

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.

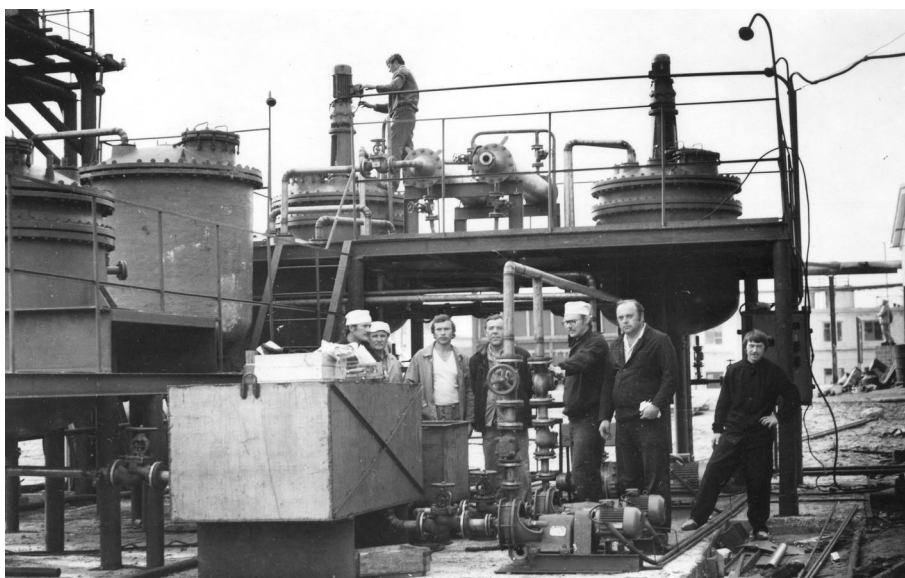
6. Поиск сверхтяжелых элементов в природе

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.Реец 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



Установка для концентрирования тяжелых элементов из солевых растворов полуострова Челекен в поисках СТЭ в природе

типа углистых хондритов, представляющие наименее химически дифференцированное доступное вещество Солнечной системы, то есть по составу наиболее близкое к «среднему» по системе. Установленный верхний предел средней концентрации СТЭ равен 10^{-14} грамма на грамм, если $T_{1/2} = 10^9$ лет. Это в 100–1000 раз чувствительнее пределов, достигнутых примерно в тысяче работ, выполненных тогда же во многих других крупных научных центрах. Данные о метеоритах были дополнены исследованиями земных образцов. Это были среды, обогащенные в процессе «геохимической переработки» вещества мантии предполагаемыми относительно летучими химичес-

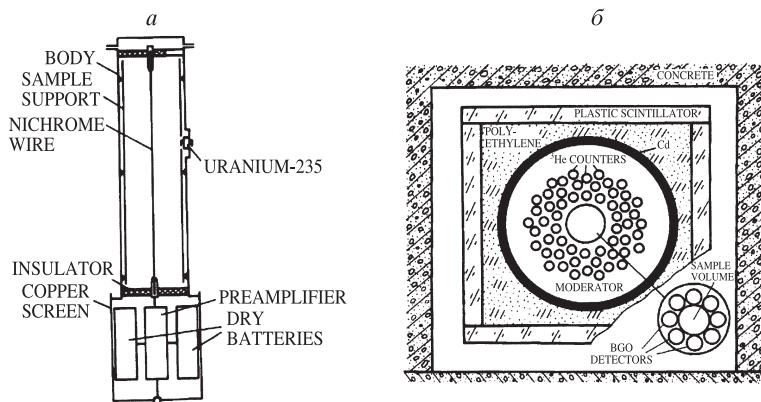


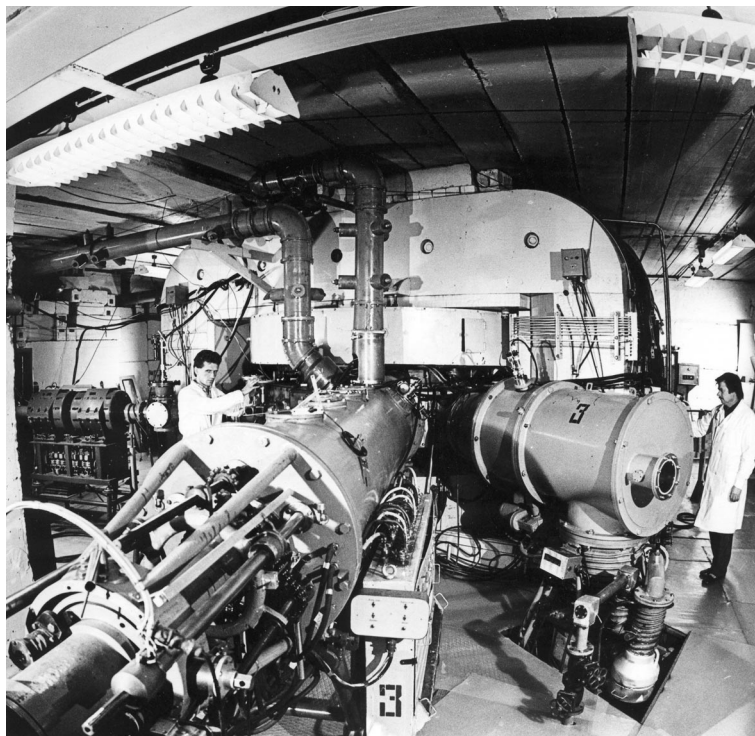
Рис. 3. Пропорциональный счетчик (б) и детектор мгновенных нейтронов деления (а)

кими аналогами СТЭ: кимберлитовые трубки, солевые рассолы в зонах глубинных разломов земной коры (район южного Каспия, Красного моря и Калифорнии). Исследовались многочисленные образцы руд и минералов, обогащенные легкими гомологами сверхтяжелых элементов с атомными номерами $Z = 108-115$. Сюда можно отнести глубинные железо-марганцевые конкреции Тихого океана, которые к тому же могли содержать элементы из «космической пыли».

Были также проведены оригинальные исследования по поиску сверхтяжелых ядер в массовом спектре космических лучей (Г.Н.Флёров, В.П.Перельгин и др.). С этой целью травлением выявляли скрытые треки тяжелых частиц в кристаллах некоторых минералов, извлеченных из метеоритов, так как они «экспонировались» в космосе на протяжении геологических времен.

7. Развитие ускорительной базы ЛЯР

Развитие ускорительной базы Лаборатории ядерных реакций шло в направлении получения тяжелых ионов более высокой энергии, повышения интенсивности пучков, ускорения ионов большей массы. Циклотрон У-300 был классическим циклотроном, и это накладывало определенные ограничения на достижимую энергию тяжелых ионов. Она не могла превышать 10 МэВ на нуклон. Циклотроны следующего поколения должны были быть изохронными.



Двухметровый
циклотрон
У-200