

10. РАДИОХИМИЧЕСКИЙ ГАЗОВЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ

Газовый радиохимический проточный метод детектирования нейтронов состоит в использовании свойства свободного выхода атомов инертных радиоактивных газов, образующихся в результате ядерных реакций, из кристаллической решетки некоторых твердых веществ. Образовавшийся в ампуле детектора инертный радиоактивный газ транспортируется газом – носителем в пропорциональный газовый счетчик проточного типа, где производится измерение скорости распадов ядер радиоактивного инертного газа, однозначно связанной с плотностью потока ионизирующего излучения в ампуле детектора. Регистрация потоков ионизирующего излучения осуществляется пропорциональным проточным счетчиком, что позволяет осуществлять измерения в реальном масштабе времени.

Для реализации этой схемы регистрации необходимо так подобрать химическую форму вещества детектора, чтобы образовавшийся газ легко «выходил» из его кристаллической структуры. Хотя газ инертный и не взаимодействует с веществом детектора, все же атомы газа имеют конечный размер и, в зависимости от типа кристаллической структуры активного вещества детектора могут диффундировать из него с большей или меньшей скоростью, которая в значительной мере будет определять временную «задержку» между образованием и регистрацией атомов радиоактивного газа.

Метод может использовать реакцию $^{40}\text{Ca}(n,\alpha)^{37}\text{Ar}$ с порогом 1 МэВ, $^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$ с порогом 3 МэВ, $^9\text{Be}(n,\alpha)^6\text{He}$ ($T_{1/2}$ ^6He равен 0,8 сек) и другие ядерные реакции с участием нейтронов, приводящие к образованию радиоактивных инертных газов. Период полураспада ^{37}Ar – 35 суток, рабочим веществом служит оксалат кальция CaC_2O_4 .

Инерционность системы регистрации зависит от длины газового тракта и расхода газа в трубопроводе. Количество нарабатываемого инертного радиоактивного газа очень мало, поэтому для его быстрого перемещения в счетчик необходимо продувать активное вещество потоком транспортного газа, который будет увлекать с собой образовавшийся радиоактивный газ. В качестве транспортного газа логично также взять инертный (но уже стабильный) газ, например, гелий. Кроме того, гелий является приемлемой «рабочей средой» пропорционального счетчика распадов.

Радиохимический газовый метод (РГМ) перспективен в условиях высоких нейтронных потоков, сопровождаемых значительным фоном гамма-квантов и заряженных частиц. Такие условия характерны для активных зон ядерных реакторов, установок термоядерного синтеза, нейтронных мишеней с «подсветкой» от ускорителей элементарных частиц. Массу активного вещества в детекторе можно менять в широких пределах, что позволяет варьировать скорость распадов в счетчике. В случае высоких нейтронных потоков в активной зоне современных ядерных реакторов массу вещества в детекторе можно уменьшить таким образом, что детектор становится «точечно подобным» и, тем не менее, скорость распадов в счетчике остается приемлемой для уверенной регистрации всех изменений нейтронного потока. Если поток нейтронов мал, то массу вещества в детекторе можно, наоборот, нарастить и также получить приемлемую скорость регистрации.

Твердое состояние активного вещества детектора имеет преимущества по сравнению с жидким и газообразным. Во-первых, из-за относительно высокой плотности концентрация атомов реагента выше, чем в жидкости, а тем более в газе. Во-вторых, твердые оксалаты, как правило, обладают достаточно высокой термостабильностью – признаки химического разложения проявляются при $\sim 350\text{-}450$ С, что исключает перенос активного вещества транспортными температурами газом. Другим немаловажным преимуществом РГМ, существенно повышающим его коммерческую привлекательность, является дешевизна активного вещества – оксалатов.

Помимо нейтронов РГМ позволяет регистрировать нейтрино, протоны, гамма-кванты, электроны и некоторые другие частицы. В качестве примера можно привести две ядерные реакции с участием протонов, производящие инертные радиоактивные газы: $^{19}\text{F}(p,n)^{19}\text{Ne}$ ($T_{1/2}$ ^{19}Ne равен 17 сек) и $^{37}\text{Cl}(p,n)^{37}\text{Ar}$. Подходящие химические формы активного вещества для данных реакций фторбензол и хлорбензол соответственно. Их структура также как и структура оксалатов позволяет легко выходить образовавшимся инертным радиоактивным газам.

Детектор может быть использован для создания экспрессного монитора для неразрушающего контроля изотопов трансураниевых элементов, в протонной терапии раковых заболеваний, в системах контроля за перемещением радиоактивных материалов и т.п. Прибор способен зарегистрировать 40 г. изотопа тория-230, 20 г. плутония-239, 2 г. плутония-240, 0,2 г. америция-241, 0,004 г. калифорния-250 на расстоянии 0,5 м. от контейнера при массе активного вещества в рамке 10 г и длительности экспозиции 1 минута.