

**Рис. 10.** Схема химической идентификации элемента 112

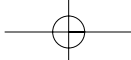
извлекающий (прочно сорбирующий) из газа ртуть (и «эка-ртуть») при комнатной температуре. Если же элемент 112 не «эка-ртуть», а, скорее, «инертный металл» с летучестью, близкой к Rn, и не адсорбируется на Au, тогда он попадает с газом-носителем в объем специальной проточной ионизационной камеры, настроенной на селективное детектирование осколков деления. Для надежной идентификации актов спонтанного деления детекторы осколков деления PIPS и ионизационная камера были окружены системой нейтронных счетчиков ( $^3\text{He}$ ) в замедлителе, которые обеспечивали регистрацию нейтронов спонтанного деления (см. рис. 10).

Выход атомов ртути, образующейся в реакции ионов  $^{48}\text{Ca}$  с неодимом, на PIPS-детекторах контролировали и измеряли по альфа-распаду  $^{185}\text{Hg}$  ( $T_{1/2} = 49$  с).

Интегральная доза за четыре календарных недели облучения составила  $3,5 \cdot 10^{18}$ . Полупроводниковые детекторы не зарегистрировали событий совпадения двух больших импульсов на противоположных детекторах, сопровождающихся отсчетами нейтронов, в то время как ионизационная камера зарегистрировала восемь импульсов от осколков деления, сопровождающихся регистрацией от одного до трех нейтронов. Фон камеры равнялся одному импульсу в месяц. Таким образом, с высокой вероятностью зарегистрировано несколько событий распада элемента 112 и сделан вывод, что этот элемент намного более летуч, чем ртуть. Это, скорее всего, проявление релятивистских эффектов в химических свойствах (А.Б.Якушев, И.Звара, Ю.Ц.Оганесян и др.).

## 10. Прикладные исследования

Академик Г.Н.Флёрв был выдающимся ученым, успешно работавшим и над фундаментальными проблемами ядерной физики, и над практическим применением полученных в этой области знаний. Именно благодаря его неутомимой энергии и настойчивости прикладные исследования в ЛЯР стали одним из важных направлений



деятельности коллектива лаборатории. В середине 70-х годов Г.Н.Флёров организует в ЛЯР отдел прикладной ядерной физики (ОПЯФ).

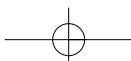
Вначале основная деятельность ОПЯФ была сосредоточена на разработке трековых мембран (ядерных фильтров) и проблем радиационного материаловедения на основе использования тяжелых ионов. Затем тематика расширилась, включив в себя активационный анализ с использованием ядерных реакций с тяжелыми ионами и рентгеновской флюоресценции, разработку химических методик по извлечению благородных и редких металлов из природных образцов, а в дальнейшем разработку методов получения ультрачистых радиоизотопов. Важно отметить, что проводимые работы не замыкались только на непосредственное применение в практике, но и имели самостоятельное фундаментальное значение для тех областей науки, где проводилось внедрение полученных результатов.

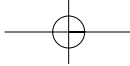
Характерной особенностью ускоренных тяжелых ионов является то, что при прохождении через вещество они создают в нем треки, в которых плотность радиационных повреждений материала в миллионы раз превышает радиационную дозу, создаваемую другими типами излучения. Материал в треках по существу изменяет свои макроскопические свойства. Благодаря этому появляется возможность создавать в материале гетерогенные микро- и нанометрические структуры.

Типичным примером является изготовление с помощью тяжелых ионов трековых мембран. Они представляют собой сита на основе полимерной пленки с плотностью пор, варьирующей в пределах  $10^6$ – $10^9$  на квадратный сантиметр. При этом все поры имеют одинаковые диаметры с разбросом не более 5%. Основой технологии является то, что материал трека имеет растворимость в соответствующих химических реагентах, превышающую в  $\sim 1000$  раз растворимость исходного материала. Благодаря этому на месте трека вытраивается сквозное отверстие или полость. Трековые мембраны являются уникальными фильтрами, которые успешно применяются при изготовлении электронных микросхем в микробиологии для стерилизации бактериальных сред и сепарации микрообъектов, в бытовых фильтрах для очистки питьевой воды. В ЛЯР действует участок изготовления трековых мембран производительностью до 50 тыс. м<sup>2</sup> в год. Ведется разработка трековых мембран нового поколения. Создана новая технология, позволяющая задавать порам различную форму: конусообразную, сигарообразную, в форме песочных часов. Разрабатываются так называемые «умные» мембраны, способные менять свою проницаемость в зависимости от приложенного электрического напряжения.

Тяжелые ионы были использованы также для радикальной модификации поверхности полимерных материалов. Путем облучения ионами и последующей обработки химическими реагентами поверхности полимера удается резко увеличить ее площадь. Это открывает возможность создания новых материалов для изготовления конденсаторов с высокой электрической емкостью при малых размерах. С использованием подобных материалов были созданы малогабаритные рефрижераторные элементы.

В области радиационного материаловедения работы направлены на изучение радиационного воздействия на металлы и монокристаллы. Актуальность этих исследований определялась необходимостью прогнозировать изменение свойств конструкционных материалов, используемых в атомном реакторостроении. Высокая дефектообразующая способность тяжелых ионов позволяет за десятки часов достичь





радиационных доз, эквивалентных годовому облучению материала в нейтронном потоке. Были исследованы такие явления, как радиационное упрочнение и распухание, радиационная диффузия примесей, влияние структуры радиационных дефектов, изменение люминесцентных свойств монокристаллов. Все эти данные открывают путь к более глубокому пониманию механизмов дефектообразования и его влияния на макроскопические свойства материалов.

В настоящее время работы по радиационному материаловедению направлены на решение проблем интенсивно развивающейся нанотехнологии. Целью этих исследований является формирование монодисперсных нановыделений вторичных фаз в твердых телах при многоэлементной ионной имплантации, формирование и изучение свойств одномерных металлических наноструктур с помощью ионно-трековой микротехнологии. Исследования ведутся на высоком уровне с использованием современных методов: просвечивающей электронной микроскопии, сканирующей электронной и туннельной микроскопии, атомной силовой микроскопии.

Другим важным направлением прикладных исследований являются работы в области наук о жизни, в которых разрабатываются радиоаналитические и радиоизотопные методы для применения в ядерной медицине, в биомедицинских и экологических исследованиях. Характерным примером этих исследований является получение изотопа плутония  $^{237}\text{Pu}$  для исследований метаболизма плутония в человеческом организме, проводившихся совместно с Harwell Lab. (Великобритания). Этот уникальный изотоп с периодом полураспада 45 дней испытывает К-захват и дает мягкое рентгеновское излучение, безвредное для организма.

Прикладные работы, проводимые в ЛЯР, привлекли к себе внимание стран-участниц ОИЯИ. В 1993 году отдел ОПЯФ был реорганизован в Центр прикладной физики – ЦПФ, функционирующий на внебюджетной основе. За прошедшее время в работах ЦПФ приняли участие ученые из Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Германии, Кубы, Монголии, КНДР, Польши, Чехии и Словакии. Лаборатория стала по существу школой, через которую прошли десятки специалистов, получивших практический опыт. На его основе созданы национальные центры в Монголии, Вьетнаме, Словакии. Осуществляется сотрудничество с научными учреждениями и организациями других стран. Особенно активно оно проводится с Costar Inc., Corning Corp., Analytic Inc. (США); Harwell Lab. (Великобритания); GSI и Fractal (Германия).

Важное место в тематике ЛЯР занимает создание специализированных ускорителей для научных центров в разных странах. Эти ускорители проектируются с ориентацией не только на фундаментальные исследования, но и на прикладные задачи. Определяющим было участие ЛЯР в создании циклотрона тяжелых ионов У-200 при Варшавском университете, циклотрона Института атомной физики в Белграде, в создании ускорительного комплекса DC-72 для Циклотронного Центра Словацкой Республики (Братислава). На очереди ускорительный комплекс DC-60 Евразийского университета (Астана, Казахстан). Участие ЛЯР в создании этих ускорительных центров заключается не только в передаче опыта, но и в непосредственном проектировании и изготовлении основных узлов ускорителей. Серьезную поддержку и помощь в развитии данного направления оказывает дирекция ОИЯИ. Важно также отметить, что прикладные работы дали дополнительное финансирование научных исследований, проводимых в ЛЯР.

