных реакторов».

Сотрудники лаборатории получили по разделу книги для доклада на семинаре. По-разному выглядели доклады. Мне досталось резонансное поглощение (формула Брейта – Вигнера), и гордиться своим докладом не могу. Впрочем, большинство тоже не слишком преуспели. Как я помню, выделился с хорошей стороны, пожалуй, только доклад В. А. Шустова, хотя тему его сообщения вспомнить теперь трудно.

В 50-х годах прошлого века во всем мире интенсивно шло создание исследовательских реакторов. В Советском Союзе было принято решение о строительстве почти двух десятков подобных реакторов как в стране, так и за рубежом. И каждый должен был стать своего рода центром развития ядерной науки.

Как мне позже стало известно, решение о строительстве в ФТИ исследовательского реактора мощностью 2 МВт (установки «Р») было принято в том же 1954 году. В это же время уже было решение о строительстве в ФТИ мощного ускорителя – установки «Л». Надо сказать, что постановление партии и правительства было значительно более широким, чем оснащение только ФТИ ядерными источниками. Центры

должны были работать вне рамок Минсредмаша, но создавались на его средства и с полной его поддержкой. Этого документа я в руках не держал и знаю о нем только со слов Льва Ильича. Реальное создание новых ядерных центров, развивающих эту науку в союзных академиях, в значительной степени зависело от инициативы на местах.

Первоначально предполагалось оснастить все центры одинаковыми реакторами ВВР-С, то есть серийными, но реально строились два варианта: ВВР-С и ИРТ, тоже мощностью 2 МВт. Некоторые центры отстали, некоторые присоединились позже, и реакторы типа ВВР в пределах СССР получились не серийными, а индивидуальными. Первым серийность нарушил Л. И. Русинов. Он убедил руководителей министерства, что для ФТИ с его могучим научным потенциалом нужен нейтронный поток на порядок выше, чем в серийном варианте.

Реактор ВВР-С был разработан в КБ, которым руководил К. К. Рене, на основе опытного образца ВВР-2 «Газовый завод», построенного в ЛИПАН. Изготовление всех узлов реактора ВВР-С и комплектация оборудования проводились под эгидой Минсредмаша. Заказчики нанимали строителей и монтажников и обеспечивали материалами.

Разрешение повысить мощность Русинов получил, но при этом было сказано: Минсредмаш помогает с поставкой комплекта узлов для реактора ВВР-С, все изменения обеспечивайте сами. Одновременно Лев Ильич закупил нейтронный генератор на $D-T$ -реакции и поручил Алексею Никитичу Дюмину сборку, наладку и проведение исследований, что тот и сделал сначала в Ленинграде, а затем перевез генератор в Гатчину.

Почему ПИЯФ в Орловой роще

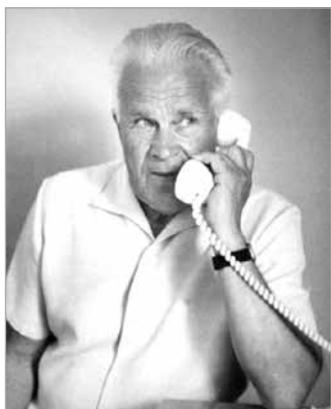
Осенью 1955 года в Орлову рощу приехали первые физтеховцы выбирать место для строительства реактора и ускорителя. Поиск продолжался уже почти год и явно затягивался. Первоначальная площадка планировалась в поселке Осиновая Роща, поблизости к Физико-техническому институту, но, когда начали ее оформление, получили отказ. Следующей площадкой, предложенной вместо Осиновой Рощи, было очень живописное место на возвышенном берегу Пендиковского озера, примерно на полпути между Тосно и Шапками. Знаменитые пендиковские болота были чуть в стороне и строительству не мешали.

Предполагалось строительство городка на новом месте, проведение к нему автомобильной и железной дорог. Такая схема часто использовалась в атомной отрасли, и в этом немаловажную роль играла секретность. Наш объект тоже атомный и в те времена тоже секретный: не реактор, а установка «Р», не ускоритель, а установка «Л», и никаких сообщений в прессе. Усугублялась секретность тем, что и проектирование, и изготовление вели закрытые организации Минсредмаша. Так что с точки зрения скрытости от посторонних глаз место было идеальным. Спутников тогда не существовало и самолетов-шпионов – тоже.

Главным сторонником Пендикова был руководитель капитального строительства в Академии наук Г. И. Русановский. Научный руководитель реактора, заведующий лабораторией профессор Л. И. Русинов и научный руководитель ускорителя, директор ФТИ член-корреспондент АН УССР А. П. Комар отнеслись к этой площадке с самого начала неодобрительно. Заместитель директора ФТИ П. П. Волков, руководитель будущего строительства, относился сдержанно. Тем не менее весной 1955 года во главе с Русановским мы обошли пешком Пендиковское озеро и наметили возможное место. Поход в резиновых сапогах был достаточно утомительным, особенно для Льва Ильича Русинова, в то время как Антон Пантелеймонович Комар вышагивал достаточно бодро.

Физтех не торопится с оформлением Пендикова, Академия наук под напором энергичного Русановского настаивает, время идет, в итоге распоряжение правительства не выполняется. По тем временам такое безобразие может обернуться жестоким наказанием. Идет настойчивый поиск более подходящей площадки. Районные власти Гатчины, Петергофа и Рошино согласны предоставить свои площадки. Наиболее привлекательным выглядит предложение «хозяина» Гатчины В. С. Толстикова, который не просто предлагает площадку, а прямо выражает заинтересованность. Он видел развитие города в привлечении науки в большей степени, чем в развитии промышленности. Хотя я лично в переговорах с ним прямо не участвовал, но у меня сохранилось к нему глубокое уважение и чувство благодарности.

Итак, Л. И. Русинов, А. П. Комар, П. П. Волков и автор этой заметки осенью 1955 года приехали в Гатчину осматривать две предложенные на выбор площадки вблизи города. Приехали по сильно разбитому



П. П. Волков –
заместитель директора ФТИ,
руководитель
строительства

Киевскому шоссе, проходившему мимо открытых осенних полей, без единого дерева вдоль дороги. Одно место предлагалось с южной стороны города – возле деревни Химозы, за Колпанским озером, второе – с северной стороны города, в Орловой роще. Петр Петрович Волков уже осмотрел обе площадки и выступал нашим гидом. Начали с Химозей. Место с болотами совершенно открытое и хорошо просматриваемое с шоссе. Именно это обстоятельство послужило официальным поводом для отказа от Химозей.

Петр Петрович выбрал площадку в Орловой роще заранее и сознательно начал с Химозей, формируя мнение наших руководителей в пользу Орловой рощи.

После унылого пейзажа с пронизывающим ветром мы увидели изумительный лес. Начали осмотр с места, где сейчас проходная ПИЯФ, потом проехали на мост через речку Теплую. Убедились, что наш «объект» будет закрыт со всех сторон лесом. На месте современной проходной стоял хорошо сохранившийся рубленый дом царских егерей, и мы даже пообсуждали, как его можно использовать, но Петр Петрович решительно отверг все притязания ученых: «Дом разберем, чтобы не связывать руки проектировщикам». Разобрал, увез и руки проектантам не связал.

Приехали мы в рощу по той дороге, которая сейчас продолжает улицу Рощинскую, а начиналась она от нынешней улицы Гагарина, проходила через незастроенное Хохлово поле и оканчивалась у домика егерей перед и ныне существующей аллеей из лиственниц. Дорога была лесная, проехать по ней было непросто. По генеральному плану заказа 576 (так назывался заказ ФТИ в документах проектной организации п/я 45) она не должна была использоваться, как открывающая прямой доступ в город. Была построена новая дорога к шоссе Гатчина – Красное Село. Впоследствии Петр Петрович, минув проект, заасфальтировал старую дорогу в город, и мы успешно ею пользуемся. Так что стоит этой дороге дать имя – Волкова дорога.

Однако вернемся к выбору площадки. Было еще одно затруднение. Первоначально проектировщики п/я 45 (может быть, проектировщики здесь ни при чем, а это было мнение профессора Русинова, который следовал схеме комбината в Челябинске-40) требовали либо прямой сток от площадки в Финский залив, либо наличие озера для возможности сбора радиоактивности. С этой точки зрения Химози, Пендиково, Петергоф и Рощино имели преимущества перед Орловой рощей (для нее обсуждался водовод через водораздел на склоны, спадающие не в Неву, а в Финский залив). Хорошо, что к осени 1955 года мы уже разобрались, что никаких сбросов быть не должно – должны быть полноценные очистные сооружения, тем самым это последнее препятствие было отброшено. В это время кыштымской аварии еще не было, но, видимо, ситуация уже становилась напряженной, и Русинов, и проектировщики отказались от сбросов в озеро с последующим стоком в Финский залив.

Разрешения на эту площадку были оформлены с максимальной скоростью в тот же 1955 год.

Хотя и есть некая лингвистическая цепочка – начали с Осиновой Рощи, а кончили Орловой, но лингвистика здесь ни при чем. Место было выбрано очень удачно. В 50-х годах прошлого века едва ли кто из сотрудников Физтеха знал о существовании Орловой рощи, а в самом городе Гатчине, тогда закрытом для иностранцев, мало кто бывал.

Сейчас названия «Гатчина» и «Орлова роща» хорошо известны многим физикам не только в России, но и за рубежом и ассоциируются для них с нашим институтом – Петербургским институтом ядерной физики им. Б. П. Константинова.

Превращение реактора ВВР-С в ВВР-М

Трудно или не трудно было выбрать площадку, но летом 1956 года в Орловой роще началось строительство реактора ВВР-М, хотя такого проекта еще не было.

Начали строить по серийному проекту реактора ВВР-С. Единственное изменение проекта ВВР-С заключалось в том, что мы подняли здание из земли на один этаж вверх – слишком близко на нашей площадке грунтовые воды подходят к поверхности. Остальные изменения Лев Ильич предложил вносить по ходу стройки.

Самым существенным основанием для модернизации были разработанные в ВИАМ (Всесоюзный институт авиационных материалов, возглавляемый академиком Р. С. Амбарцумяном), в лаборатории В. М. Глухова, трубчатые твэлы. По сравнению со стерженьковыми твэлами ЭК-10, примененными в реакторах ВВР-С и ИРТ, они развивали поверхность теплосъема в четыре раза. При прочих равных условиях используемый нейтронный поток пропорционален удельной мощности, и первый путь его увеличения очевиден. Следующим определяющим моментом было освоение промышленного производства бериллия для отражателя. Оба эти момента плюс увеличение полной мощности реактора позволяли поднять поток тепловых нейтронов на порядок.

В США в 1954 году был построен первый материаловедческий реактор MTR, а затем еще три реактора такого же типа с пластинчатыми твэлами. Разработанные в ВИАМ трубчатые твэлы имели примерно такие же параметры, как и пластинчатые MTR. Реакторы имели отражатели из бериллия. В 1956 году американцы на 1-й Женевской конференции опубликовали довольно подробное описание конструкции этих реакторов. В статье Винера и других были приведены данные о критической массе и еще целом ряде физических параметров, включая значение нейтронных потоков в бериллиевом отражателе при мощности 20 МВт. Эти данные послужили хорошим подспорьем при разработке нашего реактора.

Для разработки реактора ВВР-М Л. И. Русинов организовал в ЛИПАН группу из ее сотрудников (П. П. Моисеенко, С. Н. Фейнберг, Т. Н. Зубарев, В. В. Гончаров, Р. С. Амбарцумян, С. А. Скворцов, А. М. Глухов и А. А. Пяткин) и сотрудников ФТИ (Л. И. Русинов, Г. В. Скорняков, Ю. В. Петров, В. А. Шустов, В. П. Родзевич, И. М. Щеглов, В. Н. Голосов и М. П. Васильев).

В июне 1956 года техническое задание на разработку реактора ВВР-М было готово и утверждено заместителем начальника ЛИПАН академиком А. П. Александровым.

Одновременно с группой ЛИПАН в лаборатории № 10 ФТИ под руководством Л. И. Русинова над необходимыми изменениями проекта в ходе начавшегося строительства работали К. А. Коноплев, Д. А. Яшин, Р. Г. Пикилик и Б. И. Новицкий.

К О П И Я

ОРДЕНА ЛЕНИНА № 2.6.

ЛАБОРАТОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ АН СССР
ОТДЕЛ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

"УТВЕРЖДАЮ" "УТВЕРЖДАЮ"

АН СССР
ПРОЦЕДУРНЫЙ МАТЕРИАЛ
№ 1246cc
10.06.1956г.

ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА ЛАБ АН СССР
АКАДЕМИК -
/АЛЕКСАНДРОВ А.И./

" 20 " И Ю Н Я 1956г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

НА РАЗРАБОТКУ РЕАКТОРА ВВР-М

/Разработано совместно с Ленинградским
Физико-Техническим Институтом АН СССР/

ГЛАВНЫЙ ТЕХНОЛОГ ПРОЕКТА -	/КОЗЛОВ П.И./
НАЧ. ЛАБОРАТОРИИ ЛАТИ -	/РУСИНОВ Л.И./
НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ЛАТИ -	/БОРОДИНОВ Г.В./
"СОГЛАСОВАНО"	
НАЧАЛЬНИК СЕКТОРА № 14 -	/ДЕЛЕНБЕРГ С.И./
НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК СЕКТОРА № 15 -	/СУБАРОВ Г.И./

Г. МОСКВА - ЮНЬ - 1956 ГОД

И КОМУСОВИЧУ

№ 427/51 сс 54-

В 1956

Титульный лист технического задания на разработку реактора ВВР-М

Лев Ильич надеялся, что, выпустив ТЗ и предусмотрев необходимые минимальные изменения здания реактора, можно будет передать остальную работу конструктору ВВР-С – КБ К. К. Рене и проектировщику – п/я 45 (ныне ВНИПИЭТ – Восточно-Европейский головной научно-исследовательский и проектный институт энергетических технологий). Отказ К. К. Рене был решительным и, как стало понятно позже, вызван не амбициями. Его КБ от мощного соседнего КБ – во главе с С. П. Королевым – отделял только забор, который к этому времени был снят.

Пришлось в ФТИ организовывать свое собственное КБ и технологическую группу. В КБ вошли Е. Р. Радзевич-Белевич, В. И. Голосов, И. Н. Щеглов, а затем Р. П. Сокольская и О. И. Хазова. Руководил этим КБ Н. Ю. Лагунов. В технологическую группу вошли К. А. Коноплев, Д. А. Яшин, Р. Г. Пикулик и Б. И. Новицкий. Приказом директора ФТИ А. П. Комара главным технологом был назначен Коноплев. Вскоре в состав технологической группы вошли Ю. П. Семенов, Л. Н. Постников и В. И. Гудков. Технологическая группа формировала будущий персонал реактора ВВР-М. Из состава лаборатории Русинова выразили желание перейти в персонал реактора В. С. Звездкин и позже Ф. И. Филимонов.

В техзадании, разработанном в ЛИПАН, критмасса не была определена, а выбран только объем и высота зоны. При разработке рабочих чертежей довольно долго искали сочетание геометрии зоны и бериллиевого отражателя. Внешний размер и цилиндрическая форма отражателя были заданы конструкцией бака реактора ВВР-С. Хорошо зрительно запомнился чертеж на ватмане с окончательно принятой шестигранной зубчатой геометрией активной зоны реактора ВВР-М. Лев Ильич потребовал от меня и Шустова подписать этот ватман. Так как стояли, так и подписали – все трое с трех разных сторон.

Технологическая группа под руководством К. А. Коноплева, состоявшая из четырех человек, быстро росла.

КБ и технологическая группа в 1957 году разработали технический проект ВВР-М, внося необходимые изменения в проект ВВР-С. Разработка рабочей документации потребовала от нас значительно большего времени. Внести изменения в строительные чертежи мы успели в 1956 году. Наибольшее изменение заключалось в увеличении толщины бетона в стенах и перекрытии насосной первого контура для

сокращения фонового излучения в экспериментальном зале и коридорах в связи с увеличением мощности реактора. Основная биологическая защита ВВР-М была сделана с таким запасом, что мощность можно поднимать с 2 МВт не только до проектных 10 и в дальнейшем до 20, а, пожалуй, до 50 МВт.

Мы не ожидали, что объем изменений в электротехнической, киповской и сузовской частях проекта потребует столь значительного времени. Электротехнику вел Дмитрий Алексеевич Яшин, КИП – Борис Иванович Новицкий, СУЗ – Ренард Григорьевич Пикулик, дозиметрию – Виктор Александрович Соловьев. Проект ВВР-М был представлен в 1959 году на 2-й Женевской конференции по применению атомной энергии в мирных целях (Л. И. Русинов, Ю. Г. Николаев, В. А. Шустов и Г. В. Скорняков, доклад P2185).



Главспецстрой на первом корпусе

Основные изменения, конечно, касались активной зоны, реакторного бака и твэлов. Строительство не остановилось, но задержки произошли. Руководитель строительства Петр Петрович Волков использовал задержку 1956 года для смены подрядчика: вместо маломощного Ленакадемстроя пригласил могучий Ленглавспецстрой. Разница между ними заключалась даже в том, что Ленакадемстрой, в отличие от Ленглавспецстроя, не имел права на закупку нержавеющей стали. Во главе Ленглавспецстроя стоял талантливый руководитель П. А. Кирпишников, и он очень доброжелательно относился к строительству объекта науки. К сожалению, его через два года перевели с повышением в Москву, и он уже мало влиял на стройки в нашем Институте.

Строительство и монтаж

Следует вернуться к определяющим узлам реактора. На электростальском механическом заводе, тогда п/я А-7340, осваивали новое для себя производство трубчатых твэлов. Инженеры цеха П. П. Верховых и К. Я. Егоров отнеслись к этой задаче с большим вниманием и охотно взаимодействовали не только с А. М. Глуховым – автором технологии совместного прессования, но и с нашими технологами В. И. Гудковым и Ю. П. Сайковым. Пожалуй, наибольшее время провел на заводе Ю. П. Сайков, участвуя в освоении методов контроля в ЦЗЛ. Было очень приятно видеть высокий класс заводских инженеров и их стремление гарантированно выпускать продукцию отличного качества. Любой брак отсеивался беспощадно, тем не менее в первом комплекте изготовленных на заводе твэлов еще не все необходимые параметры научились надежно контролировать.

Корпус реактора ВВР-С, входивший в комплексную поставку, подлежал значительным изменениям в своей внутренней части. Изготавливал его Сумский котельный завод. Он уже выпустил всю партию корпусов ВВР-С и за наш корпус, существовавший только в виде техпроекта, не взялся. Лев Ильич договорился о возможности размещения нашего заказа на заводе № 92 в г. Воткинске. В первую поездку на этот завод – родину П. И. Чайковского – Русинов послал меня вместе с Анатолием Григорьевичем Буровиком. Он был заместителем начальника ОКС по

снабжению и обладал всеми качествами солидного представительства. Заказ наш приняли, но с условием прислать своих конструкторов для разработки рабочих чертежей в заводском КБ и технологов для ведения заказа в цехе и получения согласия Сумского завода на поставку заготовки реакторного бака. Условия мы выполнили. В. П. Родзевич-Белевич, Б. И. Новицкий и К. А. Коноплев проработали на заводе несколько месяцев подряд, а последнему пришлось выезжать на завод еще несколько раз. Завод произвел на меня большое впечатление доброжелательностью заводчан, своей огромной территорией и межцеховым транспортом, положенным для начальников цехов, в виде санной упряжки. Главное, конечно, что наш реакторный бак работает более пятидесяти лет без замечаний. В 1958 году качество изделий оборонного завода было никак не ниже современных требований, регламентированных в XXI веке для ядерных установок.

С выбором материала для корпуса вопросов не было, собственно, и выбора не было. САВ-1 использовался в проекте реактора ВВР-С.

Естественно, никакими данными о радиационной стойкости материала САВ-1 в то время мы не располагали. Эти исследования проводились позже силами нашего института, институтом «Прометей» и НИИАР. К счастью, САВ-1 в наших условиях показал очень высокую радиационную стойкость и не ограничивает срок работы корпуса реактора.

Большое внимание требуется к доньшкам горизонтальных каналов. Они выточены из сплошной заготовки из алюминиевого сплава САВ-1. Это наиболее облученный элемент реактора. Выход из строя доньшка приведет к необходимости либо заглушения этого канала, либо потребует замены бака реактора. Целесообразность такой дорогостоящей и длительной работы потребует серьезного анализа. В связи с такой ситуацией эти доньшки находятся постоянно в сфере повышенного внимания. При облучении САВ-1 меняет свои свойства из-за накопления дефектов под действием быстрых нейтронов и трансмутационного накопления кремния под действием тепловых нейтронов. Поскольку спектр нейтронов у нас постоянный, мы следим по флюенсу быстрых нейтронов.

Образцы САВ-1 были облучены до флюенса $2,6 \cdot 10^{22}$ нейтронов/см², и измерены их механические свойства при этом флюенсе. Материал значительно снизил свою пластичность, но остался достаточно

прочным для наших условий. Единственным ограничением стало требование «не ударять» по донышкам. Периодическое измерение толщины материала показывает отсутствие заметной коррозии. Поскольку через пятьдесят лет накоплен флюенс около $2 \cdot 10^{22}$ нейтронов/см², а мы приняли за безопасный предел $2,2 \cdot 10^{22}$ нейтронов/см², то новые образцы были поставлены для облучения до флюенса $3 \cdot 10^{22}$ нейтронов/см² в реакторе СМ-3. Облучение и дальнейшее испытание облученных образцов показало возможность работы САВ-1 в нашем реакторе еще на много лет вперед.

Другое дело с выбором материала для отражателя. С ним мы задержались. Бериллий только осваивался заводами. Осваивались разные технологии производства изделий из металлического бериллия и окиси бериллия. В окиси плотность бериллия была выше, чем в металле, и это давало преимущество в получении более высокого нейтронного потока.

Надежной оценки выигрыша в нейтронном потоке от этого обстоятельства не было, но выигрыш должен быть. Попытки оценить коррозионную стойкость этих материалов мало что дали. В литературе мне ничего не удалось найти, консультация на кафедре физхимии ЛПИ с профессором Скачелети и в Москве с академиком Боресковым тоже не давали оснований для предпочтений. Наш сотрудник Валерий Тихонович Шаров при помощи «моторчика Вуарена» покрутил два образца в бассейне реактора РФТ в ЛИПАН, но опять без выводов. Окончательное решение принимал Л. И. Русинов, и он решил: как у американцев на МTR, берем металлический бериллий. Этот выбор оказался правильным. Впоследствии на реакторе СМ-2 выяснилось, что отражатель из окиси бериллия под действием излучения и охлаждения водой быстро разрушается. Не имея данных о поведении бериллия, пришлось разрабатывать разборную конструкцию отражателя для возможности замены. Задержка с его изготовлением привела к тому, что физпуск мы проводили на макете отражателя. Затем зону разгрузили и провели монтаж бериллиевых блоков и наладку системы их дистанционной разборки и сборки. За прошедшие годы воспользоваться этой системой, к счастью, не пришлось. Оказалось, что стойкость бериллия самым существенным образом зависит от условий изготовления и облучения. На нашем реакторе ВВР-М мы имеем в активной зоне образцы, которые минимум раз в год контролируем.



Монтажники на пуске. Слева направо: И. А. Иоффе, Л. Я. Луммер, слесарь-монтажник Васильев, К. А. Коноплев и др.

Понятно, что не только твэлы и отражатель мы не смогли проработать быстро, был еще ряд тормозящих моментов, но в целом проект был, и строительство здания подходило к завершению. В один прекрасный день Лев Ильич говорит: «Ф-ф-ф, Кир Александрович, поехали в Москву выбирать монтажников». Собственно, выбора не было. Во дворе здания Главного управления по использованию атомной энергии в Старомонетном переулке, в одноэтажном доме, размещалась монтажная контора во главе со Львом Яковлевичем Луммером. Он уже монтировал ядерные установки в Обнинске, но это был секрет. Зато на стендах в кабинете были фотографии монтажа первого в СССР ледового катка в Москве.

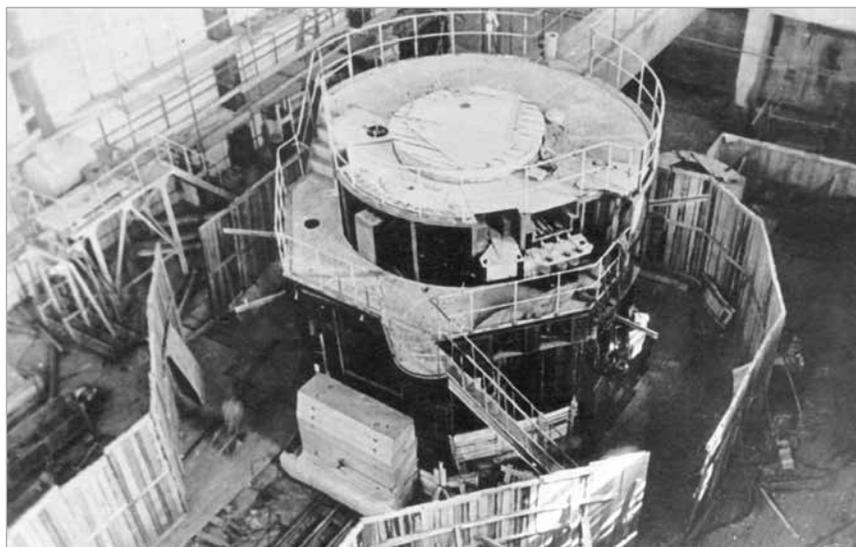
В Гатчину Луммер прислал бригаду во главе с Писменным, которого впоследствии пришлось заменить Исааком Абрамовичем Иоффе. В бригаде были опытные монтажники и сварщики, и несколько человек из них, как и сам Иоффе, остались работать на реакторе. Электротехническую бригаду возглавил Владимир Никитич Чухнов, который тоже остался работать в институте.

Наша технологическая группа контролировала монтаж именно реакторного оборудования. Контроль общегражданского строительства вели работники ОКСа. Тем не менее в ответственных строительных узлах технологи участвовали не только в контроле, но и непосредственно

в работах. Это в первую очередь касалось насосной станции главного циркуляционного контура и бетонирования биологической защиты тяжелым бетоном. С тяжелым бетоном наши строители и, естественно, мы столкнулись впервые. Это привело к необходимости тщательной подготовки исходных материалов, техники приготовления и заливки бетона. Предварительно тренировались на макете.

Разметку всех проходок в бетонных стенах насосной вместе с геодезистом успешно выполнил Владимир Григорьевич Панков – будущий начальник смены.

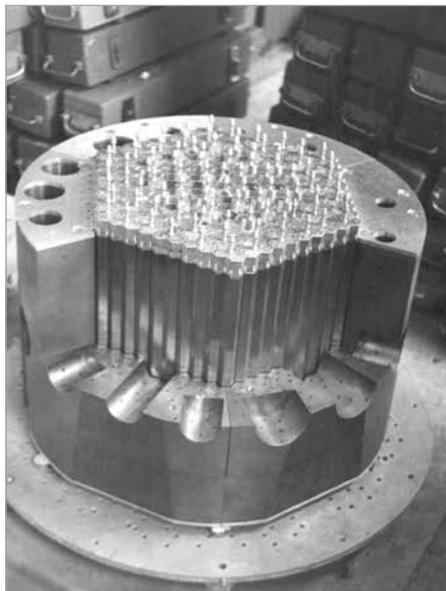
Руководить монтажом и контролировать работу монтажников нам было крайне трудно. Мы, скорее, должны были полагаться на их опыт и советы. С одной стороны, мы не имели опыта монтажных работ, а с другой – в монтажных организациях зарплата была несравненно выше нашей, и это оказывало психологическое давление. Надо еще иметь в виду, что в Гатчине мы только начинали превращаться из лаборатории № 10 в филиал ФТИ, и наше техническое оснащение было крайне ограниченным. Вспоминаю, как однажды Евгений Александрович Коновалов в единственных резиновых сапогах поочередно переносил нас через огромную лужу при возвращении с работы.



Перед бетонированием

В период 1957–1961 годов ФТИ интенсивно застраивал Кировскую улицу, позднее, как самую красивую, переименованную в улицу им. Ю. А. Гагарина. Петр Петрович Волков предусмотрительно заложил вдоль улицы сразу ряд фундаментов. После постепенного строительства на этих фундаментах домов и образовалась самая красивая улица. Сразу все дома не были нужны. В нескольких местах фундаменты заложить не удалось, поскольку требовался снос заселенных зданий. Впоследствии эти ветхие здания были снесены, но продолжить улицу в одном стиле не удалось – вышел запрет на так называемые излишества. Выход Кировской улицы на проспект 25 Октября потерял красивую симметрию с двух сторон от кирхи.

Многие сотрудники ФТИ переехали в Гатчину, и причиной было не желание жить ближе к строительной площадке, а возможность получить жилье, на что в Ленинграде шансов не было. Часть людей ездили на работу в ФТИ, а для части в доме № 6 (ныне дом с «атомным» магазином) организовали помещение для библиотеки и работы. На площадке в Орловой роще пока такой возможности не было, и технологи, как



Бериллиевый отражатель
в механическом цехе (сухая сборка)

и монтажники, трудились в плохо приспособленных для этого помещениях. В библиотеке могли работать очень немногие. Из технологов работал только Валентин Александрович Шустов, который взялся сделать нейтронный расчет активной зоны ВВР-М.

На площадке в Орловой роще шла стройка. Пора было набирать кадры, а филиал ФТИ еще не создан. Вся «инфраструктура» состояла из ОКСа и технологов. В подвальном помещении того же жилого дома, где была библиотека, раз в две недели мы с Дмитрием Алексеевичем Яшиным вели прием желающих посту-

пить к нам на работу. В городской газете упоминать о нашей стройке и ее местоположении не разрешалось, но горожане узнавали сами, и народ шел на прием довольно энергично. За один вечер приходило по десять – пятнадцать человек. Отсутствие официальной информации только подогревало интерес публики. Подбирать нужных работников из местных кадров было сложно, но постепенно коллектив складывался.

Очень важным моментом было создание механического цеха. Этот цех П. П. Волков и С. Н. Николаев строили и оснащали с максимально возможным размахом. Для монтажа реактора ВВР-М работа цеха была во многих случаях спасением. Так, опорная решетка реактора и узлы, связанные с конструкцией бериллиевого отражателя, требующие большой точности обработки, изготавливались в нашем механическом цехе.

Инженеров обучали на Газовом заводе в ЛИПАН (пожалуй, уже было название – Институт атомной энергии) на прототипе реактора ВВР-С. Обучение было организовано для всех реакторных центров в несколько приемов. Лекции читали сотрудники ЛИПАН Немировский, Макаров, Лоповок, Звонов и Уткин – каждый по своей специальности. Для нашей группы раздел «Расчет тепловой мощности» читал В. А. Шустов. Практикой руководил главный инженер реактора Лоповок. Каждый обучающийся инженер готовился к конкретной должности, например Р. Г. Пикублик – начальник службы СУЗ и КИП, К. А. Коноплев – главный инженер реактора. И так все персонально.

Критстенд

Лев Ильич был экспериментатором и решил, что без измерений на критстенде пускать реактор опасно. К теоретическим расчетам он подходил осторожно и имел некий принцип: сначала данные теоретического расчета, а потом данные эксперимента. В противном случае теоретики подгонят свой результат под эксперимент, и доверия к таким расчетам не может быть. Видимо, такой подход шел еще из лаборатории И. В. Курчатова. Он говорил мне: пусть наша группа (это В. А. Шустов, Л. А. Кондурова, Т. А. Звездкина) и группа теоретиков (это Ю. В. Петров и А. Н. Ерыкалов) выполняют расчеты, а потом мы сравним их результаты с критопытами.



Л. И. Русинов на критстенде ВВР-М



Ю. В. Петров и К. А. Коноплев на критстенде ВВР-М

Для начала надо было сделать критстенд. Шел уже 1959 год, строительство подходило к концу, и найти помещение, изготовить стенд и подобрать оборудование было крайне сложно. Нашли возможность откопать грунт между выступами фундамента для камеры критстенда и пульта управления. Изготовили в новом цехе бак с опорной решеткой и другие детали. Приборы подобрали частично из комплекта реактора, частично из имущества лаборатории № 10 и частично изготовили сами.

Лев Ильич, довольно придирчиво осмотрев смонтированный стенд, потребовал установить дополнительные кнопки аварийного заглушения цепной реакции и навесить на обитую железом дверь хранилища твэлов большой амбарный замок.

Из ЛИПАН были приглашены Ю. Г. Николаев и Г. А. Столярков. Они одобрили подготовку стенда, провели проверку знаний нашей бригады, и мы приступили к загрузке активной зоны. Руководителем бригады был назначен К. А. Коноплев, оператором – Р. Г. Пикулик, контролирующим физиком – В. А. Шустов с двумя помощниками – В. С. Звездиным и Г. П. Гордеевым. Механиками работали К. А. Кулебакин и А. Е. Ленивец. В первом наборе критмассы, начавшемся в ноябре 1959 года, Лев Ильич сам принимал участие.

Загружались мы крайне осторожно. Придерживались такого правила: прежде чем дать команду на любое изменение в активной зоне, предложение озвучить, и, если никто не возражал, предложение повторялось, затем уже отдавалась команда.

Цепная реакция пошла при загрузке 1,439 кг ^{235}U , что превысило значение, полученное в двухгрупповом расчете В. А. Шустова и Л. Н. Кондуровой. Дальнейшие измерения практически были отложены до физпуска реактора. В соответствии с предсказанием Русинова трехгрупповой расчет наших теоретиков Г. В. Скорнякова, Ю. В. Петрова и А. Н. Ерыкалова через полгода дал идеальное совпадение: $1,4 \pm 0,2$ кг. Требование Русинова держать критмассу в секрете, естественно, было нарушено. Впоследствии на критстенде были проведены подробные исследования, необходимые для работы реактора и тестирования новой, довольно совершенной по тем временам расчетной модели, разработанной под руководством Юрия Викторовича Петрова. Тестирование и отработка расчетной модели требовали выполнения критэкспериментов с разными загрузками. Использовался переход от сплошной загрузки

активной зоны твэлами к кольцевой геометрии с увеличивающимся размером центральной водной полости. Для получения «чистых» загрузок регулирующие и аварийные стержни выносились на периферию, и их влияние на критмассу специально оценивалось. Эта работа требовала от нас повышенной осторожности с точки зрения безопасности. Свои оценки поправок на влияние стержней регулирования я детально обсуждал с Юрием Викторовичем. Это была хорошая работа по физике реакторов.

Физпуск

1959 год был богат на завершение строительства и пуски реакторов. В марте был пущен реактор ВВР-С в Будапеште, в сентябре – такой же реактор в Ташкенте, осенью – реактор ИРТ в Тбилиси. Летом в Ленинграде был пущен реактор ледокола «Ленин», и мечта Льва Ильича собрать первую в Ленинграде критмассу стала неосуществимой. В 1958 году два исследовательских реактора были пущены в Обнинске. Русинов был на пуске в Тбилиси и, вернувшись, потребовал осуществить пуск в этом же году. Лозунг был изменен: не нужна красивая отделка помещений, нужен физпуск! В Тбилиси экспериментальный зал напоминает заводской цех, а не лабораторию. В 1959 году мы не успевали не только с окончанием отделки здания, но и явно с разборным бериллиевым отражателем. Решили пускать с макетом, благо на критстенде увидели такую возможность.

В это же время в Институте физики Украинской академии наук также строили по нашему проекту реактор ВВР-М. Киевский институт, как и Физтех, претендовал на высокий нейтронный поток. Отстать от Киева было бы для Льва Ильича совсем невыносимо.

Несмотря на то что люди прошли необходимое обучение и, главное, практически работали над проектом и строительством реактора, Л. И. Русинов надеялся на приход «проверенных» кадров из Челябинска-40 и придерживал раздачу должностей. Перед физпуском и сразу после него руководство института решило доверить реактор своим технологам и перевести их из эмэнэсов, старших лаборантов и инженеров на должности по штатному расписанию реактора. К. А. Коноплева из эмэнэса перевели сначала в начальника смены, а затем в заместителя главного инженера. В. А. Шустову, Ю. П. Семе-

нову, В. А. Рубану, Б. И. Новицкому и В. Г. Панкову дали должности старших инженеров-операторов; Д. А. Яшину – начальника смены; Р. Г. Пикулику, В. Т. Шарову и В. И. Голосову – заместителей начальника службы; В. И. Гудкову, Г. П. Гордееву, Е. А. Алдалрову, Л. Н. Постникову и Е. А. Коновалову – инженеров-операторов; В. А. Соловьеву и И. К. Юрше – начальников службы.

Сотрудников теоретдела это не коснулось, и Ю. В. Петров, активно участвуя в работе, оставался младшим научным сотрудником.

Только один человек – В. А. Рубан имел практический опыт управления реактором и был сразу принят старшим инженером-оператором. Русинов активно провел агитацию перехода к нам специалистов из Челябинска-40, и в следующие годы к нам пришли опытные специалисты: А. И. Крылов, Л. М. Площанский, В. И. Диденко, И. Марченко, А. А. Буждылев и еще несколько. Это создавало определенную надежность работы коллектива. Лев Ильич подбирал не только ученых, но и работников для технологической группы, и, как правило, удачно. Начальник службы дозиметрии В. А. Соловьев, главный механик реактора Б. С. Разов и конструктор В. М. Соколов – его выбор.

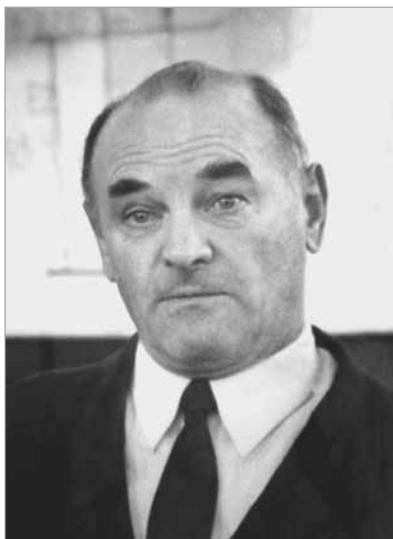
Для обеспечения физпуска требовалось много усилий, и зачастую в самых неожиданных для нас местах. Р. Г. Пикулик и Л. М. Евстифеев кропотливо отлаживали минимальный объем СУЗ. Отладку автоматического регулятора с электромеханическим усилителем, ЭМУ-3А, пришлось отложить. В. Г. Панков и В. И. Голосов со своими механиками осваивали загрузку тепловыделяющей сборки (ТВС) в реактор. Как уже упоминалось, от установки бериллия пришлось на момент физпуска отказаться. Таких моментов было вполне достаточно, и работать приходилось не считаясь со временем и силами. Удалось собрать все узлы реактора, необходимые для физпуска, только в декабре.

Решение о физпуске принималось уже после назначения директором ФТИ академика Б. П. Константинова и организации филиала ФТИ. Руководил филиалом заместитель директора Д. М. Каминкер.

В Гатчину снова приехали сотрудники ЛИПАН Г. А. Столяров и Н. В. Звонов. 11 декабря мы провели загрузку твэлов, проверили реактивности всех стержней регулирования и аварийной защиты, установили громкий шелкун в экспериментальном зале. Осталось приготовиться к официальному пуску 29 декабря 1959 года.



Б. П. Константинов



Д. М. Каминкер

С трудом разыскали стулья для членов ученого совета ФТИ, стол президиума сделали приличным с помощью ткани, установили трибуну и громкоговорители. Превратили экспериментальный зал в зал заседаний. Б. П. Константинов и Л. И. Русинов обеспечили высокое начальство. Первый секретарь Ленинградского обкома И. В. Спиридонов произвел официальный пуск реактора ВВР-М. Об этом событии было написано в «Ленинградской правде» (см. приложение).

Это была первая открытая публикация о нашем институте. Секретная установка «Р» превратилась в реактор ВВР-М, хотя в отделе кадров еще довольно долго писали: «Начальник смены установки „Р“».

Больше чем через пятьдесят лет после физпуска ВВР-М мы провели физпуск реактора ПИК. В смысле подготовки техники общего очень много. В 1959 году искали зачастую трудные решения, чтобы отладить работу систем и узлов. В 2011 году трудностей в завершении монтажа и наладке систем стало даже больше. При всей схожести ситуации есть одно огромное отличие. Если бы в 1959 году нам пришлось составлять сотую долю от количества бумаг, необходимых для пуска реактора ПИК, то день пуска реактора ВВР-М был бы не 29 декабря 1959 года, а намного позже.



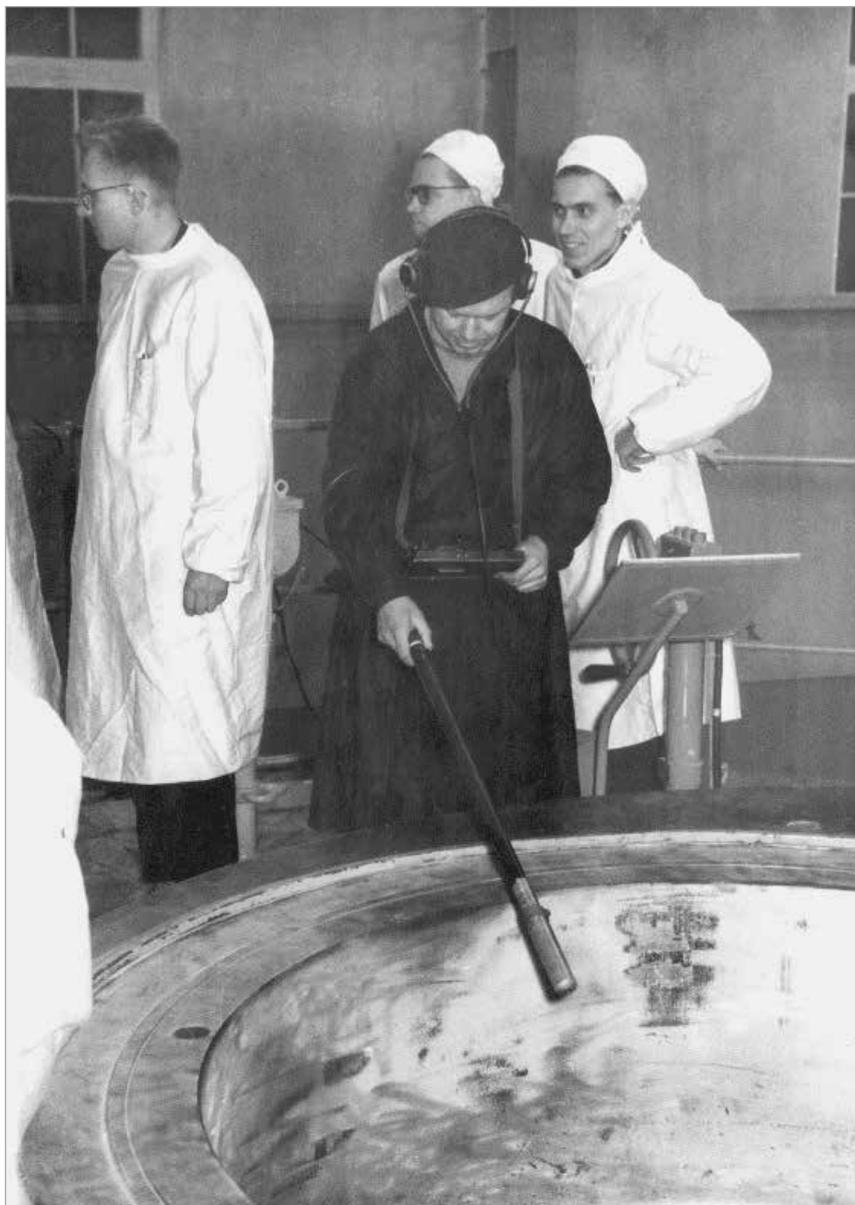
Пульт предъявлен Н. В. Звонову, специалисту от ЛИПАН



Последняя проверка аппаратуры. Можно загружаться



Первая загрузка топлива



ТВЭЛы в зоне. Можно пускать реактор



Поднять стержни, достигнуть критичности!
Слева направо: Р. Г. Пикулик, Н. В. Звонов, В. С. Звездкин и Г. П. Гордеев



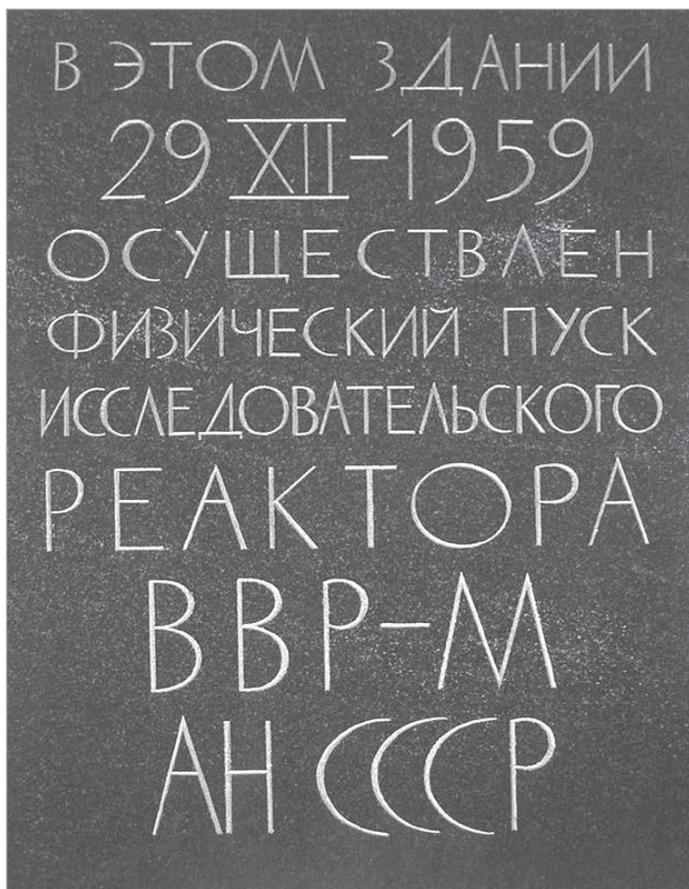
Б. П. Константинов открывает заседание ученого совета ФТИ



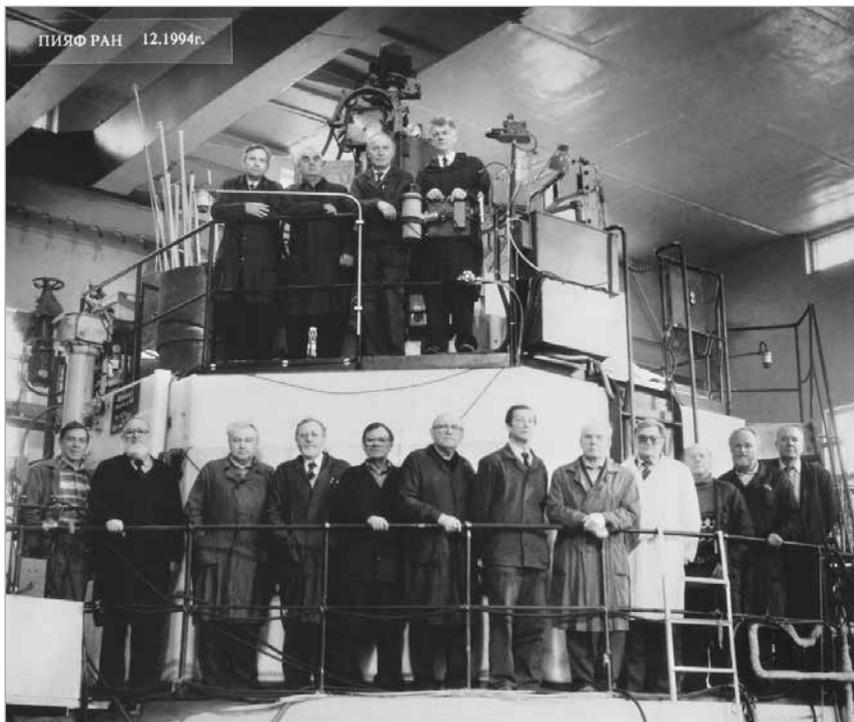
Л. И. Русинов на ученом совете ФТИ



Приглашенные на ученый совет (мы)



Памятная доска на входе в первый корпус ПИЯФ



«Пускachi» собрались в 1994 году

От физпуска к энергопуску

Радостно завершив физпуск и наступление нового, 1960 года, приступили к подготовке реактора для работы на мегаваттных мощностях. Активную зону разгрузили и занялись подгонкой бериллиевых блоков отражателя в очень тесных условиях. Необходимо было добиться точного положения отражателя относительно опорной решетки. Зазор между граничными твэлами и бериллием выдерживался с точностью до десятых долей миллиметра. Бериллиевые блоки должны иметь возможность дистанционной разборки и сборки и в то же время быть жестко закрепленными. Использовали фиксацию на клиновидных пластинах. Эта работа заняла несколько месяцев, с неоднократной сборкой и разборкой блоков.

Одновременно завершались наладка СУЗ и КИП, строительство и монтаж так называемых спутников, а именно сбросных резервуаров, градирни, насосной и вентцентра.

Наибольшие неприятности доставили сбросные резервуары. Они не были рассчитаны на внешнее давление грунтовых вод на пустой резервуар. Один из этих резервуаров сила подземного давления стала деформировать. Проектировщики откликнулись быстро, ошибку исправили, а ремонт подземного резервуара потребовал и от строителей, и от монтажников больших усилий. Возглавил эту работу Е. А. Коновалов. Даже при полном содействии П. П. Волкова и К. А. Коноплева ему пришлось тяжело, но он справился. Впоследствии эти резервуары никогда не опорожнялись больше чем наполовину, а для компенсации построили третий, наземный, резервуар.

Смонтировали и наладили вспомогательные системы реактора, как совершенно необходимые, так и не очень важные. О вспомогательных системах реактора ВВР-М при проектировании у нас было очень мало информации. В итоге часть из них оказалась лишней, а некоторые не были предусмотрены и создавались уже после пуска реактора на полную мощность. Например, сразу были остановлены и демонтированы как лишние два отдельных независимых контура охлаждения чугунной защиты вокруг бака реактора и охлаждения графита тепловой колонны.

К Первому мая подготовить энергопуск не успели, но финал был близок и виден. Через месяц к подъему мощности все было готово.

Совершенно внезапно 18 мая 1960 года Лев Ильич скончался. Болезнь непродолжительная, но тяжелая. Для нас это было как гром среди ясного неба.

Реактор ВВР-М был подготовлен к энергопуску. Предполагалось, что Лев Ильич доставит, как в предыдущие пуски стенда и реактора, пусковую бригаду из Института атомной энергии (ИАЭ). Послали запрос – ответа нет. Послали второй – ответа нет. Пытаюсь созвониться – получаю обещание, но время идет, и теряется темп работы. Еду в Ленинград к Б. П. Константинову и жалуясь на Комитет по использованию атомной энергии и на ИАЭ. Б. П. обещает позвонить в Москву и дает команду: «Если через три дня не приедут, пускайте сами». Такая команда нас сильно вдохновила, мы очень хотели быть самостоятельными. На четвертый день, а именно пятого июля, начали постепенный подъем мощности и к приезду пусковой бригады работали примерно на трех мегаваттах. Это уже позволяло сделать калибровки мощности по тепловым приборам контроля. На мощности 5 МВт подъем остановили и двое суток проработали для оценки состояния реакторных систем. Затем реактор остановили, персонал отправили в отпуск.

Доверяя, Борис Павлович, однако, отнюдь не терял контроля над событиями. В то время, я помню, еще была совсем непонятна его придирчивость к тексту положения о главном инженере реактора, определявшего мои права и обязанности. Только позже я понял, какое большое значение имело его твердое требование к тому, чтобы главный инженер отвечал не только за сам реактор, но и за весь «дом» и территорию, за все и всех, кто на реакторе работает. Именно так воспитывается хорошее чувство хозяина, чувство ответственности за дело в целом, а не за выполнение только своей части. Особенно это важно на крупных исследовательских установках, куда приходит множество людей с узкими целями: выполнить то или иное измерение, без всяких забот о реакторе или своих соседях. Борис Павлович контролировал и технические вопросы. Так, он запретил поднимать мощность реактора выше 10 МВт без специального предварительного обсуждения с ним о готовности реактора.

Борис Павлович представлял себе развитие филиала ФТИ в Гатчине как ядерного центра с очень широким спектром научных исследований. Помимо непосредственно ядерной физики и физики высоких энергий он инициировал исследование в области радиохимии, биологии, материаловедения. Были построены хорошо оснащенные лаборатории

для этих направлений и предусмотрена возможность транспортировки к ним облученных в реакторе материалов.

На самом реакторе ВВР-М Борис Павлович энергично поддерживал прикладные исследования. Наиболее яркой работой из этого ряда, безусловно, была серия исследований термоэлектронных преобразователей. Хотя именно это исследование после достижения впечатляющих результатов не получило дальнейшего развития, остальные направления успешно развивались и развиваются по сей день.

После кончины Льва Ильича Русинова я, как главный инженер реактора, остался без «прикрытия» в дирекции ФТИ, не говоря уже о Минсредмаше и Академии наук. Мои контакты ограничивались проектировщиками, строителями, изготовителями оборудования, «верхнее» руководство обеспечивал Л. И. Русинов. Директору ФТИ Б. П. Константинову пришлось взять на себя дополнительные нагрузки.

Русинов скончался на пятьдесят четвертом году жизни, а мы считали его если не стариком, то человеком предыдущего, довоенного поколения, что было совершенно верно. До пуска реактора и возможности начать на нем исследования Лев Ильич не дожил каких-то полтора месяца, но он оставил лабораторию с хорошо подобранными молодыми учеными, полными идей и энергии. Недаром из ее состава вышли три академика и два члена-корреспондента. Это будет потом, а в мае 1960 года возникла некая неопределенность. Лаборатория № 10 превратилась практически в несколько лабораторий, привязанных к реактору, но разного направления. Оформлены были только технологическая группа и два сектора – В. С. Гвоздева и О. И. Сумбаева. Всем руководил Лев Ильич и в Гатчине, и в Ленинграде. Значительная часть сотрудников лаборатории не планировала переезда в Гатчину. Старшие научные сотрудники В. Б. Черняев и А. В. Коган остаются в Ленинграде. Е. П. Мазец и Д. А. Варшалович, надежда Льва Ильича на молодые таланты, также остаются. Некоторое время предполагалось, что в Ленинграде часть ядерных лабораторий будет продолжать работать, но при Б. П. Константинове в Гатчину переводятся все. Оставшиеся сотрудники лаборатории Л. И. Русинова меняют тематику. В Гатчине необходима организация лабораторий, точнее лабораторий, на реакторе, и нужен руководитель – ядерщик, доктор наук. Некоторое время с опасением ожидали назначения со стороны, но директор ФТИ Борис Павлович Константинов не спешил.

О. И. Сумбаев, К. А. Коноплев, И. А. Кондуров, Ю. В. Петров, В. М. Лобашев и Г. М. Драбкин обратились к заместителю директора ФТИ по филиалу Давиду Моисеевичу Каминкеру с просьбой стать заведующим нашей лабораторией и назвать ее Лабораторией нейтронных исследований. Из рамок ядерной изомерии лаборатория уже вышла. Только И. А. Кондуров и В. С. Гвоздев развивали это направление. И. А. Кондуров – в область короткоживущих возбужденных состояний, В. С. Гвоздев занимался измерениями энергии конверсионных электронов. Отпало название ядерной изомерии, а не существо ядерных исследований. Изучение атомного ядра в лаборатории ведется по многим направлениям.

После энергопуска

Плохая работа твэлов стала наиболее серьезным препятствием для работы реактора в первый год. После обсуждения с А. М. Глуховым (ВИАМ), В. В. Гончаровым (ИАЭ) и заводскими специалистами решили переходить от керамики UO_2-Al на сплав $U-Al$ и увеличить толщину плакировки. Юра Петров отказался от расчета зоны с новыми твэлами, сказав: «Этот простой пересчет вы можете рассчитать сами». Он в это время уже занимался разработкой точной модели активной зоны ВВР-М. Вместе с Г. П. Гордеевым мы оценили нейтронно-физические изменения, проистекающие из увеличения толщины плакировки. Потерю реактивности компенсировали увеличением обогащения урана от 20 до 36 % с соответственным ростом концентрации ^{235}U в активной зоне с 50 до 60 г/л. Изложили это в отчете, которым мы очень гордились и который через два месяца первый отдел потребовал засекретить. Рассчитанные нами характеристики подтвердили на критстенде с опытной малой партией твэлов. Твэлы ВВР-М2 оказались исключительно надежными, и они до сих пор применяются на целом ряде реакторов. Заводчане научились их выпускать даже в двух вариантах: на сплаве $U-Al$ и на керамике UO_2-Al .

Работы по совершенствованию твэлов для реактора ВВР-М энергично продолжались силами ЛИЯФ и заводов-изготовителей. В итоге мы пришли к тонкостенным твэлам ВВР-М5, позволившим увеличить мощность реактора до 18 МВт и поставить эксперименты с ультрахо-

лодными нейтронами. К сожалению, ученый совет ЛИЯФ отказался от выдвижения этой работы на Государственную премию, мотивируя необходимость набрать больше опыта работы реактора на этих твэлах.

В сборнике есть отдельная статья о работах по совершенствованию твэлов типа ВВР-М, поэтому перейду к другим сторонам нашей работы в те первые годы.

В СССР появился новый реактор, который по потоку нейтронов входил тогда в первую десятку в мире. К директору ФТИ Б. П. Константинову поступило несколько предложений о создании материаловедческих петель, включая даже жидкометаллическую. В то же время шло освоение нейтронных пучков. Все пучки были распределены, и на каждом их «хозяин» разрабатывал, устанавливал и налаживал свой прибор. Конструкция реакторов такого типа, как наш ВВР-М, позволяла их использование для экспериментов на выведенных пучках и для экспериментов внутри реактора на облучательных и петлевых установках.

От жидкометаллической петли мы, после внимательного обсуждения, отказались. Требовались задержка пуска реактора на достаточно длительный срок и значительные меры безопасности от загрязнения полонием. Тем не менее в биологической защите при бетонировании заложили возможность размещения в будущем опоры моста с трубопроводом для жидкого металла. Это предложение поступило еще до окончания строительства, когда направления исследований на реакторе только выбирались. Несмотря на поддержку идеи со стороны Б. П. Константинова, наши аргументы и отрицательная позиция Л. И. Русинова эту петлю отвергли.

Эксперимент на выведенном пучке, как правило, требует стабильного потока нейтронов в течение всего цикла работы реактора. Петлевые установки, если не как правило, то очень часто, требуют в течение цикла изменения мощности реактора. Сочетание этих двух видов исследований (пучок и петля) возможно только в тех случаях, когда петля не влияет на режим реактора. В нашем многолетнем опыте работы были, можно считать, две петлевые установки, сильно повлиявших на режим работы реактора.

Первой реализованной петлей была петля низкого давления (ПНД) на органическом теплоносителе для испытания термоэлектронных преобразователей (ТЭП). Опыт сочетания с работой на пучках оказался исключительно неудачным. Петля диктовала многократные изменения

мощности и препятствовала работе на пучках. Окончила свое существование ПНД весьма «эффектно». Моноизопротил загорелся, насосная покрылась слоем жирной сажи, из нашей вентиляционной трубы впервые пошел дым, а про реактор прошел слух: наконец-то они там начали работать. Сами результаты создания и испытания ТЭП под невероятным напором морского офицера Маркуса Борисовича Барабаша были впечатляющими и долго держали «рекордные» значения преобразования ядерной энергии в электрическую. По мощности в 1 кВт/см^3 преобразователя и по току короткого замыкания 18 А/см^2 .

Вторая такая петля, хотя официально петлей не признается, создавалась значительно позже для охлаждения жидкого водорода в универсальном источнике холодных и ультрахолодных нейтронов (универсальный нейтронный канал). Этот канал работал с 1985 по 1996 год. Петля полностью диктовала режим подъема мощности реактора, но к конфликту интересов с исследователями на пучках не приводила. Дело объясняется большой научной значимостью проводимых исследований, лежавших в русле основной тематики института. Этим исследованиям придавалось очень большое значение. В настоящей статье отметим только уникальность помещения жидкого водорода в центр активной зоны реактора. О подходе к безопасности такой установки был сделан доклад на заседании американского ядерного общества, получивший высокую оценку слушателей.

Созданная в 1977 году петля низкого давления на водяном теплоносителе (ПВ) для испытания твэлов работает независимо от мощности реактора и используется до сих пор для проверки герметичности ТВС.

Успешно проработали две петли для разработки проекта ПИК: в 1971 году – ПВД, моделировавшая легководный контур реактора ПИК, и в 1974 году – ПХР для исследования радиационно-химических процессов и коррозионной стойкости конструкционных материалов в жидкостном регуляторе реактора ПИК с циркуляцией раствора нитрата гадолиния.

Руководители Академии наук и ФТИ считали, что институт должен проводить исследования по многим направлениям, используя и реактор, и ускоритель. Собственно, реактор был спроектирован как многофункциональный. Тем не менее явно приоритетными стали фундаментальные исследования сначала только на горизонтальных выведенных

нейтронных пучках, а затем с установкой специальных устройств в активной зоне.

С начала 60-х годов А. П. Александров регулярно проводил совещания по работе на всех (кроме минсредмашевских) исследовательских реакторах. От совещания к совещанию прослеживался выбор направления проводимых исследований на каждом реакторе. Для некоторых центров выбор направления давался с трудом, и А. П. Александров помогал, а зачастую и навязывал тематику. На нашем реакторе с первых совещаний тематика исследований признавалась наиболее интересной и результативной. Наши работы в области физики и техники исследовательских реакторов на этих совещаниях выглядели на высоком уровне. Это касалось и реакторных расчетов, и реакторных экспериментов, а главное – способствовало созданию условий для использования реактора в научных исследованиях.

На реакторных секциях в первые годы этих совещаний пришлось столкнуться с очень разным уровнем работ по физике реакторов. Нам приходилось зачастую крайне резко протестовать против необоснованных утверждений. Чаще всего это касалось оценки нейтронных потоков. На нашем реакторе точности измерений придавалось особое значение, тем более что на реакторе ВВР-М в то время был получен самый большой нейтронный поток. Первое серьезное измерение провели В. М. Лобашев, Г. Я. Васильев и В. И. Диденко. В дальнейшем серия сличительных измерений на реакторах и привлечение метрологических лабораторий довели культуру оценки нейтронных потоков до приемлемого уровня на всех реакторах.

Текущее взаимодействие «реакторщиков» и «физиков» складывалось не сразу. Понятное человеческое стремление завоевать авторитет у некоторых снижалось до примитивного представления о том, кто здесь главный. Постепенно стало обычным понимание, что реактором, персоналом и механизмами командует только начальник смены, а задачи ставит ответственный за использование нейтронного пучка. Естественно, не обходилось без неприятностей. Например, начальник смены не предупреждал экспериментаторов об изменении программы работы и губил проводимую серию измерений. С другой стороны, нетерпеливый ученый, получив время для монтажных работ на своем пучке, вставлял в канал совсем не то устройство, которое предусмотрено программой. Просто пришла идея сделать лучше, а времени на рассмотре-

ние нет. В память о таких событиях в одном из горизонтальных каналов «навечно» установлен не самый удачный коллиматор. В более широком плане ставились задачи по увеличению экспериментальных возможностей нашего реактора, и они решались достаточно энергично.

Для пучка № 5 потребовалась пролетная база, значительно превышавшая размеры экспериментального зала. Просверлили стены, провели пучок через коридор и вывели в вестибюль, который превратили в лабораторию. Вход в здание перенесли.

Графитовая тепловая колонна (ТК), установленная для формирования спектра с высоким кадмиевым отношением, применения не нашла. Колонну демонтировали, просверлили в бетоне реактора дополнительные касательные и один сквозной канал и установили новую колонну. Идею просверлить биологическую защиту и защиту реактора высказал и всячески поддерживал Ю. В. Петров, и, по-моему, он гордился этим ничуть не меньше, чем своими достижениями в физике. Большую поддержку в этой работе нам оказал и В. С. Гвоздев (женатый на дочери геолога академика Полканова), который разыскал бурильщиков, или, как он их называл, «НИИ дырка». Это, пожалуй, была одна из наиболее сложных работ с двух точек зрения: точности сверления и радиационного фона при работе с облученной колонной. Кстати, опыт той работы востребован в подготовке следующей замены ТК на источник ультрахолодных нейтронов нового типа с использованием сверхтекучего гелия, проект которого был предложен А. П. Серебровым в начале 2000-х годов.

Наиболее крупной работой по увеличению экспериментальных возможностей, безусловно, явилось создание надреакторной горячей камеры (НРК) и системы свободного размещения сервоприводов с каналами для органов регулирования в активной зоне.

Работу по НРК вел Д. А. Яшин. Ему пришлось привлечь для этого конструкторов из «Электронстандарта», поскольку институтское КБ было полностью занято работами над физическими приборами. Новый малогабаритный сервопривод сконструировали Ю. И. Филимонов и О. И. Хазова.

НРК «развязало» трудности с работами, проводимыми в активной зоне и отражателе реактора. Появилось пространство, обеспечивающее возможность размещать над экспериментальными каналами необходимое оборудование довольно больших размеров. (НРК оборудована манипуляторами и смотровым окном.)

Работа с твэлами и облучаемыми образцами стала удобнее и безопаснее. Именно создание НРК и освобождение активной зоны от фиксированной решетки стержней регулирования в дальнейшем позволило устанавливать источники холодных нейтронов. Лично для меня работа с НРК и сервоприводами явилась результатом мучительного поиска решения по совершенствованию этого слабого места в конструкции реактора ВВР-С, которое мы оставили без изменений при проектировании ВВР-М.

Завершение работ по созданию НРК и свободному размещению в активной зоне стержней регулирования открыли возможность использования «гибкости» активной зоны в полной мере. Довольно мелкий шаг ТВС (32 мм) позволяет создавать в активной зоне разнообразные облучательные каналы со своим спектром нейтронов.

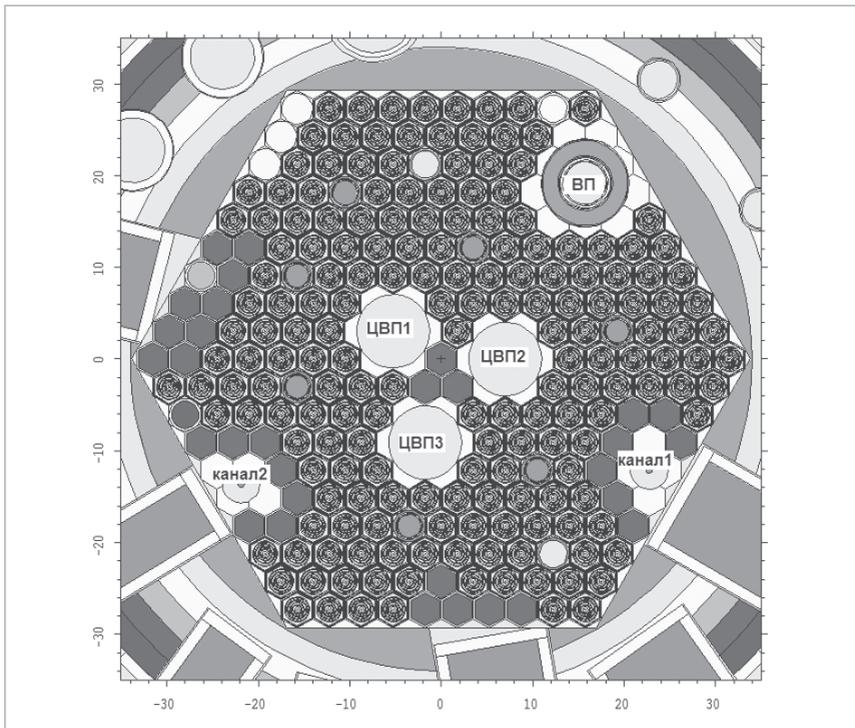


Схема активной зоны ВВР-М



Манипуляторы НРК



Осмотр твэла в НРК



Вид здания реактора ВВР-М с северо-восточной стороны

Рост научных исследований требовал и расширения лабораторных площадей. Здание реактора обростало пристройками со всех сторон. Все они активно используются. Пожалуй, не нашли применения только пятисекционные боксы, продолжающие цепочку горячих камер реактора. Такая цепочка позволяет организовать производство радиоактивных источников на продажу. Ранее даже слово «продажа» не воспринималось как что-то значимое по сравнению с научной разработкой, а теперь мы продаем радиоактивные изотопы только как сырье для изготовления товарных источников и на этом много теряем.

Остановлюсь на одной работе реакторщиков, которая в финале получила неожиданный результат. Речь идет об увлечении нейтронов движущейся средой. Эффект представлялся очевидным. Инициатором явился А. А. Кострица из Ташкента. Он рассчитал эффект и предложил нам, а именно Д. М. Каминкеру, провести эксперимент. Давид Моисеевич горячо поддержал А. А. Кострицу, и мы с участием Ю. В. Петрова провели этот эксперимент на выделенном нейтрон-

ном пучке. Эффект, естественно, подтвердился, и казалось – это все, однако Ю. В. Петров придумал, как из этих данных оценить коэффициент диффузии нейтронов в воде. Получился новый независимый метод измерения этого коэффициента. Полученный коэффициент совпал с ранее известным. Все, особенно работавшие в зале экспериментаторы, были довольны, когда мы убрали громко шумевшие насос и трубы.

Совершенствованию отдельных систем реактора, повышающих его безопасность и экспериментальные возможности, предела нет. В каждой службе шли и идут работы такого рода. Дозиметристы под руководством В. А. Соловьева, Л. М. Площанского и Е. А. Коновалова создали действительно современную для своего времени систему дозконтроля. Разработали гамматрон для калибровки приборов и сделали еще несколько изобретений. Электрики перешли от выработавших ресурс электромашинных преобразователей к транзисторным. Массу усовершенствований провели механики, включая замену главных циркуляционных насосов и трубопроводов. Служба радиохимии (С. П. Орлов) освоила облучение целого ряда химических элементов и, что наиболее важно, минералов. Они работают в тесном контакте с Радиевым институтом и НИИ «Прометей», которые изготавливают источники для медицины и промышленности.

С 1998 года ПИЯФ производит Мо-99. В результате совместной работы с НПО «Радиевый институт» им. В. Г. Хлопина налажено бесперебойное снабжение в достаточном количестве клиник Санкт-Петербурга радиофармпрепаратом на основе Тс-99m, с помощью которого обследуется около десяти тысяч пациентов в год. Производится примерно 500 Ки в год. При необходимости нарабатываемая активность может быть увеличена в два-три раза.

С 2006 года производится наработка радионуклида I-125 медицинского назначения. В ПИЯФ кроме традиционной ампульной технологии разработана уникальная экспресс-технология, которая позволяет сократить до недели реакторный цикл наработки радионуклида.

На реакторе нарабатывается изотопа I-125 примерно 150 Ки в год. Производство можно увеличить до 700 кКи в год. Довольно высокий нейтронный поток в реакторе ВВР-М позволил организовать производство как технических, так и медицинских изотопов, удовлетворяющих самым высоким требованиям рынка.

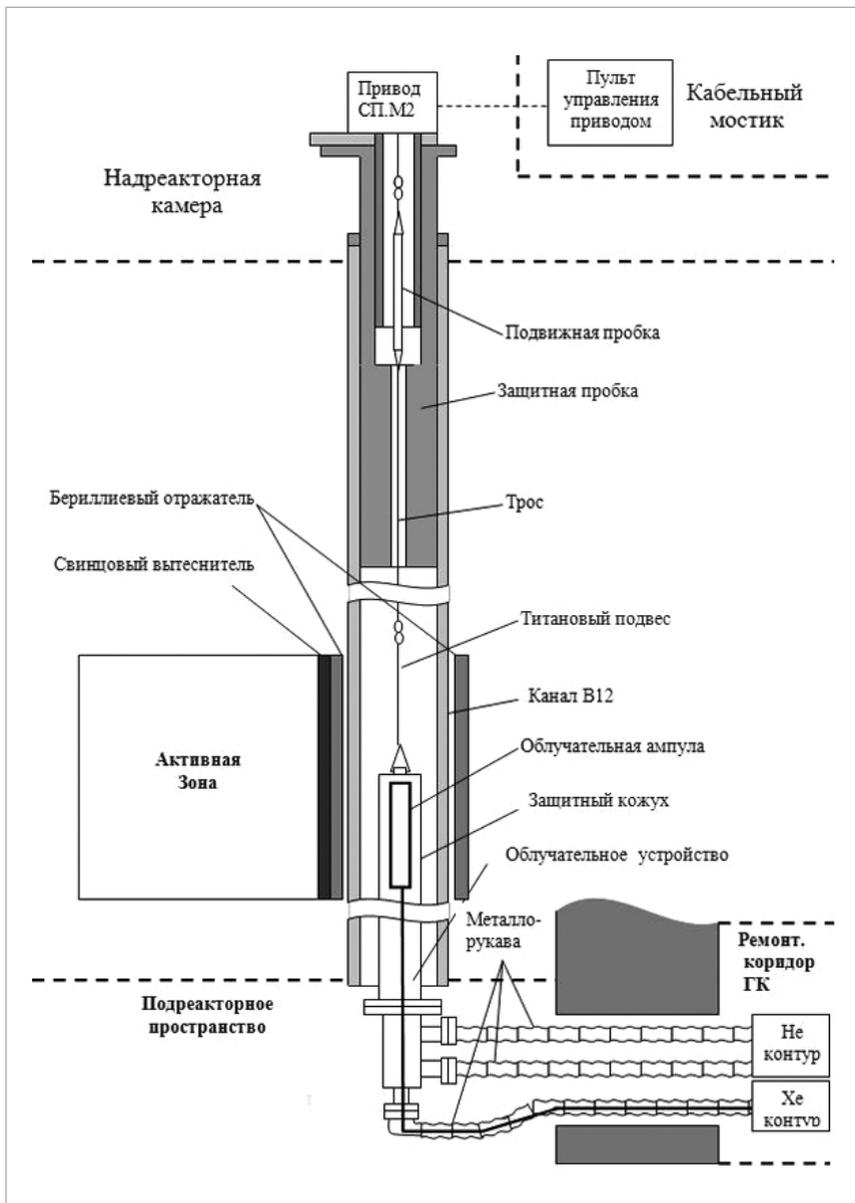


Схема уникальной установки в канале реактора ВВР-М для наработки I-125

Служба СУЗ и КИП вела и ведет непрерывное совершенствование для выполнения возрастающих требований к надежности управления реактором. К 2000-ым годам моральное старение аппаратуры стало раздражать как операторов, так и надзорные органы. К подготовке такой замены приступили.

Уже с первых годов работы стали возникать трудности со своевременной отправкой на переработку отработанных твэлов на комбинат «Маяк». В хранилище отработанных тепловыделяющих сборок (ОТВС) не хватало места. Хранилище модернизировали и почти удвоили его емкость, но и этого становилось мало. Главному инженеру реактора Ренарду Григорьевичу Пикулику со своими сотрудниками удалось найти место для второго хранилища значительно большей емкости. В 1976 году его ввели в строй. К этому времени отправка ОТВС стала просто редкостью, а позже, с переходом на новую экономическую систему в сочетании с повышенными требованиями к безопасности, еще и непомерно дорогой.

Небольшая технологическая группа в филиале ФТИ постепенно набирала силу и опыт и преобразовывалась в сектор физики и техники реакторов (ФТР), затем в отдел. Были образованы лаборатории критэкспериментов, разделения изотопов водорода, реакторной теплофизики и металлов.

Водный режим и его задачи

Загадок было две: радиолиз и коррозия.

Под действием излучения в воде происходит радиолиз. Из молекулы воды получается довольно много нейтральных молекулярных образований, радикалов возбужденных молекул и свободных электронов. В итоге всех промежуточных реакций в реакторной воде в дополнение к растворенному воздуху накапливаются водород и перекись водорода. Присутствие водорода требует каких-то мер для предотвращения взрывоопасной ситуации. Энергия, необходимая для развала молекулы воды, хорошо известна и обычно характеризуется числом частиц на 100 эВ поглощенной энергии. Это число разное для разных видов излучения. В активной зоне реактора можно оценить количество молекул, подвергающихся радиолизу, и это количество будет пропорционально мощности реактора.

В проекте реактора ВВР-С мощностью 2 МВт была установлена система, которая, по мысли проектировщика, должна поддерживать концентрацию водорода в воде на определенном уровне. С этой целью часть воды после съема тепла в активной зоне направлялась в систему под названием «деаэратор». Там поток воздуха встречается с водой в виде капель и пленок, и происходит обмен газов, растворенных в воде, с продуваемым воздухом. (В промышленности такой процесс называется аэрацией.) Воздух, обогащенный водородом, выбрасывался в атмосферу.

Казалось бы, для сохранения концентрации водорода в воде на прежнем уровне при повышении мощности реактора с 2 до 10 МВт необходимо в пять раз увеличить деаэрацию. В проекте ВВР-С расчета этой системы и данных о допустимой концентрации не было. После малоэффективных консультаций с проектантами мы, а точнее Русинов и Коноплев, решили оставить систему деаэрации без изменений и изучать в процессе вывода реактора на мощность. Неприятности начались сразу, но не с водородом. Вместе с водородом в атмосферу выбрасывались все радиоактивные газы, которыми охлаждающая вода насыщалась при охлаждении активной зоны. Наибольший вклад по активности давал аргон-41. Стабильный аргон-40 присутствует в воздухе и в воде, а под действием нейтронного облучения образуется аргон-41. Период полураспада невелик, менее ста десяти минут, но в принятой схеме деаэрации он не успевает распасться до выброса в атмосферу. Свой вклад добавляли и осколочные криптоны, ксеноны и аэрозоли, особенно при использовании первого комплекта твэлов. Так что водород водородом, а надо было менять схему. Решили замкнуть систему не только по воде, но и по воздуху.

С помощью Б. П. Константинова получили от академика И. К. Кирина две прекрасные газодувки, установили в контуре платиновый катализатор для сжигания водорода и сократили выброс в десятки раз. Контур был сконструирован в КБ нашего института, изготовлен и смонтирован службой механиков. Работу возглавлял начальник смены Юрий Павлович Семенов. С непонятным явлением столкнулись сразу. По мере увеличения мощности реактора перепад температуры газа на катализаторе возрастал только до какого-то предела, а затем оставался постоянным. К работе подключился Вениамин Дмитриевич Тренин, он организовал измерение водорода и других продуктов радио-

лиза в газе и воде. Первое пришедшее на ум объяснение постоянства мощности катализатора сводилось к особенностям самого катализатора и было быстро отброшено. Концентрация водорода в воде первого контура достигала насыщения в районе 2 МВт и оставалась постоянной до максимально достигнутой – 10 МВт. Естественно, что объяснение этой «загадки» – в рекомбинации. Эти исследования показали, что от системы деаэрации можно отказаться, что и было сделано. Схема первого контура заметно упростилась, а каньон деаэратора полезно использовался для других целей. Наш опыт позволил и на других реакторах типа ВВР-С отключить системы деаэрации и не применять ее в новых проектах. Этот материал послужил основой для диссертации В. Д. Тренина.

Стационарный уровень концентрации водорода сильно различается для разных реакторов. При примерно одинаковой мощности дозы в активной зоне разных реакторов стационарная концентрация различается в разы. Такая же картина и при сравнении полных мощностей разных реакторов. По всей видимости, процесс рекомбинации очень сильно зависит от многих условий.

Вторая наша «загадка», коррозионная, была связана с отсутствием в проекте системы поддержания водно-химического режима. Ионообменные смолы в 50-х годах только начали применяться. Для подготовки подпиточной воды мы (В. Т. Шаров, В. Д. Тренин, В. М. Ганжа и А. Ф. Иванченко) изготовили установку обессоливания, но в контуре системы водоподготовки не было. Вода в первом контуре постепенно теряла свою прозрачность так, что стало плохо видно активную зону при перегрузке твэлов. Попытки очистки на механических фильтрах оказались неэффективными. По предложению Антона Ильича Егорова провели исследование электрофорезного способа очистки. Даже первая, не самая удачная, конструкция электрофорезного фильтра позволила очистить воду. В дальнейшем в контуре установили довольно узкие пределы колебания кислотности и содержания примесей. Использовали и ионообменные, и электрофорезные фильтры – коррозионные проблемы были решены. Тем не менее в первые месяцы работы реактора образовалась высокая концентрация окислов алюминия, главным образом в форме гидридов, которая нанесла повреждения металлу в местах повышенной скорости воды в выходных сечениях отверстий опорной решетки. Проверка состояния этих отверстий входит в объем ежегодных обследований, но по-

сле определения и поддержания водного режима повреждений металла больше не наблюдалось.

Поддержание химического состава воды в нужных пределах позволило в дальнейшем избежать подобных трудностей. Более того, в хранилищах облученных твэлов не наблюдается их коррозия, что позволило твэлы, хранящиеся там несколько десятков лет, при необходимости возвращать в активную зону и дожигать.

Корпус реактора, каналы и твэлы изготовлены из алюминиевого сплава САВ-1. В случае необходимости использовать стальные детали в контакте с алюминиевыми необходимо учитывать опасность электрохимической коррозии. Разность электрохимических потенциалов чистых алюминия и железа больше одного вольта. Скорость коррозии зависит от состава водной среды. Эксперименты показали, что в узком диапазоне колебания водородного показателя рН и низкой электропроводности коррозия в соединении нержавеющей стали со сплавом САВ-1 практически не идет.

С 1967 года удалось упростить конструкцию каналов для стержней регулирования, используя стальную вставку. В этом же диапазоне рН ($5,0 \div 6,5$) и удельной электрической проводимости воды в пределах ($1 \div 4$) 10^{-4} Ом/м коррозия САВ-1 также не превышает допустимых 0,01 мм в год.

Где предел работоспособности реактора?

Естественно, предел работоспособности реактора возникает с окончанием потребности в полезном использовании и при невозможности или экономической нецелесообразности поддерживать ресурс безопасной работы. Что касается ВВР-М, то востребованность есть, в первую очередь для работ по фундаментальным задачам современной физики.

Безопасная работа реактора определяется соответствием его систем текущим требованиям и нормам для исследовательских реакторов. Нормативные требования с годами ужесточаются, и независимо от технического состояния и возраста каждый реактор должен совершенствовать свои механизмы и системы. Такая работа идет непрерывно. Заменены трубопроводы, поскольку это дешевле, чем обосновать их соответствие современным требованиям на изготовление. Заменены глав-

ные циркуляционные насосы, поскольку на старых (марки УФФА МГУ) сносились валы. Кстати, замена, несмотря на согласованные с заводом технические требования, привела не к увеличению расходов, а к сокращению, хотя и незначительному. Меняли градирню и несколько раз обновление новой градирни.

Не буду перечислять многочисленные текущие замены, их много, и это текущая жизнь. Упомяну два существенных момента. Разработан резервный пульт управления. В случае невозможности по различным причинам управлять реактором с пульта оператор должен иметь возможность наблюдать за поведением реактора из другого безопасного места. Раньше довольствовались дозиметрическим контролем, теперь требуется регистрация нейтронных и теплогидравлических параметров. Ждет замены система управления и защиты (СУЗ) на современных элементах. На многих исследовательских реакторах полностью заменили СУЗ, включая пульты. К сожалению, на этих реакторах сравнительного анализа по вероятности отказов СУЗ нет. Менять все же надо, хотя бы исходя из морального старения.

Важный момент для продления работы реактора – подготовка кадров. Этот отнюдь не последний, а, пожалуй, первый по значимости момент занимал, занимает и должен в дальнейшем занимать самое пристальное внимание руководства.

Первые эксперименты на реакторе ВВР-М

Г. А. Петров, Р. Ф. Коноплева, С. Р. Новиков

Поздней осенью 1959 года вся Лаборатория ядерной изомерии жила в напряженном ожидании физического пуска реактора ВВР-М. Однажды утром профессор Л. И. Русинов буквально ворвался в комнату № 29 и, как всегда скороговоркой, произнес: «Надо срочно выполнить физические измерения коэффициента внутренней конверсии для изомерного состояния ^{152m}Eu из реакции $^{151}\text{Eu}(n, \gamma)^{152m}\text{Eu}$ ». Всяким дальнейшим расспросам и сомнениям был быстро положен конец: сечение ^{151}Eu равно примерно 9 000 барн, нейтроны есть в критсборке реактора ВВР-М, а Ежегодная спектроскопическая конференция – в январе 1960 года в Москве! И точно в срок профессор Л. И. Русинов торжественно заявил изумленным участникам конференции: «Есть гатчинский нейтрон!»

В 20-х числах января 1960 года профессор Л. И. Русинов на Всесоюзной конференции по ядерной спектроскопии выступил с сообщением о результатах первого эксперимента, проведенного с гатчинскими нейтронами, полученными на критической сборке исследовательского реактора ВВР, физический пуск которого был произведен 29 декабря 1959 года в Орловой роще города Гатчины.

В июле 1960 года после физического пуска в конце декабря 1959 года реактор ВВР-М был подготовлен к выходу на номинальную мощность 10 МВт. Мощность поднималась постепенно, ступенчато, с промежуточными остановками. Сотрудникам Лаборатории неравновесных электронных процессов в полупроводниках ФТИ им. А. Ф. Иоффе было предложено провести измерения распределения плотности потока быстрых нейтронов в каналах реактора с помощью полупроводниковых датчиков.

Впервые был использован довольно простой метод, основанный на изменении электропроводности полупроводников при облучении быстрыми нейтронами, в отличие от обычно используемого метода пороговых индикаторов с применением фольг из серы, фосфора и алюминия, в котором поток нейтронов определяется по наведенной ими активности облученных фольг.



Слева направо: Г. А. Петров и Ю. А. Гурьян – главные участники первого эксперимента с гатчинскими нейтронами. Совсем молодой тогда старший лаборант А. И. Окорочков помогал облучать образцы



Авторы первой экспериментальной работы на реакторе ВВР-М.
Слева направо: С. Р. Новиков и Р. Ф. Коноплева, а также профессор V.A.J. van Lint (США) и руководитель реактора ВВР-М К. А. Коноплев

Как известно, при облучении полупроводников быстрыми нейтронами в них возникают дефекты кристаллической решетки, концентрация которых пропорциональна полному числу прошедших через образец нейтронов. Появление дефектов приводит к изменению концентрации носителей тока, то есть к изменению электропроводности. Дефекты кристаллической решетки возникают при облучении полупроводников быстрыми нейтронами, энергия которых больше некоторой критической. Величина критической энергии зависит от конкретной кристаллической структуры полупроводника. Для германия, например, $E_k = 300$ эВ. Дефекты могут создаваться и гамма-квантом, однако число дефектов, образованных одним гамма-квантом, приблизительно в 10 000 раз меньше числа дефектов, образованных одним быстрым нейтроном. Так как в описываемом эксперименте поток гамма-квантов был одного порядка с потоком быстрых нейтронов, долей дефектов, созданных гамма-квантами, можно пренебречь. При этом изменение электропроводности пропорционально плотности потока быстрых нейтронов, что и было использовано для измерения относительного распределения потока быстрых нейтронов в каналах реактора ВВР-М.

В качестве датчиков нейтронного потока использовались образцы германия *n*-типа с удельным сопротивлением 1 ом · см размерами 10 × 1 × 1 мм. Образцы, помещенные в кадмиевые чехлы толщиной 0,5 мм, располагались в вертикальном канале отражателя по высоте активной зоны на равном расстоянии друг от друга.

В нашей работе измерения проводились в каналах, где отношение потока тепловых нейтронов к быстрым не превышало 10, и кадмиевый экран толщиной 0,5 мм был достаточен для того, чтобы снизить вклад тепловых нейтронов в изменение электропроводности до величины порядка 10 %.

Электропроводность образцов измерялась в процессе облучения по изменению силы тока при постоянном напряжении, приложенном к образцу.

Таким образом, данный метод позволил достаточно просто измерять относительное распределение потока быстрых нейтронов с энергией выше 300 эВ.

Эта первая экспериментальная работа, выполненная на реакторе ВВР-М в июле 1960 года, была опубликована в декабрьском журнале «Атомная энергия» (Р. Ф. Коноплева, С. Р. Новиков. Атомная энергия, т. 11, вып. 6, 1961, с. 546).

Физический расчет реактора ВВР-М. Создание и совершенствование расчетной малогрупповой модели реактора*

А. Н. Ерыкалов

Первые нейтронно-физические расчеты реактора ВВР-М были начаты в 1956 году по просьбе научного руководителя Л. И. Русинова. Было показано, что, за исключением области резонансного поглощения нейтронов в ^{238}U , реактор можно считать гомогенным. Для расчетов была выбрана трехгрупповая диффузионная модель, рекомендованная Р. В. Дейчем. Диффузионные уравнения решались численным методом разностной факторизации, почерпнутым из докторской диссертации Г. И. Марчука. По сравнению с аналитическим методом, этот метод позволяет легко учитывать многослойные области и вести расчет при коэффициенте размножения, не равном единице. Первые вычисления выполнялись на механических арифмометрах «Феликс», позже – на электрических «Мерседес» и «Рейнметалл». С появлением ЭВМ расчеты выполнялись на ЭВМ «Минск» и «БЭСМ-6». Весной 1960 года первые расчеты были опубликованы в отчете, в котором кроме прямых расчетов реактивности и нейтронных потоков был использован формализм теории возмущений для оценки вклада в реактивность изменений размеров реактора и влияния на нейтронные потоки отдельных изменений конструкции. Для проверки правильности расчетов были выполнены измерения на критических стендах.

Критические эксперименты с различными модификациями твэлов ВВР-М проводились на критических стендах ПИЯФ, Maryla в ИЯИ (г. Свек, Польша) и критстенде БИОР ПИЯФ в 1961–1980 годах. Для использования измеренных критических масс в качестве тестовых значений для расчетных программ критические эксперименты должны были быть выполнены с высокой точностью. Оказалось, что основной вклад в погрешность измерений вносят «развал» ТВС (то есть изменение водного зазора между ТВС из-за люфта хвостовиков ТВС в опорной решетке) и различие в физических свойствах отдельных ТВС. Для исключения

* Статья печатается в сокращенном варианте. Полный текст статьи: сб. «Реактору ВВР-М – 50 лет». Изд-во ПИЯФ РАН: Гатчина, 2009.

развала головки ТВС стягивались резиновым биндом. Погрешность в критической массе из-за неидентичности ТВС достигала 0,3 %. Объем металла активной части ТВС и, следовательно, доля воды в активной зоне уточнялись измерениями вытеснения жидкости активной частью ТВС. В отличие от общепринятых методик с фиксацией критичности по уровню воды, в критической сборке была предложена методика набора кольцевых критических масс с центральной водной полостью. Изменяя диаметр полости, можно получить весь набор критических масс от минимального до максимального размера, который допускается диаметром отражателя. Оказалось, что толщина цилиндрического слоя активной зоны (d) приблизительно остается постоянной. Такой подход позволил ограничиться в расчетах одномерными диффузионными уравнениями. По мере накопления экспериментальных данных диффузионные параметры модели были уточнены.

Основной «продукцией» реакторов для физических исследований, и реактора ВВР-М в их числе, являются нейтроны, вытекающие из активной зоны в области, где расположены экспериментальные устройства. Поэтому диффузия нейтронов при замедлении должна быть рассчитана тщательно. В групповом приближении ширина энергетического интервала должна быть достаточна для того, чтобы в нем произошло диффузионное запутывание нейтронов. Если ширина энергетического интервала мала по сравнению с потерей энергии нейтрона при столкновении, то в группе останутся только рассеянные нейтроны на малый угол, то есть их индикатриса рассеяния не будет изотропной.

Е. А. Гарусовым и Ю. В. Петровым было показано, что в водо-металлических смесях диффузионная модель должна быть двухгрупповой и увеличение числа групп ухудшает ее точность. Это обстоятельство защищало от соблазна введения большого числа групп для детализации спектра нейтронов и тем самым упрощало расчет.

Для областей с сильным поглощением нейтронов, граничащих с областями со слабым поглощением, пространственное распределение замедлившихся нейтронов удовлетворительно описывается двумя перекрывающимися по энергии тепловыми группами. Этим обеспечивается правильное распределение энерговыделения вблизи границы активной зоны с отражателем и ловушкой.

С помощью изменения величины возраста (в пределах погрешности его измерения) нейтронов в быстрой группе можно учесть как

различные малые поправки теории, так и технологический разброс параметров твэлов при их заводском изготовлении. Уточнение значения возраста нейтронов производилось нормировкой на одно из измеренных значений критической массы. Сравнение расчетных и измеренных других кольцевых критических масс, набранных из одной партии твэлов, дает возможность установить точность расчета.

Малогрупповая расчетная модель широко использовалась при перестройке активной зоны под различные физические эксперименты и совершенствование реакторной базы. С ее помощью были оптимизированы твэлы ВВР-М, обосновано свободное размещение регуляторов и т. д. Решение трехгрупповых диффузионных уравнений по одномерной программе на РС-386 составляло около одной минуты. Торцевая утечка нейтронов учитывалась вкладом в лапласиан. Поскольку ТВС ВВР-М представляют собой шестигранники, были разработаны гексагональные программы НЕХА. Они решают диффузионные уравнения на гексагональной сетке с шагом 3,5 см, используя одну расчетную точку на ячейку. Время счета на РС-386 составляло около трех минут. Двумерный вариант расчетной модели НЕХА был верифицирован при активном участии Д. В. Чмшкяна в 2003 году и используется для сопровождения эксплуатации реактора.

Твэлы реактора ВВР-М – объект постоянного изучения и модернизации*

К. А. Коноплев, Г. А. Кирсанов

Рост объема научных исследований на реакторе ВВР-М ставил перед реакторщиками задачу повышения производительности реактора, т. е. увеличения потока нейтронов в экспериментальных каналах. Созданные в конце 50-х годов отечественные ТВС, состоящие из трубных бесшовных твэлов (ТВС типа ВВР-М с топливной композицией в виде металлокерамики UO_2 -Al и, начиная с 1963 года, ТВС типа ВВР-М2 с композицией в виде сплава U-Al), имели значительный теплофизический запас, что позволило уже в первые годы работы реактора систематически повышать его мощность. К 1966 году стационарная мощность реактора была поднята до 16 МВт. Имел место даже кратковременный выход на мощность 18 МВт. Начатые в начале 70-х годов теплогидравлические исследования, в результате которых были измерены гидравлические характеристики твэлов, распределение потоков воды в элементах активной зоны, температуры оболочки твэлов в наиболее теплонапряженных местах активной зоны, предельно допустимые плотности теплового потока, позволили сделать вывод, что возможности дальнейшего повышения удельной мощности реактора при использовании ТВС типа ВВР-М2 уже исчерпаны. Максимальная температура оболочки твэлов уже достигла температуры насыщения и, хотя запас до критической тепловой нагрузки был еще достаточно велик ($> 2,5$), дальнейшее повышение удельной тепловой мощности, а следовательно и плотности потока нейтронов, было уже сопряжено с появлением пристеночного кипения на поверхности твэлов. Специальными экспериментами было показано, что коррозионная стойкость материала оболочек твэлов (сплав САВ-1) в специфических условиях пристеночного кипения еще достаточно высока для весьма ограниченного срока работы твэла в таком режиме, тем не менее появление паровой фазы в активной зоне могло оказывать нежелательное влияние на регулирование реактора. Поэтому были исследованы возможности повышения удельной тепловой мощности путем изменения конструкции твэлов.

* Статья печатается в сокращенном варианте. Полный текст статьи: сб. «Реактору ВВР-М – 50 лет». Изд-во ПИЯФ РАН: Гатчина, 2009.

Для условий реактора ВВР-М были определены оптимальные сочетания толщины твэлов и зазора между ними для различного числа твэлов в сборке при сохранении размеров элементарной ячейки, т. е. без изменения конструкции решеток и бериллиевого отражателя. Выбор был остановлен на 6-элементной сборке с толщиной твэлов 1,25 мм и зазором 1,5 мм (ТВС типа ВВР-М3). Центральный твэл этой сборки из технологических соображений был выполнен в виде стержня. Новый тип твэлов обеспечивал увеличение удельной теплопередающей поверхности в 1,8 раза, что при некотором ухудшении условий теплоотдачи давало выигрыш в удельной тепловой мощности в 1,5 раза при сохранении прежних ограничений на температуру оболочки твэлов. Такая конструкция ТВС позволяла осуществить постепенный переход на новые ТВС, так как допускала одновременную эксплуатацию в активной зоне старых и новыхборок.

Дальнейшее совершенствованиеборок шло по двум направлениям. Во-первых, было существенно уменьшено гидравлическое сопротивление и улучшена равномерность охлаждения твэлов за счет изменения конструкции концевых деталей. Во-вторых, была увеличена загрузка топлива почти в 2 раза, что уменьшало топливную составляющую эксплуатационных затрат и повышало коэффициент размножения в активной зоне.

Первые ТВС усовершенствованной конструкции (ТВС типа ВВР-М5) были загружены в реактор в октябре 1978 года. По мере выгорания активная зона догружалась этими же сборками, и к лету 1980 года реактор был переведен на них полностью.

До перехода на новые ТВС реактор работал обычно на мощности < 16 МВт из-за теплотехнических ограничений на ТВС типа ВВР-М2. При переходе на ТВС типа ВВР-М5 мощность реактора была повышена до 18 МВт, несмотря на уменьшение числа ТВС в активной зоне с ~ 200 до ~ 130. Увеличение полной и удельной мощности реактора сопровождалось ростом нейтронного потока в экспериментальных каналах. Кроме того, в освободившиеся ячейки активной зоны были помещены дополнительные экспериментальные устройства.

Если на твэлах ВВР-М2 из 271 ячейки активной зоны на экспериментальные устройства выделялось 60–65 ячеек, то на твэлах ВВР-М5 реально используется 110–130 ячеек. Практически почти каждая вторая ячейка активной зоны загружена экспериментальным устройством. Из-

за меньшего годового расхода твэлов снизилась топливная составляющая затрат реактора в 1,4 раза по сравнению с твэлами ВВР-МЗ, даже в том случае, когда избыточная реактивность тратилась в основном на увеличение числа экспериментальных устройств в активной зоне.

Несмотря на уменьшение толщины лакирующего слоя и увеличение концентрации осколков деления в сердечнике твэлов, времени их пребывания в реакторе и удельной энергонапряженности, дозиметрическая обстановка на реакторе практически не изменилась.

Переход на тонкую оболочку несколько увеличил выход осколков деления в воду первого контура. Активность ^{85m}Kr возросла с $(1-2) \cdot 10^{-6}$ до $(3-6) \cdot 10^{-6}$ Ки/л. Тем не менее мощности дозы в насосной, активность воздуха в технологических помещениях и другие параметры, характеризующие условия работы в здании реактора, не изменились. Например, активность воздуха над баком реактора как была на уровне $(0,2-7,0) \cdot 10^{-7}$ Ки/л, так и осталась $(0,5-3,2) \cdot 10^{-6}$ Ки/л в 1980–1981 годах. Объясняется это обстоятельство очень просто: осколочные продукты не определяют условия работы на реакторе, их вклад сам по себе мал.

Аналогична ситуация и с выбросом радиоактивных газов в атмосферу, он сохраняется с 1972 года на примерно постоянном уровне: 0,12 Ки/(МВт · ч) и определяется активационным изотопом ^{41}Ar .

В процессе перехода на ТВС ВВР-М5 были выполнены их всесторонние испытания вплоть до работы при форсированных удельных нагрузках до 900 кВт/л, что является рекордным для твэлов исследовательских реакторов бассейнового типа.

Температурные измерения в активной зоне реактора с помощью ТВС ВВР-М5, оснащенной миниатюрными термопарными датчиками, а также измерения зазоров вблизи наружного твэла, выполненные в 116 точках активной зоны, позволили установить, что номинальная величина зазора в некоторых местах вблизи таких устройств, как бериллиевый отражатель, ампулы, штанги, каналы СУЗ, не гарантирована. Это обстоятельство связано в первую очередь с изменением центровки или изменением размеров самих устройств, длительное время находящихся в эксплуатации. Ухудшение теплоотвода со стороны меньшего зазора провоцирует термический прогиб наружного твэла в сторону горячей грани, что может привести к повышению температуры твэла. Учет этого обстоятельства потребовал бы снижения допустимой мощности реактора, то есть ухудшения его экономических показателей.

Эта проблема была решена путем оребрения наружных твэлов ТВС ВВР-М5 встречными ребрами высотой 0,5 мм и шириной 1,5 мм.

Постановка таких твэлов вблизи экспериментальных устройств позволяет сохранить минимальный зазор, что устраняет опасность местного перегрева твэлов. Реакторные испытания 60 сборок позволили сделать заключение о том, что работоспособность оребренной сборки (ТВС ВВР-М7) до выгорания 40 % топлива практически не отличается от неоребреного прототипа, и принять их для серийного выпуска в качестве штатных ТВС реактора ВВР-М.

Таковы основные моменты исследования и модернизации твэлов реактора ВВР-М, которые не только обеспечили более чем тридцатилетнюю работу реактора на мощности, в полтора раза превышающей проектную, но и дали возможность постановки на нем уникальных экспериментов с расположением экспериментальных устройств непосредственно в активной зоне реактора.

Следует также отметить, что каждый этап модернизации твэлов был связан с преодолением целого ряда технологических трудностей. Главная из них заключалась в освоении технологии изготовления тонкостенных твэлов с малой толщиной плакирующей оболочки. Следующий этап заключался в замене сплавной топливной матрицы на металлокерамическую без изменения размеров твэлов (ТВС типа ВВР-М6). И наконец, последний этап – формирование сравнительно толстого ребра на тонкой оболочке твэла. Все эти трудности были успешно преодолены заводом-изготовителем.

Серийному выпуску каждого типа твэлов предшествовали длительные реакторные и петлевые испытания с подробным исследованием герметичности сборки в зависимости от выгорания, которые проводились на реакторе ВВР-М.

В результате этой работы была создана сборка твэлов с теплотехническими качествами на уровне лучших зарубежныхборок, которая имела одно существенное преимущество: позволяла оперативно менять конфигурацию активной зоны, создавая возможность размещения в ней различных экспериментальных устройств.

Создание новых твэлов следует рассматривать как одну из самых значительных работ коллектива Отдела физики и техники реакторов, как работу, которая во многом предопределила возможности и успехи физических исследований, выполненных на реакторе ВВР-М.

Теплофизика реактора ВВР-М*

Г. А. Кирсанов

Производительность исследовательского реактора можно характеризовать числом событий, произошедших в научной аппаратуре или в облучаемых устройствах. Она в значительной степени определяется возможностями теплоотвода от твэлов и от реактора в целом. Изучение этих возможностей и путей их улучшения являлось главной задачей сначала теплофизической группы, затем лаборатории реакторной теплофизики, которая организовалась из нескольких сотрудников группы, выполнявшей испытания термоэмиссионных преобразователей на петле низкого давления (ПНД) реактора ВВР-М. Процессы теплоотдачи от реакторных устройств определяются гидродинамикой течения воды, следовательно, к теплофизическим задачам прибавляются задачи гидродинамические, решение которых позволяет получить необходимые исходные данные.

Первая по времени решения задача теплофизиков заключалась в том, чтобы определить, как распределяется расход воды первого контура реактора ВВР-М между твэльным пространством активной зоны и бериллиевым отражателем. Сделанные разными людьми оценки значительно различались между собой, что вносило недопустимо большую погрешность в расчеты охлаждения твэлов и, следовательно, в расчеты максимально допустимой мощности реактора. Для проведения измерений была выполнена довольно сложная работа: из активной зоны были выгружены все тепловыделяющие сборки (ТВС), и на их место поставлена специально изготовленная пробка. Это позволило измерить гидравлическую характеристику отражателя, а затем и гидравлическую характеристику активной зоны и получить необходимые данные для теплофизических расчетов реактора.

Возможности увеличения мощности реактора за счет увеличения потока воды через твэлы изучались на специальном гидравлическом стенде, представлявшем собой уменьшенную копию реактора с моделью активной зоны из 37 макетов ТВС. Модель бака реактора была установлена в главном зале напротив тепловой колонны, огромный на-

* Статья печатается в сокращенном варианте. Полный текст статьи: сб. «Реактору ВВР-М – 50 лет». Изд-во ПИЯФ РАН: Гатчина, 2009.

сос размещался в специальном домике на улице, рядом с главным залом, трубы проходили через окно. На этом стенде были измерены гидравлические характеристики решеток реактора, ТВС и их концевых деталей, в результате чего были даны рекомендации по улучшению конструкции головок ТВС. Результаты исследований позволили создать методику теплогидравлического расчета активной зоны для произвольной загрузки ее ТВС и облучаемыми устройствами, а также привели к пониманию того факта, что повышение удельной мощности в активной зоне реактора невозможно без изменения конструкции ТВС.

В качестве новой конструкции ТВС был выбран оптимальный для реактора ВВР-М вариант – шеститрубная ТВС с центральным прутковым твэлом, в 1,77 раза превышающая сборку старой конструкции по площади теплопередающей поверхности. В результате была создана уникальная ТВС, превосходящая по своим теплогидравлическим качествам известные зарубежные аналоги.

На гидравлическом стенде были измерены гидравлические характеристики всех разновидностей ТВС (ВВР-М2, ВВР-М3, ВВР-М5), что позволило создать методику теплогидравлического расчета активной зоны реактора при загрузке в нее сборок разных типов.

Для экспериментального подтверждения расчетной методики ТВС прежнего и нового типов были оснащены в ГДР (на реакторе ВВР-С в г. Россендорфе) микротермопарами, позволявшими измерять температуру поверхности твэлов в активной зоне реактора при работе его на номинальной мощности. Микротермопары зачеканивались в плакирующую оболочку твэлов таким образом, что их наличие не влияло на гидравлику течения воды в каналах ТВС. Оснащенные термопарами ТВС загружались в наиболее горячие места активной зоны реактора. При проведении измерений менялась мощность реактора, а в некоторых случаях – и расход воды в первом контуре. Почти во всех измерениях было получено совпадение расчетных и измеренных значений температуры оболочки твэлов с точностью до определения энерговыделения в оснащенной термопарами ТВС. Эти измерения позволили добавить блок теплофизического расчета к программе нейтронно-физического расчета комплекса «НEXА-банк» и создать программу, которая используется до настоящего времени для оперативных расчетов загрузок активной зоны и допустимых значений мощности реактора.

В единичных случаях измеренные значения температур оболочек твэлов существенно превышали расчетные значения, и это отличие не могло быть объяснено погрешностью расчета энерговыделения в ТВС. Это обстоятельство инициировало измерение зазоров в активной зоне с помощью очень чувствительного самодельного прибора, который позволял измерять зазоры между наружным шестигранным твэлом ТВС ВВР-М5 и любым соседним с ним устройством. Были обнаружены места, где зазоры между ТВС и отражателем существенно отличались от номинальных, по-видимому, из-за особенностей монтажа бериллиевых блоков отражателя. Это обстоятельство стало учитываться при нагрузках активной зоны реактора.

Температурные измерения показали, что возможности увеличения мощности реактора за счет повышения температуры твэлов сопряжены с появлением пристеночного кипения на твэлах, что, по имеющимся в то время сведениям, могло привести к быстрому коррозионному повреждению оболочек твэлов. Изучили эту опасность на коррозионном стенде, где моделировалось интенсивное пристеночное кипение на фольгах, изготовленных из материала оболочек твэлов (алюминиевый сплав САВ-1) при параметрах потока и качества воды, аналогичных реакторным. Было обнаружено, что пристеночное кипение не представляет опасности для твэлов реактора ВВР-М из-за сравнительно малого времени их работы в реакторе в таком режиме.

На гидравлическом стенде были проведены уникальные эксперименты по измерению предельных тепловых нагрузок на твэлы реактора ВВР-М с пережогом макета твэла вследствие неустойчивости течения воды в параллельных каналах твэлов при появлении пристеночного кипения. Это позволило определить физический предел тепловой нагрузки твэлов реактора ВВР-М, который в 1,5 раза превышает тепловую нагрузку самого горячего твэла при работе реактора на максимально допустимой мощности.

Был предложен и опробован метод статистических расчетов предельно допустимой мощности реакторов ВВР-М и ПИК, учитывающий погрешности измерения и автоматические аварийные ограничения технологических параметров, а также погрешности используемых расчетных формул. Этот метод следует считать перспективным при условии приобретения новейшей вычислительной техники.

Результаты огромной расчетной и экспериментальной работы по изучению естественно конвективного расхолаживания твэлов с наложением встречной циркуляции в активной зоне реактора ВВР-М при исчезновении электропитания включены в техническое обоснование безопасности реактора.

Последней крупной работой, проведенной на реакторе, является изучение гидравлических характеристик первого контура. Эта работа позволила получить полную информацию, необходимую для выбора насосов и выполнения расчетов, связанных с гидравликой первого контура.

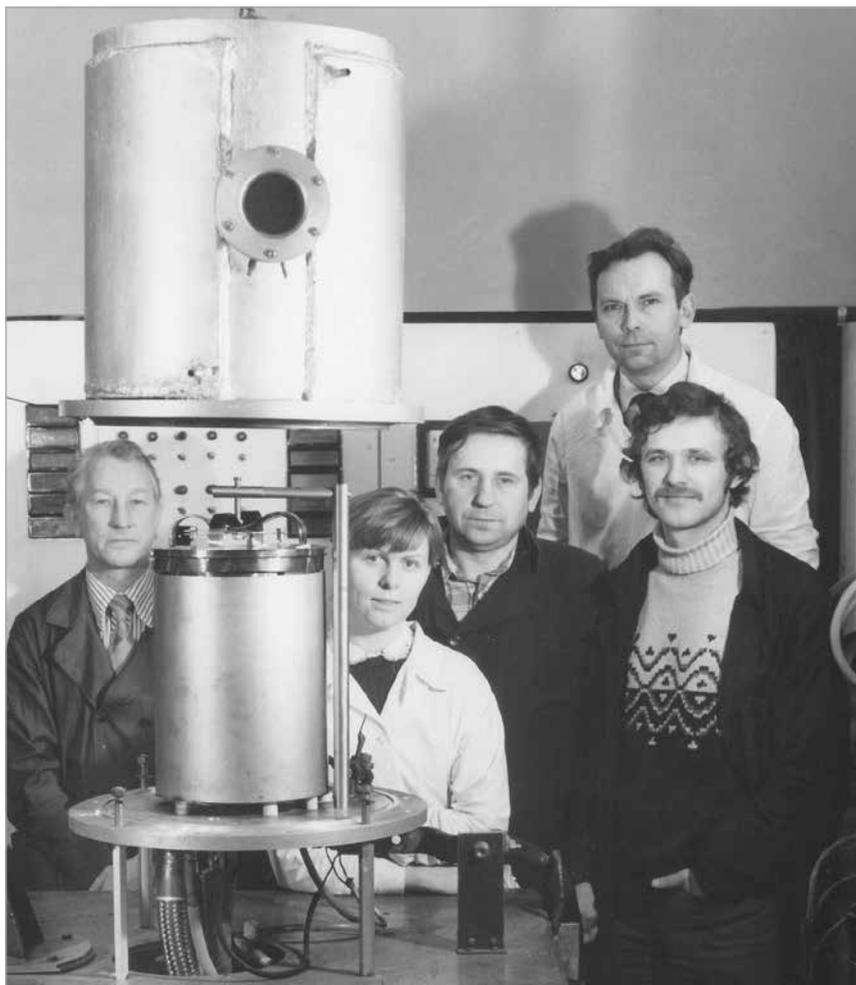
Это только перечень основных исследований по теме ВВР-М, выполненных Лабораторией реакторной теплофизики. Сюда нужно добавить бесчисленные оценки и расчеты температур в облучаемых устройствах и элементах конструкций реактора, участие в испытаниях новых твэлов прутковой конструкции в водяной петле и активной зоне и расчеты возможности их использования в качестве альтернативных твэлов. В обязанности лаборатории входит также изучение теплофизических и гидравлических проблем, связанных с созданием реактора ПИК и источника горячих нейтронов (ИГН) для этого реактора, но это уже тема другой статьи.

Состав и численность лаборатории менялись от максимального количества – 14 человек до минимального в настоящее время – 5 человек, но ее руководителем всегда был автор этих строк. Особо нужно отметить двух научных сотрудниц, сохранивших верность теплофизическим исследованиям наших реакторов. Это основной «компьютер» лаборатории Жанна Александровна Шишкина, обработавшая результаты практически всех экспериментальных измерений, и Наталья Анатольевна Грошева, участвовавшая в проведении большинства экспериментов. С их участием выполнены основные расчетные и экспериментальные работы. Неоценимую помощь в создании лабораторных установок оказали наши механики, ставшие впоследствии инженерами, Август Николаевич Сясин и Александр Николаевич Губинский. Большой благодарности заслуживают работы Сергея Викторовича Нагаева, особенно в области создания ИГН, и механика Михаила Васильевича Федотова. Постоянный интерес к работе, творческое участие, практические советы и помощь административного и научного руководителя Кира Александровича Коноплева всегда оказывали большое влияние на результативность работы этого коллектива.



В теплофизическую лабораторию пришло молодое пополнение (1981).

*Слева направо: М. В. Федотов, А. Крупенчиков,
А. Шестаков, С. Нагаев (стоят); В. Наумчик, Н. Грошева,
Г. А. Кирсанов, Ж. А. Шишкина (сидят)*



*Слева направо: А. Н. Сясин, Н. А. Грошева,
М. В. Федотов, Г. А. Кирсанов, С. В. Нагаев*

Часть 2

Отделение нейтронных исследований

История ОНИ и достижения

К. А. Коноплев, В. В. Федоров

Отделение нейтронных исследований ПИЯФ – первое по времени образования научное подразделение института. Истоки его создания относятся к рубежу 1950–1960 годов и связаны с именем профессора Льва Ильича Русинова, в то время заведующего лабораторией № 10 (ядерной изомерии) Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР (ФТИ), – инициатора и научного руководителя строительства исследовательского атомного реактора ВВР-М в Гатчине.

Л. И. Русинову принадлежит и заслуга в подборе первых сотрудников для работы на реакторе, которые составили костяк будущей Лаборатории нейтронных исследований (ЛНИ): В. С. Гвоздев, О. И. Сумбаев, К. А. Коноплев, И. А. Кондуров, Ю. В. Петров, В. М. Лобашев, Г. А. Петров, Г. М. Драбкин.

К великому сожалению, совершенно неожиданно незадолго до энергетического пуска реактора, 18 мая 1960 года, в возрасте 53 лет Лев Ильич Русинов ушел из жизни. После этого в течение года обязанности заведующего Лабораторией ядерной изомерии временно исполнял молодой тогда кандидат наук Олег Игоревич Сумбаев. Он к тому времени вместе с П. И. Лукирским создал первый в стране кристалл-дифракционный гамма-спектрометр и в 1957 году после блестящей защиты диссертации был приглашен Л. И. Русиновым на работу в ФТИ.



Профессор Лев Ильич Русинов (21.04.1907–18.05.1960)

В 1961 году инициативная группа в составе О. И. Сумбаева, В. С. Гвоздева, К. А. Коноплева, В. М. Лобашева, Ю. В. Петрова, И. А. Кондурова и Г. М. Драбкина обратилась к заместителю директора ФТИ по Гатчинскому филиалу Д. М. Каминкеру с просьбой образовать и возглавить новую лабораторию на основе Лаборатории ядерной изомерии, в которой к тому времени уже было несколько самостоятельных направлений исследований. Основания были следующие: во-первых, по общему мнению, возглавить такую лабораторию должен был достаточно хорошо известный ученый и обязательно доктор наук; во-вторых, очень нежелательно было получить в качестве руководителя «варяга». Давид Моисеевич охотно согласился на такое предложение.

В результате была образована ЛНИ, в состав которой вошли сектор ядерной изомерии во главе с В. С. Гвоздевым, сектор гамма-спектроскопии О. И. Сумбаева, сектор исследований конденсированного состояния (ИКС) Г. М. Драбкина, который инициировал в ЛНИ развитие новых для того времени исследований вещества методами рассеяния поляризованных нейтронов. Кроме того, в составе ЛНИ было еще несколько независимых групп по направлениям: небольшая лаборатория короткоживущих и редких изотопов А. И. Егорова, группа слабых взаимодействий В. М. Лобашева и группа ядерной электроники, руководителем которой был М. Н. Иванов. Несколько позднее сформировались группа физики и методов исследования возбужденных состояний ядер (ФИМИВСЯ) И. А. Кондурова и группа физики деления Г. А. Петрова.

В 1969 году после смерти на 43-м году жизни В. С. Гвоздева сотрудники его сектора и существующих групп положили начало новым секторам: сектору ядерной спектроскопии, который возглавил Д. М. Каминкер, сектору исследований слабых взаимодействий В. М. Лобашева, сектору физики деления Г. А. Петрова и сектору ФИМИВСЯ И. А. Кондурова.

Группа ядерной электроники превратилась сначала в службу, которую возглавил В. И. Кадашевич, потом в сектор и далее в Отдел автоматизации экспериментов на реакторах.

Сектор ИКС «вырос» в конечном счете в Отдел исследований конденсированного состояния (ОИКС) с новыми лабораториями, остальные секторы стали основой лабораторий, которые образовали Отдел нейтронной физики (ОНФ).

Первые руководители секторов



Профессор
Д. М. Каминкер
(24.05.1912–06.11.1976)



Зав. сектором ядерной
изомерии В. С. Гвоздев
(5.09.1928–14.02.1969)



Член-корреспондент
АН СССР О. И. Сумбаев
(4.02.1930–2.10.2002)



Академик
В. А. Назаренко
(7.07.1934–19.10.2006)



Академик
В. М. Лобашев
(29.07.1934–3.08.2011)



Профессор
Г. М. Драбкин
(23.12.1922–27.06.2014)



Профессор Г. А. Петров
(в настоящее время
г. н. с. ОНИ ПИЯФ)



Профессор
Ю. В. Петров
(10.12.1928–25.02.2007)



Зав. сектором ФИМИВСЯ
И. А. Кондуров
(13.02.1932–17.01.1999)

Сектор полупроводниковых детекторов, возглавляемый С. Р. Новиковым, вышел из Лаборатории неравновесных электронных процессов в полупроводниках, руководимой С. М. Рывкиным (ФТИ), и дал начало Отделу полупроводниковых ядерных детекторов и группе радиационной физики твердого тела Р. Ф. Коноплевой.

Отдельно создавался коллектив реакторщиков. Технологическая группа установки «Р» была образована приказом директора ФТИ А. П. Комара в 1957 году одновременно с КБ установки «Р». Руководителем технологической группы (главным технологом) был назначен К. А. Коноплев, а руководителем КБ – Н. Ю. Лагунов.

В отличие от КБ, технологическая группа входила в состав лаборатории № 10. Количество технологов быстро увеличивалось, и к моменту физпуска был сформирован необходимый персонал реактора. Под руководством главного инженера реактора ВВР-М К. А. Коноплева, назначенного на эту должность в начале 1960 года, технологи занимались и эксплуатацией реактора, и исследованиями в области физики и техники реакторов.

В конце 1967 года был образован сектор физики и техники реакторов (СФТР). В него вошло несколько лабораторий и цех эксплуатации реактора. В 1992 году сектор был преобразован в Отдел физики и техники реакторов (ОФТР), а в 2007 году службы эксплуатации реакторов были выделены из ОФТР. Сегодня в состав отдела входят Лаборатория разделения изотопов водорода (заведующий И. А. Алексеев), группа реакторной теплофизики (руководитель Г. А. Кирсанов), группа крит-экспериментов (руководитель К. А. Коноплев), группа реакторного материаловедения (руководитель Б. В. Кислицын), персонал физмодели ПИК (начальник А. С. Захаров) и служба изотопной очистки тяжелой воды (начальник С. Д. Бондаренко).

ОФТР в 2007 году выделился из ОНИ и был включен в состав подразделений реакторной базы института. Отдел возглавил С. Л. Смольский, а научным руководителем реакторной базы института стал член-корреспондент АИИН РФ К. А. Коноплев, долгие годы до этого беспрерывно руководивший отделом. В настоящее время отделом руководит С. Р. Фридман. Главным инженером реактора ВВР-М стал В. А. Илатовский, сменивший на этом посту Р. Г. Пикулика, исключительно много сделавшего для того, чтобы реактор работал бесперебойно и безопасно в течение многих лет.

Научная связь ОФТР и ОНИ сохранена как по существу решаемых проблем, так и взаимным участием в научном совете ОНИ и научно-техническом совете ОФТР.

В период с 1976 по 1981 год ЛНИ возглавлял член-корреспондент АН СССР О. И. Сумбаев, затем – профессор А. П. Серебров с 1981 по 1992 год. Оба исключительно много сделали для формирования научной программы исследований и организации эффективной работы лаборатории.

В 1992 году лаборатория была преобразована в Отделение нейтронных исследований, первым директором которого стал будущий академик В. А. Назаренко.

С 2002 по 2014 год отделение возглавлял профессор В. В. Федоров.

С 2014 года обязанности руководителя отделения исполнял доктор физико-математических наук В. В. Воронин, с 2015 года – доктор физико-математических наук А. И. Курбаков.



Сектор ядерной изомерии В. С. Гвоздева.

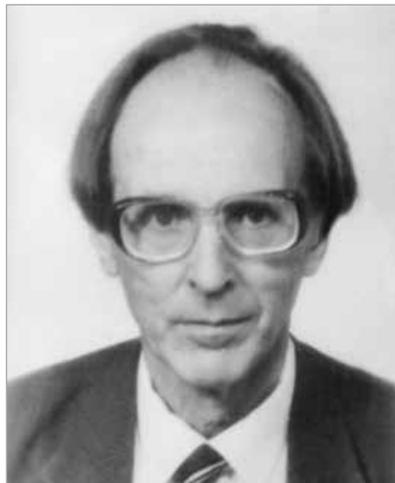
Первый ряд (слева направо): Света Василенко, Гера Порсев, Эля Усачева.

Второй ряд: Валя Румянцев, Виктор Иванович Крагин, Сергей Сахаров, Владислав Сергеевич Гвоздев, Юра Сергеенков, Боря Беляев, Юра Хазов,

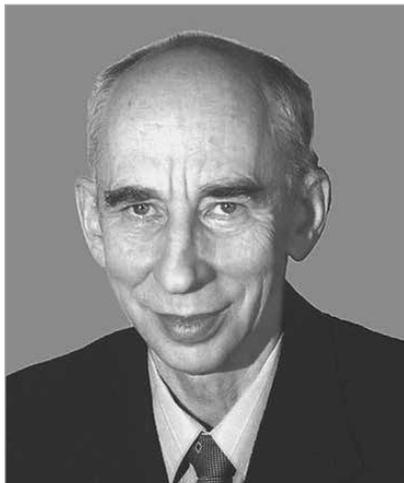
Володя Григорьев. *Третий ряд:* Боря Емельянов, Миша Кислов, Саша Боровиков

Первые исследователи и участники разработки программы научных исследований на реакторе ВВР-М

1. Бирюков В. В.	механик	21. Мазец Е. П.	м. н. с.
2. Боровиков А. В.	ст. лаб.	22. Малеев С. В.	м. н. с.
3. Варшалович Д. А.	ст. лаб.	23. Назаренко В. А.	м. н. с.
4. Воинова-Елисеева Н. А.	ст. лаб.	24. Новиков С. Р.	ст. лаб.
5. Гвоздев В. С.	м. н. с.	25. Огороков А. И.	ст. лаб.
6. Данилов В. В.	ст. лаб.	26. Петров Г. А.	м. н. с.
7. Драбкин Г. М.	м. н. с.	27. Петрова В. И.	ст. лаб.
8. Дюмин А. Н.	м. н. с.	28. Петрова Т. М.	ст. лаб.
9. Емельянов Б. А.	ст. лаб.	29. Плева Ю. С.	ст. лаб.
10. Егоров А. И.	м. н. с.	30. Порсев Г. Д.	ст. лаб.
11. Забидаров Е. И.	ст. лаб.	31. Саенко-Лобашева Л. А.	ст. лаб.
12. Звездкина Т. К.	инженер	32. Сахаров С. Л.	ст. лаб.
13. Кадашевич В. И.	ст. лаб.	33. Сергеев М. И.	механик
14. Касман Я. А.	инженер	34. Сергеенков Ю. В.	ст. лаб.
15. Кирсанов Г. А.	ст. лаб.	35. Сумбаев О. И.	м. н. с.
16. Кондуров И. А.	м. н. с.	36. Трунов В. А.	ст. лаб.
17. Коноплева Р. Ф.	м. н. с.	37. Филимонов Ю. И.	м. н. с.
18. Крагин В. И.	механик	38. Хазов Ю. Л.	м. н. с.
19. Лобашев В. М.	ст. лаб.	39. Харитонов Ю. И.	м. н. с.
20. Лузянин И. Д.	инженер	40. Юфа Б. Л.	механик



Академик РАН
Д. А. Варшалович



Член-корреспондент РАН
Е. П. Мазец

Коллектив ОНИ в течение многих лет работает на высшем мировом уровне. Целый ряд исследований, выполненных ОНИ в тесном сотрудничестве с ОФТР, получил широкую известность и признание как отечественной, так и зарубежной научной общественности.

Из первых разработчиков исследовательских программ и исследователей на реакторе трое стали академиками. Это Дмитрий Александрович Варшалович (ФТИ), Владимир Михайлович Лобашев и Владимир Андреевич Назаренко. Двое стали членами-корреспондентами РАН – Олег Игоревич Сумбаев и Евгений Павлович Мазец (ФТИ).

Наиболее важные результаты в области физики ядра и элементарных частиц

- Обнаружение P -нечетных эффектов в нуклон-нуклонных и нейтрон-ядерных взаимодействиях, доказавшее универсальность слабых взаимодействий, а также исследование новых интерференционных эффектов в делении тяжелых ядер нейтронами (В. М. Лобашев, В. А. Назаренко, А. П. Серебров, Г. А. Петров, В. А. Весна, А. И. Егоров).
- Рекордное для своего времени ограничение на величину электрического дипольного момента нейтрона (В. М. Лобашев, А. П. Серебров).
- Прецизионные измерения корреляционных констант в распаде нейтрона (А. П. Серебров, Б. Г. Ерозолимский, А. Н. Пирожков).
- Новое измерение времени жизни нейтрона с рекордной точностью методом хранения ультрахолодных нейтронов (УХН) в материальной ловушке (А. П. Серебров, А. Г. Харитонов, В. Е. Варламов, А. К. Фомин).
- Развитие метода магнитного удержания УХН в магнитной ловушке и измерение времени жизни нейтрона этим методом, подтвердившее результат материальной ловушки (В. Ф. Ежов, В. А. Князьков, В. Л. Рябов).
- Открытие (О. И. Сумбаев) эффекта упругой квазимозаичности кристаллов, разработка и применение прецизионных методов дифракционной рентгеновской и гамма-спектроскопии в физике (О. И. Сумбаев, А. И. Смирнов, Ю. П. Смирнов, В. Л. Алексеев, А. Ф. Мезенцев, А. А. Петрунин, А. С. Рыльников, В. М. Самсонов, А. Е. Совестнов, В. А. Шабуров).

- Теоретическое предсказание (В. В. Федоров) и экспериментальное обнаружение (О. И. Сумбаев, В. Л. Алексеев, В. В. Воронин, Е. Г. Лапин) сильных электрических полей, действующих на нейтрон в кристаллах без центра симметрии.
- Разработка новых дифракционных методов исследования фундаментальных свойств нейтрона (В. В. Федоров, В. В. Воронин).
- Обнаружение и исследование новых корреляционных явлений в тройном делении ядер поляризованными нейтронами (Г. А. Петров, А. М. Гагарский, И. С. Гусева).
- Создание источников холодных поляризованных и ультрахолодных нейтронов с рекордными параметрами (В. М. Лобашев, В. А. Назаренко, А. П. Серебров, А. Н. Пирожков, Э. А. Коломенский, В. А. Митюхляев, А. Ф. Щebetов).
- Комплекс исследований в ядерной спектроскопии (В. С. Гвоздев, И. А. Кондуров, Е. М. Коротких, Ю. Е. Логинов, В. В. Мартынов, А. А. Родионов, А. Г. Сергеев, Ю. В. Сергеенков, Ю. Л. Хазов).
- Создание новых методов и программ обработки и оценки ядерных данных (И. А. Кондуров, Л. П. Кабина, И. А. Митропольский, С. Л. Сахаров, Ю. В. Сергеенков, Э. И. Федорова, Ю. Л. Хазов).

В области физики конденсированного состояния

- Во всем мире известен монохроматор поляризованных нейтронов – «гармошка Драбкина».
- Создание метода трехмерного анализа поляризации рассеянных нейтронов, с помощью которого впервые с высокой точностью подтверждена гипотеза скейлинга (Г. М. Драбкин, А. И. Огороков, С. В. Малеев).
- Экспериментальное доказательство существования нового кирального класса универсальности в магнетиках, предсказанного теоретически, и обнаружение подклассов, в частности антикиральных магнетиков (С. В. Малеев, В. П. Плахтий).
- Экспериментальное определение роли квантовых эффектов, вызванных нулевыми флуктуациями спинов (Е. Ф. Шендер, В. П. Плахтий).
- Создание принципиально нового метода исследования динамических трехспиновых флуктуаций в магнитных веществах, нахо-

дящихся в магнитном поле (метод наклонной геометрии), с помощью которого определяется спин-волновая жесткость (измеряется масса магнона) и впервые экспериментально подтверждена применимость операторной алгебры Полякова – Каданова – Вильсона для описания критических флуктуаций в ферромагнетиках (С. В. Малеев, А. И. Окороков).

- Разработка и реализация новых фурье-методов в структурной нейтронографии по времени пролета с использованием импульсных и стационарных реакторов (В. Л. Аксенов, В. А. Кудряшев, В. А. Трунов).

- Исследование атомной и магнитной структуры и низкополевой электродинамики высокотемпературных сверхпроводящих материалов (С. Л. Гинзбург, И. Д. Лузянин, В. П. Хавронин, Г. П. Гордеев, Л. А. Аксельрод).

- Создание теории рассеяния поляризованных нейтронов на двумерных пространственно упорядоченных магнитных и немагнитных наносистемах и ее подтверждение в экспериментах по малоугловому рассеянию (С. В. Григорьев, А. В. Сыромятников).

- Создание теории магнитных кубических кристаллов без центра инверсии со взаимодействием Дзялошинского – Мория и ее экспериментальная реализация в проблеме магнитной киральности (С. В. Малеев, С. В. Григорьев).

Эти выдающиеся результаты исследований получены благодаря таланту, творческому поиску и неиссякаемому энтузиазму сотрудников ОНИ–ОФТР. Развитые оригинальные экспериментальные методы, широко применяемые сейчас как в России, так и за рубежом, позволили нашему коллективу занять ряд лидирующих позиций в мире в области исследований с использованием поляризованных, холодных и ультрахолодных нейтронов.

Сегодня ОНИ ПИЯФ вместе с ОФТР – уникальный, даже по мировым стандартам, коллектив физиков-экспериментаторов и специалистов-реакторщиков, в котором работают около 600 сотрудников, в том числе около 200 научных. Творческие контакты связывают их практически со всеми ведущими нейтронно-физическими центрами мира.

В настоящее время структурно отделение состоит из двух научных и четырех научно-технических отделов, со своими научными лабораториями (см. ниже).

Премии ОНИ за научные достижения

- Ленинская премия 1974 года за цикл работ по экспериментальному обнаружению и исследованию несохранения пространственной четности в ядерных электромагнитных переходах (В. М. Лобашев, В. А. Назаренко).

- Премия им. Б. П. Константинова 1985 года за цикл работ, связанных с обнаружением и исследованием эффекта химических смещений рентгеновских линий в тяжелых элементах и его применениями для изучения кристаллохимических связей (О. И. Сумбаев).

- Открытие, зарегистрировано в 1988 году, №-360 – В. М. Лобашев, А. П. Серебров, Л. М. Смотрицкий. Формула: «Установлено неизвестное ранее явление вращения плоскости поляризации жестких гамма-квантов, заключающееся в том, что при прохождении гамма-квантов через среду с поляризованными электронами происходит поворот плоскости поляризации гамма-квантов, обусловленный спин-спиновым взаимодействием электрона с фотоном».

- Государственная премия СССР 1986 года за цикл работ «Новые методы исследования твердого тела на основе рассеяния нейтронов стационарных ядерных реакторов» (Г. М. Драбкин, С. В. Малеев, А. И. Огороков).

- Государственная премия РФ в области науки и техники 1996 года за создание новых методов управления пучками частиц высоких энергий на ускорителях с помощью изогнутых кристаллов и их реализацию (В. М. Самсонов, А. И. Смирнов).

- Государственная премия РФ в области науки и техники 2000 года за разработку и реализацию новых методов структурной нейтронографии по времени пролета с использованием импульсных и стационарных реакторов (В. Л. Аксенов, В. А. Кудряшев, В. А. Трунов).

- Премия Совета Министров СССР 1985 года за разработку на основе международного стандарта КАМАК и организацию производства аппаратуры для создания систем автоматизации научных и научно-технических исследований (В. И. Кадашевич, П. В. Неустроев, Ю. Ф. Рябов).

- Премия Правительства РФ 2003 года за разработку методов направленного синтеза циклических тетрапиррольных соединений для технических целей (П. Н. Москалев).

- Премия Правительства РФ 2004 года за разработку, организацию производства и внедрение в практику ядерно-физических комплексов экспрессного многоэлементного анализа веществ и материалов (А. Х. Хусаинов).

- Золотая медаль ВДНХ за систему автоматизации научных исследований на реакторе ВВР-М. Постановление Главного комитета ВДНХ СССР № 354-01 от 18.01.1966. Авторы: Николаев С. Н., Иванов М. Н., Кондуров И. А., Кадашевич В. И., Нехай А. П., Петрова В. И., Никаноров А. Г., Брискиндов А. Г.

- Золотая медаль ВДНХ за систему контроля радиационной безопасности для реактора ПИК. Постановление Главного комитета ВДНХ СССР № 810N от 05.12.1983. Авторы: Тубольцев Ю. В., Кадашевич В. И., Марченков В. В., Шаблий А. И., Слюсарь В. Н., Пермяков В. В., Фокин Е. М., Фролушкин В. М.

- Серебряная медаль ВДНХ за электрофорезный фильтр. Постановление Главного комитета ВДНХ СССР № 354-4 от 13.05.1966. Авторы: Ганжа В. Д., Коноплев К. А., Орлов С. П., Уханев А. А.

- Премия ЦК ВЛКСМ 1983 года за работу «Нарушение четности в тяжелых ядрах» (А. К. Петухов).

- Премия Ленинградского комсомола 1986 года за цикл работ «Газодинамический метод уменьшения фазового объема атомных пучков, его экспериментальная проверка и приложение в магниторезонансном методе молекулярных пучков» (В. Л. Рябов, А. Ю. Хазов, В. В. Ящук).

- Премия им. И. В. Курчатова для молодых научных сотрудников и инженеров-исследователей 2013 года за работу «Особенности химических свойств сверхтяжелых элементов» (Ю. А. Демидов).

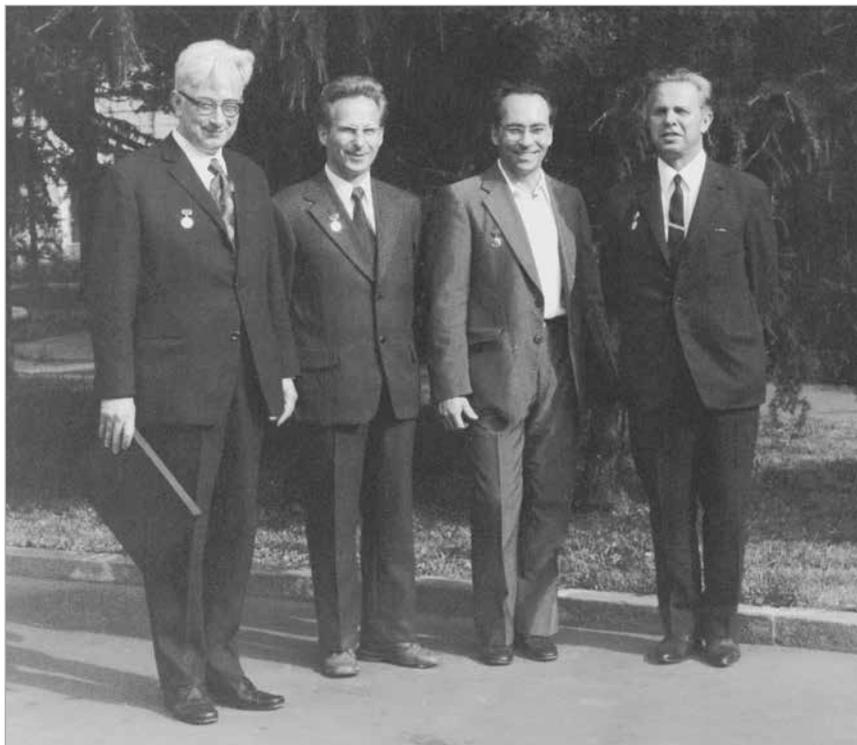
- Премия им. И. В. Курчатова 2014 года за цикл работ «Прецизионное измерение времени жизни нейтрона и Стандартная модель» (А. П. Серебров, А. К. Фомин, В. Е. Варламов, А. Г. Харитонов).

С 1996 по 2002 год 13 сотрудников ОНИ стали стипендиатами учрежденных президентом РФ государственных научных стипендий для выдающихся ученых страны и шестеро – для талантливых молодых ученых. Лауреатами научных стипендий губернатора Ленинградской области стали 27 ученых отделения.

106 сотрудников отделения зарегистрировали авторские свидетельства либо патенты на изобретения и девять – имеют свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Структура ОНИ

Руководитель отделения д. ф.-м. н. А. И. Курбаков				
Зам. рук. ОНИ по научной работе д. ф.-м. н. А. В. Дербин	Зам. рук. ОНИ по научной работе к. ф.-м. н. А. Н. Пирожков	Зам. рук. ОНИ по общим вопросам Н. А. Куга	Уч. секретарь ОНИ к. ф.-м. н. Ю. П. Черненко	Главный инженер ОНИ Л. Э. Самсонов
ОТДЕЛ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ Заведующий отделом д. ф.-м. н., проф. А. П. Серебров	<ul style="list-style-type: none"> • Лаборатория физики нейтрона (<i>проф. А. П. Серебров</i>) • Лаборатория рентгеновской и гамма-спектроскопии (<i>проф. В. В. Федоров</i>) • Лаборатория ядерной спектроскопии (<i>д. ф.-м. н. И. А. Митропольский</i>) • Группа «Центр данных» (<i>к. ф.-м. н. А. А. Родионов</i>) • Группа ядерной спектроскопии и активационного анализа (<i>к. ф.-м. н. В. Г. Зиновьев</i>) • Лаборатория молекулярных и атомных пучков (<i>к. ф.-м. н. В. Ф. Ежов</i>) • Группа физики деления ядер (<i>к. ф.-м. н. А. С. Воробьев</i>) • Группа исследований слабых взаимодействий (<i>к. ф.-м. н. А. Н. Пирожков</i>) • Группа ультрахолодных нейтронов на реакторе ВВР-М (<i>Д. В. Прудников</i>) 			
ОТДЕЛ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ Заведующий отделом д. ф.-м. н. С. В. Григорьев	<ul style="list-style-type: none"> • Лаборатория физики неупорядоченного состояния (<i>к. ф.-м. н. В. В. Рунов</i>) • Лаборатория физики кристаллов (<i>к. ф.-м. н. Ю. П. Черненко</i>) • Лаборатория нейтронных физико-химических исследований (<i>д. ф.-м. н. В. Т. Лебедев</i>) • Лаборатория исследования материалов (<i>д. ф.-м. н. А. И. Курбаков</i>) • Группа радиационной физики твердого тела (<i>д. ф.-м. н. С. П. Беляев</i>) • Группа электромагнитных свойств конденсированных сред (<i>к. ф.-м. н. О. В. Геращенко</i>) 			
НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ	<ul style="list-style-type: none"> • Отдел автоматизации экспериментов на реакторах (<i>к. т. н. В. А. Соловей</i>) • Лаборатория управляющих и измерительных систем (<i>к. т. н. В. А. Соловей</i>) • Отдел полупроводниковых ядерных детекторов (<i>д. ф.-м. н. А. В. Дербин</i>) • Лаборатория низкофоновых измерений (<i>д. ф.-м. н. А. В. Дербин</i>) • Группа физики и технологии полупроводниковых детекторов (<i>к. ф.-м. н. А. Х. Хусаинов</i>) • Группа физики и химии изотопов (<i>к. ф.-м. н. А. И. Егоров</i>) • Отдел инженерного и технологического обеспечения экспериментов на реакторах (<i>А. П. Булкин</i>) • Группа нейтронной рефлектометрии (<i>к. ф.-м. н. Н. К. Плешанов</i>) • Группа разработки экспериментального физического оборудования (<i>к. ф.-м. н. В. А. Ульянов</i>) • Группа вакуумной напылительной техники (<i>В. П. Харченко</i>) • Группа источников холодных нейтронов и криогенных систем на реакторе ПИК (<i>к. ф.-м. н. В. А. Митохляев</i>) • Отдел эксплуатации нейтронных станций (<i>к. ф.-м. н. Е. В. Москвин</i>) • Опытное производство ОНИ (<i>И. М. Лазебник</i>) 			



Лауреаты Ленинской премии 1974 года.
Слева направо: Ю. Г. Абов (ИТЭФ), В. А. Назаренко,
В. М. Лобашев, П. А. Крупчицкий (ИТЭФ)

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Коммунистическая партия Советского Союза



ЛЕНИНГРАДСКАЯ ПРАВДА

ОРГАН ЛЕНИНГРАДСКОГО ОБЛАСТНОГО И ГОРОДСКОГО КОМИТЕТОВ КОММУНИСТИЧЕСКОЙ ПАРТИИ
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, ОБЛАСТНОГО И ГОРОДСКОГО СОВЕТОВ НАРОДНЫХ ДЕПУТАТОВ

Год издания 69-й
№ 277 [21819]

Воскресенье, 30 ноября 1986 года

ЦЕНА 3 коп.

Ленинградцы — лауреаты Государственных премий СССР 1986 года



ПЕТРОВА
Маргарита Николаевна

старший инженер Северо-Западного территориального управления по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Премия присуждена за выдающиеся достижения в труде, большой личный вклад в повышение эффективности работы железнодорожного и воздушного транспорта.



ДРАБИН
Гильярди Монсеевич

доктор физико-математических наук, заведующий сектором Ленинградского института ядерной физики имени Б. П. Константинова Академии наук СССР.

Премия присуждена за цикл работ «Новые методы исследования твердого тела на основе рассеяния нейтронов стационарных ядерных реакторов», опубликованных в 1961 — 1984 годах.



МАЛЕЕВ
Сергей Владимирович

доктор физико-математических наук, заведующий сектором Ленинградского института ядерной физики имени Б. П. Константинова Академии наук СССР.

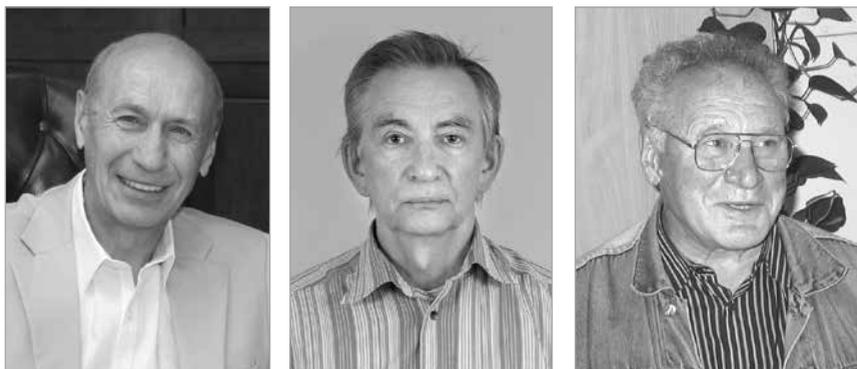


ОКОРОКОВ
Алексей Иванович

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Ленинградского института ядерной физики имени Б. П. Константинова Академии наук СССР.



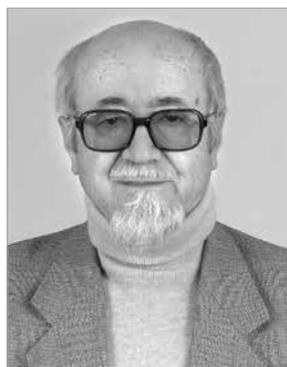
Лауреаты Государственной премии РФ
в области науки и техники за 1996 год.
Слева направо: А. И. Смирнов, В. М. Самсонов



Лауреаты Государственной премии РФ в области науки и техники за 2000 год.
Слева направо: В. Л. Аксенов, В. А. Кудряшев, В. А. Трунов



Лауреаты Премии Совета Министров СССР за 1985 год.
Слева направо: Ю. Ф. Рябов, П. В. Неустроев, В. И. Кадашевич



Лауреаты Премии Правительства РФ за 2003 и 2004 годы.
Слева направо: П. Н. Москалев, А. Х. Хусаинов



Лауреаты Премии Ленинградского комсомола 1986 года.
Слева направо: В. Л. Рябов, В. В. Ящук, А. Ю. Хазов



Международное сотрудничество ОНИ в области физики конденсированного состояния

Институт им. Лауэ – Ланжевена (Гренобль) (Institut Laue-Langevin, Grenoble)

Сотрудничество ученых ОНИ с коллегами из Института им. Лауэ – Ланжевена (ИЛЛ) в области физики конденсированного состояния началось в 1977 году (проф. Г. М. Драбкин, проф. А. И. О कोरोков, проф. В. П. Плахтий, проф. С. В. Малеев).

Работы выполнялись как у нас в Гатчине на реакторе ВВР-М, так и во Франции на высокопоточном реакторе ИЛЛ в Гренобле, который является лучшим в мире пучковым исследовательским реактором как по интенсивности нейтронных пучков, так и по оснащенности современным экспериментальным оборудованием и инструментами. На нем были проведены совместные исследования магнетиков с помощью рассеяния нейтронов.

В дальнейшем это сотрудничество расширялось и в настоящее время стало практически постоянным. В этих экспериментах лидерами были сотрудники ПИЯФ, которые предлагали новые научные идеи, требующие экспериментального подтверждения. Кроме того, разрабатывались новые методики исследований, которые успешно применялись на установках реактора ИЛЛ. Например, был создан принципиально новый метод исследования динамических трехспиновых флуктуаций в магнитных веществах, находящихся в слабом магнитном поле (обычное нейтронное рассеяние позволяет изучать только парные флуктуации). Этим методом были подтверждены динамический скейлинг (подобие в поведении физических параметров при фазовом переходе второго рода) в аморфных ферромагнетиках и экспериментально операторная алгебра Полякова – Каданова – Вильсона для критических флуктуаций в ферромагнетиках (эта алгебра широко используется в теории многочастичных взаимодействий, но до тех пор существовала только в качестве гипотезы). Эксперименты были проведены в 1978–1980 годах А. И. О कोरोковым и А. Г. Гукасовым совместно с сотрудниками ИЛЛ М. Ротом (M. Rots) и О. Шерпом (O. Schaeprf).

Особо следует отметить исследования, которые открыли новое направление в физике магнетиков, а именно изучение киральных магнетиков с помощью неупругого рассеяния поляризованных нейтронов.

Была не только подтверждена гипотеза японского теоретика Кавамуры о существовании кирального класса универсальности в магнетиках, но и измерены их характеристики (критические индексы киральности), а также обнаружены подклассы универсальности (В. П. Плахтий, С. В. Малеев, Ю. П. Черненко).

Фундаментальные и общепризнанные результаты исследований магнетиков с помощью нейтронов легли в основу ряда успешно защищенных диссертаций как нашими сотрудниками, так и французскими коллегами (Ф. Данстеттер (Сакле) и Ф. Якху (Гренобль) – руководитель проф. В. П. Плахтий). Следует также отметить, что на реакторе ВВР-М ПИЯФ прошли стажировку несколько студентов из учебных заведений Франции. Профессор Жак Швейцер из Гренобльского центра ядерных исследований (CENG) в течение года (1978–1979) проработал на реакторе ВВР-М, участвуя в совместных исследованиях на нейтронных дифрактометрах ПИЯФ в области физики конденсированного состояния, а в 2007 году проходили стажировку два студента из Университета Жозефа Фурье (Гренобль, Франция).

С 1997 по 2007 год Россия была страной-участницей ИЛЛ (до этого времени эксперименты выполнялись на уровне двусторонних соглашений между ИЛЛ и нашим институтом). Вступление России в ИЛЛ позволило существенно увеличить количество проводимых экспериментов и, что весьма важно, резко расширило круг российских исследователей и исследовательских центров, вовлеченных в эксперименты по рассеянию нейтронов. Присутствие российских ученых в ИЛЛ оказывало существенное воздействие на его научную тематику. При финансовом вкладе России около 2,1 % (около 2 млн евро) при очень жесткой конкуренции со стороны таких стран, как Германия, Англия, Швейцария, Франция, российские ученые выигрывали в конкурсах и получали для исследований на нейтронных пучках гренобльского реактора около 6 % пучкового времени. Приблизительно половина этого времени приходилась на ОНИ ПИЯФ.

Первым представителем России в ученом совете ИЛЛ был В. Л. Аксенов, затем его сменил В. А. Назаренко. В. В. Федоров с 2001 по 2006 год был членом подкомитета по ядерной физике, а весной 2007-го принял участие в последнем с присутствием России заседании ученого совета ИЛЛ. К сожалению, в июне 2007 года истек и не был продлен срок вхождения России в ИЛЛ, однако сложившиеся за многие

годы тесные контакты и сотрудничество с коллегами из ИЛЛ, а также высокая репутация российских ученых позволяют нам до сих пор проводить свои исследования на этом лучшем в мире высокопоточном реакторе.

Выполненные в ИЛЛ нашими учеными эксперименты дали ряд ярких результатов в областях исследования фундаментальных свойств материи, физики конденсированных сред, научного материаловедения и структурной биологии.

Не менее активно ведутся совместные исследования ПИЯФ–ЛЛБ (Сакле, Франция).

Лаборатория Леона Бриллюэна (Сакле) (Laboratoire Léon Brillouin, Saclay)

Лаборатория Леона Бриллюэна (ЛЛБ) – один из ведущих центров Франции в области фундаментальных исследований конденсированного состояния.

Научная программа ЛЛБ – физические исследования с использованием рассеяния тепловых нейтронов – оказалась очень созвучной с научной программой ПИЯФ в области физики конденсированного состояния, что послужило основой для тесного и плодотворного сотрудничества.

Так, например, в нашем институте (лаб. В. А. Трунова, ныне А. И. Курбакова) был разработан и создан 70-детекторный секционный нейтронный дифрактометр высокого разрешения, который был установлен в нейтронном зале реактора ОРПНН в Сакле в позицию G4.2. По соглашению между ПИЯФ и Комиссариатом Франции по атомной энергии этот дифрактометр с 1997 года действует как российско-французский спектрометр (ответственные физики за G4.2 – А. И. Курбаков от России, Х. Родригес-Карвахаль и Т. Руанель от Франции). На нем осуществлено несколько сотен разнообразных физических экспериментов. Были проведены структурные и магнитные исследования высокотемпературных сверхпроводников, материалов с особыми свойствами (например, обладающих колоссальным магнетосопротивлением); определены магнитные структуры в интерметаллических соединениях и смешанных оксидах редкоземельных и переходных металлов; исследованы фазовые переходы в молекулярных кристаллах, цеолитах, кристаллических пластмассах, ионных проводниках, квазикристаллах. Выпол-

нены эксперименты, представленные практически всеми европейскими странами, а также США, Китаем, Аргентиной, Марокко. С российской стороны эксперименты провели ученые крупнейших научных центров России – ПИЯФ (Гатчина), ФТИ (Санкт-Петербург), ОИЯИ (Дубна), Курчатовского института (Москва), МГУ (Москва), нескольких научных центров из Екатеринбурга, Новосибирска, университетов Москвы, Санкт-Петербурга, Белгорода, Ростова, Махачкалы.

В 2000-х годах в связи с технологическим прорывом в области создания наноматериалов появилась новая область совместных исследований – изучение магнетиков, наноструктурированных в пористых средах (руководитель с российской стороны – д. ф.-м н. И. В. Голосовский). Следует отметить, что проведенные исследования были бы невозможны без ученых ФТИ, где были изготовлены новые наносистемы. Необычные свойства магнитных наноструктур, которые интенсивно используются в спинтронике, обусловлены существованием интерфейса – нанометрового слоя, разделяющего материалы с разными магнитными свойствами, который очень чувствителен к внешним воздействиям. Поэтому сегодня наблюдается очевидное смещение интереса от исследований собственно наночастиц к исследованиям более сложных, многокомпонентных структур. С 2009 года проводятся систематические нейтронографические исследования таких систем.

Кроме того, ведутся совместные структурные исследования новых суперионных твердых электролитов (известных как BIMEVOX) для использования в качестве селективных мембран в топливных элементах.

На установках ЛЛБ по дифракции поляризованных нейтронов сотрудниками ПИЯФ проведены уникальные исследования по измерению распределения магнитной плотности в магнетиках. Значительный магнитный момент был обнаружен на атомах кислорода, находящихся между двумя магнитными атомами. Эти исследования были инициированы проф. В. П. Плахтием, а проводились на установках, ответственным за которые является д-р А. Г. Гукасов, бывший сотрудник ОНИ. Ныне он является постоянным сотрудником ЛЛБ.

Комплексное изучение таких сложных систем, как наноструктурированные и функциональные материалы, невозможно без привлечения различных методик, поэтому в исследованиях принимали участие другие научные коллективы Франции, в частности Лаборатория химической физики Университета Париж-юг 11 (Орсе), Европейский центр

синхротронного излучения (ESRF, Гренобль), ИЛЛ (Гренобль) и др. Сотрудничество в области физики конденсированного состояния – яркий пример международной научной кооперации, без которой невозможно проведение широкомасштабных фундаментальных исследований, отвечающих сегодняшним требованиям практики.

**Европейский центр синхротронного излучения
(ESRF, Гренобль)
(European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble)**

В настоящее время сотрудники ПИЯФ проводят следующие эксперименты на пучках синхротронного излучения в ESRF.

- Малоугловая дифракция высокого разрешения (на станции BM-26 DUBBLE) позволяет исследовать и аттестовать искусственные наноконпозиты (опалоподобные структуры, упорядоченные массивы пор и нанонитей – инвертированные фотонные кристаллы), а также улучшать и разрабатывать технологии их получения. Матрицы таких наноконпозитов претендуют на элементы сверхплотной записи информации (получен патент).

- Широкоугольной монокристалльной дифракцией синхротронного излучения (на станции BM-2 SNBL) обнаружена киральность атомной структуры моносилцидов переходных металлов. Было показано, что кристаллографическая и магнитная киральности взаимосвязаны, и для силицидов различных металлов знак этой взаимосвязи оказывается различным. В экспериментах участвовали: от ПИЯФ – д. ф.-м. н. С. В. Григорьев, к. ф.-м. н. А. А. Воробьев, аспиранты А. П. Чумаков, А. В. Васильева, В. А. Дядькин и др., от МГУ – к. ф.-м. н. К. С. Напольский, от СПбГУ – к. ф.-м. н. Н. А. Григорьева, от Технического университета Делфта (Нидерланды) – В. Бауман (Wim Bauwman), от ESRF – А. Босак (A. Bossak) и др.

**Исследовательский центр Общества им. Гельмгольца
в Геестхachte (HZG, ранее GKSS)
(Helmholtz Zentrum Geesthacht, Geesthacht)**

Научная связь с Германией, ФРГ, началась сразу после падения берлинской стены, когда А. И. Огороков был приглашен на семинар в Магдебургский университет (ГДР) с докладом о работах с поляризованными нейтронами. Там он узнал, что в ФРГ недалеко от границы есть

исследовательский атомный реактор, отсутствующий в международных списках по причине его бывшей закрытости. Официально в ФРГ тогда пропускали только с гэдээровским паспортом, но один из сотрудников университета нашел возможность провезти Огорокова на реактор без визы в ФРГ. Предприятие называлось GKSS, располагалось в городе Геестхакте под Гамбургом и имело атомный реактор мощностью всего лишь 5 МВт, но с хорошим холодным источником, дающим пучки 4-ангстремных нейтронов, более чем в 10 раз интенсивнее аналогичных пучков реактора ВВР-М (как раз в это время в Гатчине вышел из строя источник холодных и ультрахолодных нейтронов на реакторе ВВР-М). После доброжелательной встречи с руководителем нейтронного департамента Рихардом Вагнером и научным сотрудником Рейнхардом Кампаном, знакомства с приборной базой и дискуссии было решено начать научное сотрудничество ЛИЯФ-GKSS.

Вскоре начались взаимные приглашения, семинары и эксперименты на немецком реакторе. ЛИЯФ уже имел достаточный опыт и достижения в области исследований с поляризованными нейтронами: трехмерный анализ поляризации, использование трехспиновых корреляций, фурье-анализатор обратного рассеяния СФИНКС, успехи с поляризующими зеркалами, изготовление резонансного адиабатического флиппера и т. д. Всем этим ЛИЯФ делился с GKSS и получал зеленую улицу на проведение экспериментов на малоугловых установках с двумерными детекторами, рефлектометрах, дифрактометре на совершенных кристаллах и др. Все установки автоматизированы и имеют полный арсенал оборудования для экспериментов: магниты, криостаты, криорефрижераторы и пр.

Основными визитерами были Огороков, Топерверг, Щебетов, Гордеев, Кудряшев, Григорьев и их сотрудники, включая аспирантов и молодых научных сотрудников. Главной тематикой первых лет были магнетизм, фазовые переходы, аморфные материалы, высокотемпературная сверхпроводимость и пр., а в последние годы – широкие исследования киральности кубических магнетиков без центра инверсии и опалоподобных пленочных кристаллов с заполнением пор Fe, Ni, Co для создания матриц с высокой плотностью записи информации.

Наши эксперименты продолжались до последнего дня работы реактора – перед его окончательной остановкой. В 2010 году было подписано соглашение о безвозмездной передаче семи приборов в ЛИЯФ

для организации немецко-российской платформы на реакторе ПИК. В 2014 году закончена доставка разобранных установок в ПИЯФ (одна из них, FSS, передана в ОИЯИ) и начат их монтаж специально созданным Отделом эксплуатации нейтронных станций с консультацией и помощью немецких специалистов.

Международное сотрудничество ОНИ в области ядерной физики и физики элементарных частиц

Взаимодействие ученых ПИЯФ и ИЛЛ в этих направлениях началось с поездок В. Л. Алексеева, В. А. Назаренко, А. П. Серебров и тесного сотрудничества с В. Мампе (W. Mampe), М. Пендлбери (M. Pendelbury) и Г. Бернером (H. Boerner).

В современной физике элементарных частиц тесно переплелись и космология, и свойства Вселенной на ранней стадии образования, и собственно структура элементарных частиц и их взаимодействий, ядерная физика и физика фазовых превращений.

Для получения новых данных в этих областях имеются два пути. Первый – увеличение энергий ускоряемых, а затем сталкивающихся частиц и ядер в физике высоких энергий для поиска новых частиц. Этот путь требует создания дорогостоящих ускорителей и, соответственно, совместных усилий и участия многих стран. Второй путь – увеличение точности измерений в физике низких энергий, в частности в нейтронной физике. Для этой цели необходимы высокоинтенсивные источники нейтронов, поскольку для увеличения точности необходимо увеличение статистики, кроме того, необходимы также новые идеи, методики и нестандартное оборудование.

Целый ряд работ, выполненных российскими учеными, был включен в число лучших работ ИЛЛ (Scientific Highlights) (2009 – 1, 2007 – 1, 2005 – 1; 2004 – 3, 2003 – 2). Можно выделить следующие наиболее яркие результаты.

В 2004 году российскими учеными (руководитель эксперимента проф. А. П. Серебров) на установке (гравитационная ловушка), созданной совместно ПИЯФ и ОИЯИ, было измерено время жизни нейтрона с рекордной точностью ($\tau_n = 878,5 \pm 0,7_{\text{стат.}} \pm 0,3_{\text{сист.}}$ с) на пучке УХН реактора ИЛЛ. Этот фундаментальный результат оказался совершенно неожиданным. Время жизни нейтрона получилось на 7,2 с меньше средне-

го мирового результата и на 6,9 с меньше последнего наиболее точного результата. Это отличие далеко выходит за пределы ошибок и составляет 6,5 и 5,6 стандартного отклонения соответственно. Однако в новом эксперименте получено наилучшее приближение времени хранения к времени жизни нейтрона. Эта разница составила всего 5 с (вероятность потерь около 1 % от вероятности бета-распада), что является основным отличием от предыдущих экспериментов по хранению нейтронов в материальных ловушках. Новый результат оказался очень важным как для физики элементарных частиц, так и для астрофизики и космологии. Во-первых, он устранил существовавшее противоречие экспериментальных данных со Стандартной моделью электрослабых взаимодействий (отклонение от условия унитарности, которое могло бы свидетельствовать, например, о числе поколений кварков и лептонов, отличном от трех). Во-вторых, новое время жизни нейтрона, использованное в модели Большого взрыва, увеличило расчетную величину барионной асимметрии Вселенной на 15 % и улучшило согласие с измерениями барионной асимметрии в космосе. В настоящее время именно этот результат определил новое мировое среднее для времени жизни нейтрона.

В 2005–2007 годах ученым ПИЯФ (руководитель эксперимента к. ф.-м. н. В. Ф. Ежов) совместно с коллегами из НИИ «Домен» и НИИ-ЭФА (Санкт-Петербург) впервые в мире удалось создать магнитную ловушку УХН из постоянных магнитов, при помощи которой начались новые измерения времени жизни нейтрона. В подобных системах УХН определенной поляризации отражаются магнитным барьером и не испытывают соударений со стенками. Таким образом, в магнитных ловушках возможность аномальных потерь УХН при отражении от стенки, которые являются основным источником систематических ошибок в опытах с материальными ловушками, исключена принципиально. Эта ловушка была испытана на пучке УХН Института им. Лауэ – Ланжевена в Гренобле, и получены первые результаты по измерению времени жизни нейтрона. Измеренная величина времени жизни нейтрона в магнитной ловушке составила $878,3 \cdot 1,9$ с, что подтвердило результат группы А. П. Сереброва.

Возможность хранения УХН в магнитной ловушке теоретически и экспериментально была продемонстрирована российскими учеными более 30 лет тому назад. Однако только сейчас реально создана магнитная система, которая может успешно конкурировать с лучшими материальными ловушками. Это чисто российское достижение.

В 2007 году сотрудниками ПИЯФ и ИЛЛ (группа проф. А. П. Сереброва совместно с О. Циммером (O. Zimmer) и П. Гельтенбортом (P. Geltenbort)) был проведен один из первых экспериментов по поиску частиц темной материи на реакторе с УХН.

Одной из самых захватывающих загадок современности является барионная асимметрия Вселенной – отсутствие во Вселенной антивещества в сопоставимых с веществом количествах. Объяснение барионной асимметрии выходит за рамки современной так называемой Стандартной модели строения элементарных частиц и их взаимодействий, т. е. наше с вами существование уже противоречит ей. Поиски механизма нарушения симметрии, объясняющие и барионную асимметрию, являются одним из краеугольных камней современной физики. Один из важнейших экспериментов, направленных на решение этой проблемы, – поиск электрического дипольного момента (ЭДМ) нейтрона.

В моделях, объясняющих барионную асимметрию Вселенной, ЭДМ нейтрона оказывается на уровне $\sim 10^{-26}$ – 10^{-28} $e \cdot \text{см}$, и его обнаружение было бы прямым свидетельством в пользу теорий, объединяющих различные взаимодействия. В настоящее время модернизирована магниторезонансная установка ПИЯФ и начат эксперимент по поиску ЭДМ нейтрона на этом новом уровне точности (группа проф. А. П. Сереброва). В 2014 году уже получен результат: ЭДМ $< 5 \cdot 10^{-26}$ $e \cdot \text{см}$, который по точности сравним с наиболее точным на настоящие время. Он позволяет надеяться, что в 2016 году группа сможет в несколько раз улучшить наиболее точный мировой результат. Также идет подготовка нового, дифракционного эксперимента по поиску ЭДМ нейтрона (группа проф. В. В. Федорова). Таким образом, увеличение точности измерений в нейтронной физике позволяет получать результаты, вполне сопоставимые по важности с результатами, получаемыми на дорогостоящих суперколлайдерах, и могут существенно их дополнять.

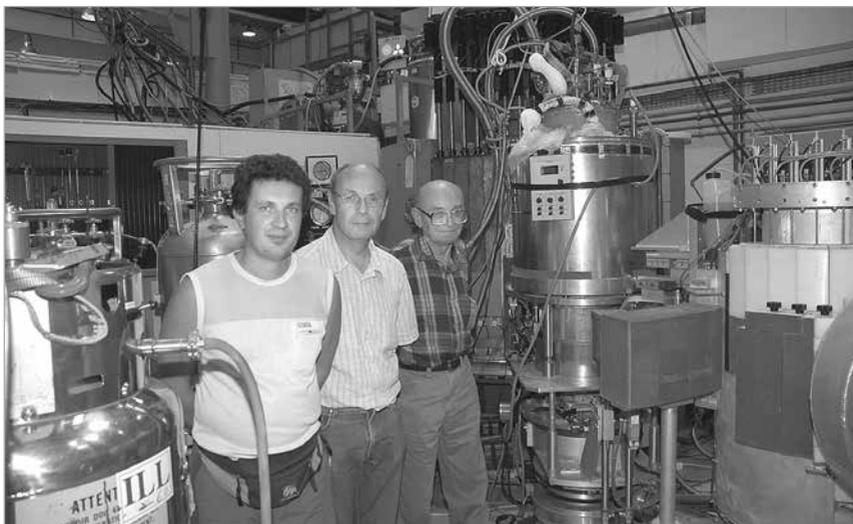
Современная точность измерения ЭДМ нейтрона (ЭДМ $< 3,1 \cdot 10^{-26}$ $e \cdot \text{см}$) достигнута международной коллаборацией в эксперименте на реакторе ИЛЛ. Это одна из самых высоких точностей, достигнутых в мире к настоящему времени. Если нейтрон представить в виде шара размером с Землю, то соответствующая величина ЭДМ получится при смещении центров положительного и отрицательного зарядов на расстояние ~ 2 мкм!



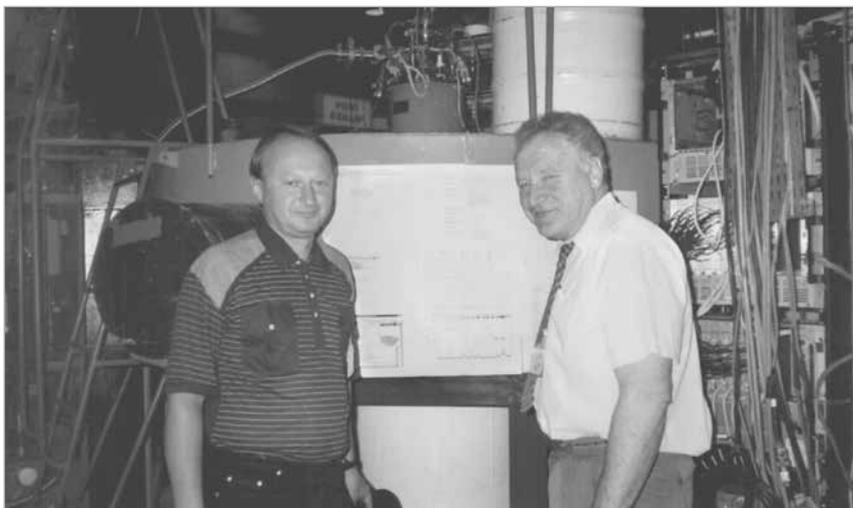
Директор ИЛЛ Тассо Шпрингер (*спиной*) и сотрудники ЛИЯФ: проф. А. И. Огороков, проф. Г. М. Драбкин, д-р Б. П. Топерверг. Обсуждение эксперимента по тройным спиновым корреляциям, предложенного нашими сотрудниками для постановки в ИЛЛ. Эксперимент проведен в 1978 году на малоугловом дифрактометре D-17



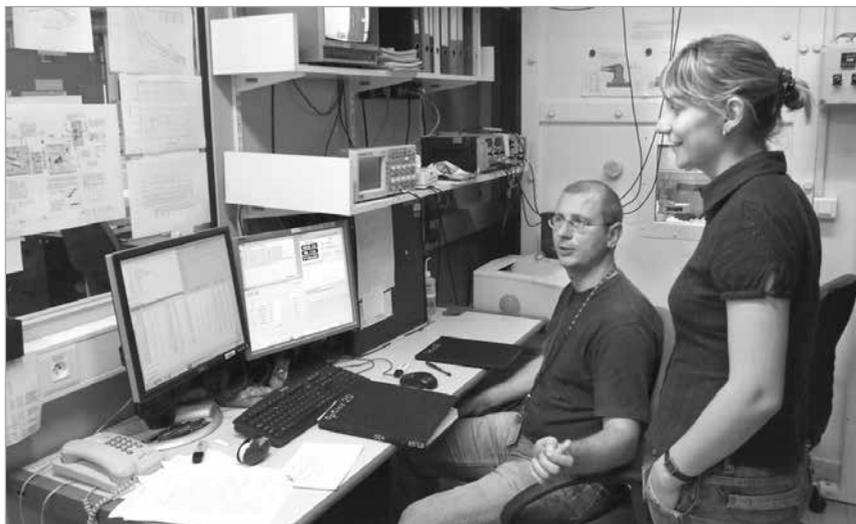
Российские ученые в ИЛЛ. Представлены пять российских групп, проводящих эксперименты на реакторе ИЛЛ, из них четыре группы – ОНИ ПИЯФ и одна – ОИЯИ (Дубна)



Совместная работа на трехосном спектрометре в ИЛЛ.
Проф. В. П. Плахтий (*справа*); ответственный за спектрометр
д-р Л.-П. Реньо, ИЛЛ (*в центре*), к. ф.-м. н. С. В. Гаврилов (*слева*)



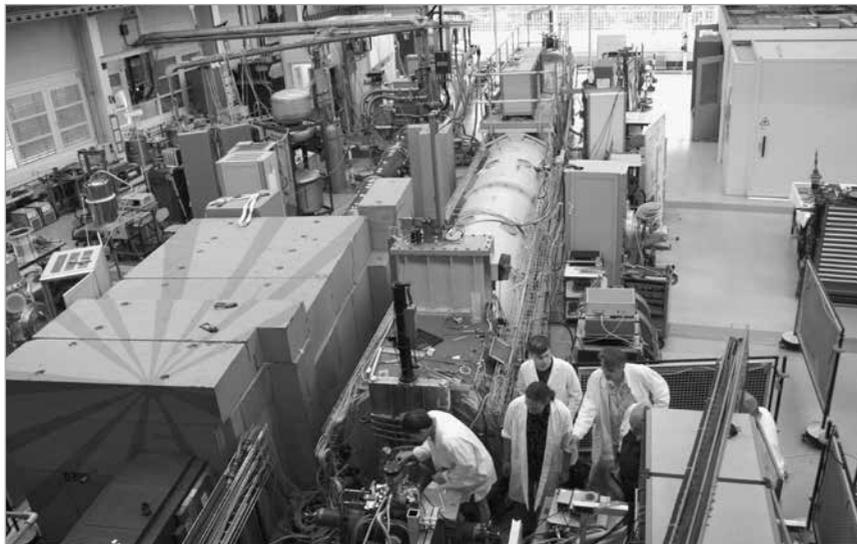
Слева направо: д. ф.-м. н. А. И. Курбаков
и проф. В. А. Трунов в ЛЛБ у созданного в ПИЯФ дифрактометра



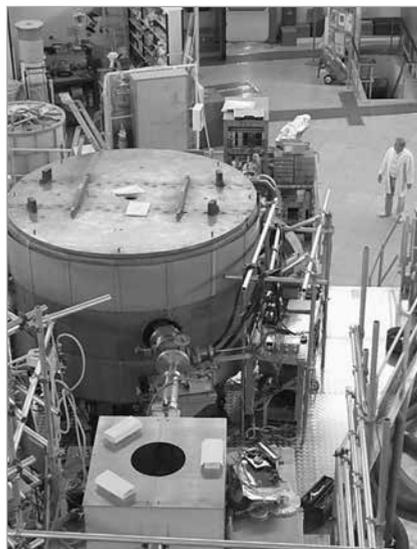
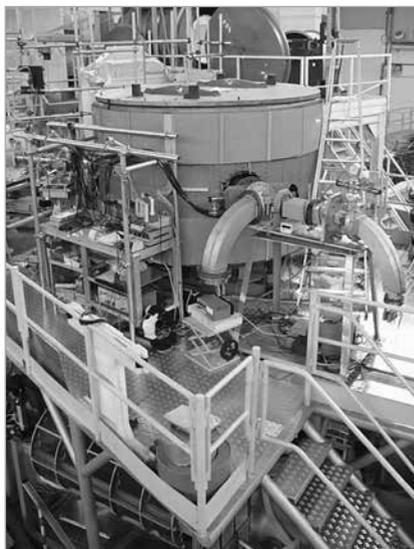
Обработка экспериментальных данных в ESRF.
К. ф.-м. н. А. А. Воробьев и к. ф.-м. н. А. В. Васильева (ПИЯФ)



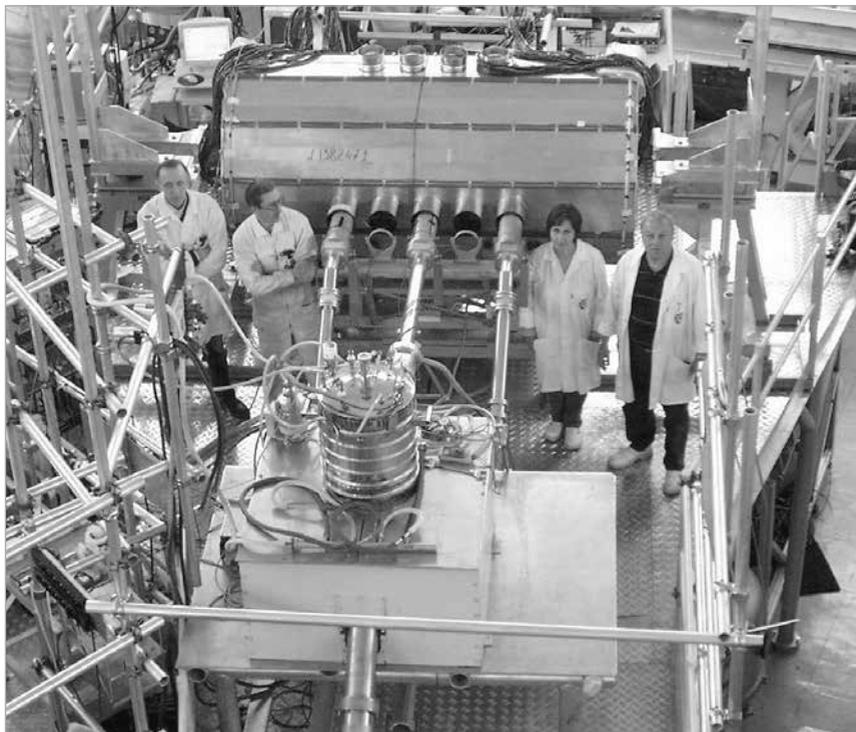
Вакуумовод пучка синхротронного излучения ESRF.
В центре: к. ф.-м. н. Н. А. Григорьева (СПбГУ), д. ф.-м. н. С. В. Григорьев (ПИЯФ)



Сотрудники ОНИ в нейтронном зале реактора GKSS



Гатчинский магнитрезонансный спектрометр для поиска ЭДМ нейтрона, установленный на пучке УХН в ИЛЛ

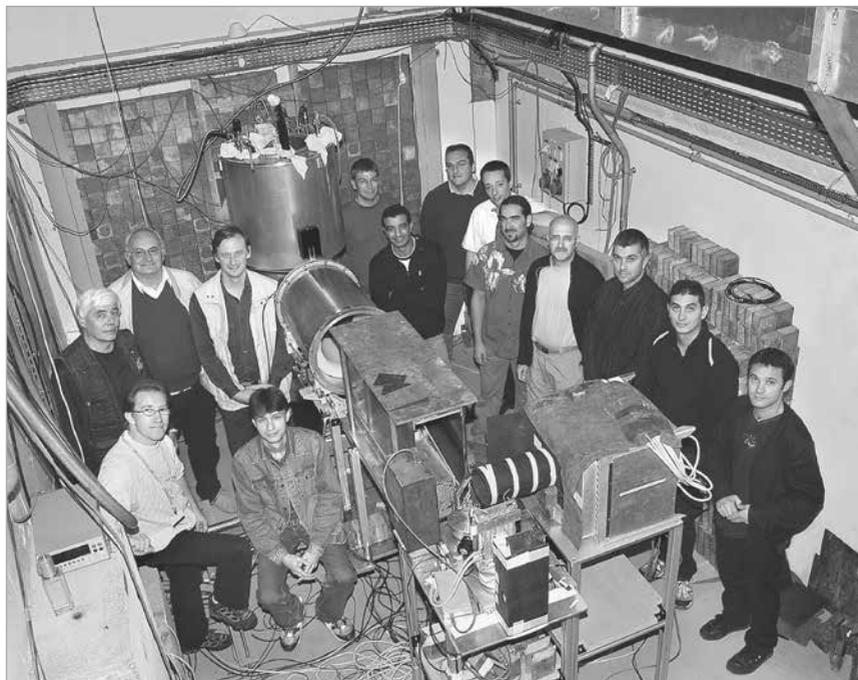


Установка ПИЯФ для поиска «темной материи»,
на пучке УХН реактора ИЛЛ.
Руководитель работы проф. А. П. Серебров (*справа*)
с группой сотрудников



Рабочее совещание в ПИЯФ по сотрудничеству России с ИЛЛ (февраль 2004).

Слева направо: А. А. Васин – представитель Департамента международного сотрудничества Минатома РФ, В. А. Назаренко – директор ПИЯФ РАН, В. В. Федоров – директор ОНИ ПИЯФ РАН (*стоят*); О. О. Патаракин – руководитель Департамента атомной науки и техники Минатома РФ, К. Карлайл (С. Carlile) – директор ИЛЛ, К. Витье (С. Vettier) – зам. директора ИЛЛ и П. В. Богданов – сотрудник Департамента международного сотрудничества Минатома РФ (*сидят*)



Тестовая кристалл-дифракционная установка для поиска ЭДМ нейтрона, расположенная на пучке холодных нейтронов в ИЛЛ.

Слева от установки, нижний ряд (слева направо, сидят):

д-р Е. Леливр-Берна (ИЛЛ), к. ф.-м. н. С. Ю. Семенихин (ПИЯФ).

Стоят: проф В. В. Федоров (ПИЯФ) – руководитель работы, к. ф.-м. н. А. Петухов (ИЛЛ), д. ф.-м. н. В. В. Воронин.

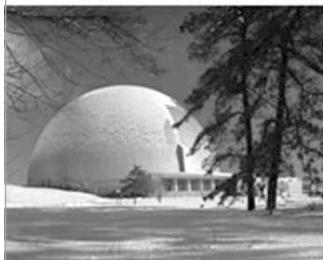
Справа от установки: д-р Т. Солднер (ИЛЛ) (крайний слева) – ответственный за пучок холодных нейтронов, физик; остальные – инженерно-технический персонал, обеспечивающий работу установки

Международное сотрудничество ОНИ в области физики и техники ядерных реакторов

Международное сотрудничество в области физики и техники ядерных реакторов шло по линии Совета экономической взаимопомощи (СЭВ). Конференции СЭВ по исследовательским реакторам проводились, как правило, по инициативе Курчатовского института. Сотрудники ПИЯФ выступали на таких конференциях со своими докладами. Работки ПИЯФ по поведению водорода в первом контуре при отказе от системы деаэрирования были применены на всех реакторах типа ВВЗ-СМ. Активные совместные исследования ПИЯФ проводил с ГДР и Польской Народной Республикой. Наиболее важные результаты были получены на инструментированной ТВС типа ВВР-М. Получено значение предельной мощности 900 Вт/см^2 .

Контакты с западными странами фактически ограничивались контактами по линии МАГАТЭ. Двусторонние соглашения в области исследовательских ядерных реакторов с этими странами не практиковались. Первые двусторонние обмены мнениями начались с обсуждения проекта реактора ПИК, когда В. А. Назаренко пригласил западных специалистов для оценки проекта.

PNPI-BNL collaboration in physical protection



В начале 90-х годов в МАГАТЭ была сформулирована задача сокращения использования высокообогащенного урана в исследовательских реакторах и улучшения учета и охраны такого урана. По предложению Министерства энергетики США (DOE) наш институт заключил соглашение и вступил в контакт с рядом национальных лабораторий США (ANL, BNL, PNNL, ORNL) по участию в этом направлении.

Были проведены расчетные и экспериментальные работы по физике активной зоны реактора ВВР-М. В работе активно участвовали сотрудники Отделения теоретической физики ПИЯФ. Это были полезные работы, но наиболее полезными результатами нашего взаимодействия следует считать помощь ANL в создании физической защиты реактора ВВР-М и системы учета и контроля ядерных материалов. Помощь заключалась как в методическом плане, так и в предоставлении оборудования и оплате выполненных работ, что для бедных 90-х имело решающее значение.

Использование облучательных возможностей реактора ВВР-М

В первую очередь было налажено взаимодействие с ЦНИИ КМ «Прометей» и Радиевым институтом им. В. Г. Хлопина, которые имели горячие лаборатории на территории ПИЯФ. На реакторе обработка облученных материалов ограничивалась первичной разделкой облученных контейнеров и ампул. Затем радиоактивный материал перевозился в горячие камеры ЦНИИ КМ «Прометей» или Радиевого института. Проведение на реакторе дальнейших исследований облученных материалов выполнялось только в тех пределах, которые позволяли наши горячие камеры. Облучение в вертикальных каналах проводится в стандартных контейнерах. Для облучения в активной зоне создаются специальные каналы и ампулы, которые устанавливаются вместо ТВС. Для облучения металлов, разработанных в ЦНИИ КМ «Прометей», требуется поддержание заданной температуры, и сконструированные ампулы имеют систему такой поддержки. С использованием образцов, облученных в каналах реактора ВВР-М, разработан режим восстановительного отжига корпусов реакторов ВВЭР-440. Были разработаны новые с повышенной радиационной стойкостью стали и их сварочные материалы, использованные для реакторов типа ВВЭР-440

и ВВЭР-1000. В год выполняется примерно 150 облучений ампул и контейнеров.

Некоторые облучательные работы следует отметить отдельно. Изотоп иридия ^{192}Ir находит широкое применение в различных областях техники и медицины в качестве источника бета- и гамма-излучения.

Облученный ^{192}Ir для дефектоскопов пользуется очень хорошим спросом, поскольку при облучении на реакторе ВВР-М его удельная активность достигает 600 Ки/г. Работа выполняется совместно с ЦНИИ КМ «Прометей», где производится изготовление товарных источников. Помимо поставок радионуклида ^{192}Ir для российских предприятий в 2014 году, например, произведено шесть поставок на экспорт (США, ЮАР и Бельгия).

Облученные нуклиды для медицинских целей поставляются в Радиевый институт и Государственный институт прикладной химии (ГИПХ) для приготовления препаратов, направляемых в больницы. В год с использованием наших нуклидов проводится до 7 000 диагностик и лечений.

Для Санкт-Петербурга и районов Северо-Запада России традиционно проводится наработка изотопа молибдена ^{99}Mo для получения изомера технеция – $^{99\text{m}}\text{Tc}$.



Топазы

На реакторе разработана экспресс-технология получения радионуклида йода ^{125}I медицинского применения.

Из этих примеров видно, что ПИЯФ выполняет только облучение, дальнейшая обработка, получение товарного продукта и его продажа проводятся другими организациями. Соответственно вычисляется и доля оплаты для ПИЯФ.

С точки зрения оплаты облучений в реакторе наиболее денежным было сотрудничество с немецкой фирмой ВСS по радиационному окрашиванию натуральных топазов. Работа потребовала организации линии их обработки после облучения и подготовки к отправке. Как и для облучения иридия, создавались приспособленные для этой работы каналы со своим спектром нейтронов.

Радиобиологический отдел (ныне Отделение молекулярной и радиационной биофизики) ПИЯФ на реакторе ВВР-М выполнил серию работ по воздействию излучения на живые организмы. Вертикальный канал большого размера в защите реактора был оборудован системами дозиметрии и жизнеобеспечения для облучения животных. Затем для тех же целей на выгоревших твэлах был создан критстенд БИОР. Результаты этих биологических исследований опубликованы в монографии А. Г. Свердлова «Биологическое действие нейтронов и химическая защита».

К пятидесятилетию исследований физики деления в Гатчине*

Г. А. Петров

Реакция деления тяжелых ядер медленными нейтронами представляет собой весьма специфическую область ядерной физики низких энергий. Наиболее характерными особенностями этой области являются радикальная перестройка ядерной структуры ядра при решающей роли коллективных эффектов и существование очень небольшого числа так называемых переходных состояний системы от исходного возбужденного ядра к очень большому числу (до 10^{10} !) конечных состояний продуктов реакции. Такой процесс деления сложных ядер, состоящих из большого (до двух с половиной сотен нейтронов и протонов), предоставляет исследователям уникальную возможность изучения динамики разрыва своеобразной капли ядерной материи. В дополнение к этому большое количество образующихся возбужденных нейтронно-избыточных ядер-осколков представляет собой своеобразную богатейшую лабораторию для изучения различных характеристик их распада. Но, с другой стороны, данные особенности реакции деления привели к тому, что после 70 лет интенсивных и разносторонних исследований этого ядерного процесса он до сих пор не имеет сколько-нибудь законченной теории.

По сути дела, к настоящему времени накоплена богатейшая информация только о средних, практически важных характеристиках процесса деления, а имеющаяся теория сводится к набору различных полуклассических моделей, описывающих те или иные стороны явления и нередко даже противоречащих друг другу. Поэтому основной целью и особенностью современных экспериментов в области физики деления являются многопараметрические измерения как можно большего числа характеристик реакции, с тем чтобы максимально уменьшить число параметров усреднения изучаемых физических величин.

Первая научная программа исследований по физике деления тяжелых ядер на реакторе ВВР-М была предложена доктором физико-математических наук, профессором Львом Ильичом Русиновым, быв-

* Статья была напечатана в сб. «Реактору ВВР-М – 50 лет». Изд-во ПИЯФ РАН: Гатчина, 2009.

шим в 50-е годы прошлого столетия руководителем Лаборатории изомерии атомных ядер (или, как это было принято в те годы, просто лаборатории № 10). Он предложил мне, тогда аспиранту ФТИ, заняться детальными исследованиями анизотропии эмиссии гамма-квантов при делении ядер урана тепловыми нейтронами. К тому времени в США уже была выполнена первая работа в этом направлении, а у нас в Москве, в Институте атомной энергии, тогда еще молодым теоретиком В. И. Струтинским наблюдаемый эффект анизотропии был объяснен возникновением у осколков деления при разрыве делящегося ядра больших угловых моментов, ортогональных к оси деления. До энергопуска реактора ВВР-М тогда оставалось еще два года. Все мы, в основном молодые выпускники Политеха, с нетерпением ждали этого момента и активно проектировали первые экспериментальные установки. Для исследований в делении также была довольно быстро спроектирована и даже изготовлена специальная ионизационная камера (которая, правда, так и не использовалась в первых экспериментах, но зато послужила экспонатом для экскурсантов в дни физпуска реактора).

С весны 1961 года на пучке № 9 реактора ВВР-М сотрудники тогда небольшой группы физики деления начали систематические эксперименты по физике деления. Уже в мае 1965 года руководителем группы была успешно защищена кандидатская диссертация на тему «Свойства гамма-излучения при делении $^{233, 235}\text{U}$ и ^{239}Pu медленными нейтронами». В последующее пятилетие исследования в этом направлении активно продолжались, и в 1969 и 1971 годах сотрудниками уже сектора физики деления Л. А. Попеко и Г. В. Вальским были защищены еще две кандидатские диссертации.

К концу 60-х годов тематика исследований физики деления на реакторе ВВР-М существенно изменилась в сторону ее расширения. Был выполнен ряд поисковых исследований изомеров спонтанного деления в изотопах урана и плутония и радиационных переходов во второй потенциальной яме при делении тепловыми нейтронами ядра ^{241}Am .

Начиная с 1978 года одним из основных направлений исследований сектора деления становится детальное изучение эффекта нарушения пространственной четности в процессе деления тяжелых ядер поляризованными тепловыми нейтронами, впервые наблюдаемого в ИТЭФ. Ввиду специфики таких исследований и относительно малых величин ожидаемых эффектов ($\sim 10^{-4}$ – 10^{-5}) для проведения соответствующих из-

мерений на ВВР-М потребовалось развитие техники получения интенсивных нейтронных пучков поляризованных тепловых и резонансных нейтронов низких энергий. В Гатчине такие эксперименты стали проводиться на поляризующих нейтронноводах пучков № 6 и № 9 и с помощью двух вариантов специально спроектированных кристалл-дифракционных монохроматоров, вначале на касательном канале № 10, а затем на пучке № 1 реактора ВВР-М. На этих пучках и установках в 1978–1982 годах были проведены эксперименты по исследованию массовой и энергетической зависимости этого P -нечетного эффекта при делении $^{233, 235}\text{U}$ и ^{239}Pu (кандидатская диссертация А. К. Петухова).

Для расширения возможностей экспериментальных исследований процесса деления тяжелых ядер в 1971 году на базе синхроциклотрона института был создан уникальный по времени пролета Гатчинский нейтронный спектрометр (ГНЕЙС). Этот прибор позволил не только выполнить целый ряд новых интересных исследований в области физики деления ядер резонансными нейтронами, как, например, систематические исследования так называемого $(n, \gamma f)$ -процесса при делении $^{233, 235}\text{U}$ и ^{239}Pu (кандидатская диссертация О. А. Щербакова), получить оценки электрической поляризуемости нейтрона (кандидатская диссертация А. Б. Лаптева), но и провести широкий круг прецизионных измерений сечений деления ряда тяжелых ядер быстрыми нейтронами с энергиями до 200 МэВ, имеющих большое прикладное значение и вошедших в международный банк ядерных данных.

Начиная с 1985 года Лаборатория физики деления проводит свои исследования в области физики деления в рамках широких коллабораций. Так, в 1989–1995 годах на импульсном реакторе ОИЯИ ИБР-30/ЛИУ-40 в сотрудничестве с ЛНФ были впервые проведены систематические исследования энергетической зависимости эффектов нарушения пространственной четности в делении и связанных с ними P -четных интерференционных эффектов в широкой области энергий резонансных нейтронов. С теоретиками ОИЯИ и ИАЭ был проведен и теоретический анализ всех полученных экспериментальных результатов. В коллаборации с Радиевым институтом им. В. Г. Хлопина на жидкостном 4π -нейтронном детекторе был выполнен уникальный цикл исследований множественности нейтронов, испускаемых парными осколками спонтанного деления изотопов $^{245, 248}\text{Cm}$ и ^{252}Cf с различными массами и энергиями.

В ожидании ввода в строй реактора ПИК, начиная с 90-х годов прошлого столетия, сотрудники Лаборатории (ныне группы) физики деления ПИЯФ РАН практически ежегодно выполняют по одному выездному эксперименту на высокопоточном реакторе Института им. Лауэ – Ланжевена в Гренобле. Вначале проводимые эксперименты были посвящены систематическим поисковым исследованиям эффектов нарушения пространственной четности для различных делящихся систем от $^{230}\text{Th}^*$ до $^{250}\text{Cf}^*$. Начиная с 1995 года и по настоящее время на этом реакторе в рамках широкой международной коллаборации ведутся исследования впервые наблюдаемого и весьма перспективного с точки зрения изучения динамики деления так называемого эффекта T -нечетной асимметрии эмиссии легких заряженных частиц в тройном делении тяжелых ядер. Суть этого нового явления состоит в том, что поляризованные делящиеся ядерные системы вращаются вокруг направления своей поляризации, что приводит к весьма небольшим (порядка 10^{-3} – 10^{-4}), но вполне наблюдаемым изменениям угловых распределений продуктов деления. Такие изменения сводятся к разной вероятности эмиссии легких частиц в тройном делении тяжелых ядер при инверсии направления их поляризации (так называемый TRI-эффект T -нечетной асимметрии) и к сдвигу их угловых распределений (так называемый ROT-эффект T -нечетной асимметрии). В свою очередь, величины таких эффектов оказываются теснейшим образом связанными с основными динамическими характеристиками процесса деления при низких энергиях возбуждения. Поэтому открытие и детальное изучение таких эффектов позволило использовать совершенно уникальные, ранее не существовавшие возможности изучения динамики процесса деления. К настоящему времени коллаборацией ученых ПИЯФ РАН с университетами городов Тюбинген и Дармштадт (Германия) и Ювяскюля (Финляндия) на реакторе ИЛЛ уже детально исследованы делящиеся холодными продольно поляризованными нейтронами изотопы ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu . Получены новые уникальные данные о динамике деления этих ядер. В результате теоретического анализа полученных данных учеными ПИЯФ РАН разработана и предложена модель механизма возникновения таких эффектов.

В ближайшее время планируются исследования и других ядер, делящихся не только холодными поляризованными нейтронами, но и резонансными поляризованными нейтронами низких энергий.

Пристальный интерес к реакции деления и имеющиеся широкие возможности проведения работ на нейтронных пучках реактора ВВР-М в течение прошедших 50 лет привели к постановке целого ряда исследований по физике деления сотрудниками других лабораторий нашего института и исследовательских институтов страны.

Так, уже в 70-е годы на пучке № 7 активно работали сотрудники Радиевого института им. В. Г. Хлопина во главе с М. В. Блиновым, изучавшие характеристики нейтронного и гамма-излучений при делении. На первом кристалл-дифракционном монохроматоре поляризованных нейтронов на тангенциальном пучке реактора № 10 группа сотрудников ИТЭФ во главе с Г. В. Даниляном проверяла впервые обнаруженный нами эффект изменения знака P -нечетного эффекта при делении ^{233}U нейтронами с энергией 0,17 эВ.

На поляризованном нейтронном пучке канала № 6 сотрудники сектора В. М. Лобашева при помощи оригинальной методики с высокой точностью подтвердили сам факт открытия учеными ИТЭФ эффекта нарушения пространственной четности в делении $^{233}, ^{235}\text{U}$. На радиальном нейтронном пучке № 1 реактора ВВР-М в 1968–1973 годах сотрудники лаборатории А. А. Воробьева выполнили ставший классическим цикл исследований характеристик легких заряженных частиц в тройном делении ряда тяжелых ядер тепловыми нейтронами.

Нет никаких сомнений, что давно и с нетерпением ожидаемый ввод в эксплуатацию нового реактора ПИК с гораздо более широкими возможностями, чем существующий ВВР-М, позволит вписать в книгу наших достижений новые замечательные страницы во всех областях физики, связанной с нейтронами, включая и физику деления тяжелых ядер при низких энергиях возбуждения.

Виток спирали* (история лаборатории)

В. П. Плахтий

«В начале было Слово». После окончания Политехнического в апреле 1962 года я предстал пред Г. А. Смоленским, заведующим Лабораторией магнетизма и сегнетоэлектричества в бывшем Институте полупроводников Академии наук бывшего СССР. В действительности он сказал чуть больше, чем одно «Слово»: «Ты будешь заниматься нейтронами в Гатчине».



«Ты будешь заниматься нейтронами в Гатчине».

Авторская работа В. П. Плахтия. Подарок Г. А. Смоленскому к юбилею.

Металл, чеканка

* Статья печатается в сокращенном варианте. Полный текст статьи: сб. «Реактору ВВР-М – 50 лет». Изд-во ПИЯФ РАН: Гатчина, 2009.

В то время на реакторе было три прибора для изучения конденсированного вещества: пучок поляризованных нейтронов, где Г. М. Драбкин со своей командой провел первые эксперименты с поляризованными нейтронами, времяпролетный спектрометр (собственность Института полупроводников) и порошковый дифрактометр (собственность Московского института кристаллографии), который эпизодически использовался неким аспирантом. Когда мой гатчинский босс Г. М. Драбкин понял, что мой первый босс собирался инвестировать в эти нейтроны только мою зарплату, равную 83 рублям в месяц (самая низкая зарплата старшего лаборанта по Академии наук), он решил, что этого будет недостаточно для открытия еще одного пучка и что я должен присоединиться к Е. И. Мальцеву, который был ответственным за дифрактометр.

Вместе мы обнаружили сверхструктуру в BiFeO_3 – веществе, которое ранее исследовалось Р. П. Озеровым, и я навсегда понял, что любой новый результат требует совершенной экспериментальной методики. К сожалению, это был первый и последний эксперимент на данном приборе, и, главным образом по политическим причинам, мы потратили пять лет своей жизни на оборудование без какого-либо финансирования. Тем не менее до 1971 года было опубликовано восемь статей, включая статью по исследованию нейтронной дифракции марганцевой системы « $\text{CaMnO}_3 - \text{BiMnO}_3$ ». В настоящее время манганаты – наиболее популярные системы в физике твердого тела. Несмотря на это, я считаю более важной нашу публикацию с W. Cochran по рентгеновскому рассеянию на алюминате лантана. Это было первым наблюдением мягкой моды с ненулевым волновым вектором. Известно, что механизм мягкой моды, предложенный W. Cochran, ответствен за большинство фазовых переходов второго (или почти второго) рода. К тому моменту, когда филиал ФТИ им. А. Ф. Иоффе в Гатчине был трансформирован в Ленинградский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова, я был его сотрудником и работал в группе с Г. М. Драбкиным (он был нашим боссом), О. П. Смирновым, В. А. Кудряшевым, И. В. Голосовским. Это был зародыш нашей нынешней лаборатории.

Особенностью нашей группы (лаборатории) является специализация. Имея в распоряжении только нейтронное (рентгеновское) рассеяние, мы всегда могли исследовать микроскопические механизмы твердотельных явлений (что хорошо) и без возможности исследовать макроскопические свойства, вызванные этими явлениями (что очень плохо). Мы не обладали ни макроскопическими методами, ни химической основой для синтеза новых материалов и выращивания кристал-

лов. В этой ситуации мы должны были найти группы, которые имели эти возможности и были идеологически близки нам.



Г. А. Смоленский (1984)



В. И. Соколов (1986)



А. С. Боровик-Романов (1984)

По историческим причинам мы с самого начала сотрудничали с лабораторией Г. А. Смоленского. Но больше всего плодотворных контактов у нас было с группой В. И. Соколова из Московского государственного университета. Мы познакомились на конференции по низким температурам в Донецке в 1973 году и стали друзьями на следующий же день и навсегда. У нас были очень схожие взгляды на физику и на жизнь в целом. Вместе мы выполнили много работ, используя наши совместные экспериментальные возможности и одинаковые кристаллы превосходного качества, которые были выращены Б. В. Миллем. Даже сейчас, спустя много лет после нашего первого контакта, я время от времени возвращаюсь к темам, которые мы начали вместе.

Я считаю, что лабораторию создали два человека: Г. А. Смоленский, который сказал «Слова», и Г. М. Драбкин, который руководил нами в течение почти 20 лет. Очень важным было постоянное взаимодействие с А. С. Боровиком-Романовым, чей семинар для нас был высшей оценкой.

Биологические исследования на реакторе*

А. Г. Сverdлов

В начале 60-х годов прошлого века стало очевидным, что для решения многих проблем биологии необходимо объединение усилий других специалистов в этой области науки: физиков и химиков. Примером физического подхода к основополагающим проблемам биологии явилась, в частности, книга Шредингера «Что такое жизнь с точки зрения физиков». Участие физиков в решении, казалось бы, чисто биологических задач стало знаменем времени, а создание биологических лабораторий в физических институтах – частым явлением.

Примером успешного сотрудничества биологов с физиками может служить опыт ПИЯФ. Появление в ПИЯФ биологического подразделения в качестве структурного было предусмотрено при создании института, а направление биологических исследований определялось названием этого подразделения – Радиобиологический отдел. Действительно, изучение действия ионизирующей радиации на биологические объекты, и в первую очередь на организм животных и человека, было в тот период одной из задач государственной важности, что вызывалось развитием атомной энергетики, военной угрозой, развивающимся использованием ядерного излучения в народном хозяйстве, медицине, науке. При этом ПИЯФ, обладавший ядерным реактором, был единственным в стране учреждением, где имелась возможность исследовать действие нейтронов на млекопитающих разных видов, а это открывало перспективы экстраполяции полученных результатов и на человека.

Сказанное прекрасно понимали руководители Физтеха и Гатчинского филиала (ныне ПИЯФ) Б. П. Константинов и Д. М. Каминкер. Они приветствовали намечавшийся союз физиков и биологов и одобрили программу работ нового для института биологического отдела, представленную появившимися в ПИЯФ биологами (А. С. Мозжухин, А. Г. Сverdлов).

Реактор ПИЯФ обладал большими возможностями для выполнения этой программы, но горизонтальные каналы, имевшиеся в нем, как

* Статья была напечатана в сб. «Реактору ВВР-М – 50 лет». Изд-во ПИЯФ РАН: Гатчина, 2009.

и в реакторах других институтов, были недостаточны для систематического изучения биологических эффектов у различных биообъектов в различных условиях эксперимента. А для выявления основных закономерностей такого рода эффектов были необходимы именно такие исследования. В США даже создали с этой целью два специальных реактора.

Физики ПИЯФ пошли по другому пути: под руководством Д. М. Каминкера и К. А. Коноплева вертикальный канал большого размера в защите реактора был оборудован системами дозиметрии и жизнеобеспечения, вращающейся платформой и т. д. Большой размер канала позволял одновременно равномерно облучать большое количество мелких животных и, в случае необходимости, – крупных. Так усилиями реакторщиков (К. А. Коноплев, Р. Г. Пикулик, Л. Н. Постников, Л. М. Площанский, В. А. Соловьев, А. С. Балдычев, О. А. Ефремов и др.) были созданы уникальные для нашей страны возможности изучения биологических эффектов нейтронов и смешанного гамма-нейтронного излучения. Позже реакторщики создали на выгоревших твэлах критстенд БИОР, еще более расширивший «аппетиты» и возможности биологов. Физико-технические проблемы, возникшие при оборудовании вертикального биоканала, были рассмотрены Л. Н. Постниковым в кандидатской диссертации.

Несмотря на то что появление в реакторном зале необычных хвостатых объектов очень позабавило персонал реактора и физиков-исследователей, программа биологических экспериментов была выполнена. Это позволило уже на первом этапе работы получить интересные результаты, характеризующие биологическую эффективность нейтронов деления при действии этих частиц на млекопитающих разных видов. Эксперименты в этом направлении предпринимались в лабораториях Европы и Америки, но их результаты существенно отличались друг от друга. Это было неизбежно, поскольку условия опытов не были одинаковыми, как неодинаковыми были и сами объекты (разные генетические линии, пол животных, их возраст и т. п.). К тому же далеко не всегда они были достаточны количественно.

В отличие от этого условия эксперимента на реакторе ПИЯФ были строго стандартизированы: опыты проводились при постоянном дозиметрическом мониторинговании, использовались объекты с одинаковыми биологическими характеристиками, в одних и тех же сезонных

условиях и т. д. Участие реакторщиков обеспечило массовость экспериментов, что гарантировало статистическую достоверность результатов.

В итоге удалось определить важнейшую характеристику повреждающего действия нейтронов деления на организм – их относительную биологическую эффективность (ОБЭ), то есть отношение дозы нейтронов к дозе стандартного (гамма- или рентгеновского) излучения, вызывающего одинаковый биологический эффект. Полученные в строгих условиях наблюдения, эти величины в нашей стране стали рассматриваться как эталонные. Анализ показал, что ОБЭ нейтронов у животных разных видов уменьшается с ростом величины объекта. Проследив эту закономерность от мышей, крыс и морских свинок до собак, можно прогнозировать и величину ОБЭ нейтронов деления для человека, что имеет первостепенное значение для практики. Полученные данные позволили определить, что эффективность нейтронов близка к таковой у гамма-излучения и составляет 1,1. Эти результаты были использованы при разработке дозиметрической аппаратуры для медицинских и гигиенических целей.

Зависимость ОБЭ нейтронов от величины объекта требовала объяснений. Путь к ним стал ясным в результате постоянного общения с физиками. Итогом этого общения стал физический подход к рассмотрению биообъектов: они стали исследоваться в первую очередь как физические тела. При таком подходе требовалось исследовать пространственно-энергетическое распределение поглощенной дозы излучения в ткани эквивалентных фантомов различной геометрии.

Измерения показали, что в фантомах мелких лабораторных животных поглощенная доза на поверхности и в глубине одинакова и представляет собой дозу от протонов и ядер отдачи. При облучении больших фантомов поглощенная доза от поверхности к глубине объекта формируется все меньше протонами и ядрами отдачи и все больше вторичным гамма-излучением. Это означает, что в глубине она создается в большой степени не высокоэффективными ядерными частицами, а значительно менее эффективным, то есть менее поражающим, гамма-излучением. Этим и объясняется, что ОБЭ нейтронов деления у мышей составляет 1,8, а у собак близка к 1,1, и такой же следует ее ожидать у человека.

Параллельные биологические исследования поражений у животных показали, что к так называемым дозиметрическим факторам, определяющим снижение ОБЭ, следует добавить и чисто биологические.

Такие, например, как избирательно высокая радиочувствительность некоторых органов.

Дальнейшие исследования были направлены на выяснение возможности ослабить повреждающее действие нейтронов деления на организм. К этому времени было выяснено, что ряд химических веществ при их профилактическом применении способен уменьшить поражение гамма- или рентгеновскими лучами и даже предотвратить гибель животных. Эффективность таких препаратов (радиопротекторов) оказалась высокой. Однако при нейтронном облучении мышей она была невелика, и утвердилось представление, будто химическая защита от нейтронов либо вовсе невозможна, либо требует изыскания каких-то новых, особых протекторов. Это представление по ряду теоретических соображений казалось сомнительным, а в свете данных о роли вторичного гамма-излучения в нейтронном поражении – и вовсе ошибочным. Правоту такого или другого мнения мог решить только эксперимент, для которого возможности биоканала ПИЯФ открывали широкие перспективы. Практическую значимость такого эксперимента было трудно переоценить. Исследования названной проблемы потребовали огромного количества опытов. Они показали, что с помощью существующих радиопротекторов можно заметно ослабить нейтронное поражение мышей. Лучшие протекторы обеспечивали снижение смертности на 30 и даже на 40 %, что несколько выше описанного в литературе. Одновременно становилось ясно, что «мышинная модель» подходит лишь для выяснения принципиальной возможности химической защиты от действия нейтронов. Однако она не моделирует пространственно-энергетического распределения поглощенной дозы у более крупных объектов. В результате протекторы у мелких и крупных объектов действуют в неодинаковых условиях, причем для мелких объектов эти условия (вклад гамма-квантов в дозу на критических органах) существенно менее благоприятны для ослабления эффекта поражения. Это принципиальное предположение было подтверждено в опытах на других моделях.

Таким образом, была показана возможность химической защиты организма от действия нейтронов. Это кардинально изменило стратегию поисков новых радиозащитных средств и существенно снизило ненужные и немалые расходы. К тому же расширился спектр профилактических мероприятий в случае возможных аварий ядерных установок. Исследования на реакторе показали возможность повышения эффек-

тивности защиты от нейтронов путем сочетания протекторов с экранированием небольших участков скелета полиэтиленом. Появились и новые радиопротекторы, синтезированные в Радиобиологическом отделе (лаборатория С. А. Грачева). Была показана возможность повышения защиты за счет уменьшения токсичности некоторых протекторов путем использования их комбинаций с другими веществами.

Результаты этих биологических исследований на реакторе были опубликованы в многочисленных статьях и докладах и в монографии А. Г. Свердлова «Биологическое действие нейтронов и химическая защита». Многие ее страницы вошли в книгу, посвященную нейтронному поражению организма (без указания источника заимствования) и опубликованы в Чехословакии. Монография также переведена на китайский язык и издана в Пекине. Она стала настольной книгой китайских биологов, причастных к разработке ядерной проблемы, в чем можно было убедиться, посетив КНР.

В нашей стране возможности ядерного реактора ПИЯФ привлекли внимание биологов, занимающихся нейтронными исследованиями. С просьбой о проведении экспериментов на этом реакторе обратились сотрудники многих научных учреждений. Такие эксперименты были успешно проведены при участии физиков и биологов ПИЯФ учеными академических институтов: общей генетики, экологии, а также институтов Министерства здравоохранения РФ: рентгенологии и радиологии, биофизики, радиационной гигиены. По существу, ПИЯФ стал своего рода центром таких исследований. В целом исследования, выполненные на реакторе ПИЯФ, помогли выяснить основные закономерности действия нейтронов на организм, а результаты этих исследований способствовали решению важных практических задач.

Материаловедческие исследования на реакторе ВВР-М*

А. Н. Лапин

Создание и развитие объектов атомной энергетики тесно связано с решением материаловедческих проблем работоспособности выбранных конструкционных материалов в эксплуатационных условиях при воздействии нейтронного облучения, повышенных температур и рабочих сред.

В мировой практике решение этих проблем стало возможным с вводом в эксплуатацию исследовательских атомных реакторов различного типа. Одним из самых первых исследовательских реакторов, внесших свой достойный вклад в развитие отечественной и мировой атомной энергетики, явился реактор ВВР-М, построенный в Гатчине (район Орлова роща) в декабре 1959 года, в то время в Филиале Ленинградского физико-технического института АН СССР, в настоящее время – Петербургский институт ядерной физики РАН.

Сразу после запуска в эксплуатацию реактора ВВР-М было начато проектирование, а затем и строительство «горячей» материаловедческой лаборатории ЦНИИ-48 (в настоящее время ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»), материаловедческие разработки которой в тот период были приняты при проектировании и промышленном освоении на различных металлургических заводах страны при создании промышленных стационарных и транспортных атомных энергетических установок.

По завершении строительства этой лаборатории фактически в Гатчине был создан Ленинградский центр радиационного материаловедения (ПИЯФ РАН и ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей») по образу и подобию существовавшего уже в то время Московского центра – Института атомной энергии им. И. В. Курчатова и НИИАР в Димитровграде.

Еще в процессе строительства «горячей» лаборатории коллективом научных сотрудников (физиков) ПИЯФ РАН и научных сотрудников (материаловедов) ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» на экспериментальной базе реактора ВВР-М были начаты методические разработки,

* Статья была напечатана в сб. «Реактору ВВР-М – 50 лет». Изд-во ПИЯФ РАН: Гатчина, 2009.

ставшие основой для развития радиационного материаловедения в созданном научном центре.

Была создана методика расчетно-экспериментального измерения нейтронно-спектральных характеристик реактора ВВР-М, а именно плотности и флюенса нейтронного потока, энергетического спектра нейтронов и т. д., а также методика расчета, измерения и регулирования температурного режима облучаемых в реакторе образцов конструкционных материалов.

Была спроектирована, изготовлена и установлена на реакторе ВВР-М газовакуумная система регулирования и поддержания температуры облучения образцов, что значительно улучшило качество и повысило достоверность результатов экспериментов.

Были решены вопросы доставки высокоактивных образцов из реактора ВВР-М в «горячую» лабораторию (корпус 67) с помощью спроектированного, изготовленного и сертифицированного упаковочного транспортного комплекта (защитного контейнера).

В результате комплекса материаловедческих исследований, проведенных на реакторе ВВР-М и в «горячей» лаборатории (корпус 67), были решены следующие металлургические и народно-хозяйственные проблемы:

- дано экспериментальное обоснование расчетных характеристик радиационной повреждаемости конструкционных материалов корпусов реакторов, активных зон, внутрикорпусных устройств применительно к реакторам типа ВВЭР;

- исследовано влияние на радиационное охрупчивание практически всех легирующих и примесных элементов, которые входят в состав сталей, применяемых в настоящее время для изготовления корпусов водо-водяных реакторов, или которые могут быть использованы в новых сталях для корпусов реакторов повышенной безопасности. Установлена также зависимость радиационного охрупчивания от процентного содержания указанных элементов.

Полученные результаты исследований являются уникальными, т. к. они отсутствовали как у отечественных исследователей радиационного охрупчивания (ГНЦ «Курчатовский институт» и ОАО «НИИАР»), так и зарубежных, включая США, Англию, Францию, Германию и др.

С использованием результатов этих исследований были разработаны новые с повышенной радиационной стойкостью стали марок

15Х2МФА-А и 15Х2НМФА-А, впоследствии – сталь 15Х2МФА-А модификаций А и Б и их сварочные материалы. Эти стали и сварочные материалы внедрены при изготовлении реакторов типа ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, а модифицированная сталь 15Х2МФА-А внедряется при создании современных проектов атомных энергетических установок (АЭУ) как стационарных, так и плавучих АЭС.

Одновременно были проведены работы по исследованию влияния термической обработки (структуры) на закономерности изменения служебных характеристик конструкционных материалов АЭУ различного типа и назначения. Кроме того, были изучены методы регулирования темпа радиационного повреждения материалов корпуса реактора на основе управления процессом дефектообразования в период эксплуатации путем варьирования режимов нейтронного облучения с целью разработки компенсирующего мероприятия для увеличения срока службы корпуса реактора. В итоге была разработана и внедрена методика расчета на хрупкую прочность корпусов транспортных реакторов при нестационарном температурном режиме эксплуатации. С помощью этой методики был установлен допустимый радиационный ресурс эксплуатации транспортных реакторов, изготовленных из стали типа 15Х2МФА-А и 15Х2НМФА-А.

С использованием образцов, облученных в каналах реактора ВВР-М, примерно в 70-х годах прошлого века был разработан и запатентован режим восстановительного отжига корпусов реакторов, а также захватов промежуточных штанг стационарных реакторов ВВЭР-440 после наработки до заданного ресурса их эксплуатации. Внедрение восстановительного отжига на АЭС позволило продлить срок эксплуатации 13 корпусов реакторов отечественных и зарубежных АЭС. Ряд разработчиков и участников проведения отжига на корпусах реакторов АЭС был удостоен премии Совета Министров СССР. В их числе – сотрудники ЦНИИ КМ «Прометей» В. И. Баданин, В. А. Игнатов и Н. Н. Алексеенко.

В настоящее время на реакторе ВВР-М и в «горячей» лаборатории наряду с обоснованием расчетных характеристик радиационной стойкости стали 15Х2МФА (модификации А и Б) проводятся исследования радиационной стойкости основного металла и металла сварных швов, разработанных в ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» корпусных сталей марки 15Х2В2ФА-А, обладающих более высокой скоростью спада на-

веденной активности, для корпусов перспективных энергетических реакторов.

В последние годы ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» и ПИЯФ РАН активно сотрудничают в области работ по обоснованию остаточного ресурса несменяемых и неремонтопригодных металлоконструкций реакторов типа РБМК на АЭС России. Только по результатам изучения фактических свойств материалов этих металлоконструкций может быть выполнен обоснованный прогноз их состояния на различные периоды дальнейшей работы реактора.

В связи с этим несомненную актуальность приобретают работы, проведенные в 2007–2008 годах на исследовательском реакторе ВВР-М по подготовке канала отражателя к облучению образцов и получению в нем расчетного флюенса при минимальных рабочих температурах сталей марок 10ХСНД и 10ХН1М и их сварных соединений для несущих металлоконструкций реактора РБМК-1000.

В 2008 году на основе использования полученных результатов и испытания образцов из указанных материалов, облученных в ВВР-М, разработано «Руководство по оценке прочности и остаточного ресурса элементов металлоконструкций реакторов РБМК-1000». На основе этих исследований выполнен прогноз упрочнения и охрупчивания сталей в составе металлоконструкций РБМК и приняты технические решения о продлении сроков службы энергоблоков.

Наряду с исследованиями низколегированных конструкционных корпусных реакторных сталей и материалов металлоконструкций проводятся исследования радиационной стойкости основного металла и металла сварных швов стали типа 08Х18Н10Т, используемой для элементов внутрикорпусных устройств реакторов различного типа, а также для корпуса строящегося в настоящее время реактора ПИК.

Безусловно, должно и далее продолжаться творческое сотрудничество коллективов наших институтов при разработке обоснования ресурса собственно реактора ВВР-М сверх проектного срока эксплуатации.

Тесное творческое взаимодействие наших коллективов будет продолжено и принесет свои успехи в области дальнейшего развития атомной энергетики.

Часть 3

Реактор ВВР-М – полигон испытаний установок для реактора ПИК

Подготовка к исследованиям на реакторе ПИК

А. П. Серебров

В 1976 году в ПИЯФ было начато строительство нового реактора – реактора ПИК. На этом этапе большая роль принадлежит Олегу Игоревичу Сумбаеву, тогда директору института и заведующему Лабораторией нейтронных исследований (ЛНИ). В конце 70-х годов на реакторе ВВР-М началась активная подготовка к исследованиям на строящемся реакторе. О. И. Сумбаевым было решено подключить к разработке научной программы физиков следующего поколения. В результате я был назначен заведующим ЛНИ, а в структуре ЛНИ было создано новое подразделение – Отдел разработки физического оборудования (ОРФО) во главе с Виталием Андреевичем Труновым. В формировании научной программы по физике твердого тела был нужен свой профессиональный лидер, и я уговорил Владимира Петровича Плахтия заниматься этим ответственным делом. Он стал заместителем заведующего ЛНИ. Другим заместителем заведующего ЛНИ был, как и ранее, Игорь Андреевич Кондуров. Он занимался многими административными делами, решая просто и талантливо порой непростые задачи.

Создание новой экспериментальной базы стало также задачей всех секторов лаборатории. Требовалось разработать не только научную программу исследований, но и создать экспериментальные установки. Строительством реактора ПИК руководила администрация института во главе с Олегом Игоревичем Сумбаевым и Кириллом Александровичем

Коноплевым, который руководил тогда капитальным строительством и сектором физики и техники реакторов. В мои обязанности входило только формирование научной программы. Я согласился выполнять эту интересную задачу именно потому, что это открывало возможности для научного творчества, а административные проблемы решались на уровне дирекции института.



В. П. Плахтий



И. А. Кондуров



В. А. Трунов

За плечами был только десятилетний опыт работы с В. М. Лобашевым, но это хорошая школа. Вокруг коллеги и заведующие секторами, как правило, на десять лет старше. Но все были еще молодыми и полными энтузиазма, и время было другое, а строительство нового реактора воодушевляло. Объединить это движение было не трудно. Нужно было выбрать правильную стратегию – то, что сейчас называют часто употребляемым термином «концепция». Конечно, и тогда было понятно, что очень быстро ПИК не построить. Теорема Ю. В. Петрова о том, что до пуска ПИК всегда пять лет, была сформулирована позже, тогда же все рассматривалось достаточно оптимистично. Я предложил стратегию: реактор ВВР-М – полигон испытаний установок для реактора ПИК. Это означало, что нужно оснастить пучки реактора ВВР-М новыми установками или прототипами тех, которые предназначены для реактора ПИК, и одновременно использовать их в текущих измерениях. Такая тактика позволила активизировать научные исследования, готовить работающие приборы и реальную научную программу. В то время новая экспериментальная технология работы с нейтронами еще только активно развивалась за рубежом и практически полностью отсутствовала у нас.

Это были нейтронотводы, поляризующие нейтронотводы, многоцелевые системы, поляризаторы, коллиматоры, модули перемещений на воздушной подушке, соответствующая и современная электроника, которая, как и всегда, очень быстро развивалась. И наконец нужно было освоить источники холодных и ультрахолодных нейтронов. Все это нужно было научиться делать, затем использовать в исследованиях на реакторе, совершенствовать и снова использовать. Шел процесс созидания и одновременного обучения новым технологиям, а параллельно развивались научные исследования – формировалась научная программа. Решающее место в процессе создания приборов принадлежало ОРФО, который возглавлял В. А. Трунов. Виталий Андреевич был очень энергичный человек, он сделал удивительно много для создания новых приборов и развития новых нейтронных технологий. В состав ОРФО тогда входило несколько групп, обеспечивающих разные направления деятельности.

Одним из них было непосредственное изготовление установок в металле. Многое изготавливалось в центральном цехе (тогда ЦЭО) у Л. Ш. Рабинского, Е. П. Волкова, но мощностей не хватало, и на первом корпусе были созданы механическая мастерская и конструкторское бюро. Возглавил это важнейшее направление деятельности В. А. Приемышев. Валерий Александрович был очень грамотный инженер и хороший организатор. Нам удалось расширить станочный парк и производить установки в пределах корпуса. Это было очень эффективно, когда заказчик, разработчик, изготовитель и приемщик аппаратуры находятся в непосредственной близости.

Другим важным направлением явилось производство нейтронотводов, особенно поляризующих нейтронотводов. Его возглавил А. Ф. Щетбетов. Нейтронотводы для реактора ПИК с покрытием из ^{58}Ni были изготовлены уже в 1983 году.

Без современной по тем временам электроники физическая аппаратура не могла обойтись, и эту задачу успешно решал Отдел разработки электронной аппаратуры на реакторах под руководством В. И. Кадашевича.

Источники ультрахолодных нейтронов (УХН) мы начали изготавливать еще в начале 70-х годов в секторе В. М. Лобашева. Первый охлаждаемый источник УХН в ПИЯФ был сооружен в 1974 году на основе бериллиевого конвертера. В 1980 году в бериллиевом отражателе реактора был установлен жидководородный источник УХН объемом 150 см³.



Коллектив ОРФО. Слева направо: Н. Константинов, Е. Медведев, П. Гроза, В. Бирюков, В. Крылов, А. Курбаков, А. Булкин, Г. Крутов, А. Малышев, Ю. Антонов, В. Ульянов, В. Сыромятников, А. Циценко, Н. Плешанов (*стоят*); А. Щebetов, А. Куликов, Н. Магюшов, В. Крылов, И. Перелогов, В. Тимофеев, В. Савельев, А. Потоцкий, А. Грачев, Р. Дмитриев, В. Трунов, В. Козлов, В. Березин, П. Чернышов, Е. Кучеров, Б. Песков, И. Голосовский (*сидят*)



Слева направо: Н. Константинов, В. Савельев, В. Бирюков, В. Приемышев, А. Куликов, В. Игнагъев, В. Березин, В. Тимофеев (*стоят*); Н. Толстой, В. Трунов (*сидят*)



Слева направо: Д. А. Алексеев, О. А. Алексеева, Н. Н. Соколова,
И. Н. Малкова, Н. К. Плешанов, В. М. Пусенков (*сидят*);
А. В. Зайцев, В. Ю. Сухарев, В. П. Греков, Б. Г. Песков, А. Ф. Щебетов,
В. А. Ульянов, В. Г. Сыромятников, О. Ю. Самодуров (*стоят*)



Слева направо: В. И. Семенихин, Ю. П. Ромашов, С. С. Литвинов,
В. Н. Слюсарь, Е. И. Цветков, В. И. Волков, В. Г. Муратов, А. П. Шаблей,
В. В. Иванов, В. В. Марченков, В. П. Григорьев (*стоят*); Л. А. Скиданенко,
Е. В. Ефанова, В. И. Кадашевич, Л. А. Григорьева, Т. Л. Коломенская (*сидят*)



Слева направо: В. М. Лобашев, В. А. Назаренко, А. П. Серебров, Г. Д. Порсев



Участники разработки и эксплуатации универсального канала.
Слева направо: И. С. Алтарев, А. П. Серебров, В. А. Митюхляев, А. А. Захаров

Источников холодных нейтронов мы еще не разрабатывали, и я предложил сделать следующий шаг: создать универсальный источник поляризованных холодных и ультрахолодных нейтронов. Обоснование состояло в том, что решение такой непростой задачи позволяло приобрести опыт в разработке источников холодных нейтронов для реактора ПИК и вместе с тем расширить круг научных исследований. Кроме измерений электрического дипольного момента (ЭДМ) нейтрона и времени его жизни с УХН появлялась возможность измерить асимметрию в распаде нейтрона и тем самым определить фундаментальную величину в матрице смешивания кварков для проверки Стандартной модели элементарных частиц. В техническом отношении задача была крайне сложной, так как единственным местом размещения источника был центр активной зоны реактора, где удельное тепловыделение велико, даже в защитном свинцовом экране. Тем не менее эта задача была успешно решена. Удалось снять тепловыделение 2 кВт с 1 л жидкого водорода при температуре 18–20 К. Такого уровня удельного теплосъема (2 кВт/л) при водородных температурах пока нигде не достигнуто.

Важнейшую роль в создании универсального источника холодных и ультрахолодных нейтронов сыграло то, что была построена криогенная пристройка к первому корпусу для решения проблем детритизации и разработки источников холодных нейтронов для реактора ПИК. В разработке и эксплуатации универсального канала участвовали физики и реакторщики. Следует перечислить хотя бы основных участников: И. С. Алтарев, Н. В. Боровикова, А. П. Булкин, В. А. Весна, Е. А. Гарусов, Л. А. Григорьева, А. И. Егоров, Б. Г. Ерозолимский, А. Н. Ерыкалов, А. А. Захаров, С. Н. Иванов, В. Я. Кезерашвили, Г. А. Кирсанов, Э. А. Коломенский, К. А. Коноплев, И. А. Кузнецов, В. М. Лобашев, Н. Ф. Маслов, В. А. Митюхляев, И. С. Окунев, Б. Г. Песков, Ю. В. Петров, Р. Г. Пикулик, А. Н. Пирожков, Г. Д. Порсев, А. П. Серебров, Ю. В. Соболев, Р. Р. Тальдаев, В. А. Шустов, А. Ф. Щебетов.

Источник проработал десять лет и был снят с эксплуатации в середине 90-х годов из-за невозможности закупки надежной, но, к сожалению, дорогостоящей криогенной техники. Однако за это время была выполнена важнейшая научная программа и получен опыт в разработке и эксплуатации источников холодных нейтронов.



Криогенная пристройка к первому корпусу

В условиях неопределенных сроков пуска нового реактора тактика превращения реактора ВВР-М в полигон испытаний установок для реактора ПИК оказалась оптимальной. В итоге к концу 90-х годов практически все пучки были оснащены новыми экспериментальными установками, а в центре активной зоны реактора был размещен жидководородный источник холодных и ультрахолодных нейтронов.

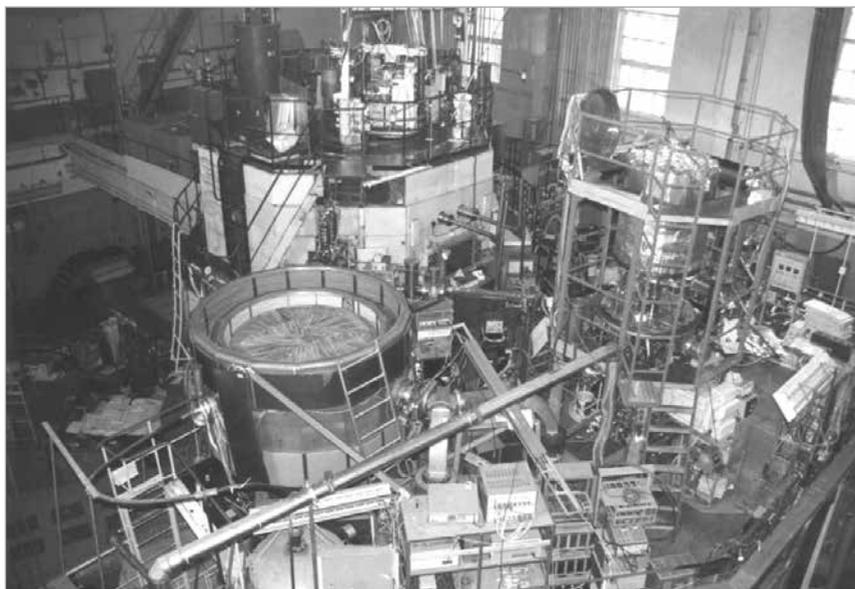
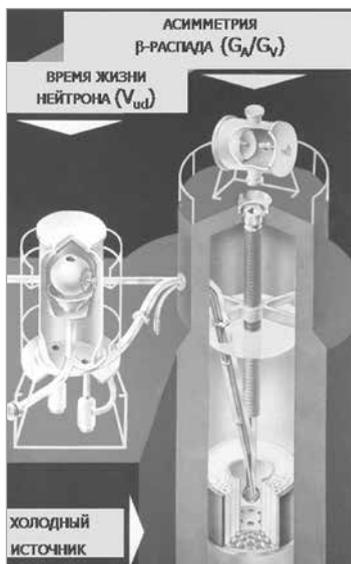
Благодаря оснащению физическим оборудованием реактор ВВР-М получил новое качество. Особенно эффективным оказался запуск источника холодных и ультрахолодных нейтронов (А. П. Серебров, И. С. Алтарев, Б. Г. Ерозолимский, И. А. Кузнецов, А. Ф. Щebetов, Б. Г. Песков, Н. В. Боровикова и др.). Поток поляризованных холодных нейтронов на выходе вертикального нейтроновода составил $3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что оказалось в 5 раз больше, чем на реакторе

в Гренобле, а плотность потока УХН $6 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ оказалась сравнимой, но несколько ниже. Можно сказать, что жидководородный источник холодных и ультрахолодных нейтронов изменил статус реактора ВВР-М, во всяком случае приблизил его к числу современных реакторов.

На этом источнике был получен целый ряд блестящих результатов мирового уровня. Верхний предел на ЭДМ нейтрона был доведен до $1,1 \cdot 10^{-25} \text{ e} \cdot \text{см}$ (В. М. Лобашев, А. П. Серебров, И. С. Алтарев, Ю. В. Борисов, Н. В. Боровикова, А. И. Егоров, С. Н. Иванов, Э. А. Коломенский, М. С. Ласаков, В. А. Назаренко, А. Н. Пирожков, Ю. В. Соболев, Е. В. Шульгина и др.). Были начаты прецизионные исследования бета-распада нейтрона. Результаты по бета-распаду нейтрона, полученные на реакторе ВВР-М, находились на мировом уровне точности и успешно конкурировали с результатами, полученными на высокопоточном реакторе ИЛЛ. С наилучшей в мире точностью была измерена асимметрия вылета антинейтрино относительно спина нейтрона в его бета-распаде (А. П. Серебров, И. А. Кузнецов, И. В. Степаненко, А. В. Алдущенко, М. С. Ласаков и др.). Измерена асимметрия вылета электрона по отношению к спину нейтрона с точностью 1,2 % (Б. Г. Ерозолимский, И. А. Кузнецов, И. В. Степаненко, Ю. А. Мостовой, О. В. Рожнов, Н. Ф. Маслов и др.). Методом хранения УХН измерено время жизни нейтрона с точностью 0,3 % (А. П. Серебров, А. Г. Харитонов, Р. Р. Тальдаев, В. В. Несвижевский, А. В. Стрелков, В. Н. Швецов, В. П. Алфименков и др.). Вероятность потерь при хранении УХН составляла всего 3 % от вероятности бета-распада, поэтому это было почти прямое измерение экспоненты распада для нейтрона. Комплекс установок для изучения бета-распада нейтрона представлен на схемах и фотографии, приведенных ниже.

На вертикальном пучке поляризованных холодных нейтронов с использованием специализированных установок и интегральной методики были исследованы эффекты несохранения четности с точностью, которая ранее была невозможна (В. М. Лобашев, В. А. Весна, Э. А. Коломенский, В. А. Назаренко, А. Н. Пирожков, И. С. Окунев, Л. М. Смотрицкий, Е. В. Шульгина и др.).

На горизонтальных пучках реактора ВВР-М было размещено оборудование для исследований по физике твердого тела и ядерной физике.



Установки на пучках УХН универсального источника:
ЭДМ-спектрометр и установка для измерения времени жизни нейтрона

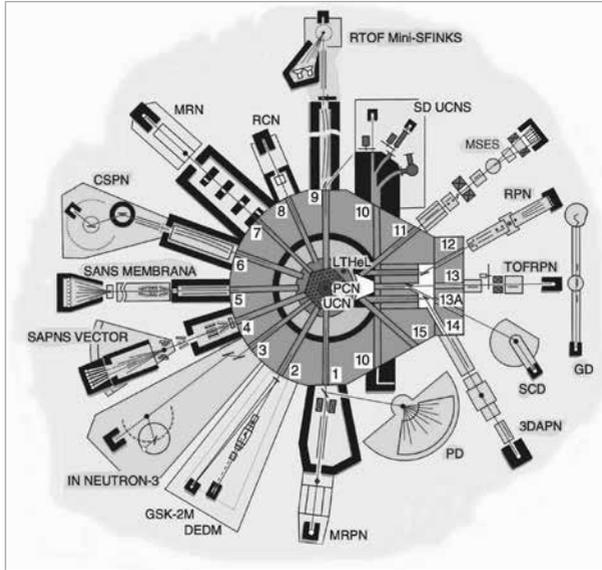


Схема экспериментальных каналов реактора ВВР-М
и размещения научной аппаратуры:

1. Канал поляризованных холодных и ультрахолодных нейтронов (PCN, UCN).
2. Кристалл-дифракционный монохроматор нейтронов (канал 1A).
3. 48-счетчиковый порошковый дифрактометр (канал 1).
4. Кристалл-дифракционный фокусирующий спектрометр ГСК-2М. Установка ДЭДМ (канал 2).
5. Трехосный нейтронный спектрометр «Нейтрон-3» со сдвоенным монохроматором (канал 3).
6. Малоугловой дифрактометр «Вектор» (канал 4).
7. Малоугловой дифрактометр «Мембрана-2» (канал 5).
8. Времяпролетный спектрометр (канал 6).
9. Механический многороторный монохроматор нейтронов (канал 7).
10. Установка для исследования гамма-излучений в реакции радиационного захвата нейтронов ядрами (канал 8).
11. Нейтронный обратный фурье-дифрактометр для исследования порошковых образцов (канал 9).
12. Твердодейтериевый источник УХН (канал 10).
13. Спин-эхо-спектрометр тепловых нейтронов (канал 11).
14. Двухкристальный спектрометр поляризованных нейтронов (канал 12).
15. Двухмодовый рефлектометр на поляризованных нейтронах РПН-2М (канал 13).
16. Четырехкружный дифрактометр для исследований магнитной и кристаллической структуры (канал 13A).
17. Малоугловой дифрактометр поляризованных нейтронов с трехмерным анализатором поляризации (канал 14).
18. Низкотемпературная гелиевая петля (LTHeL).
19. Гамма-дифрактометр (GD).
20. Универсальный источник поляризованных холодных и ультрахолодных нейтронов (PCN, UCN)



На установке вертикального канала для измерения асимметрии распада нейтрона.

Слева направо: Н. Ф. Маслов, И. А. Кузнецов, Б. Г. Ерозолимский

На пучке № 1 был создан кристалл-дифракционный спектрометр поляризованных горячих нейтронов для исследования энергетической зависимости эффектов несохранения четности на резонансах. В данных измерениях было продемонстрировано, что эффект возникает от интерференции s - и p -волн и изменяет знак на p -волновом резонансе (Г. А. Петров, Г. В. Вальский и др.). На этом же спектрометре с использованием специального поляриметра был продемонстрирован резонансный характер прецессии спина нейтрона, вызванной слабым взаимодействием (А. П. Серебров, А. К. Петухов, Г. А. Петров, Г. В. Вальский, Ю. С. Плева и др.).

На данном пучке был также создан высокосветосильный порошковый дифрактометр PD (И. В. Голосовский, лаборатория В. П. Плахтия), на котором проводилось большинство нейтронографических исследований. Спектрометр имеет 48 счетчиков с соллеровскими пле-

ночными коллиматорами перед ними. Он обладает хорошим разрешением в области малых и средних переданных импульсов, то есть там, где магнитное рассеяние максимально. На дифрактометре был выполнен большой цикл работ по определению магнитных структур в двухподрешеточных купратах, известных как «зеленая» (R_2BaCuO_5), «голубая» ($R_2Cu_2O_5$) и «коричневая» ($Nd_2BaCu_2O_5$) фазы, где R – редкоземельные элементы.



*Слева направо: О. П. Смирнов, В. П. Плахтий (стоят);
Ю. П. Черненко, И. В. Голосовский (сидят)*

На пучке № 2 была проведена новая модернизация кристалл-дифракционного прибора (В. Л. Алексеев, В. Л. Румянцев) совместно с лабораторией Б. Г. Турухано. Впервые в мире спектрометр оснащен интерферометром на высокочастотных голографических решетках с целью повышения точности относительных измерений углов дифракции (энергий) гамма-лучей. На спектрометре получено угловое разрешение $1''$ от полной апертуры и $0,2''$ от центрального участка апертуры кристалла. Это разрешение является рекордным для фокусирующих гамма-спектрометров.

Уникальное разрешение прибора дало возможность впервые в мире провести прямые измерения гамма-спектра активной зоны реактора и получить новые данные о гамма-распаде нуклидов деления урана из прямых измерений спектра (около ста хорошо разрешенных гамма-линий в диапазоне энергий 95–250 эВ (В. Л. Алексеев, В. Л. Румянцев, 1998 год). Столь высокая разрешающая способность спектрометра позволила, в частности, обнаружить новое явление. Суть его в том, что многие интенсивные гамма-линии являются тесными дублетами (триплетами), хорошо разрешенными в этих измерениях.

Было показано (В. Л. Алексеев, В. Л. Румянцев, В. В. Федоров, 1999 год), что кристалл-дифракционный метод изучения гамма-активности ядер – осколков деления урана (плутония) может быть использован при решении проблемы трансмутации для исследования и контроля изотопного и элементного составов в процессе выжигания ядерных отходов.

Начиная с 1986 года здесь велись интенсивные исследования динамической дифракции нейтронов в совершенных изогнутых и плоских кристаллах. По изменению при повороте установки контраста маятниковой картины при дифракции нейтронов на изогнутом кристалле впервые измерен предсказанный О. И. Сумбаевым гравитационный эффект на одном кристалле (В. Л. Алексеев, Е. Г. Лапин, Е. К. Леушкин, В. Л. Румянцев, О. И. Сумбаев, В. В. Федоров, 1988 год).

Теоретически предсказано (В. В. Федоров) наличие сильного ($\sim 10^8$ В/см) электрического поля, действующего на нейтрон при дифракции в нецентросимметричном кристалле. Это поле было обнаружено и измерено в опыте по динамической дифракции поляризованных нейтронов (В. Л. Алексеев, В. В. Воронин, Е. Г. Лапин, Е. К. Леушкин, В. Л. Румянцев, О. И. Сумбаев, В. В. Федоров, 1989 год). Экспериментально полученная величина совпала с теоретически рассчитанной.

Предложен и детально разработан новый эксперимент (В. В. Федоров, В. В. Воронин, Е. Г. Лапин) по поиску ЭДМ нейтрона при дифракции в нецентросимметричном кристалле на уровне точности $\sim 10^{-25} e \cdot \text{см}$.

На созданном макете установки, размещенной на горизонтальном канале реактора ВВР-М, был экспериментально обнаружен ряд предсказанных новых эффектов для дифрагирующего нейтрона внутри кристалла при углах Брэгга близких к 90° .

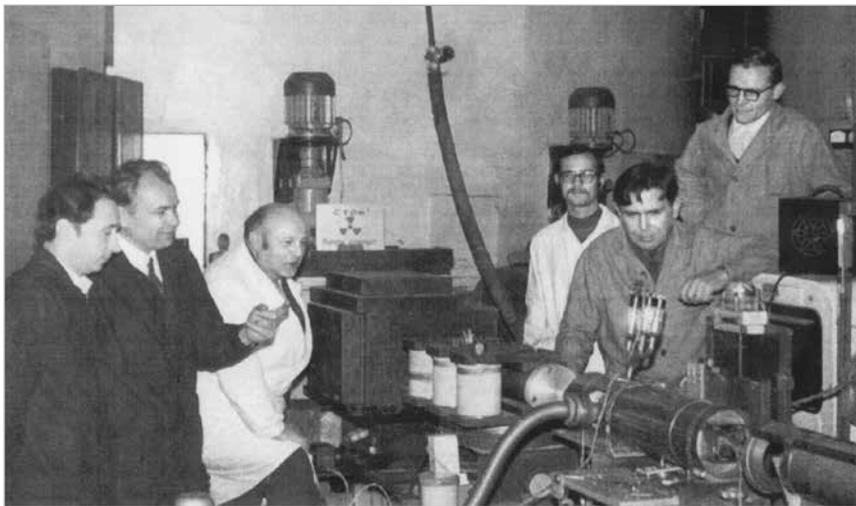


Лаборатория рентгеновской и гамма-спектроскопии.
Слева направо: А. Тюнис, В. Алексеев, О. Сумбаев, Н. Смирнова (*сидят*);
Г. Солодов, Ю. Васильев, Ю. Смирнов, Ю. Грушко, В. Шабуров,
Л. Самсонов, В. Румянцев, А. Совестнов, М. Федотов,
Е. Леушкин, Л. Молканов (*стоят*) (1979)

На пучке № 3 был создан трехосный спектрометр NEUTRON-3, на котором исследуется неупругое рассеяние (лаборатория Н. М. Окуневой, С. Б. Вахрушева, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург). Спектрометр имеет сдвоенный монохроматор и анализатор из монокристаллов $\text{Cu}(220)$ с $2d = 2,556 \text{ \AA}$, $\text{Cu}(200)$ с $2d = 3,608 \text{ \AA}$ и пирографита (002) с $2d = 6,71 \text{ \AA}$. Длина волны падающих нейтронов от 1 до 4 \AA , максимальный поток на образце $10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, разрешение по энергии больше 0,5 мэВ. Спектрометр использовался для исследования неупругого и квазиупругого рассеяния нейтронов в разупорядоченных структурно неустойчивых кристаллах.

На пучке № 4 была создана установка SAPNS-VECTOR, оборудованная трехмерным (векторным) анализом поляризации, на которой проводились эксперименты по малоугловому рассеянию поляризованных нейтронов (А. И. Огороков, В. В. Рунов, С. В. Григорьев, Г. П. Копица, С. А. Климко). Пучок формируется зеркальным фильтром в канале реактора, поляризуется отражением от малогабаритной сборки пластин Si с напылением Fe/Al суперзеркалом (А. Ф. Щebetов и др.) и монохроматизируется пространственным спиновым резонатором с возможностью плавно изменять длину волны нейтронов от 7 до 12 Å и ширину спектральной линии от 10 до 30 %. Диапазон переданных импульсов $5 \cdot 10^{-3} < q < 10^{-1} \text{ \AA}^{-1}$. Используются два адиабатических радиочастотных флиппера. Установка имеет 20-канальный детектор с зеркалом-анализатором перед каждым счетчиком. Значительная часть экспериментов на установке SAPNS-VECTOR связана с изучением магнитных фазовых переходов. Интерес к ним возник сначала с целью проверки гипотезы подобия, но по мере развития метода поляризованных нейтронов критическое рассеяние стало объектом исследования уникальных аспектов физики магнетизма.

На пучке № 5 создан малоугловой нейтронный дифрактометр SAPNS-MEMBRANA (Г. А. Евмененко, В. Л. Алексеев). Дифрактометр предназначен для изучения надатомной структуры конденсированных сред масштаба 20–1 000 Å (полимеры, коллоидные системы, материаловедение). Аналогично установке SAPNS-VECTOR пучок формируется поляризующей системой с магнитным монохроматором на основе ПСР и детектируется многосчетчиковой системой из 41 нейтронного счетчика СНМ-50 диаметром 12 мм и рабочей высотой 80 мм. Перед детектором имеется защитная маска из Cd с вертикальными щелями, регулируемые по ширине. Использование маски и сканирования ею в пределах 12 мм позволяет изменять угловое разрешение детекторной части установки от $1,5 \cdot 10^{-3}$ до $1,5 \cdot 10^{-4}$ рад. На этом дифрактометре была окончательно установлена структура фага Т7 (М. М. Агамаян). Проведены структурные исследования полиакрилатных супернабухающих гидрогелей при различных степенях набухания и проанализирована роль полиэлектролитных воздействий на конформацию полимерных цепей в районе узлов сшивки.



Слева направо: В. В. Рунов, А. И. Окорок, Г. М. Драбкин,
А. Г. Гукасов, Я. А. Касман, Е. И. Забидаров

На пучке № 6 создан корреляционный спектрометр поляризованных нейтронов CSPN (О. П. Смирнов) для исследования спиновой динамики и для дифракционных экспериментов с анализом поляризации. Использование поляризующего нейтронвода (А. Ф. Щебетов, А. И. Окорок), времяпролетной методики с псевдослучайной модуляцией поляризации нейтронного пучка и схемы обратной геометрии, при которой анализ спектра происходит после рассеяния на образце, позволило получить параметры прибора, сравнимые с лучшими аналогами на высокопоточных реакторах: интенсивность нейтронов в случае кристалла Гейслера в качестве анализатора $10^5 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ($\lambda = 2,5 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda/\lambda = 0,04$), в варианте TOF-анализа $\Delta\omega = 0,5 \text{ мэВ}$. В экспериментах используется методика полного поляризационного анализа с измерением рассеяния с переворотом спина (SF) и без переворота (NSF) для трех направлений поляризации падающих нейтронов $P_{x,y,z}$.

На пучке № 6 проводились исследования эффектов несохранения четности в делении. Исследовалась массовая зависимость P -нечетных эффектов для ряда делящихся ядер, используя пучок тепловых поляризованных нейтронов на нейтронводе канала № 6 (Г. А. Петров, А. К. Петухов, Г. В. Вальский, Ю. С. Плева).



Слева направо: В. Л. Варенцов, Т. К. Звездкина, С. П. Голосовская, В. П. Гудков (*сидят*); Л. С. Фалев, С. И. Степанов, В. В. Ящук, А. К. Петухов, Ю. С. Плева, Г. А. Петров, Д. В. Николаев, О. А. Николаев, О. А. Щербаков, С. П. Орлов (*стоят*)

На пучке № 7 был установлен роторный монохроматор, разработанный в Институте теоретической и экспериментальной физики (Ю. Г. Абов, С. И. Калебин).

На пучке № 8 создана установка для нейтронно-активационного анализа непосредственно на нейтронном пучке. Логарифмический нейтронный пучковод является уникальной установкой (Е. М. Коротких, И. А. Кондуров). Плотность потока выведенного из реактора пучка тепловых нейтронов на выходе логарифмического нейтронного пучковода составляет $2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что в 5–9 раз больше, чем при обычном коллимировании. На установке данного пучка был выполнен ряд работ по измерению сечений радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами (Ю. Е. Логинов).

На пучке № 9 установлен времяпролетный дифрактометр RTOF Mini-SFINKS (В. А. Трунов, В. А. Кудряшев, Д. Ю. Чернышев). Порошковый дифрактометр RTOF Mini-SFINKS создан в 1984 году совместно с Центром технических исследований (VTT) Финляндии. В нем используется обратный времяпролетный метод (RTOF) с фу-

рье-прерывателем, позволяющим получать разрешение $\Delta d/d = 0,25 \%$. Детектор обратного рассеяния имеет апертуру 0,1 ср и состоит из четырех тонких пластин сцинтилляционного стекла (с фотоумножителями диаметром 110 мм), расположенных на поверхности с временной фокусировкой. Оптимизированный тракт «источник – коллиматор – нейтронотводы» позволяет получить на образце поток $1,5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ для спектра $\lambda = 0,9\text{--}5 \text{ \AA}$. На этом дифрактометре по проблеме ВТСП выполнено 18 экспериментов. Среди них одна из первых в мире расшифровка структуры 1–2–3 ВТСП-соединения и исследование фазового перехода в системах $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$.

На пучке № 10 был установлен твердодейтериевый источник УХН. Экспериментально полученный фактор выигрыша в потоке УХН по отношению к комнатной температуре составил 1 230 раз.

На пучке № 11 установлен модернизированный спин-эхо-спектрометр MSES (В. Т. Лебедев), являющийся спектрометром квазиупругого рассеяния поляризованных нейтронов с модуляцией спектра фазой прецессии спина нейтрона. На нем изучается низкочастотная динамика магнитных (и немагнитных) систем, таких как феррожидкости, сверхпроводники и т. д. В спектрометре используются нейтроны со средней длиной волны $\lambda = 6,5 \text{ \AA}$ и поляризацией $P > 95 \%$, диапазон упругих переданных импульсов $0,01 < q < 0,3 \text{ \AA}^{-1}$, разрешение по энергии 10^{-7} эВ, размер пучка на месте образца $10 \times 60 \text{ мм}^2$, поток нейтронов на образце $10^2 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Прибор может работать в режимах рассеяния и томографии – фурье-анализа прошедшего пучка.

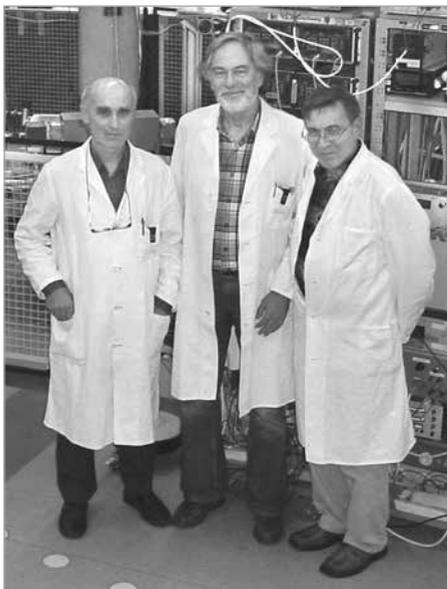
На пучке № 12 создан рефлектометр поляризованных нейтронов RPN с отражением в вертикальной плоскости для изучения свободной поверхности жидкостей. В частности, планируются эксперименты с изучением структуры и динамики феррожидкости при приложении внешнего магнитного поля, изменяющего устойчивость поверхности. Для рефлектометра планируется РГ-монохроматор, зеркальный поляризатор, 20-канальная детекторная система с апертурой 16° и угловым разрешением $0,01^\circ$.

На пучке № 13 установлен времяпролетный рефлектометр TOFRPN (А. Ф. Щебетов, В. А. Ульянов, В. Г. Сыромятников, Н. К. Плешанов, В. М. Пусенков и др.). Он используется для тестирования нейтронно-оптической техники, произведенной силами Отдела нейтронной оптики (ОНО) ПИЯФ. Основные элементы рефлектометра: поляризатор –

зеркало с CoFe-покрытием и TiGd-подслоем, прерыватель – Cd-диск со щелями, флиппер, образец, анализатор, детектор. Используется диапазон длин волн $\lambda = 1-4 \text{ \AA}$, разрешение времяпролетного спектрометра по длине волны $\Delta\lambda/\lambda$ в пределах 0,1–0,025, угловая ширина падающего на образец пучка 0,1 мрад, поток на образце $10^5 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, поляризация $P > 0,98$. В ОНО разрабатываются и производятся полярирующие и неполярирующие зеркала и суперзеркала, одно- и многощелевые нейтроноводы на их основе, коллиматоры, зеркальные монохроматоры и пр. для нужд исследователей на реакторе ВВР-М и для других нейтронных центров. Кроме тестирования нейтронных элементов, на установке могут проводиться исследования магнитных и немагнитных многослойных структур с целью определения реальных параметров структуры и ее совершенства.

На пучке № 13а установлен четырехкружный дифрактометр SCD (Ю. П. Черненко) с монохроматорами Cu, Ge, PG для исследования магнитной кристаллической структуры. Детектор движется в вертикальной плоскости в угловом диапазоне 5–30°.

На пучке № 14 расположена установка 3DAPN (Г. П. Гордеев, Л. А. Аксельрод, В. И. Забенкин, А. А. Воробьев). Она позволяет осуществлять трехмерный анализ поляризации в прошедшем пучке и определять направление вектора \mathbf{P} в пространстве с точностью 1 % по компонентам P_i . На ней ведутся исследования магнитной текстуры магнетиков, феррожидкостей. По прецессии вектора поляризации изучается распределение наведенного и захваченного магнитного потока в ВТСП-образцах. Из данных сканирования образцов узким ($\sim 0,1-0,5 \text{ мм}$) пучком получается информация об экра-



Слева направо: Л. А. Аксельрод,
В. Вагнер, Г. П. Гордеев

нирующих токах внутри образца, и таким образом визуализируются продольные и поперечные критические токи.

Гамма-дифрактометр GD. Изучение реального состояния совершенных монокристаллов, естественной и наведенной дефектности проводились на гамма-дифрактометре (А. И. Курбаков, А. Е. Соколов, Э. Э. Рубинова). В качестве источника гамма-излучения (200 Ки) используется активированная тепловыми нейтронами золотая пластинка размером $0,1 \times 5 \times 18$ мм³. Высокая монохроматичность пучка $\Delta\lambda/\lambda = 10^{-6}$ при $\lambda = 0,03$ Å и угловое разрешение в 4" обеспечивают прецизионные дифрактометрические измерения. Например, при исследовании монокристаллов кварца с плотностью дислокаций от 0 до 200 дисл./см оказалось возможным определять их плотность с точностью до нескольких штук.

LThel. Реактор ВВР-М оборудован низкотемпературной гелиевой петлей LThel (Р. Ф. Коноплева, И. В. Назаркин, В. А. Чеканов), позволяющей изучать квазистационарные неупорядоченные состояния, различные этапы дефектообразования, влияние нейтронного облучения на низкотемпературные процессы и фазовые переходы, а также низкотемпературную радиационную стойкость материалов.

При исследовании изменений электрофизических свойств ВТСП-материалов (YBCuO-керамики и пленок) в процессе низкотемпературного (20 К) нейтронного облучения в области флюенсов ($F = 10^{17} - 10^{18}$ см⁻²) быстрых ($E > 0,1$ МэВ) нейтронов обнаружен эффект малых доз, связанный с повышением критической температуры T_c от 92,3 до 95,3 К. При исследовании критического тока в Y-Ba-Cu-O-пленках получены его температурные и дозовые зависимости, которые объясняются механизмом пиннинга плоской границей зерен.

В общей сложности для физики твердого тела было создано 12 приборов, 7 из которых оснащены поляризующей техникой. Некоторые установки и их фрагменты являются прототипами инструментальной базы реактора ПИК.

И наконец, следует отметить одно из важных для экспериментаторов достижений: изобретение и производство в нужных количествах эластичного и пастообразного защитных материалов (И. М. Лазебник, 2 патента). Это почти безводородные (менее 2 % H) на основе пластической синтетической массы материалы с широким спектром возможных поглощающих наполнителей со степенью заполнения от 60 до 96 массовых процентов для защиты объектов сложной геометрической фор-

мы. Наполнители из тяжелых металлов (Pb, U, Bi и др.) используются для защиты от гамма-излучения, из элементов и изотопов с большим сечением захвата нейтронов – для нейтронной защиты. Особым спросом пользуется материал с ${}^6\text{Li}$ с большим сечением захвата нейтронов, практически не дающий вторичного гамма-излучения.

Исходя из того что реактор ПИК должен стать национальным центром нейтронных исследований, подготовка научных исследований и экспериментального оборудования для нового реактора велась совместно с другими институтами страны.

Отделением нейтронных исследований проводятся российские и международные конференции. Начиная с 1998 года было проведено девять международных конференций по источникам УХН и физике фундаментальных взаимодействий.

Особенности исследований в конце 90-х – начале 2000-х годов

Наконец, следует остановиться на этапе 90-х годов, отмеченных значительными трудностями в связи с резким уменьшением финансирования науки в России и, как следствие, частичным оттоком научных кадров.

Основными задачами этого периода стало обеспечение возможности проведения исследований и сохранение творческого потенциала лабораторий. В этой борьбе за существование науки основными слагающими успеха явились, во-первых, систематические усилия по поддержанию бюджетного финансирования на приемлемом уровне, обеспечению теплом и электроэнергией, обеспечению работы института со своей инфраструктурой. Важнейшая роль в этом принадлежала директору института члену-корреспонденту РАН В. А. Назаренко. Во-вторых, большое значение имело международное сотрудничество, интеграция российской науки в мировую. Наличие различных фондов (ISF, INTAS и др.) оказывало заметное влияние на сохранение творческого потенциала науки.

Исключительно большое значение для нейтронных исследований имело вступление России в международный центр (Институт им. Лауэ – Ланжевена, Гренобль, Франция) и финансовая поддержка Министерства науки и технологий и Минатома РФ этого международного сотрудниче-

ства. Достаточно высокий уровень исследований, достигнутый в ПИЯФ, позволял успешно конкурировать и достойно представлять гатчинскую школу в этом международном центре. В 90-х годах сотрудниками ПИЯФ на реакторе ИЛЛ были выполнены исследования по бета-распаду нейтрона и исследования с УХН (А. П. Серебров, А. Г. Харитонов, И. А. Кузнецов, И. В. Степаненко, А. В. Алдущенков, М. С. Ласаков, А. В. Васильев и др.), исследования по физике деления (Г. А. Петров, А. М. Гагарский и др.), исследования нейтронно-оптических эффектов, вызванных слабым взаимодействием (А. П. Серебров, А. К. Петухов, Г. В. Вальский, Г. А. Петров и др.), исследования по магнитно-кристаллической структуре вещества (В. П. Плахтий, С. В. Малеев и др.). ПИЯФ имел широкое сотрудничество с Институтом им. Гана – Мейтнер в Берлине, институтом Макса Планка, с Мюнхенским университетом и рядом других международных исследовательских центров.

Третьим важнейшим фактором, позволявшим сохранять научную активность, являлась деятельность, связанная с разработкой и изготовлением экспериментального физического оборудования для зарубежных научных центров. Значительный потенциал интеллектуального и технологического характера, накопленный в связи с разработкой экспериментального оборудования для реактора ПИК, оказался исключительно важным.

В Гатчине разработаны и изготовлены полярирующие нейтронпроводные системы для ЛНФ ОИЯИ (Дубна), ИФМ (Екатеринбург), ИРИ ТУ Делфт (Голландия), GKSS (Геестхахт, Германия), для реактора КАЕРИ (Южная Корея) и др. (А. Ф. Щebetов, В. А. Трунов и др.); дифрактометры для ЛНФ ОИЯИ (Дубна), ЛЛБ (Сакле, Франция), GKSS (Германия), реактора ETRR-2 (Каир), КФКИ (Венгрия) и др. (В. А. Трунов, В. А. Кудряшев, А. П. Булкин и др.).

Источники холодных нейтронов были разработаны, изготовлены и установлены на зарубежных реакторах: в институте КФКИ – Будапешт, Венгрия (А. П. Серебров, В. А. Митюхляев, А. А. Захаров и др.), затем на реакторе ANSTO в Австралии и, наконец, в Китае совместно с нейтронпроводной системой (В. А. Трунов, А. П. Булкин).

Разрабатываются и изготавливаются полупроводниковые детекторы для Европы и Америки (А. Х. Хусаинов и др.).

Летом 1999 года в PSI была установлена поляризирующая нейтронпроводная система и система анализа поляризации, которые были созданы

и установлены сотрудниками ПИЯФ (А. Ф. Щебетов, А. П. Серебров, Б. Г. Песков, М. С. Ласаков, В. М. Пусенков, А. В. Васильев, Е. Н. Медведев и др.). В результате был получен пучок поляризованных холодных нейтронов с плотностью потока $2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и полным потоком выше 10^{10} н/с, который предназначен для проведения исследований бета-распада нейтрона. Эта интенсивность равна интенсивности поляризованных холодных нейтронов пучка PF1 на высокопоточном реакторе LL. Данный результат был получен за счет высокого коэффициента вывода нейтронной системы.

В 1994–1998 годах на реакторе ВВР-М были проведены исследования твердодейтериевого источника УХН и источника УХН на основе тяжелого льда при 5 К (А. П. Серебров, В. А. Митюхляев, А. А. Захаров, М. С. Ласаков, А. В. Васильев, А. Г. Харитонов, В. Е. Варламов, Р. Р. Тальдаев и др.). Эти исследования проведены в рамках международного сотрудничества с целью разработки так называемой фабрики УХН на базе сильноточных ускорителей в Лос-Аламосской национальной лаборатории (США) и PSI (Швейцария). Целью этих разработок, в конечном счете, является проведение эксперимента по поиску ЭДМ нейтрона с точностью $10^{-27} e \cdot \text{см}$.

Но есть другой метод, который можно успешно использовать на реакторе ВВР-М. Это метод получения УХН с помощью сверхтекучего гелия. Сверхтекучий гелий – это замечательная квантовая жидкость, имеющая удивительные свойства сверхтекучести и сверхтеплопроводности. Не менее удивительны, но менее известны особенности взаимодействия сверхтекучего гелия с нейтронами. Сверхтекучий гелий обладает колоссальной прозрачностью для нейтронов низких энергий. Это свойство было отмечено в работе И. Я. Померанчука и А. И. Ахиезера в 1945 году. Но тогда еще Я. Б. Зельдович не сказал о возможности хранения УХН, и они не были столь активно востребованы для фундаментальных экспериментов. На возможность использования сверхтекучего гелия для получения УХН обратили внимание R. Golub и J.M. Pendlebury в 1977 году.

Суть дела достаточно проста. Знаменитая кривая Ландау, связывающая энергию и импульс возбуждений (фононов, ротоннов) в сверхтекучем гелии пересекается с кривой $E = p^2/2m$ для нейтрона в одной точке. Эта точка соответствует энергии возбуждения (в единицах температуры) 12 К. Это означает, что УХН может «поглотить» только фонон

с энергией 12 К. Таких фононов при температуре сверхтекучего гелия 1 К практически нет, так как больцмановский фактор – это экспонента в степени -12 . Этим и объясняется исключительная прозрачность сверхтекучего гелия для УХН. Действительно, УХН могут «жить» в сверхтекучем гелии до поглощения фонона десятки и сотни секунд. Ультрахолодные нейтроны «рождаются» в гелии из холодных нейтронов с длиной волны 9 Å или энергией 12 К, которая как раз равна энергии фонона, то есть холодный нейтрон возбуждает фонон и сам практически останавливается, становясь ультрахолодным. Холодные нейтроны проникают через стенку ловушки, а ультрахолодные отражаются, поэтому возможен эффект накопления УХН до плотности, определяемой временем хранения в ловушке с гелием.

Эксперименты по накоплению УХН в ловушках со сверхтекучим гелием успешно выполнены на пучках холодных нейтронов во Франции и Японии. Уже на пучке удалось получить плотность УХН, сравнимую с плотностью УХН, выведенной от источника в реакторе. Расходимость пучка нейтронов очень мала по отношению к 4π . В условиях облучения 4π можно выиграть 3–4 порядка величины. Возникает вопрос, в каких условиях облучения может работать источник на основе сверхтекучего гелия, какую мощность можно снимать при температуре около 1 К? Известно, что со сверхпроводящих магнитов при температуре 1,8 К удается снимать киловаттные мощности. Такие установки грандиозны и очень дорогостоящи. Мы можем ставить задачу об удалении мощности 10–20 Вт при температуре 1,2 К, тогда эта задача решается с помощью доступного гелиевого оживителя с производительностью 50 литров жидкого гелия в час и с помощью системы вакуумной откачки паров гелия, чтобы получить температуру 1,2 К. Для успешного решения задачи нужно найти компромисс между уровнем тепловыделения и нейтронным потоком.

На реакторе ВВР-М ПИЯФ имеются весьма подходящие условия для решения такой задачи. Это наличие тепловой колонны реактора, которая представляет собой канал большого диаметра (1 метр), примыкающий к активной зоне реактора. Такой диаметр канала позволяет расположить мощную свинцовую защиту от гамма-излучения активной зоны реактора, графитовый предзамедлитель при температуре 20 К, чтобы получать холодные нейтроны, и, наконец, собственно источник УХН на

основе сверхтекучего гелия при температуре 1,2 К. Способ удаления радиационного тепла основан опять же на свойствах сверхтекучего гелия. В этой квантовой жидкости нет необходимости организовывать принудительную циркуляцию для удаления тепла, потому что эта удивительная жидкость разумно устроена: так, что сверхтекучая компонента идет туда, где тепло, а нормальная компонента идет навстречу, и они друг другу не мешают.

В настоящее время у нас разработан проект источника УХН для реактора ВВР-М. Проведены детальные расчеты по программе MCNP, в которых показано, что в свинцовой защите источника будет выделяться 15 кВт, которые легко удаляются циркуляцией воды. В графитовом замедлителе будет выделяться 700 Вт, которые будут удаляться протоком газообразного гелия при температуре 20 К, и, наконец, самое главное – в источнике со сверхтекучим гелием будет выделяться 19 Вт. Как уже отмечалось, такая мощность на уровне 1,2 К может быть удалена с помощью доступных криогенных установок. Монте-Карло-расчеты плотности УХН показывают, что в экспериментальной установке (например, в ловушке ЭДМ спектрометра) можно получить плотность УХН $\sim 4 \cdot 10^3$ нейтронов/см³. Это означает, что фактор выигрыша по отношению к тому, что существовало у нас в Гатчине на вертикальном канале, будет составлять 500 раз, а по отношению к плотности УХН в Гренобле – 400 раз. Тем самым мы сможем вернуть России приоритеты в области УХН и значительно продвинуться в фундаментальных исследованиях с ними.

Надо сказать, что, как и всегда, фундаментальная физика должна давать побочный продукт в прикладных исследованиях. Также и в этом случае, так как для того чтобы получать УХН, мы сначала должны сделать их холодными. Это означает, что кроме зала УХН можно сделать еще зал холодных нейтронов, где можно заниматься исследованиями структуры вещества и подготовкой приборов для реактора ПИК.

Сложилась парадоксальная ситуация: мы готовились к ПИКу, но оснащали другие реакторы. Мы работали на других реакторах, но, как правило, на своих установках, которые готовили для реактора ПИК. Таковы особенности национальной науки. Причины такой ситуации – задержка с запуском реактора и отсутствие регулярного финансирования научной программы.

Заключение

В связи с подготовкой к исследованиям на реакторе ПИК реактор ВВР-М был оснащен новыми установками. Были освоены технологии производства нейтроноводов, поляризующих нейтроноводов, многощелевых систем, поляризаторов, коллиматоров, модулей перемещений на воздушной подушке, спектрометров и дифрактометров. Были разработаны источники холодных и ультрахолодных нейтронов и многое другое. Пуск реактора ПИК задерживался. Разработки ПИЯФ были внедрены на других реакторах мира. Это позволило сохранить научный потенциал Отделения нейтронных исследований в 90-е – 2000-е годы. К сожалению, запуск реактора ПИК по-прежнему отодвигается вместе с финансированием научной программы. В этой ситуации закрытие реактора ВВР-М представляется просто катастрофой. Ресурс на эксплуатацию бака реактора составляет еще 25 лет. Кроме того, на базе реактора ВВР-М может быть создан наиболее интенсивный в мире источник УХН при минимальных затратах, так как имеется вся необходимая инфраструктура и значительный задел в разработке источника. Также на базе ВВР-М может быть создан учебный центр для подготовки высококвалифицированных специалистов для будущей работы на реакторе ПИК.

Первый вариант научной программы для реактора ПИК был сформирован еще в 1984 году и начал естественным образом выполняться уже на старом, но оснащенном новым физическим оборудованием реакторе. Наука не ждет и ставит все новые и новые вопросы по мере решения текущих задач. Научная программа реактора ПИК существует и время от времени обновляется. Обновления были сделаны в 2002-м, 2011-м и последнее – в 2014 году. Хотелось бы надеяться, что эти планы будут реализованы.

Часть 4 Люди, годы...

О Льве Ильиче Русинове*

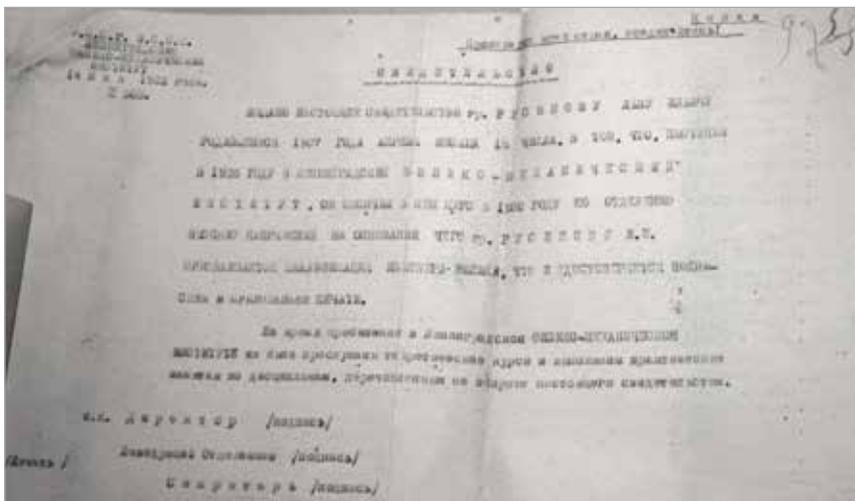
Л. А. Слив, Е. П. Мазец



С именем профессора Льва Ильича Русинова, крупного советского ученого, выдающегося специалиста в области физики атомного ядра, связана одна из самых ярких страниц развития ядерной программы в СССР в 50–60-е годы – созданием реактора ВВР-М в Гатчине. Именно созданием, поскольку реактор не просто строили – в ходе строительства он был модернизирован так, что в результате получился один из лучших в мире исследовательских пучковых реакторов. Кратчайшие сроки, в которые был реализован проект, не имеет аналогов. На реакторе ВВР-М были получены выдающиеся результаты, которые вывели наш институт на лидирующие позиции в мире по ряду направлений в нейтронных исследованиях и принесли ему безупречную научную репутацию. Это замечательное свидетельство незаурядности таланта Льва Ильича Русинова как организатора и руководителя, физика и удивительного человека.

* Статья составлена на основе публикации в журнале «Успехи физических наук». Т. 73. Вып. 1. 1961. С. 182–186.

Лев Ильич Русинов родился 21 апреля 1907 года в Минске. Во время Гражданской войны семья Русиновых переехала в Симферополь. Там в 1924 году Лев Ильич окончил общеобразовательный техникум, и райком комсомола направил его на работу в Опытно-показательную школу Крымсоцвоса.



Копия свидетельства об окончании Ленинградского физико-механического института (Из личного дела Л. И. Русинова, архив ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН. Документы были любезно предоставлены сотрудником архива С. В. Беляевой.)

С 1926 по 1930 год Лев Ильич учился на физико-механическом факультете Ленинградского политехнического института, после окончания которого поступил в аспирантуру Ленинградского физико-технического института, в лабораторию Игоря Васильевича Курчатова.

Уже с первых шагов научной деятельности Лев Ильич выделялся своими незаурядными способностями, самостоятельностью и инициативой. Выполненный им под руководством И. В. Курчатова цикл работ по созданию и выяснению механизма действия саморегулирующихся карборундовых сопротивлений явился основой кандидатской диссертации, успешно защищенной в 1934 году. В результате этих исследований были разработаны и внедрены в промышленность первые отечествен-

ные карборундовые разрядники для защиты линий высоковольтных передач. Характеризуя научную работу молодого ученого в те годы, И. В. Курчатов дал ей высокую оценку и высказал убеждение, что в будущем Лев Ильич вырастет в очень серьезного физика.

С конца 1934 года в лаборатории И. В. Курчатова начали интенсивно развиваться работы по физике атомного ядра. Лев Ильич глубоко заинтересовался и увлекся новой областью исследований. Он приступил к опытам по взаимодействию нейтронов с атомными ядрами, так как работы Э. Ферми с сотрудниками, проведенные в 1934 году, показали, что бомбардировка различных веществ медленными нейтронами открывает широкие возможности для изучения искусственной радиоактивности. Из полученных вскоре результатов особенно интересными оказались данные об аномальной радиоактивности брома: было установлено, что его радиоактивность характеризуется тремя периодами полураспада, хотя при нейтронной бомбардировке брома, имеющего два стабильных изотопа, естественно было ждать появления двух радиоактивных изотопов. В апреле 1935 года была опубликована работа И. В. Курчатова, Б. В. Курчатова, Л. В. Мысовского и Л. И. Русинова по исследованию радиоактивности брома.

Необычные свойства радиоактивных ядер брома, выделенных из облученного нейтронами бромистого этила, поставили перед исследователями задачу, решение которой привело к открытию одного из интересных явлений ядерной физики – изомерии искусственно радиоактивных ядер. Однако в упомянутой работе не исключались некоторые возможности объяснения наблюдаемых фактов, не требующих новых представлений. В частности, высказывалось предположение, что один из радиоактивных изотопов брома возникает в результате пороговой реакции (n , $2n$). В последующем Лев Ильич экспериментально показал, что реакции, вызывающие активность брома, не имеют энергетического порога и что все три бета-активности брома получаются в результате реакций захвата нейтрона. В 1936 году И. В. Курчатов окончательно сформулировал утверждение о новом явлении – изомерии искусственно радиоактивных ядер, наблюдаемом в случае радиоактивного брома.

В конце 1936 года в работе Вайцзеккера было высказано предположение, что изомерия атомных ядер связана с метастабильными состояниями, которые возникают, если энергия возбуждения ядра сравнительно мала, а разность угловых моментов основного и возбужденного

состояний значительна. В результате этой работы стали намечаться конкретные пути использования изучения ядерной изомерии для развития представлений о структуре ядер.

Лев Ильич приступил к систематическому и всестороннему исследованию излучения ядер-изомеров. В 1938 году Л. И. Русинову и его сотруднику А. А. Юзefовичу удалось показать, что изомерный переход в бромe сопровождается испусканием в основном мягкого электронного излучения. Им удалось также подтвердить экспериментально предположение И. В. Курчатова о том, что излучение мягких электронов при распаде изомерных ядер связано с процессом внутренней конверсии.

Появившиеся в конце 1938 года теоретические расчеты коэффициентов внутренней конверсии показали, что переходы с высоким порядком мультипольности должны осуществляться главным образом путем испускания конверсионных электронов. Таким образом, исследования мягкого излучения брома явились первым экспериментальным подтверждением гипотезы о том, что в основе явления ядерной изомерии лежит метастабильное состояние ядра.

В те годы изучение ядерной изомерии стало быстро развиваться во многих лабораториях. Исследование конверсионного излучения открыло широкие возможности для детальной проверки теоретических представлений о ядерной изомерии Бора – Вайцзеккера, Бете, Захса и изучения структуры и свойств низковозбужденных уровней атомных ядер.

Накопленные к 1941 году экспериментальные и теоретические данные по ядерной изомерии, расхождения и трудности, возникавшие при их сопоставлении, были подробно проанализированы Львом Ильичом в первой обзорной работе «Изомерия атомных ядер». Одновременно в этот период Л. И. Русинов проводил широкие работы по изучению взаимодействия нейтронов и гамма-лучей с ядрами. В 1936 году им были выполнены исследования фотоэффекта и реакции ($n, 2n$) в бериллии.

В Харькове Лев Ильич совместно с А. И. Лейпунским провел ряд работ по изучению поглощения тепловых нейтронов в серебре, кадмии и боре при различных температурах. Эти исследования показали, что захват тепловых нейтронов некоторыми элементами происходит по законам, отличающимся от зависимости вида $1/v$ и что энергия нейтронов при прохождении через водородсодержащие тела при различных температурах определяется их взаимодействием со связанными про-

тонами решетки, а их распределение по скоростям отличается от максвелловского для данной температуры. Особо следует отметить опыты Л. И. Русинова и Г. Н. Флерова по делению урана, проведенные в 1939–1940 годах; ими независимо и одновременно с зарубежными исследователями было показано, что число нейтронов, выпускаемых в одном акте деления, равно 3 ± 1 и что тепловыми нейтронами делится легкий изотоп урана, а захват нейтронов тяжелым изотопом приводит к образованию трансуранов. Эта работа имела очень важное значение для определения условий осуществления цепной реакции.

В период Великой Отечественной войны Л. И. Русинов выполнял работы по оборонной тематике. В 1944 году он защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук на тему «Исследование изомерии атомных ядер». В 1948 году Л. И. Русинову было присвоено ученое звание профессора по специальности «экспериментальная физика». С 1946 года Лев Ильич много работал над решением ряда задач, связанных с созданием новой отрасли промышленности. Достигнутые результаты получили высокую оценку.

В послевоенные годы Л. И. Русинов продолжал также исследования по изомерии атомных ядер. В 1947–1949 годах Львом Ильичом совместно с А. С. Карамяном был выполнен ряд исследований по разработке и выяснению механизма новых методов разделения ядерных изомеров.

Существенный прогресс в понимании явления ядерной изомерии был достигнут ядерной физикой благодаря развитию оболочечной, а затем и обобщенной моделей ядра. Основные закономерности, установленные для ядерных изомеров, такие как существование «островов изомерии» вблизи критических чисел нуклонов в ядре, большие группы однотипных изомерных переходов с высоким порядком мультипольности и др., имели большое значение для представлений об оболочечной структуре ядра.

Экспериментальная проверка выводов модели оболочек стала важной задачей. Лев Ильич и сотрудники его лаборатории проделали обширную работу в этом направлении. В исследованиях изомерии цинка, селена, ниобия, родия, бария было показано, что в ряде случаев представления о чистых одночастичных движениях в ядре оказываются недостаточными, и необходим учет взаимодействия нуклонов.

Автобиография Л. И. Русинова

Родился в 1907 году в Мшеле. Отец по профессии был портной. Занятие матерью - домашнее хозяйство.

Учился в Симферопольской средней школе, которую окончил в 1924 году. С 1924 года по 1926 год работал слесарем на Швейной фабрике им. Крупской в Симферополе и кинотеатра работником в Октябрьно-пользательной школе Крымского края.

В 1926 году поступил на Физико-механический факультет Ленинградского политехнического института им. Каменева, который окончил в 1930 году по специальности физика диэлектриков. На 3^м курсе ВЧЗ^а был заочно переведен из работы в ФТИ. После окончания ВЧЗ^а работал в Учебной части Физико-механического Института - членом секретаря.

В начале 1931 года был принят в аспирантуру Ленинградского Физико-механического Института, в лабораторию И. В. Курганова. Во время прохождения аспирантуры работал над созданием саморегулирующихся сопротивлений и ввлекением механизма их действия. Результатом этой работы послужила темой моей кандидатской диссертации, которую защитил в 1934 году и она переведена в старшие научные сотрудники Института.

На основе наших работ по саморегулирующимся сопротивлениям был разработан Карборундовый разрядник для защиты высоковольтных линий передач.

С начала 1935 года работал по физике атомного ядра. В этой области много проводил исследований по вопросам: неустойчивости радиоактивных атомов, ядерной фотоэффекции в Бериллии, взаимодействии нейтронов с водородом - содержащими веществами при низких температурах.

Автобиография Л. И. Русинова из личного дела (архив ФТИ)

раурах, процессов захвата нейтронов ядрами, цепных реакциях нейтронов при делении ядер урана и др.

Оставиле работы этии в основном в области явления изомерии атомных ядер; об этих работах много этии сделаны доклады на Всесоюзных собраниях по физике атомного ядра в 1938, 1939 и 1940 году.

С 1942 года работаю в лаборатории № 3 АФТИИ по оборонной тематике.

В мае 1944 года защитил диссертацию на тему «Свойства атомных ядер» на кафедре физико-математических наук ИФЭИ «Исследования изомерии атомных ядер».

В 1938 году этии присужден на Всесоюзном соревновании молодых научных работников организованном в связи с XX летием Великой Октябрьской Революции.

В 1945 году этии награжден орденом «Знак Почета» в связи с 20-летием юбилеем Академии Наук СССР.

По организационной линии в течение ряда лет работал секретарем Комитета Комсомола и председателем местного ИФЭИ.

В 1939 и 1941 этии избран в члены Центрального комитета Союза Работников Выходимости и Научных Ученых.

В 1924 году вступил в кандидатуру ВКП(б), член ВКП(б) с 1939 года.

21/11/42

Л. Русинов.

Особое внимание Л. И. Русинов уделял всестороннему изучению вероятностей гамма-переходов в ядрах, дающему сведения о весьма тонких особенностях внутриядерных движений и деталях структуры ядер. Так, в работе по изомерии гафния Л. И. Русинов совместно с В. С. Гвоздевым впервые исследовал K -запрещенный изомерный переход, вероятность которого вследствие связи вращения ядра с движением отдельных нуклонов оказывается в 10^{16} раз меньшей по сравнению с оценками по одночастичной модели.

Под руководством Русинова были выполнены исследования ядерной изомерии висмута-210, метастабильное альфа-активное состояние которого имеет время жизни $\sim 10^6$ лет. Изучение этого ядра представляло особый интерес и потому, что давало возможность проверить и подтвердить теоретические расчеты характеристик уровней, проведенных в Физико-техническом институте.

Л. И. Русинов очень много работал над обобщением экспериментального и теоретического материала по ядерной изомерии. Широкую известность получили его содержательные обзорные работы и доклады на совещаниях по ядерной спектроскопии.

Исключительное внимание Русинов уделял расширению экспериментальной базы для физических исследований в Ленинграде. Он явился инициатором сооружения в Гатчинском филиале ФТИ исследовательского реактора водо-водяного типа и с большой энергией приступил к работам в области реакторостроения. По инициативе Л. И. Русинова была проведена модернизация проекта серийного реактора и создан проект современного реактора с высокими нейтронными параметрами и широкими возможностями для экспериментальных исследований. Во время проектирования, строительства, физических опытов и пуска реактора ВВР-М Лев Ильич осуществлял руководство и принимал активнейшее творческое участие в проводимых исследованиях и работах.

Много внимания и сил Л. И. Русинов уделял подбору и воспитанию кадров молодых научных работников. Руководимый им коллектив успешно решил весь комплекс научных и технических вопросов, связанных с сооружением реактора ВВР-М. Как научный руководитель реактора ВВР-М, Лев Ильич Русинов разработал чрезвычайно интересную программу физических исследований на реакторе.



Улица Профессора Русинова (кадры из фильма Л. А. Колесниковой «Ю. В. Петров рассказывает о Л. И. Русинове»)

Энтузиазм, с которым ученые решали научные и технические задачи в области ядерной физики, порой стоил им жизни. Они работали на пределе человеческих возможностей. 18 мая 1960 года на 54-м году жизни после тяжелой болезни скончался Лев Ильич Русинов.

Внезапный уход Льва Ильича Русинова из жизни стал тяжелым испытанием для молодого коллектива, который под его руководством занимался созданием реактора и развитием научной программы исследований. Но они справились с несчастьем, сумели осуществить все планы и задумки своего руководителя по вводу реактора в строй и не сдавали позиций на протяжении последующих лет его успешной работы.

Доброжелательная атмосфера творчества, поиска – главное наследие, оставленное нам поколением Л. И. Русинова, – настойчиво и бережно хранилась в стенах нашего института на протяжении всей его истории. Профессора Льва Ильича Русинова будут помнить не только научная общественность, но и жители Гатчины. Его имя носит одна из улиц нашего города.

О Борисе Павловиче Константинове*

О. И. Сумбаев



Люди масштаба Бориса Павловича Константинова оказывают решающее влияние на судьбы многих. В полной мере это относится ко мне и к некоторым моим сверстникам, ныне сотрудникам Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР.

Впервые мы, абитуриенты физико-механического факультета Ленинградского политехнического института 1947 года, прочли имя профессора

Б. П. Константинова под фотографией человека в шляпе, с лицом тонким и моложавым, на «выставке» в приемной комиссии. Кроме шляпы, выделявшейся на фоне официальных портретов других профессоров и преподавателей, наше внимание привлекла подпись: «...доктор физико-технических наук». Возник спор, и большинство, помнится, считало, что такое бывает и даже как-то связано с известным нам понаслышке таинственным Физико-техническим институтом. Мы тогда вообще были настроены романтически, любили физику, мечтали о ней, очень хотели попасть именно на физмех. Нам повезло: это настроение с первых же дней студенчества было поддержано полюбившимися нам лекциями профессора Д. Н. Наследова по общей физике и факультативом уже совершенно легендарного в наших глазах директора ФТИ, декана физмеха академика Абрама Федоровича Иоффе, вечерами в переполненной Большой физической аудитории рассказывавшего нам о физике. Помню радостное изумление, вызванное открытием, что о большой физике можно говорить понятно. Это был луч надежды в атмосфере неуверенности и сомнений, одолевавших нас при попытках самостоятельно забежать вперед, залезть в умные книги. Позднее выяснилось, что люди, умеющие говорить (и думать) просто о сложном, уникальны.

* Статья под названием «Воспоминания об учителе» была опубликована в журнале «Вестник Академии наук СССР. 1984. № 4. С. 122–126.



Одним из таких людей оказался профессор Б. П. Константинов, читавший нам, уже студентам четвертого курса, лекции по разделению изотопов. Совсем другая атмосфера и специфическая обстановка лаборатории. Мы стали старше, и нас уже подсушила «проза жизни». Борис Павлович читал довольно математизированную теорию разделительных каскадов. После одной из лекций мы подошли к нему с каким-то вопросом. Не было формального (формульного) объяснения, не было наглядных картинок. Было сказано: «Давайте сделаем оценки». Последовали простые, в принципе известные из разных курсов соотношения, выводимые (точнее, выписываемые) тут же с поразительной легкостью, иногда исходя просто из соображений размерностей, и по порядку величины (но количественно!) характеризующие, наполняющие содержанием, уточняющие наши рассуждения «на пальцах». Это умение делать оценки, позволявшее Борису Павловичу быть компетентным в любой области физики (и не только физики), было его стилем, его методом мышления, во всяком случае при начальном подходе к задаче. Тот случай, когда мы впервые стали свидетелями этого, поразил и запомнился.

В 1957 году Борис Павлович стал директором Ленинградского физико-технического института, и в это время решался вопрос об укомплектовании сотрудниками ядерного филиала ФТИ, строительство которого начиналось в Гатчине. Выбранный вариант решения коренным образом повлиял на судьбу многих из нас, стал поворотным этапом, определившим нашу дальнейшую жизнь. Было отобрано 20–30 молодых физиков, окончивших физмех три-четыре года назад. Формально мы были подчинены нескольким руководителям существенно (лет на 20–25) старше нас: Давиду Моисеевичу Каминкеру, Льву Ильичу Русинову, Антону Пантелеймоновичу Комару, Дмитрию Георгиевичу Алхазову, Сергею Николаевичу Николаеву, Ивану Семеновичу Кирину. Они были носителями опыта, мудрости и славных физтеховских традиций. Однако двери кабинета Бориса Павловича и его заместителей (Б. А. Гаева, Н. В. Федоренко, Г. В. Скорнякова) с удивительной и, как я теперь понимаю, намеренной легкостью открывались для нас, молодых.

Нам отчетливо давали понять, что мы – строители и будущие хозяева филиала, нашего научного дома, и связаны с ним надолго, может быть, на всю жизнь. От того, каким он будет, зависят наши судьбы, наше будущее, наша наука. Все это в наших руках, все это в первую очередь зависит от нас. Была создана и поддерживалась атмосфера удивительного энтузиазма, запаса которого действительно хватило на долгие годы.

Весьма острым для меня и многих моих товарищей был вопрос о соотношении фундаментальных и прикладных исследований в академическом институте. Максимализм делал нас, конечно же, горячими сторонниками фундаментальных и только фундаментальных исследований. Мы, в общем, знали об иных традициях Физтеха, но воспринимали их только как вынужденный компромисс.



Фотографии из выпускного альбома физмеха ЛПИ, выпуск 1954 года

Уже в 1964 году, через несколько лет после пуска в Гатчине ядерного реактора, когда появились наши первые крупные работы, мне случилось выступить с рассказом об одной из них на ученом совете ФТИ. Кстати, нашим докладам тогда уделялось непропорционально большое время на большом совете ФТИ. Я помню несколько подробных докладов молодых сотрудников филиала, которые слушал и Борис Павлович, и весь цвет тогдашнего Физтеха. Вообще же заинтересованных слушателей собиралось человек до ста!

Я рассказывал о маловероятных с точки зрения статистики отклонениях в энергетических распределениях гамма-линий. Наиболее поразительным обстоятельством были не сами выбросы (флуктуации) плотности, но их положения, численно совпадающие с такими величинами, как, например, масса покоя электрона. Это явление, ныне известное под названием «эффект Сухоручкина» (по имени физика, посвятившего и посвящающего ему значительную часть жизни), я и сейчас считаю одним из наиболее загадочных, правда, по сей день не признанных большинством физиков, явлений, которыми мне довелось заниматься.

Естественно, теоретики основательно потрепали меня на совете. Борис Павлович промолчал, но на следующий день передал через одного из друзей: «Скажите Сумбаеву, что эта работа мне не понравилась; я готов объяснить ему, почему». Через несколько дней мне удалось поговорить с ним. Принял он меня вечером, когда стихли телефоны, так что разговор получился довольно обстоятельным и занял, по-видимому, около часа.

«Я готов признать, – начал Борис Павлович, – что, может быть, вы получили намек на совершенно новое явление. Я понимаю ваше возбуждение и энтузиазм, но именно поэтому хотел бы предостеречь вас. Допускаю, что, используя не только свои, но и все имеющиеся в таблицах данные, вы получите более доказательный результат. Однако объяснение могло бы лежать где-то на уровне структуры элементарных частиц! Следовательно, ваш результат сегодня вообще не может быть воспринят физикой и останется изолированным. Теоретики, даже если бы поверили, не смогли бы протянуть вам руку помощи, с другой стороны, экспериментально вы не имеете дело с явлением, которое можно было бы разносторонне изучать, ставя новые и новые вопросы. Даже препарировать и искать корреляции вам будет не на чем, так как всей имеющейся статистики обо всех гамма-линиях едва достанет, насколько

я понимаю, для надежного доказательства самого факта. Ситуация будет меняться, но в течение нескольких лет, даже десятилетий. Поэтому мой вам настоятельный совет: используйте по возможности все имеющиеся сегодня данные, предельно внимательно и объективно обработайте их с помощью статистики и, если результат выстоит, попытайтесь его опубликовать. Заранее предупреждаю, что сделать это будет непросто. Потом займитесь другим, совсем другим делом».

Совет Бориса Павловича удалось выполнить только лет через шесть, когда соответствующая статья была опубликована в ЖЭТФ. Однако основной моей работой уже тогда, в 1964 году, действительно стало изучение совсем других явлений, которыми я занимался и до этих событий и которые стали темой моей докторской диссертации. Но в тот вечер я горячо возражал Борису Павловичу и, не поняв сразу сути его совета, обиженно говорил, что он требует от исследователей чуть ли не практических приложений и что такой мерке эта работа, конечно, не удовлетворяет. Борис Павлович нахмурился, помолчал, а затем сказал: «Что ж, на тему о прикладных работах нам также полезно поговорить». Изложенное далее мне не раз приходилось отстаивать позднее, так что сегодня это уже моя точка зрения, но представляется, что в той давней беседе Борис Павлович говорил примерно так: «Прикладное использование основных – подчеркиваю – основных, результатов фундаментальной работы – это счастье, до которого лишь в редчайших случаях удастся дожить ученому, занимающемуся фундаментальными исследованиями. Примером того, что я имею в виду, является атомная программа (это общеизвестно) и полупроводниковая техника, вышедшая из физики полупроводников, которую столь убежденно и мужественно отстаивал Абрам Федорович Иоффе. Она имеет сегодня огромное значение, которое еще не все до конца понимают. Вот лет через десять – двадцать – вы-то еще доживете – это станет ясным для всех. Так вот, такое бывает редко. Но в академическом институте, живом и творческом, где действительно занимаются фундаментальной наукой на хорошем уровне (кстати, без фундаментальной науки такой институт довольно быстро перестанет быть и живым, и творческим!), неизбежно, непременно повседневное рождение новых методик, технологий, приборов. Если сотрудники вашего института будут людьми широко образованными и стоящими на позициях гражданственности (об этом нужно специально заботиться), они поймут практическую полезность этого попутного

потока нового, найдут конкретные применения полученных результатов в прикладной науке или прямо в промышленности. Чего действительно нужно бояться и против чего нужно бороться, так это случайных тем, для разработки которых у вас нет ни новых идей, ни опыта и которые поручаются вам или предлагаются вашим сотрудникам только потому, что они нужны, модны или выигрышны, или просто легко выполнимы. Как минимум нужно понять, в чем ваше (вашего института) преимущество перед отраслевыми НИИ, заводом или какой-либо мастерской (бывает, что дело доходит и до этого) при выполнении данной работы. Словом, нужно бояться не приложений, а их имитаций, попросту говоря – халтуры».

Шли годы. Образовавшаяся на базе нашего реактора Лаборатория нейтронных исследований (ЛНИ) в основном сформировалась. Я стал заведовать одним из секторов этой лаборатории. В это время продолжалось создание и становление других лабораторий и отделов Гатчинского филиала: Лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ) на базе строившегося ускорителя – синхротронотрона на энергию 1 ГэВ и биофизического отдела, из которого в конечном счете сформировалась наша третья крупная лаборатория – молекулярной и радиационной биофизики (ЛМРБ). Знаю, что Борис Павлович принимал деятельное и непосредственное участие в создании новых лабораторий. Появились молодые руководители, многие из которых сегодня возглавляют секторы и лаборатории института. Мои непосредственные встречи с Борисом Павловичем в эти годы происходили значительно реже. Тем не менее припоминаю несколько эпизодов и из этого времени.

В 1966 году Борис Павлович стал вице-президентом Академии наук СССР. Нужно сказать, что все мы сожалели об этом, так как стало известно, что он не будет больше директором ФТИ. Но, помимо судьбы ФТИ и его филиала, нас все больше беспокоило состояние здоровья Бориса Павловича. Став вице-президентом, он продолжал активно интересоваться становлением филиала, а его референт Антонина Васильевна Зайцева была просто нашим ангелом-хранителем и наставником в новых для нас коридорах Президиума Академии.

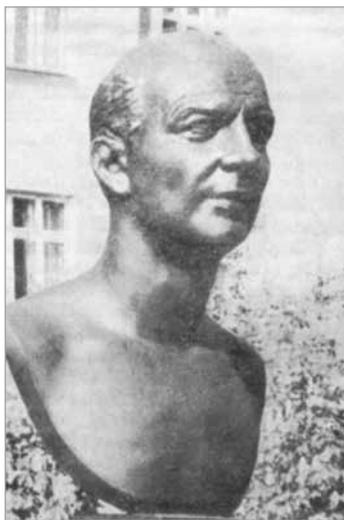
Однажды, когда какое-то дело могло быть решено только с помощью Бориса Павловича, я «сел в засаду» перед кабинетом, ожидая возможности поговорить с ним. Проведя целый день в его приемной и попав в кабинет только в восьмом часу вечера, я с удивлением, а потом

со все большей тревогой следил за бесконечным потоком посетителей, звонков и неотложных дел. Позднее я узнал, что это был, в общем, нормальный рабочий день вице-президента. Но тогда этот «распорядок» произвел на меня ошарашивающее впечатление. Помню, что я с беспокойством и огорчением рассказывал об этом, вернувшись в институт.

К первому году вице-президентства Бориса Павловича относится и другой эпизод. Это было на открытии какого-то совещания, по-видимому, весьма важного, так как в президиуме появился Мстислав Всеволодович Келдыш в окружении «свиты». Был и Борис Павлович. После торжественного открытия слово было предоставлено первому докладчику, а так как он показывал слайды, то члены президиума спустились в зал. Сидя в свободном ряду, я вдруг оказался между Борисом Павловичем и подошедшим вместе с ним Мстиславом Всеволодовичем. Президента я в те годы видел только издали и почувствовал себя, мягко говоря, весьма неудобно, а тут еще сидевший невдалеке Леонид Васильевич Грошев довольно громко сказал: «Ну, Сумбаев, попал как кур в очки». Доклад кончился, зажегся свет, и объявили перерыв. Вставая, Борис Павлович сказал: «А это, Мстислав Всеволодович, тот молодой человек, о котором я вам говорил». Президент, как мне показалось, посмотрел на меня довольно мрачно и что-то буркнул, все стали расходиться, а я только хлопал глазами. Впрочем, довольно быстро все разъяснилось, и через некоторое время я делал на заседании Президиума доклад о «сдвигах» – результатах той самой работы, сосредоточиться на которой мне настоятельно рекомендовал года за три до этого Борис Павлович в памятном разговоре о «нестатичностях».

В 1969 году Бориса Павловича не стало. До сих пор трудно примириться со случившимся...

В 1971 году Гатчинский филиал отделился от Физтеха, и появился Ленинградский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР



Бронзовый бюст
Б. П. Константинова
перед зданием института

(ЛИЯФ). Вышло так, что меня назначили его первым директором. Трудно судить вполне объективно и беспристрастно, но хочется верить, что ЛИЯФ стал коллективом со своим лицом, своей научной и жизненной концепцией, что он занимает в академической фундаментальной науке место, достойное дорогого для всех нас имени, которое он носит.

Созданный талантом и любовью большого художника М. К. Анискушина, у главного корпуса ЛИЯФ стоит бронзовый памятник Борису Павловичу. У него молодое, как на той далекой фотографии, тонкое лицо, кажется, он вот-вот улыбнется...

О Давиде Моисеевиче Каминкере*

Э. Боровкин



В 1964 году в Женеве в рамках Организации Объединенных Наций проходила 3-я Международная конференция по использованию атомной энергии в мирных целях. В составе делегации советских ученых находился и доктор физико-математических наук профессор Д. М. Каминкер. Потом участвовал в конференции по использованию нейтронов в физических исследованиях в Бельгии.

К тому времени имя Давида Моисеевича было уже широко известно в научном мире, его работы по проблемам ядерной физики вызывали живой интерес.

Мог ли когда-нибудь житомирский мальчишка даже подумать, что станет видным ученым, что доведется ему встречаться с такими яркими представителями отечественной науки, как А. Ф. Иоффе и И. В. Курчатов, не один год рука об руку работать с академиком Б. П. Константиновым, которого он и поныне считает идеалом ученого.

Когда человек взрослеет, он старается найти свою звезду, которая бы вела его вперед, светила ему в пути, а о какой звезде мог мечтать в начале 20-х годов Д. М. Каминкер в опустошенном Гражданской войной Житомире? Отца убили петлюровцы, на руках у матери помимо него еще трое детей. Он пробует рисовать. Как будто получается. Поступает в техникум и через четыре года получает специальность керамика-теплотехника, работает начальником цеха.

А живопись? Нет, увлечение не проходит. Может, оно превратится в призвание? Он едет в Ленинград поступать в Академию художеств. Профессионалы с интересом рассматривают этюды двадцатилетнего юноши и советуют поступить на подготовительное отделение. Камин-

* Статья под названием «Ученый советской эпохи» была опубликована в «Гатчинской правде» в 1972 г. к 60-летию Д. М. Каминкера.

кер вежливо выслушал советы и... возглавил бюро рационализации и изобретательства Ленпрома, сам таким образом погасив свою мечту стать художником. Вскоре поступает в Политехнический институт, готовясь продолжить полученное в техникуме образование. Очевидно, он стал бы хорошим специалистом в той области, которую избрал, – не больше.

На третьем курсе института в руки Давида Моисеевича попала книга тогдашнего профессора Ленинградского университета А. Д. Хвольсона «Физика наших дней», и участь теплотехника Д. М. Каминкера была решена. Из института он вышел инженером, физиком-экспериментатором.

Диссертация на тему «Внутренний фотоэффект в щелочно-галлоидных кристаллах» в экспериментальном плане была готова, но...

В июле 1941 года Давид Моисеевич добровольцем записывается в народное ополчение, проходит путь от красноармейца до командира штабной роты отдельного батальона связи. Когда в октябре 1945 года он по вызову Физико-технического института приехал в Ленинград, на его груди сверкали два боевых ордена и медали.

Через год он с успехом защитил диссертацию «Пути усовершенствования циклотрона» (предыдущая работа погибла в блокированном городе).

Стране нужны были физики-ядерщики, поэтому именно в стенах Физико-технического института проходил передний фронт борьбы, решался вопрос о безопасности страны. Ядерная физика нуждалась в сложных исследовательских установках, ускорителях, реакторах, и Давид Моисеевич выполняет большой цикл исследований по теории ускорителей заряженных частиц. За эту работу ему присуждается степень доктора физико-математических наук. Это было в 1956 году, а годом позже Б. П. Константинов пригласил Д. М. Каминкера быть его заместителем и возглавить работу в Гатчине. Давид Моисеевич охотно согласился.

– Работать с Борисом Павловичем было удовольствием, – вспоминает Д. М. Каминкер. – Этот блестящий ученый счастливо сочетал в себе много прекрасных качеств: ясный ум, организаторскую хватку, чуткость к людям!..

Многие из этих качеств присущи и Давиду Моисеевичу. Ведь принимая предложение Б. П. Константинова, Давид Моисеевич принимал

на себя в то же время нелегкий груз не чисто научной, а научно-организационной работы, что не каждому ученому под силу. Но шел он на это сознательно, потому что думал не о себе, а о коллективе, о том большом объеме работы, который ему предстоит решить.

Коммунист Каминкер понимал, что времена, когда наука делалась с помощью простейших приборов, давно миновали. Современные экспериментальные установки обслуживают сотни людей: научные сотрудники, инженеры, механики, и для того чтобы руководить ими, мало быть только ученым, надо обладать редким даром ученого-организатора.

За пятнадцать лет на месте ольхового мелколесья выросли громады корпусов, пушены уникальные исследовательские установки.

Славный отряд ученых института возглавляют теперь двадцать докторов и около ста кандидатов наук. В октябре прошлого года решением правительства филиал был преобразован в Ленинградский институт ядерной физики имени Б. П. Константинова, Давид Моисеевич назначен заместителем директора ЛИЯФ по научной работе, заведует Лабораторией нейтронных исследований.

Новый институт – это комплексный научный центр Академии наук СССР, проводящий широкие исследования с использованием радиоактивных излучений в различных областях науки: физике атомного ядра и элементарных частиц, физике твердого тела и полупроводников, радиохимии, биофизике и радиобиологии. Институт располагает атомным реактором, синхротронном – ускорителем протонов на энергию 1 000 МэВ (миллион электронвольт). Кстати, за участие в создании последнего группа ученых ЛИЯФ, в том числе и Д. М. Каминкер, выдвинута на соискание Государственной премии СССР.

Д. М. Каминкер – автор свыше ста научных трудов, ведет большую общественную работу в институте. В течение ряда лет он является членом парткома и партийного бюро и сейчас руководит в ЛИЯФ философским семинаром.

Полвека назад он стал одним из первых пионеров Украины, четыре десятилетия назад начал заниматься научной деятельностью, тридцать лет назад стал членом партии великого Ленина.

Так что 1972 год для Давида Моисеевича поистине юбилейный. Остается добавить, что к трем его знаменательным юбилеям сегодня прибавился еще один, главный – 60-летие со дня рождения. Научная

общественность, многочисленные ученики Д. М. Каминкера, соратники по работе от души поздравляют юбиляра.

Жизнь каждого видного ученого – это часть истории нашего времени, в ней, как в зеркале, отражаются судьбы отечественной науки. Путь Давида Моисеевича в науку – яркий пример тех возможностей, которые раскрываются в нашей стране перед каждым человеком.

Примечание

Давид Моисеевич Каминкер в 1938 году с отличием окончил инженерно-физический (впоследствии физико-механический) факультет Ленинградского политехнического института (ЛПИ). Проработав несколько месяцев младшим научным сотрудником в Государственном оптическом институте, в том же 1938 году поступил в аспирантуру при кафедре технической электроники ЛПИ и начал работать над темой «Излучение объемных зарядов при фотопроводимости» под руководством П. С. Тартаковского (1895–1940). В 1941 году Давид Моисеевич практически был готов защитить кандидатскую диссертацию, но началась Великая Отечественная война, и в июле 1941-го он ушел добровольцем на фронт...

Научным руководителем Д. М. Каминкера был тот самый Петр Саввич Тартаковский, который в 1927 году осуществил эксперимент по дифракции электронов при прохождении через тонкую поликристаллическую фольгу из алюминия, вписав свое имя в летопись становления квантовой механики и «заработав» от советского правительства двухмесячную заграничную командировку в Германию и Францию (1928).

Он практически одновременно с американскими учеными К. Дэвиссоном и Л. Джермером начал опыты по обнаружению дифракции электронов.

Американцы наблюдали дифракционную картину при отражении медленных (с энергиями от 40 до 70 эВ) электронов от монокристалла никеля, а Тартаковский – при прохождении более быстрых (с энергией около 1 кэВ) электронов сквозь тонкую алюминиевую фольгу.

Эта работа, выполненная нашим соотечественником независимо от Дж. П. Томсона (зарегистрировавшего в 1927 году явление дифракции при прохождении быстрых электронов с энергиями вплоть до 60 кэВ сквозь пленку золота), явилась весьма реальным вкладом в экспериментальное обоснование волновых свойств электрона. К. Дэвиссон с Л. Джермером и Дж. П. Томсон в 1937 году получили Нобелевскую премию за экспериментальное открытие дифракции электронов на кристаллах.

В. В. Федоров

Страницы воспоминаний

Г. М. Драбкин



Моему появлению в ленинградском Физтехе предшествовала работа на одном из объектов комбината «Маяк» на Урале. Именно здесь уже в начале 50-х годов были развернуты работы по спектроскопии короткоживущих радиоактивных ядер. По инициативе Игоря Васильевича Курчатова и Льва Ильича Русинова была создана лаборатория ядерной спектроскопии. На одном из реакторов был установлен бета-спектрометр с многосчетчиковой камерой, на другом (на горизонтальном нейтронном канале) – установка по бета- и гамма-спектроскопии ядер с периодом полураспада порядка минут.

Тогда же в кругах физиков, работавших на комбинате, стала кристаллизовываться идея создания специального исследовательского реактора. Эта идея была поддержана И. В. Курчатовым и другими ведущими физиками, среди которых были «старые» физтеховцы – Г. Н. Флеров, Я. Б. Зельдович и др. Таким образом, научная общественность была подготовлена к необходимости строительства исследовательского реактора для физиков. Выбор ФТИ им. А. Ф. Иоффе как одного из базовых институтов для нового реактора был неоспорим.

После принятия решения правительства о строительстве реактора Лев Ильич Русинов был назначен научным руководителем строящегося реактора. В те времена научные руководители обладали решающим словом при реализации всех аспектов проекта. Вместе с тем они не были обременены административными заботами.

Строительство реактора, естественно, началось с выбора места. Лев Ильич на «козле» объездил с экспертами все окрестности Ленинграда. Выбор Гатчины в немалой степени был определен военными специалистами как место, наиболее удаленное от Финского залива, то есть от возможного действия вражеских подводных лодок. Позднее ока-

залось, что этот выбор явился весьма удачным и с более общих точек зрения.

Несомненной заслугой Л. И. Русинова явилась инициатива существенной модернизации проекта водо-водяного реактора. Даже сейчас, по прошествии почти пятидесяти лет, остается удивляться, насколько удачным оказался выбор реактора бассейнового типа с бериллиевым отражателем.

Одновременно со строительством реактора шла интенсивная подготовка научной программы. В центре внимания была оболочечная модель ядра. Лев Ильич уделял большое внимание теоретическому осмыслению эксперимента. По его инициативе была создана группа теоретиков (Д. А. Варшалович, Ю. И. Харитонов и др.), в задачу которой входила теоретическая проработка экспериментов. Помимо ядерной спектроскопии Лев Ильич проявлял несомненный интерес и к нейтронной физике. Обсуждались проблемы физики деления, определения времени жизни нейтронов по накоплению протонов распада в замкнутом сосуде. Лев Ильич приветствовал и работы по физике твердого тела, правда, всегда с оговоркой, что сам он ими заниматься не будет, и только безвременная кончина прервала этот страстный творческий поиск замечательного физика, талантливого руководителя. Лев Ильич Русинов сумел создать костяк научного коллектива, который в дальнейшем принес научную славу ЛИЯФ.

Оформление филиала Физико-технического института как самостоятельного научного центра в Гатчине явилось событием в развитии науки в нашей стране. В этом событии наиболее зримо прослеживается связь времен и поколений, и мне бы хотелось рассказать о тех, кто стоял у истоков создания нашего института, о тех, кто своим примером определил дух института.

Идея создания ядерного центра на базе ленинградского Физтеха возникла вскоре после успешного испытания первой отечественной атомной бомбы, когда стало ясно, что вопрос о ядерном оружии принципиально решен и появилась возможность говорить о мирном использовании атомных реакторов. И. В. Курчатов, несмотря на огромную занятость, живо интересовался вопросами мирного использования энергии атома. На семинары, посвященные этим вопросам, Игорь Васильевич старался приглашать и главных инженеров реакторов, подчеркивая этим, что у реакторов есть гораздо более широкое будущее,

чем военное применение. Как правило, после семинара все вопросы, связанные с работой на пучках, решались быстро и с максимальным расположением со стороны руководства реакторов. Несмотря на огромную ответственность и загруженность, Игорь Васильевич сохранил живой интерес к чисто теоретическим вопросам, готовность обсуждать тонкости теоретических моделей, не считаясь со временем. Это был первый урок: наука требует не только «ума холодных размышлений», но и широкого обсуждения основных идей, ибо важно передать своим ученикам не столько научные знания, сколько научить тому, как следует заниматься наукой.

Непосредственным руководителем работ по изучению изомерии атомных ядер на «Маяке» был Лев Ильич Русинов. Лев Ильич приветствовал технические нововведения, но удивительным образом подводил своих сотрудников к решению научных задач существующими техническими средствами. Так, не дожидаясь многоканальных анализаторов, гамма-спектры короткоживущих ядер с фотоумножителя записывались на шлейфный осциллограф, а затем вручную определялись энергетический спектр и время жизни ядер. На многосчетчиковой камере бета-спектрометра информация записывалась на двенадцать пересчетов с механическими счетчиками. Лев Ильич учил видеть цель исследований и подчинять этой цели способы решения. Большое внимание уделялось также совместной работе с теоретиками.

В начале 1957 года я был переведен из Челябинска на работу в Физтех. С душевным трепетом я вошел в главное здание института, где встретил Бориса Павловича Константинова, который вскоре стал директором ЛФТИ. Впервые Бориса Павловича я встретил в 1946 году, будучи студентом физмеха Ленинградского политехнического института. Так уж случилось, что при распределении на преддипломную практику я стал первым послевоенным дипломантом у Бориса Павловича. В это время он был занят важной и ответственной работой по разделению изотопов, которая велась в секретном порядке. Дабы студент-дипломант не путался среди секретных работ, меня оставили в лаборатории Бориса Павловича, в главном здании. Таким образом, я не был вовлечен в круг основной деятельности Константинова. Это была большая удача, так как мне посчастливилось испытать радость научного общения с Борисом Павловичем в чистом виде, не отягощаемом ответственностью, важностью и срочностью. Увлечение Бориса Павловича экспериментом было

удивительным и заразительным. От общения с ним природа буквально оживала. Борис Павлович обладал редким талантом естествоиспытателя. Ему было интересно все: и технические подробности, и глубины теории, и философские обобщения. Обаяние личности Бориса Павловича было столь велико, что даже статус его студента-дипломанта обеспечивал уже всяческое содействие и помощь в институте без всяких подписей и формальностей. Этот талант естествоиспытателя особенно проявился в Борисе Павловиче на посту директора ФТИ и оказал решающее влияние на стиль научной деятельности ЛИЯФ, к созданию которого он имел непосредственное отношение. В ЛИЯФ, как нигде в других научных учреждениях, господствовал дух интереса не только к ядерной физике, но и к физике твердого тела, биологии, технике, ко всему новому.

По инициативе Бориса Павловича его заместителем по филиалу ФТИ был назначен Давид Моисеевич Каминкер. Как продолжатель лучших традиций ФТИ, Давид Моисеевич сохранил в себе юношеский интерес к науке и, что особенно важно, обладал редкой способностью радоваться научным успехам других сотрудников. Эти качества обеспечили ему глубокое уважение и любовь со стороны сотрудников филиала ФТИ. Стиль Давида Моисеевича был не только деловым, но и отличался отсутствием начальственного тона, и зачастую принятие решений естественно вытекало из разумности доводов, а не от административного права.

Как-то в кабинете Давида Моисеевича я застал конец его разговора с Петром Петровичем Волковым относительно строительства пункта управления гражданской обороны. Петр Петрович обратил внимание Давида Моисеевича на большие работы по строительству фундаментов и коммуникаций. Тогда у меня возникла идея о строительстве над пунктом гражданской обороны небольшого здания лаборатории для твердо-тельских исследований. Петру Петровичу это понравилось с точки зрения строителя: небольшое увеличение расходов, но зато новое здание. Давид Моисеевич сказал: «А, пожалуй, Гильяри прав». И больше не вмешивался в строительство, дав мне возможность почувствовать себя хозяином будущего корпуса, и только когда строительство корпуса № 85 было закончено и я представил распределение помещений, Давид Моисеевич дружески заметил, что мне не съесть это все, и надо весь второй этаж отдать теоретикам, заметив при этом: «Вы же их любите».

Современная наука и техника развиваются столь стремительно, что непосредственная передача знаний от поколения к поколению ста-

новится зачастую невозможной. Однако непреходящей ценностью остается отношение к науке, к тому, как она делается. Старшее поколение физтеховцев учило нас сохранять интерес к науке, не замыкаться в узкой профессии – служить научной тематике. Вместе с тем оно учило нас, что все это должно доставлять радость в жизни. Надо не жертвовать собой ради науки, а испытывать радость от занятия наукой.



Слева направо: Г. Драбкин, И. Лузянин, Р. Ягуд,
А. Окориков, Е. Забидаров, Г. Гордеев, Я. Касман, В. Плахтий.
«Пирамида» на 60-летие Д. М. Каминкера (1972)

Вряд ли поддается численной оценке влияние шуток и розыгрышей на эмоциональный тонус исследователей. Что же было наиболее характерным для ЛИЯФ семидесятых? Это широта научных интересов, примат научной истины над остальными ценностями, демократизм отношений между сотрудниками института. Остается надеяться, что новое поколение лияфовцев не будет серым и скучным, а станет еще более талантливым, ярким и веселым, чем их научные отцы и деды.

Ибо, как сказал поэт,

... Не город Рим живет среди веков,
А место человека во вселенной.

Им овладеть пытаются цари,
Священники оправдывают войны,
И без него презрения достойны,
Как жалкий сор, дома и алтари.

Осип Мандельштам

Памяти Олега Игоревича Сумбаева – основателя гатчинской школы дифракционных исследований и тех, кого уже нет с нами, но благодаря самоотверженной работе которых школа успешно функционирует до сих пор.

Олег Игоревич Сумбаев и гатчинская школа кристалл-дифракционных исследований в физике

В. В. Федоров

Введение

Впервые я приехал в Гатчину, в филиал Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР (ФТИ), глубокой осенью далекого 1969 года, будучи студентом кафедры ядерных реакций физического факультета ЛГУ. В то время на кафедре я проходил преддипломную практику у еще молодого тогда сотрудника ФТИ Вадима Евгеньевича Бунакова (ныне ведущий научный сотрудник ПИЯФ и профессор кафедры), который тесно сотрудничал (и сотрудничает до сих пор) с также молодыми в то время сотрудниками кафедры Константином Александровичем Гридневым (впоследствии ставшим заведующим кафедрой) и Леонидом Васильевичем Красновым (ныне профессор кафедры). От них я узнал, что филиалу ФТИ в Гатчине нужны студенты для выполнения дипломных работ с хорошей для иногородних студентов перспективой дальнейшего трудоустройства в институте. Наиболее сильными и интересными с точки зрения проводимых в Гатчине исследований они считали группы В. М. Лобашева и О. И. Сумбаева.

И вот мы вдвоем с другим студентом нашей же кафедры Вячеславом Малофеевым уже в дирекции филиала ФТИ в Гатчине. Нас встретили серьезные Олег Игоревич Сумбаев и Сергей Павлович Круглов, а также широко улыбающийся Георгий Ефимович Солякин. После достаточно долгих бесед с каждым в отдельности Слава Малофеев определился в группу Георгия Ефимовича.

Меня же в нашем разговоре совершенно покорила вопрос Олега Игоревича «О чем вы мечтаете?», и я навсегда связал свою судьбу с его сектором и людьми, с которыми мне повезло работать, обсуждать новые идеи, спорить, выступать на семинарах и т. д. Они стали моими друзьями, многих из них, к сожалению, уже нет с нами.

В этом очерке постараюсь хотя бы перечислить то наиболее новое и важное, что удалось придумать и сделать в науке за время существования нашей сначала группы, потом сектора и, наконец, лаборатории и кратко описать один из самых первых экспериментов, проведенных на реакторе ВВР-М.

Первый в стране кристалл-дифракционный спектрометр

После окончания в 1947 году Иркутской средней школы № 15 им. М. Горького Олег Сумбаев приехал в Ленинград и поступил в один из лучших вузов страны – Ленинградский политехнический институт, на физико-механический факультет, который окончил в 1954 году по специальности «техническая физика».

Будучи еще студентом, в 1953 году он пришел во Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии (ВНИИМ) и успешно выполнил дипломную работу, связанную с разработкой сцинтилляционного прибора для исследования спектров препаратов небольшой активности, затем, с отличием защитив диплом, поступил на работу в рентгенометрическую лабораторию.

Здесь под руководством академика Петра Ивановича Лукирского началась его работа по созданию первого в нашей стране фокусирующего кристалл-дифракционного гамма-спектрометра (ГСК), которая определила его научные интересы и пристрастия на всю жизнь. К несчастью, Петра Ивановича уже в ноябре 1954 года не стало, и совсем молодой сотрудник, вчерашний выпускник, остался один на один с проблемой, решить которую ему не мог помочь никто – тогда в Советском Союзе опыта создания таких инструментов не существовало.

Тем не менее уже в 1956 году спектрометр ГСК-1 заработал* (к великому сожалению, П. И. Лукирскому не довелось этого увидеть). Более

* Статья была опубликована в Известиях Академии наук СССР (П. И. Лукирский, О. И. Сумбаев. Двухметровый кристалл-дифракционный гамма-спектрометр / Изв. АН СССР. Сер. физ. 1956. № 20. С. 903–908).

того, его параметры не уступали параметрам одного из лучших тогда спектрометров, который был построен хорошо известным ученым – профессором Дю-Мондом из Калифорнийского технологического института США.



Академик П. И. Лукирский
(13.12.1894–16.11.1954)



Член-корреспондент АН СССР
О. И. Сумбаев
(04.02.30–02.10.02)

Это событие положило начало отечественным всесторонним кристалл-дифракционным исследованиям, которые продолжают до сих пор и привели к целому ряду новых замечательных результатов по применению кристаллов и дифракционных методов в самых различных областях физики.

В марте 1956 года ленинградская газета «Смена» напечатала статью под названием «Непроторенной дорогой», посвященную молодому ученому Олегу Сумбаеву, который только что закончил нелегкую работу – создание спектрометра. В статье было отмечено, что «Сумбаев благодаря огромному напряжению сил, воли, полной отдаче энергии и знаний одержал победу. Теперь не только в США, но

и у нас есть двухметровый кристалл-дифракционный гамма-спектрометр». Название статьи очень точно отразило всю дальнейшую научную судьбу О. И. Сумбаева и созданной им лаборатории, чья деятельность всегда была посвящена поискам новых и неизведанных путей в науке, открытию новых явлений и новых методов их исследования.

Серия работ, выполненная на приборе ГСК-1, легла в основу его кандидатской диссертации «Создание двухметрового кристалл-дифракционного спектрометра и его применение к исследованию гамма-спектров», которую Олег Игоревич блестяще защитил в 1957 году. Развитие этой темы нашло отражение в книге «Кристалл-дифракционные гамма-спектрометры», которая была опубликована в 1963 году. Это уникальное издание не устарело до сих пор, являясь настольной книгой и учебником для многих российских специалистов.

Одной из самых первых работ, выполненных на новом приборе, была работа по исследованию возможности применения кристалл-дифракционных спектрометров для измерения относительных интенсивностей гамма-линий. Имеющиеся к тому времени аналогичные попытки группы Дю-Монда успехом не увенчались. Полученные Дю-Мондом с сотрудниками данные для спектра гамма-излучения ^{192}Ir (одного из немногих изотопов иридия, относительные интенсивности которых были надежно измерены другими методами) на порядок расходились с известными результатами, в частности полученными на магнитных спектрометрах. Такое расхождение ставило под сомнение применимость кристалл-дифракционной методики для измерения относительных интенсивностей.

Измеренные же О. И. Сумбаевым на его кристалл-дифракционном спектрометре относительные интенсивности ^{192}Ir оказались в хорошем соответствии с данными магнитных спектрометров. Стало ясно, что расхождение данных Дю-Монда связано не с явными недостатками методики, а с неправильным учетом каких-то специфических для геометрии спектрометра Дю-Монда факторов.

Для достоверного определения относительных интенсивностей гамма-линий необходимо уметь точно рассчитывать зависимость от энергии (или длины волны) гамма-квантов коэффициента их отражения кристаллическими плоскостями – так называемую кривую спектральной чувствительности кристалл-дифракционного спектрометра.

Суббота, 17 марта 1956 г., № 66 (9192)

НАШИ ТОВАРИЩИ

Непроторенной дорогой



изготовить. Олег достал книги. Из отцовского микроскопа вытаскивал объектив, в аптеке купил очковое стекло. Сварил клейстер и из обоев склеил две метровых трубы. Наступила ночь, заснули все в доме, а юному астроному не до сна, он ведет наблюдение за Вселенной...

Промчались школьные годы. Учителя проводили юношей в большую жизнь. Сумбаев уехал из родного Иркутска в Ленинград. Началась студенческая пора. В красивый город попал Олег, но не скоро он познакомился с его достопримечательностями — целиком ушел в учебу. Мелькали месяцы, сдавались зачеты, экзамены, в матрикуле появлялись только пятерки.

— Работа состоит из неудач, — говорит Сумбаев.

Следующие препятствия одно за другим вставали на пути к определению режима (комбинаций напряжений), в котором бы фотоэлектронный умножитель-19 работал удовлетворительно. На это ушло тоже много времени, но к завершению конструирования прибора и окончанию срока, данного на дипломный проект, наилучший режим так и не был найден.

Дальнейшие исследования уже продолжал не студент Сумбаев, а Сумбаев — научный сотрудник Всесоюзного института метрологии. Поисками режима вместе с Олегом стал заниматься дипломант Валентин Чекин.

Молодой Олег Сумбаев на странице газеты «Смена»

На этом пути Олег Игоревич и сделал открытие, которое фактически сразу вывело его в мировые лидеры в области кристалл-дифракционной техники и принесло широкую известность. Это — открытие явления упругой квазимозаичности в упругоизогнутых кристаллах. Созданные Сумбаевым теория явления квазимозаичности и теория дифракции в упругодеформированных кристаллах позволили с высокой точностью рассчитывать как параметры кристаллов, так и параметры кристалл-дифракционных фокусирующих спектрометров, в том числе и их спектральную чувствительность.

Олег Игоревич провел непосредственную экспериментальную проверку точности расчетов, снимая гамма-спектры источников ^{60}Co и ^{198}Au , абсолютные активности которых были предварительно точно измерены. Располагая такой уточненной зависимостью, можно было быть твердо уверенным в надежности данных об относительных интенсивностях гамма-линий.

Эти работы дали уникальную возможность регулировать в пределах нескольких порядков светосилу и разрешение приборов путем

выбора соответствующих кристаллографических плоскостей, толщин кристалла, радиусов изгиба и ориентаций их выреза. Это позволило создавать спектрометры с оптимальными параметрами для исследований в совершенно разных областях физики.

Создание в СССР кристалл-дифракционного спектрометра и первые полученные результаты быстро привлекли внимание и интерес зарубежных ученых, поскольку в мире такого рода инструменты были наперечет. Еще во ВНИИМ О. И. Сумбаеву стали регулярно приходить письма с просьбами прислать отписки его статей с новыми результатами, его приглашали на международные конференции, в работе которых принимали участие специалисты, занимающиеся проблемами развития кристалл-дифракционных методов, тогда пока еще немногочисленные, но уже ставшие хорошо известными в мире.

На реакторе ВВР-М

В 1957 году Олег Игоревич Сумбаев после блестящей защиты диссертации по приглашению профессора Льва Ильича Русинова перешел на работу в филиал Физико-технического института в Гатчине, где уже началось строительство нового реактора.

Физический пуск реактора ВВР-М состоялся 29 декабря 1959 года. В начале июля 1960 года реактор был выведен на мощность 5 МВт, достигнув плотности потока нейтронов $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Проработав на этой мощности несколько дней, реактор был планово заглушен «для подготовки его к нормальной эксплуатации», которая началась в феврале 1961 года.

Спектрометр ГСК-1 был установлен в комнате рядом с реакторным залом, и уже в 1961 году на нем были получены первые экспериментальные результаты с использованием нейтронов. Спектрометр был совмещен с мессбауэровской установкой, благодаря чему удалось наблюдать эффект Мессбауэра на сверхузких линиях в изотопах вольфрама ^{182}W и ^{183}W . Были измерены ширины линий и сечения резонансного поглощения гамма-квантов (О. И. Сумбаев, А. И. Смирнов, В. С. Зыков. ЖЭТФ. № 42. 1962. С. 115). Источником гамма-квантов служил отрезок металлической проволоки из тантала (^{181}Ta), облученный тепловыми нейтронами в реакторе ВВР-М при потоке $3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, в котором после поглощения нейтронов и последующего бета-распада образуются

вались нужные изотопы вольфрама, в качестве поглотителя использовался образец из естественного вольфрама. Это была одна из первых работ, выполненных на реакторе ВВР-М.

Позднее спектрометр ГСК-1 был перемещен на седьмой корпус, где он и сейчас успешно используется для изучения электронной структуры химической связи атомов в молекулах и кристаллах уникальным методом измерений малых энергетических смещений рентгеновских линий, который был придуман и разработан О. И. Сумбаевым.

В 1961 году О. И. Сумбаев и А. И. Смирнов сконструировали и построили новый кристалл-дифракционный фокусирующий гамма-спектрометр (ГСК-2) с четырехметровым фокусным расстоянием для исследования гамма-спектров в диапазоне энергий 40–1 600 кэВ. Он был установлен на горизонтальном канале реактора ВВР-М практически сразу же после пуска реактора для изучения гамма-спектров в (n, γ)-реакциях. Это единственный прибор, который почти 40 лет успешно проработал на реакторе и сейчас находится в рабочем состоянии. Более того, после модернизации, проведенной в 1996–1997 годах (В. Л. Алексеев, В. Л. Румянцев и др.), он имеет рекордное разрешение, и равных ему в мире среди фокусирующих спектрометров нет.

Явление упругой квазимозаичности

Открытие Олега Игоревича Сумбаева состояло в том, что он первым обнаружил, что используемая в теоретических расчетах дифракции гипотеза Бернулли далеко не всегда справедлива, и доказал это. Суть этой гипотезы состоит в том, что отражающие плоскости, перпендикулярные поверхности ненапряженной пластины, остаются плоскими и при ее упругом изгибе. Оказалось же, что отражающие плоскости, перпендикулярные поверхности изогнутой пластины, также искривляются. Рассмотрение дифракции на такой структуре привело к соотношениям для коэффициентов отражения с квадратичной зависимостью от длины волны, в полном соответствии с экспериментом, результат которого в течение семи лет оставался загадкой. Таким образом, загадка получила свое полное разрешение.

Эффект изгиба кристаллографических плоскостей был назван Олегом Игоревичем эффектом упругой квазимозаичности. Величины изгиба плоскостей рассчитываются с высокой точностью в рамках теории

упругости анизотропных тел. Они разные (в том числе могут равняться нулю) для различных плоскостей и ориентаций выреза кристаллов.

Еще одним очень важным следствием искривления плоскостей является уширение дифракционного максимума при отражении от изогнутого кристалла, зависящее от степени изгиба его плоскостей. Учет этого обстоятельства позволил объяснить еще одно наблюдавшееся ранее несколькими авторами загадочное явление – «аномальное» уширение линий, растущее с толщиной кристалла, и количественно рассчитать величину этого эффекта.

Эти исследования, проведенные О. И. Сумбаевым, дали уникальную возможность регулировать в пределах нескольких порядков светосилу и разрешение приборов (путем выбора соответствующих кристаллографических плоскостей, толщин кристалла, радиусов изгиба и ориентаций их выреза), что позволило создавать спектрометры с оптимальными параметрами для исследований в совершенно разных областях физики.

Получив такие недоступные в то время никому в мире возможности создания новых установок, нужно было искать новые пути их применения. Эти пути были найдены.

Сейчас рентгеновские и гамма-спектрометры с оптимизированным разрешением и светосилой используются в атомной и молекулярной физике для исследования электронной структуры химической связи, изоморфных фазовых переходов в кристаллах, особенностей строения высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) и т. д.

Рентгеновские и гамма-спектрометры высокого разрешения нашли широкое применение в ядерной спектроскопии и спектроскопии экзотических атомов. Рентгеновские спектрометры с высокой светосилой используются в спектроскопии малых энергетических сдвигов (химических, изотопических и сверхтонких). Абсолютная точность в измерении малых смещений рентгеновских линий достигает 1 мэВ , что соответствует относительной точности $(3-4) \cdot 10^{-8}$.

Возможности дифракционных установок, в которых используются обнаруженные явления, а также поиск и исследование новых явлений в распространении заряженных частиц, нейтронов и гамма-квантов в кристаллах, определили направления научной деятельности Лаборатории рентгеновской и гамма-спектроскопии ОНИ ПИЯФ, которую с момента ее образования в 1962 году по 2000 год возглавлял О. И. Сумбаев.

Новые направления исследований

С 1986 года в лаборатории развивается направление научной деятельности, связанное с изучением новых явлений при распространении нейтронов в совершенных кристаллах в условиях, близких к дифракционным. Эксперименты проводятся в основном в Гатчине на втором канале реактора ВВР-М.

В частности, открыто новое, ранее неизвестное свойство кристаллов, в которых отсутствует центр симметрии. В них было теоретически предсказано (В. В. Федоров) наличие очень сильных внутрикристаллических электрических полей, которые действуют на нейтрон. Эти поля были обнаружены и впервые измерены в эксперименте на реакторе ВВР-М (В. Л. Алексеев, В. В. Воронин, Е. Г. Лапин, О. И. Сумбаев и др.)

Воздействие таких недостижимых в лабораторных условиях полей на нейтрон в кристалле дает возможность существенно улучшить точность измерения фундаментальных характеристик нейтрона. В частности, предложен и развивается новый дифракционный метод поиска электрического дипольного момента (ЭДМ) нейтрона – задачи, решение которой может пролить свет как на тайны образования нашей Вселенной, так и на строение элементарных частиц и их взаимодействий.

В настоящее время на реакторе ВВР-М активно продолжают эксперименты по дифракции нейтронов и нейтронной оптике в кристаллах при условиях, близких к брэгговским. В них обнаружен еще ряд новых интересных эффектов. Ведется разработка новых дифракционных методов исследования фундаментальных свойств нейтрона и поиска его новых взаимодействий (В. В. Федоров, В. В. Воронин).

Некоторые из них нашли и практическое применение, например для исследования объемного совершенства кристаллов на рекордно высоком уровне.

Приоритет научных результатов школы Олега Игоревича Сумбаева признан во всем мире. Например, в Калифорнийском технологическом институте (США) были построены кристалл-дифракционные спектрометры, в которых использованы как результаты по выбору кристаллографических плоскостей, так и по ориентации выреза пластин кри-

сталлов. На этих спектрометрах проводились измерения химических и изотопических смещений рентгеновских линий методом, разработанным О. И. Сумбаевым и впервые примененным в нашей лаборатории.

Тем же методом в ЦЕРН на аналогичном гамма-спектрометре были измерены сверхтонкие смещения рентгеновских линий, возбужденных K -захватом.

Был спроектирован спектрометр для химического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, где он был построен и использовался для измерений химических и изотопических смещений рентгеновских линий K - и L -серии.

В Гатчине было создано несколько кристалл-дифракционных спектрометров для исследования адронных атомов. Один из них был установлен на ускорителе ПИЯФ для измерения массы π -мезона, после модернизации он был перемещен на Серпуховский ускоритель в Институт физики высоких энергий (ИФВЭ) и использовался там для измерений масс K^- -мезона и Σ^- -гиперона.

Второй спектрометр был сконструирован, построен и установлен на мезонной фабрике в PSI (Швейцария) для исследований мезон-ядерных взаимодействий по спектрам π -мезонных атомов.

Для исследования спектров экзотических атомов А. И. Смирновым был предложен метод, в котором образец, помещенный в прямой пучок ускорителя, одновременно являлся мезообразующей мишенью и источником мезорентгеновского излучения. Применение данного метода позволило на несколько порядков увеличить выход мезорентгеновского излучения и провести на кристалл-дифракционном гамма-спектрометре развернутые исследования спектров экзотических атомов, которые раньше не представлялись возможными. Поэтому мишень получила мировое признание как «гатчинская мишень».

Установка для исследования каналирования заряженных частиц в изогнутом кристалле, аналогичная той, на которой был обнаружен эффект объемного захвата, предсказанный О. И. Сумбаевым, использовалась В. М. Самсоновым в эксперименте по измерению магнитного момента Σ^+ -гиперона во FNAL (США).

Исследования фокусировки пучков заряженных частиц при каналировании, явлений объемного захвата и объемного отражения частиц в изогнутых монокристаллах, а также возможности их применения для

управления пучками частиц высоких энергий вызвали широкий резонанс в мире и были продолжены в ИФВЭ (Серпухов), FNAL (США) и ЦЕРН (Швейцария).

Для эксперимента ATLAS в ЦЕРН была построена рентгеновская измерительная станция для калибровки позиций проволок в тонких пропорциональных камерах в виде трубок, которые являются основными структурными элементами торцевого детектора переходного излучения ATLAS.

Развитие всех этих тематик привело к тому, что сектор разделился и дал начало нескольким новым научным лабораториям и группам со своими собственными направлениями исследований, как в Отделении нейтронных исследований (ОНИ), так и Отделении физики высоких энергий (ОФВЭ) ПИЯФ.

Сейчас это Лаборатория рентгеновской и гамма-спектроскопии (заведующий В. В. Федоров, ОНИ), Лаборатория нейтронных физико-химических исследований (заведующий Ю. С. Грушко, с 2009 года – В. Т. Лебедев, ОНИ), Лаборатория релятивистской ядерной физики (заведующий В. М. Самсонов, ОФВЭ), Лаборатория мезонных атомов (заведующий А. И. Смирнов, с 1996 года – Ю. М. Иванов; в 2012 году преобразована в Лабораторию кристаллооптики заряженных частиц, ОФВЭ), Лаборатория адронной физики (заведующий О. Л. Федин, ОФВЭ).

К настоящему времени ученики Олега Игоревича Сумбаева и ученики его учеников защитили 24 кандидатских и 6 докторских диссертаций.



Первые сотрудники сектора гамма-спектроскопии
и первые кандидаты наук в порядке защиты диссертаций:

Е. В. Петрович, А. И. Смирнов, Ю. П. Смирнов,
А. Ф. Мезенцев, А. С. Рьльников, В. А. Шабуров,
В. Л. Алексеев, Л. Н. Кондурова



Лаборатория рентгеновской и гамма-спектроскопии.
30 лет основания ЛИЯФ (июль 2001).

На верхнем фото (слева направо): Ю. П. Смирнов, В. А. Шабуров,
А. Е. Совестнов (стоят); В. В. Федоров, О. И. Сумбаев, А. В. Тюнис (сидят).

На нижнем фото (слева направо): В. Л. Румянцев, Е. Г. Лапин,
В. Л. Алексеев, В. В. Воронин, С. Ю. Семенихин (стоят); А. В. Тюнис,
Е. Г. Андреев, П. Л. Соколова, К. Е. Кирьянов (сидят)



Лаборатория в конце 2007 г.

Слева направо: А. В. Тюнис, С. Ю. Семенихин, К. Ю. Амосов,
Э. В. Фомин, Ю. П. Брагинец, В. В. Воронин, И. А. Кузнецов,
В. В. Федоров, Е. Г. Лапин, В. Л. Румянцев, А. А. Петрунин

Новое поколение докторов и кандидатов наук, в том числе будущих



В. В. Воронин, д. ф.-м. н. И. А. Кузнецов, к. ф.-м. н. С. Ю. Семенихин, к. ф.-м. н.



Е. О. Вежлев, к. ф.-м. н.

Ю. П. Брагинец

Э. В. Фомин

О Владимире Михайловиче Лобашеве*

А. И. Егоров, В. Ф. Ежов, Э. А. Коломенский,
К. А. Коноплев, Г. А. Петров, А. Н. Пирожков,
В. М. Самсонов, А. П. Серебров, В. В. Федоров



Академик Владимир Михайлович Лобашев – выдающийся физик, крупный специалист в области физики ядра и элементарных частиц, основатель школ нейтронной физики в Петербургском институте ядерной физики РАН и экспериментальной физики элементарных частиц в Институте ядерных исследований РАН.

Владимир Михайлович родился 29 июля 1934 года в Ленинграде в семье ученых: отец, Михаил Ефимович Лобашев, – выдающийся генетик, заведующий кафедрой генетики Ленинградского государственного университета (ЛГУ), мать, Нина Владимировна Европейцева, – старший научный сотрудник ЛГУ. В начале Великой Отечественной войны был эвакуирован из Ленинграда в город Буинск Татарской АССР. Там он начал учиться. В 1944 году вернулся в Ленинград, где и продолжил обучение. После окончания с серебряной медалью средней школы в 1952 году поступил на физический факультет ЛГУ, который с отличием окончил в 1957 году и был направлен в Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе АН СССР.

Владимир Михайлович прошел путь от старшего лаборанта до заведующего сектором сначала Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе, а затем Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова, сотрудником которого он оставался до конца своей жизни. В 1972 году В. М. Лобашев возглавил Отдел экспериментальной физики Института ядерных исследований РАН.

* Статья была опубликована в журнале «Ядерная физика». Т. 75. № 2. 2012. С. 278–280.

Владимир Михайлович был одним из наиболее ярких физиков-экспериментаторов нашего времени: широкая эрудиция, потрясающая память, блестящая интуиция, тонкое понимание эксперимента и неистовое упорство – такова была совокупность качеств, которыми он обладал. Лобашев соединял в себе ученого и изобретателя. Достичь невозможного было его девизом. Он всегда брался за решение наиболее трудных задач и добивался успеха. И всегда полученный им результат был пионерским и опережал мировой уровень.

В 1965 году Владимир Михайлович предлагает интегральный метод измерения малых эффектов, который позволил впервые обнаружить и измерить P -нечетную циркулярную поляризацию гамма-квантов в распаде неполяризованных ядер с относительной точностью 10^{-5} – 10^{-6} . Этот эксперимент, несомненно, входит в число наиболее тонких и изящных из когда-либо выполненных в мире экспериментов. Тогда казалось поразительным, да и сейчас кажется, что столь малые эффекты удалось зарегистрировать. Суть примененного интегрального (токового) метода регистрации частиц состояла в том, что циркулярная поляризация измерялась по изменению тока в детекторе частиц при периодическом изменении направления намагниченности сердечника поляриметра гамма-квантов. Резонансный усилитель выделял первую гармонику периодического сигнала, который с помощью электромагнитной системы преобразовывался в механическое усилие и подавался на резонансный накопитель – маятник астрономических часов. Добротность маятника была на уровне 10^6 – он свободно мог колебаться в течение 18 суток, что приблизительно на порядок превышало добротность кварцевых резонаторов. Именно так и была впервые обнаружена циркулярная поляризация в гамма-переходах неполяризованных ядер ^{175}Lu , ^{181}Ta и ^{41}K . Эти эксперименты поставили точку в вопросе о доказательстве существования слабого нуклон-нуклонного взаимодействия и вместе с пионерскими работами группы Абова, наблюдавшей P -нечетную асимметрию вылета гамма-квантов при захвате поляризованных нейтронов ядром ^{113}Cd , были удостоены Ленинской премии 1974 года (Ю. Г. Абов, П. А. Крупчицкий (ИТЭФ) и В. М. Лобашев, В. А. Назаренко (ПИЯФ) за обнаружение и исследование эффектов нарушения пространственной четности в ядерных электромагнитных переходах.

Развитием этих работ стал эксперимент по измерению P -нечетной циркулярной поляризации гамма-квантов в реакции радиационного за-

хвата нейтрона протоном ($n + p \rightarrow d + \gamma$), который в силу простоты системы является идеальным с точки зрения изучения слабого нуклон-нуклонного взаимодействия и его теоретической интерпретации. Однако в этом случае отсутствует какое-либо усиление эффекта (в отличие от сложных ядер с высокой плотностью возбужденных состояний), и эффекты ожидались на уровне $\sim 10^{-7}$, что казалось недостижимым. В этом эксперименте Владимир Михайлович предложил в качестве высокоинтенсивного источника гамма-квантов использовать водную полость, сформированную в центре активной зоны реактора ВВР-М так, чтобы в ней сформировался максимально возможный поток тепловых нейтронов. Идея постановки в активную зону реактора сложного устройства с экранами весом до 500 кг и вытеснением большого числа (до 90 штук) тепловыделяющих элементов сначала показалась авантюрой. Тем не менее Лобашеву удалось убедить и получить поддержку главных реакторщиков ПИЯФ Р. Г. Пикулика и К. А. Коноплева. Реализация идеи потребовала от них исключительной смелости и большой работы по переделке всей системы управления и защиты реактора. В этих экспериментах была достигнута рекордная точность измерения циркулярной поляризации гамма-квантов на уровне $2 \cdot 10^{-7}$ и получен верхний предел на величину прямого нейтрон-протонного слабого взаимодействия.

В 1971 году группой В. М. Лобашева был обнаружен и исследован новый эффект в квантовой электродинамике – вращение плоскости поляризации жестких гамма-квантов в среде поляризованных электронов, которое 22 декабря 1988 года зарегистрировано как открытие с приоритетом от 12 февраля 1965 года в части теоретического обоснования (В. Г. Барышевский, В. Л. Лобошиц ОИЯИ) и от 28 июля 1971 года в части экспериментального доказательства явления (В. М. Лобашев, А. П. Серебров, Л. М. Смотрицкий).

После открытия в 1964 году нарушения CP -инвариантности в распадах нейтральных каонов возрос интерес к поиску электрического дипольного момента (ЭДМ) нейтрона, поскольку нарушение P - и CP -инвариантности открывает возможность его существования. К тому времени первые ограничения на величину ЭДМ нейтрона были уже получены группой Н. Рамзея на пучке холодных нейтронов. В 1968 году в Дубне были получены первые ультрахолодные нейтроны (УХН), и Ф. Л. Шапиро предложил использовать их для поиска ЭДМ нейтрона. Эта идея позволяла существенно уменьшить ложные эффекты от взаимодействия

магнитного момента нейтрона с электрическими полями и на несколько порядков улучшить результат Рамзея. Однако в то время таких нейтронов практически не было: в первых опытах плотности УХН составляли ничтожную величину порядка 10^{-6} н/см³. Для проведения эксперимента плотность нужно было увеличить на 7–8 порядков, и В. М. Лобашев вместе с А. П. Серебровым взялись за казалось бы невыполнимую в то время задачу – создание интенсивного источника УХН на реакторе средней мощности. Снова было сделано, казалось, невозможное: для получения УХН в активную зону реактора сначала поместили охлаждаемый бериллиевый конвертер, а потом жидководородный. В результате начиная с середины 70-х годов в течение десятилетия самый интенсивный в мире источник УХН был в Гатчине, и только с запуском источника УХН на высокопоточном реакторе в Гренобле стал уступать ему всего в несколько раз. На этом источнике к 1989 году было получено рекордное для того времени ограничение на величину ЭДМ нейтрона: $d_n \leq 9,7 \cdot 10^{-26} e \cdot \text{см}$, которое за последние двадцать лет было улучшено всего в три раза. Это ограничение является одним из важнейших для понимания нарушения *CP*-инвариантности в микромире и возможности объяснения барионной асимметрии Вселенной.

В 1983 году Владимир Михайлович совместно с П. Е. Спиваком предложил новый метод измерения массы нейтрино в бета-распаде трития с помощью интегрального электростатического спектрометра с магнитной адиабатической коллимацией. Особенностью спектрометра является продольное магнитное поле, образующее конфигурацию типа магнитной бутылки (пробкотрон) с отношением сильного поля в области пробок к слабому полю в области медианной плоскости равным несколько тысяч. Источник трития и детектор электронов распада помещаются в области пробок. В медианной части магнитной бутылки в области однородного поля располагается электростатический спектрометр. Высокое разрешение достигается за счет адиабатичности движения электронов в магнитном поле, благодаря которому поперечная компонента кинетической энергии электрона в медианной плоскости уменьшается пропорционально пробочному отношению. Разрешение такого спектрометра не зависит от размера источника, что позволило получить на созданной в Институте ядерных исследований РАН установке «Троицк ню-масс» рекордную чувствительность к массе электронного антинейтрино. Идеи Владимира Михайловича лежат в осно-

ве международного проекта KATRIN, который планирует получить верхний предел массы электронного антинейтрино на уровне $0,2 \text{ эВ}/c^2$.

В развитие идеи пробкотрона в 1989 году Владимир Михайлович совместно с Р. М. Джилкибаевым предложил новый подход к поиску процесса конверсии мюона в электрон на ядре, позволяющий увеличить чувствительность эксперимента на пять порядков. Эта идея основана на использовании пульсирующего протонного пучка и объединении источника мюонов, системы формирования пучка и детекторов в одной магнитной системе с неоднородным полем. Столь радикальное повышение чувствительности эксперимента может привести к обнаружению новых взаимодействий, порождаемых новыми частицами с массами порядка $1\ 000 \text{ ТэВ}$, которые невозможно получить в ближайшем будущем на ускорителях. Этот подход лежит в основе эксперимента Mu2e , создаваемого в настоящее время на ускорителе Национальной ускорительной лаборатории им. Энрико Ферми в США.

Владимир Михайлович Лобашев внес большой вклад в разработку программы исследований на московской мезонной фабрике. Его интуиция и прекрасное знание многих актуальных физических задач помогли подготовить уникальный проект экспериментального комплекса для исследований по ядерной и нейтронной физике. В дальнейшем большая часть задуманных в то время проектов была осуществлена под его руководством.

Большое значение В. М. Лобашев придавал воспитанию научных кадров. Общение с Владимиром Михайловичем в неформальной обстановке помогло многим молодым научным сотрудникам возглавляемого им Отдела экспериментальной физики найти свое место в науке. Среди его учеников – десятки кандидатов и докторов наук.

Достижения выдающегося ученого академика В. М. Лобашева были отмечены Ленинской премией, премиями им. Бруно Понтекорво и им. М. А. Маркова, орденами России. Владимиру Михайловичу было присвоено звание почетного гражданина города Троицка.

О Владимире Андреевиче Назаренко. Жизнь, отданная науке*

В. В. Федоров



Талантливый физик-экспериментатор, один из старейших сотрудников института, начинавших первые исследования на реакторе ВВР-М (водо-водяной реактор модернизированный), лауреат Ленинской премии, Владимир Андреевич Назаренко прошел все этапы, сопутствующие научной карьере ученого: от старшего лаборанта до директора Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова Российской академии наук, от младшего научного сотрудника до академика РАН.

Владимир Андреевич пришел в лабораторию профессора Льва Ильича Русинова на должность старшего лаборанта. Благодаря организаторскому таланту и кипучей энергии Л. И. Русинова в Гатчине в очень короткий срок был построен и введен в действие 29 декабря 1959 года первый в стране исследовательский ядерный реактор, который уже на протяжении почти пятидесяти лет успешно служит интересам российской науки. Именно на нем были проведены исследования, составлявшие область научных интересов В. А. Назаренко, – поиск новых эффектов в физике атомного ядра и элементарных частиц. Основные работы В. А. Назаренко связаны с физикой слабых взаимодействий элементарных частиц и нейтронной физикой.

Слабые взаимодействия приводят к тому, что наш мир оказывается зеркально несимметричным – в нем «левое» отличается от «правое». Изучение того, как устроены слабые взаимодействия, дает ключ как к пониманию свойств элементарных частиц, так и к пониманию строения и состава Вселенной, как она зародилась и как развивается в настоящее время.

* Статья печатается в сокращенном варианте. Полный текст статьи: «Гатчина-Инфо» № 50(530), 14 декабря 2006 г.

Цикл работ групп В. М. Лобашева – В. А. Назаренко и Ю. Г. Абова – П. А. Крупчицкого из ИТЭФ по обнаружению нарушения «зеркальной» инвариантности в ядерных реакциях, вызываемых нейтронами, был удостоен Ленинской премии 1974 года. В последующие годы группой В. М. Лобашева – В. А. Назаренко был обнаружен ряд других нарушающих четность эффектов при захвате нейтронов ядрами, измерена как сохраняющаяся, так и несохраняющаяся четность циркулярная поляризация гамма-квантов в простейшей ядерной реакции захвата нейтрона протоном. Эти работы получили мировое признание, поскольку в них была доказана универсальность слабых взаимодействий.

Еще в школьные и студенческие годы, как тогда говорили, «общественная работа», то есть полезная всем деятельность без вознаграждения, выявила главные человеческие качества Владимира Андреевича – внимательное, доброжелательное отношение к товарищам, открытость, общительность, умение сформулировать суть проблемы и определить пути ее решения, продуманная, четкая аргументация и, как результат, уверенность в своей правоте и способность убедить других в правильности выбранной стратегии.

Это, безусловно, большой талант, талант организатора – принимать решения и нести за них ответственность. Искусство руководить – это умение не множить своих врагов, а увеличивать число сторонников, и Владимир Андреевич всю жизнь следовал мудрому правилу Пифагора: «Живи с людьми так, чтобы твои друзья не стали недругами, а недруги стали друзьями».

В 1994 году коллектив института избрал В. А. Назаренко директором. Выбор закономерный, определенный всей его биографией. Владимир Андреевич любил институт, знал его проблемы и болевые точки, был знаком со многими сотрудниками лично, и все же для него это был выбор, предписывающий все силы отдать организации науки и жизнедеятельности института.

Мы помним, какие это были трудные для страны времена. Великая заслуга Владимира Андреевича Назаренко в том, что в условиях катастрофического недофинансирования науки в России он сумел сохранить институт как активно и плодотворно работающий организм.

Сегодня ПИЯФ РАН – крупный многопрофильный научный центр, в котором ведутся исследования в самых разных областях физики ядра

и элементарных частиц, физики конденсированного состояния вещества, теоретической физики, химии, биологии, материаловедения и др.

В последние годы основные силы Владимир Андреевич отдавал завершению строительства высокопоточного реактора ПИК, с которым связано будущее нашего института и всех нейтронных исследований в России.

В современной физике элементарных частиц тесно переплелись и космология, и свойства Вселенной на ранней стадии образования, и собственно структура элементарных частиц и их взаимодействий, ядерная физика и физика фазовых превращений. Для получения новых данных в этой области имеются два пути. Первый – это увеличение энергии ускоряемых, а затем сталкивающихся частиц и ядер в физике высоких энергий для поиска новых частиц (например, так называемых хиггсовских бозонов, суперсимметричных партнеров обычных частиц или новых форм вещества типа кварк-глюонной плазмы). Этот путь требует создания дорогостоящих ускорителей и, соответственно, совместных усилий и участия многих стран. На этом пути Россия успешно участвует в большинстве крупных международных проектов практически на всех существующих и строящихся в мире ускорителях. Второй путь – это увеличение точности измерений в физике средних энергий, в частности в нейтронной физике. Для этой цели необходимы высокоинтенсивные источники нейтронов, поскольку для увеличения точности необходимо увеличение статистики, кроме того, необходимы также новые идеи, методики и нестандартное оборудование. Следует заметить, что, хотя реактор и является достаточно дорогостоящим прибором, тем не менее его цена ни в какое сравнение не идет с ценой современного суперколлайдера – реакторы гораздо дешевле.

Нейтрон участвует во всех видах известных взаимодействий. Поэтому эксперименты по изучению фундаментальных свойств нейтрона, такие как поиск и измерение электрического дипольного момента (ЭДМ) нейтрона, поиск нейтрон-антинейтронных осцилляций, уточнение времени жизни нейтрона, работы по изучению фундаментальных симметрий в процессах с участием нейтрона (от бета-распада и нейтронной оптики до ядерных реакций и деления), имеют первостепенную важность для современной физики. Они позволяют понять, как «устроены» частицы и их взаимодействия, и в то же время проникнуть в тайны образования и строения Вселенной.

Будучи высококвалифицированным физиком и классным специалистом в этой области, Владимир Андреевич как никто понимал необходимость и важность строительства новых интенсивных источников нейтронов и не жалел времени и усилий на продвижение главного проекта нашего института – завершение строительства реактора ПИК.

Строительство нового высокопоточного реактора ПИК, ведущееся на фоне постоянного недостатка средств, – серьезная проблема нашего института и всего нейтронного сообщества. Полное непонимание (или нежелание понять) правительственными чиновниками происходящего в науке парализует работу научных и образовательных учреждений, измышляемые ими «концепции» и безумные «реформы» ведут к необратимой деградации отечественного образования и науки!

Благодаря титаническим усилиям Владимира Андреевича в последнее время наметился положительный сдвиг в решении вопросов строительства, однако при постоянных переменах в коридорах власти, всевозможных реорганизациях и перестройках чиновничьих структур вести серьезный, конструктивный диалог с людьми, которые должны принимать ответственные решения, очень трудно.

Постоянная борьба с этими обстоятельствами, без сомнения, стоила Владимиру Андреевичу многих душевных сил и здоровья.

Реактор ПИК очень нужен институту, нужен городу, российской науке и образованию. С пуском нового реактора Гатчина будет мировым центром нейтронных исследований, привлекательным для зарубежных коллег, что, безусловно, положительно отразится на общественной, культурной и экономической жизни нашего города. Благодаря титаническим усилиям Владимира Андреевича в 2007 году, к сожалению, после его смерти, правительство РФ стало выделять финансирование для завершения строительства реактора ПИК. Если это случится, то будет лучшим памятником жизни Владимира Андреевича Назаренко.

Научную и общественную активность Владимира Андреевича иллюстрирует большой перечень комитетов, советов, комиссий, программ, редколлегий, проектов, бюро, президиумов и др., в которых он принимал деятельное участие.

Петербургский институт ядерной физики – одно из крупнейших градообразующих предприятий Гатчины. За полувековую историю существования института неузнаваемо изменился пейзаж большей части города, примыкающей к Орловой роще. Вклад института в инфраструктуру

туру Гатчины велик, но особо следует отметить роль интеллектуальной составляющей этого вклада. Приток большого количества хорошо образованных, целеустремленных и постоянно находящихся в поиске людей обогатил творческую атмосферу города. При деятельном и непосредственном участии Владимира Андреевича в бытность его ученым секретарем института, затем заместителем директора и директором много внимания уделялось работе с детьми и подростками.

Дать детям возможность найти себя, определить область интересов, вовлечь их в систематические занятия чем-либо полезным и конструктивным и, тем самым, увести их с «улицы» – эту задачу и дирекция, и сотрудники института понимали очень хорошо и использовали все возможные пути для ее решения.

Организованные сначала в 9-й, а затем в 3-й школе классы с физико-математическим и химико-биологическим уклоном, работа различных кружков, руководимых сотрудниками института, активное содействие и деятельная помощь в успешном продвижении в школы информационных технологий, ежегодные популярные лекции для школьников в День знаний по вопросам, волнующим ученых в настоящее время, движение «Школьная экологическая инициатива», широко известное и признанное на общероссийском и международном уровне, работа Информационно-образовательного центра ПИЯФ – это далеко не полный перечень деятельности института, направленной на воспитание нашей смены.

Именно благодаря настойчивости и принципиальности Владимира Андреевича удавалось решать многие сложные вопросы общественной жизни института и города, поэтому вполне закономерным и естественным было избрание Владимира Андреевича Назаренко почетным гражданином города Гатчины. Лучшего подтверждения его гражданской позиции, которую он исповедовал всю свою жизнь, и придумать нельзя...



Владимир Андреевич – студент
Ленинградского
политехнического института



Будущие академики В. М. Лобашев и В. А. Назаренко в главном зале реактора



Слева направо: Ю. В. Соколев, А. Н. Пирожков,
В. А. Назаренко, Э. А. Коломенский



Доклад на ученом совете института



Наш ленинский лауреат академик В. А. Назаренко и нобелевский лауреат академик Ж. И. Алферов на конференции, посвященной 25-летию образования ПИЯФ, который ранее был филиалом Физико-технического института (1996)



Верхний ряд: руководитель реакторной базы института К. А. Коноплев (второй слева), директор ОМРБ В. Н. Фомичев (в центре), заместитель директора института по научной работе Н. К. Абросимов (справа).

Нижний ряд: президент РАН академик Ю. С. Осипов (третий слева) и директора института разных лет (слева направо) – А. А. Ансельм (с 1992 по 1994), О. И. Сумбаев (с 1971 по 1986), В. А. Назаренко (с 1994 по 2006)

Об Игоре Андреевиче Кондурове

В. И. Кадашевич



Игорь Андреевич Кондуров многие годы выполнял обязанности заместителя заведующего Лабораторией нейтронных исследований (ЛНИ), а затем заместителя директора отделения. Функции его на этом посту были весьма многочисленны и разнообразны. Кроме того, его профессиональные интересы (ядерная спектроскопия, центр ядерных данных и др.) также требовали достаточно внимания и сил. Однако не будет преувеличением сказать, что обеспечение экспериментальных исследований необходимой электронной техникой, автоматизация измерений и обработка информации всегда были в центре внимания И. А.

В рамках данной статьи ограничимся только этой сферой интересов И. А. Причем наибольшее внимание будет уделено работам 60–80-х годов прошлого столетия, поскольку на тот период не существовало традиционных решений, а ограниченность технических ресурсов принуждала находить уникальные решения вопросов, которых в XXI веке фактически не существует (например, объемы оперативной памяти, вычислительные мощности и пр.), и возможности разработчиков могут быть связаны только с финансами.

К началу 60-х годов в стране существовали ядерные центры, где среди прочих задач занимались созданием необходимого оборудования, в том числе и электронных приборов. Именно тогда возникло направление, получившее название ядерной электроники. Ядерная электроника, как область техники, лежащая на стыке перспективных направлений науки, развивалась достаточно быстро. Основные специалисты, занимавшиеся ею в начальные годы, приходили из физики, но к концу 50-х годов явно стали доминировать инженеры-электроники. Эта категория разработчиков неплохо владела базовыми знаниями и была достаточно квалифицирована в своей области, однако недостаточно ощущала

реальные потребности экспериментаторов и, тем более, едва ли могла прогнозировать перспективы развития экспериментальных исследований. Поэтому роль И. А. в нашем институте уникальна.

По образованию физик-ядерщик, он увлеклся радиоэлектроникой. Этот интерес во многом был связан с очень слабым обеспечением экспериментальных работ промышленными приборами.

Вернемся в 1958 год. В ФТИ, в лаборатории Льва Ильича Русинова, готовится свой экспонат на международную выставку в Брюсселе. Это 128-канальный амплитудный анализатор. Авторы: В. Б. Черняев – руководитель радиогруппы и И. А. Кондуков – аспирант. Если быть совершенно объективным, то следует заметить, что на самом деле это был 4-диапазонный 32-канальный прибор. Однако любая разработка подобного класса в те времена могла считаться достижением. Тем более что в данном приборе в качестве устройств памяти и индикатора использовались тиратроны с холодным катодом типа МТХ-90. Сегодня это может выглядеть как курьез, но в те времена они рассматривались чуть ли не как альтернатива транзисторам. Поскольку информация на табло анализатора представлялась в двоичном коде, была разработана специальная линейка, вроде логарифмической, для перевода в десятичную форму (автор – Ю. И. Харитонов). Основная схема анализатора была собрана на электронных лампах, но отдельные блоки включали и полупроводниковые элементы. Таким образом, все достижения отечественной электроники были представлены в этом устройстве. Сам факт включения прибора в число экспонатов международной выставки был незаурядным явлением.

И. А. отличала способность мгновенной оценки ситуации, быстрота реакции, умение выделить суть явления и дать четкую и образную формулировку, находчивость и изобретательность. Плюс человеческие качества: общительность, личное обаяние, остроумие, доброжелательность. Плюс прирожденный талант лидера и организатора. Все это вместе взятое позволило Игорю быстро занять и соответствующее административное положение, которое воспринималось окружающими как совершенно естественное. По-настоящему весь диапазон многочисленных талантов и интересов Игоря развернулся в Гатчине. По-видимому, имело место соответствие масштабов личности и задач. К 1962 году в филиале ФТИ собрались люди, которые считали делом своей жизни сделать Гатчину современным центром ядерной науки. Для многих

из них было ясно, что кроме источников излучения для этого необходимы сложные физические приборы. Без развитой электроники их построение и использование было практически невозможным. Лучше других это понимали главный инженер филиала С. Н. Николаев, ранее возглавлявший радиогруппу в лаборатории А. П. Комара, и И. А. Кондуров. К счастью, первым руководителем группы ядерной электроники ЛНИ был М. Н. Иванов, энергия, фанатичная преданность делу которого могли придать реальные очертания самым фантастическим проектам. Эта «тройка» совершенно разных людей на многие годы определила пути развития электроники и вычислительной техники в нашем институте. Выделить кого-нибудь из них в качестве главного лидера очень трудно – просто они хорошо дополняли друг друга, глубоко уважали, имели общую цель и отлично понимали, что их силы приумножаются в постоянном общении, дискуссиях, спорах и взаимной искренней поддержке. Судьба распорядилась так, что автору пришлось последующие годы работать рука об руку со всеми, общаться самым тесным образом в самых разных обстоятельствах. Это были интересные и талантливые люди, и стоит ли говорить о том неизменном уважении, каковое они вызывали.

Первой реализацией идей этого интеллектуального центра было создание группой М. Н. Иванова системы обработки физической информации (СОФИ). По сути это была совершенно оригинальная система, включающая несколько амплитудных и временных кодировщиков, общее поле памяти, средства визуализации и вывода данных и предоставляющая возможность одновременной работы нескольким экспериментальным группам. Для начала 60-х годов это было крупное достижение. Оно было отмечено золотой медалью ВДНХ.

Дальнейшим развитием этого направления стало создание измерительного вычислительного центра (ИВЦ) ЛНИ, в создании которого наряду с сотрудниками Отделения нейтронных исследований (ОНИ) принимали активное участие специалисты СЭВТ (общей институтской службы вычислительной техники), возглавляемой вначале М. Н. Ивановым, позднее Л. П. Солдатовым, С. Н. Николаевым, затем Ю. Ф. Рябовым. ИВЦ объединял в единый комплекс универсальную ЭВМ типа «Минск-22» и несколько специализированных процессоров собственной разработки, что позволяло проводить сложные многомерные эксперименты с одновременной обработкой информации. Информация

в центр поступала от выносных измерительных станций (ВИСТ), в состав которых входили модули формирования и кодирования сигналов с детекторов, а обмен данными между ИВЦ и ВИСТ шел по цифровому каналу. Естественно, И. А. не занимался непосредственно разработкой технических средств, но его влияние на формирование общих принципов функционирования и структуры было определяющим.

Особо необходимо отметить ярко выраженный у И. А. талант аналитика. Он ранее других мог увидеть суть явления или проследить (предсказать, предвидеть) тенденции развития интересующих его областей науки и благодаря этому влиять на выбор направления деятельности соответствующих электронных подразделений. Так в свое время он четко выделил два класса экспериментов (с точки зрения методики): многоканальные и малоканальные. И в то время как служба ядерной электроники была целиком занята наладкой и вводом в эксплуатацию централизованной системы сбора и обработки физической информации (по сути многопользовательского анализатора), И. А. вынашивал идею многовходового счетного устройства, получившего позднее название «МСС-8». Честно сказать, не все ведущие специалисты в тот момент поняли актуальность проблемы. Так С. Н. и автор этих строк не считали эту задачу актуальной. Игоря Андреевича горячо поддержал Михаил Никандрович Иванов. Жизнь показала, насколько прав был Кондуров. «МСС-8» выпускалась небольшими сериями с 1964 года и в течение многих лет была основным прибором при решении многих экспериментальных задач, особенно для физики твердого тела.

Также хочется вспомнить, как после одной из конференций в ОИЯИ, где впервые было упомянуто о возможности создания полупроводниковых детекторов, И. А. со свойственной ему энергией настоял на организации собственного производства аналогичных приборов и обратил внимание на необходимость заняться упреждающей разработкой первичной электроники и прецизионных аналого-цифровых преобразователей.

Как горячо и с каким энтузиазмом И. А. принял известие о предложении ведущих ядерных центров Европы перейти на стандарт КАМАК! Не один месяц потратил Кондуров, чтобы досконально разобраться в особенностях его использования, хотя по его статусу в этом и не было особой необходимости. Думаю, в том, что ПИЯФ оказался в числе веду-

щих разработчиков и производителей аппаратуры в стандарте КАМАК в СССР, роль И. А. трудно переоценить. Кроме того, на всевозможных школах и конференциях он всегда выступал как яркий пропагандист этого стандарта.

Появление всемирной сети Интернет не могло оставить И. А. равнодушным, поскольку оценить перспективы он мог как никто. Случилось так, что в ПИЯФ конкретная реализация этого проекта была выполнена коллегами из Отделения физики высоких энергий. И. А. очень переживал, что сотрудники ОНИ лишены доступа к сети. Чтобы ликвидировать этот пробел, Кондуров, используя административный ресурс, создал временную рабочую группу и добился финансирования. В короткий срок задача была решена. Вспоминается, как искренне, совсем по-детски, он ликовал, когда было установлено скоростное подключение (через скрученную пару – 10 МБ, ранее был задействован модем). Разница весьма ощутима.

Хочется отметить некоторые моменты, характеризующие И. А. как личность. Не могу не остановиться на таком качестве, как глубоко присущее ему чувство справедливости. Помню, когда на ВДНХ в середине 60-х годов были выставлены СОФИ и «МСС», институт получил несколько медалей, в том числе две золотых и две серебряных. Встал вопрос об их распределении, Игорь и М. Н. предложили такое решение: золотые получают С. Н. и Кадашевич, поскольку первый является нашим идеологом, а второй непосредственно готовил экспонаты. Аналогично вел себя Игорь и через двадцать лет, когда на получение Премии Совета Министров СССР была выдвинута группа специалистов, причастных к внедрению стандарта КАМАК в нашей стране, и нашему институту было выделено три места. Авторитет Игоря в мире автоматизации был настолько велик, что представители других организаций были очень удивлены, не обнаружив его фамилии в списке, представленном нашим институтом.

В Кондурове всегда поражала способность выдвигать самые неожиданные идеи, находить нетривиальные, совершенно оригинальные решения. Главное было – начать с ним разговор на интересующую тему, и он начинал «выбрасывать мысли». Нужно было эти идеи анализировать, оценивать их реализуемость, но то, что он мог предложить, отличалось своеобразием и нестандартным подходом. Увидеть даже хорошо известные вещи в совершенно новом ракурсе дано немногим.



На конференции «Автоматизация эксперимента по переходу Полярного круга»

Кондуоров проявил себя в разных областях, что говорит о широте его интересов. Ядерная спектроскопия – основной профиль его профессиональных интересов. Роль Игоря в центре ядерных данных хорошо известна. Едва ли не более высоким авторитетом он пользовался в мире автоматизации. Во второй половине 60-х годов при Президиуме Академии наук СССР был создан Совет по автоматизации научных исследований, объединивший специалистов разных областей науки. Естественно, что столь разносторонний человек как Игорь сразу стал одной из ведущих фигур в его деятельности. Также как и физические Школы ПИЯФ были немыслимы без Игоря, так и мероприятия Совета много теряли, когда он не мог в них участвовать. В отличие от Школ ПИЯФ, он далеко не всегда был в числе основных организаторов или формальных руководителей, но его присутствие ощущалось всегда. Умение найти общий язык с представителями разных профессий, демократичность в общении, способность оставаться самим собой в присутствии сильных мира сего. Для нас, электронщиков, Кондуоров всегда был чем-то вроде лоцмана и оракула в сложном мире физических проблем.

И все-таки было бы неправильным умолчать о том, что отпущенное ему время И. А. не использовал до конца. За пятьдесят с лишком лет деятельности автор знаком со многими. Можно сказать однозначно, что есть категория ученых, достигших известных степеней и должностей при наличии весьма посредственных природных данных. Видимо, сумели компенсировать другими качествами. Словом, реализовали свой потенциал на сто пятьдесят процентов. С болью должен заметить, что Игорь не использовал его и на пятьдесят. Если при этом он пользовался огромным авторитетом и многого достиг, значит, дано было еще больше. Впрочем, это относится не только к нему. Так, и С. Н. Николаев, и М. Н. Иванов не собрались написать хотя бы кандидатские диссертации. Масса интересных и оригинальных решений, воплощенных в выше отмеченных разработках, никогда не были подтверждены авторскими свидетельствами. Видимо, вектор интересов этих людей имеет другое направление.

Автору этих строк довелось познакомиться с И. А. в 1958 году в лаборатории Льва Ильича Русинова. Тесное сотрудничество началось с мая 1962 года. Работать и общаться было необыкновенно интересно. Остается поблагодарить судьбу за то, что дала такую возможность.

Приложение

Выбор площадки для строительства ВВР-С

Комиссия по выбору площадки
строительства объекта «Л» и «Р» (ВВР-С)

Акт (СС)

Комиссии по выбору площадки строительства объекта «Л» и «Р» ФТИ АН СССР, созданной согласно Распоряжению Президиума АН СССР за № 82 1652 от 24.08.55.

Утв. президентом АН СССР академиком А. Н. Несмеяновым 06.01.1956.

1. Новиков И. И. – председ., зам. гл. уч. секр. През. АН СССР.
2. Комар А. П. – дир. ФТИ.
3. Русинов Л. И. – зав. лаб. ФТИ.
4. Волиев П. П. – зам. дир. ФТИ.
5. Русаневский Г. И. – ЦУКС АН.
6. Сабуров П. Д. – гл. инж. ГипроНИИ.
7. Филиппов В. А. – научн. консультант Отдела спецработ АН.
8. Бурлаков В. Д. – представитель МСМ.
9. Седин З. Г. – представ. МСМ.
10. Смирнов В. В. – гл. инж. Ленгипростроя.
11. Крутиков Б. П. – гл. инж. проекта Ленгипростроя.
12. Комар Е. Г. – представитель МЭП.
13. Корзухина Г. А. – госсанинспектор Управ. Мин. здравоохран. СССР.

Комиссия, ознакомившись на месте с площадкой, расположенной на расстоянии 1,5 км на север от г. Гатчины на землях Гослесфонда (Тайцевское лесничество), с отчетом по выбору площадки (инв. № 125-15-01024 Ленгипростроя – с. с. и с заключением Госсанинспекции 3-го Гл. упр. при Мин. здр. СССР (исх. № Ленгипростроя – с. с.)), рекомендует к утверждению в качестве площадки, пригодной для строительства фазотрона и реактора ФТИ АН СССР, площадку в Гатчинском районе, в Тайцевском лесничестве.

Эта площадка рекомендуется по след. соображениям:

1. Площадка имеет благоприятную геологическую структуру и благоприятную топографию.

2. Водоснабжение объекта осуществляется за счет коптажа подземных вод буровыми скважинами.

3. Сброс хозяйств. и производственных вод осуществляется в реку Малое Замостье.

4. Электроснабжение объекта возможно от высоковольтной подстанции Пудость.

5. Шоссейная дорога Гатчина – Красное Село проходит вблизи территории площадки.

6. Железнодорожная ветка может быть подведена от ст. Пудость (около 3 км) Балтийской ж. д.

7. Снабжение строительства стройматериалами может быть осуществлено за счет использования существ. местных карьеров и заводов строит. мат-лов.

8. Строит. площадка удовлетворяет требованиям Госсанинспекции Минист. здравоохран. СССР (см. Заключение).

9. Строит. площадка расположена на расстоянии 45 км от г. Ленинграда и имеет удобное сообщение с Л-дом по Киевскому шоссе и двумя железнодорож. путями с Балт. и Варш. вокзалов.

Расположение площадки дает возможность удобной и хорошей связи с Ленингр. научными учреждениями.

10. Жилстроительство может быть расположено в г. Гатчине с использованием коммунальных и культурных учреждений г. Гатчины.

Таким образом, рекомендуемая к утверждению площадка в районе г. Гатчины отвечает инженерно-техническим и санитарным требованиям для строительства установок ФТИ АН СССР.

Приложение. 1) Отчет комиссии по выбору площадки

2) Заключение Госсанинспекции 3-го Гл. упр.
(запросить)

Комиссия работала 28.11.55 г.

Дело № 11, т. I.

Физический пуск реактора ВВР-М. Приказ по ФТИ от 7 января 1960 года

ПРИКАЗ

по Физико-техническому институту АН СССР № 2/ОК
7 января 1960 года г. Ленинград

29 декабря 1959 года состоялся физический пуск исследовательского атомного реактора Физико-технического института АН СССР, построенного по решению Правительства.

Благодаря заботам Партии и Правительства ленинградские ученые получают новую современную экспериментальную базу для исследования.

Реактор ФТИ по своим параметрам является одним из лучших современных научно-исследовательских реакторов. Он рассчитан на номинальную мощность 10 000 кВт с нейтронным потоком порядка 10^{14} нейтронов/см² · с.

Высокие параметры реактора были обеспечены благодаря существенной модернизации исходного проекта, осуществленной по инициативе и силами научного коллектива нашего института. Завершение строительства и физический пуск реактора, произведенные в срок, установленный Правительством, являются большой победой коллектива Физико-технического института, проектных, строительных и монтажных организаций, принимавших участие в создании реактора.

Ввод в строй атомного реактора ФТИ позволит осуществить широкую программу научных исследований в области ядерной физики, физики твердого тела, атомной энергетики, радиохимии, радиобиологии и технических применений радиоизотопов. Окончание строительно-монтажных работ и физический пуск реактора ФТИ являются результатом большого труда многих сотрудников института.

Отмечаю роль основных работников, принимавших участие в создании реактора.

По инициативе и под руководством научного руководителя реактора доктора физико-математических наук, профессора Л. И. РУСИНОВА проведены работы по модернизации аппарата.

В этих работах приняли активное участие: руководитель расчетной группы, канд. физ.-мат. наук Г. В. СКОРНЯКОВ, старший инженер В. А. ШУСТОВ, главный технолог К. А. КОНОПЛЕВ, начальник КБ института Н. Ю. ЛАГУНОВ, начальник КБ филиала В. П. РОДЗЕВИЧ, мл. научный сотрудник Ю. В. ПЕТРОВ, зам. директора ФТИ Б. И. РУДЕНКО, работавший в период проектирования реактора в качестве инженера-конструктора.

Успешное строительство и монтаж реактора были обеспечены благодаря активной работе отдела капитального строительства, возглавляемого начальником ОКСа тов. П. П. ВОЛКОВЫМ.

Хорошо и инициативно выполнили свои обязанности: ст. инженер технадзора В. З. ПАРФЕНОВ, зам. начальника ОКСа по оборудованию А. Г. БУРОВИК, старший инженер О. М. ШЕПЕЛЕВА, ст. инженер В. М. РОТКИН, К. А. КРЮКОВ, Н. С. ДРЕССЕН и техник ОКСа К. С. ТАРАНИШИН.

Активную роль в строительстве реактора, контроле за монтажом и подготовке его к эксплуатации принимала технологическая группа, работавшая под успешным и умелым руководством научного руководителя проф. Л. И. РУСИНОВА и зам. гл. инженера К. А. КОНОПЛЕВА. В этой группе ведущую роль сыграли: ст. инженер Д. А. ЯШИН, нач. службы И. К. ЮРША, зам. нач. службы В. И. ГОЛОСОВ, зам. нач. службы В. Т. ШАРОВ, инженеры: Б. И. НОВИЦКИЙ, В. Г. ПАНКОВ, Ю. П. СЕМЕНОВ, Е. А. КОНОВАЛОВ, В. И. ГУДКОВ, Ю. П. САЙКОВ, Л. Н. ПОСТНИКОВ, Л. Н. ЕВСТИФЕЕВ, К. А. СЕРОВ, нач. службы В. А. СОЛОВЬЕВ, зам. нач. службы Р. Г. ПИКУЛИК, техники: В. В. ЖУЛИН, В. В. ЯКУБОВСКИЙ, Н. Я. СЕМЕНОВ, Г. Н. ЕВДОКИМОВ, механики: А. Я. СУСЛЯЕВ, В. А. ТУРИЛОВ, В. М. МИХАЙЛОВ.

Существенную помощь в создании реактора оказали работники механической мастерской и КБ филиала: начальник мех. мастерских Н. Н. МАКАРОВ, мастер В. А. ШОКА, начальник КБ В. П. РОДЗЕВИЧ, конструкторы: Р. П. СОКОЛЬСКАЯ, О. И. ХАЗОВА, В. С. МОИСЕЕВ и другие.

Большую помощь в выполнении работ по созданию реактора оказали сотрудники отдела ФТИ: Н. А. ДРОЗДОВ, А. И. ШНЕЙДЕРМАН, Ф. М. АФОНИН, З. В. ПАРФИНОВИЧ, Г. А. ЖИЛКИН, А. И. ГАВРИКОВ, А. Д. ДУДРОВА, Л. И. СЕМЕНОВА, А. А. КОСИНСКАЯ, А. В. ПРОКОФЬЕВ.

Следует отметить, что инициатива по созданию реактора ФТИ была в свое время горячо поддержана академиком АН УССР проф. А. П. КОМАРОМ.

В выполнении работ по сооружению реактора большую роль сыграло успешное руководство всеми работами по филиалу ФТИ со стороны зам. директора ФТИ доктора физ.-мат. наук Д. М. КАМИНКЕРА.

ПОЗДРАВЛЯЮ коллектив Физико-технического института с большой победой, достигнутой в последние дни 1959 года, желаю в наступающем новом году дальнейших успехов в работе на благо нашей Великой Родины.

Директор ФТИ АН СССР,
член-корр. АН СССР, профессор

Б. П. Константинов

Энергетический пуск реактора ВВР-М. Приказ по ФТИ от 29 июня 1960 года

ПРИКАЗ

по Физико-техническому институту АН СССР
29 июня 1960 года г. Ленинград

Содержание приказа: О выходе на номинальную мощность реактора ВВР-М филиала ФТИ.

С 1 июля 1960 г. начать вывод на номинальную мощность реактора ВВР-М филиала ФТИ АН СССР с целью получения потока нейтронов 10^{14} нейтронов/см² · с.

Ответственным руководителем работ при выходе на номинальную мощность назначить главного инженера реактора ВВР-М КОНОПЛЕВА Кира Александровича.

Для непосредственного проведения пуска реактора создать пусковую бригаду в составе:

1. КОНОПЛЕВ Кир Александрович – ответственный руководитель работ;
2. – представитель ИАЭ АН СССР, контролирующий физик;
3. ШУСТОВ Валентин Александрович – второй контролирующий физик;
4. ПИКУЛИК Ренард Григорьевич – старший инженер-оператор;
5. СОЛОВЬЕВ Виктор Александрович – ответственный за радиационную безопасность.

Ответственный руководитель работ осуществляет общее руководство выхода на мощность. Все операции в процессе пуска осуществляются по письменному распоряжению ответственного руководителя работ. Контролирующий физик и второй контролирующий физик осуществляют контроль за всеми операциями, связанными с набором критической массы, изменением реактивности, изменением теплового и критического режимов. Соответствующие распоряжения отдаются ответственным руководителем работ только после письменного согласования с контролирующим физиком и вторым контролирующим физиком. Старший инженер-оператор отвечает за исправность аппаратуры СУЗ и КИП в процессе пуска, а также непосредственно выводит реактор на заданный уровень мощности и переводит реактор с одного уровня мощности на другой. Ответственный за радиационную безопасность отвечает за выполнение норм радиационной безопасности во всех помещениях корпуса № 1 в процессе пуска.

Набор критической массы и достижение критического состояния производить в соответствии с регламентом по физпуску. Ввод в действие всего технологического оборудования и аппаратуры в процессе повышения мощ-

ности производить в соответствии с технологическим регламентом реактора ВВР-М.

Выход на мощность производить ступенями до достижения потока тепловых нейтронов 10^{14} нейтронов/см² · с. Переход с одного уровня мощности на другой, более высокий производить только после достаточного опробования всего оборудования и приборов на предыдущей ступени.

Пусковая бригада производит выход на заданный уровень мощности и переход с одного уровня мощности на другой. Работа пусковой бригады происходит в одну дневную смену.

Работу реактора на заданном постоянном уровне мощности производить круглосуточно в три смены. Состав смен скомплектовать главному инженеру реактора ВВР-М из эксплуатационного персонала реактора.

Начальниками смен назначить ЯШИНА Д. А., КРЫЛОВА А. И., ПАНКОВА В. Г.

Начальники смен производят работу на заданном уровне мощности, следят за исправностью всего оборудования и аппаратуры. В случае возникновения аварийной ситуации начальники смен обязаны заглушить аппарат. Самостоятельный выход на мощность и переход с одного уровня мощности на другой – запрещаются.

Начальники смен несут ответственность за безаварийную работу реактора в соответствии с должностными инструкциями.

И. О. гл. энергетика филиала ФТИ тов. КАДУНУ Г. Е. обеспечить бесперебойное снабжение корпуса № 1 электроэнергией от 2 трансформаторов и бесперебойное круглосуточное водоснабжение с расходом 30 м³/ч на время с 01.07.60 г. по 15.07.60 г.

После достижения потока нейтронов 10^{14} нейтронов/см² · с реактор заглушить для подготовки его к нормальной эксплуатации.

Общий контроль за пуском реактора ФТИ и за выполнением настоящего приказа поручить моему заместителю Д. М. КАМИНКЕРУ.

Директор ФТИ АН СССР
член-корр. АН СССР, профессор

Б. П. Константинов

Участники строительства, монтажа, подготовки к пуску и пуска реактора ВВР-М 29 декабря 1959 года

Руководители: Б. П. Константинов, Л. И. Русинов,
П. П. Волков, Д. М. Каминкер

1. Алдияров Е. А. инженер-оператор
2. Архиповский И. А. механик
3. Афонин Ф. М. зам. нач. сл. (и. о. нач. отд. кадр.)
4. Борисов Н. П. деж. сл. механиков
5. Бурувик А. Г. зам. начальника ОКСа
6. Васильев В. Г. бригадир монтажников
7. Ворсобин Г. Н. деж. сл. КИП
8. Гавриков А. И. начальник спец. отдела ФТИ
9. Ганжа В. Д. инженер сл. р/х
10. Голосов В. И. зам. нач. службы механиков
11. Голубев Е. А. деж. сл. «Д»
12. Гордеев Г. П. инженер оператор
13. Григорьев Ю. П. деж. сл. р/х
14. Гудков В. И. инженер-оператор
15. Дорошенко Ю. В. конструктор КБ
16. Дорошенко Ж. Г. конструктор КБ
17. Дрожжин Ю. М. деж. сл. электриков
18. Дроздов Ю. И. механик
19. Евдокимов Г. Н. деж. сл. механиков
20. Евдокимов И. А. деж. сл. «Д»
21. Евстифеев Л. М. инженер
22. Ерыкалов А. Н. мл. научный сотрудник
23. Жулин В. В. деж. сл. «Д»
24. Завьялов И. А. механик мех. маст.
25. Звездин В. С. инженер-оператор
26. Золотой М. И. гл. бухгалтер ОКСа
27. Ильин В. А. бригадир монтажников
28. Иоффе И. А. нач. монтаж. участка
29. Капустин Я. А. аккумуляторщик

30. Карипов Н. С. деж. сл. электриков
31. Квасов В. В. деж. сл. СУЗ
32. Клясюк А. А. деж. сл. электриков
33. Кондурова Л. Н. инженер
34. Коновалов Е. А. инженер-оператор
35. Коноплев К. А. зам. гл. инженера
36. Коркин В. И. механик тех. надзора
37. Коршунов А. Д. деж. сл. механиков
38. Косьянковский Ю. Г. конструктор КБ
39. Котова Л. М. лаборант теор. отдела
40. Крагина О. Я. лаборант КБ
41. Круглов Г. С. механик
42. Крылов А. И. нач. смены
43. Крюков К. В. ст. инженер тех. надзора
44. Крюкова Е. Ю. конструктор КБ
45. Кулебакин К. А. механик
46. Курочкина-Киселева М. А. конструктор КБ
47. Лебедев А. П. механик мех. маст.
48. Ленивец А. Е. деж. сл. механиков
49. Лобынцев В. М. механик тех. надзора
50. Макаров Н. Н. нач. мех. мастерских
51. Макарычев В. Э. механик тех. надзора
52. Михайлов В. М. деж. сл. механиков
53. Моисеев В. С. ст. конструктор КБ
54. Новицкий Б. И. инженер-оператор
55. Олешко М. Г. эл. техн.
56. Панков В. Г. ст. инженер-оператор
57. Панкратов Н. К. деж. сл. электриков
58. Парфианович З. В. начальник ОК ФТИ
59. Перельгин А. А. деж. службы «Д»
60. Пестерев М. К. деж. службы КИП
61. Петров Ю. В. мл. научный сотрудник
62. Пикулик Р. Г. зам. нач. службы СУЗ
63. Пикулик-Вад Т. А. лаборант КБ
64. Постников Л. Н. инженер-оператор
65. Разов Б. С. ст. инж. техн.-проектировщик

66. Родзевич-Белевич В. П. начальник КБ
67. Робаков Н. И. токарь сл. механиков
68. Роткин В. И. ст. инженер технадзора
69. Рубан В. А. ст. инженер-оператор
70. Сайков Ю. П. инженер службы р/х
71. Семенов Н. Я. механик
72. Снегирева-Мошкина Н. Г. конструктор КБ
73. Семенов Ю. П. ст. инженер-оператор
74. Серов К. А. инженер
75. Скорняков Г. В. ученый секретарь
76. Сокольская Р. П. ст. конструктор КБ
77. Соловьев В. А. нач. службы «Д»
78. Степанов И. Г. деж. сл. механиков
79. Спиридонов О. В. инженер сл. электриков
80. Суслиев А. А. деж. сл. механиков
81. Сюгияйнен А. А. токарь сл. механиков
82. Таранишин Г. С. и. о. инж. тех. надзора
83. Тихиня С. Е. деж. службы «Д»
84. Ткаченко Т. И. ст. бухгалтер
85. Тренин В. Д. механик сл. СУЗ
86. Турилов В. А. инженер службы р/х
87. Федулов В. П. механик гор. камер
88. Хазова О. И. ст. конструктор КБ
89. Хиппонен Г. В. механик мех. мастерских
90. Хиппонен К. В. механик мех. мастерских
91. Холмов В. Я. механик мех. мастерских
92. Хюппонен В. Ф. фрезер. мех. мастерских
93. Черкасов Е. Б. инж. сл. электриков
94. Чухнов В. Н. нач. участка эл. монтажа
95. Шаров В. Т. зам нач. службы р/х
96. Шока В. А. мастер мех. мастерских
97. Шока И. В. конструктор КБ
98. Шустов В. А. ст. инженер-оператор
99. Юрша И. К. зам нач. службы электриков
100. Якубовский В. В. деж. службы «Д»
101. Яшин Д. А. нач. смены

По страницам газеты «Ленинградская правда»

Ленинградский атомный реактор

Мирный атом! Ленинградские ученые внесли немалый вклад в дело использования атомной энергии в мирных целях. Воды Балтики горделиво бороздит первый в мире атомный ледокол «Ленин», в создание которого наряду со всей страной вложили немалый труд ленинградцы. И вот теперь, накануне Нового года, стране сделан еще один отличный подарок: вчера вошел в строй ленинградский атомный реактор.

Эта чудо-машина установлена в большом светлом зале. Здесь же расположены и другие механизмы. Биологическую защиту атомного реактора пронизывают каналы для проведения физических исследований. Каналы эти закрыты специальными устройствами – шиберами. Они по желанию экспериментаторов открывают пучки нейтронов.

Час дня. В зал входят первый секретарь обкома КПСС И. В. Спиридонов, заместитель начальника Главного управления по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР Н. А. Николаев, секретари обкома КПСС С. П. Митрофанов, Б. А. Покровский, ученые, представители общественности.

В зале возле реактора открывается расширенное заседание ученого совета Физико-технического института Академии наук СССР с участием представителей партийных, советских и профсоюзных организаций.

Открывая заседание, директор Физико-технического института, Герой Социалистического Труда, член-корреспондент Академии наук СССР Б. П. Константинов указал, что завершение строительства реактора – новое яркое свидетельство заботы Коммунистической партии о развитии советской науки.

На трибуне – профессор Л. И. Русинов. Он демонстрирует присутствующим схемы нового реактора, приводит его данные.

– Новый реактор, – говорит профессор Л. И. Русинов, – один из лучших в мире.

Директор института Б. П. Константинов приглашает первого секретаря обкома КПСС И. В. Спиридонова пустить реактор.

И. В. Спиридонов разрезает красную ленточку, подходит к пульту управления и пускает реактор. В это время звуковой сигнализатор непрерывно сообщает о развивающейся цепной реакции. Сигналы пе-

реходят в непрерывный гул. Реактор пущен. Начался цепной процесс – деление атомных ядер.

На первую вахту у реактора и на пульте управления встают старший инженер-оператор В. А. Шустов, заместитель главного инженера К. А. Коноплев, заместитель начальника службы системы управления защиты Р. Г. Пикулик, инженеры-операторы Г. П. Гордеев, В. С. Звездин, механики А. Е. Ленивцев, К. А. Кулебакин.

Так начал свою работу уникальный исследовательский водо-водяной атомный реактор номинальной мощностью в 10 тысяч киловатт с интенсивностью потока тепловых нейтронов 10^{14} на квадратный сантиметр в секунду. Он разработан коллективом Физико-технического института Академии наук СССР.

Заседание продолжается. Первый секретарь обкома партии И. В. Спиридонов в своем выступлении сердечно поздравляет ученых и строителей с пуском атомного реактора, подчеркивает, что этот пуск является новым ценнейшим вкладом в дело дальнейшего прогресса науки.

И. В. Спиридонов подробно остановился на успехах нашей страны в истекшем году.

1959 год ознаменовался многими событиями, которые навсегда войдут в историю. Состоялся XXI съезд КПСС, начертавший программу коммунистического строительства в нашей стране. Июньский Пленум ЦК КПСС указал дальнейшие пути технического прогресса. Только что закончившийся Пленум Центрального комитета партии определил направление развития социалистического сельского хозяйства. Поистине историческим событием года явился визит Н. С. Хрущева в США. Сломан лед холодной войны. Потепление во взаимоотношениях между народами открыло новые надежды на прочный мир. Этот год ознаменован и замечательными событиями в науке и технике. Запущены три советские космические ракеты. В нашем городе построен атомный ледокол «Ленин». Сегодня, в канун Нового года, произошло новое знаменательное событие: пуск атомного реактора.

Слово предоставляется заместителю начальника Главного управления по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР Н. А. Николаеву.

– Пуск первого исследовательского реактора в Ленинграде, – говорит он, – открывает широкие возможности для развития научно-

исследовательских работ в области ядерной физики, атомной энергетики и получения радиоактивных изотопов.

От имени Президиума Академии наук СССР создателей и строителей атомного реактора приветствовал академик Герой Социалистического Труда А. А. Лебедев. Выступили также строитель реактора И. Т. Шейпцвит, член-корреспондент Академии наук СССР В. М. Вдовенко, секретарь партийного бюро Физико-технического института Т. А. Гукасов и другие.

Заседание ученого совета окончено. Представители ленинградской общественности осматривают реактор, пульт управления, различные службы. Ученые отвечают на многочисленные вопросы.

Ленинградский атомный реактор вошел в строй.

№ 307 (13639) от 31.12.59

Будни мирного атома

– Каковы основные результаты более чем полугодовой работы по освоению ленинградского атомного реактора? – с таким вопросом корреспондент «Ленинградской правды» обратился к директору Физико-технического института Герою Социалистического Труда, лауреату Ленинской премии, академику Б. П. Константинову.

– Пуск ленинградского реактора, – сказал академик Б. П. Константинов, – явился знаменательным событием в научной жизни нашего города. Ученые получили замечательные возможности для проведения исследовательских работ в области ядерной физики, физики твердого тела, включая исследования полупроводников. Инженеры и конструкторы смогут осуществлять исследования, касающиеся поведения материалов в условиях высокой температуры и интенсивного облучения, а также разработки конструкций элементов и деталей атомных энергетических установок.

Химики Ленинграда будут широко применять новый метод активационного анализа и с успехом разрабатывать некоторые вопросы технологии ядерного горючего. Биологи, включая медиков, смогут изучать воздействие излучений на живые организмы, в том числе на бактерии, вирусы и растения. Они получают также возможность эффективнее разрабатывать методы борьбы с лучевой болезнью.

В необходимом количестве будут получать разнообразные радиоактивные изотопы научно-исследовательские институты и промышлен-

ность Ленинграда. А это особенно важно, так как доставка короткоживущих изотопов из других городов практически невозможна.

Следует подчеркнуть, что более широкое использование изотопов расширит возможности ленинградской промышленности по автоматизации и контролю производственных процессов.

За время, прошедшее со дня пуска ленинградского реактора, было затрачено немало усилий для освоения этого весьма сложного уникального сооружения номинальной мощностью в 10 000 киловатт с интенсивностью потока тепловых нейтронов $4 \cdot 10^{14}$ на квадратный сантиметр в секунду.

В настоящее время реактор достиг плотности потока в экспериментальном канале $2 \cdot 10^{14}$ нейтронов на квадратный сантиметр в секунду. Это значение потока достигнуто при мощности 5 000 киловатт.

Выход на мощность ленинградского реактора показал правильность расчетов советских ученых и специалистов, осуществивших оригинальную конструкцию активной зоны водо-водяного реактора. Вся аппаратура управления работает безукоризненно. Дозиметрические измерения показали полную надежность существующей защиты от проникающего излучения.

В результате проделанной работы сотрудники Физико-технического института основательно изучили свойства нового реактора и умело используют ядерное горючее и все управляющие механизмы. Удалось найти условия для получения плотности потока нейтронов несколько большей проектной.

Ученые произвели наладку и опробование ряда установок для проведения физических исследований на реакторе.

Нужно отметить, что работающая на реакторе научная молодежь приобрела ценный опыт для успешной, непрерывной эксплуатации этой сложнейшей уникальной аппаратуры. Недавние выпускники ленинградских вузов К. Коноплев, В. Шустов, Р. Пикулик, В. Панков и другие стали мастерами своего дела.

Ленинградские ученые-физики, в руках которых теперь имеется новое мощное средство по использованию атомной энергии в мирных целях, приложат все усилия, чтобы успешно выполнить исторические указания июльского Пленума ЦК КПСС по скорейшему внедрению достижений науки в практику.

1960

К тайнам плазмы

Каждый раз, бывая на реакторе, думаешь о величии человеческого разума, который одерживает верх в соревновании с природой. Мы увидели сегодня здесь много технических новшеств, но еще более поразили нас перемены, которые произошли с молодыми инженерами, нашими старыми знакомыми. Создается впечатление, что люди здесь растут богатырски. Со студенческой скамьи пришла сюда молодежь. Мудрый и добрый наставник молодой научной смены академик Б. П. Константинов заботливо растит экспериментаторов и теоретиков, развивает у них горячее стремление к научным исследованиям. А разве в непрерывные поиски молодых физиков и химиков не вложена часть души научного руководителя ленинградского реактора профессора Д. М. Каминкера?

Как возмужал главный инженер К. А. Коноплев! Нет, он уже не похож на студента, как писала однажды наша газета. Кир Александрович дважды в минувшем году побывал за рубежом, где выступал на международных симпозиумах, представляя отечественную науку.

Старшего лаборанта Д. А. Яшина мы не застали на его прежнем месте. Страстный экспериментатор занял пост заместителя главного инженера.

В новой роли нам представили и научного сотрудника В. Г. Панкова. Он стал начальником смены. Сегодня Владимир Григорьевич дежурит. Только по его приказанию загружаются в реактор изотопы, нужные для проведения научно-исследовательских работ. Это по предложению молодого коммуниста В. Г. Панкова тело реактора было прорезано новым «огнестрельным стволом», из которого идут сейчас нейтронные пучки.

Совсем недавно пришел на реактор после окончания Политехнического института комсомолец З. К. Красоцкий. Сначала он работал в лаборатории, а сейчас – оператор на пульте управления. Самостоятельная научная работа по измерению спектров короткоживущих радиоактивных изотопов доверена младшему сотруднику И. А. Кондурову. В научных изданиях опубликовали свои статьи В. М. Лобашев, В. А. Назаренко, С. Р. Новиков.

1962

Из сборника «Научные среды»

Зарегистрировано первое научное открытие

Накануне Нового (1980 года. – *Примеч. ред.*) года Государственный комитет по делам изобретений и открытий признал и зарегистрировал в качестве научного открытия обнаруженное явление вращения плоскости поляризации жестких гамма-квантов. Его авторами стали сотрудники ЛИЯФ АН СССР – лауреат Ленинской премии, член-корреспондент АН СССР, зав. лабораторией слабых взаимодействий В. М. Лобашев; кандидат физ.-мат. наук, зав. отделом А. П. Серебров; научный сотрудник Л. М. Смотрицкий и два сотрудника других институтов страны – доктор физ.-мат. наук В. Г. Барышевский (Белорусский университет) и доктор физ.-мат. наук В. Л. Любошиц (Объединенный институт ядерных исследований).

Знаменательно, что это первое официальное открытие, сделанное в ЛИЯФ. В связи с этим состоялось заседание Ученого совета института. На нем с интересным докладом о том, как были получены экспериментальные результаты и их объяснение, выступил один из авторов открытия В. М. Лобашев.

Такие события не только в институте, но и в целом по стране происходят довольно редко. Поэтому почти за 30 лет с начала регистрации открытий в СССР их сделано всего 360, лишь 1 процент от подаваемых заявок отвечает критериям открытий.



В. М. Лобашев



А. П. Серебров



Л. М. Смотрицкий

Стихи о ВВР-М

Юбилею физического пуска реактора ВВР-М посвящается

Когда я итожу то, что прожил,
И роюсь в днях – ярчайший где,
Я вспоминаю одно и то же:
Двадцать девятое – первый день!

В расчетах, в криптопытах нету сомнения,
Уран учтен до последней крупички,
Собрана зона с K -размножения
Большим единицы!

Реакторный зал народом заполнился,
Близится миг исторический!
День этот нам на всю жизнь запомнился –
Реактора пуск физический!

В зале притихшем защелкал динамик
И разразился треском!
По пуску реактора главный экзамен
Выдержан был с блеском!

Каждый событием этим тронут,
В зале гремит овация!
В нашем реакторе на наших нейтронах
Пошла цепная реакция!

Летит нейтрон, расщепляет атом,
Насосы поют хор-р-ром!
Будут у нас свои кандидаты
И даже свои член-кор-р-ры!

Сколько лет пронеслось, как сон,
В сплошной лихорадке буден!
Если физику нужен нейтрон –
Значит, нейтрон будет!

У физиков тоже возрос аппетит –
За ними не просто угнаться.
Вместо проектных десяти
Даем мегаватт восемнадцать!

Реактор в науке – не малый фактор,
Здесь ясно без словоблудий!
Да здравствуют наш ветеран-реактор
И ветераны-люди!

Многих судьба унесла на тот свет
Слишком рано.
Светлая память тем, кого нет, –
Нашим друзьям-ветеранам!

Г. Кирсанов

Воспоминание

Во глубине Орловой рощи,
Вдали от папы – ФТИ –
Росло дитя, а если проще –
ВВР-М здесь Лев растил.

Наш Лев Ильич был дальновиден,
Он знал: из сына выйдет прок!
И вот наука не в обиде,
И даже жаль, что вышел срок.

Чтоб все критмассово играло,
Но не рвалось, не полыхало,
Не отравляло земляков,
Все рассчитали от начала
Петров Ю. В. и Ерыкалов,
И Шустов В., и Скорняков...

Технолог главный – Коноплев –
Довел ребеночка до пуска...
С тех пор от юбилейных слов
Прекрасно в рот идет закуска!

Не перечислить всех имен
В строках рифмованных, недлинных,
Кем коллективно был рожден
И выращен наш именинник.

Как молода была тогда
Ватага нынешних маститых!
Теперь – то борода седа,
То блики на макушках лысых...

Увы, не все на встрече тут:
Иных уж нет, другие где-то.
И кадры новые растут,
Но наша песнь еще не спета!

Еще достроим все же ПИК!
Изымем из времен застойных!
Пусть будет он не моды крик,
Но продолжателем достойным!

А. Ильиных

Давным-давно

Слова Д. Германа, музыка Т. Хренникова

Есть дом большой в Орловой роще,
А в нем высокое-высокое окно.
Источник там нейтронный мощный
Давным-давно, давным-давно, давным-давно!

Нам за пультом, а не в постели
Не спать, не спать всю ночь суждено,
Ведь всем нам жены надоели
Давным-давно, давным-давно, давным-давно!

Здоровый дух в здоровом теле,
Но разве это, разве это не смешно,
Что нас врачи уже отпели
Давным-давно, давным-давно, давным-давно!

Для нас нейтроны – не помеха,
Другой судьбы, другой судьбы нам не дано,
Творим историю Физтеха
Давным-давно, давным-давно, давным-давно.

Содержание

Предисловие	3
--------------------------	---

Часть 1. Реактор ВВР-М

Нейтроны для большой науки. <i>К. А. Коноплев</i>	7
Первые эксперименты на реакторе ВВР-М. <i>Г. А. Петров, Р. Ф. Коноплева, С. Р. Новиков</i>	56
Физический расчет реактора ВВР-М. Создание и совершенствование расчетной малогрупповой модели реактора. <i>А. Н. Ерыкалов</i>	60
Твэлы реактора ВВР-М – объект постоянного изучения и модернизации. <i>К. А. Коноплев, Г. А. Кирсанов</i>	63
Теплофизика реактора ВВР-М. <i>Г. А. Кирсанов</i>	67

Часть 2. Отделение нейтронных исследований

История ОНИ и достижения. <i>К. А. Коноплев, В. В. Федоров</i>	73
К пятидесятилетию исследований физики деления в Гатчине. <i>Г. А. Петров</i>	113
Виток спирали (история лаборатории). <i>В. П. Плахтий</i>	118

Биологические исследования на реакторе. <i>А. Г. Свердлов</i>	121
Материаловедческие исследования на реакторе ВВР-М. <i>А. Н. Лапин</i>	126

Часть 3. Реактор ВВР-М – полигон испытаний установок для реактора ПИК

Подготовка к исследованиям на реакторе ПИК. <i>А. П. Серебров</i>	130
----------------------------------------------------------------------------	-----

Часть 4. Люди, годы...

О Льве Ильиче Русинове. <i>Л. А. Слив, Е. П. Мазец</i>	157
О Борисе Павловиче Константинове. <i>О. И. Сумбаев</i>	167
О Давиде Моисеевиче Каминкере. <i>Э. Боровкин</i>	175
Страницы воспоминаний. <i>Г. М. Драбкин</i>	179
Олег Игоревич Сумбаев и гатчинская школа кристалл-дифракционных исследований в физике. <i>В. В. Федоров</i>	184
О Владимире Михайловиче Лобашеве. <i>А. И. Егоров, В. Ф. Ежов, Э. А. Коломенский, К. А. Коноплев, Г. А. Петров, А. Н. Пирожков, В. М. Самсонов, А. П. Серебров, В. В. Федоров</i>	198
О Владимире Андреевиче Назаренко. Жизнь, отданная науке. <i>В. В. Федоров</i>	203
Об Игоре Андреевиче Кондурове. <i>В. И. Кадашевич</i>	211
Приложение	218

Страницы истории

Выпуск 1

**Реактор ВВР-М
и нейтронные исследования**

Редакторы: *А. М. Архипова, Е. Ю. Оробец, Н. В. Силинская*
Техническое редактирование, обложка *Т. А. Парфеева*
Компьютерная обработка и верстка *А. Б. Кудрявцева*

Отпечатано в типографии
ФГБУ «ПИЯФ» НИЦ «Курчатовский институт»

188300, Гатчина Ленинградской обл., Орлова роща
Зак. 195, тир. 499, уч.-изд. л. 13; 02.08.2016 г.
Формат 60 × 90 1/16, печать офсетная