

Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н.Флёрова

1. Начало ядерно-физических исследований с тяжелыми ионами.

Создание Лаборатории ядерных реакций

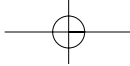
В СССР ядерно-физические исследования с тяжелыми ионами были начаты в Москве, в Лаборатории измерительных приборов Академии наук СССР (ЛИПАН). Такое название носил в то время Российский научный центр «Курчатовский институт». Инициатором и научным руководителем этих работ был член-корреспондент АН СССР Георгий Николаевич Флёрв, завершивший к тому времени свое участие в создании атомного оружия и вернувшийся к фундаментальным исследованиям. Г.Н.Флёрв возглавлял 7-й сектор, который входил в отдел, руководимый академиком Игорем Васильевичем Курчатовым.

В ядерно-физических исследованиях с тяжелыми ионами Г.Н.Флёрва особенно привлекала проблема синтеза новых трансурановых элементов. Все тогда известные трансурановые элементы, начиная с нептуния ($Z = 93$) и кончая менделевием ($Z = 101$), впервые были получены в США. Американские физики использовали для их синтеза мощные нейтронные потоки, получаемые в реакторах или при термоядерных взрывах, а также ядерные реакции, в которых мишени из урана и трансурановых элементов облучались на ускорителях дейтронами и ${}^4\text{He}$. Однако к началу 50-х годов эти пути оказались исчерпанными. В термоядерных взрывах не удалось продвинуться дальше сотого элемента — фермия. Элемент 101 — менделевий, всего около полутора десятков атомов, был получен при облучении интенсивным потоком ${}^4\text{He}$ мишени, содержащей 10^9 атомов ${}^{253}\text{Es}$ (1953 г.).



Директор ЛЯР (1958—1988 гг.)
академик Г.Н.Флёрв

Г.Н.Флёрв вместе с сотрудниками сектора провел всесторонний анализ сложившейся ситуации с целью выявления наиболее перспективного пути синтеза еще более тяжелых трансурановых элементов. Анализ определенно указывал, что это использование реакций с тяжелыми ионами. Просматривались и другие направления ядерно-физических исследований, в которых тяжелые ионы давали явное преимущество по сравнению с легкими бомбардирующими час-



тицами. Большой заряд тяжелого иона резко повышал вероятность кулоновского возбуждения коллективных состояний ядер. Тяжелые ионы позволяли получать ядра с очень высоким спином, открывая возможность изучения влияния быстрого вращения на свойства ядра. В реакциях с тяжелыми ионами образуются ядра с большим дефицитом нейтронов. Для этих нуклидов можно было ожидать новых видов радиоактивного распада, например эмиссию протонов. Тяжелые ионы значительно расширяли возможности изучения процесса деления тяжелых ядер. В столкновениях двух сложных ядер могли быть реализованы реакции передачи значительного числа нуклонов.

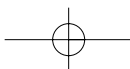
Однако получение интенсивных пучков тяжелых ионов с энергией, превышающей кулоновские барьеры тяжелых ядер, было непростой задачей. Ионные источники циклотронов давали лишь одно- и двухзарядные ионы. Тяжелые ионы такой зарядности ускорялись до энергий, которые были меньше, чем у протонов и ${}^4\text{He}$.

Поскольку магнитное поле и выводной радиус в циклотроне были зафиксированы, высокую энергию тяжелых ионов и узкий энергетический спектр можно было достигнуть только существенно повысив их начальную зарядность. Г.Н.Флёрв неоднократно обсуждал эту проблему с сотрудниками отдела академика Л.А.Арцимовича, которые занимались разделением изотопов и имели богатый опыт в разработке ионных источников. В 1956 году в этом отделе специально для циклотрона был создан мощный дуговой источник с подогревным катодом и осцилляцией электронов в дуге. С помощью этого ионного источника на 1,5-метровом циклотроне ЛИПАН удалось получить ионы C^{4+} , N^{5+} и $\text{O}^{5+,6+}$ и ускорить их до энергий, достигавших 100 МэВ. Для того времени это были рекордные и по интенсивности, и по энергии пучки тяжелых ионов. Наибольший вклад в создание и дальнейшее совершенствование этого мощного ионного источника внес Б.Н.Марков.

На пучках этих тяжелых ионов сотрудниками 7-го сектора и прикомандированными из Института геохимии и аналитической химии АН СССР радиохимиками под научным руководством Г.Н.Флёрова был проведен большой цикл экспериментов по изучению взаимодействия тяжелых ионов с ядрами и синтезу трансурановых элементов. Были синтезированы элементы 99 и 100 (эйнштейний и фермий), проведены первые эксперименты по синтезу элемента 102. Результаты этих исследований были доложены Г.Н.Флёровым на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, сентябрь 1958 г.). В его докладе была также дана первая систематика ядерных процессов с тяжелыми ионами.

Проведенные в СССР и за рубежом ядерно-физические исследования с тяжелыми ионами довольно быстро привели к выводу о необходимости сооружения специальных ускорителей.

В США пошли по пути создания тандема из двух линейных ускорителей, в котором ускорение тяжелых ионов проходило в два этапа. Ионы низкой зарядности, поступающие из ионного источника, ускорялись в первом ускорителе (предускорителе) до энергии около 1 МэВ на нуклон. Затем пучок ионов направлялся на тонкую металлическую фольгу, при прохождении которой тяжелые ионы теряли большинство своих электронов, резко повышая свою зарядность. Далее они ускорялись в основном линейном ускорителе до энергии 10 МэВ на нуклон. Такие ускорители были введены в эксплуатацию в 1957 году в Беркли и Йейле (США).





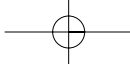
Первое здание Лаборатории ядерных реакций

В СССР выбор типа специального ускорителя тяжелых ионов определился в значительной степени отмеченными выше успехами в создании мощного источника многозарядных ионов, ориентированного для работы в циклотроне. Снизив зарядность ионов до 3^+ – 4^+ , можно было получать ионные пучки легких элементов с интенсивностью в десятки микроампер. Необходимую энергию ионов – 10 МэВ на нуклон можно было получить, увеличив диаметр полюсов магнита и повысив напряженность магнитного поля.

Концепция циклотрона тяжелых ионов, определившая требования к проектному заданию, была сформулирована и доложена на совещании в ЛИПАН Г.Н.Флёровым в декабре 1955 года. Вскоре последовало решение Совета Министров СССР о строительстве специального циклотрона тяжелых ионов. Создание 26 марта 1956 года Объединенного института ядерных исследований определило и место сооружения циклотрона тяжелых ионов. В мае 1957 года Ученый совет ОИЯИ на своем втором заседании принял решение о создании Лаборатории ядерных реакций (ЛЯР) с базовой установкой – специализированным циклотроном для проведения ядерно-физических исследований с тяжелыми ионами. Директором лаборатории был назначен член-корреспондент АН СССР Г.Н.Флёров.

СПРАВКА: Георгий Николаевич Флёров (1913–1990) – выдающийся советский, российский ученый в области ядерной физики. По его инициативе и при непосредственном участии в СССР были начаты исследования по разработке ядерного оружия под руководством академика И.В.Курчатова. Научный вклад Г.Н.Флёрова в эти работы был высоко оценен Правительством СССР: он был дважды удостоен Государственной премии 1-й степени и звания Героя Социалистического Труда.

После завершения своей работы над ядерным оружием Г.Н.Флёров обратился к фундаментальным исследованиям в ядерной физике. Он стал первопроходцем ново-



го направления фундаментальных научных исследований в ядерной физике — физике тяжелых ионов, исследующей ядерные превращения при столкновении двух сложных атомных ядер. Полученные им с сотрудниками пионерские данные были им доложены на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (1955 г.). Возглавив Лабораторию ядерных реакций в 1958 году, он оставался ее неизменным директором до 1988 года. Под его руководством ЛЯР превратилась в ведущий международный центр по физике тяжелых ионов. В 1992 году на 71-й сессии Ученого совета ОИЯИ Лаборатории ядерных реакций было присвоено имя академика Г.Н.Флёрва.

2. Циклотрон тяжелых ионов У-300

Этот уникальный циклотрон был спроектирован в НИИ электрофизической аппаратуры в Ленинграде под руководством И.Ф.Малышева в соответствии с концепцией, предложенной Г.Н.Флёрвым. Ускоритель был изготовлен на одном из заводов Ленинградского объединения «Электросила». Строительством здания Лаборатории ядерных реакций в Дубне и монтажом циклотрона в экспериментальном зале руководил главный инженер ЛЯР К.Л.Плюсин. Пусконаладочными работами руководил Ю.Ц.Оганесян. 9 сентября 1960 года на циклотроне У-300 был получен первый пучок ускоренных ионов азота.

Циклотрон У-300 был уникальным по тому времени ускорителем тяжелых ионов. Он позволял ускорять большой набор ионов с отношением массового числа к заряду от 3,5 до 7,0. Трехметровый диаметр полюсов магнита при напряженности магнитного поля 12,0, 14,5 и 16,5 кЭ давал возможность ускорять тяжелые ионы до энергии ~10 МэВ на нуклон при сравнительно невысокой зарядности ионов, что обеспечивало высокую интенсивность пучков.

Длина волны высокочастотного напряжения на дуантах лежала в пределах от 50 до 100 м. Четвертьволновые линии, к которым крепились дуанты циклотрона, имели внушительный размер и представляли собой серьезное инженерное сооружение. Ионный источник вводился в камеру циклотрона со стороны четвертьволновых линий. Противоположная часть камеры была свободной. Она использовалась для размещения экспериментальной аппаратуры. Скошенные на краях дуанты позволяли вводить на внутренний пучок циклотрона «пробники», в которых, при предельно допустимом размере $15 \times 20 \times 30 \text{ см}^3$, удавалось размещать довольно сложную экспериментальную аппаратуру. Ее работу осложняло воздействие магнитного поля циклотрона и высокочастотного напряжения на дуантах. Вместе с тем определенное преимущество по сравнению с работой на выведенном пучке представляла возможность плавно и легко изменять энергию частиц на мишени перемещением пробника вдоль радиуса камеры циклотрона.

С самого начала уделялось большое внимание дальнейшему совершенствованию ионных источников и разработке их модификаций. Этой работой руководил А.С.Пасюк. Были созданы источники для работы с твердыми веществами, что позволило получить ионы ^{48}Ca , ^{50}Ti , ^{54}Cr , ^{58}Fe , ^{76}Ge . Были ускорены и ионы радиоактивного углерода ^{14}C .

