

деления. С увеличением Z^2/A эта форма все больше приближается к сферической. Однако с помощью легких бомбардирующих частиц не удавалось достичь значений этого параметра больше 38. Использование же ионов ^{40}Ag для облучения ^{238}U позволило реализовать $Z^2/A = 43,5$. В результате облучений ^{197}Au , ^{209}Bi и ^{238}U ионами ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O и ^{40}Ag удалось показать, что критическое значение параметра, при котором ядро теряет устойчивость к делению даже в сферической форме, равно $(Z^2/A)_{\text{крит}} = 46 + 1$. Жидкокапельная модель с резкими краями для поверхности ядра давала значения $(Z^2/A)_{\text{крит}}$, равное 50, что противоречило данным экспериментов. Расхождение удалось устранить после учета в теории кривизны диффузной ядерной поверхности. Совпадение расчетных и экспериментальных данных свидетельствовало о том, что термодинамическое равновесие в делящейся системе в седловой точке определяет вид углового распределения осколков деления.

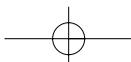
- *Множественность нейтронов, испускаемых при делении*

Созданная в ЛЯР аппаратура позволила впервые экспериментально измерить среднюю множественность нейтронов, испускаемых при делении тяжелого сильно-возбужденного ядра $\bar{\nu}_f$. Мишени из ^{197}Au , ^{209}Bi и ^{238}U облучались ионами ^{16}O , ^{22}Ne , ^{40}Ar . Энергия возбуждения составных ядер лежала в интервале от 50 до 109 МэВ. Была получена примерно линейная зависимость числа испущенных нейтронов от энергии возбуждения составного ядра. Экстраполяция этой зависимости к нулевой энергии возбуждения давала величину $\bar{\nu}_f$, близкую к среднему числу нейтронов на акт спонтанного деления ^{252}Cf . Сравнения $\bar{\nu}_f$, полученных прямым измерением с $\bar{\nu}_f$, извлеченных из данных по массовому и зарядовому распределению осколков деления, демонстрировало их совпадение в пределах погрешности измерений.

В работах по изучению процесса деления в реакциях с тяжелыми ионами, проводившихся под руководством Г.Н.Флёрова и Ю.Ц.Оганесяна, принимали участие С.А.Карамян, Ю.Э.Пенионжкевич, Б.И.Пустыльник, И.В.Кузнецов, Ф.Нормуратов и др.

5. Первые попытки синтеза сверхтяжелых элементов

Предложенный В.М.Струтинским в середине 60-х годов метод вычисления оболочечной поправки к жидкокапельной массе атомного ядра открыл путь к реалистичным расчетам барьеров деления тяжелых ядер. Тогда же Б.Нильсон пришел к выводу, что ближайшая новая протонная оболочка не тривиальное $Z = 126$, а гораздо более близкое и достижимое $Z = 114$. На этой базе теоретиками оценивались периоды полураспада ядер в области $Z = 108-114$ и $N \sim 184$. Реальная неопределенность таких расчетов составляла несколько порядков, но все они предсказывали, что здесь должен существовать некий «остров стабильности» ядер относительно спонтанного деления, окруженный гораздо более короткоживущими нуклидами. Периоды полураспада порядка секунд или часов представлялись вполне вероятными. В нескольких мировых лабораториях были предприняты попытки получения этих «сверхтяжелых



элементов» (СТЭ) в ядерных реакциях различных типов: облучение тяжелых мишеней ионами ^{48}Ca в расчете на слияние ядер, облучение тяжелых мишеней очень тяжелыми ионами в расчете на реакции передачи большого числа нуклонов и др. В ЛЯР были исследованы реакции слияния–деления с массивными тяжелыми ионами: $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$. СТЭ должны были быть малоактивными летучими металлами и их надеялись выделить из облученных мишеней или сборников с помощью химических методов – селективной возгонки. Выдающимся достижением в этом подходе было получение в ЛЯР пучков ионов ксенона с помощью тандема тогдашних ускорителей У-300 и У-200. Руководил этой работой непосредственно Г.Н.Флёров, в ней активно участвовали Ю.Ц.Оганесян, И.А.Шелаев, А.Ф.Линев.

6. Поиск сверхтяжелых элементов в природе

Наиболее «оптимистические» предсказания периодов полураспада СТЭ давали надежду, что некоторые изотопы СТЭ могли сохраниться в природе до настоящего времени. Это при условии, что они образовывались в последнем акте нуклеосинтеза вещества Солнечной системы – около $4,5 \cdot 10^9$ лет назад и что их времена жизни превышают 10^8 лет. Искомые долгоживущие нуклиды или же их дочерние продукты в цепочках радиоактивного распада должны испытывать спонтанное деление. Методы обнаружения должны быть чрезвычайно чувствительными.

В 1968–1990 годах в ЛЯР была выполнена серия работ по поиску СТЭ в природе с применением, прежде всего, инструментальных методов детектирования актов спонтанного деления, значительно усовершенствованных для достижения высокой чувствительности. Измерялись природные материалы, отобранные на основании ожидаемого космохимического, геохимического и химического поведения СТЭ. Некоторые образцы подвергали дополнительной химической переработке в лаборатории. Руководил работами Г.Н.Флёров, их участниками были: Г.М.Тер-Акопьян, Н.К.Скобелев, А.Г.Попеко, М.П.Иванов, Е.А.Сокол, Л.П.Челноков, В.И.Смирнов, И.Звара, Ю.Т.Чубурков, С.Н. Дмитриев, Ю.С.Короткин, Б.Л. Жуйков, Т.Реецц и др.

Самая высокая в мире чувствительность на присутствие СТЭ была достигнута на детекторах ЛЯР, регистрирующих мгновенные нейтроны спонтанного деления от образцов массой до десятков килограммов. Установка включала около шестидесяти ^3He счетчиков в замедлителе, окружающих образец. Признаком акта спонтанного деления была одновременная регистрация двух и более нейтронов. Для защиты от «фона» ложных отсчетов, создаваемых космическими мюонами, детекторы размещали в соляных шахтах на глубине 1100 и 750 метров водного эквивалента. На рис. 3, а дан разрез другой подобной установки, где стартовый импульс для счета нейтронов давали ВГО счетчики мгновенных гамма-лучей деления. В ней не требовалась столь мощная защита от космических мюонов. Меньшей чувствительностью обладали пропорциональные счетчики осколков деления с большой площадью тонкослойного образца (рис.3, б).

Цикл исследований ЛЯР был уникальным по полноте и систематичности выбора исследуемых образцов и чувствительности измерений. Объекты исследования можно отнести к нескольким категориям. Наиболее тщательно анализировались метеориты