

# К истории развития ядерно-физических исследований

С. М. СЕЛЯНКИНА, М. В. ТАЦЕНКО

При реализации Атомного проекта одной из основных проблем, требующих первоочередного решения, было проведение ядерно-физических исследований. Это предусматривало создание и развитие как расчетной, так и экспериментальной базы, поэтому в структуре КБ-11 был создан физический сектор. Его руководителем был назначен Виктор Александрович Давиденко. За проведение ядерно-физических исследований до создания сектора отвечал Георгий Николаевич Флеров. По его инициативе создавалась и развивалась материально-техническая база для обеспечения расчетов изделий (ядерных и термоядерных зарядов) ядерно-физическими константами (ЯФК), данными для конструирования изделий, проведения испытаний и оценки характеристик (параметров) образцов.

Работами по измерению элементарных ЯФК (сечений реакций, спектров частиц, множественностей и др.), а также созданием экспериментальной базы для проведения подобных измерений руководил Ю. С. Замятнин. Полигонные измерения интегральных характеристик изделий (выходов нейтронов, энергетических спектров нейтронов, гамма-квантов и др.) проводились под руководством Ю. А. Зысина.

С момента образования сектора его экспериментальная база постоянно претерпевала активное развитие: это создание электростатических ускорителей ионов (ЭГ-2 (1952–1954 гг.), ЭГ-5 (1957 г.), ЭГП-10 (1962 г.)), новых ускорителей электронов (МВ-15 (1957 г.), ЛУ-50 (1981 г.)), стенда ФКБН и его модификаций, бетатрона В-30 (1960 г.), парка импульсных аperiodиче-

ских реакторов, установок для изучения взаимодействия нейтронов, гамма-квантов, заряженных частиц с веществом, 4л-детектора нейтронов и гамма-квантов, масссепаратора и др. Значительный вклад в развитие экспериментальной базы внесен академиком А. И. Павловским – руководителем сектора с 1971 по 1993 г.

Условно в проводимых ядерно-физических исследованиях можно выделить следующие направления:

– нейтронная физика (упругое и неупругое рассеяние, полные сечения реакций, гамма-образование и др.);

– ядерные реакции на пучках заряженных частиц (деление ядер в сложных реакциях, измерения ЯФК, фундаментальные исследования, например, изучение изобар-аналоговых резонансов и др.);

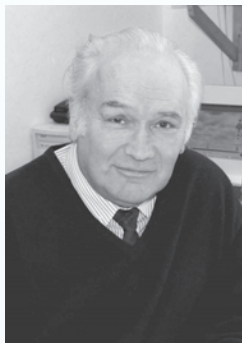
– прикладные применения ионизирующих излучений (или технологическое направление) (контроль за разоружением, обеспечение сохранности ядерных и делящихся материалов, термодесорбция трития, нейтронная и гамма-интроскопия, регистрация нейтронов с помощью пузырьковой камеры и др.).

Исследованиями в области нейтронной физики занимались и руководили – Георгий Николаевич Флеров, Юрий Сергеевич Замятнин, Юрий Аронович Зысин, Юрий Анатольевич Васильев, Михаил Васильевич Савин, Юрий Анатольевич Хохлов, Эдуард Федорович Фомушкин и др. Это направление охватывало большой круг вопросов, таких как свойства тяжелых ядер, в том числе физика деления тяжелых ядер – исследо-

вание механизмов деления, измерение основных характеристик делящихся ядер (сечений деления и радиационного захвата, среднего числа нейтронов и гамма-квантов на акт деления и т. д.). Сюда же можно отнести исследования



Ю. А. Васильев



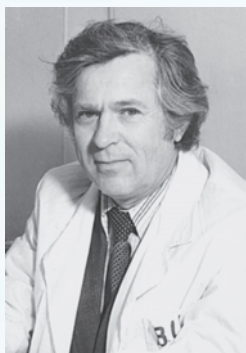
Э. Ф. Фомушкин



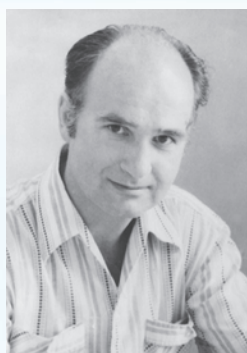
Ю. А. Хохлов



М. В. Савин



*В. И. Серов*



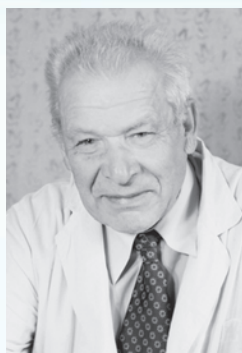
*Б. Я. Гужовский*



*С. Н. Абрамович*



*А. Г. Звенигородский*



*А. В. Алмазов*

сечений образования гамма-квантов и других реакций, вызываемых нейтронами.

Еще одним уникальным направлением исследований по нейтронной физике можно назвать нейтронные измерения по времени пролета с использованием ядерного взрыва как импульсного источника нейтронов. Изучением этих вопросов занималась группа Э. Ф. Фомушкина, которой были получены уникальные данные по сечению деления трансурановых элементов.

Яркими представителями в области исследований реакций взаимодействия заряженных частиц с ядрами можно назвать Виктора Ивановича Серова, Бориса Яковлевича Гужовского, Сергея Николаевича Абрамовича, Анатолия Григорьевича Звенигородского, Михаила Федоровича Андреева и др.

Прикладное направление представлено большим количеством емких разноплановых работ. Результаты работ этого направления были отмечены Государственной премией (1982 г.) и премиями Правительства РФ (2000 и 2014 г.). Значимым вкладом стала разработка в ИЯРФ и внедрение Государственных стандартов по аппаратуре радиационного контроля.

Еще один пример работы большого объема и значения – развитие методов и аппаратуры радиационной интроскопии. Широко используются разработанные методы и аппаратура обнаружения скрытых дефектов элементов конструкций. Метод успешно применяется в диагностике труднодоступных объектов и выявлении их свойств: плотности, агрегатного состояния, состава и др. В дальнейшем сфера применения интроскопии расширилась до прикладных задач в медицинской диагностике и геологоразведке.

Работы этого направления отмечены премией Правительства РФ в 2016 г.

Для изучения реакций взаимодействия заряженных частиц с ядрами с целью определения ЯФК, используемых в расчетах при констру-

ировании атомного и термоядерного оружия, большое значение приобретают установки, необходимые для получения пучков заряженных частиц.

Задачу разработки и внедрения ускорителей поручили специально созданному отделу электростатических ускорителей под руководством Александра Владимировича Алмазова. Первый ускоритель, ЭГ-2, спроектирован и изготовлен в Харьковском физико-техническом институте,



*Ускоритель ЭГП-10*



ХФТИ, и привезен во ВНИИЭФ в 1952 г. Однако ЭГ-2 обладал низкими эксплуатационными параметрами и нуждался в существенной доработке перед проведением исследований. Все работы по усовершенствованию многих узлов ускорителя производились при непосредственном участии А. В. Алмазова немногочисленной группой сотрудников отдела. Второй ускоритель с более совершенными параметрами, ЭГ-5, поставленный во ВНИИЭФ в 1956 г., также был заказан и изготовлен в ХФТИ. Перед пуском Александром Владимировичем с сотрудниками были предложены и реализованы неординарные технические решения по технологии изготовления ускорительных трубок с высокой электрической прочностью, новым источником ионов, замене традиционного транспортера зарядов с диэлектрической лентой цепным транспортером с индукционным зарядным устройством. В настоящее время оба ускорителя демонтированы.

Когда в 1958 г. в мире появились первые результаты исследований по использованию принципа перезарядки отрицательных ионов, что позволяло вдвое увеличить энергию ускоряемых частиц, перед лабораторией Алмазова была поставлена задача – спроектировать и ввести в эксплуатацию ускоритель с новым принципом ускорения. Эта работа проводилась совместно с НИИ электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова, Ленинград. Сначала были изготовлены две модели: источник отрицательных ионов водорода для проверки принципа работы перезарядки и простейшая модель для отработки всех узлов ускорителя.

В 1962 г. ускоритель с перезарядкой ЭПП-10 был введен в эксплуатацию. В последние годы и в настоящее время исследования на ускорителе осуществляются под руководством Леонида Николаевича Генералова.

Конечная задача исследований – получение оцененных значений ЯФК, т. е. значений сече-

ний реакций, определенных в широком энергетическом диапазоне на основе экспериментальных данных с привлечением различных теоретических моделей. Итогом работ стало появление во ВНИИЭФ уникальной, не имеющей мировых аналогов, библиотеки экспериментальных и оцененных ядерно-физических данных по взаимодействию заряженных частиц с легкими ядрами, собранных из собственных материалов, отечественной и зарубежной литературы.

Впервые эта библиотека появилась в 1989 г. в виде справочника «Ядерно-физические константы термоядерного синтеза», авторы: С. Н. Абрамович, Б. Я. Гужовский, В. А. Жеребцов, А. Г. Звенигородский. Для ученых, занимавшихся проблемами оценки, получения и применения ЯФК, пособие стало бесценным источником информации. В 1999 г. этот справочник приобрел электронный вид и стал называться «Библиотека оцененных и экспериментальных ядерных данных для астрофизических и термоядерных приложений SaBa» (от слов Saov Base). За последнее десятилетие эта библиотека существенно дополнена – была получена наиболее полная система ядерных данных по взаимодействию изотопов водорода (p, d, t) с ядрами лития, бериллия, бора. Значительная часть данных получена впервые или существенно уточняет мировые данные.

В 1997 г. приказом министра атомной энергетики и промышленности В. Н. Михайлова был создан Центр ядерно-физических данных, который продолжил работы по сбору экспериментальных данных. Первый руководитель центра – С. А. Дунаева. Центр также состоит в международной сети центров ядерных данных, одной из задач которой является пополнение экспериментальными данными по ядерным реакциям международной библиотеки EXFOR, развивающейся под эгидой МАГАТЭ. С 2003 г. руководителем Центра является С. М. Таова.

Решение прикладных задач сочеталось с задачами фундаментального характера. Уместно вспомнить слова Юлия Борисовича Харитона: «...Именно фундаментальные исследования лежат в основе каждого серьезного шага в развитии техники».

Одной из таких областей фундаментальных исследований было изучение изобараналоговых резонансов (ИАР). Впервые ИАР Б. Я. Гужовский с коллегами наблюдал в функциях возбуждения ( $p, n$ )-реакций на средних ядрах в



Л. Н. Генералов



С. А. Дунаева



С. М. Таова

1962 г. По имевшимся на тот момент представлениям это было невозможно из-за сильного перекрытия состояний в компаундсистеме. Борис Яковлевич по этому вопросу решил проконсультироваться со своим учителем, нобелевским лауреатом И. М. Франком, который скептически отнесся к подобному результату эксперимента. Повторно проведенные измерения подтвердили полученные данные. К сожалению, на перепроверку результатов было потрачено много времени, что привело к потере приоритета в открытии изобараналоговых резонансов в составном ядре. В 1964 г. группа американских ученых под руководством Андерсона первой опубликовала свои исследования о новом явлении. Несколько позже работы по открытию и изучению ИАР получила признание и в СССР.

Следующим этапом в исследовании стало изучение гамовтеллеровских резонансов (ГТР). В 1984 г. Б. Я. Гужовским с сотрудниками были проведены измерения, продемонстрировавшие существование этих резонансов в составном ядре, и было высказано предположение об их природе. Однако, в ряде работ известного физика, представителя московской теоретической школы МИФИ – М. Г. Урина – поставлена проблема теоретического объяснения механизма возбуждения резонансов в составном ядре. В 2016 г. сотрудниками ИЯРФ были проведены дополнительные экспериментальные исследования, подтвердившие существование ГТР.

К значимым фундаментальным исследованиям относится изучение пороговых явлений в ядерных реакциях, предсказанных в работах Е. Вигнера и А. И. Базя. Л. М. Лазаревым в 1986 г. разработана собственная теория пороговых явлений, базирующаяся на единой теории ядерных реакций Г. Фешбаха. Пороговые явления считаются тонким инструментом для детального изучения структуры ядер. С помощью теории решается широкий класс задач: от восстановления волновой функции системы и квантовых характеристик уровней ядра до экстраполяции сечений ядерных реакций в область нулевой энергии налетающих частиц и определения свойств короткоживущих ядер.



Л. М. Лазарев

Другим направлением исследований в области фундаментальной ядерной физики является полоче-

ние данных по упругому рассеянию заряженных частиц на ядрах и их оптико-модельное описание. Оптико-модельными расчетами активно занимались во ВНИИЭФ. И в настоящее время эти расчеты не теряют своей актуальности, являясь основой для многих современных ядерно-физических вычислений, проводимых в мире.

В 1962 г. коллективом авторов – И. К. Аверьянов, Б. Я. Гужовский, В. А. Сараев – выпущен «Атлас нейтронных сечений». В нем систематизирована вся имевшаяся на тот момент информация, применяемая для производственных расчетов, в том числе и полученная во ВНИИЭФ, по сечениям взаимодействия нейтронов с ядрами элементов, используемых в конструкциях зарядов. А также были проведены с помощью оптической модели расчеты, дополнившие экспериментальную информацию.

В 2014 г. в ИЯРФ разработан и зарегистрирован в Госреестре специализированный программный продукт – код OptModel, позволяющий анализировать данные по упругому рассеянию частиц на сферических ядрах с применением оптической модели ядра. К настоящему времени с использованием OptModel получена система ЯФК по взаимодействию заряженных частиц с легкими ядрами, что имеет большое значение для прикладных и фундаментальных исследований.

В настоящее время наступает новый этап в научных ядерно-физических исследованиях, связанный с проектом «Ядерная физика» в рамках Национального центра физики и математики, функционирующего на базе экспериментальных установок и вычислительных комплексов ВНИИЭФ. По мнению авторов, это должно способствовать активному возрождению ядерно-физических исследований.

**ТАЦЕНКО Михаил Валерьевич** –  
начальник отдела ИЯРФ, лауреат премии  
Правительства РФ

**СЕЛЯНКИНА Светлана Михайловна** –  
научный сотрудник ИЯРФ